



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

LEONARDO DALRI CECATO

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE SUPRIMENTO HÍDRICO PARA FINS
AGRÍCOLAS A PARTIR DO ESGOTO TRATADO NO ESTADO DE SC**

FLORIANÓPOLIS

2023

Leonardo Dalri Cecato

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE SUPRIMENTO HÍDRICO PARA FINS
AGRÍCOLAS A PARTIR DO ESGOTO TRATADO NO ESTADO DE SC**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina em 2023, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Profa. Dra. Maria Elisa Magri

Coorientador: Prof. Dr. Paulo Belli Filho

FLORIANÓPOLIS
2023

Dalri Cecato, Leonardo
AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE SUPRIMENTO HÍDRICO PARA FINS
AGRÍCOLAS A PARTIR DO ESGOTO TRATADO NO ESTADO DE SC / Leonardo
Dalri Cecato ; orientadora, Maria Elisa Magri, coorientador,
Paulo Belli Filho, 2023.
152 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina,
Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Ambiental, Florianópolis, 2023.

Inclui referências.

1. Engenharia Ambiental. 2. Avaliação de potencial. 3.
Reciclo de subprodutos do saneamento. 4. Suprimento Hídrico. I.
Magri, Maria Elisa . II. Belli Filho, Paulo . III. Universidade
Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Ambiental. IV. Título.

Leonardo Dalri Cecato

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE SUPRIMENTO HÍDRICO PARA FINS AGRÍCOLAS A
PARTIR DO ESGOTO TRATADO NO ESTADO DE SC

O presente trabalho em nível de Doutorado foi avaliado e aprovado em 02 de junho de 2023,
pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Pablo Heleno Sezerino Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Nelson Libardi junior, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Profa. Paula Paulo, Dra
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado
adequado para obtenção do título de Doutor em Engenharia Ambiental.

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Profa. Maria Elisa Magri, Dra.
Orientadora

FLORIANÓPOLIS

2023

Dedico este trabalho aos meus pais, Angelita e Renato.

AGRADECIMENTOS

A conclusão deste Doutorado é uma conquista compartilhada entre família, orientação e demais pessoas queridas. Agradeço a todas as pessoas que direta e indiretamente me apoiaram. A jornada do doutorado é solitária, porém, foi possibilitada através de uma base e rede de apoio forte.

Agradeço a minha família por todo o apoio e suporte. Vocês sempre prezaram e colocaram a minha educação em primeiro lugar, e fico feliz em poder trazer essa conquista para vocês.

Agradeço a minha orientadora, Professora Doutora Maria Elisa Magri, por ter aberto as portas do RReSSa e ter confiado no meu estilo de pesquisa e trabalho.

Agradeço a Universidade Federal de Santa Catarina por ter me acolhido ao longo de 13 anos, oferecendo acesso à uma educação de excelência, bem como possibilitando experiências que me formaram como pessoa e profissional.

Agradeço a mim mesmo por ter tido disciplina, foco e consistência para aproveitar o máximo de oportunidades que surgiram ao longo desses anos, e fazer valer todo o investimento colocado em mim.

Por fim, agradeço antecipadamente as pessoas que irão continuar a pesquisa iniciada nesta tese. Meu maior objetivo sempre foi abrir portas, então, obrigado por aprimorar, corrigir e continuar este estudo.

RESUMO

A organização mundial de saúde projeta que a população global alcançará 9,8 bilhões de pessoas em 2050, o que implicará no aumento da demanda por alimentos e, conseqüentemente, por recursos para suprir a produção agrícola. A agricultura se apresenta como uma atividade de impacto elevado no que tange o consumo de água, exploração e uso de fertilizantes, e conseqüente poluição de corpos d'água. No Brasil, a agricultura é uma das principais atividades econômicas. Em paralelo, 45% da população urbana não possui coleta de esgoto. Contudo, legislações brasileiras recentes indicam o interesse em aumentar a prática do reuso de subprodutos do saneamento. Nesse contexto, o saneamento ecológico apresenta benefícios que implicam na melhoria da gestão do saneamento, uma vez que proporciona uma mudança de perspectiva com relação aos seus subprodutos, os quais são tratados como recursos, e não rejeitos, podendo estes serem aplicados na agricultura, indo ao encontro dos princípios da economia circular e auxiliando na redução dos impactos provenientes do aumento populacional e da falta de saneamento adequado. Tendo isso em vista, esta tese de doutorado avaliou o potencial de reciclo agrícola de esgoto tratado no Estado de Santa Catarina segundo critérios quantitativos, qualitativos, geográficos e de avaliação de risco. A demanda por água de irrigação de 7 culturas foi comparada com a disponibilidade quantitativa e qualitativa de esgoto tratado em 85, 18, 7, 6, 2, 2 e 1 municípios selecionados no cenário futuro, os quais produzem, respectivamente, arroz, cebola, alho, banana-caturra, batata, tomate e banana-prata, através da coleta e tratamento de dados presentes nas bases de dados da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, Agência Nacional de Águas, Organização das Nações Unidas, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura, Sistema Nacional de Informações do Saneamento e relatórios das agências reguladoras dos municípios estudados. Calculou-se o potencial de irrigação agrícola para cada município estudado, de modo a apresentar o quanto da demanda atual por água de irrigação, a oferta atual e futura de esgoto tratado pode suprir. Além disso, avaliou-se a oferta qualitativa de esgoto tratado através da comparação da qualidade do efluente produzido pelas estações de tratamento de esgoto estudadas com os valores de risco associados apresentados pela Organização Mundial de Saúde, possibilitando assim discutir os riscos toleráveis de infecção e doença, apresentar a redução de patógenos necessária para alcançar riscos toleráveis e determinar como a redução de patógenos pode ser realizada. Mapas e tabelas foram utilizados para apresentar os resultados obtidos, de forma a apontar áreas de maior potencial e facilitar a sua interpretação. Em termos quantitativos, os resultados apresentam 32, 12, 3, 6, 2, 2 e 1 municípios, os quais produzem, respectivamente,

arroz, cebola, alho, banana-caturra, batata, tomate e banana-prata com potencial de irrigação agrícola superior a 85%, alcançando valores superiores a 6.000%, mostrando que a quantidade de esgoto a ser produzida em 2035 poderá não somente suprir a demanda atual de água de irrigação agrícola, mas também permitir a expansão da agricultura sem consumir mais água potável. Nota-se potencial de cooperação entre diferentes municípios, considerando-se critérios geográficos, e a descarga de carga orgânica evitada seria substancial caso todos os municípios estudados no cenário 2035 utilizassem todo o seu potencial de irrigação agrícola com esgoto tratado para irrigar o cenário atual de produção de alimentos, uma vez que a quantidade de DBO não lançada diretamente em corpos hídricos, considerando os municípios produtores de arroz, cebola, alho, banana-caturra, batata, tomate e banana-branca, seria, respectivamente, 27.240, 1.160, 436, 214, 169, 49 e 129 kg DBO dia⁻¹. Ademais, a qualidade dos efluentes produzidos pela maior parte das estações de tratamento de esgoto estudadas requer tratamento posterior, ou, pelo menos, a aplicação de métodos de higiene e manejo dos alimentos para prevenir riscos à saúde dos agricultores e consumidores finais. Conclui-se que há potencial de suprimento hídrico para fins agrícolas a partir do esgoto tratado na área de estudo e indica-se realizar estudos complementares para implementar as práticas discutidas em escala real.

Palavras chave: Saneamento Ecológico. Irrigação. Reúso. Culturas Agrícolas. Economia Circular. Esgoto Sanitário.

ABSTRACT

The World Health Organization estimates that the global population will reach 9.8 billion people in 2050, which will lead to an increase in the demand for food and, consequently, for resources to supply agricultural production. Furthermore, a larger population implies a greater generation of effluents, which require adequate treatment and disposal. Besides, agriculture presents itself as a high-impact activity in terms of water consumption, exploration and use of fertilizers, and consequently pollution of water bodies. However, recent Brazilian legislation indicates an interest in increasing the practice of reusing sanitation by-products. In this context, ecological sanitation presents benefits that imply the improvement of sanitation management, since it provides a change of perspective *concerning* its by-products, which are dealt with as resources, and not waste, which can be applied in agriculture, meeting the principles of the circular economy and helping to reduce the impacts of population growth and the lack of adequate sanitation. With that in mind, this doctoral thesis evaluated the potential for agricultural recycling of treated sewage in the State of Santa Catarina according to quantitative, qualitative, geographic, and risk assessment criteria. The demand for irrigation water of 7 crops was compared with the quantitative and qualitative availability of treated wastewater in the selected municipalities, through the collection of treatment data available in the databases of the Agricultural Research and Rural Extension Company of Santa Catarina, National Agency of Waters, National Sanitation Information System, United Nations, Brazilian Institute of Geography and Statistics, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, and reports from the regulatory agencies responsible for the municipalities. The agricultural irrigation potential was calculated for each municipality studied, in order to present how much of the current demand for irrigation water the current and future production of treated wastewater can supply. In addition, the qualitative offer of treated wastewater was evaluated by comparing the quality of the effluent produced by the wastewater treatment plants studied with the associated risk values presented by the World Health Organization, thus making it possible to discuss the tolerable risks of infection and disease, present the pathogen reduction necessary to achieve tolerable risks and determine how pathogen reduction can be accomplished. Maps and tables were used to present the results obtained to point out areas of greater potential and facilitate their interpretation. In quantitative terms, the results show 32, 12, 3, 6, 2, 2 and 1 municipalities, which produce, respectively, rice, onion, garlic, cockatiel banana, potato, tomato and silver banana with potential for agricultural irrigation greater than 85%, reaching values greater than 6,000%, showing that the amount of wastewater to be produced in 2035 is able not only to supply the current demand for agricultural

irrigation water but also allow the expansion of agriculture without consuming more fresh water. There is cooperation potential between different municipalities, considering geographic criteria , and the avoided organic load discharge would be substantial if all municipalities studied in the 2035 scenario used all their agricultural irrigation potential with treated wastewater to irrigate the current food production scenario, once the amount of BOD not released directly into the water bodies, considering the municipalities producing rice, onion, garlic, banana, potato, tomato and white banana, would be, respectively, 27,240, 1,160, 436, 214, 169, 49 and 129 kg BOD day⁻¹. Furthermore, most wastewater treatment plants studied require further treatment and improvements, or, at least, the application of hygiene and food handling methods to prevent risks to the health of farmers and final consumers. It is concluded that there is potential for water supply for agricultural purposes from treated sewage in the study area and it is recommended that complementary studies be carried out to implement the practices discussed in full scale.

Key-words: Ecological Sanitation. Irrigation. Reuse. Crops. Circular Economy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Graphical Abstract representando a avaliação do potencial de reciclo de esgoto tratado na agricultura de Santa Catarina.....	41
Figura 2 – Fluxograma metodológico	42
Figura 3 – Distribuição do uso de diferentes tipos de irrigação nos estabelecimentos agropecuários de Santa Catarina	62
Figura 4 – Distribuição da área irrigada segundo diferentes tipos de irrigação em Santa Catarina	63
Figura 6 – Utilização de água de irrigação nos municípios selecionados (cenário atual).....	69
Figura 7 – Produção de esgoto tratado nos municípios selecionados (cenário atual)	70
Figura 8 – Potencial de irrigação agrícola de culturas com esgoto tratado nos municípios selecionados (cenário atual).....	72
Figura 9 – Utilização de água de irrigação nos municípios selecionados: cenário 2035	76
Figura 10 – Produção de esgoto tratado por município e cultura estudados: cenário 2035	78
Figura 11 – Potencial de irrigação das culturas selecionadas com esgoto tratado nos municípios avaliados: cenário 2035	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resumo dos resultados da AQMR para infecção por rotavírus ⁽¹⁾ para diferentes exposições.....	28
Tabela 2 – Tipos de agricultura e seus respectivos padrões de qualidade para uso de esgoto tratado na irrigação	29
Tabela 3 – Padrões de qualidade para diferentes classes de água de reúso segundo a NBR 13969/97.	30
Tabela 4 – Incidência de doenças diarreicas em pppy no ano 2000 para diferentes faixas etárias	36
Tabela 5 – Irrigação restrita – Sub cenário Agricultura Altamente Mecanizada: risco médio associado à ingestão de solo contaminado com esgoto ⁽¹⁾	36
Tabela 6 – Irrigação restrita – Sub cenário Agricultura de Trabalho Manual por 300 dias anuais: risco médio associado à ingestão de solo contaminado com esgoto ⁽¹⁾	36
Tabela 7 – Irrigação restrita – Sub cenário Agricultura de Trabalho Manual por 150 dias anuais: risco médio associado à ingestão de solo contaminado com esgoto ⁽¹⁾	37
Tabela 8 – Risco médio associado a irrigação irrestrita de alface e posterior consumo humano ⁽¹⁾	37
Tabela 9 – Informações agrícolas das culturas pré-selecionadas para Santa Catarina entre os anos 2016 e 2020	46
Tabela 10 – Exemplo de organização de dados e racional de cálculo de demanda de água de irrigação para a cultura alho	49
Tabela 11 – Correlação entre processos de tratamento de esgotos apresentados por ANA (2013) e von Sperling (2007).....	59
Tabela 12 – Pegada hídrica e cálculo do consumo de água de irrigação para as culturas pré-selecionadas	65
Tabela 13 – Necessidade de irrigação das culturas pré-selecionadas em Santa Catarina	66
Tabela 14 – Diagnóstico do tipo de prestador de serviço de saneamento dos municípios que praticam irrigação agrícola	67
Tabela 15 – Informações referentes ao saneamento e ETEs presentes nos municípios estudados (cenário atual).....	71
Tabela 16 – Investimentos em melhorias de saneamento planejadas até 2035 para os municípios produtores das culturas estudadas.....	75

Tabela 17 – Informações de irrigação e saneamento dos municípios que produzem as culturas estudadas.....	77
Tabela 18 – Avaliação qualitativa do potencial de irrigação da cultura cebola com esgoto tratado nos municípios selecionados	84
Tabela 19 – Avaliação qualitativa do potencial de irrigação da cultura alface com esgoto tratado nos municípios selecionados	86
Tabela 20 – Avaliação qualitativa do potencial de irrigação da cultura alho com esgoto tratado nos municípios selecionados	88

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANA – Agência Nacional de Águas

AQRM – Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico

ARESC – Agência Reguladora de Serviços Públicos de Santa Catarina

ARIS – Agência Reguladora Intermunicipal de Saneamento

CASAN – Companhia Catarinense de Águas e Saneamento

CFU – Unidade Formadora de Colônia (sigla em inglês)

DALY – Anos de vida perdidos ajustados por incapacidade (*disability-adjusted life years*)

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

EPA – Agência de proteção ambiental da Austrália

Epagri – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina

EPI – Equipamento de proteção individual

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

ETEs – Estações de Tratamento de Esgoto

FAO – Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura

FAOSTAT – Banco de Dados Estatísticos Corporativos da FAO

CF – Coliforme Fecal

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IWA – Associação Internacional da Água

MCTIC – Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações

NBR – Norma brasileira

OMS – Organização Mundial da Saúde

PLANSAB – Plano Nacional de Saneamento Básico

PNF 2050 – Plano Nacional de Fertilizantes 2050

PPGEA – Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental

pppy – Risco por pessoa por ano

RReSSa – Grupo de Pesquisas em Recuperação de Recursos em Sistemas de Saneamento

SC – Estado de Santa Catarina

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

UASB – Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente

UFC – Unidade formadora de colônia

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

UGT – Unidade de Gestão Técnica

UNESCO – Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

UNICEF – Fundo das Nações Unidas para a Infância

USAID – Agência dos Estados Unidos para o Desenvolvimento Internacional

USEPA – Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos

WHO – World Health Organization

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
2	RELEVÂNCIA E INOVAÇÃO.....	21
3	HIPÓTESE E OBJETIVOS	24
3.1	HIPÓTESE.....	24
3.2	OBJETIVOS	24
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	25
4.1	SANEAMENTO FOCADO EM RECURSOS.....	25
4.2	REÚSO NÃO POTÁVEL DE ESGOTO TRATADO	27
4.2.1	ASPETOS LEGAIS RELACIONADOS AO REÚSO DE ESGOTO TRATADO: WHO (2006).....	27
4.2.2	ASPETOS LEGAIS RELACIONADOS AO REÚSO DE ESGOTO TRATADO NO BRASIL	29
4.3	ANÁLISE DE RISCO	31
4.3.1	ANÁLISE QUANTITATIVA DE RISCO MICROBIOLÓGICO (AQRM).....	31
4.3.2	ESTUDO DE CASO: RISCOS À SAÚDE ASSOCIADOS À IRRIGAÇÃO COM ESGOTO (MARA et al., 2007).....	34
4.4	ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DO POTENCIAL DE REÚSO DE ESGOTO TRATADO NA SICÍLIA (BARBAGALLO et al., 2012)	39
5	METODOLOGIA	41
5.1	ÁREA DE ESTUDO: ESTADO DE SANTA CATARINA – BRASIL	43
5.2	ESTUDO DO POTENCIAL DE RECICLO DE ESGOTO TRATADO NA AGRICULTURA DE SANTA CATARINA	44
5.2.1	ESTUDO DO USO DE IRRIGAÇÃO NO ESTADO DE SANTA CATARINA	44
5.2.2	AVALIAÇÃO DA OFERTA DE ESGOTO TRATADO	50

5.2.3 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE RECICLO DE ESGOTO TRATADO NA IRRIGAÇÃO AGRÍCOLA DE SANTA CATARINA.....	60
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
6.1 ESTUDO DO POTENCIAL DE RECICLO DE ESGOTO TRATADO NA AGRICULTURA DE SANTA CATARINA	61
6.1.1 ESTUDO DO USO DE IRRIGAÇÃO NO ESTADO DE SANTA CATARINA	61
6.1.2 AVALIAÇÃO DA DEMANDA POR ÁGUA DE IRRIGAÇÃO POR CULTURA E MUNICÍPIO.....	64
6.1.3 DIAGNÓSTICO DO TIPO DE PRESTADOR DE SERVIÇO DE SANEAMENTO DOS MUNICÍPIOS QUE PRATICAM IRRIGAÇÃO	66
6.1.4 AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE RECICLO DE ESGOTO TRATADO NA IRRIGAÇÃO AGRÍCOLA DOS MUNICÍPIOS ESTUDADOS: CENÁRIO ATUAL..	68
6.1.5 AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE RECICLO DE ESGOTO TRATADO NA IRRIGAÇÃO AGRÍCOLA DOS MUNICÍPIOS ESTUDADOS: CENÁRIO 2035	74
6.1.6 AVALIAÇÃO QUALITATIVA DO USO DE ESGOTO TRATADO NA AGRICULTURA: CENÁRIO 2035.....	83
7 CONCLUSÕES.....	91
8 RECOMENDAÇÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	93
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	94
10 APÊNDICES.....	107

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional aliado à polarização da concentração das pessoas em cidades resulta no aumento da geração de efluentes e maiores demandas por água potável. De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), aproximadamente 870 mil mortes em 2016 foram relacionadas ao acesso a fontes não seguras de água, ao saneamento inadequado e à falta de higiene (WHO, 2018). A instituição também relata que 39% da população mundial não teve acesso a instalações de saneamento adequadas em 2015. Neste mesmo ano, estima-se que as excretas de 4,5 bilhões de pessoas foram dispostas diretamente na natureza sem nenhum tipo de tratamento (WHO; UNICEF, 2017). Esta disposição inadequada de dejetos no meio implica no aumento dos fenômenos de eusaprobicidade e eutrofização, os quais têm potencial de causar efeitos deletérios ao meio natural, como o crescimento excessivo de algas, a deterioração da qualidade da água e possíveis danos irreversíveis nos ecossistemas aquáticos (CHEN; GRAEDEL, 2016), além de afetar negativamente a capacidade de uso das águas dos corpos hídricos para fins domésticos e industriais (PENG et al., 2018).

Paralelamente ao aumento da geração de efluentes e da necessidade de acesso à água potável de qualidade, infere-se que o crescimento da população mundial resulte em uma maior demanda por água de irrigação e nutrientes utilizados na agricultura (HECKENMÜLLER; NARITA; KLEPPER, 2014). É previsto que a população global passe de 7,6 bilhões de indivíduos em 2017 para 9,8 bilhões no ano de 2050 (UN, 2017) o que implicaria na necessidade de aumentar em 30% a produção mundial de alimentos (CIEŚLIK; KONIECZKA, 2017).

A agricultura é responsável por 85% do consumo global de água azul, a qual representa o montante de água subterrânea e superficial que é consumida na produção de um insumo (MEKONNEN; HOEKSTRA, 2011). Ademais, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística indica, no documento Censo Agropecuário 2017, que a necessidade de irrigação no Brasil aumentou 48% quando comparada àquela descrita no Censo Agropecuário 2006 (IBGE, 2017)

Nesse contexto, o saneamento focado em recursos, também chamado de saneamento ecológico ou *ecological sanitation*, traz consigo uma possível solução para os problemas do saneamento e da falta de alimentos de forma integrada. Em contrapartida ao saneamento convencional, em que os seus subprodutos são tratados como resíduos que devem ser afastados e dispostos, o saneamento focado em recursos propõe uma mudança acerca dos conceitos de “resíduo” e “recurso”, alegando que os subprodutos gerados devem ser aproveitados (SIMHA; GANESAPILLAI, 2017). Tendo isso em vista, os compostos que são considerados como

contaminantes no sistema convencional se apresentam como uma oportunidade de reaproveitamento no saneamento ecológico, como afirmam Wielemaker et al. (2018) e Drangert et al. (2018).

Estudos realizados por Magri (2013), Courault et al. (2017), Moazeni et al. (2017), Clarke et al. (2017), Simha e Ganesapillai (2017) e Owamah et al. (2014) apontam os benefícios da reciclagem dos subprodutos do saneamento devido a presença de nutrientes. Jonsson e Land (2017) indicam que certos subprodutos do saneamento contêm todos os micronutrientes necessários para o desenvolvimento das plantas, além de macronutrientes como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio, e, portanto, podem ser utilizadas como fertilizante. Além disso, a utilização de esgoto tratado na agricultura reduz a pegada hídrica do setor (ASANO, 2002), bem como traz uma alternativa para a disposição final de esgotos, evitando o meio líquido, indo ao encontro da abordagem das múltiplas barreiras proposta por OMS e a International Water Association (WHO, IWA 2009).

Contudo, apesar dos benefícios do reciclo dos subprodutos do saneamento, há ressalvas relacionadas aos possíveis efeitos negativos que esta prática pode inferir à saúde humana (COURAULT et al., 2017; CLARKE et al., 2017). A maior preocupação diz respeito à presença de patógenos, pois ainda que a maioria desses microrganismos seja removida durante processos de tratamento terciários e específicos de higienização, alguns patógenos são mais resistentes e podem permanecer mesmo após o tratamento (MOAZENI et al., 2017). Além disso, as tecnologias aplicadas em diferentes localidades e as suas respectivas eficiências diferem no que diz respeito à eficiência de remoção de patógenos.

Julian et al. (2018) apontam que os patógenos presentes nos subprodutos do saneamento podem causar diversos efeitos na saúde humana, desde infecções assintomáticas até casos graves que levam a óbito. No entanto, Owamah (2014) comenta que os riscos inerentes à utilização dos subprodutos do saneamento não devem ser vistos como impedimentos ao seu reciclo, mas sim como fatores que devem ser estudados, compreendidos e gerenciados, a fim de exercer a prática do reciclo e garantir a saúde humana e ambiental de forma concomitante. Nesse viés, Moazeni et al. (2017) e Clarke et al. (2017) destacam a importância de realizar a análise dos riscos associados à presença de patógenos nos subprodutos do saneamento, a fim de garantir a sua utilização segura, sem causar efeitos prejudiciais aos indivíduos e ao meio ambiente. Para isso, diversos estudos têm sido realizados com o objetivo de estimar o potencial de utilização de subprodutos do saneamento, bem como os riscos à saúde humana decorrente do contato com microrganismos patogênicos.

Tendo isso em vista, o mapeamento da demanda agrícola por água e a possível oferta de esgoto tratado possibilita identificar as localidades com maior potencial de reciclo de subprodutos do saneamento, permitindo estudar o risco envolvido de forma mais assertiva e recomendar boas práticas de higiene e prevenção, conforme realizado por Barbagallo et al. (2012), Mara et al. (2007) e WHO (2006).

Nesse contexto, o objetivo desta tese foi avaliar o potencial de reciclo agrícola de esgoto tratado no estado de Santa Catarina, considerando critérios quantitativos, a fim de identificar localidades com maior demanda por água de irrigação e geração de esgoto tratado, bem como qualitativos, permitindo assim estimar a concentração de patógenos no efluente produzido e sugerir melhorias tanto nos processos de tratamento aplicados nas Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) estudadas, bem como na atividade agrícola e no manuseio e preparo dos alimentos consumidos.

Destaca-se também que está tese segue a linha de pesquisa que vem sendo realizada no Grupo de Pesquisas em Recuperação de Recursos em Sistemas de Saneamento (RReSSa) do Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental (PPGEA) da Universidade Federal de Santa Catarina, e representa a sua primeira pesquisa de doutorado envolvendo estudos de potencial de reciclo de subprodutos do saneamento.

2 RELEVÂNCIA E INOVAÇÃO

O potencial de reúso de subprodutos do saneamento é reconhecido mundialmente como uma questão de sustentabilidade ambiental e é abordado em normas e legislações de diferentes instituições e países, como por exemplo, nas diretrizes propostas por WHO (2006). Nesse viés, faz-se necessário o estudo do potencial de reúso de esgoto tratado na agricultura de forma a avaliar localidades com maior demanda por irrigação e elevada produção de esgoto, bem como possibilitar a cooperação entre municípios, além de identificar a composição do efluente utilizado na irrigação e propor melhorias nos processos de tratamento, na sua utilização agrícola e no posterior consumo de alimentos. Portanto, tal tipo de estudo se caracteriza pela sua multidisciplinariedade e requer a união de abordagens quantitativas e qualitativas envolvendo saneamento e agricultura.

No contexto brasileiro, a universalização do acesso ao saneamento básico está dentre os princípios fundamentais do Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB e Lei 11.445/2007). Após a aprovação da Constituição Federal de 1988, a universalidade tornou-se um princípio com ampla aceitação da sociedade, porém, no caso do saneamento básico, tal preceito não foi concretizado ao longo das políticas implementadas, tendo sido consolidado pela Lei nº 11.445/2007, a qual estabeleceu as diretrizes nacionais para o saneamento básico. Porém, passada mais de uma década da promulgação desta lei, 45% da população não tem acesso à coleta de esgoto (BRASIL, 2018).

A abordagem convencional do tratamento centralizado de esgotos, utilizando extensas redes coletoras, estações elevatórias e grandes estações de tratamento mostra-se limitada para o alcance da universalização, tendo em vista a pluralidade dos cenários brasileiros, principalmente no caso da realidade de estados com muitos municípios de pequeno porte. Todavia, tais municípios também necessitam de saneamento adequado, e geram subprodutos do saneamento passíveis de serem reciclados.

O estado catarinense se enquadra nesse contexto, uma vez que 56% dos seus municípios possuem população inferior a 10.000 habitantes (IBGE, 2010). Além disso, possui atividade agropecuária distribuída pelo seu território, incluindo atividades de extração vegetal, silvicultura, produção orgânica, produção vegetal e produção animal. Apesar de não possuir clima árido ou semiárido, Santa Catarina já apresentou períodos de estiagem, o que gerou impactos negativos na produção de alimentos e energia, bem como aumentou a preocupação em reduzir o consumo de água a fim de proporcionar segurança e estabilidade à sua produção e abastecimento de água e alimentos. Com relação ao atendimento urbano por rede coletora de

esgotos, Santa Catarina se situa na faixa entre 20 e 40% de cobertura (BRASIL, 2018). Ademais, é importante ressaltar a expertise do Estado Catarinense na utilização de dejetos suínos na agricultura, principalmente na região oeste, prática esta que é licenciável e que já apresenta conhecimento de dosagens para diferentes culturas agrícolas.

Portando, a contribuição do estudo do potencial de aplicação de subprodutos do saneamento catarinense na agricultura transcende os benefícios relacionados à disponibilidade de água de irrigação e consequente produção de alimento, pois também traz a disposição de esgoto tratado no solo, indo ao encontro da abordagem multi barreiras de disposição proposta pela OMS.

Contudo, é importante apontar a ausência de instrumentos legais atualizados e com embasamento científico provendo parâmetros de qualidade mínimos regendo a prática do reciclo de subprodutos do saneamento em solo brasileiro, fato que acaba por impossibilitá-la. Porém, legislações brasileiras recentes vão ao encontro desta importância do reciclo de subprodutos do saneamento. O Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), por meio da Portaria MCTIC nº 1.122, de 19 de março de 2020, estabeleceu como prioritários os projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovações voltados para o desenvolvimento sustentável e para a qualidade de vida, no que tange o tratamento da poluição, a preservação ambiental, saúde, saneamento básico, segurança hídrica, e tecnologias assistivas.

Além disso, a Lei 14.026 de 15 de julho de 2020 (BRASIL, 2020), que atualizou o Marco Legal do Saneamento Básico, traz de forma marcante e repetitiva o termo “reúso”. Contudo, cabe ressaltar que o novo marco legal do saneamento básico aborda o reúso dos efluentes sanitários tratados em conformidade com as normas ambientais e de saúde pública.

A complexidade da composição dos efluentes dificulta uma análise simplificada no que diz respeito ao seu reciclo ou lançamento na natureza. Portando, a introdução dos princípios da avaliação de risco em estudos de potencial de reciclo pode contribuir na proposição de parâmetros mínimos de qualidade do efluente tratado, bem como sugerir boas práticas para que tal atividade seja realizada de forma segura, além de auxiliar no processo de tomada de decisão.

Nesta tese, destaca-se como cientificamente relevante o estudo da demanda por água de irrigação agrícola, a avaliação quantitativa e qualitativa do potencial de uso da produção atual e futura de esgoto tratado na agricultura, bem como a utilização de princípios de avaliação de risco e identificação de localidades com alto potencial, juntamente com a proposição de melhorias para possibilitar a prática do reúso. A metodologia utilizada, apesar de aplicada à um estado em específico, pode ser adaptada para outras localidades, permitindo a replicação deste tipo de estudo, uma vez que este deve ser feito com base em informações locais. Além disso,

os resultados obtidos abrem portas para estudos futuros e mais específicos das localidades de alto potencial identificadas.

Destaca-se também o potencial, muitas vezes não explorado, dos dados presentes em bases de dados do governo federal, dos estados e demais agências públicas utilizados nessa tese, uma vez que são fontes de dados secundários que permitem a realização de pesquisas de maior escala, as quais auxiliam, complementam e contextualizam estudos em escalas menores.

Salienta-se por último a relevância social deste e outros tipos de estudos relativos ao potencial de reúso de subprodutos do saneamento, uma vez que tocam a conservação de água, produção de alimentos, saúde pública e todas as demais frentes sociais que o acesso ao saneamento atinge, indo ao encontro do objetivo 6 do desenvolvimento sustentável, o qual visa garantir disponibilidade e manejo sustentável da água e saneamento para todos.

3 HIPÓTESE E OBJETIVOS

3.1 HIPÓTESE

O estado de Santa Catarina pode usufruir da aplicação dos princípios do saneamento sustentável de forma segura, no que tange o reciclo de esgoto tratado na irrigação agrícola.

3.2 OBJETIVOS

Objetivo Geral: Avaliar o potencial do reciclo agrícola de esgoto tratado no estado de Santa Catarina em termos quantitativos e qualitativos.

Objetivos específicos:

- a) Inventariar as culturas agrícolas produzidas no estado de Santa Catarina que necessitam de irrigação e a suas respectivas demandas por água;
- b) Avaliar a disponibilidade quantitativa de esgoto tratado para dois cenários (atual e futuro) e prospectar localidades e culturas com alto potencial de aplicação do reuso no estado de Santa Catarina;
- c) Avaliar a disponibilidade qualitativa de esgoto tratado para dois cenários (atual e futuro) em termos de carga orgânica e microbiológica;
- d) Estimar os riscos associados ao reuso agrícola com base na geração de tempo de incapacidade (DALYs) e propor medidas e estratégias que reduzam os riscos envolvidos.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 SANEAMENTO FOCADO EM RECURSOS

Apesar de ser um conceito recente, o saneamento focado em recursos, também chamado de saneamento ecológico ou *ecological sanitation*, acompanha o ser humano desde os seus primórdios, uma vez que anteriormente ao surgimento das cidades o homem lidava com as excretas de maneira natural, as quais geralmente eram enterradas. Contudo, o aumento populacional e a urbanização levaram à necessidade de remover as excretas das cidades utilizando a água como veículo de transporte. Desse modo, surgiu o conceito do saneamento convencional, com tecnologias centralizadas e de “fim de tubo”, utilizadas para tratar grandes volumes de esgoto e propiciar a devida remoção de matéria orgânica e nutrientes, as quais costumam requerer grandes investimentos e possuir custos de operação elevados (LANGERGRABER; MUELLEGGER, 2005).

O crescimento populacional trouxe consigo o aumento da demanda por água e alimentos, bem como a maior geração de subprodutos do saneamento, os quais hoje são dispostos no meio ambiente e muitas vezes geram impactos negativos (DRANGERT et al., 2018). Além disso, as necessidades criadas pelo aumento da população levam à exploração de recursos naturais, como alguns nutrientes, os quais não são totalmente removidos pelos processos de tratamento de efluentes (SHEPHERD et al., 2016) e possuem alto potencial poluidor caso sejam dispostos no meio ambiente de forma inadequada (SIMHA et al., 2017).

Tendo isso em vista, o saneamento convencional tem sido alvo de estudos e críticas, uma vez que no seu contexto os subprodutos de nossas atividades cotidianas são considerados como resíduos, baseando-se na lógica do afastamento e da transferência de responsabilidade (PHILIPPI et al., 2007). Nesse viés, autores também comentam que pesquisas acerca do saneamento focado em recursos surgiram da necessidade de mudança de comportamento frente às ações humanas de base insustentável na área do saneamento.

Magri (2013) elenca como alguns dos princípios do saneamento focado em recursos a diminuição da poluição ambiental causada pelas excretas humanas e a consequente prevenção de doenças, a consideração das excretas humanas como recurso, a possibilidade de recuperação dos nutrientes presentes nas excretas e a sua aplicação como fertilizante e condicionante de solos, a diminuição da utilização de água no transporte das excretas e o uso de sistemas descentralizados para o gerenciamento e logística dos subprodutos gerados a partir das atividades humanas. Os estudos realizados por Courault et al. (2017), Moazeni et al. (2017),

Clarke et al. (2017), Simha et al. (2017), Owamah et al. (2014) e Chandrasekaran et al., (2018) vão ao encontro destes apontamentos, indicando os benefícios da reciclagem dos subprodutos do saneamento para o setor alimentício, uma vez que estes apresentam nutrientes.

Portanto, enquanto o sistema convencional possui uma visão centralizadora, utilizando a água como meio de transporte e considerando as excretas como resíduos, o saneamento focado em recursos busca segregar, reciclar e reduzir o consumo de água, além de ter uma abordagem descentralizada e focada no tratamento *in loco* do esgoto sanitário (SCHÖNNING, 2004). Tendo isso em vista, os compostos que são considerados como contaminantes no sistema convencional se apresentam como uma oportunidade de reaproveitamento no saneamento focado em recursos, como afirmam Wielemaker et al. (2018) e Drangert et al. (2018). Tal abordagem vem ao encontro do alcance da universalização na pluralidade de cenários brasileiros, principalmente no caso da realidade de estados com muitos municípios de pequeno porte, como é o caso do Estado catarinense.

No entanto, apesar dos benefícios da reutilização dos subprodutos do saneamento, esta prática é limitada e até proibida em determinados locais, como é o caso da Suíça, tendo em vista as incertezas a respeito dos possíveis efeitos negativos na saúde humana (COURAULT et al., 2017; CLARKE et al., 2017). A maior preocupação diz respeito à presença de patógenos no efluente. Ainda que a maioria desses microrganismos seja removida durante o processo de tratamento, alguns são mais resistentes e podem permanecer no efluente mesmo após o seu tratamento (MOAZENI et al., 2017).

Os estudos realizados por Julian et al. (2018) e Courault et al. (2017) apontam os diversos patógenos encontrados nas excretas humanas, sendo eles: *Escherichia coli*, *Salmonella* spp., rotavírus, norovírus, hepatite A e E, poliovírus e *Campylobacter* spp. Simha et al. (2017) concordam com os autores apresentados anteriormente, e apontam também a presença de ovos de helmintos.

No entanto, Owamah et al. (2014) comenta que os riscos inerentes à utilização dos subprodutos do saneamento não devem ser vistos como impedimentos à sua utilização, mas sim como fatores que devem ser estudados, compreendidos e gerenciados a fim de exercer a prática do reciclo e garantir a saúde humana e ambiental de forma concomitante. Nesse contexto, Moazeni et al. (2017) e Clarke et al. (2017) destacam a importância da análise dos riscos associados à presença de patógenos nos subprodutos do saneamento, a fim de garantir a reutilização segura desses compostos, sem causar efeitos prejudiciais aos indivíduos e ao meio ambiente.

4.2 REÚSO NÃO POTÁVEL DE ESGOTO TRATADO

O reúso de esgoto pode ser classificado como reúso indireto não planejado, reúso indireto planejado e reúso direto planejado (Telles & Costa, 2007). Segundo os autores, o reúso indireto não planejado é caracterizado pelo despejo e conseqüente diluição de esgoto, tratado ou não, em um corpo receptor e a sua posterior coleta e uso a jusante, de maneira não intencional e não controlada. Já no reúso indireto planejado, o despejo e diluição de efluente tratado é realizado de maneira controlada, atendendo a algum benefício. Por fim, o reúso direto planejado ocorre quando o esgoto tratado é enviado diretamente para o seu local de reúso, como o ocorrido, por exemplo, na irrigação de agricultura com esgoto tratado.

A prática do reúso de esgoto tratado em larga escala pode ser encontrada nas zonas áridas e semiáridas das regiões oeste e sudoeste dos Estados Unidos, bem como nos estados da Flórida e Carolina do Sul. Seguindo o princípio da precaução, a aplicação da água de reúso é majoritariamente para fins nobres não potáveis, como irrigação de agricultura e gramados, recarga de aquíferos e outros usos industriais.

A difusão desse tipo de prática é prejudicada principalmente pela falta de regulação, conhecimento técnico e compreensão pública. No cenário global, as manifestações mais proeminentes direcionadas a suprir essa necessidade encontram-se nos documentos da OMS, Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) e da Austrália (EPA), além das legislações individuais de países europeus, os quais definem guias para a elaboração de normativas e critérios relacionados ao reúso de água. De maneira geral, estes documentos reafirmam a importância da elaboração de políticas para explorar o potencial do reúso de maneira a garantir a proteção da saúde pública, além de fornecer informações técnicas e metodológicas como subsídio para que cada local possa desenvolver suas próprias diretrizes legais.

4.2.1 ASPETOS LEGAIS RELACIONADOS AO REÚSO DE ESGOTO TRATADO: WHO (2006)

A irrigação agrícola com esgoto tratado é regida por diferentes legislações propostas por diferentes organizações e governos, de forma a garantir consistência no processo de tomada de decisão. As recomendações da OMS acerca do uso seguro de esgoto, excretas e águas cinzas apresentam uma série de volumes com indicações de boas práticas, sendo o Volume 1 sobre políticas e aspectos regulatórios. Esta revisão abordará, de forma resumida, informações

apresentadas em WHO (2006). Sugere-se acessar o documento original para ter acesso à mais informações.

Estudos baseados nos princípios da Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico (AQRM) foram utilizados para apresentar e estudar o risco associado à prática de irrigação e adubação de culturas agrícolas com esgoto tratado e excretas, tendo em vista diferentes cenários de exposição. Exemplos de alguns resultados alcançados estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Resumo dos resultados da AQMR para infecção por rotavírus⁽¹⁾ para diferentes exposições

Cenário de exposição	Qualidade da água (E. coli em 100 mL de esgoto ou 100g de solo)	Risco médio por pessoa por ano	Critérios utilizados
Irrigação irrestrita			
Alface	$10^3 - 10^4$	10^{-3}	Consumo de 100g alface cru por pessoa a cada 2 dias 10 – 15 mL de esgoto remanescentes em 100g de alface após irrigação
Cebola	$10^3 - 10^4$	5×10^{-2}	Consumo de 100g de cebola crua por pessoa por semana em 5 meses 1 – 5 mL de esgoto remanescentes em 100g de cebola após irrigação
Irrigação restrita			
Agricultura Altamente Mecanizada	10^5	10^{-3}	100 dias de exposição anuais 1 – 10 mg de solo consumidos por exposição
Agricultura de Trabalho Manual	$10^3 - 10^4$	10^{-3}	150 – 300 dias de exposição anuais 10 – 100 mg de solo consumidos por exposição

Legenda: 1 – Riscos para Campylobacter e Cryptosporidium são inferiores. 2 – Esgoto não desinfetado.
Fonte: WHO (2006).

De acordo com WHO (2006), o risco de contaminação dos envolvidos na agricultura e consumidores de culturas irrigadas com esgoto tratado reduzem significativamente quando seguidos determinados níveis mínimos de qualidade, juntamente com os agricultores utilizando equipamentos de proteção individual (EPI) e praticando boa higiene pessoal, bem como consumidores higienizando corretamente os produtos antes de consumi-los.

As recomendações de qualidade mínima de esgoto tratado para irrigação agrícola sugeridos por WHO (2006) objetivam assegurar DALY (*disability-adjusted life years*) inferior à 10^{-6} por pessoa por ano. Tal parâmetro foi introduzido pela OMS em 1993, o qual calcula o tempo de vida perdido devido à prática da atividade de risco em questão, quando comparado a uma vida livre de doença. Tendo isso em vista, a OMS recomenda os padrões de qualidade apresentados na Tabela 2, considerando diferentes cenários e tipos culturas agrícolas.

Tabela 2 – Tipos de agricultura e seus respectivos padrões de qualidade para uso de esgoto tratado na irrigação

Tipo de Irrigação	Redução de patógenos necessária através de tratamento (unidades log)	Nível de monitoramento de verificação (E. coli por 100 mL)	Observações
Irrestrita	4	$\leq 10^3$	Culturas de raízes
	3	$\leq 10^4$	Culturas de folhas
Restrita ⁽¹⁾	3	$\leq 10^4$	Agricultura de trabalho manual (considerando adultos e crianças menores de 15 anos)
	2	$\leq 10^5$	Agricultura altamente mecanizada

Legenda 1 – Irrigação restrita é caracterizada pelo aproveitamento de esgoto para cultivar culturas que não são comidas cruas por humanos.

Fonte: WHO (2006).

Por fim, OMS afirma que diferentes localidades podem e devem estabelecer critérios próprios que se encaixem nos seus próprios contextos, e recomenda, de forma geral, qualidade mínima para irrigação irrestrita de 1000 E. coli/1000 mL. Além disso, indica a possibilidade de utilização de boas práticas para aumentar a segurança do consumo de culturas irrigadas com esgoto tratado, como, por exemplo, desinfecção, descasque, lavagem e cozimento do produto, as quais podem reduzir logs de concentração de bactérias.

4.2.2 ASPETOS LEGAIS RELACIONADOS AO REÚSO DE ESGOTO TRATADO NO BRASIL

O Brasil não possui uma lei nacional atual direcionada especificamente à regulamentação do reúso de águas. O documento de referência nacional mais relevante é a NBR 13969/97, que dita as classes de água de reúso conforme o seu uso final e o contato com o usuário. Os padrões de qualidade determinados pela NBR 13969/97 para diferentes classes de água de reúso são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Padrões de qualidade para diferentes classes de água de reúso segundo a NBR 13969/97.

Parâmetro	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
DBO ₅ (mgL ⁻¹)	-	-	-	-
pH	6,0 – 8,0	-	-	-
SST (mgL ⁻¹)	< 200,0	-	-	-
Cloro residual (mgL ⁻¹)	0,5 – 1,5	> 0,5	-	-
Turbidez (NTU)	< 5,0	< 5,0	< 10,0	-
Coliformes Fecais (NMP100mL ⁻¹)	< 200,0	< 500,0	< 500,0	< 5000,0
Principais aplicações	Contato direto com o usuário: lavagem de carros, chafarizes.	Lavagens de pisos, calçadas e irrigação de jardins.	Descarga de vaso sanitário.	Irrigação ⁽¹⁾ de pomares, cereais, forragens, pastagens.

Legenda: 1 – Oxigênio dissolvido acima de 2,0 mg/L: as aplicações devem ser interrompidas pelo menos 10 dias antes da colheita.

Fonte: ABNT (1997)

Contudo, legislações brasileiras recentes vão ao encontro da importância do reúso ou reciclo de subprodutos do saneamento. O Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), por meio da Portaria MCTIC nº 1.122/2020, estabelece como prioritários os projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovações voltados para o desenvolvimento sustentável e para a qualidade de vida, no que tange o tratamento da poluição, a preservação ambiental, saúde, saneamento básico, segurança hídrica e tecnologias assistivas.

Além disso, a Lei 14.026/2020, que atualiza o Marco Legal do Saneamento Básico, traz de forma marcante e repetitiva o termo “reúso”. Contudo, cabe ressaltar que o novo marco legal do saneamento básico aborda o reúso dos efluentes sanitários tratados em conformidade com as normas ambientais e de saúde pública. Tendo isso em vista, é importante apontar a ausência de instrumentos legais atualizados e com embasamento científico regendo a prática do reúso em solo brasileiro, fato que acaba por impossibilitar tal prática. Contudo, estudos de potencial de reúso e avaliação de risco podem contribuir para a proposição de parâmetros mínimos de qualidade de efluente tratado, bem como sugerir boas práticas para que tal atividade seja realizada de forma segura.

4.3 ANÁLISE DE RISCO

A análise de risco é uma ferramenta de auxílio à tomada de decisão, utilizada atualmente em setores e áreas variadas, como na economia, engenharia, gerenciamento de projetos, saúde humana, meio ambiente, entre outros. A análise de risco funciona como uma abordagem sistemática e preventiva ao risco, através da qual é possível minimizar, controlar e até evitar os riscos (HAAS et al., 2014).

Por apresentar resultados com embasamento científico, esta metodologia auxilia nas tomadas de decisões que buscam orientar as medidas de controle, intervenção e avaliação dos impactos decorrentes das ações realizadas (RAZZOLINI; NARDOCCI, 2006).

4.3.1 ANÁLISE QUANTITATIVA DE RISCO MICROBIOLÓGICO (AQRM)

A AQRM consiste na aplicação dos princípios da análise de risco em contextos microbiológicos com o objetivo de estimar os efeitos à saúde humana decorrentes da exposição a microrganismos infecciosos em diferentes cenários (HAAS et al., 2014).

A metodologia da AQRM é apoiada pela OMS e é descrita no documento *Quantitative Microbial Risk Assessment: Application for Water Safety Management*, publicado em 2016. De acordo com a definição apresentada, a AQRM é uma abordagem que combina diversos conhecimentos científicos com conhecimentos estatísticos, permitindo assim uma análise consistente a respeito dos riscos existentes em um determinado cenário de exposição (WHO, 2016).

A aplicação da AQRM no estudo do potencial de reciclo de esgoto tratado na agricultura é essencial para evitar qualquer adição excessiva de risco à saúde dos trabalhadores em campos agrícolas irrigados com esgoto tratado, bem como aos consumidores finais dos produtos provenientes desses locais (Barbagallo et al., 2012). O primeiro estudo que utilizou AQRM no reciclo de esgoto tratado na agricultura foi realizado por Shuval et al. (1997). De acordo com as recomendações de WHO (2006), a implementação de medidas de pós tratamento, como por exemplo, lavagem, desinfecção e descasque dos alimentos, podem reduzir o risco microbiológico associado ao consumo de alimentos irrigados com esgoto tratado em até 5 logs.

A metodologia da AQRM é dividida em quatro etapas: identificação do perigo, avaliação da exposição, modelo dose-resposta e caracterização do risco. As descrições simplificadas de cada uma dessas etapas estão apresentadas nos tópicos a seguir, de modo a

contextualizar conceitos e descrever a metodologia aplicada pelos autores tomados como referência ao longo da revisão bibliográfica, metodologia e discussão dos resultados desta tese.

i. Identificação do perigo

A identificação do perigo é a primeira etapa da metodologia da AQRM e tem como principal objetivo identificar o agente microbiológico que será analisado, as doenças associadas a este microrganismo e a sua relevância em termos de saúde pública.

Para realizar essa etapa, é necessário buscar na literatura estudos microbiológicos que contenham as informações necessárias para a caracterização do microrganismo em questão (patogenicidade, virulência, infecciosidade) e também estudos epidemiológicos que apresentem a resposta humana ao contato com esses microrganismos, as doenças associadas a cada um deles e a severidade dessas patologias (HAAS et al., 2014).

ii. Avaliação da exposição

A etapa de avaliação da exposição tem como objetivo determinar a população exposta ao risco (adultos, crianças ou imunocomprometidos), as rotas de exposição (ar, solo, água; ingestão, inalação, contato), o cenário de exposição e a distribuição da concentração dos microrganismos (WHO, 2016; HAAS et al., 2014).

A determinação do cenário de exposição possibilita definir o grau de contato entre o indivíduo e os microrganismos patogênicos. Inúmeros cenários de exposição podem ser avaliados, e cada um deles possui um grau de contato e uma frequência de exposição diferentes entre o indivíduo e o microrganismo (HAAS et al., 2014).

Definido o cenário de exposição, busca-se na literatura o volume médio de água ingerido durante cada atividade. Os volumes são estimados com base em estudos experimentais realizados com voluntários. Feito isso, a fim de estimar a dose ingerida pelo indivíduo, é necessário obter os dados de concentração dos microrganismos no local de análise. O recomendado é que os dados de concentração sejam determinados utilizando análises laboratoriais; no entanto, para alguns patógenos, o processo de quantificação é complexo e de alto custo. Nesses casos, recomenda-se utilizar dados de concentração encontrados na literatura, que apresentem o contexto mais similar possível ao cenário em análise (WHO, 2016).

iii. Modelo dose-resposta

Weir et al. (2017) comentam que a etapa de determinação do modelo dose-resposta é uma das principais etapas da AQRM. A escolha do modelo adequado é essencial para uma análise bem sucedida.

O modelo dose-resposta descreve a relação entre a dose de patógeno ingerida e os efeitos adversos que essa ingestão pode causar à saúde humana (HAAS et al., 2014). Os modelos são expressos através de funções matemáticas que descrevem a relação dose-resposta dos microrganismos, de forma que cada modelo é função de parâmetros que variam conforme as características específicas de cada microrganismo. Atualmente, diversos modelos dose-resposta já foram descritos, e para cada microrganismo há um modelo que melhor representa o seu comportamento.

Os modelos partem dos seguintes pressupostos: a presença de um único microrganismo patogênico é suficiente para iniciar um processo de infecção, e a sobrevivência de um determinado microrganismo dentro do hospedeiro é independente da sobrevivência de outro microrganismo que vive nas mesmas condições (WHO, 2016).

iv. Caracterização do risco

A etapa de caracterização de risco consiste na integração dos dados obtidos nas etapas anteriores com o objetivo de estimar a probabilidade de o risco acontecer, assim como a sua magnitude em relação à saúde humana. De acordo com Haas et al. (2014), durante a caracterização do risco todas as incertezas e variabilidades são levadas em consideração. As incertezas normalmente estão relacionadas ao modelo escolhido, aos parâmetros do modelo, ao volume de água ingerido e à concentração dos microrganismos. As variabilidades, por sua vez, estão relacionadas às características do indivíduo e do patógeno.

Para realizar essa análise, a simulação de Monte Carlo é utilizada, a qual consiste em uma ferramenta matemática que simula diversos cenários e distribuições de probabilidade e traz como resposta a curva de probabilidade de infecção para cada cenário.

Os resultados podem ser apresentados através de probabilidade de infecção, de doença ou de morte, ou ainda através do DALY, o qual expressa a quantidade de anos de vida perdidos em decorrência de problemas de saúde, incapacidade ou morte precoce, associados à contaminação microbiológica (HAAS et al., 2014; WHO, 2016).

4.3.2 ESTUDO DE CASO: RISCOS À SAÚDE ASSOCIADOS À IRRIGAÇÃO COM ESGOTO (MARA et al., 2007)

O estudo realizado por Mara et al. (2007) aplicou a AQMR e a simulação de risco de Monte Carlo para avaliar os riscos envolvidos na irrigação agrícola restrita e irrestrita com esgotos de diferentes qualidades, expressos em concentrações de E. coli. Este estudo de caso é apresentado de forma a exemplificar a aplicação dos princípios da AQRM na avaliação da segurança da prática de irrigação restrita e irrestrita, uma vez que as culturas avaliadas nesta tese se encaixam em categorias diferentes, pois algumas são comidas cruas, enquanto outras passam por processos de descasque e cozimento. Sugere-se acessar o documento original para ter acesso ao estudo completo.

O cenário de risco de irrigação restrita estudado por Mara et al. (2007) considerou a ingestão involuntária de solo contaminado por trabalhadores em campos irrigados com esgoto, bem como de crianças que possam vir brincar nesses locais. A quantidade de solo contaminado ingerida considerada foi igual a 100 mg por pessoa por dia de exposição, indo ao encontro dos estudos realizados por Haas et al. (1999) e WHO (2001). Além disso, estudou-se dois sub cenários. O primeiro sub cenário, denominado Agricultura Altamente Mecanizada, objetivou simular a realidade de países industrializados, os quais empregam maquinário na agricultura e os trabalhadores utilizam luvas durante o trabalho. O segundo sub cenário, denominado Agricultura de Trabalho Manual, buscou simular a realidade de países em desenvolvimento, onde raramente se utilizam tratores e os trabalhadores não utilizam luvas.

A AQMR do cenário de Agricultura Altamente Mecanizada calculou o risco por pessoa por ano ou *per person per year* (pppy) para rotavírus, campylobacter e cryptosporidium, resultante da ingestão de 1 – 10 mg de solo contaminado por esgoto por dia ao longo 100 dias por ano. A Agricultura de Trabalho Manual considerou os mesmos patógenos, mas com uma ingestão de 10 – 100 mg de solo contaminado por esgoto por dia ao longo de 300 e 150 dias por ano. A exposição de 300 dias buscou representar um trabalhador sem terra própria trabalhando dois dias por semana para três empregadores diferentes, enquanto a exposição de 150 dias representa uma pessoa trabalhando na sua propriedade durante 3 dias por semana. Cabe ressaltar que essas considerações buscaram representar o pior cenário possível, fazendo-se necessário avaliar as condições de trabalho de um determinado local em caso de adaptações. Para ambos os sub cenários de irrigação restrita, utilizou-se os seguintes critérios: 0,1–1,0 rotavírus e Campylobacter e 0,01– 0,1 oocistos de Cryptosporidium para 10^5 E. coli, tendo em vista estudos realizados em lagoas de estabilização no Brasil e no Quênia. Considerou-se a pior

situação possível, na qual não há morte de patógenos no solo, bem como que a concentração de *E. coli* em 100 mg de solo é equivalente a concentração em 100 mL de esgoto. As faixas de concentração estudadas foram adotadas de forma a simular diferentes qualidades de esgoto, incluindo esgoto não tratado, tratado, até os padrões impostos para irrigação restrita pela USEPA e USAID (2004) de ≤ 200 coliformes fecais em 100 mL e por State of California (1978) de ≤ 23 coliformes totais em 100 mL.

O cenário de risco de irrigação agrícola irrestrita estudou a irrigação de alface com esgoto, uma vez que esta é uma hortaliça comida crua. Considerou-se a ingestão de 100g de alface em dias alternados ao longo de 1 ano. Foram avaliados os mesmos patógenos: rotavírus, campylobacter e cryptosporidium. A AQMR foi realizada considerando-se os seguintes critérios: consumo de 100g de alface a cada 2 dias; 10 – 15 mL de esgoto remanescente na planta após a irrigação; 0,1–1 rotavírus e Campylobacter, e 0,01–0,1 oocistos para cada 10^5 *E. coli*; morte entre colheita e consumo entre 10^{-2} – 10^{-3} rotavírus e Campylobacter, e 0–0,1 oocistos.

Os autores discutem o nível de referência de risco tolerável apresentado por organizações internacionais, e a sua aplicabilidade no escopo da pesquisa. Nesse contexto, o risco de doença máximo recomendado pela OMS para irrigação agrícola com esgoto é de 10^{-3} pppy (WHO, 2004), o qual é o mesmo indicado para o consumo de água tratada. Os autores consideram esta recomendação excessivamente cautelosa, uma vez que representa a ocorrência de 1 caso de doença por pessoa em 1000 anos. Em uma comunidade, o valor de 10^{-3} indica que 0,1% da população irá adoecer por ano.

Tendo em vista que a incidência de doenças diarreicas em países desenvolvidos e em desenvolvimento são consideravelmente superiores (Tabela 4), os autores utilizaram o limite de 10^{-2} por pessoa por ano, indicando a probabilidade de uma pessoa ficar doente 1 vez em 100 anos, ou 1% da população em um ano, justificando que este valor ainda é cauteloso, uma vez que a incidência de doenças diarreicas global é entre 1 e 2 ordens de grandeza superior. Neste contexto, mesmo que todas as pessoas infectadas desenvolvam a doença, o que é altamente improvável, a média global passaria de 0,7 para 0,71 pppy, diferença a qual é insignificante e de difícil mensuração dentro da epidemiologia.

Os resultados relativos à irrigação restrita estão apresentados na Tabela 5, Tabela 6 e Tabela 7.

Tabela 4 – Incidência de doenças diarreicas em pppy no ano 2000 para diferentes faixas etárias

Grupo de países	Faixa etária (anos)		
	Todas as idades	0 – 4	5 – 80
Industrializados	0,2	0,2 – 1,7	0,1 – 0,2
Em desenvolvimento	0,8 – 1,3	2,4 – 5,2	0,4 – 0,6
Média global	0,7	3,7	0,4

Fonte: Mathers et al. (2002).

Tabela 5 – Irrigação restrita – Sub cenário Agricultura Altamente Mecanizada: risco médio associado à ingestão de solo contaminado com esgoto ⁽¹⁾

Qualidade do solo (E. Coli per 100g)	Risco médio de infecção (pppy)		
	Rotavírus	Campylobacter	Cryptosporidium
$10^7 - 10^8$	0.50	2.1×10^{-2}	4.7×10^{-4}
$10^6 - 10^7$	6.8×10^{-2}	1.9×10^{-3}	4.7×10^{-5}
10^6	2.2×10^{-2}	6.4×10^{-4}	1.5×10^{-5}
$10^5 - 10^6$	6.7×10^{-3}	1.9×10^{-4}	4.6×10^{-6}
10^5	1.5×10^{-3}	4.5×10^{-5}	1.0×10^{-6}
$10^4 - 10^5$	6.5×10^{-4}	2.3×10^{-5}	4.6×10^{-7}
$10^3 - 10^4$	6.8×10^{-3}	2.4×10^{-6}	5.0×10^{-8}
100 – 1000	6.3×10^{-6}	2.2×10^{-7}	$\leq 1 \times 10^{-8}$
10 – 100	6.9×10^{-7}	2.2×10^{-8}	-

Legenda: (1) 1 – 10 mg de solo contaminado por esgoto por dia ao longo 100 dias por ano; 0,1 – 1 rotavírus e Campylobacter e 0,01– 0,1 oocistos de Cryptosporidium para 10^5 E. coli.

Fonte: Mara et al. (2007).

Tabela 6 – Irrigação restrita – Sub cenário Agricultura de Trabalho Manual por 300 dias anuais: risco médio associado à ingestão de solo contaminado com esgoto ⁽¹⁾

Soll quality (E. Coli per 100g)	Risco médio de infecção (pppy)		
	Rotavírus	Campylobacter	Cryptosporidium
$10^7 - 10^8$	0.99	0.50	1.4×10^{-2}
$10^6 - 10^7$	0.88	6.7×10^{-2}	1.4×10^{-3}
$10^5 - 10^6$	0.19	7.3×10^{-3}	1.4×10^{-4}
10^5	4.3×10^{-2}	1.5×10^{-3}	3.0×10^{-5}
$10^4 - 10^5$	2.0×10^{-2}	7.0×10^{-4}	1.3×10^{-5}
10^4	4.4×10^{-3}	1.4×10^{-4}	3.0×10^{-6}
$10^3 - 10^4$	1.8×10^{-3}	6.1×10^{-5}	1.4×10^{-6}
100 – 1000	1.9×10^{-4}	5.6×10^{-6}	1.4×10^{-7}
10 – 100	2.0×10^{-5}	5.6×10^{-7}	1.4×10^{-8}

Legenda: (1) 10 – 100 mg de solo contaminado por esgoto por dia ao longo 300 dias por ano; 0,1 – 1 rotavírus e Campylobacter e 0,01– 0,1 oocistos de Cryptosporidium para 10^5 E. coli.

Fonte: Mara et al. (2007).

É possível observar que o risco do sub cenário Agricultura Altamente Mecanizada é levemente superior a 10^{-2} pppy para um solo com 10^6 E. coli em 100g de solo. Contudo, os riscos para Campylobacter e Cryptosporidium são consideravelmente inferiores (aproximadamente 10^{-3} – 10^{-5} pppy). Os resultados relativos ao sub cenário Agricultura de Trabalho Manual são similares, mas para valores de E. coli iguais a 10^5 em 100g de solo. Os

resultados indicam que o risco relativo ao uso de esgoto sem tratamento (10^7 – 10^8 E. coli em 100g de solo) é substancial, especialmente para o sub cenário Agricultura de Trabalho Manual, equivalentes a 0,99 pppy para rotavírus e 0,3 – 0,5 pppy para Campylobacter.

Tabela 7 – Irrigação restrita – Sub cenário Agricultura de Trabalho Manual por 150 dias anuais: risco médio associado à ingestão de solo contaminado com esgoto ⁽¹⁾

Qualidade do solo (E. Coli per 100g)	Risco médio de infecção (pppy)		
	Rotavírus	Campylobacter	Cryptosporidium
$10^7 - 10^8$	0,99	0,29	6.6×10^{-3}
$10^6 - 10^7$	0,65	3.1×10^{-2}	6.8×10^{-4}
$10^5 - 10^6$	9.9×10^{-2}	3.2×10^{-3}	7.2×10^{-5}
10^5	2.2×10^{-2}	6.4×10^{-4}	1.5×10^{-5}
$10^4 - 10^5$	9.6×10^{-3}	3.5×10^{-4}	6.8×10^{-6}
10^4	2.3×10^{-3}	6.5×10^{-5}	1.5×10^{-6}
$10^3 - 10^4$	9.6×10^{-4}	2.9×10^{-5}	7.0×10^{-7}
100 – 1000	1.1×10^{-4}	3.0×10^{-6}	7.0×10^{-8}
10 – 100	1.0×10^{-5}	2.9×10^{-7}	7.0×10^{-9}

Legenda: (1) 10 – 100 mg de solo contaminado por esgoto por dia ao longo 150 dias por ano; 0,1 – 1 rotavírus e Campylobacter e 0,01– 0,1 oocistos de Cryptosporidium para 10^5 E. coli.

Fonte: Mara et al. (2007).

Os resultados relativos ao cenário de irrigação agrícola irrestrita da cultura alface estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Risco médio associado a irrigação irrestrita de alface e posterior consumo humano ⁽¹⁾

Qualidade do esgoto (E.coli em 100 mL)	Risco médio de infecção (pppy)		
	Rotavírus	Campylobacter	Cryptosporidium
$10^7 - 10^8$	0,99	0,28	0,50
$10^6 - 10^7$	0,65	$6,3 \times 10^{-2}$	$6,3 \times 10^{-2}$
$10^5 - 10^6$	$9,7 \times 10^{-2}$	$2,4 \times 10^{-3}$	$6,3 \times 10^{-3}$
$10^4 - 10^5$	$9,6 \times 10^{-3}$	$2,6 \times 10^{-4}$	$6,8 \times 10^{-4}$
10^4	$2,2 \times 10^{-3}$	$1,3 \times 10^{-4}$	$4,5 \times 10^{-4}$
$10^3 - 10^4$	$1,0 \times 10^{-3}$	$2,6 \times 10^{-5}$	$3,1 \times 10^{-5}$
10^3	$2,0 \times 10^{-4}$	$5,6 \times 10^{-6}$	$1,4 \times 10^{-5}$
100 – 1000	$8,6 \times 10^{-5}$	$3,1 \times 10^{-6}$	$6,4 \times 10^{-6}$
10 – 100	$8,0 \times 10^{-6}$	$3,1 \times 10^{-7}$	$6,7 \times 10^{-7}$
1 – 10	$1,0 \times 10^{-6}$	$3,0 \times 10^{-8}$	$7,0 \times 10^{-8}$

Legenda: 1 – Consumo de 100g de alface a cada 2 dias. 10 – 15 mL de esgoto permanece da planta após a irrigação. 0,1 – 1 rotavírus e Campylobacter, e 0,01 – 0,1 oocistos para cada 10^5 E. coli. Morte entre colheita e consumo igual a 10^{-2} – 10^{-3} rotavírus e Campylobacter, e 0 – 0,1 oocistos.

Fonte: Mara et al. (2007).

Os autores observaram um risco de infecção por rotavírus de 10^{-2} pppy para esgotos com concentração de E. coli entre 10^4 e 10^5 , 10^{-3} pppy para esgotos com concentração de E. coli entre 10^3 e 10^2 , e 10^{-4} pppy para esgotos com concentração de E. coli inferior a 1000 E. coli em 100 mL. Estes resultados indicam que a recomendação da OMS para irrigação irrestrita

pode ser indevidamente cautelosa. Além disso, os autores trazem outras legislações os quais consideram altamente restritivas, como é o caso do Estado da Califórnia (1978) e USEPA e USAID (2004), que regulamentam, respectivamente, $\leq 2,2$ coliformes totais e resultado indetectável de *E. coli* em 100 mL, e comentam que tais valores são difíceis de serem alcançados e, em termos epidemiológicos, são de difícil justificativa, e acabam implicando na inviabilidade econômica de projetos.

Tendo em vista que os resultados de AQMR são majoritariamente teóricos, os autores realizaram estudos epidemiológicos em campo com escopos similares aqueles considerados na avaliação de risco realizada. Os autores discutem os resultados abordando as fragilidades do escopo definido e das ferramentas utilizadas, de forma a expressar a necessidade de cautela no momento de interpretar os resultados provenientes de estudos de AQMR, uma vez que a extrapolação de resultados por levar a sub ou superestimação de riscos. Isto se deve ao fato de que resultados de AQMR, quando confrontados com estudos epidemiológicos, podem apresentar diferenças de percentuais de infecção e doença, uma vez que as premissas de cada ferramenta diferem. Contudo, levando tais fragilidades em consideração, os autores indicam similaridade satisfatória entre os resultados provenientes da avaliação de risco e dos estudos epidemiológicos realizados em campo, e indicam a avaliação de risco como uma ferramenta apropriada para estudar parâmetros microbiológicos no reciclo de esgoto tratado na agricultura.

Além disso, Mara et al. (2007) sugerem modificações nas exigências de qualidade de esgoto para os tipos de irrigação e cenários estudados, e indicam a redução da recomendação da OMS relativa ao risco aceitável para irrigação restrita e irrestrita de 10^{-3} para 10^{-2} pppy, tendo em vista a incidência de doenças diarreicas na população em geral, conforme apresentado na Tabela 4.

Por fim, o risco aceitável adotado de 10^{-2} pppy foi alcançado para irrigação restritiva, considerando a ingestão de solo contaminado com concentrações de *E. coli* até 10^5 e 10^6 em 100 mL para os sub cenários Agricultura Altamente Mecanizada e Agricultura de Trabalho Manual, respectivamente. Contudo, a qualidade do esgoto deve ser aumentada para 10^4 *E. coli* em 100 mL quando crianças com menos de 15 anos são expostas. Tendo em vista o cenário de irrigação irrestrita, os autores indicam que a recomendação da OMS de ≤ 1000 *E. coli* em 100 mL poderia ser seguramente modificada para $\leq 10^4$ *E. coli* em 100mL quando não são plantadas colheitas comidas cruas e com parte comestível abaixo no solo. Contudo, caso a cultura seja comida crua e desenvolvida abaixo do solo, a recomendação de ≤ 1000 *E. coli* em 100mL é necessária.

4.4 ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DO POTENCIAL DE REÚSO DE ESGOTO TRATADO NA SICÍLIA (BARBAGALLO et al., 2012)

Tendo em vista os crescentes problemas de falta de água para a agricultura nos países mediterrâneos, Barbagallo et al. (2012) estudaram abordagens integradas de gerenciamento dos recursos hídricos da Sicília, na Itália, incluindo o reciclo de esgoto tratado na irrigação agrícola. As informações apresentadas nesse tópico foram extraídas dos autores em questão. Sugere-se acessar o documento original para ter acesso ao estudo completo.

Considerando a baixa pluviosidade das regiões costeiras mediterrâneas, e os consequentes impactos econômicos na agricultura provenientes da escassez de água, os autores estudaram a dinâmica da irrigação na região, e o potencial de utilizar esgoto tratado por diferentes tecnologias para suprir o déficit de água de irrigação agrícola.

A agricultura na Sicília era realizada, no momento do estudo, por 11 consórcios de irrigação que distribuíam água para 37 distritos. A área de irrigação máxima atendida era de aproximadamente 180.000 ha. Os volumes de água necessários eram retirados majoritariamente de rios e regulados por reservatórios artificiais.

O monitoramento realizado identificou a presença de 523 ETEs, sendo 259 em operação, 89 fora de operação, 32 abandonadas, 47 em construção e 96 planejadas pela administração pública. Essas ETEs atendiam majoritariamente pequenas e médias comunidades, com população inferior a 10.000 habitantes. Dentre as ETEs em operação, 49% serviam entre 2.000 e 10.000 habitantes, e 60% das ETEs planejadas iriam atender populações inferiores a 2.000 pessoas.

Os autores levantaram dados relativos à área irrigada, demanda por água de irrigação, e altitude para os distritos de irrigação presentes na área de estudo. Além disso, para cada ETE em operação ou construção, levantou-se dados de localização, elevação e volume anual de esgoto tratado. Além disso, selecionou-se apenas ETEs que atendiam mais que 5.000 habitantes; estavam em um nível de elevação superior ao distrito de irrigação mais próximo, ou com capacidade de bombeamento de 50 metros; e com distância máxima até o distrito de irrigação mais próximo seguindo cálculo em função da vazão de esgoto tratado. As ETEs que atendiam tais critérios foram consideradas para o estudo de potencial de reciclo de esgoto tratado na agricultura da região de estudo.

AQRM foi utilizada para estudar o risco à saúde dos humanos envolvidos no processo de produção agrícola, bem como aos consumidores finais dos produtos provenientes dos

possíveis locais irrigados com esgoto tratado. A avaliação de risco foi realizada considerando o efluente de 3 ETEs, as quais tratavam o esgoto proveniente de 100.000, 50.000 e 6.000 pessoas. Os resultados foram comparados com a legislação Italiana M.D. 185/03.

Os autores não incluíram critérios associados ao custo benefício econômico no estudo devido às particularidades de cada localidade, mas o reconhecem como fator fundamental e necessário no processo de planejamento e execução de projetos de reúso.

O volume estimado de esgoto tratado produzido por ETEs em operação girou em torno de 155×10^6 m³. Já para as ETEs em construção, estimou-se 48×10^6 m³. O volume total disponível em curto prazo correspondeu a 27% da necessidade de irrigação da área de estudo, a qual foi estimada em 750×10^6 m³ano⁻¹, levando em consideração os volumes fornecidos pelo consórcio de irrigação e fontes privadas de água. Os distritos irrigados pelos consórcios (necessidade de 230×10^6 m³ano⁻¹) apresentaram déficits de água de irrigação entre 1 e 60%, representando $0,1 \times 10^6$ m³ano⁻¹ e $40,5 \times 10^6$ m³ano⁻¹, respectivamente, com um déficit total igual a 68×10^6 m³ano⁻¹.

Com base nos critérios selecionados, 24 das 37 áreas de irrigação seriam aptas a receber esgoto tratado de 59 ETEs. O volume de esgoto tratado com potencial de ser utilizado foi de 87×10^6 m³ano⁻¹, enquanto o déficit de água nas áreas aptas foi de 65×10^6 m³ano⁻¹.

A avaliação de risco identificou a variação de E. coli desde valores nulos até 4×10^4 CFU por 100 mL para 2 das 3 ETEs avaliadas, as quais apresentaram concentrações de E. coli inferiores ao limite de 10 CFU 100 mL, imposto pela legislação italiana, em 25 e 14% das coletas realizadas. A outra ETE monitorada apresentou valores de E. coli desde nulos até 4×10^5 CFU 100 mL, com 30% das amostras analisadas apresentando concentrações de E. coli inferiores aos 50 CFU 100 mL em 80% das amostras requeridas para tratamentos naturais, tendo em vista a legislação vigente. Apesar dos valores de E. coli estarem comumente acima do permitido, o risco aceitável associado a infecções por rotavírus foi geralmente preservado.

Os autores indicam que os dados de AQMR mostraram que o esgoto tratado analisado poderia ser, dentro das condições experimentais consideradas, utilizado na irrigação de alimentos comidos crus, e indicam as orientações da OMS de pós tratamento e medidas pró-saúde, como, por exemplo, lavagem dos alimentos, desinfecção, descasque, e a morte natural dos patógenos desde a última irrigação. Além disso, recomendam que a AQMR inclua a prevenção de formação de biofilme nos canos de transporte de esgoto tratado até o local de irrigação.

5 METODOLOGIA

A metodologia utilizada para alcançar os objetivos propostos considerou critérios quantitativos, a fim de identificar localidades com maior demanda por água de irrigação e geração de esgoto tratado, bem como qualitativos, permitindo assim estimar a concentração de patógenos no efluente produzido e sugerir melhorias tanto nos processos de tratamento aplicados nas ETEs estudadas, bem como na atividade agrícola e no manuseio e preparo dos alimentos consumidos. A concepção geral desta tese está apresentada de forma visual na Figura 1. Os itens a seguir contêm o detalhamento do fluxograma metodológico apresentado na Figura 2.

Figura 1 – *Graphical Abstract* representando a avaliação do potencial de reciclo de esgoto tratado na agricultura de Santa Catarina

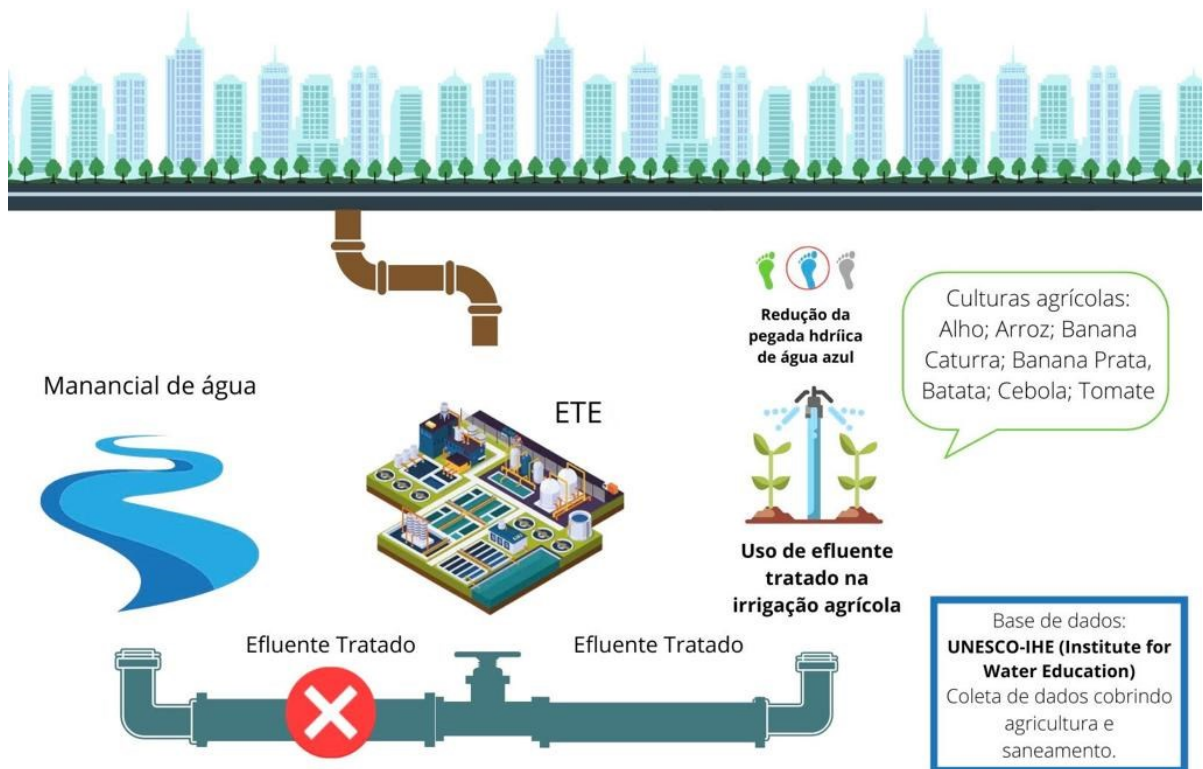
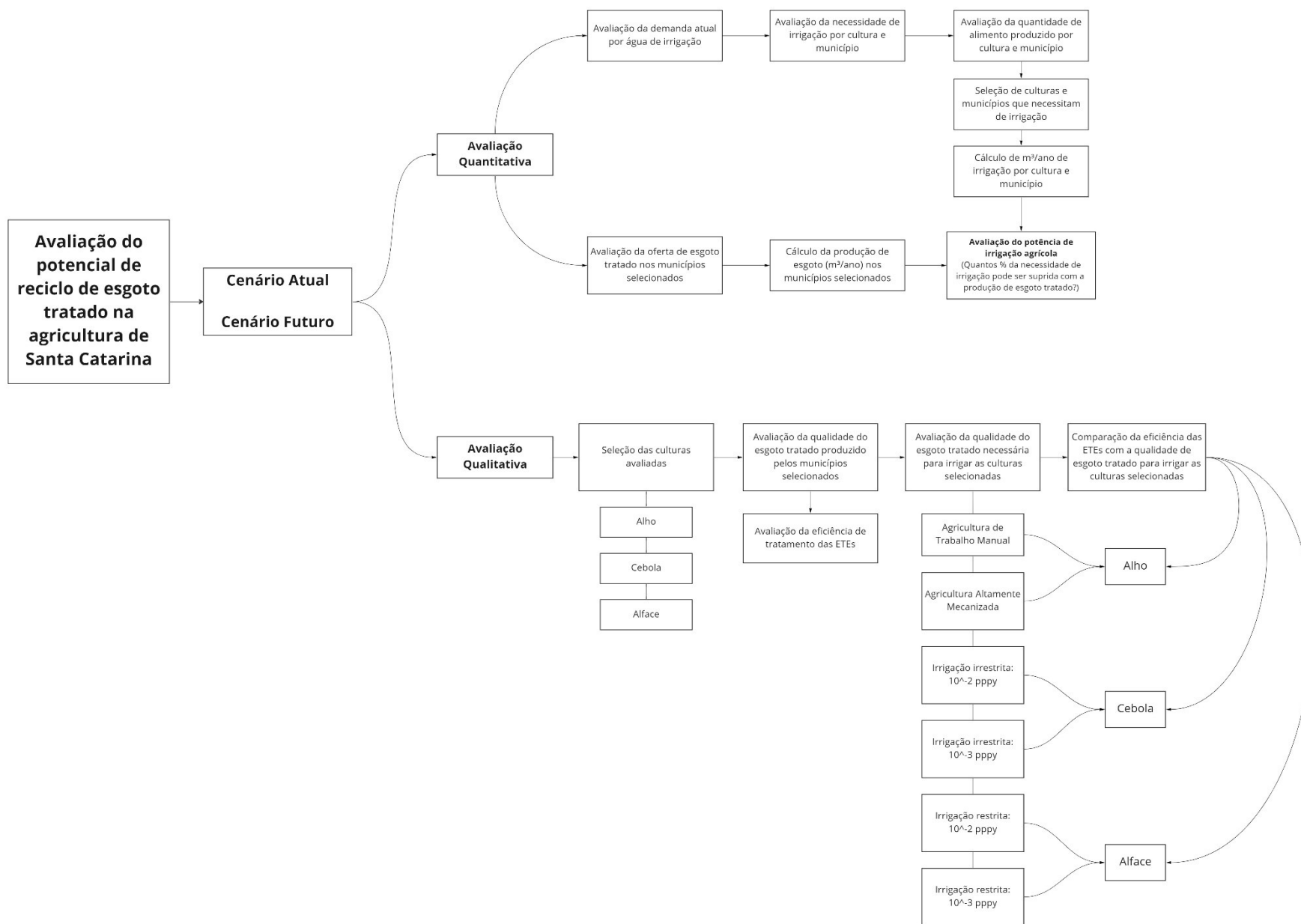


Figura 2 – Fluxograma metodológico



5.1 ÁREA DE ESTUDO: ESTADO DE SANTA CATARINA – BRASIL

O Estado de Santa Catarina está localizado no sul do Brasil, possuindo uma área de 95.736 km² e uma população atual superior a 7 milhões de pessoas. A atividade agropecuária está presente em grande parte de seu território, abrangendo desde a produção de bovinos, frangos e suínos, até a colheita de hortaliças, frutas e outras atividades correlatas, como o extrativismo vegetal e a pesca.

Apesar de não possuir clima árido ou semiárido, a área de estudo já apresentou períodos de estiagem, o que gerou impactos negativos na produção de alimentos e energia, bem como aumentou a preocupação em reduzir o consumo de água a fim de proporcionar segurança e estabilidade à sua produção e abastecimento de água.

Segundo IBGE (2017), a área de estudo contém 16.214 estabelecimentos agropecuários implicando em 167.243 ha de área irrigada. A irrigação por aspersão é o tipo de irrigação mais utilizado entre os estabelecimentos (38%), representando 13,7% da área total irrigada. A irrigação por inundação é o segundo tipo de irrigação mais utilizado entre os estabelecimentos (31,2%), correspondendo a 74,8% da área total irrigada.

Em relação ao saneamento, Santa Catarina possui entre 20 a 40% de cobertura de coleta de esgoto por meio de redes (BRASIL, 2019). De acordo com ANA (2013), o estado pretende aumentar o seu número de ETEs, tendo planejado tratamento secundário convencional e avançado como as soluções mais comuns previstas.

Portanto, dada a situação atual de irrigação, juntamente com potenciais investimentos futuros em saneamento, apresenta-se uma oportunidade que atende à abordagem multi barreiras proposta pela OMS para o descarte de esgoto tratado. No entanto, nem o Brasil nem o Estado de Santa Catarina possuem instrumentos legais atualizados com padrões mínimos de qualidade orientando a aplicação de efluentes tratados no solo, situação a qual traz incerteza e dúvida ao processo de tomada de decisão, desencorajando projetos inovadores. No entanto, a legislação recente traz mais atenção a este assunto, uma vez que estabelece como prioridade o desenvolvimento da inovação no saneamento e menciona a prática do reúso, desde que atenda às restrições ambientais e preocupações relativas à saúde pública (BRASIL, 2020).

5.2 ESTUDO DO POTENCIAL DE RECICLO DE ESGOTO TRATADO NA AGRICULTURA DE SANTA CATARINA

O estudo do potencial de reciclo de esgoto tratado na agricultura de Santa Catarina consistiu em dois principais pilares: avaliação da demanda por irrigação de culturas e avaliação de oferta quantitativa e qualitativa de esgoto tratado. Além disso, foi realizado um estudo do uso de irrigação na agricultura do estado. O procedimento de levantamento dos dados analisados e demais etapas realizadas nesta pesquisa estão descritos nos tópicos a seguir.

5.2.1 ESTUDO DO USO DE IRRIGAÇÃO NO ESTADO DE SANTA CATARINA

Esta etapa de estudo teve como objetivo contextualizar o uso de irrigação e os seus tipos em Santa Catarina. Tendo isso em vista, foram extraídos dados do Censo Agropecuário 2017: Tabela 6857 – Número de estabelecimentos agropecuários com uso de irrigação e Área irrigada dos estabelecimentos agropecuários, por tipologia e método utilizado para irrigação (IBGE, 2017).

Foram extraídos dados nacionais, bem como das grandes regiões e municípios listados para Santa Catarina, no que diz respeito ao número de estabelecimentos agropecuários com uso de irrigação, área irrigada e tipo de irrigação utilizado.

Os dados foram organizados na forma de gráficos para facilitar a sua interpretação, apresentando a utilização de irrigação e os seus diferentes tipos no estado catarinense.

5.2.1.1 AVALIAÇÃO DA DEMANDA POR ÁGUA DE IRRIGAÇÃO DE CULTURAS

A demanda por água de irrigação em Santa Catarina foi calculada tendo como princípio a correlação da quantidade de alimento produzida (toneladas) com os requisitos de água de irrigação para produzir uma unidade de peso de determinada cultura (m^3t^{-1}). Os subitens 5.2.1.1.1 e 5.2.1.1.2 apresentam, respectivamente, a metodologia utilizada para calcular a quantidade de alimento produzida e os requisitos de água de irrigação.

5.2.1.1.1 Avaliação da quantidade de alimento produzida

Foram pré-selecionadas 26 culturas agrícolas, das quais, os dados de 23 culturas vegetais foram extraídos das bases de dados do Infoagro da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI). Os dados das 3 culturas restantes, bem como outras informações acerca da irrigação e agricultura nacional e estadual foram retirados do relatório e planilhas do censo agropecuário realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). As culturas avaliadas e as informações extraídas destas bases de dados estão apresentadas na Tabela 9.

Os dados retirados do Infoagro da EPAGRI foram coletados através da seleção de todas as culturas vegetais e as suas respectivas safras disponíveis entre 2016 e 2020, e posterior extração para um arquivo externo à base de dados. O número de safras disponíveis nesse período variou entre culturas, sendo no total 4 (2016/17, 2017/18, 2018/19, 2019/20). A seleção deste intervalo de tempo vai ao encontro das datas de outras bases de dados utilizadas ao longo desta pesquisa.

Os dados do censo agropecuário (IBGE, 2017) utilizados foram extraídos dos relatórios e planilhas disponíveis ao público. As informações da cultura alface foram retiradas dos dados referentes à lavoura temporária, e a sua escolha deu-se pelo fato desta representar o maior número de estabelecimentos agropecuários desta categoria em Santa Catarina, totalizando 11.612, somando 18.347 toneladas produzidas, o que implica na sua produção descentralizada, equilibrando a centralização de outras culturas avaliadas nesse estudo. Ademais, as culturas Triticale (lavoura temporária) e Inhame (horticultura) também foram estudadas, uma vez que as informações apresentadas por Mekonnen e Hoekstra (2010) em relatório da UNESCO apontam a necessidade de irrigação destas duas culturas em Santa Catarina.

A Unidade de Gestão Técnica (UGT) de maior importância representa a principal região do Estado catarinense na produção de determinada cultura. Esta divisão foi apresentada nas bases de dados da EPAGRI, totalizando 10 no momento da coleta de dados dado o contexto desta pesquisa. Foi possível realizar essa avaliação apenas nos dados extraídos das bases de dados do Infoagro da EPAGRI.

Tabela 9 – Informações agrícolas das culturas pré-selecionadas para Santa Catarina entre os anos 2016 e 2020

Cultura	Área total plantada (ha)	Quantidade atual produzida (t) ⁽²⁾	Quantidade atual produzida (t ano ⁻¹) ⁽³⁾	UGT de maior importância	Fonte
Alface	⁽¹⁾	18347	18347	⁽¹⁾	IBGE (2017)
Alho	8540	72164	18041	UGT 10	EPAGRI (2020)
Arroz	438700	3469382	1156461	UGT 8	EPAGRI (2020)
Aveia	35180	40915	40915	UGT 1	EPAGRI (2020)
Banana-caturra	42137	1240296	620148	UGT 6	EPAGRI (2020)
Banana-prata	15087	231918	115959	UGT 8	EPAGRI (2020)
Batata	13123	344517	114839	UGT 2	EPAGRI (2020)
Cebola	78173	2134694	533673	UGT 5	EPAGRI (2020)
Cevada	4905	17749	4437	UGT 2	EPAGRI (2020)
Feijão 1a Safra	128694	247832	61958	UGT 1	EPAGRI (2020)
Feijão 2a Safra	75773	109347	27337	UGT 1	EPAGRI (2020)
Fumo	328225	697984	232661	UGT 5	EPAGRI (2020)
Inhame	⁽¹⁾	153	153	⁽¹⁾	IBGE (2017)
Maça Fuji	15372	543299	271649	UGT 3	EPAGRI (2020)
Maça Gala	14916	642715	321358	UGT 3	EPAGRI (2020)
Maça Precoce	899	25824	12912	UGT 10	EPAGRI (2020)
Milho Grão 1a Safra	998762	8407056	2802352	UGT 2	EPAGRI (2020)
Milho Grão 2a Safra	49080	290573	96858	UGT 9	EPAGRI (2020)
Milho Silagem	667798	28181225	9393742	UGT 9	EPAGRI (2020)
Soja	2012629	7226943	2408981	UGT 1	EPAGRI (2020)
Tomate	7126	493708	164569	UGT 10	EPAGRI (2020)
Triticale	170	638	638	⁽¹⁾	IBGE (2017)
Trigo	229110	682378	170594	UGT 1	EPAGRI (2020)
Uva comum	5493	86061	43031	UGT 10	EPAGRI (2020)
Uva de mesa	278	2342	1171	UGT 2	EPAGRI (2020)
Uva vinífera	765	3972	1986	UGT 3	EPAGRI (2020)

Legenda: (1) – Informações não apresentadas na base de dados consultada. (2) – Considera o número de toneladas produzidas em todas as safras apresentadas no período de tempo avaliado. (3) – Considera a quantidade anual total, calculada através da divisão da quantidade atual produzida pelo número de safras disponíveis dentro do período avaliado. UGT – Unidade de Gestão Técnica; UGT 1 - Oeste Catarinense; UGT 2 - Meio Oeste Catarinense; UGT 3 - Planalto Sul Catarinense; UGT 4 – Planalto Norte Catarinense; UGT 5 - Alto Vale do Itajaí; UGT 6 - Litoral Norte Catarinense; UGT 7 – Região Metropolitana; UGT 8 - Litoral Sul Catarinense; UGT 9 - Extremo Oeste; UGT 10 - Alto Vale do Rio de Peixe.

5.2.1.1.2 Avaliação da demanda de água de irrigação por cultura e município

Após estimar a quantidade anual produzida de cada cultura avaliada, buscou-se dados acerca dos requisitos de água para irrigá-las na área de estudo. Tendo isso em vista, foram extraídos dados do relatório principal e apêndices do documento da Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO) nomeado *The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products* (MEKONNEN; HOEKSTRA, 2010). A escolha desse documento ocorreu após extensa pesquisa em relatórios oficiais estaduais e nacionais brasileiros, bem como conversas com pesquisadores com experiência em agricultura e irrigação, culminando na conclusão de que há escassez de dados específicos acerca da quantidade de água necessária para irrigar culturas em diferentes regiões brasileiras. Tal fato é compreensível, uma vez que esses números não são fixos, nem no tempo ou para o tipo de alimento produzido, variando conforme o clima da região, as necessidades da planta e do tipo de solo. Todavia, para dar continuidade a esta pesquisa, fez-se necessária a extração de dados locais de um documento de uma organização com respaldo, a fim de proporcionar credibilidade às avaliações realizadas.

Tendo isso em vista, a escolha do relatório publicado pelo Instituto de Educação Hídrica da UNESCO (UNESCO-IHE *Institute for Water Education*) possibilitou reduzir tais fragilidades e centralizar a fonte de extração de dados, uma vez que Mekonnen e Hoekstra (2010) trazem um relatório detalhado da pegada hídrica de diferentes culturas cultivadas em diversos países e localidades, sendo uma delas especificamente o estado de Santa Catarina, além de considerar fatores como variações temporais e climáticas, tipo de solo, evapotranspiração, entre outros.

Mekonnen e Hoekstra (2010) dividem a água utilizada na agricultura em 3 tipos: verde, cinza e azul. A água verde representa a porção de água proveniente da precipitação que está reservada no solo. A água cinza é a água que se torna poluída devido a produção de alimentos, proveniente de, por exemplo, lixiviação de pesticidas, fertilizantes e afins. O volume de água cinza produzido pode ser calculado como o volume de água doce necessário para diluir o lixiviado a concentrações legalmente aceitáveis. Já a água azul representa a água utilizada na agricultura que está reservada em corpos hídricos superficiais e subterrâneos, sendo evaporada ou incorporada em um produto, ou retirada de um corpo hídrico e retornada para o mesmo ou outro, em um momento diferente. Segundo os autores, as culturas não irrigadas possuem volume de água azul igual a zero. Esta divisão entre água verde, cinza e azul vem sendo utilizada

por diferentes autores em estudos relacionados à pegada hídrica, como por exemplo, Seckler et al. (1998), Rost et al. (2008) e Hoekstra e Chapagain (2008).

Tendo isso em vista, este estudo considerou que a pegada hídrica de água azul de uma cultura é equivalente a quantidade de água de irrigação necessária, uma vez que esta vem para complementar o volume de água precipitado. Portanto, propor a utilização de esgoto tratado para suprir tais volumes de água azul utilizados nas culturas avaliadas impacta positivamente na redução dos impactos ambientais gerados pela agricultura, como por exemplo, a utilização de água potável na irrigação, redução do volume de corpos hídricos devido a bombeamento, contaminação do meio devido à lixiviação de compostos, entre outros. Ademais, cabe ressaltar que além dos benefícios decorrentes da redução do consumo de água, a prática proposta é uma forma de disposição de esgoto tratado que vai ao encontro da abordagem multi barreiras de disposição de efluentes proposta pela OMS.

O cálculo do consumo de água de irrigação de cada cultura avaliada foi realizado através da multiplicação das suas respectivas quantidades anuais produzidas pelos volumes de água azul apresentados por Mekonnen e Hoekstra (2010) para Santa Catarina, totalizando um volume anual. As culturas cevada e alface não apresentaram dados específicos para Santa Catarina, o que culminou nas suas exclusões da avaliação quantitativa. Contudo, a cultura alface foi mantida na avaliação qualitativa de uso de esgoto tratado na irrigação agrícola, devido a sua importância na agricultura descentralizada do estado, além da disponibilidade de informações em outras bases de dados. De acordo com IBGE (2017), a alface é a principal cultura produzida na horticultura catarinense, contando com 11.612 estabelecimentos, os quais produzem 18.347 toneladas anuais.

Uma vez calculado o consumo total de água para cada cultura, os dados das culturas arroz, cebola, alho, banana-caturra, batata, tomate e banana-prata foram avaliados para cada UGT e respectivo município produtor, utilizando-se os dados extraídos anteriormente do Infoagro (EPAGRI, 2020). As culturas triticales e inhame foram excluídas da avaliação devido aos baixos volumes de água necessários para a sua irrigação em SC. Os municípios produtores foram separados segundo a sua UGT, e ordenados em ordem decrescente de consumo de água de irrigação, o qual foi calculado de forma similar ao consumo total de água. Além disso, calculou-se o equivalente populacional para a água consumida na irrigação dessas culturas, visando facilitar a interpretação dos montantes de água calculados. Para isso, dividiu-se o valor equivalente em água ($\text{m}^3\text{ano}^{-1}$) pela média anual dos consumos domiciliares de água de 2016, 2017 e 2018 segundo o SNIS (BRASIL, 2018), resultando em um valor em habitantes. Os municípios produtores com consumo de água para a irrigação equivalente a menos que o

consumo de 1.000 habitantes por ano foram excluídos da avaliação. É possível observar esta organização de dados e os cálculos realizados na Tabela 10, a qual contém a planilha referente a cultura Alho, apresentada a título de exemplo.

Tabela 10 – Exemplo de organização de dados e racional de cálculo de demanda de água de irrigação para a cultura alho

UGT	Municípios	Área Atual Plantada (ha)	Quantidade Atual Produzida (t)	Quantidade Atual Produzida (t ano ⁻¹)	Rendimento Médio Atual (kg ha ⁻¹)	Equivalente em água (m ³ ano ⁻¹)	Equivalente populacional (hab)
UGT 2	Brunópolis	590	4.989,00	1.247,25	8.455,93	137.198	2.479
	Campos Novos	150	1.238,00	309,50	8.253,33	34.045	615
	Monte Carlo	131	1.058,00	264,50	8.076,34	29.095	526
	Joaçaba	5	40	10,00	8.000,00	1.100	20
Total			7.325,00	1.831,25		201.438	3.640
UGT 3	Ponte Alta	364	3.017,00	754,25	8.288,46	82.968	1.499
Total			3.017,00	754,25		82.968	1.499
UGT 4	Itaiópolis	1	9	2,25	9.000,00	248	4
Total			9	2,25		248	4
UGT 10	Curitibanos	3.170,00	27.255,00	6.813,75	8.597,79	749.513	13.545
	Frei Rogério	1.760,00	14.665,00	3.666,25	8.332,39	403.288	7.288
	Fraiburgo	1.350,00	11.275,00	2.818,75	8.351,85	310.063	5.603
	Lebon Régis	720	6.095,00	1.523,75	8.465,28	167.613	3.029
	Caçador	285	2.400,00	600,00	8.421,05	66.000	1.193
	Calmon	8	66	16,50	8.250,00	1.815	33
	Rio das Antas	6	56,5	14,13	9.416,67	1.554	28
Total			61.812,50	15.453,13		1.699.844	30.720

Legenda: UGT – Unidade de Gestão Técnica; UGT 2 - Meio Oeste Catarinense; UGT 3 - Planalto Sul Catarinense; UGT 4 - Planalto Norte Catarinense; UGT 10 - Alto Vale do Rio de Peixe.

Dessa forma, delimitou-se o escopo do estudo de potencial de reciclo de esgoto tratado na agricultura catarinense através da demanda por água de irrigação das 7 culturas irrigadas selecionadas (arroz, cebola, alho, banana-caturra, batata, tomate e banana-prata), em municípios nos quais o consumo anual de água para a irrigação é igual ou superior ao consumo equivalente de 1.000 habitantes. Tendo isso em vista, foram selecionados 85, 18, 7, 6, 2, 2 e 1 municípios que produzem, respectivamente, arroz, cebola, alho, banana-caturra, batata, tomate e banana-prata.

5.2.2 AVALIAÇÃO DA OFERTA DE ESGOTO TRATADO

Uma vez delimitado o escopo da demanda por água de irrigação das culturas selecionadas e os seus respectivos municípios produtores em Santa Catarina, fez-se necessário avaliar a oferta de esgoto tratado nas localidades estudadas. A oferta de esgoto tratado foi avaliada segundo 2 principais pilares: oferta quantitativa e oferta qualitativa. Estes pilares foram escolhidos tendo em vista a necessidade de avaliar se a quantidade de esgoto tratado produzido é suficiente para a demanda de irrigação calculada, bem como se possui qualidade adequada. Ademais, os resultados obtidos foram apresentados em formato de tabelas e mapas de forma a permitir a discussão de aspectos geográficos, como por exemplo, a potencial cooperação entre diferentes municípios. Além disso, foram utilizados dois cenários temporais: oferta atual de esgoto tratado, avaliada de acordo com dados de sistemas já implementados e operantes retirados do SNIS 2018 (BRASIL, 2018), Atlas Esgotos 2013 (ANA, 2013) e relatórios das agências reguladoras; e oferta futura de esgoto tratado, estimada de acordo com as previsões do Atlas Esgotos para 2035 (ANA, 2013).

5.2.2.1 AVALIAÇÃO QUANTITATIVA E QUALITATIVA DA OFERTA DE ESGOTO TRATADO: CENÁRIO ATUAL

O estudo da oferta atual de esgoto tratado foi feito por meio do diagnóstico do esgotamento sanitário dos municípios avaliados, o qual incluiu: tipo de prestador de serviço de saneamento, modelos de serviços ofertados e respectivas populações atendidas, e caracterização das unidades de tratamento de efluentes. Os dados utilizados foram extraídos das bases de dados do SNIS 2018 (BRASIL, 2018), Atlas Esgotos 2013 (ANA, 2013) e dos relatórios das agências reguladoras dos municípios estudados. O detalhamento metodológico utilizado está apresentado nos itens a seguir.

5.2.2.1.1 Diagnóstico do tipo de prestador de serviço de saneamento dos municípios que praticam irrigação

Após selecionar os municípios que irrigam as culturas avaliadas, extraiu-se as suas respectivas informações das planilhas de indicadores e informações de saneamento (abastecimento de água e esgoto) das bases de dados do SNIS 2018. Dessa forma, foi possível

identificar os principais tipos de prestadores que atendem as localidades onde as culturas selecionadas são cultivadas.

Parte dos municípios que praticam irrigação não apresentavam dados relativos aos seus sistemas de esgotamento sanitário. Em consequência, os municípios que apresentavam todos os indicadores e informações operacionais de esgotamento sanitário em branco foram excluídos da avaliação. Cabe ressaltar que a ausência de dados no SNIS não infere automaticamente na ausência de coleta e tratamento de esgotos. Contudo, tendo em vista que os prestadores de serviço são requisitados pelo SNIS a enviar os seus dados, a ausência destes indica o não envio das informações, ou outros pontos de melhoria de gestão necessários. Tendo em vista que esta avaliação busca levantar o potencial atual de reciclo de esgoto tratado, e tal prática depende da capacidade técnica e organizacional dos prestadores de serviço, considerou-se que o envio de informações ao SNIS era um requisito mínimo a ser cumprido. Dessa forma, os 25 municípios que cumpriram esse requisito foram mantidos na avaliação do cenário atual.

5.2.2.1.2 Diagnóstico do saneamento atual dos municípios selecionados que possuem tratamento de esgoto

Tendo em vista que os indicadores e informações operacionais de esgotamento sanitário apresentados pelo SNIS 2018 continham diversas células com valores iguais a zero, ou com dados esparsos, fez-se necessário buscar informações em outras bases de dados, uma vez que para avaliar as ofertas quantitativa e qualitativa é necessário ter acesso a dados de população atendida, vazões, tipologia de tratamento, entre outros.

Dessa maneira, deu-se início a um processo mais minucioso e individual de levantamento de dados dos municípios, através da consulta das bases de dados do Atlas Esgotos (ANA, 2013), o qual fornece dados gerais sobre a situação atual do saneamento dos municípios brasileiros, bem como através dos relatórios das suas agências reguladoras, os quais proporcionam dados complementares das ETEs em operação, não apresentados no Atlas Esgotos.

Cabe ressaltar que as vazões provenientes de sistemas individuais não foram consideradas no potencial de reciclo de esgoto tratado, tendo em vista a geração de pequenas vazões de qualidade variável e distribuídas em grandes áreas, além da complexidade envolvida na coleta de dados relacionados a esses sistemas.

Os dados extraídos do Atlas Esgotos 2013 referentes ao diagnóstico do saneamento atual dos municípios selecionados que possuem tratamento de esgoto estão listados a seguir.

- População Urbana
- Prestador de Serviço de Esgotamento Sanitário
- Índice sem atendimento - sem Coleta e sem Tratamento
- Índice de Atendimento por Solução Individual
- Índice de Atendimento com Coleta e sem Tratamento
- Índice de Atendimento com Coleta e com Tratamento
- Vazão - sem Coleta e sem Tratamento
- Vazão - sem Coleta e sem Tratamento
- Vazão - Solução Individual, Vazão - com Coleta e sem Tratamento
- Vazão Total
- Parcela da Carga Gerada em 2013 sem Coleta e sem Tratamento
- Parcela da Carga Gerada em 2013 Encaminhada para Solução Individual
- Parcela da Carga Gerada em 2013 com Coleta e sem Tratamento
- Parcela da Carga Gerada em 2013 com Coleta e com Tratamento
- Carga Gerada Total
- Parcela da Carga Lançada em 2013 sem Coleta e sem Tratamento
- Parcela da Carga Lançada em 2013 proveniente de Solução Individual
- Parcela da Carga Lançada em 2013 com Coleta e sem Tratamento
- Parcela da Carga Lançada em 2013 com Coleta e com Tratamento e Carga Lançada Total.

Dentre os 25 municípios selecionados, 9 deles apresentaram inconsistências quando comparados os dados do Atlas Esgotos 2013 com os dados do SNIS 2018, uma vez que os seus índices de atendimento com coleta e com tratamento apresentados no Atlas Esgotos eram iguais a zero. Tendo em vista que estes dois documentos possuem datas de publicação diferentes, estas discrepâncias foram verificadas individualmente, e mais detalhes foram buscados nos relatórios das suas agências reguladoras. Tendo isto feito, 3 destes municípios foram mantidos na avaliação, pois haviam implementado seus sistemas de coleta e tratamento no período entre as publicações do Atlas Esgotos e do SNIS 2018. Além disso, foi excluído um município que, apesar de possuir ETE, possuía sistema sem medidor de vazão e estava com licenças vencidas.

Os dados extraídos do Atlas Esgotos 2013 para os 18 municípios que permaneceram na avaliação estão listados no APÊNDICE 6 – Dados de vazão extraídos do Atlas Esgotos 2013 para as culturas e os seus respectivos municípios que irrigam culturas em Santa Catarina e APÊNDICE 7 – Dados de carga extraídos do Atlas Esgotos 2013 para as culturas e os seus respectivos municípios que irrigam culturas em Santa Catarina.

Tendo em vista os 18 municípios que permaneceram na avaliação, calculou-se a eficiência de remoção de carga de matéria orgânica do esgoto coletado para apresentar a eficiência de remoção global de carga de cada município, segundo os dados apresentados no Atlas Esgotos 2013.

Além disso, foi realizada pesquisa detalhada acerca das ETEs operantes nos municípios, levantando a vazão de operação ou projeto da ETE, utilizada para estipular qual o volume de esgoto tratado possível de ser produzido e auxiliar na avaliação da oferta quantitativa atual. Uma vez que essa pesquisa utilizou diferentes bases de dados, foram extraídos os maiores valores de vazão encontrados. Além disso, quando a vazão de projeto era superior a vazão de operação atual, considerou-se a vazão de projeto, uma vez que esta etapa deste estudo visou levantar o potencial de reciclo do esgoto tratado atualmente, tendo em vista a capacidade de tratamento instalada. Considerou-se a vazão de operação nos casos em que a vazão de projeto não era descrita na base de dados, ou quando a vazão de operação descrita em um documento mais atual era maior que a vazão de projeto descrita em um documento mais antigo. Ademais, a tipologia de tratamento utilizada nos sistemas pesquisados e a remoção medida, projetada ou adotada de DBO 5 dias, 20°C atribuídos às ETEs foram utilizadas para discutir a qualidade do efluente tratado.

Os dados necessários para tais procedimentos foram adquiridos através do acesso às bases de dados do Atlas Esgotos e relatórios das agências reguladoras dos municípios em questão.

Uma vez coletados e organizados, tais dados possibilitaram comparar a demanda atual de água de irrigação com a disponibilidade atual de esgoto tratado para cada um dos municípios estudados, tendo em vista cada cultura produzida. Foi possível avaliar o volume de esgoto tratado pelos municípios, além da qualidade do efluente produzido, e comparar estes dados com a demanda por água de irrigação das culturas produzidas em cada localidade.

Além disso, calculou-se o potencial de abastecimento agrícola atual, através da divisão entre a disponibilidade de esgoto atual e a demanda por água de irrigação atual, permitindo apresentar e discutir a porcentagem de cobertura potencial da demanda por água de irrigação com esgoto tratado.

5.2.2.2 AVALIAÇÃO QUANTITATIVA E QUALITATIVA DA OFERTA DE ESGOTO TRATADO: CENÁRIO FUTURO – 2035

Tendo em vista que grande parte dos municípios pré-selecionados inicialmente não apresentavam ETEs ou não se enquadraram nos critérios adotados, e por consequência, foram excluídos da avaliação de oferta de esgoto atual, realizou-se uma avaliação de oferta futura de esgoto tratado, seguindo metodologia similar àquela utilizada no estudo da oferta atual. Contudo, a coleta de dados foi realizada considerando apenas a base de dados do Atlas Esgotos da Agência Nacional de Águas (ANA) devido à maior disponibilidade de dados nesta base para o cenário futuro, englobando tanto os municípios avaliados, bem como as ETEs planejadas até 2035. O detalhamento metodológico utilizado está apresentado nos itens a seguir.

5.2.2.2.1 Diagnóstico do saneamento futuro dos municípios selecionados

Inicialmente, partiu-se do escopo do estudo de potencial de reciclo de esgoto tratado na agricultura catarinense através da demanda por água de irrigação das 7 culturas irrigadas selecionadas em municípios nos quais o consumo de água para a irrigação é igual ou superior ao consumo equivalente a 1.000 habitantes. Destes, 85, 18, 7, 6, 2, 2 e 1 produzem, respectivamente, arroz, cebola, alho, banana-caturra, batata, tomate e banana-prata (12 municípios produzem mais do que uma cultura no seu território).

Os dados extraídos do Atlas Esgotos 2013 referentes ao diagnóstico do saneamento futuro dos municípios selecionados estão listados a seguir. Os dados coletados estão apresentados nos ANEXOS 8–12.

- v. A coleta de dados na base de dados do Atlas Esgotos 2013 – Planejamento para 2035 para cada município selecionado cobriu População Urbana (2035)
- vi. Índice de Atendimento com ETEs Avaliado (2035)
- vii. Índice de Atendimento Solução Individual Avaliado (2035)
- viii. Carga Gerada Total em 2035, Carga Afluente ETE em 2035
- ix. Carga Efluente ETE em 2035
- x. Carga Afluente Solução Individual em 2035
- xi. Carga Efluente Solução Individual em 2035
- xii. População Atendida Estimada em 2035
- xiii. Investimentos em Coleta e Tratamento
- xiv. Necessidade de Remoção de DBO, e Tipologia de Solução/Tratamento.

Após a coleta de dados relativa ao saneamento dos municípios avaliados no cenário futuro, foram extraídos dados acerca das ETEs propostas para 2035 listados seguir e apresentados nos ANEXOS 13–18.

- Nome da ETE
- População Atendida
- Processo de referência
- Eficiência adotada
- Vazão afluyente (L/s)
- Carga afluyente (Kg DBO/dia)
- Carga lançada (Kg DBO/dia)
- Nome do corpo receptor do efluente tratado
- Vazão de referência do corpo receptor (L/s)
- Classe de enquadramento do corpo receptor adotada

Com estes dados, foi possível comparar a demanda atual de água de irrigação com a disponibilidade atual de esgoto tratado para os municípios estudados, tendo em vista cada cultura produzida. Além disso, realizou-se o cálculo do potencial de abastecimento agrícola futuro, através da divisão entre a disponibilidade de esgoto futura e a demanda por água de irrigação atual, permitindo avaliar a capacidade de expansão da atividade agrícola e a consequente demanda por água de irrigação.

5.2.2.2 Avaliação qualitativa do uso de esgoto tratado na agricultura: cenário 2035

A avaliação qualitativa realizada para o cenário futuro de reciclo de esgoto tratado na irrigação agrícola de SC seguiu os princípios aplicados e recomendações de WHO (2006), Mara et al. (2007) e Barbagallo et al. (2012), possibilitando assim discutir os riscos toleráveis de infecção e doença, apresentar a redução de patógenos necessária para alcançar riscos toleráveis e determinar como a redução de patógenos pode ser realizada. Esta abordagem tornou-se possível após o parâmetro DALY ser introduzido pela OMS em 1993, o qual calcula o tempo de vida perdido devido à prática da atividade de risco em questão, quando comparada a uma vida livre de doença.

Tendo em vista as bases de dados utilizadas nessa pesquisa e os dados nelas disponíveis, a avaliação qualitativa do potencial de aplicação de esgoto tratado na irrigação agrícola teve como objetivo central comparar a qualidade do efluente tratado proveniente das ETEs planejadas para 2035 com o risco apresentado por WHO (2006) para a prática de irrigação de diferentes tipos de agricultura com esgoto tratado, conforme apresentado nas etapas a seguir.

a) Definição dos valores de risco por pessoa por ano (pppy) adotados

Os valores adotados vão ao encontro dos estudos realizados por Mara et al. (2007) e apresentados por WHO (2006), estando entre 10^{-2} e 10^{-3} pppy. Dessa forma, foi possível avaliar cenários com diferentes níveis de restrição e regulação, simulando as diretrizes mais e menos conservadoras, no que diz respeito aos padrões de qualidade mínimos requeridos para a prática da irrigação agrícola com esgoto tratado.

b) Escolha das culturas avaliadas

É importante ressaltar que diferentes culturas possuem níveis distintos de restrição com relação a qualidade do efluente que pode ser utilizado na sua irrigação mantendo risco associado aceitável. Tendo em vista as culturas que necessitam de irrigação em SC, bem como os dados apresentados por WHO (2006) e Mara et al. (2007), escolheu-se as culturas cebola, alface e alho, tendo em vista a disponibilidade de dados ao seu respeito, bem como o fato de serem cultivadas próximo ou abaixo do solo, simulando a pior situação possível dentre as culturas avaliadas nessa pesquisa. Além disso, esta escolha permite avaliar diferentes tipos de irrigação (irrestrita e restrita). A cebola é a segunda cultura vegetal em termos de necessidade de irrigação em SC, com uma produção anual média de aproximadamente 533.673 toneladas. Após a cebola, o alho é a terceira cultura vegetal com maior necessidade de irrigação e produção de 72.123 toneladas anuais, porém, com requerimento de água por tonelada produzida aproximadamente 9 vezes superior a cebola, inferior apenas ao do arroz. Por fim, a alface é a hortaliça mais produzida na área de estudo, com 11.612 estabelecimentos agrícolas produzindo 18.347 toneladas anuais (IBGE 2017), sendo consumida crua por grande parcela da população

- c) Coleta de dados de concentração de bactérias no efluente das ETEs presentes nos municípios produtores das culturas selecionadas

Inicialmente, foram selecionadas as ETEs planejadas para o cenário futuro, segundo o Atlas Esgotos 2013 – Planejamento para 2035 (ANA, 2013), nos municípios produtores das culturas avaliadas (ANEXOS 13–18). Em sequência, os processos de tratamentos das ETEs propostas foram relacionados aos processos de tratamento de esgoto estudados por Von Sperling (2007), conforme apresentado na Tabela 11, permitindo assim utilizar os dados de eficiência e remoção apresentados pelo autor. Municípios com dados não disponíveis em uma ou ambas as bases de dados utilizadas foram excluídos da avaliação (ocorrido apenas na cultura alface, culminando na exclusão de 4 municípios de pequeno porte). A escolha de Von Sperling como referência deu-se devido a sua importância e experiência no âmbito da pesquisa do saneamento no Brasil.

- d) Definição dos cenários de avaliação qualitativa e discussão dos resultados

Após realizada a correlação dos processos de tratamento de esgotos apresentados pelos diferentes autores, dados de qualidade média do efluente e eficiência média de remoção de coliformes fecais (CF) foram utilizados para comparar a qualidade do efluente futuro produzido com as recomendações apresentadas por WHO (2006) e Mara et al. (2007) para diferentes cenários de exposição e risco de consumidores finais de culturas irrigadas com esgoto tratado, bem como agricultores em contato com o solo irrigado com efluente tratado. Considerou-se equivalência entre concentrações de CF e *E. coli* devido às limitações dos dados disponibilizados nas bases de dados utilizadas.

A avaliação qualitativa da irrigação irrestrita da cultura cebola considerou um cenário com pppy igual a 10^{-3} , que implica em uma concentração máxima de 10^3 *E. coli*/100mL no efluente utilizado na irrigação, indo ao encontro das recomendações de WHO (2006) e dos estudos epidemiológicos realizados por Mara et al. (2007), uma vez que a cebola se desenvolve abaixo do solo e pode ser ingerida crua pelos consumidores finais. Considerou-se os critérios de irrigação irrestrita apresentados na Tabela 1 para o consumo e irrigação de cebola (consumo de 100g de cebola crua por pessoa por semana ao longo de cinco meses e 1-5 mL de esgoto remanescente em 100g de cebola após irrigação).

A avaliação qualitativa da cultura alface considerou dois cenários de irrigação irrestrita. Uma vez que WHO (2006) recomenda concentração máxima 10^4 *E. coli*/100mL para culturas

como alface e repolho para garantir uma pppy de 10^{-3} e Mara et al. (2007) observaram o mesmo risco de infecção por rotavírus em concentrações entre 10^3 e 10^4 , o primeiro cenário avaliado seguiu a recomendação da OMS, sendo mais restritivo (pppy igual a 10^{-3}), implicando em uma concentração máxima de 10^4 E. coli/100mL no efluente utilizado na irrigação. Contudo, Mara et al. (2007) observaram um risco de infecção por rotavírus de 10^{-2} pppy para esgotos com concentração de E. coli/100mL entre 10^4 e 10^5 , sugerindo que a recomendação da OMS possa ser indevidamente cautelosa. Portanto, o segundo cenário estudado para a cultura alface considerou pppy igual a 10^{-2} , sendo menos restritivo e implicando em uma concentração máxima de 10^5 E. coli/100mL no efluente utilizado na irrigação. Considerou-se os critérios de irrigação irrestrita apresentados na Tabela 1 e Tabela 8 para o consumo e irrigação de alface (consumo de 100g de alface cru por pessoa a cada 2 dias, e 10-15 mL de esgoto remanescente em 100g de alface após irrigação).

A avaliação qualitativa da cultura alho considerou dois cenários de irrigação restrita, com objetivo de estudar os riscos aos agricultores envolvidos na produção agrícola. Os cenários avaliados consideraram a recomendação da OMS para pppy igual a 10^{-3} em diferentes tipos de agricultura: 1) agricultura de trabalho manual, mais restritivo, que implica em uma concentração máxima de 10^4 E. coli/100mL no efluente utilizado na irrigação, 2) cenário de agricultura altamente mecanizada, menos restritivo, que implica em uma concentração máxima de 10^5 E. coli/100mL no efluente utilizado na irrigação. Considerou-se os critérios de irrigação restrita apresentados na Tabela 1, Tabela 6 e Tabela 7 (150 e 300 dias de exposição anuais com 10-100 mg de solo consumidos por exposição para trabalho manual e 100 dias de exposição anuais com 1-10 mg de solo consumidos por exposição para agricultura altamente mecanizada).

Por fim, medidas de proteção à saúde sugeridas por WHO (2006) foram utilizadas para discutir os resultados obtidos e apresentar boas práticas para aumentar a segurança da produção e consumo das culturas estudadas.

Tabela 11 – Correlação entre processos de tratamento de esgotos apresentados por ANA (2013) e von Sperling (2007)

Atlas Esgotos (2013)	von Sperling (2007)
Reator Anaeróbio ⁽¹⁾	Tratamento Primário (tanques sépticos) Reator UASB
Lodos Ativados	Lodos ativados convencional
Lodos ativados convencional	Lodos ativados convencional
Lodos ativados + físico-químico	Lodos ativados convencional
Lodos ativados convencional com remoção biológica de N	Lodos ativados convencional com remoção biológica de N
Lodos ativados de aeração prolongada	Lodo ativado - aeração prolongada
Lagoa facultativa	Lagoa Facultativa
Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa	Lagoa anaeróbica + lagoa facultativa
Lagoa Anaeróbia + Facultativa + Maturação	Lagoa anaeróbica + lagoa facultativa + lagoa de maturação
Reator anaeróbio + Filtro anaeróbio	UASB + Filtro anaeróbico
Reator Anaeróbio / UASB + Decantador Secundário + Filtro Aeróbio ⁽²⁾	UASB + biofiltro aerado submerso UASB + Filtro percolador de alta taxa
Reator anaeróbio + Lodos ativados de MBBR	UASB + lodo ativado
Reator anaeróbio + Lodos ativados convencional	UASB + lodo ativado
Reator anaeróbio + Filtro aerado submerso	UASB + biofiltro aerado submerso
Reator anaeróbio + Filtro aerado submerso + Decantador	UASB + biofiltro aerado submerso
Reator anaeróbio + Filtro Biológico Percolador	UASB + Filtro percolador de alta taxa
Reator Anaeróbio + Filtro Biológico Percolador + Decantadores Secundários	UASB + Filtro percolador de alta taxa
Reator anaeróbio + Filtro Biológico Percolador + Decantadores Secundários + físico-químico	UASB + Filtro percolador de alta taxa

Legenda: 1) Para ETEs planejadas com tratamento com Reator Anaeróbio, considerou-se duas opções: tratamento primário (tanques sépticos) e reator UASB. 2) Para ETEs planejadas com tratamento com Reator Anaeróbio / UASB + Decantador Secundário + Filtro Aeróbio, considerou-se duas opções: UASB + biofiltro aerado submerso e UASB + Filtro percolador de alta taxa. Todavia, ambas as opções apresentavam mesma qualidade de efluente gerado.

5.2.3 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE RECICLO DE ESGOTO TRATADO NA IRRIGAÇÃO AGRÍCOLA DE SANTA CATARINA

Os dados de demanda de água para a irrigação agrícola foram confrontados com os resultados de oferta atual e futura de esgoto tratado.

Prezou-se pela apresentação dos resultados no formato de tabelas de demanda versus oferta, permitindo comparar e discutir a necessidade atual de água para a irrigação agrícola com a disponibilidade quantitativa e qualitativa de esgoto tratado no presente e futuro. Mapas foram feitos para facilitar a identificação de polos agrícolas e comparar a demanda por água de irrigação com a disponibilidade de esgoto tratado em ambos os cenários estudados, permitindo a identificação da possibilidade de cooperação entre municípios, uma vez que determinados municípios apresentaram alta produção de esgoto próxima a outras cidades com alta demanda por água de irrigação.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 ESTUDO DO POTENCIAL DE RECICLO DE ESGOTO TRATADO NA AGRICULTURA DE SANTA CATARINA

Os resultados e respectivas discussões referentes ao estudo do potencial de reciclo de esgoto tratado na agricultura de SC estão apresentados nos itens a seguir.

6.1.1 ESTUDO DO USO DE IRRIGAÇÃO NO ESTADO DE SANTA CATARINA

Segundo IBGE (2017), Santa Catarina possui 291 unidades da federação que utilizam irrigação na agricultura, totalizando uma área irrigada igual a 167.243 hectares em 16.214 estabelecimentos agropecuários. Dentre os 43 municípios com área irrigada superior a 1.000 hectares, os quais representam 80% da área irrigada do estado, o município com maior número de estabelecimentos com irrigação é Ituporanga (4.305 hectares irrigados em 723 estabelecimentos), e o com menor número de estabelecimentos com irrigação é Capivari de Baixo (1.398 hectares irrigados em 10 estabelecimentos).

Contudo, é possível perceber que municípios com área irrigada inferior a 1.000 hectares possuem elevados números de estabelecimentos, como é o caso do município de Águas Mornas, que possui 831 hectares irrigados e 374 estabelecimentos agrícolas, o que indica a presença de pequenas propriedades agrícolas no estado de SC.

As distribuições do uso de diferentes tipos de irrigação nos estabelecimentos agropecuários e da área irrigada segundo diferentes tipos de irrigação em Santa Catarina estão apresentadas na Figura 3 e Figura 4.

Figura 3 – Distribuição do uso de diferentes tipos de irrigação nos estabelecimentos agropecuários de Santa Catarina

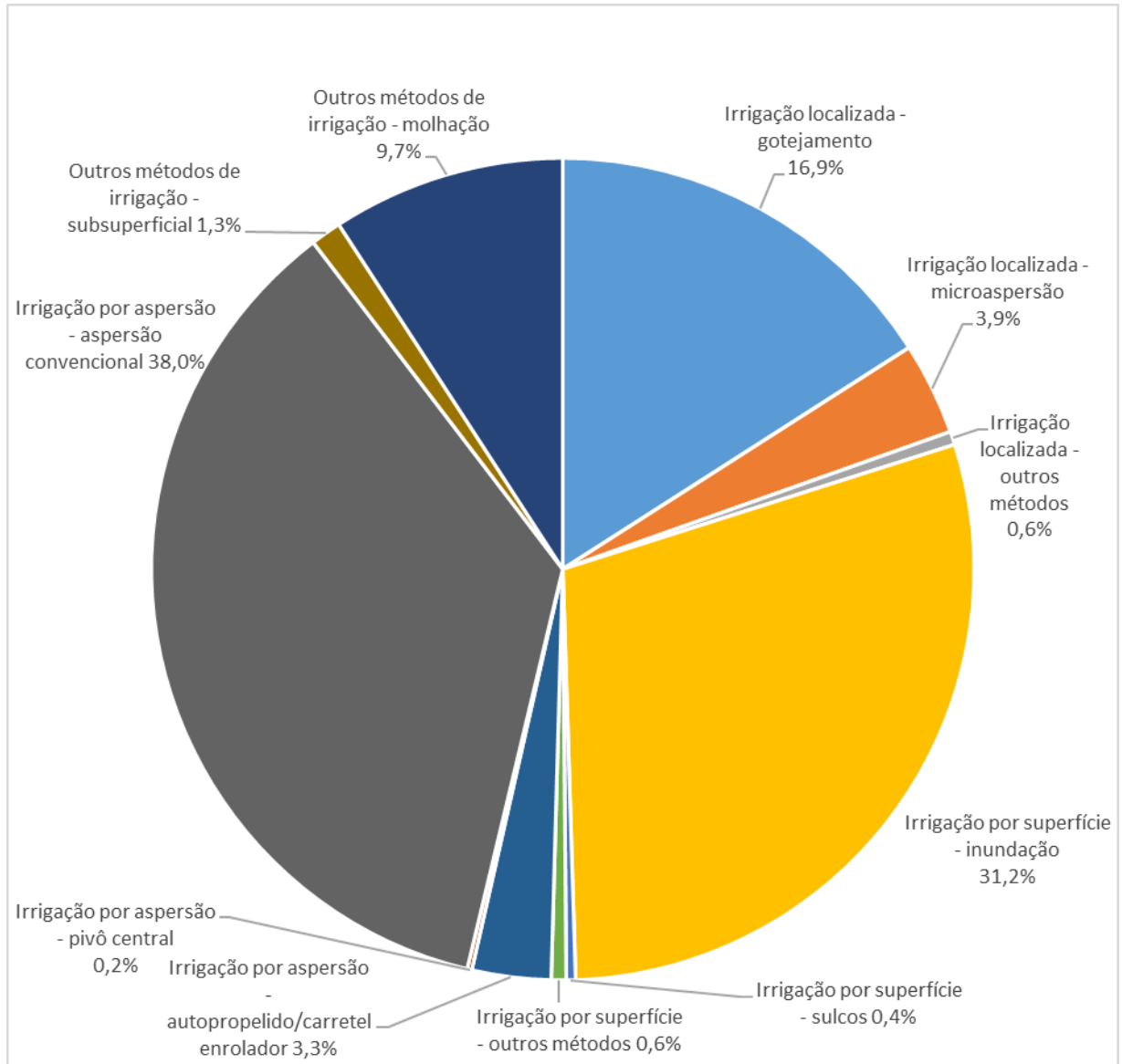
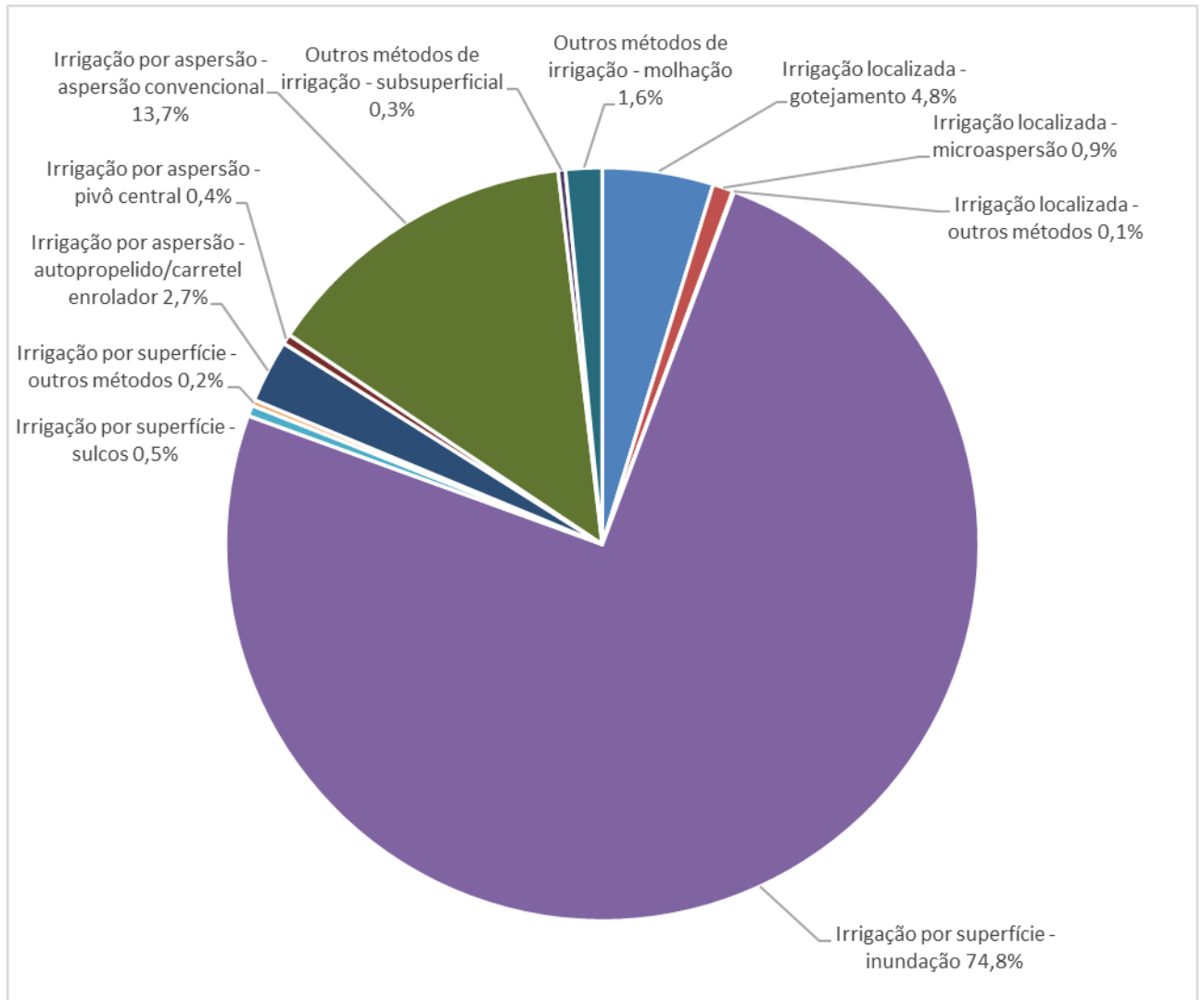


Figura 4 – Distribuição da área irrigada segundo diferentes tipos de irrigação em Santa Catarina



É possível observar que a irrigação por aspersão é o tipo de irrigação mais utilizado dentre os estabelecimentos (38%), sendo que a área irrigada por esse tipo de método representa 13,7% da área irrigada total em SC. Já a irrigação por superfície – inundação é o segundo tipo de irrigação mais utilizado dentre os estabelecimentos (31,2%), e a área irrigada via inundação representa 74,8% da área irrigada total em SC, fato relacionado principalmente a expressiva produção de arroz na área de estudo.

6.1.2 AVALIAÇÃO DA DEMANDA POR ÁGUA DE IRRIGAÇÃO POR CULTURA E MUNICÍPIO

Os dados retirados da base de dados apresentada por Mekonnen e Hoekstra (2010) para as culturas avaliadas, bem como o cálculo das suas respectivas demandas por água de irrigação estão apresentadas na Tabela 12.

É possível observar as diferenças entre a pegada hídrica global e a catarinense, uma vez que os fatores regionais podem influenciar consideravelmente na necessidade de água das culturas. Tal fato implica na importância da delimitação de um escopo local ao realizar pesquisas de avaliação de potencial de implementação de tecnologias e práticas, uma vez que diferentes localidades possuem aspectos individuais que podem impactar diretamente na tomada de decisão.

As culturas que apresentaram maior necessidade por irrigação foram, em ordem decrescente: arroz, cebola, alho, banana-caturra, batata, tomate, banana-prata, triticales e inhame (Tabela 13). As culturas triticales e inhame foram excluídas da avaliação devido aos baixos volumes de água necessários para a sua irrigação em SC. Informações detalhadas sobre a produção agrícola das culturas avaliadas e as suas respectivas demandas por água de irrigação em cada município estão apresentadas nos APÊNDICES 1–5.

Tabela 12 – Pegada hídrica e cálculo do consumo de água de irrigação para as culturas pré-selecionadas

Cultura	Código do Produto ⁽¹⁾	Descrição do Produto ⁽¹⁾	Pegada hídrica média global (m ³ t ⁻¹ por tipo de água) ⁽¹⁾				Pegada hídrica média para SC (m ³ t ⁻¹ por tipo de água) ⁽¹⁾			Consumo de água na irrigação (m ³ ano ⁻¹)
			Verde	Azul	Cinza	Total	Verde	Azul	Cinza	
Alface	372	<i>Letuce</i>	133	28	77	237	(2)	(2)	(2)	(3)
Alho	406	<i>Garlic</i>	337	81	170	589	1055	110	52	1.984.496,25
Arroz	27	<i>Rice, paddy</i>	1146	341	187	1673	1913	500	97	578.230.263,3
Aveia	75	<i>Oats</i>	1479	181	128	1788	3147	0	481	0
Banana-caturra	486	<i>Bananas</i>	660	97	33	790	664	2	20	1.240.296,47
Banana-prata	486	<i>Bananas</i>	660	97	33	790	664	2	20	231.917,89
Batata	116	<i>Potatoes</i>	191	33	63	287	222	9	8	1.033.552,11
Cebola	403	<i>Onions, dry</i>	192	88	65	345	440	12	21	6.404.081,94
Cevada	44	<i>Barley</i>	1213	79	131	1423	1801	(2)	290	(3)
Feijão 1ª Safra	176	<i>Beans, dry</i>	3945	125	983	5053	1757	0	152	0
Feijão 2ª Safra	176	<i>Beans, dry</i>	3945	125	983	5053	1757	0	152	0
Fumo	826	<i>Tobacco</i> ⁽⁴⁾	2021	205	700	2925	2004	0	115	0
Inhame	137	<i>Yams</i>	341	0	1	343	657	4	23	612
Maça Fuji	515	<i>Apples, fresh</i>	4678	1111	1058	6847	357	0	12	0
Maça Gala	515	<i>Apples, fresh</i>	4678	1111	1058	6847	357	0	12	0
Maça Precoce	515	<i>Apples, fresh</i>	4678	1111	1058	6847	357	0	12	0
Milho Grão 1ª Safra	56	<i>Maze (corn)</i>	947	81	194	1222	1735	0	119	0
Milho 2ª Safra	56	<i>Maze (corn)</i>	947	81	194	1222	1735	0	119	0
Milho Silagem	56	<i>Maze (corn)</i>	947	81	194	1222	1735	0	119	0
Soja	236	<i>Soya Beans</i>	2037	70	37	2145	2315	0	15	0
Tomate	388	<i>Tomatoes</i>	108	63	43	214	79	3	7	493.708,49
Triticale	97	<i>Triticale</i>	(2)	(2)	(2)	(2)	2107	12	288	7.656
Trigo	15	<i>Wheat</i>	1277	342	207	1827	1799	0	114	0
Uva comum	560	<i>Grapes</i>	425	97	87	608	305	0	20	0
Uva de mesa	560	<i>Grapes</i>	425	97	87	608	305	0	20	0
Uva vinífera	560	<i>Grapes</i>	425	97	87	608	305	0	20	0

Legenda: (1) – Informações FAOSTAT apresentadas por Mekonnen e Hoekstra (2010); (2) – Informações não apresentadas por Mekonnen e Hoekstra (2010); (3) – Não calculado devido à falta de dados; (4) – *Tobacco unmanufactured*.

Tabela 13 – Necessidade de irrigação das culturas pré-selecionadas em Santa Catarina

Cultura	Quantidade (t ano ⁻¹)	Consumo de água na irrigação (m ³ ano ⁻¹)	UGT de maior importância
Arroz	1.156.461	578.230.263	UGT 8 - Litoral Sul Catarinense
Cebola	533.673	6.404.082	UGT 10 - Alto Vale do Rio de Peixe
Alho	18.041	1.984.496	UGT 10 - Alto Vale do Rio de Peixe
Banana-caturra	620.148	1.240.296	UGT 6 - Litoral Norte Catarinense
Batata	114.839	1.033.552	UGT 2 - Meio Oeste Catarinense
Tomate	164.569	493.708	UGT 10 - Alto Vale do Rio de Peixe
Banana-prata	115.959	231.918	UGT 8 - Litoral Sul Catarinense
Triticale	638	7.656	(2)
Inhame	153	612	(2)
Aveia	40.915	0	UGT 1 - Oeste Catarinense
Feijão 1a Safra	61.958	0	UGT 1 - Oeste Catarinense
Feijão 2a Safra	27.337	0	UGT 1 - Oeste Catarinense
Fumo	232.661	0	UGT 5 - Alto Vale do Itajaí
Maça Fuji	271.649	0	UGT 3 - Planalto Sul Catarinense
Maça Gala	321.358	0	UGT 3 - Planalto Sul Catarinense
Maça Precoce	12.912	0	UGT 10 - Alto Vale do Rio de Peixe
Milho Grão 1a Safra	2.802.352	0	UGT 2 - Meio Oeste Catarinense
Milho Grão 2a Safra	96.858	0	UGT 9 - Extremo Oeste Catarinense
Milho Silagem	9.393.742	0	UGT 9 - Extremo Oeste Catarinense
Soja	2.408.981	0	UGT 1 - Oeste Catarinense
Trigo	170.594	0	UGT 1 - Oeste Catarinense
Uva comum	43.031	0	UGT 10 - Alto Vale do Rio de Peixe
Uva de mesa	1.171	0	UGT 2 - Meio Oeste Catarinense
Uva vinífera	1.986	0	UGT 3 - Planalto Sul Catarinense
Alface	18.347	(1)	(2)
Cevada	4.437	(1)	UGT 2 - Meio Oeste Catarinense

Legenda: UGT – Unidade de Gestão Técnica (1) – Não calculado devido à falta de dados; (2) – Informações não apresentadas na base de dados consultada.

6.1.3 DIAGNÓSTICO DO TIPO DE PRESTADOR DE SERVIÇO DE SANEAMENTO DOS MUNICÍPIOS QUE PRATICAM IRRIGAÇÃO

Dentre os municípios pré-selecionados, 73 são atendidos pelo prestador regional de serviços de saneamento (Companhia Catarinense de Águas e Saneamento – CASAN), 6 são atendidos por empresas privadas, 1 é atendido por empresa de direito privado com administração pública e 47 são atendidos por empresas de direito público, podendo ser divididas em administração pública (prefeituras) e autarquias (BRASIL, 2018).

Dentre estes municípios, 3 deles são atendidos por mais de um prestador de serviço de saneamento: Alfredo Wagner e Caçador, onde o prestador regional é responsável pelo abastecimento de água, e as prefeituras são responsáveis pelos serviços de esgotamento sanitário; e Camboriú, onde uma empresa privada é responsável pelo abastecimento de água, e a prefeitura é responsável pelos serviços de esgotamento sanitário.

O diagnóstico do tipo de prestador de serviço de saneamento dos municípios que praticam irrigação de culturas agrícolas está apresentado na Tabela 14, a qual apresenta a porcentagem de municípios produtores de diferentes culturas que é atendida pelos diferentes tipos de prestadores de serviço de saneamento na área de estudo.

Tabela 14 – Diagnóstico do tipo de prestador de serviço de saneamento dos municípios que praticam irrigação agrícola

Culturas	Tipo de prestador de serviço de saneamento ⁽¹⁾			
	Prestador Regional	Empresa privada	Administração pública	Autarquia
Arroz	51,7%	6,9%	19,5%	21,8%
Cebola	85%	0	10,0%	5,0%
Alho	50%	0	37,5%	12,5%
Banana Caturra	50%	0	33,3%	16,7%
Batata	100%	0	0	0
Tomate	66,7%	0	33,3%	0
Banana prata	0	0	100,0%	0

Legenda: 1 – As porcentagens apresentadas são referentes a proporção de municípios que produzem as culturas listadas que é atendida por cada tipo de prestador de serviço de saneamento presente na área de estudo.

É possível perceber que os prestadores de serviços de saneamento com participação pública direta ou indireta são responsáveis pela coleta e tratamento do esgoto da maior parte dos municípios estudados. Esta dinâmica administrativa permite o planejamento a longo prazo, dado o direito de uso e cobrança em horizontes de projeto de grande duração, o que pode ser necessário para justificar a implementação de projetos relacionados ao saneamento sustentável. Além disso, o serviço ao bem geral da população tido como prioridade à esfera pública implica na cooperação mais facilitada entre municípios com produção de esgoto e demanda por água de irrigação e outros subprodutos do saneamento, uma vez que não existe necessidade de acordos entre diferentes instituições da esfera privada. Todavia, conflitos políticos podem implicar negativamente na agilidade e continuidade de projetos de longa duração. Portanto, uma vez que o saneamento é um assunto de alto interesse social e regido amplamente através de legislações, faz-se necessário incluir a incerteza política na tomada de decisão de projetos de engenharia implementados nesse contexto.

6.1.4 AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE RECICLO DE ESGOTO TRATADO NA IRRIGAÇÃO AGRÍCOLA DOS MUNICÍPIOS ESTUDADOS: CENÁRIO ATUAL

Os itens a seguir apresentam os resultados e discussão referente a oferta quantitativa e qualitativa realizada para o cenário atual, além de outros aspectos importantes em processos de tomada de decisão.

6.1.4.1 Demanda por água de irrigação agrícola nos municípios produtores das culturas selecionadas: cenário atual

Tendo em vista que os volumes anuais de consumo de água de irrigação apresentados na Tabela 12 são relativos à produção total de todos os municípios estudados, mapas foram criados para permitir a visualização da distribuição geográfica de cada município para cada cultura produzida e os intervalos de volumes de água de irrigação demandados (Figura 5). Informações detalhadas sobre a produção agrícola das culturas avaliadas e a sua respectiva demanda por água de irrigação em cada município estão apresentadas nos APÊNDICES 1–5. Mapas individuais de demanda por água de irrigação para cada cultura estudada estão apresentados no APÊNDICES 19.

6.1.4.2 Produção de esgoto tratado nos municípios produtores das culturas avaliadas e o seu potencial para irrigar agricultura: cenário atual

Informações detalhadas sobre a produção agrícola das culturas avaliadas, demanda por água de irrigação, saneamento e ETES presentes em cada município estudado estão apresentadas nos APÊNDICES 1–7. Mapas apresentam as faixas de produção de esgoto tratado (Figura 6) e o potencial de irrigação agrícola com esgoto tratado (Figura 7) por município e cultura na área de estudo. Mapas individuais acerca da produção de esgoto tratado e potencial de irrigação agrícola referentes ao cenário atual para cada cultura estudada e suas respectivas cidades produtoras estão apresentados nos APÊNDICES 20 e 21. Informações acerca das ETES presentes nos municípios estudados estão apresentadas na Tabela 15.

Figura 5 – Utilização de água de irrigação nos municípios selecionados (cenário atual)

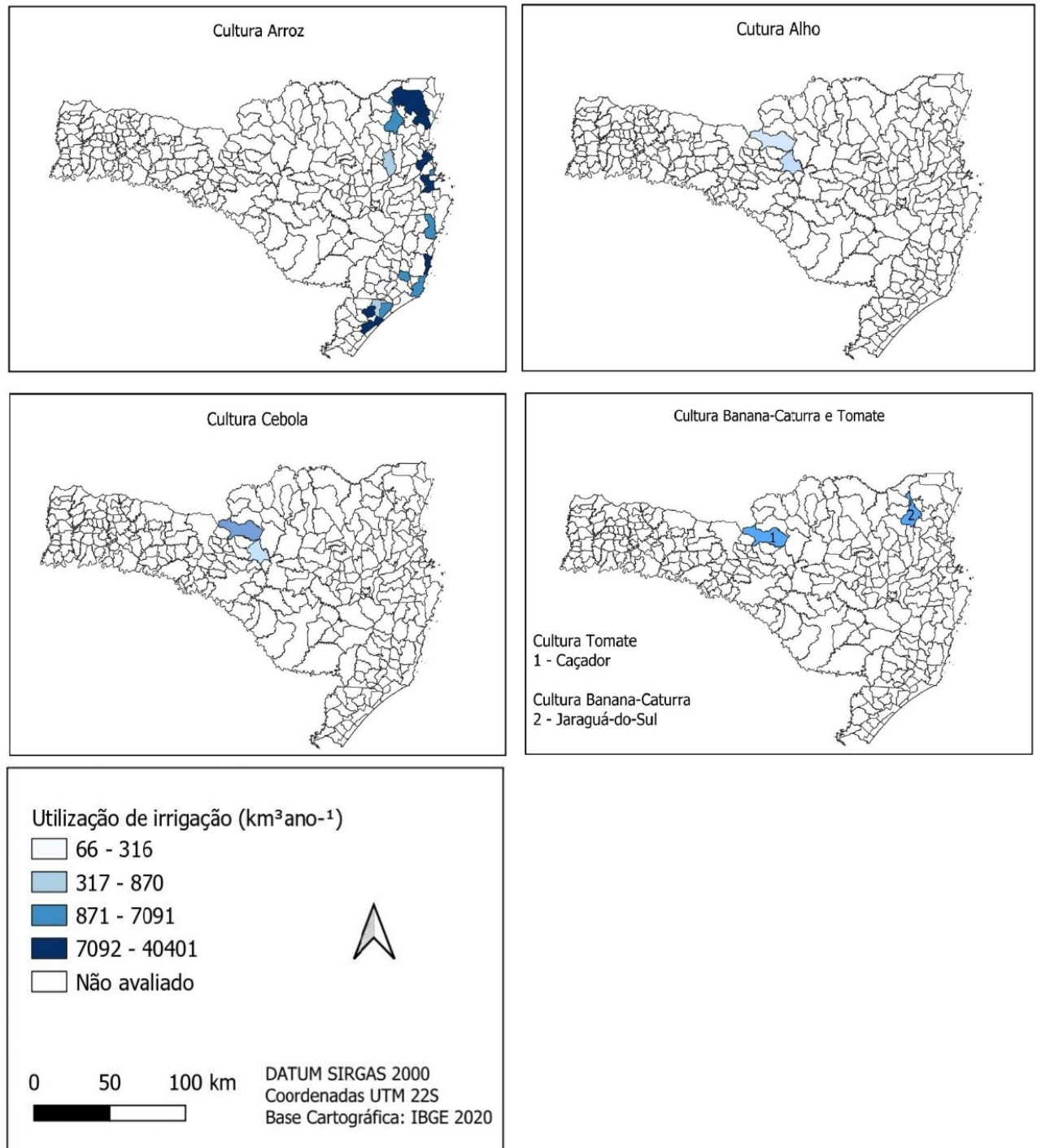


Figura 6 – Produção de esgoto tratado nos municípios selecionados (cenário atual)

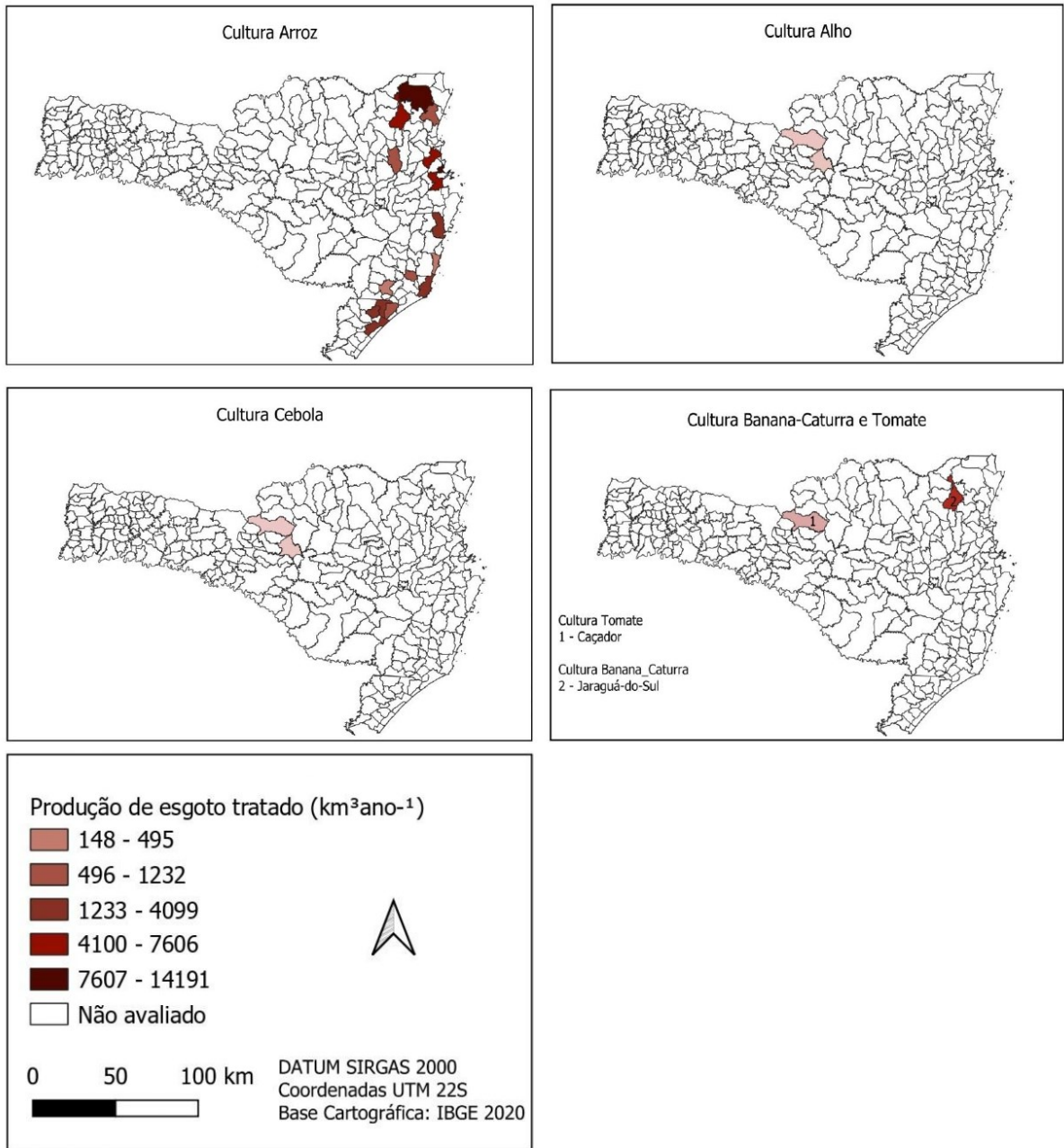


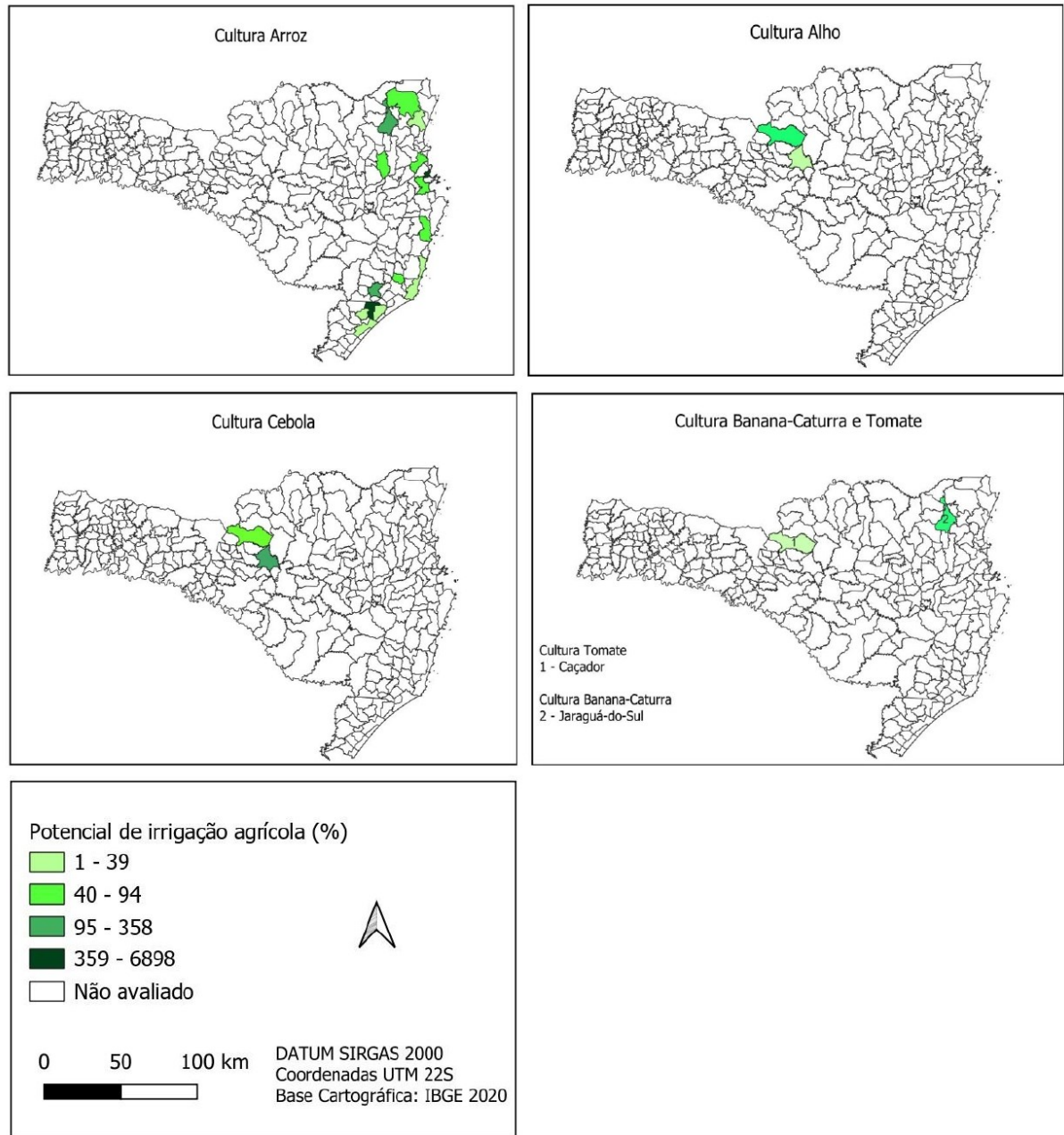
Tabela 15 – Informações referentes ao saneamento e ETEs presentes nos municípios estudados (cenário atual)

Município	Eficiência de remoção de carga (%) ^(14,15)	Nome da ETE	Vazão da ETE (Ls ⁻¹)	Vazão afluyente (m³ano ⁻¹)	Potencial de irrigação agrícola (%)	Processo de tratamento de esgotos	Remoção medida, projetada ou adotada de DBO atribuída à ETE ⁽¹⁶⁾	Tipo de desinfecção ⁽¹⁷⁾
Joinville ⁽¹⁾	83	ETE Jarivatuba	230	7253280	68%	Lagoa Anaeróbia + Lagoa Facultativa + Lagoa de Maturação	58%	NC
		ETE Pinheiros - Joinville	8,9	280670		Lodos Ativados (convencional/Deep shaft)	56%	NC
		ETE Morro do Amaral	1	31536		Lodos Ativados + remoção de N (MBBR/IFAS)	99%	NC
		ETE Profipo	1,3	40997		Lodos Ativados de aeração prolongada	98%	NC
Araquari ⁽²⁾	ID	ETE Araquari Centro	12	378432	4%	Preliminar + Tanque de aeração + Decantador secundário	85%	Cloração
Itajaí ⁽³⁾	98	ETE Cidade Nova	130	4099680	54%	Lodos Ativados Convencional	98%	NC
Jaraguá do Sul ^(1,4,5)	65	ETE Água Verde	31,5	993384	184%	Reator Anaeróbio (RAFA, RALF, UASB, DAFA)	65%	NC
		ETE Ilha da Figueira	140	4415040		Reator Anaeróbio (RAFA, RALF, UASB, DAFA)	65%	NC
		ETE Nereu Ramos	31,5	993384		Reator Anaeróbio (RAFA, RALF, UASB, DAFA)	65%	NC
Itapema ⁽⁶⁾	93	ETE Morretes - Itapema	450	14191200	1215%	Preliminar + Reator UASB + Físico-químico	93%	NC
Indaial ⁽¹⁾	35	ETE Nações - Indaial	15,7	495115	57%	Fossa Filtro/Séptica + Filtro Aeróbio/Tanque Imhoff + Filtro biológico	35%	NC
Tijucas ⁽¹⁾	ID	ETE Tijucas	97,42	3072237	39%	Preliminar + Reator anaeróbio + Tanques de aeração	NC	Cloração
		ETE Jardins	2	63072	54%	Lodos Ativados + Físico Químico (Remoção de N e P)	85%	NC
Palhoça ⁽¹⁾	83	ETE Madri	15	473040		Lodos Ativados em batelada (convencional/UNITANK) + Remoção de N	65%	NC
		ETE Nova Palhoça	1	31536		Lodos Ativados em batelada (convencional/UNITANK) + Remoção de N	90%	NC
		ETE Porto das Águas	1	31536		Lodos Ativados (convencional/Deep shaft)	90%	NC
		ETE Terra Nova	16,7	526651		Lodos Ativados em batelada (convencional/UNITANK) + Remoção de N	99%	NC
Forquilha ⁽⁸⁾	ID	ETE	35	1103760	3%	Preliminar + filtro biológico com mídia plástica + físico-químico	NC	NC
Araquari ⁽¹⁾	ID	ETE I	37,517	1183136	7%	Preliminar + equalização + pulmão + aeração	NC	UV
Imbituba ⁽⁹⁾	90	ETE Paes Leme	5	157680	2%	Preliminar + Reator UASB, filtro FBAS, decantador secundário, desinfecção	90%	Cloração
Içara ⁽¹⁰⁾	ID	ETE Içara	14	441504	7%	Preliminar + equalização + tanque de aeração + decantador secundário	88%	UV
Laguna ⁽¹¹⁾	ID	ETE Vila Vitória	39,09	1232742	32%	Preliminar + Reator UASB + Filtro Biológico Aerado Submerso + Remoção de P e N	85%	NC
Gravatal ⁽¹²⁾	85	ETE Gravatal	30	946080	58%	Preliminar + equalização + Reator UASB + Lodos Ativados de Aeração Prolongada RBS	65%	Cloração
Criciúma ⁽¹³⁾	65	ETE Criciúma - Santa Luzia	90	2838240	358%	Reator UASB + lodo ativado	75%	NC
Urussanga ⁽¹⁾	75	ETE Urussanga	5,3	167141	202%	LAGOA FACULTATIVA	75%	NC
		ETE Santa Catarina	0,3	9461		Fossa Filtro/Séptica + Filtro Aeróbio/Tanque Imhoff + Filtro biológico	40%	NC
		ETE COHAB - Caçador	0,3	9461		Fossa Filtro/Séptica + Filtro Aeróbio/Tanque Imhoff + Filtro biológico	40%	NC
Caçador ⁽¹⁾	75	ETE Ulisses Guimarrães	4,1	129298		Lodos Ativados (convencional/Deep shaft)	90%	NC
		ETE Jardim América	3,33	105015		Reatores biotecnológicos com meio suporte de bambu + biofiltros aerados submersos + filtros anaeróbios	90%	Cloração
Fraiburgo ⁽¹⁴⁾	78	ETE Liberata	0,55	17345	135%	Preliminar + reatores anaeróbios de leito fixo com bambu + Wetlands	NC	Cloração
		ETE São Sebastião 1	2,5	78840		Preliminar + 04 reatores anaeróbios de leito fixo com bambu + filtro anaeróbio	72%	Cloração
		ETE São Sebastião 2	2,86	90193		Preliminar + 04 reatores anaeróbios de leito fixo com bambu + filtro anaeróbio	72%	Cloração

Fonte: 1 – ANA (2013), 2 – ARESC (2019a), 3 – ANA (2013) e (ARESC, 2018a), 4 - (ARIS, 2017a), 5 – ANA (2013) e ARIS (2017b), 6 – ARESC (2019b), 7 – ARIS (2017c), 8 – ANA (2013) e ARIS (2019), 9 – ARESC (2019c), 10 – ANA (2013) e ARESC (2018b), 11 – ARESC (2020), 12 – ANA (2013) e ARIS (2017d), 13 – ARESC (2018c), 14 – ARIS (2017e).

Legenda: 14 – Cálculo realizado pelo autor referente à eficiência de remoção de carga (Kg DBO d⁻¹) pelo tratamento de esgoto aplicado à parcela de esgoto coletado e tratado (ATLAS 2013). 15 – ID: Insuficiência de dados nas bases de dados utilizadas para realizar o cálculo. 16 – DBO 5 dias, 20° C atribuída à ETE. 17 – NC: Não consta nas bases de dados utilizadas.

Figura 7 – Potencial de irrigação agrícola de culturas com esgoto tratado nos municípios selecionados (cenário atual)



Dentre as soluções de tratamento de esgoto aplicadas nos municípios avaliados no cenário atual, 2 ETEs apresentam sistemas com lagoas, 20 ETEs contam com tratamento principal aeróbio, 9 apresentam tratamento principal anaeróbio e 3 contam com tratamento principal projetado com algum tipo de combinação entre tratamentos aeróbio e anaeróbio. A remoção de DBO adotada, projetada ou medida encontra-se majoritariamente acima de 80%. Além disso, percebe-se a presença de tecnologias voltadas à remoção de nutrientes, as quais devem ser estudadas acerca da sua necessidade, caso o efluente seja utilizado na irrigação agrícola, uma vez que nutrientes como fósforo e nitrogênio atuam como fertilizantes.

Todavia, a coleta de dados sobre as tecnologias utilizadas para a desinfecção mostrou-se desafiadora, e, portanto, limitou a discussão dos dados encontrados. Von Sperling (2007) indica assumir CF/100mL iguais a 10^2 - 10^4 para sistemas de lagoa com maturação, 10^4 - 10^5 para wetlands construídos e 10^6 - 10^7 para sistemas envolvendo reatores aeróbios ou UASB. Tendo em vista estas concentrações de bactérias e as recomendações de WHO (2006), são necessárias reduções entre 3-4 ou 2-3 logs para irrigação irrestrita de culturas produzidas abaixo do solo e colheitas similares à alface ou repolho, respectivamente. Além disso, reduções entre 1-3 logs podem se aplicar para irrigação restrita de determinadas culturas, a depender do nível de trabalho manual ou mecanizado aplicado na lavoura, bem como a idade dos agricultores. Tais reduções podem ser atingidas através de diferentes práticas de higiene e segurança, como, por exemplo, lavagem com água (1 log), desinfecção do produto (2 logs), descasque (2 logs) e cozimento (6-7 logs). Combinações entre diferentes práticas são aplicáveis.

Tendo em vista o cenário atual estudado, percebe-se que os municípios que praticam irrigação agrícola de arroz estão distribuídos ao longo do litoral catarinense (Figura 5). A soma da demanda por água de irrigação nos municípios avaliados que produzem arroz ultrapassou 124 milhões de m³ anuais, o qual representa o consumo médio anual de água de 2,25 milhões de habitantes da área de estudo. Dentre os 16 municípios produtores de arroz avaliados, 13 utilizam mais de 1 milhão de m³ de água de irrigação anualmente, alcançando 4.4 milhões de m³ anuais no município de Forquilha, sendo este o maior produtor de arroz dentre os municípios avaliados no cenário atual, totalizando aproximadamente 81 mil toneladas ao ano. Contudo, os maiores produtores desta cultura não apresentaram grandes volumes de produção de esgoto tratado, e, conseqüentemente, baixos percentuais de potencial de irrigação agrícola. Todavia, 9 municípios produtores de arroz apresentaram potenciais de irrigação com esgoto tratado superior a 50%, com destaque a Jaraguá do Sul (184%), Itapema (1.215%), Criciúma (358%) e Urussanga (202%).

A produção e irrigação de cebola ocorre em dois municípios vizinhos, implicando na utilização de 535 km³ de água anualmente, volume este que é equivalente a aproximadamente 10.000 habitantes. O município de Caçador apresentou potencial de irrigação agrícola de cebola próximo a 50%, enquanto Fraiburgo, 135%. Alho é produzido e irrigado nestes mesmos municípios, com demanda anual total igual a 376 km³ (equivalente ao consumo anual de 6.800 pessoas). Contudo, o potencial de irrigação agrícola com esgoto tratado foi superior ao apresentado para a cultura cebola, com Fraiburgo e Caçador apresentando percentuais iguais a 94% e 210%, respectivamente. Uma vez que ambos os municípios são geograficamente próximos, existe potencial de cooperação para que ambos consigam usufruir do volume de esgoto tratado produzido de forma eficiente.

Banana Caturra é produzida em um dos municípios avaliados no cenário atual (Jaraguá do Sul), bem como Tomate, em Caçador. Ambos os municípios apresentaram potenciais de irrigação superiores à 100%. A demanda por água de irrigação para ambas as culturas é aproximadamente 215 km³ ao ano (equivalente a 3.900 habitantes).

Tendo em vista o baixo número de municípios aptos a participar das avaliações realizadas para o cenário atual, bem como as limitações encontradas nas bases de dados disponíveis, fez-se necessária avaliação complementar em cenário futuro, bem como cautela ao extrapolar conclusões provenientes dos resultados apresentados. O objetivo principal desta etapa de pesquisa foi contextualizar o cenário atual do saneamento na área de estudo, bem como mostrar o potencial atual de reciclo de esgoto tratado na irrigação agrícola, permitindo a continuação desta pesquisa no que diz respeito ao contexto futuro do saneamento catarinense, apresentada ao longo das avaliações realizadas para o cenário 2035. Além disso, ressalta-se a importância da gestão de informações do saneamento unida ao conhecimento técnico para que projetos relacionados ao saneamento sustentável alcancem escalas reais, uma vez que o entendimento macro é necessário para tomadas de decisões locais.

6.1.5 AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE RECICLO DE ESGOTO TRATADO NA IRRIGAÇÃO AGRÍCOLA DOS MUNICÍPIOS ESTUDADOS: CENÁRIO 2035

Tendo em vista o baixo número de municípios aptos a participar da avaliação do cenário atual de potencial de reciclo de esgoto tratado na irrigação agrícola catarinense, comparou-se a demanda atual por água de irrigação com a produção de esgoto tratado pelas ETEs previstas

para o cenário futuro, tendo em vista os dados apresentados pelo Atlas Esgotos 2013 – Planejamento para 2035, para cada município selecionado.

A diferença expressiva entre o número de municípios participantes no estudo do cenário atual e futuro é resultado dos investimentos em saneamento planejados até 2035 apresentados pelo Atlas Esgotos e compilados na Tabela 16.

Tabela 16 – Investimentos em melhorias de saneamento planejadas até 2035 para os municípios produtores das culturas estudadas

Culturas produzidas nos municípios	Investimento no saneamento dos municípios produtores previsto até 2035 (BRL) ^(a)			População atendida	Investimento por hab		População urbana atendida com ETE (%)
	Coleta	Tratamento ^(b)	Coleta e Tratamento		BRL	USD ^(c)	
Arroz	5.053.715.068	1.377.865.163	6.431.580.231	3.343.905	1.923	350	91
Cebola	367.906.000	109.715.566	477.621.566	216.335	2.208	401	90
Alho	268.478.483	90.121.898	358.600.381	173.552	2.066	376	90
Banana Caturra	345.385.261	107.444.075	452.829.336	258.048	1.755	319	92
Batata	96.565.696	26.835.179	123.400.876	49.470	2.494	454	90
Tomate	136.977.087	38.573.286	175.550.374	80.432	2.183	397	90
Banana Prata	11.783.082	3.036.959	14.820.041	5.990	2.474	450	90

a. Valores corrigidos para janeiro de 2022, tendo em vista o índice nacional de preços ao consumidor amplo (IPCA)

b. Soluções mais comuns planejadas: Tratamento secundário convencional e avançado

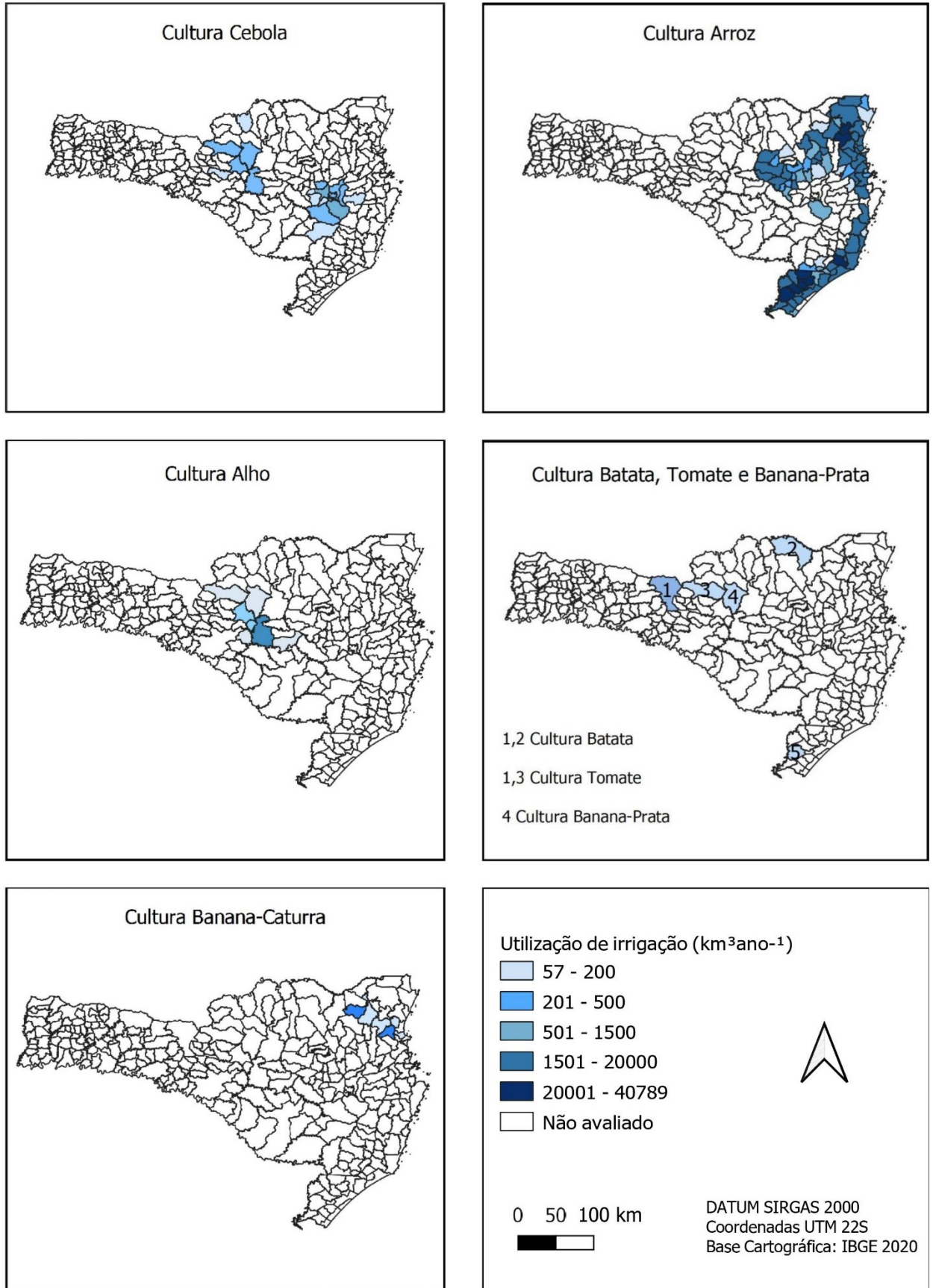
c. Taxa de câmbio entre BRL e USD considerada: 1 USD = 5,50 BRL

Os itens a seguir apresentam os resultados e discussão envolvendo a oferta quantitativa e qualitativa para o cenário futuro, além de outros aspectos importantes em processos de tomada de decisão, considerando a implementação de todas as melhorias no saneamento dos municípios estudados apresentada pelo Atlas Esgotos 2013 – Planejamento para 2035.

6.1.5.1 Demanda por água de irrigação agrícola nos municípios produtores das culturas selecionadas: cenário 2035

Tendo em vista que os volumes anuais de consumo de água de irrigação apresentados na Tabela 12 são relativos à produção total de todos os municípios estudados, mapas foram criados para permitir a visualização da distribuição geográfica de cada município para cada cultura produzida e os intervalos de volumes de água de irrigação demandados pelos municípios estudados no cenário futuro (Figura 8). Informações detalhadas sobre a produção agrícola das culturas avaliadas e a sua respectiva demanda por água de irrigação em cada município estão apresentadas no APÊNDICES 1–5. Mapas individuais de demanda por água de irrigação para cada cultura estudada no cenário futuro estão apresentados no APÊNDICES 22.

Figura 8 – Utilização de água de irrigação nos municípios selecionados: cenário 2035



6.1.5.2 Produção de esgoto tratado nos municípios produtores das culturas avaliadas e o seu potencial para irrigar agricultura: cenário 2035

Dados compilados acerca da prática de irrigação e saneamento nos municípios estudados (cenário 2035) que produzem as culturas estudadas estão apresentadas na Tabela 17. Informações detalhadas sobre a produção agrícola das culturas avaliadas, demanda por água de irrigação e saneamento em cada município estudado estão apresentadas nos APÊNDICES 1–5.

Tabela 17 – Informações de irrigação e saneamento dos municípios que produzem as culturas estudadas

Cultura	Nº de cidades (a)	Consumo de água de irrigação		Informações ETEs				Faixa potencial de irrigação agrícola (%) ^(c)	Despejo de carga evitada (%) ^(d)
		Água de irrigação (m ³ ano ⁻¹) (b)	Água de irrigação: Equivalente em pessoas (hab)	Nº de ETEs	População atendida	Fluxo de entrada (m ³ ano ⁻¹)	Carga disposta no ambiente (kg DBO dia ⁻¹)		
Arroz	85	577.997.917	10.445.620	100	3.349.170	130.978.469	36.814	0-2.685	74
Cebola	18	5.934.390	107.247	24	216.335	7.089.293	1.977	15-642	59
Alho	7	453.778	8.201	13	152.856	3.954.614	886	17-3.082	49
Banana Caturra	6	869.759	15.718	8	258.048	9.460.800	2.836	231-6.351	8
Batata	2	389.250	7.035	2	49.470	567.648	562	86-367	30
Tomate	2	216.436	3.911	5	80.432	2.570.184	472	571-1.659	10
Banana Prata	1	65.000	1.175	1	5.990	394.200	129	600 ^(e)	40

- 10 municípios produzem 2 culturas e 2 municípios produzem 3 culturas em seu território. As demais cidades produzem apenas uma das culturas estudadas
- Os volumes apresentados abrangem apenas os municípios que produzem as culturas estudadas e irrigam mais do que o equivalente a 1.000 hab
- Cobertura potencial da demanda por água de irrigação atual pela produção de esgoto tratado no cenário 2035
- Potencial percentual de carga descarregada diretamente nos corpos d'água que poderia ser evitada se os municípios estudados utilizassem todo o seu potencial agrícola de irrigação para irrigar o atual cenário de produção de alimentos
- Nenhuma faixa apresentada uma vez que o escopo desta cultura tinha apenas um município

Mapas apresentam as faixas de produção de esgoto tratado (Figura 9) e o potencial de irrigação agrícola com esgoto tratado (Figura 10) por município e cultura na área de estudo. Mapas individuais para cada cultura estudada cobrindo a produção de esgoto tratado pelos seus municípios produtores e o potencial de irrigação agrícola estão apresentados nos APÊNDICES 23 e 24.

Figura 9 – Produção de esgoto tratado por município e cultura estudadas: cenário 2035

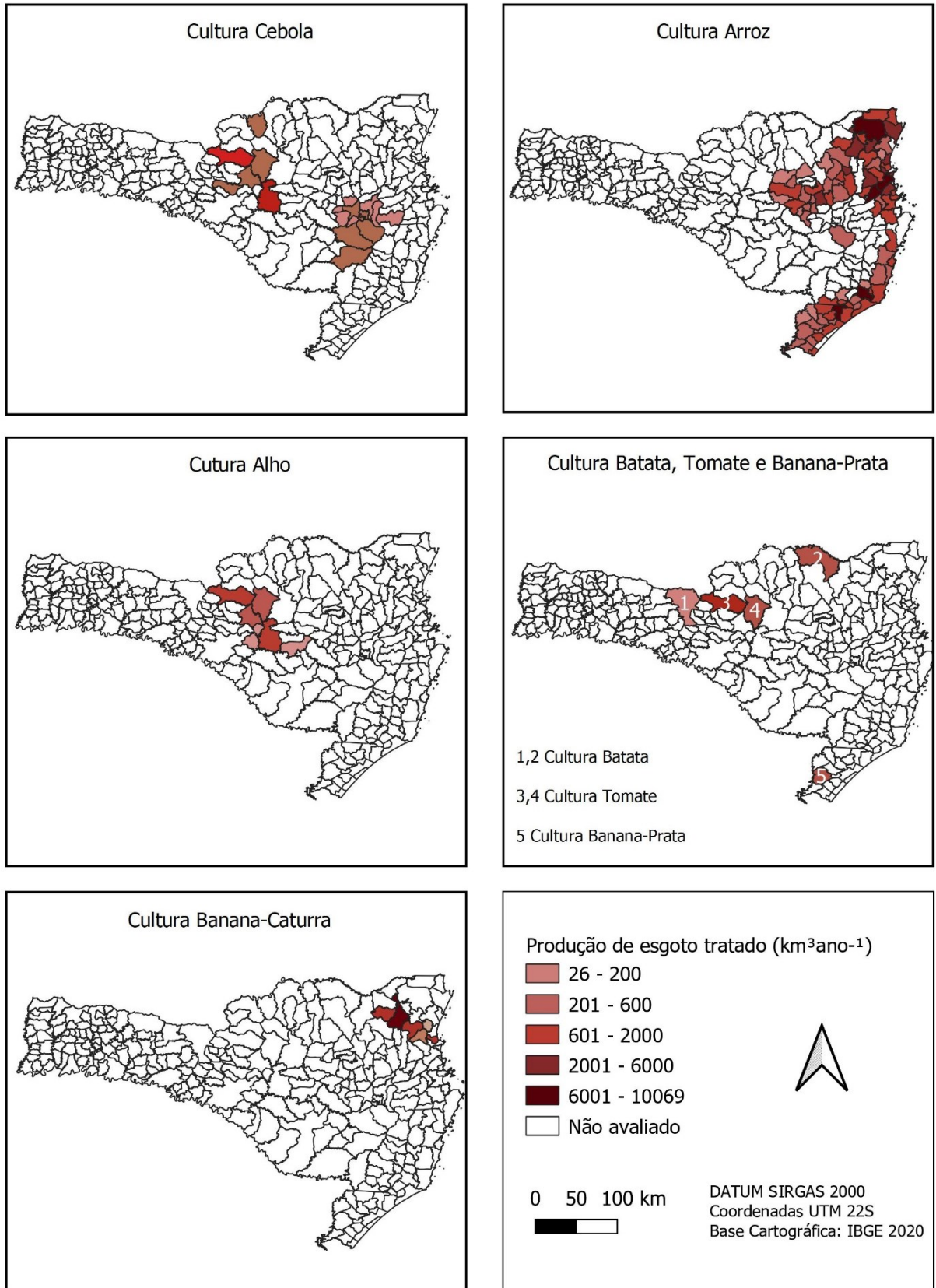
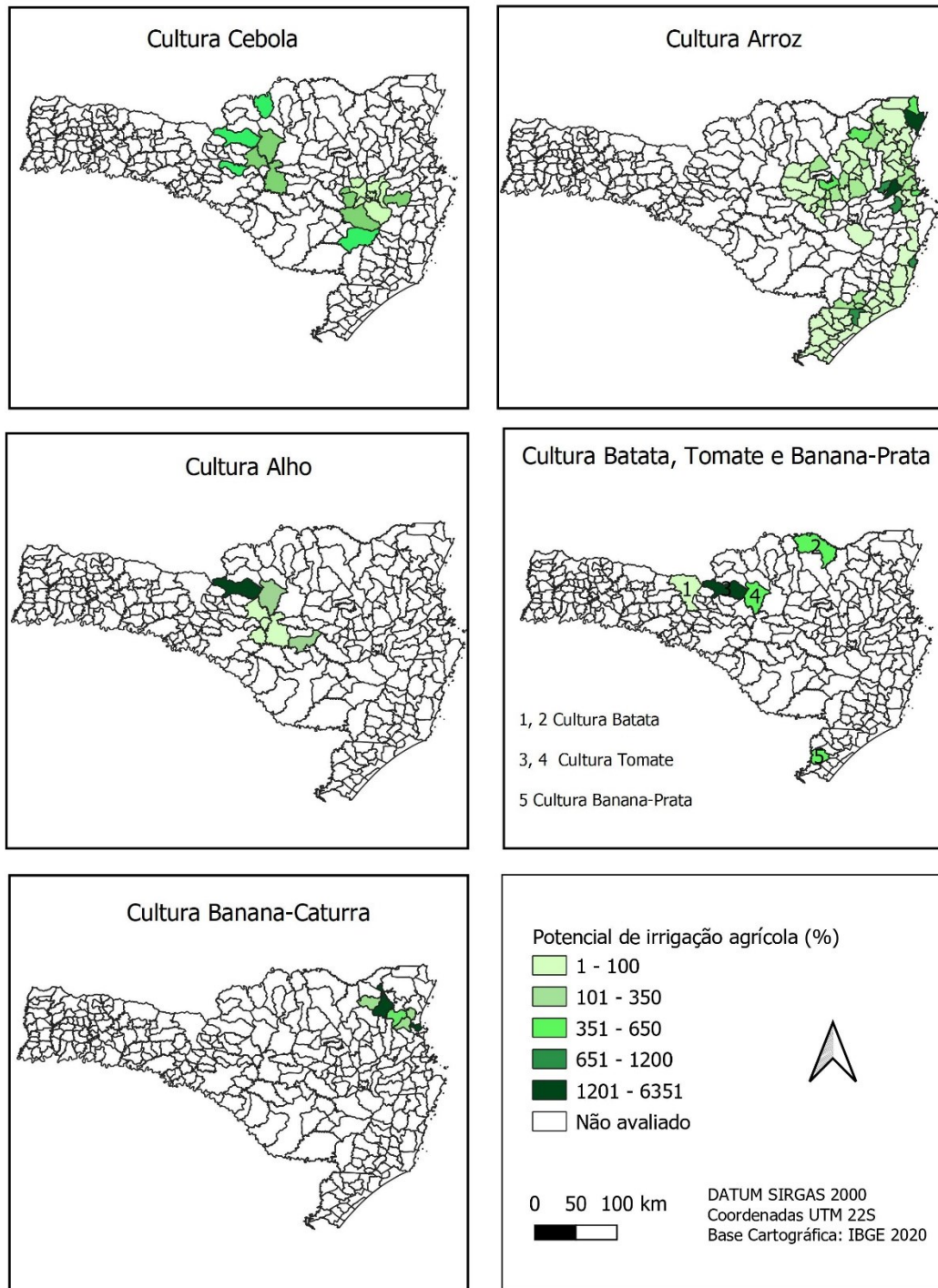


Figura 10 – Potencial de irrigação das culturas selecionadas com esgoto tratado nos municípios avaliados: cenário 2035



É possível observar que a maioria dos municípios produtores de arroz está localizada no litoral da área de estudo, estando os maiores consumidores de água de irrigação nas regiões norte e sul do estado. Grande parte dos municípios estudados consumiu volumes de água de irrigação acima de $501 \text{ km}^3\text{ano}^{-1}$, chegando a valores de até $40.789 \text{ km}^3\text{ano}^{-1}$. A produção futura de esgoto tratado nas cidades que mais irrigam arroz não foi suficiente para fornecer valores elevados de potencial de irrigação agrícola, uma vez que nenhuma das 10 cidades com maior demanda por irrigação estava entre as 10 com maior potencial de irrigação agrícola, principalmente devido a sua baixa população quando comparada com a quantidade de alimento colhida. No entanto, 34 dos 84 municípios produtores de arroz apresentaram potencial de irrigação superior a 80%. Para essa cultura, as cidades com maior potencial de irrigação agrícola foram Brusque (2.685%), São Francisco do Sul (2.348%), Criciúma (1.154%), Guabiruba (1.125%), Garopaba (654%) e Porto Belo (597%), totalizando $1.894 \text{ km}^3\text{ano}^{-1}$, equivalente a 34.228 habitantes por ano. A demanda total de água para irrigação relacionada à produção de arroz foi equivalente a mais de 10 milhões de habitantes, o que é superior à população atual de Santa Catarina (7,3 milhões de pessoas).

A produção de cebola ocorreu em duas regiões distintas, com municípios irrigando entre 65 e $1.441 \text{ km}^3\text{ano}^{-1}$. Metade das 10 cidades com maiores volumes de água utilizada para irrigação estava entre as 10 com maior potencial de irrigação agrícola e 13 dos 18 municípios produtores de cebola apresentaram potencial superior a 80%. As cidades com maiores potenciais de irrigação agrícola foram Caçador (642%), Tangará (540%), Irineópolis (532%), Urubici (473%) e Curitibanos (289%), totalizando $759 \text{ km}^3\text{ano}^{-1}$, equivalente a 13.718 habitantes por ano. A cultura da cebola teve a segunda maior demanda por água de irrigação, referente a cerca de 107 mil habitantes.

Os sete municípios produtores de alho concentraram-se na mesma região da área de estudo, com volumes de água de irrigação variando de 66 a $750 \text{ km}^3\text{ano}^{-1}$. Quatro cidades apresentaram potencial superior a 80%, sendo estas Caçador (3.082%), Lebon Régis (320%), Ponte Alta (224%) e Curitibanos (81%), totalizando $925 \text{ km}^3\text{ano}^{-1}$ ou 16.721 habitantes por ano.

Todas as seis cidades produtoras de banana-caturra localizavam-se ao norte da área de estudo e apresentaram potencial de irrigação agrícola superior a 200%. As cidades Jaraguá do Sul e Balneário Piçarras apresentaram potenciais de 6.351% e 2.394%, respectivamente. Diante disso, todo o volume de água necessário para irrigação de banana-caturra poderia ser suprido por efluentes tratados, dado o escopo desta pesquisa, o qual totalizaria $870 \text{ km}^3\text{ano}^{-1}$, equivalente a 15.718 habitantes por ano.

As cidades produtoras de batata avaliadas foram Água Doce e Mafra, que apresentaram potenciais de 86% e 367%, respectivamente. A quantidade de água de irrigação utilizada por ambas as cidades para irrigar batatas é de 389 km³ano⁻¹, equivalente a 7.035 hab por ano.

Tomates são produzidos em Caçador e Lebon Régis, que apresentaram potenciais de 1,659% e 571%, respectivamente. A quantidade de água de irrigação utilizada por ambas as cidades é de 123 km³ano⁻¹, equivalente a 2.216 pessoas.

Jacinto Machado, único produtor de banana-prata considerado neste estudo, apresentou 606% de potencial de irrigação agrícola. O volume de água de irrigação utilizado nessa cultura é de 65 km³ano⁻¹, equivalente a 1.175 habitantes.

Em relação às ETEs previstas até 2035, os tipos de soluções mais comuns são o tratamento secundário convencional e avançado. Dentre os tratamentos planejados, destacam-se reatores anaeróbios, lodos ativados e filtros anaeróbios e aeróbicos. As eficiências médias adotadas para as ETEs presentes nas cidades produtoras de arroz, cebola, alho, banana-caturra, batata, tomate e banana-prata são, respectivamente, 73%, 72%, 78%, 76%, 84%, 79% e 60%. Considerando a carga despejada, se todos os municípios estudados no cenário 2035 utilizassem todo o seu potencial de irrigação agrícola com esgoto tratado para irrigar o cenário atual de produção de alimentos, a quantidade de DBO não lançada diretamente nos corpos hídricos, considerando os municípios produtores de arroz, cebola, alho, banana-caturra, batata, tomate e banana-branca, seria, respectivamente, 27.240, 1.160, 436, 214, 169, 49 e 129 kg DBO dia⁻¹, ou, em equivalente populacional, igual a 504.444, 21.481, 8.074, 3.963, 3.130, 907 e 2.389, considerando-se a concentração de DBO adotada de 54g DBO dia⁻¹ no Brasil. A descarga total de carga evitada seria equivalente a cerca de 60% daquela despejada pela maior ETE da América Latina, localizada no estado de São Paulo, que tem capacidade atual para tratar mais de 40 mil litros por segundo (ANA, 2013). A título de comparação, a maior ETE presente na área de estudo, localizada na capital do Estado de Santa Catarina, lançou 231,2 kg DBO por dia no ambiente em 2013 e tem uma descarga de carga estimada em 468,3 kg DBO dia⁻¹ após implementar as melhorias apresentadas por ANA (2013), as quais incluem a ampliação da sua capacidade até 2035.

Além disso, cabe ressaltar que além dos benefícios decorrentes da redução do consumo de água e redução da carga orgânica lançada em corpos d'água, a prática proposta é uma forma de disposição que vai ao encontro da abordagem multi barreiras de disposição de efluentes proposta pela OMS, uma vez que o efluente é disposto no solo, o que limita a dispersão de nutrientes e demais poluentes, inclusive de preocupação emergente, quando comparada a prática atual de disposição de esgoto tratado diretamente em corpos hídricos.

As informações individuais de culturas e municípios abordando agricultura, água de irrigação, ETEs e aspectos do potencial de irrigação agrícola do cenário futuro estão fornecidas nos APÊNDICES 1–5, 8–18 e 22–24. O autor recomenda a sua leitura, uma vez que os resultados encontrados permitem visualizar o panorama geral de todos os municípios e culturas considerados no escopo desta pesquisa, além de permitir o acesso a dados individuais de cada cidade e das culturas que produzem. Como exemplo, tem-se o município de Caçador, que apresentou o maior potencial de irrigação agrícola para Cebola (642%), Alho (3.082%) e Tomate (1.659%). Ademais, a produção anual projetada de esgoto tratado em 2035 em Caçador poderá cobrir 403% da necessidade de irrigação da produção atual de todas essas três culturas.

Além disso, os mapas mostram que diferentes municípios com alta demanda por água de irrigação e elevada produção de efluentes tratados estão agrupados ao longo da área de estudo, o que indica a possibilidade de cooperação, tendo em vista critérios geográficos. Isso aumenta a taxa de sucesso do uso de esgoto tratado para irrigar culturas cultivadas na área de estudo, uma vez que permite a centralização de tratamentos complementares que podem ser necessários para atender os padrões de qualidade impostos pelo governo e outras instituições reguladoras, além de facilitar a qualidade, controle, distribuição, gestão, entre outros fatores importantes a serem considerados.

Os resultados encontrados apontam potencial de reciclo de esgoto tratado na agricultura de pequenos municípios, uma vez que, apesar destes não possuírem ampla cobertura de serviços de saneamento no momento, possuem planejamento de melhorias até 2035. Tal situação também foi observada por Barbagallo et al. (2012), os quais identificaram que 49% e 60% das ETEs em operação e planejadas, respectivamente, atendiam populações entre 2.000 e 10.000 habitantes, inferindo que é possível existir potencial, mesmo quando planejamos de forma descentralizada. Ainda similar a Barbagallo et al. (2012), não foram incluídos critérios associados ao custo benefício econômico neste estudo devido às particularidades inerentes de cada localidade. Todavia, o estudo destes e outros fatores são fundamentais no processo de planejamento e execução de projetos de reciclo de subprodutos do saneamento.

Ademais, é importante destacar a importância da qualidade do efluente tratado para garantir o seu reciclo seguro na irrigação de diferentes culturas, além de levar em consideração outros aspectos logísticos e de risco, que podem ser alcançados com mais pesquisas considerando os resultados apresentados nesta tese, juntamente com a coleta de dados adicionais, uma vez que as demandas de irrigação variam de acordo com a cultura e o local avaliado.

O tipo de irrigação utilizado também deve ser considerado em pesquisas futuras. Conforme apresentado na Figura 3 e Figura 4, a irrigação agrícola é realizada de diferentes formas na área de estudo, e estas devem ser estudadas de forma a compreender a sua influência na segurança dos agricultores, moradores em áreas vizinhas, meio ambiente e consumidores finais.

6.1.6 AVALIAÇÃO QUALITATIVA DO USO DE ESGOTO TRATADO NA AGRICULTURA: CENÁRIO 2035

Os resultados e discussão relativos à avaliação qualitativa do efluente produzido pelas ETEs propostas no cenário futuro para os municípios produtores de cebola, alface e alho estão apresentados nos itens a seguir.

6.1.6.1 Avaliação qualitativa – cultura cebola

O resumo dos resultados obtidos na avaliação qualitativa do efluente produzido pelas ETEs propostas nos municípios produtores de cebola está apresentado na Tabela 18. Dentre os 18 municípios selecionados que produzem cebola, 16 possuem apenas uma ETE planejada até 2035. Caçador e Fraiburgo possuem mais de uma ETE proposta, representando, respectivamente, 33 % e 15% da população total atendida por todas as ETEs avaliadas. Além disso, cabe ressaltar que Curitiba, mesmo possuindo apenas uma ETE, é responsável por 16% da população total atendida.

O município Bom Retiro foi o único município que apresentou solução de tratamento de esgotos via sistema australiano seguido de lagoa de maturação, atingindo qualidade média de efluente entre 10^2 - 10^4 CF/100mL, implicando na necessidade apenas de lavagem do alimento antes do seu consumo, o qual tem potencial de reduzir 1 log na concentração de bactérias. Contudo, tendo em vista que cebolas costumam ser descascadas antes do seu consumo, tal medida já implica numa redução potencial de 2 logs. Portanto, o consumo tradicional de cebola, tendo em vista os critérios apresentados na metodologia, se mostrou seguro, desde que o sistema proposto respeite a concentração média de bactérias apresentadas por Von Sperling (2007) para este tipo de tratamento.

Tabela 18 – Avaliação qualitativa do potencial de irrigação da cultura cebola com esgoto tratado nos municípios selecionados

Município	ETEs planejadas até 2035 ⁽¹⁾		Sistemas de tratamento ⁽²⁾		Redução de logs necessária para atingir risco aceitável ⁽³⁾
	Nome da ETE	População Atendida	Sistema de tratamento	Qualidade média do efluente (FC/100mL)	pppy 10 ⁻³
Bom Retiro	ETE BOM RETIRO	7.941	Lagoa anaeróbica + lagoa facultativa + lagoa de maturação	10 ² -10 ⁴	0-1
Urubici	ETE URUBICI	7.326	Tratamento Primário (tanques sépticos)	10 ⁷ -10 ⁸	4-5
			Reator UASB	10 ⁶ -10 ⁷	3-4
Irineópolis	ETE IRINEÓPOLIS	5.277	Tratamento Primário (tanques sépticos)	10 ⁷ -10 ⁸	4-5
			Reator UASB	10 ⁶ -10 ⁷	3-4
Ituporanga	ETE ITUPORANGA	19.091	UASB + biofiltro aerado submerso	10 ⁶ -10 ⁷	3-4
Alfredo Wagner	ETE ALFREDO WAGNER	4.176	Tratamento Primário (tanques sépticos)	10 ⁷ -10 ⁸	4-5
			Reator UASB	10 ⁶ -10 ⁷	3-4
Imbuia	ETE IMBUIA	3.524	Tratamento Primário (tanques sépticos)	10 ⁷ -10 ⁸	4-5
			Reator UASB	10 ⁶ -10 ⁷	3-4
Aurora	ETE AURORA	3.026	Tratamento Primário (tanques sépticos)	10 ⁷ -10 ⁸	4-5
			Reator UASB	10 ⁶ -10 ⁷	3-4
Leoberto Leal	ETE LEOBERTO LEAL	1.515	Tratamento Primário (tanques sépticos)	10 ⁷ -10 ⁸	4-5
			Reator UASB	10 ⁶ -10 ⁷	3-4
Vidal Ramos	ETE VIDAL RAMOS	3.028	Tratamento Primário (tanques sépticos)	10 ⁷ -10 ⁸	4-5
			Reator UASB	10 ⁶ -10 ⁷	3-4
Chapadão do Lageado	ETE CHAPADÃO DO LAGEADO	1.688	Tratamento Primário (tanques sépticos)	10 ⁷ -10 ⁸	4-5
			Reator UASB	10 ⁶ -10 ⁷	3-4
Petrolândia	ETE PETROLÂNDIA	2.928	Tratamento Primário (tanques sépticos)	10 ⁷ -10 ⁸	4-5
			Reator UASB	10 ⁶ -10 ⁷	3-4
Atalanta	ETE ATALANTA	1.606	Lodo ativado convencional	10 ⁶ -10 ⁷	3-4
Angelina	ETE ANGELINA	1.976	Tratamento Primário (tanques sépticos)	10 ⁷ -10 ⁸	4-5
			Reator UASB	10 ⁶ -10 ⁷	3-4
Lebon Régis	ETE LEBON RÉGIS	8.156	Tratamento Primário (tanques sépticos)	10 ⁷ -10 ⁸	4-5
			Reator UASB	10 ⁶ -10 ⁷	3-4
			Lodo ativado convencional	10 ⁶ -10 ⁷	3-4
Caçador	ETE COHAB - CAÇADOR	303	Tratamento Primário (tanques sépticos)	10 ⁷ -10 ⁸	4-5
			Reator UASB	10 ⁶ -10 ⁷	3-4
			Lodo ativado convencional	10 ⁶ -10 ⁷	3-4
Caçador	ETE ULISSES GUIMARÃES	10.297	Tratamento Primário (tanques sépticos)	10 ⁷ -10 ⁸	4-5
			Reator UASB	10 ⁶ -10 ⁷	3-4
			Lodo ativado convencional	10 ⁶ -10 ⁷	3-4
Caçador	ETE CAÇADOR	61.373	Tratamento Primário (tanques sépticos)	10 ⁷ -10 ⁸	4-5
			Reator UASB	10 ⁶ -10 ⁷	3-4
			Lodo ativado convencional	10 ⁶ -10 ⁷	3-4
Fraiburgo	ETE JARDIM AMÉRICA	7.366	Tratamento Primário (tanques sépticos)	10 ⁷ -10 ⁸	4-5
			Reator UASB	10 ⁶ -10 ⁷	3-4
			Lodo ativado convencional	10 ⁶ -10 ⁷	3-4
Fraiburgo	ETE ARAUCÁRIA	8.041	Reator UASB + filtro anaeróbico	10 ⁶ -10 ⁷	3-4
			UASB + Filtro percolador de alta taxa	10 ⁶ -10 ⁷	3-4
Fraiburgo	ETE SÃO SEBASTIÃO 1	12.522	UASB + Filtro percolador de alta taxa	10 ⁶ -10 ⁷	3-4
			UASB + Filtro percolador de alta taxa	10 ⁶ -10 ⁷	3-4
Curitibanos	ETE SÃO SEBASTIÃO 2	4053	UASB + Filtro percolador de alta taxa	10 ⁶ -10 ⁷	3-4
			UASB + Filtro percolador de alta taxa	10 ⁶ -10 ⁷	3-4
Curitibanos	ETE CURITIBANOS	35.512	Lodo ativado convencional	10 ⁶ -10 ⁷	3-4
Tangará	ETE TANGARÁ	5.307	Tratamento Primário (tanques sépticos)	10 ⁷ -10 ⁸	4-5
			Reator UASB	10 ⁶ -10 ⁷	3-4

Fonte: 1 – ANA (2013). 2 – Von Sperling (2007). 3 – WHO (2006).

Os municípios produtores de cebola restantes possuem 15 ETEs planejadas com tratamento de esgoto via reator anaeróbico, 1 com solução de tratamento via UASB seguido de biofiltro aerado submerso, 4 via lodos ativados convencional, 1 via Reator UASB seguido de

filtro anaeróbico e 2 via UASB seguido de filtro percolador de alta taxa. Segundo Von Sperling (2007), estes tipos de tratamento entregam efluente tratado com concentrações entre 10^6 - 10^8 CF/100mL. O efluente proveniente dessas soluções exige redução entre 3-5 logs na sua concentração de bactérias para assegurar seu consumo seguro, tendo em vista o pppy de 10^{-3} considerado. Possíveis medidas de proteção à saúde e preparo de alimentos podem contribuir para atingir tais reduções de logs, como por exemplo: lavagem com água (1 log), desinfecção do produto (2 logs), descasque (2 logs). Combinações de boas práticas são aplicáveis. Uma vez que a metodologia aplicada no cálculo do risco médio de infecção utilizado como parâmetro neste estudo já considerou a morte de patógenos entre colheita e consumo, tal prática não foi considerada. Cabe ressaltar que cebolas, apesar de eventualmente serem consumidas cruas, costumam passar por algum processo de cozimento, medida esta que tem potencial de reduzir 6-7 logs.

6.1.6.2 Avaliação qualitativa – cultura alface

O resumo dos resultados obtidos na avaliação qualitativa do efluente produzido pelas ETEs propostas nos municípios produtores de alface está apresentado na Tabela 19. Dentre os 41 municípios que produzem alface, todos possuem apenas uma ETE planejada para o cenário futuro. Contudo, os municípios apresentam diversidade em termos de tipologia de tratamento previsto, apresentando 12 ETEs com tratamento via reator anaeróbio, 13 com tratamento via lodos ativados e suas variações, 15 com tratamento via UASB seguido de pós tratamento e 2 via sistema de lagoas.

Desconsiderando a opção de reator anaeróbio via tratamento primário (tanques sépticos), todas as demais soluções propostas entregam qualidade similar de esgoto tratado (10^6 - 10^7 FC/100mL). Dessa forma, considerando o cenário menos restritivo avaliado (pppy igual a 10^{-2}), faz-se necessária a redução de 1-2 logs, podendo ser atingida através da lavagem do alimento com água (1 log) ou lavagem do alimento com solução desinfetante fraca seguida de enxague com água (2 log).

Todavia, o cenário mais restritivo (pppy igual a 10^{-3}) inferiu na necessidade de redução de 2-3 logs, a qual pode ser atingida, considerando seu intervalo inferior, através da lavagem do alimento com solução desinfetante fraca seguida de enxague com água, reduzindo até 2 logs. Contudo, Mara et al. (2007) indica a possibilidade de utilização de pppy igual a 10^{-2} (10^4 - 10^5 E. coli/100mL), tendo em vista que alface não é produzido abaixo do nível do solo, além do fato que outras normativas utilizadas em diversos países e aplicadas a comercialização de

alimentos prontos para consumo imporem qualidade mínima de 10^4 E. coli por 100 gramas de peso úmido, o que implica, caso considerado pppy igual a 10^{-3} , em maior restrição para a qualidade da água utilizada na irrigação de um alimento, do que para o seu próprio consumo.

Tabela 19 – Avaliação qualitativa do potencial de irrigação da cultura alface com esgoto tratado nos municípios selecionados

Município	ETEs planejadas até 2035 ⁽¹⁾		Sistemas de tratamento ⁽²⁾		Redução de logs necessária para atingir risco aceitável ⁽³⁾	
	Nome da ETE	População Atendida	Sistema de tratamento	Qualidade média do efluente (FC/100mL)	pppy 10^{-2}	pppy 10^{-3}
Chapecó	ETE CHAPECÓ	237.901	Lodos ativados convencional	10^6-10^7	1-2	2-3
Xanxerê	ETE XANXERE	44.758	UASB + Filtro percolador de alta taxa	10^6-10^7	1-2	2-3
Guatambú	ETE GUATAMBU	2.493	Tratamento Primário (tanques sépticos)	10^7-10^8	2-3	3-4
Videira	ETE VIDEIRA	48.663	Reator UASB	10^6-10^7	1-2	2-3
Xaxim	ETE XAXIM	28.572	Lodos ativados convencional	10^6-10^7	1-2	2-3
Concórdia	ETE CONCÓRDIA	65.984	UASB + biofiltro aerado submerso	10^6-10^7	1-2	2-3
Campos Novos	ETE BACIA A - CAMPOS NOVOS	12.420	UASB + Filtro percolador de alta taxa	10^6-10^7	1-2	2-3
Seara	ETE SEARA	13.368	Lagoa anaeróbica + lagoa facultativa	10^6-10^7	1-2	2-3
Ibicaré	ETE IBICARÉ	1.591	Lodos ativados convencional	10^6-10^7	1-2	2-3
Lages	ETE CAÇA E TIRO	66.923	Tratamento Primário (tanques sépticos)	10^7-10^8	2-3	3-4
São José do Cerrito	ETE SÃO JOSÉ DO CERRITO	3.942	Reator UASB	10^6-10^7	1-2	2-3
Mafra	ETE MAFRA	45.487	UASB + biofiltro aerado submerso	10^6-10^7	1-2	2-3
Rio do Sul	ETE RIO DO SUL	75.580	UASB + Filtro percolador de alta taxa	10^6-10^7	1-2	2-3
Alfredo Wagner	ETE ALFREDO WAGNER	4.176	Tratamento Primário (tanques sépticos)	10^7-10^8	2-3	3-4
Luiz Alves	ETE LUIZ ALVES	8.088	Reator UASB	10^6-10^7	1-2	2-3
Camboriú	ETE CAMBORIÚ	88.886	Tratamento Primário (tanques sépticos)	10^7-10^8	2-3	3-4
Itajaí	ETE CIDADE NOVA	82.743	Reator UASB	10^6-10^7	1-2	2-3
Indaial	ETE NAÇÕES	8.0381	Lodos ativados convencional	10^6-10^7	1-2	2-3
Porto Belo	ETE PORTO BELO	23.842	Lodo ativado convencional com remoção biológica de N	10^6-10^7	1-2	2-3
Gaspar (SC)	ETE GASPAR	69.719	Tratamento Primário (tanques sépticos)	10^7-10^8	2-3	3-4
Balneário Piçarras (SC)	ETE BALNEÁRIO PIÇARRAS	26.529	Reator UASB	10^6-10^7	1-2	2-3
Joinville (SC)	ETE Jarivatuba	564.701	Lodo ativado - aeração prolongada	10^6-10^7	1-2	2-3
Itapema (SC)	ETE MORRETES	69.627	Lodos ativados convencional	10^6-10^7	1-2	2-3
Blumenau (SC)	ETE GARCIA	86.901	Lodos ativados convencional	10^6-10^7	1-2	2-3
Rio dos Cedros (SC)		7.680	UASB + lodo ativado	10^6-10^7	1-2	2-3
			Tratamento Primário (tanques sépticos)	10^7-10^8	2-3	3-4

	ETE RIO DOS CEDROS		Reator UASB	10 ⁶ -10 ⁷	1-2	2-3
Araquari (SC)	ETE CENTRO	11.574	UASB + Filtro percolador de alta taxa	10 ⁶ -10 ⁷	1-2	2-3
Antônio Carlos (SC)	ETE ANTÔNIO CARLOS	4.214	Tratamento Primário (tanques sépticos)	10 ⁷ -10 ⁸	2-3	3-4
			Reator UASB	10 ⁶ -10 ⁷	1-2	2-3
Biguaçu (SC)	ETE BIGUAÇU	65.650	UASB + lodo ativado	10 ⁶ -10 ⁷	1-2	2-3
Angelina (SC)	ETE ANGELINA	1.976	Tratamento Primário (tanques sépticos)	10 ⁷ -10 ⁸	2-3	3-4
			Reator UASB	10 ⁶ -10 ⁷	1-2	2-3
Águas Mornas (SC)	ETE ÁGUAS MORNAS	3.191	Tratamento Primário (tanques sépticos)	10 ⁷ -10 ⁸	2-3	3-4
			Reator UASB	10 ⁶ -10 ⁷	1-2	2-3
Santo Amaro da Imperatriz (SC)	ETE SANTO AMARO DA IMPERATRIZ	20.948	Lodos ativados convencional	10 ⁶ -10 ⁷	1-2	2-3
Florianópolis (SC)	ETE POTECAS	44.712	UASB + Filtro percolador de alta taxa	10 ⁶ -10 ⁷	1-2	2-3
Criciúma (SC)	ETE CRICIÚMA	137.083	UASB + Filtro percolador de alta taxa	10 ⁶ -10 ⁷	1-2	2-3
Içara (SC)	ETE IÇARA	55.182	UASB + Filtro percolador de alta taxa	10 ⁶ -10 ⁷	1-2	2-3
Tubarão (SC)	ETE TUBARÃO	95.643	Tratamento Primário (tanques sépticos)	10 ⁷ -10 ⁸	2-3	3-4
			Reator UASB	10 ⁶ -10 ⁷	1-2	2-3
Laguna (SC)	ETE LAGUNA	39.355	UASB + biofiltro aerado submerso	10 ⁶ -10 ⁷	1-2	2-3
Urussanga (SC)	ETE URUSSANGA	11.845	Lagoa Facultativa	10 ⁶ -10 ⁷	1-2	2-3
Braço do Norte (SC)	ETE BRAÇO DO NORTE	29.076	Lodos ativados convencional	10 ⁶ -10 ⁷	1-2	2-3
São Miguel do Oeste (SC)	ETE SÃO MIGUEL DO OESTE	36.832	UASB + Filtro percolador de alta taxa	10 ⁶ -10 ⁷	1-2	2-3
Maravilha (SC)	ETE MARAVILHA	25.408	UASB + Filtro percolador de alta taxa	10 ⁶ -10 ⁷	1-2	2-3
Caçador (SC)	ETE SANTA CATARINA	80.307	Lodos ativados convencional	10 ⁶ -10 ⁷	1-2	2-3

Fonte: 1 – ANA (2013). 2 – Von Sperling (2007). 3 – WHO (2006).

6.1.6.3 Avaliação qualitativa – cultura alho

O resumo dos resultados obtidos na avaliação qualitativa do efluente produzido pelas ETEs propostas nos municípios produtores de alho está apresentado na Tabela 20. Dentre os 7 municípios selecionados que produzem alho, 5 possuem apenas uma ETE planejada até 2035. Caçador e Fraiburgo possuem mais de uma ETE planejada, que representam, respectivamente, 47% e 21% da população total atendida por todas as ETEs avaliadas. Além disso, cabe ressaltar que Curitiba, mesmo possuindo apenas uma ETE, é responsável por 23% da população total atendida.

Tabela 20 – Avaliação qualitativa do potencial de irrigação da cultura alho com esgoto tratado nos municípios selecionados

Município	ETEs planejadas até 2035 ⁽¹⁾		Sistemas de tratamento ⁽²⁾		Redução de logs necessária para atingir risco aceitável ⁽³⁾	
	Nome da ETE	População Atendida	Sistema de tratamento	Qualidade média do efluente (FC/100mL)	Agricultura Altamente Mecanizada	Agricultura de Trabalho Manual
Brunópolis	ETE BRUNÓPOLIS	999	Tratamento Primário (tanques sépticos)	10 ⁷ -10 ⁸	2-3	3-4
			Reator UASB	10 ⁶ -10 ⁷	1-2	2-3
Ponte Alta	ETE PONTE ALTA	2.852	Tratamento Primário (tanques sépticos)	10 ⁷ -10 ⁸	2-3	3-4
			Reator UASB	10 ⁶ -10 ⁷	1-2	2-3
Curitibanos	ETE CURITIBANOS	35.512	Lodos ativados convencional	10 ⁶ -10 ⁷	1-2	2-3
Frei Rogério	ETE FREI ROGÉRIO	1.079	Tratamento Primário (tanques sépticos)	10 ⁷ -10 ⁸	2-3	3-4
			Reator UASB	10 ⁶ -10 ⁷	1-2	2-3
Fraiburgo	ETE JARDIM AMÉRICA	7.366	Tratamento Primário (tanques sépticos)	10 ⁷ -10 ⁸	2-3	3-4
			Reator UASB	10 ⁶ -10 ⁷	1-2	2-3
Fraiburgo	ETE ARAUCÁRIA	8.041	UASB + Filtro anaeróbico	10 ⁶ -10 ⁷	1-2	2-3
	ETE SÃO SEBASTIÃO 1	12.522	UASB + Filtro percolador de alta taxa	10 ⁶ -10 ⁷	1-2	2-3
	ETE SÃO SEBASTIÃO 2	4.053	UASB + Filtro percolador de alta taxa	10 ⁶ -10 ⁷	1-2	2-3
Lebon Régis	ETE LEBON RÉGIS	8.156	Tratamento Primário (tanques sépticos)	10 ⁷ -10 ⁸	2-3	3-4
			Reator UASB	10 ⁶ -10 ⁷	1-2	2-3
	ETE SANTA CATARINA	303	Lodos ativados convencional	10 ⁶ -10 ⁷	1-2	2-3
Caçador	ETE COHAB - CAÇADOR	303	Tratamento Primário (tanques sépticos)	10 ⁷ -10 ⁸	2-3	3-4
			Reator UASB	10 ⁶ -10 ⁷	1-2	2-3
	ETE ULISSES GUIMARÃES	10.297	Tratamento Primário (tanques sépticos)	10 ⁷ -10 ⁸	2-3	3-4
	ETE CAÇADOR	61.373	Lodos ativados convencional	10 ⁶ -10 ⁷	1-2	2-3

Fonte: 1 – ANA (2013). 2 – Von Sperling (2007). 3 – WHO (2006).

Dentre os municípios produtores de alho, existem 7 ETEs planejadas com tratamento de esgoto via reator anaeróbico, 3 com solução de tratamento via lodos ativados convencional, 1 via reator UASB seguido de filtro anaeróbico e 2 via UASB seguido de filtro percolador de alta taxa. Segundo Von Sperling (2007), estes tipos de tratamento entregam efluente tratado com concentrações de FC entre 10⁶-10⁸. O efluente proveniente dessas soluções exige redução entre 1-4 logs na sua concentração de bactérias para assegurar a segurança dos agricultores que irão trabalhar nos campos irrigados com esgoto tratado, a depender do tipo de agricultura praticado. Esta redução pode ser atingida através da implantação de unidades de tratamento complementar, de forma a atingir a qualidade mínima de 10⁴ e 10⁵ E. coli/100mL, para

agricultura de trabalho manual e agricultura altamente mecanizada, respectivamente, conforme recomendado por WHO (2006).

É importante ressaltar que a avaliação qualitativa aplicada à cultura alho é referente à prática de irrigação restrita, e, portanto, não abordou a segurança do consumidor final, mas sim dos agricultores que trabalham em campos agrícolas irrigados com esgoto tratado, conforme detalhado na metodologia. WHO (2006) e Mara et al. (2007) recomendam concentração $\leq 10^3$ de E. coli/100mL para irrigação irrestrita de culturas de raízes e como exemplo de potencial combinação de medidas de proteção à saúde, indicam o tratamento de efluente (reduzindo 4 logs), seguido de morte de patógenos até o consumo (reduzindo 2 logs em função do tempo entre colheita e consumo), finalizando com a lavagem caseira do produto com água corrente (reduzindo 1 log). Essa combinação é aplicável para vegetais e saladas irrigadas com esgoto tratado e consumidas cruas. Contudo, alho é comumente cozido de alguma forma antes de ser consumido, o que pode reduzir 6-7 logs.

Além disso, Mara et al. (2007) indica a possibilidade de redução de pppy de 10^{-3} para 10^{-2} tanto para irrigação restrita quanto para irrestrita, tendo em vista a incidência de doenças diarreicas apresentadas na Tabela 4. Os autores recomendam concentração $\leq 10^5$ E. coli em 100mL para agricultura de trabalho manual, desde que os agricultores adotem boas práticas de higiene, e que a concentração máxima seja reduzida para $\leq 10^4$ E. coli em 100mL caso pessoas de idade inferior a 15 anos sejam expostas. Para a agricultura altamente mecanizada, os autores sugerem mudança de $\leq 10^5$ para $\leq 10^6$ E. coli em 100mL. Ademais, concordam com $\leq 10^3$ E. coli em 100mL para irrigação irrestrita de culturas de raízes, cultivadas abaixo do solo e consumidas cruas. Para culturas que se desenvolvem acima do nível do solo, sugerem a mudança de $\leq 10^3$ para $\leq 10^4$ E. coli em 100mL, tendo em vista os seus resultados nos estudos realizados com alface.

Cabe ressaltar que, conforme apresentado por Mara et al. (2007) e WHO (2006), diferentes tipos de agricultura e culturas implicam em diferentes riscos associados ao reciclo de esgoto tratado na sua irrigação. Portanto, faz-se necessária a continuação da pesquisa iniciada nesta tese considerando-se escopos locais mais específicos, uma vez que, apesar da agricultura de trabalho manual ser mais comum em países em desenvolvimento, o Brasil é país referência no agronegócio e, portanto, aplica diferentes tipos de tecnologia na sua agricultura.

Além disso, conforme sugerido por Mara et al. (2007), é necessário entender as particularidades de cada contexto ao definir padrões de qualidade a serem seguidos, de forma a garantir a segurança dos agricultores e consumidores finais sem prejudicar a viabilidade técnica e econômica do reciclo de subprodutos do saneamento. Conforme apresentado na Tabela 4, a

incidência de doenças diarreicas em países em desenvolvimento é superior ao risco que determinadas legislações visam conter. Tendo em vista que uma das principais causas desse tipo de doença é a falta de acesso a serviços de saneamento adequados, faz-se necessário refletir se a alocação de esforços deve estar na alta restritividade de normativas, ou na educação, pesquisa e identificação de soluções alternativas que unam a expansão da cobertura de saneamento e a produção de alimentos.

É importante ressaltar que a metodologia aplicada na avaliação quantitativa considerou bactérias como indicadores devido aos dados disponíveis nas bases consultadas, além do fato das referências utilizadas para determinação dos critérios de avaliação (OMS, 2006; Mara et al., 2007) terem considerado rotavírus, campylobacter e cryptosporidium. Contudo, apesar das bactérias serem o indicador mais popular, situações endêmicas e epidêmicas específicas podem necessitar a utilização de outros tipos de indicadores. Além disso, o valor dos bacteriófagos como indicadores de vírus patogênicos é atualmente uma área de debate e pesquisa em andamento, além de adenovírus ter ganho atenção devido a sua resistência à desinfecção com luz ultravioleta (USEPA, 2012).

Ademais, é necessário estudar a aplicação de esgoto tratado e de outros subprodutos do saneamento na fertirrigação e adubação, conforme previsto pelo Plano Nacional de Fertilizantes 2050 (PNF 2050). O Brasil importa mais de 80% do N, P e K utilizados no agronegócio nacional e faz-se necessário aplicar soluções sustentáveis alinhadas ao conceito de economia circular, como, por exemplo, o reúso de efluentes, uma vez que nutrientes como o fósforo, potássio e nitrogênio apresentam riscos associados a sua cadeia produtiva, implicando em potencial descontinuidade de fornecimento devido à falta de matéria prima, concentração de fornecedores e falta de inovação nas suas cadeias produtivas (BRASIL, 2021).

Por fim, devido à falta de especificações técnicas em volta das soluções apresentadas pelo Atlas Esgotos, indica-se a coleta de dados e avaliação complementar das soluções propostas, abordando os sistemas de tratamento como um todo, incluindo seu pré-tratamento, produtos químicos utilizados e presença de desinfecção, uma vez que outros parâmetros além da concentração de bactérias influenciam processos de tomada de decisão. Além disso, o monitoramento periódico dos sistemas de tratamento e devidas concentrações de parâmetros de qualidade do efluente utilizado na irrigação são fundamentais para garantir a consistência dos níveis de risco considerados e consequente segurança dos envolvidos no processo produtivo e consumo das culturas irrigadas com esgoto tratado.

7 CONCLUSÕES

Durante um período de aproximadamente 4 anos de envolvimento com esse estudo, realizando pesquisa bibliográfica, coleta e tratamento de dados, confecção de mapas e tabelas e discussão dos resultados, buscou-se identificar se o estado de Santa Catarina pode usufruir da aplicação dos princípios do saneamento sustentável de forma segura, no que tange o reciclo de esgoto tratado na irrigação agrícola.

Dentre as potencialidades apontadas nessa pesquisa com relação ao potencial do reciclo agrícola de esgoto tratado no estado de Santa Catarina em termos quantitativos e qualitativos, pode-se concluir:

- i. Os resultados apresentam 32, 12, 3, 6, 2, 2 e 1 municípios, os quais produzem, respectivamente, arroz, cebola, alho, banana-caturra, batata, tomate e banana-prata com potencial de irrigação agrícola superior a 85%, alcançando valores superiores a 6.000%, mostrando que a quantidade de esgoto a ser produzida em 2035 poderá não somente suprir a demanda atual de água de irrigação agrícola, mas também permitir a expansão da agricultura sem consumir mais água potável;
- ii. A descarga de carga orgânica evitada seria substancial, caso todos os municípios estudados no cenário 2035 utilizassem todo o seu potencial de irrigação agrícola com esgoto tratado para irrigar o cenário atual de produção de alimentos, uma vez que a quantidade de DBO não lançada diretamente em corpos hídricos, considerando os municípios produtores de arroz, cebola, alho, banana-caturra, batata, tomate e banana-branca, seria, respectivamente, 27.240, 1.160, 436, 214, 169, 49 e 129 kg DBO dia⁻¹;
- iii. Nota-se potencial de cooperação entre diferentes municípios, uma vez que municípios com altas demandas por água de irrigação e produção de esgoto tratado encontra-se geograficamente próximos;
- iv. A qualidade dos efluentes produzidos pela maior parte das ETEs estudadas requer tratamento posterior, ou, pelo menos, a aplicação de métodos de higiene e manejo dos alimentos para prevenir riscos à saúde dos agricultores e consumidores finais. Dado que a maior parte destas ETEs ainda não se encontram em funcionamento, há a possibilidade

de que alterações sejam implementadas para fornecer efluentes de melhor qualidade, permitindo sua aplicação na irrigação agrícola de forma mais segura.

Portanto, o autor concorda parcialmente com a hipótese avaliada, uma vez que os resultados apresentam potencial tanto quantitativo quanto qualitativo, mas, são necessárias avaliações complementares. Dito isto, o autor aqui expressa que sua intenção foi apontar potencialidades e indicar quais culturas e localidades da área de estudo têm maior propensão a implementar a irrigação agrícola com esgoto tratado, fomentando assim novas pesquisas, abordando, por exemplo, avaliação econômica, análise de risco e outros fatores chave relacionados a estudos de viabilidade. Tais fatores não foram avaliados nesta pesquisa devido à escala da área de estudo, porém, devem ser considerados em pesquisas futuras acerca da prática da irrigação agrícola com esgoto tratado nas cidades e culturas estudadas. Aspectos relativos às pegadas hídricas verde e cinza, bem como à presença de agricultura familiar e tratamento *in loco* devem ser abordados para entender a dinâmica da irrigação das lavouras com esgoto tratado e fomentar o alcance do objetivo do desenvolvimento sustentável 6, que tem como foco garantir o acesso à água e saneamento para todos.

8 RECOMENDAÇÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Existem inúmeras possibilidades de continuação e complementação deste estudo, de forma a sanar os questionamentos existentes em torno da prática do reúso e do saneamento ecológico como um todo e fomentar a implementação de projetos em escala real, como, por exemplo:

- v. Inserir aspectos geográficos e de relevo no estudo do potencial de reciclo de esgoto tratado, uma vez que estes podem influenciar na viabilidade de transporte de efluente;
- vi. Avaliar a fertirrigação com esgoto tratado, estudando a necessidade da remoção de nutrientes, uma vez que estes são de importância agrícola;
- vii. Realizar estudo similar a este, considerando o potencial de reciclo de lodo de esgoto na agricultura;
- viii. Realizar estudos de AQRM com séries históricas de concentrações de patógenos no efluente tratado de ETEs reais;
- ix. Avaliar a logística de operação de projetos que apliquem o reciclo de subprodutos do saneamento.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13969**: Projeto, Construção e Operação de Unidades de Tratamento Complementar e Disposição Final dos Efluentes de Tanques Sépticos: procedimentos. 1997.

AMOAHI, I. D.; POOVENDHREE, R.; SEIDU, R.; STENSTROM, T. A. Removal of helminth eggs by centralized and decentralized wastewater treatment plants in South Africa and Lesotho: health implications for direct and indirect exposure to the effluents. **Environmental Science and Pollution Research**, 25, 12883–12895, 2018. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1503-7>

ANA – Agência Nacional de Águas. **Atlas Esgoto**. 2013. Disponível em: <http://atlasesgotos.ana.gov.br/>, Acesso em: maio de 2021.

ARESC - Agência Reguladora de Serviços Públicos de Santa Catarina. **Relatório de Fiscalização Emergencial dos Serviços de Saneamento Básico**. 2018a. Disponível em: <https://www.aresc.sc.gov.br/index.php/documentos/plano-emergencial/plano-emergencial-agua/2018-3/1623-itajai-fiscalizacao-plano-de-emergencia-e-contingencia-verao-2018-2019/file>, Acesso em: maio de 2021.

ARESC - Agência Reguladora de Serviços Públicos de Santa Catarina. **Relatório de Fiscalização Emergencial dos Serviços de Saneamento Básico**. 2018b. Disponível em: <https://www.aresc.sc.gov.br/index.php/documentos/relatorios-de-fiscalizacao-de-municipios-conveniados/municipios-agua/icara/1404-emergencial-operacional-icara-gefis-019-2018-e-tas-127/file>, Acesso em: maio de 2021.

ARESC – Agência Reguladora de Serviços Públicos de Santa Catarina. **Relatório de Fiscalização Inicial dos Serviços de Saneamento Básico**. 2018c. Disponível em: <https://www.aresc.sc.gov.br/index.php/documentos/relatorios-de-fiscalizacao-de-municipios-conveniados/municipios-agua/criciuma/1435-relatorio-inicial-013-2018-e-tas-137-municipio-criciuma/file>, Acesso em: maio de 2021.

ARESC – Agência Reguladora de Serviços Públicos de Santa Catarina. **Relatório de Fiscalização Emergencial dos Serviços de Saneamento Básico**. 2019a. Disponível em: <https://www.aresc.sc.gov.br/index.php/documentos/relatorios-de-fiscalizacao-de-municipios-conveniados/municipios-agua/araquari/1666-relatorio-de-fiscalizacao-emergencial-municipio-araquari-gefis-07-2019/file>, Acesso em: maio de 2021.

ARESC – Agência Reguladora de Serviços Públicos de Santa Catarina. **Relatório de Fiscalização Eventual Análise de Plano de Emergência Contingência**. 2019b. Disponível em: <https://www.aresc.sc.gov.br/index.php/documentos/relatorios-de-fiscalizacao-de-municipios-conveniados/municipios-agua/itapema/1862-gefis-054-2019-eventual-itapema-pec/file>, Acesso em: maio de 2021.

ARESC – Agência Reguladora de Serviços Públicos de Santa Catarina. **Relatório de Fiscalização Eventual Análise de Plano de Emergência Contingência**. 2019c. Disponível em: <https://www.aresc.sc.gov.br/index.php/documentos/relatorios-de-fiscalizacao-de-municipios-conveniados/municipios-agua/garopaba/1864-gefis-057-2019-eventual-imbitiba-pec-1/file>, Acesso em: maio de 2021.

ARESC – Agência Reguladora de Serviços Públicos de Santa Catarina. **Relatório de Fiscalização Inicial dos Serviços de Saneamento Básico**. 2020. Disponível em: <https://www.aresc.sc.gov.br/index.php/documentos/relatorios-de-fiscalizacao-de-municipios-conveniados/municipios-agua/laguna/1866-gefis-009-2020-inicial-laguna-ses-operacional/file>, Acesso em: maio de 2021.

ARIS – Agência Reguladora Intermunicipal de Saneamento. **Relatório de Fiscalização**. 2017a. Disponível em: aris.sc.gov.br/uploads/edital/3963/CWncOJsA6wvvpvKxdaBv6EpveEZiaMjtO.pdf, Acesso em: maio de 2021.

ARIS – Agência Reguladora Intermunicipal de Saneamento. **Relatório de Fiscalização**. 2017b. Disponível em: <https://www.aris.sc.gov.br/uploads/edital/3963/CWncOJsA6wvvpvKxdaBv6EpveEZiaMjtO.pdf>, Acesso em: maio de 2021.

ARIS – Agência Reguladora Intermunicipal de Saneamento. **Relatório de Fiscalização**. 2017c. Disponível em: <https://www.aris.sc.gov.br/uploads/edital/4762/4RGOcahyQedVCUthN6cTpJDvdwCzEenp.pdf>, Acesso em: maio de 2021.

ARIS – Agência Reguladora Intermunicipal de Saneamento. **Relatório de Fiscalização**. 2017d. Disponível em: https://www.aris.sc.gov.br/uploads/edital/3619/gYzDU5wP4d5Z_MWnqwsINWk8bltQBqoZ.pdf, Acesso em: maio de 2021.

ARIS – Agência Reguladora Intermunicipal de Saneamento. **Relatório de Fiscalização**. 2017e. Disponível em: <https://www.aris.sc.gov.br/uploads/edital/3534/OfO6CExtOyeVrLRvk19IYwGPv14EcAIS.pdf>, Acesso em: maio de 2021.

ARIS – Agência Reguladora Intermunicipal de Saneamento. **Relatório de Fiscalização**. 2019. Disponível em: https://www.aris.sc.gov.br/uploads/edital/3567/qq3YMOW1Cp0-R_0h69GW8BMPxx5njSRn.pdf, Acesso em: maio de 2021.

COSTA, A. N., COSTA, A. F. S., **Manual de uso agrícola e disposição do lodo de esgoto para o estado do Espírito Santo**, DCM/INCAPER, Vitória, Espírito Santo, 2011.

ASANO, T. Water from (waste) water – the dependable water resource. **Water Science and Technology**, v. 45, n. 8, p. 23–33, 2002.

AUSTRALIA & NEW ZEALAND BIOSOLIDS PARTNERSHIP. **Biosolids production and end use in Australia**. AUSTRALIAN WATER ASSOCIATION. 2013.

BARBAGALLO, S., CIRELLI, G. L., CONSOLI, S., LICCIARDELLO, F., MARZO, A., & TOSCANO, A. Analysis of treated wastewater reuse potential for irrigation in Sicily. **Water Science & Technology**, 2024–2033, 2012. <https://doi.org/10.2166/wst.2012.102>.

BEECHER, N.; CRAWFORD, K.; GOLDSTEIN, N; KESTER, G. LONO BATURA M.; DZIEZYK, E. **A national biosolids regulation, quality and use & disposal survey**. Final report. North East Biosolids and Residuals Association (NEBRA), 30 p., 2007.

BEECHER, N. Moving forward the sustainable and welcome uses of a global resource. In: LEBLANC, R. J.; MATTHEWS, P; RICHARD, R. P. (Ed.). **Global Atlas of Excreta, Wastewater Sludge and Biosolids Management**. Malta: Progress Press, p.15 – 83, 2008.

BERTION, S. R.; NOGUEIRA, T. A. R. Uso de Lodo de esgoto na agricultura. In: COSCIONE, A. R.; NOGUEIRA, T. A. R.; PIRES, A. M. M. (Ed.). **Uso Agrícola de Lodo de Esgoto: avaliação após a Resolução n.375 do Conama**. Botucatu: FEPAF. p.31-50, 2010

BITTENCOURT, S. **Gestão Do Processo De Uso Agrícola De Lodo De Esgoto No Estado Do Paraná: Aplicabilidade Da Resolução Conama 375/06**. 2014. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal Do Paraná, Curitiba, 2014.

BITTENCOURT, S.; SERRAT, B. M.; AISSE, M. M.; GOMES, D. Sewage sludge usage in agriculture: A case study of its destination in the Curitiba Metropolitan Region, Paraná, Brazil. **Water, Air, and Soil Pollution**, 225(9), 2014. <https://doi.org/10.1007/s11270-014-2074-y>.

BRASIL. Secretaria Especial de Assuntos Estratégicos. **Plano Nacional de Fertilizantes 2050 (PNF 2050)**. Brasília: SAE, 2021 195 p.lv.: il. Anexos. Disponível em: <https://static.poder360.com.br/2022/03/plano-nacional-de-fertilizantes-brasil-2050.pdf>. Acesso em: maio 2023.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Decreto N° 4.954, de 14 de janeiro de 2004**. Altera o Anexo ao Decreto no 4.954, de 14 de janeiro de 2004, que aprova o Regulamento da Lei no 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, ou biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas destinados à agricultura. (Ementa com redação dada pelo Decreto nº 8.384, de 29/12/2014). 2014. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/2004/decreto-4954-14-janeiro-2004-497758-normaatualizada-pe.pdf>. Acesso em: maio de 2021.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº. 357, de 17 de março de 2005.** Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. n. 053, p. 58-63, 2005. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. Acesso em: maio de 2021.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº. 375, de 29 de agosto de 2006.** Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. 2006a. Disponível em: https://incaper.es.gov.br/Media/incaper/PDF/legislacao_biosolido/res_conama37506-1.pdf. Acesso em: maio de 2021.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução nº 380, de 31 de outubro de 2006.** Retifica a Resolução CONAMA no 375/06 – Define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. 2006b. Disponível em: https://incaper.es.gov.br/Media/incaper/PDF/legislacao_biosolido/resolucao_380_2006_atratividade_vetores.pdf. Acesso: maio de 2021.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Lei nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007.** Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nºs 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. Lei Federal. Brasília, DF, 2007. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução Nº 021/09 – SEMA.** Dispõe sobre licenciamento ambiental, estabelece condições e padrões ambientais e dá outras providências, para empreendimentos de saneamento. 2009. Disponível em: http://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2020-11/resolucao_sema_21_2009_licenciamento_padroes_ambientais_saneamento.pdf. Acesso em: maio de 2021.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Portaria Nº 1.122, de 19 de março de 2020.** Define as prioridades, no âmbito do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), no que se refere a projetos de pesquisa, de desenvolvimento de tecnologias e inovações, para o período 2020 a 2023. 2020a Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-1.122-de-19-de-marco-de-2020-249437397>. Acesso em: maio de 2021

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020.** Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento, a Lei nº 10.768, de 19 de novembro de 2003,[...], para tratar dos prazos para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos [...]: Lei Federal. Brasília, DF, 2020b. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/lei-n-14.026-de-15-de-julho-de-2020-267035421>. Acesso em: maio de 2021.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução nº 498, de 19 de agosto de 2020.** Define critérios e procedimentos para produção e aplicação de bio sólido em solos, e dá outras providências. 2020c. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-n-498-de-19-de-agosto-de-2020-273467970>. Acesso em: maio de 2021.

BRASIL. Ministérios das Cidades. Secretaria de Saneamento Ambiental – SNSA. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2016**, Brasília: SNSA/MCIDADES, 2018.

CHANDRASEKARAN, S.; JIANG, S. C. A dynamic transport model for quantification of norovirus internalization in lettuce from irrigation water and associated health risk. **Science of the Total Environment**, p. 751-761, 2018.

CHEN, M.; GRAEDEL, T. E. A half-century of global phosphorus flows, stocks, production, consumption, recycling, and environmental impacts. **Global Environmental Change**, v. 36, p. 139–152, 2016.

CIEŚLIK, B.; KONIECZKA, P. A review of phosphorus recovery methods at various steps of wastewater treatment and sewage sludge management. The concept of “no solid waste

generation” and analytical methods. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 1728–1740, 2017.

CLARKE, R. et al. A quantitative microbial risk assessment model for total coliforms and *E. coli* in surface runoff following application of biosolids to grassland. **Environmental Pollution**, p. 739-750, 2017.

CORDELL, D. et al. Towards global phosphorus security: A systems framework for phosphorus recovery and reuse options. **Chemosphere**, v. 84, n. 6, p. 747–758, 2011.

COURAULT, D., et al. Assessment and risk modeling of airborne enteric viruses emitted from wastewater reused for irrigation. **Science of the Total Environment**, p. 512-526, 2017.

DRANGERT, J.; TONDERSKI, K.; MCCONVILLE, J. Extending the European Union Waste Hierarchy to Guide Nutrient-Effective Urban Sanitation toward Global Food Security – Opportunities for Phosphorus Recovery. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, 2018.

EPAGRI. Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. **INFOAGRO: Produção Vegetal. Santa Catarina**, 2020. Disponível em: <https://www.infoagro.sc.gov.br/index.php/safra/producao-vegetal>. Acesso em: maio de 2021.

EPSTEIN, E. **The Science of composting**. Flórida: CRC PRESS, 1997. 489 p. EVANS, T. **Biosolids in Europe**. In: 26th WEF Residuals & Biosolids Conference, Raleigh, NC, USA, 2012. Disponível em: <http://www.timevansenvironment.com/2012%20Biosolids%20in%20Europe%20-%20Evans%20-%20WEF%20R&B%20Conf.%2002E.pdf>. Acesso em: maio de 2021.

ESTADO DA CALIFORNIA. **Wastewater Reclamation Criteria**. (California Administrative Code, Title 22, Division A, Environmental Health). Department of Health Services, Berkeley, California, 1978.

G1 GLOBO. Adubo feito com lodo de esgoto é entregue a produtores rurais do ES. Espírito Santo, 21/11/2014. Disponível em: <http://g1.globo.com/espírito->

[santo/agronegocios/noticia/2014/11/adubo-feito-com-lodo-de-esgoto-e-entregue-produtores-rurais-do-es.html](http://santo.agronegocios/noticia/2014/11/adubo-feito-com-lodo-de-esgoto-e-entregue-produtores-rurais-do-es.html). Acesso em: maio de 2021.

G1 GLOBO. Empresas encontram alternativa sustentável e econômica com o reaproveitamento. Espírito Santo, 23/02/2017. Disponível em: <http://g1.globo.com/espirito-santo/especial-publicitario/cesan/agua-e-vida/noticia/2017/02/empresas-encontram-alternativa-sustentavel-e-economica-com-o-reaproveitamento.html>. Acesso em: maio de 2021.

HAAS, C. N.; ROSE, J. B.; GERBA, C. P. **Quantitative Microbial Risk Assessment**. John Wiley & Sons, 2014.

HECKENMÜLLER, M.; NARITA, D.; KLEPPER, G. **Global availability of phosphorus and its implications for global food supply: an economic overview**, Kiel Working Paper, No. 1897, Kiel Institute for the World Economy (IfW), Kiel, 2014.

HOSPIDO, A.; CARBALLA, M.; MOREIRA, M.; OMIL, F.; LEMA, J. M.; FEIJOO, G. Environmental assessment of anaerobically digested sludge reuse in agriculture: Potential impacts of emerging micropollutants. **Water Research**, 44(10), 3225–3233, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.03.004>.

IBGE. **Censo Agropecuário. 2017.** Disponível em: <https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/resultados-censo-agro-2017.html>. Acesso em: maio de 2021.

IBGE. **Censo Demográfico. 2010.** Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/busca.html?searchword=censo+2010>. Acesso em: maio de 2021.

INSTRUÇÃO NORMATIVA SDA Nº 35, de 4 de julho de 2006. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, Nº 132, quarta-feira, 12 de julho de 2006. 2006. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-35-de-4-7-2006-corretivos.pdf>. Acesso em: maio de 2021.

JIMÉNEZ, B. Latin América: México. In: Spinosa, L. **Wastewater sludge: a global overview of the current status and future prospects**. 2a. ed. London: IWA p. 47 -50, 2011.

JONSSON, A.; LAND, A. An evaluation of the long-term functionality of Ecological Sanitation (EcoSan) projects in rural Burkina Faso: **Reuse of sanitized human excreta as fertilizer in local agriculture**. 2017.

JULIAN, T. R. et al. High time-resolution simulation of E. coli on hands reveals large variation in microbial exposures amongst Vietnamese farmers using human excreta for agriculture. **Science of the Total Environment**, p. 120-131, 2018.

KELESSIDIS, A. STASINAKIS, A. S. Comparative study of the methods used for treatment and final disposal of sewage sludge in European countries. **Waste Management**. v. 32, n. 6., p. 1186-95, 2021.

KRZYZANOWSKI, F.; DE SOUZA LAURETTO, M.; NARDOCCI, A. C.; SATO, M. I. Z.; RAZZOLINI, M. T. P. Assessing the probability of infection by Salmonella due to sewage sludge use in agriculture under several exposure scenarios for crops and soil ingestion. **Science of the Total Environment**, 568, 66–74, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.129>.

MAGRI, M. E. **Aplicação de processos de estabilização e higienização de fezes e urina humanas em banheiros secos segregadores**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/107416/319997.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: maio de 2021.

MARA, D. D.; SLEIGH, P. A.; BLUMENTHAL, U. J.; & CARR, R. M. Health risks in wastewater irrigation: Comparing estimates from quantitative microbial risk analyses and epidemiological studies. **Journal of Water and Health**, 5(1), 39–50, 2007. <https://doi.org/10.2166/wh.2006.055>.

MATHERS, C. D.; STEIN, C.; MA FAT, D.; RAO, C.; INOUE, M.; TOMIJIMA, N.; BERNARD, C.; LOPEZ, A. D; MURRAY, C. J. L. **Global Burden of Disease 2000: Version 2 Methods and Results**. World Health Organization, Geneva, 2002.

MILIEU; WRc; RPA. Environmental, economic and social impacts of the use of sewage sludge on land. **Final Report**. Part I: Overview Report. Milieu Ltd, WRc and Policy Analysts Ltd (RPA) for the European Commission, DG Environment under Study Contract DG ENV.G.4/ETU/2008/0076r. 16p. Brussels, 2010. Disponível em: https://ec.europa.eu/environment/archives/waste/sludge/pdf/part_i_report.pdf. Acesso em: maio de 2021.

MEKONNEN, M. M., HOEKSTRA, A. Y. **The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products**. 2010.

MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. **Hydrology and Earth System Sciences**, **15(5)**, 1577–1600, 2011. <https://doi.org/10.5194/hess-15-1577-2011>.

MOAZENI, M. et al. Estimation of health risks caused by exposure to enteroviruses from agricultural application of wastewater effluents. **Water research**, p. 104-113, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.08.028>.

MYKLEBUST, E. B. et al. **Knowledge Graph Embedding for Ecotoxicological Effect Prediction**. **Lecture Notes in Computer Science** (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), p. 490–506, 2019.

NAVARRO, I.; JIMENEZ, B. Evaluation of the WHO helminth eggs criteria using a QMRA approach for the safe reuse of wastewater and sludge in developing countries. **Water Science and Technology**, 2011.

OWAMAH, H. I., et al. Fertilizer and sanitary quality of digestate biofertilizer from the co-digestion of food waste and human excreta. **Waste management**, p. 747-752, 2014.

PENG, L. et al. A comprehensive review of phosphorus recovery from wastewater by crystallization processes. **Chemosphere**, v. 197, p. 768–781, 2018.

PHILIPPI, L.S.; OLIJNYK, D.P.; MAGRI, M.E. **Arranjos tecnológicos para o tratamento descentralizado de esgotos sanitários**. In: I Ecosanlac, "Seguridade Alimentar e Hídrica para América Latina", Anais: Fortaleza, 2007.

LANGERGRABER, G.; MUELLEGGER, E. Ecological Sanitation-a way to solve global sanitation problems? **Environment International**, v. 31, n. 3, p. 433–444, 2005.

RAZZOLINI, M. T. P.; NARDOCCI, A. C. Avaliação de risco microbiológico: Etapas e sua aplicação na análise da qualidade da água. **Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente**, 2006.

ROST, S.; GERTEN, D.; BONDEAU, A.; LUCHT, W.; ROHWER, J.; SCHAPHOFF, S.: Agricultural green and blue water consumption and its influence on the global water system, **Water Resources Research**, 44, W09405, 2008. <https://doi.org/10.1029/2007WR006331>.

SAMPAIO, A. Afinal, queremos ou não viabilizar o uso agrícola do lodo produzido em estações de esgoto sanitário? Uma avaliação crítica da Resolução CONAMA 375. **Revista DAE**, São Paulo, n. 193, p. 16-27, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4322/dae.2014.109>. Acesso em: maio de 2021.

SCHÖNNING, C.; STENSTRÖM, T.A. **Guidelines on the Safe Use of Urine and Faeces in Ecological Sanitation Systems**. EcoSanRes Programme and Stockholm Environment Institute, Estocolmo, Suécia, 2004.

SECKLER, D.; AMARASINGHE, U.; MOLDEN, D. J.; DE SILVA, R.; BARKER, R. **World water demand and supply, 1990–2025: Scenarios and issues**, IWMI Research Report 19, IWMI, Colombo, Sri Lanka, 1998.

SHEPHERD, J. G.; SOHI, S. P.; HEAL, K. V. Optimizing the recovery and re-use of phosphorus from wastewater effluent for sustainable fertilizer development. **Water Research**, vol 94, p. 155-165, 2016.

SIMHA, P.; GANESAPILLAI, M. Ecological Sanitation and nutrient recovery from human urine: How far have we come? A review. **Sustainable Environment Research**, p. 107-116, 2017.

TELLES, D. D. A.; COSTA, R. H. P. G. **Reúso da água: conceitos, teorias e práticas**. Ed. Blucher, 2007.

UNITED NATIONS, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. World Population Prospects: The 2017 Revision, Key Findings and Advance Tables. Working Paper No. ESA/P/WP/248, 2017. Disponível em: https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2017_KeyFindings.pdf. Acesso em maio de 2021.

USEPA; USAID. **Guidelines for Water Reuse**. (Report No. EPA/625/R-04/108), 2nd edn, Environmental Protection Agency, Washington, DC, 2004.

USEPA – Environmental Protection Agency. **Guidelines for Water Reuse**. EPA/600/R-12/618. 2012. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-08/documents/2012-guidelines-water-reuse.pdf>. Acesso em: maio 2023.

VON SPERLING, M.; CONÇALVES, R. F. Lodo de esgotos: características e produção. In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. (Ed.). **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: UFMG-Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Curitiba: Sanepar, p.17-67, 2001.

VON SPERLING, M. **Biological Wastewater treatment series – Vol 1: Wastewater Characterists, Treatment and Disposal**. London: IWA Publishing, 2007.

WEIR, M. H. et al. Development of a microbial dose response visualization and modelling application for QMRA modelers and educators. **Environmental Modelling & Software**, 2017.

WHO, H.; LAMPERT, Y.; FATTAL, B. Development of a risk assessment approach for evaluating wastewater reuse standards for agriculture. **Water Science & Technology**, 35, 15–20, 1997.

WHO – World Health organization. **Guidelines for Drinking Water Quality**. 3rd edition, World Health Organization, Geneva, 2004.

WHO – World Health organization. **Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater**. Vol 4. Geneva: World Health Organization, 2006.

WHO; IWA – World Health organization & International Water Association. **Water safety plan manual: step-by-step risk management for drinking-water suppliers**. World Health Organization, 2009. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/75141>. Acesso em: maio de 2021.

WHO – World Health Organization. **Quantitative microbial risk assessment: application for water safety management**, 2016. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/246195/9789241565370-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: maio de 2021.

WHO – World Health Organization. **World health statistics 2018: monitoring health for the SDGs, sustainable development goals**. Geneva, 2018. Disponível em: <http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/272596/9789241565585-eng.pdf>. Acesso em: maio de 2021.

WHO – World Health Organization; UNICEF – United Nations Children's Fund. **Progress on Drinking Water, Sanitation and Hygiene Update and SDG Baselines**. World Health Organization. Licença: CC BY-NC-SA 3.0 IGO Geneva, 2017. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/258617>. Acesso em: maio de 2021.

WIELEMAKER, R. C.; WEIJMA, J.; ZEEMAN, G. Harvest to harvest: Recovering nutrients with New Sanitation systems for reuse in Urban Agriculture. **Resources, Conservation and Recycling**, p. 426-437, 2018.

10 APÊNDICES

Os apêndices referenciados ao longo do texto estão apresentados nos itens a seguir.

APÊNDICE 1 – Dados de produção e irrigação agrícola referente à cultura arroz

Cultura	UGT	Município	Área Atual Plantada (ha)	Quantidade Atual Produzida (t)	Quantidade Atual Produzida (tano ⁻¹)	Equivalente em água (m ³ ano ⁻¹)	Equivalente populacional (hab)
Arroz	UGT 5	Taió	6.700,00	62.518,90	20.839,63	10419817	188308
		Pouso Redondo	6.128,00	50.582,00	16.860,67	8430333	152354
		Mirim Doce	5.350,00	48.165,85	16.055,28	8027642	145076
		Rio do Oeste	4.515,00	39.950,72	13.316,91	6658453	120332
		Rio do Campo	4.700,00	34.986,50	11.662,17	5831083	105380
		Agronômica	1.050,00	9.528,75	3.176,25	1588125	28701
		Rio do Sul	980	7.484,74	2.494,91	1247457	22544
		Agrolândia	708	6.174,94	2.058,31	1029157	18599
		Lontras	474	4.452,60	1.484,20	742100	13411
		Alfredo Wagner	390	3.257,71	1.085,90	542952	9812
		Salete	270	2.192,85	730,95	365475	6605
		Laurentino	218	2.014,20	671,40	335700	6067
		Trombudo Central	218	1.748,48	582,83	291413	5266
		Presidente Getúlio	169	1.600,07	533,36	266678	4819
	Ibirama	165	1.291,50	430,50	215250	3890	
	Braço Trombudo	148	1.245,83	415,28	207638	3752	
	Apiúna	132	989,88	329,96	164980	2982	
	Vitor Meireles	96	780,56	260,19	130093	2351	
	UGT 6	Massaranduba	18.000,00	172.770,00	57.590,00	28795000	520385
		Guaramirim	17.1000,00	133.019,90	44.339,97	22169983	400658
Gaspar		10.050,00	95.371,15	31.790,38	15895192	287259	
Ilhota		9.000,00	79.091,19	26.363,73	13181865	238224	
Joinville		9.440,00	67.365,41	22.455,14	11227568	202905	
Araquari		6.500,00	57.207,20	19.069,07	9534533	172309	
Itajaí		5.700,00	45.872,20	15.290,73	7645367	138168	
São João do Itaperiú		3.445,00	29.225,75	9.741,92	4870958	88028	
Rio dos Cedros	3.300,00	25.397,90	8.465,97	4232983	76499		

Legenda: UGT – Unidade de Gestão Técnica; UGT 5 – Alto Vale do Itajaí; UGT 6 – Litoral Norte Catarinense.
 Fonte: EPAGRI (2020).

APÊNDICE 2 – Dados de produção e irrigação agrícola referente à cultura arroz (continuação)

Cultura	UGT	Município	Área Atual Plantada (ha)	Quantidade Atual Produzida (t)	Quantidade Atual Produzida (tano⁻¹)	Equivalente em água (m³ano⁻¹)	Equivalente populacional (hab)
Arroz	UGT 6	Camboriú	2.850,00	24.522,09	8.174,03	4087015	73861
		Navegantes	2.658,00	21.318,97	7.106,32	3553162	64213
		Jaraguá do Sul	2.550,00	20.875,15	6.958,38	3479192	62876
		Doutor Pedrinho	2.444,00	19.888,45	6.629,48	3314742	59904
		Rodeio	2.100,00	19.331,20	6.443,73	3221867	58226
		Garuva	2.791,00	17.451,80	5.817,27	2908633	52565
		Timbó	1.900,00	16.504,00	5.501,33	2750667	49710
		Ascurra	1.610,00	13.347,46	4.449,15	2224577	40203
		Barra Velha	1.530,00	10.427,96	3.475,99	1737993	31409
		Luiz Aves	1.200,00	10.171,80	3.390,60	1695300	30638
		Balneário Piçarras	1.275,00	9.897,82	3.299,27	1649637	29812
		Benedito Novo	928	7.036,63	2.345,54	1172772	21194
		Itapema	900	7.010,40	2.336,80	1168400	21115
		Indaial	670	5.222,25	1.740,75	870375	15729
		Schroeder	720	4.922,40	1.640,80	820400	14826
	Itapoá	360	2.022,42	674,14	337070	6092	
	Porto Belo	210	1.575,00	525,00	262500	4744	
	Corupá	156	1.163,56	387,85	193927	3505	
	São Francisco do Sul	180	973,5	324,50	162250	2932	
	UGT 7	Tijucas	6.400,00	47.406,00	15.802,00	7901000	142787
Biguaçu		1.985,00	14.158,49	4.719,50	2359748	42646	
Palhoça		2.200,00	12.536,00	4.178,67	2089333	37759	
Canelinha		1.290,00	9.933,00	3.311,00	1655500	29918	
Brusque		450	2.250,00	750,00	375000	6777	
São João Batista		180	1.080,00	360,00	180000	3253	
Guabiruba	150	891,2	297,07	148533	2684		

Legenda: UGT – Unidade de Gestão Técnica; UGT 6 – Litoral Norte Catarinense; UGT 7 – Região Metropolitana.

Fonte: EPAGRI (2020).

APÊNDICE 3 – Dados de produção e irrigação agrícola referente à cultura arroz (continuação)

Cultura	UGT	Município	Área Atual Plantada (ha)	Quantidade Atual Produzida (t)	Quantidade Atual Produzida (tano⁻¹)	Equivalente em água (m³ano⁻¹)	Equivalente populacional (hab)
Arroz	UGT 8	Turvo	31.500,00	244.734,00	81.578,00	40789000	737142
		Forquilha	29.700,00	242.411,19	80.803,73	40401865	730145
		Meleiro	28.590,00	227.814,15	75.938,05	37969025	686179
		Nova Veneza	23.400,00	180.741,19	60.247,06	30123532	544395
		Jacinto Machado	21.600,00	161.352,00	53.784,00	26892000	485994
		Tubarão	17.520,00	136.883,76	45.627,92	22813960	412296
		Araranguá	13.500,00	104.076,00	34.692,00	17346000	313478
		Jaguaruna	13.068,00	98.175,32	32.725,11	16362553	295705
		São João do Sul	12.000,00	89.488,00	29.829,33	14914667	269539
		Imaruí	10.998,00	86.667,80	28.889,27	14444633	261044
		Ermo	9.300,00	74.632,39	24.877,46	12438732	224794
		Morro Grande	9.480,00	73.602,31	24.534,10	12267052	221691
		Praia Grande	9.990,00	71.701,82	23.900,61	11950303	215967
		Imbituba	6.969,00	57.291,72	19.097,24	9548620	172563
		Timbé do Sul	6.300,00	48.728,39	16.242,80	8121398	146770
		Capivari de Baixo	4.495,00	41.954,93	13.984,98	6992488	126369
		Içara	7.050,00	38.634,00	12.878,00	6439000	116366
		Maracajá	4.500,00	35.284,50	11.761,50	5880750	106277
		Sombrio	4.380,00	32.833,91	10.944,64	5472318	98896
		Laguna	3.615,00	23.173,35	7.724,45	3862225	69798
		Paulo Lopes	3.500,00	22.778,50	7.592,83	3796417	68609
		Treze de Maio	2.886,00	22.713,19	7.571,06	3785532	68412
		Santa Rosa do Sul	2.370,00	16.235,29	5.411,76	2705882	48901
		Sangão	2.040,00	13.699,96	4.566,65	2283327	41264
		Gravatal	1.350,00	9.709,20	3.236,40	1618200	29244
		Passo de Torres	1.128,00	8.358,00	2.786,00	1393000	25174
		Morro da Fumaça	924	7.023,32	2.341,11	1170553	21154
Criciúma	690	4.754,10	1.584,70	792350	14319		
Cocal do Sul	450	3.369,89	1.123,30	561648	10150		
Siderópolis	225	1.543,88	514,63	257313	4650		
Garopaba	150	920	306,67	153333	2771		
Urussanga	68	497,11	165,70	82852	1497		

Legenda: UGT 8 – Litoral Sul Catarinense.

Fonte: EPAGRI (2020).

APÊNDICE 4 – Dados de produção e irrigação agrícola referente à cultura cebola

Cultura	UGT	Município	Área Atual Plantada (ha)	Quantidade Atual Produzida (t)	Quantidade Atual Produzida (tano⁻¹)	Equivalente em água (m³ano⁻¹)	Equivalente populacional (hab)
Cebola	UGT 3	Bom Retiro	3.800,00	118.000,00	29.500,00	354000	6398
		Urubici	950	34.000,00	8.500,00	102000	1843
	UGT 4	Irineópolis	607	21.725,00	5.431,25	65175	1178
		Ituporanga	16.500,00	480.400,00	120.100,00	1441200	26045
		Alfredo Wagner	16.000,00	309.700,00	77.425,00	929100	16791
		Imbuia	6.200,00	164.600,00	41.150,00	493800	8924
		Aurora	5.850,00	152.300,00	38.075,00	456900	8257
	UGT 5	Leoberto Leal	3.350,00	69.799,98	17.450,00	209399,94	3784
		Vidal Ramos	2.730,00	69.750,00	17.437,50	209250	3782
		Chapadão do Lageado	1.715,00	44.905,00	11.226,25	134715	2435
		Petrolândia	1.290,00	40.360,00	10.090,00	121080	2188
		Atalanta	1.430,00	32.500,00	8.125,00	97500	1762
	UGT 7	Angelina	2.180,00	27.200,00	6.800,00	81600	1475
		Lebon Régis	3.720,00	143.700,00	35.925,00	38.629,03	431100
	UGT 10	Caçador	2.570,00	105.550,00	26.387,50	41.070,04	316650
		Fraiburgo	1.760,00	71.900,00	17.975,00	40.852,27	215700
Curitibanos		1.610,00	70.140,00	17.535,00	43.565,22	210420	
Tangará		660	21.600,00	5.400,00	32.727,27	64800	

Legenda: UGT – Unidade de Gestão Técnica; UGT 3 – Planalto Sul Catarinense; UGT 4 – Planalto Norte Catarinense; UGT 5 – Alto Vale do Itajaí; UGT 7 – Região Metropolitana; UGT 10 – Alto Vale do Rio de Peixe.

Fonte: EPAGRI (2020).

APÊNDICE 5 – Dados de produção e irrigação agrícola referente às culturas alho, banana-caturra, tomate e banana prata

Cultura	UGT	Município	Área Atual Plantada (ha)	Quantidade Atual Produzida (t)	Quantidade Atual Produzida (tano⁻¹)	Equivalente em água (m³ano⁻¹)	Equivalente populacional (hab)
Alho	UGT 2	Brunópolis	590	4.989,00	1.247,25	137198	2479
	UGT 3	Ponte Alta	364	3.017,00	754,25	82968	1499
	UGT 10	Curitibanos	3.170,00	27.255,00	6.813,75	749513	13545
		Frei Rogério	1.760,00	14.665,00	3.666,25	403288	7288
		Fraiburgo	1.350,00	11.275,00	2.818,75	310063	5603
		Lebon Régis	720	6.095,00	1.523,75	167613	3029
	Caçador	285	2.400,00	600,00	66000	1193	
Banana - Caturra	UGT 6	Corupá	9.660,00	305.302,15	152651,075	305302,2	5517
		Luiz Alves	7.800,00	231.167,50	11583,75	231167,5	4178
		Massaranduba	3.914,00	113.999,58	56999,79	113999,6	2060
		Jaraguá do Sul	2.900,00	92.800,00	46400	92800,00	1677
		São João do Itaperiú	2.240,00	69.059,76	34529,88	69059,8	1248
		Balneário Piçarras	1.740,00	57.429,99	28714,995	57430,0	1038
	UGT 2	Água Doce	2.550,00	102.000,00	34000,0	306000	5530
UGT 4	Mafra	800	27.750,00	9250,0	83250	1504	
Tomate	UGT 10	Caçador	1.660,00	122.584,00	40861,3	122584	2215
		Lebon Régis	1.260,00	93.852,00	31284,0	93852	1696
Banana - Prata	UGT 8	Jacinto Machado	5.000,00	65.000,00	32500	65000	1175

Legenda: UGT – Unidade de Gestão Técnica; UGT 2 – Meio Oeste Catarinense; UGT 3 – Planalto Sul Catarinense; UGT 4 – Planalto Norte Catarinense; UGT 8 – Litoral Sul Catarinense; UGT 10 – Alto Vale do Rio de Peixe.

Fonte: EPAGRI (2020).

APÊNDICE 6 – Dados de vazão extraídos do Atlas Esgotos 2013 para as culturas e os seus respectivos municípios que irrigam culturas em Santa Catarina

Cultura	UGT	Município	População Urbana (2013)	Sigla do Prestador	Índice sem atendimento - sem Coleta e sem Tratamento (2013)	Índice de Atendimento por Solução Individual (2013)	Índice de Atendimento com Coleta e sem Tratamento (2013)	Índice de Atendimento com Coleta e com Tratamento (2013)	Vazão - sem Coleta e sem Tratamento (L s ⁻¹) (2013)	Vazão - Solução Individual (L s ⁻¹) (2013)	Vazão - com Coleta e sem Tratamento (L s ⁻¹) (2013)	Vazão - com Coleta e com Tratamento (L s ⁻¹) (2013)	Vazão Total em 2013 (L s ⁻¹)
Arroz	UGT 6	Joinville	528.470	CAJ	26,1%	40,2%	0,0%	33,7%	186,6	287,9	0,0	241,2	715,7
		Araquari	27.855	CASAN	35,5%	26,6%	11,1%	26,8%	9,9	7,4	3,1	7,5	27,9
		Itajaí	187.107	SEMASA	28,0%	49,0%	0,0%	23,0%	90,5	158,1	0,0	74,3	322,9
		Jaraguá do Sul	145.230	SAMAE	17,0%	31,0%	0,0%	52,0%	30,9	56,4	0,0	94,6	181,9
		Itapema	51.608	CONASA	0,0%	40,3%	0,0%	59,8%	0,0	26,5	0,0	39,3	65,8
		Indaial	58.310	PM	24,0%	56,0%	0,0%	20,0%	18,8	44,0	0,0	15,7	78,5
	UGT 7	Tijucas	28.427	SAMAE	5,4%	38,8%	55,8%	0,0%	2,0	14,1	20,3	0,0	36,3
		Palhoça	148.404	SAMAE	26,1%	63,9%	1,0%	9,0%	103,5	253,2	4,0	35,7	396,3
	UGT 8	Forquilha	19.822	CASAN	11,1%	49,4%	39,6%	0,0%	3,8	16,9	13,6	0,0	34,3
		Araranguá	53.077	SAMAE	16,5%	45,3%	38,2%	0,0%	9,7	26,5	22,3	0,0	58,5
		Imbituba	42.244	SE	37,4%	52,6%	0,0%	10,0%	33,7	47,3	0,0	9,0	90,0
		Içara	47.116	CASAN	22,8%	34,7%	0,0%	42,5%	15,7	24,0	0,0	29,3	69,0
		Laguna	34.676	CASAN	17,8%	36,0%	40,4%	5,8%	7,4	15,1	16,9	2,4	41,8
		Gravatal	4.622	CASAN	7,2%	36,2%	0,0%	56,6%	0,4	2,1	0,0	3,2	5,7
Criciúma		199.577	CASAN	7,8%	30,0%	0,0%	62,2%	22,3	86,4	0,0	178,9	287,6	
Urussanga		11.745	SAMAE	30,2%	44,8%	0,0%	25,0%	6,4	9,5	0,0	5,3	21,1	
Cebola	UGT 10	Caçador	67.658	CASAN	47,1%	48,3%	0,6%	4,1%	54,3	55,7	0,6	4,7	115,3
		Fraiburgo	31.225	SANEFRAI	50,2%	34,1%	0,0%	15,7%	32,6	22,2	0,0	10,2	65,0
Alho	UGT 10	Fraiburgo	31.225	SANEFRAI	50,2%	34,1%	0,0%	15,7%	32,6	22,2	0,0	10,2	65,0
		Caçador	67.658	CASAN	47,1%	48,3%	0,6%	4,1%	54,3	55,7	0,6	4,7	115,3
Banana-caturra	UGT 6	Jaraguá do Sul	145.230	SAMAE	17,0%	31,0%	0,0%	52,0%	30,9	56,4	0,0	94,6	181,9
Tomate	UGT 10	Caçador	67.658	CASAN	47,1%	48,3%	0,6%	4,1%	54,3	55,7	0,6	4,7	115,3

Legenda: UGT – Unidade de Gestão Técnica; UGT 6 – Litoral Norte Catarinense; UGT 7 – Região Metropolitana; UGT 8 – Litoral Sul Catarinense; UGT 10 – Alto Vale do Rio de Peixe.
 Fonte: ANA (2013).

APÊNDICE 7 – Dados de carga extraídos do Atlas Esgotos 2013 para as culturas e os seus respectivos municípios que irrigam culturas em Santa Catarina

Cultura	UGT	Município	População Urbana (2013)	Sigla do Prestador	Parcela da Carga Gerada em 2013 sem Coleta e sem Tratamento (Kg DBO d ⁻¹)	Parcela da Carga Gerada em 2013 Encaminhada para Solução Individual (Kg DBO d ⁻¹)	Parcela da Carga Gerada em 2013 com Coleta e sem Tratamento (Kg DBO d ⁻¹)	Parcela da Carga Gerada em 2013 com Coleta e com Tratamento (Kg DBO d ⁻¹)	Carga Gerada Total em 2013 (Kg DBO d ⁻¹)	Parcela da Carga Lançada em 2013 sem Coleta e sem Tratamento (Kg DBO d ⁻¹)	Parcela da Carga Lançada em 2013 proveniente de Solução Individual (Kg DBO d ⁻¹)	Parcela da Carga Lançada em 2013 com Coleta e sem Tratamento (Kg DBO d ⁻¹)	Parcela da Carga Lançada em 2013 com Coleta e com Tratamento (Kg DBO d ⁻¹)	Carga Lançada Total em 2013 (Kg DBO d ⁻¹)
Arroz	UGT 6	Joinville	528.470	CAJ	7.440,1	11.480,2	0,0	9.617,1	28.537,4	7.440,1	4.592,1	0,0	1.614,9	13.647,0
		Araquari	27.855	CASAN	533,8	400,0	167,1	403,3	1.504,2	533,8	160,0	167,1	403,3	1.264,2
		Camboriú	120.926	EMASA	0,0	587,7	0,0	5.942,3	6.530,0	0,0	235,1	0,0	297,1	532,2
		Jaraguá do Sul	145.230	SAMAE	1.218,5	2.223,7	0,0	3.729,0	7.171,2	1.218,5	889,5	0,0	1.305,2	3.413,1
		Itapema	51.608	CONASA	0,0	1.121,7	0,0	1.665,1	2.786,8	0,0	448,7	0,0	116,2	564,9
		Indaial	58.310	PM	754,5	1.764,5	0,0	629,7	3.148,7	754,5	705,8	0,0	409,3	1.869,6
	UGT 7	Tijucas	28.427	SAMAE	82,7	595,9	856,6	0,0	1.535,1	82,7	238,3	856,6	0,0	1.177,5
		Palhoça	148.404	SAMAE	1.907,0	4.663,5	73,0	657,1	7.300,6	1.907,0	1.865,4	73,0	109,0	3.954,4
	UGT 8	Forquilha	19.822	CASAN	118,4	528,3	423,7	0,0	1.070,4	118,4	211,3	423,7	0,0	753,4
		Araranguá	53.077	SAMAE	474,0	1.298,1	1.094,1	0,0	2.866,2	474,0	519,2	1.094,1	0,0	2.087,3
		Imbituba	42.244	SE	853,1	1.200,0	0,0	228,1	2.281,2	853,1	480,0	0,0	22,8	1.355,9
		Içara	47.116	CASAN	580,1	883,1	0,0	1.081,0	2.544,3	580,1	353,2	0,0	1.081,0	2.014,4
		Laguna	34.676	CASAN	332,6	674,8	757,1	108,0	1.872,5	332,6	269,9	757,1	16,2	1.375,8
		Gravatal	4.622	CASAN	18,0	90,3	0,0	141,3	249,6	18,0	36,1	0,0	49,5	103,6
Criciúma		199.577	CASAN	805,6	3.118,7	0,0	6.460,4	10.384,6	805,6	1.247,5	0,0	1.640,9	3.694,0	
Urussanga		11.745	SAMAE	191,3	284,3	0,0	158,6	634,2	191,3	113,7	0,0	39,6	344,7	
Cebola	UGT 10	Caçador	67.658	CASAN	1.720,0	1.765,1	20,1	148,3	3.653,5	1.720,0	706,0	20,1	23,4	2.469,5
		Fraiburgo	31.225	SANEFRAI	820,9	558,0	0,0	256,8	1.635,7	820,9	223,2	0,0	56,8	1.100,9
Alho	UGT 10	Fraiburgo	31.225	SANEFRAI	820,9	558,0	0,0	256,8	1.635,7	820,9	223,2	0,0	56,8	1.100,9
		Caçador	67.658	CASAN	1.720,0	1.765,1	20,1	148,3	3.653,5	1.720,0	706,0	20,1	23,4	2.469,5
Banana-caturra	UGT 6	Jaraguá do Sul	145.230	SAMAE	1.218,5	2.223,7	0,0	3.729,0	7.171,2	1.218,5	889,5	0,0	1.305,2	3.413,1
Tomate	UGT 10	Caçador	67.658	CASAN	1.720,0	1.765,1	20,1	148,3	3.653,5	1.720,0	706,0	20,1	23,4	2.469,5

Legenda: UGT – Unidade de Gestão Técnica; UGT 6 – Litoral Norte Catarinense; UGT 7 – Região Metropolitana; UGT 8 – Litoral Sul Catarinense; UGT 10 – Alto Vale do Rio de Peixe.
 Fonte: ANA (2013).

APÊNDICE 8 – Dados extraídos do Atlas Esgotos 2013: projeção para 2035 para as culturas selecionadas e os seus respectivos municípios que irrigam culturas

Cultura	UGT	Município	População Urbana (2035)	Índice de Atendimento com ETES Avaliado (2035)	Índice de Atendimento Solução Individual Avaliado (2035)	Carga Gerada Total em 2035 (KgDBOd ⁻¹)	Carga Afluente ETE em 2035 (KgDBOd ⁻¹)	Carga Efluente ETE em 2035 (KgDBOd ⁻¹)	Carga Afluente Solução Individual em 2035 (KgDBOd ⁻¹)	Carga Efluente Solução Individual em 2035 (KgDBOd ⁻¹)	População Atendida Estimada em 2035	Investimentos em Coleta e Tratamento (R\$)	Necessidade de Remoção de DBO	Tipologia de Solução/Tratamento
Arroz	UGT 5	Taió	13.562	90,0%	10,0%	732,3	659,1	263,6	73,2	29,3	12.206	16.543.180,95	60-80%	Secundário convencional
		Pouso Redondo	15.676	90,0%	10,0%	846,5	761,9	304,7	84,7	33,9	14.108	17.225.463,07	60-80%	Secundário convencional
		Mirim Doce	1.401	90,0%	10,0%	75,7	68,1	27,2	7,6	3,0	1.261	1.584.658,21	60-80%	Secundário convencional
		Rio do Oeste	4.727	90,0%	10,0%	255,3	229,8	91,9	25,5	10,2	4.254	5.973.040,46	60-80%	Secundário convencional
		Rio do Campo	3.246	90,0%	10,0%	175,3	157,8	63,1	17,5	7,0	2.921	3.091.235,19	60-80%	Secundário convencional
		Agrônômica	3.577	90,0%	10,0%	193,2	173,9	69,5	19,3	7,7	3.219	5.365.339,36	60-80%	Secundário convencional
		Rio do Sul	75.580	100,0%	0,0%	4.081,3	4.081,3	897,9	0,0	0,0	75.580	98.337.193,55	60-80%	Secundário convencional
		Agrolândia	9.427	90,0%	10,0%	509,1	458,2	183,2	50,9	20,4	8.484	11.989.575,38	60-80%	Secundário convencional
		Lontras	12.322	90,0%	10,0%	665,4	598,9	239,6	66,5	26,6	11.090	14.884.035,43	60-80%	Secundário convencional
		Alfredo Wagner	4.640	90,0%	10,0%	250,6	225,5	90,2	25,1	10,0	4.176	6.927.231,37	60-80%	Secundário convencional
		Salete	6.159	90,0%	10,0%	332,6	299,3	119,7	33,3	13,3	5.543	7.181.569,01	60-80%	Secundário convencional
		Laurentino	6.748	90,0%	10,0%	364,4	328,0	131,2	36,4	14,6	6.073	9.649.888,53	60-80%	Secundário convencional
		Trombudo Central	6.215	90,0%	10,0%	335,6	302,0	120,8	33,6	13,4	5.594	10.084.185,31	60-80%	Secundário convencional
		Presidente Getúlio	16.685	90,0%	10,0%	901,0	810,9	324,4	90,1	36,0	15.017	20.528.794,04	60-80%	Secundário convencional
	Ibirama	18.570	90,0%	10,0%	1.002,8	902,5	198,6	100,3	40,1	16.713	23.466.471,26	60-80%	Secundário convencional	
	Braço do Trombudo	2.794	90,0%	10,0%	150,9	135,8	54,3	15,1	6,0	2.515	4.181.595,40	60-80%	Secundário convencional	
	Apiúna	6.232	90,0%	10,0%	336,5	302,9	121,2	33,7	13,5	5.609	6.998.592,01	60-80%	Secundário convencional	
	Vitor Meireles	2.685	90,0%	10,0%	145,0	130,5	52,2	14,5	5,8	2.417	4.270.791,53	60-80%	Secundário convencional	
	UGT 6	Massaranduba	10.748	90,0%	10,0%	580,4	522,4	208,9	58,0	23,2	9.673	12.117.828,88	60-80%	Secundário convencional
		Guaramirim	46.797	90,0%	10,0%	2.527,0	2.274,3	454,9	252,7	101,1	42.117	52.244.802,44	60-80%	Secundário convencional
		Gaspar	77.466	90,0%	10,0%	4.183,2	3.764,9	1.505,9	418,3	167,3	69.719	88.935.403,96	60-80%	Secundário convencional
		Ilhota	11.086	90,0%	10,0%	598,6	538,7	215,5	59,9	24,0	9.977	10.090.655,71	60-80%	Secundário convencional
		Joinville	667.446	90,0%	10,0%	36.042,1	32.437,9	2.173,1	3.604,2	1.441,7	600.701	528.888.056,01	Requer solução complementar	Outras soluções ¹
Araquari		38.530	90,0%	10,0%	2.080,6	1.872,5	149,8	208,1	83,2	34.677	39.207.525,11	>80%	Secundário avançado	
Itajaí		271.663	90,0%	10,0%	14.669,8	13.202,8	2.491,5	1.467,0	586,8	244.497	270.863.531,40	>80%	Secundário avançado	
São João do Itaperiú		2.787	90,0%	10,0%	150,5	135,5	27,1	15,1	6,0	2.508	4.271.973,81	60-80%	Secundário convencional	
Rio dos Cedros		8.533	90,0%	10,0%	460,8	414,7	165,9	46,1	18,4	7.680	10.452.499,93	60-80%	Secundário convencional	
Camboriú		98.762	90,0%	10,0%	5.333,1	4.799,8	336,0	533,3	213,3	88.886	122.834.204,73	>80%	Secundário avançado	
Navegantes	100.892	90,0%	10,0%	5.448,2	4.903,4	1.961,4	544,8	217,9	90.803	115.045.269,57	60-80%	Secundário convencional		
Jaraguá do Sul	220.212	90,0%	10,0%	11.891,4	10.702,3	2.140,5	1.189,1	475,6	198.191	186.967.665,48	60-80%	Secundário convencional		

Legenda: UGT – Unidade de Gestão Técnica; UGT 5 – Alto Vale do Itajaí; UGT 6 – Litoral Norte Catarinense; 1 - Revisão da classe do rio, corpo receptor alternativo, reuso, etc.

Fonte: ANA (2013).

APÊNDICE 9 – Dados extraídos do Atlas Esgotos 2013: projeção para 2035 para as culturas selecionadas e os seus respectivos municípios que irrigam culturas
(continuação)

Cultura	UGT	Município	População Urbana (2035)	Índice de Atendimento com ETEs Avaliado (2035)	Índice de Atendimento Solução Individual Avaliado (2035)	Carga Gerada Total em 2035 (KgDBOd ⁻¹)	Carga Afluente ETE em 2035 (KgDBOd ⁻¹)	Carga Efluente ETE em 2035 (KgDBOd ⁻¹)	Carga Afluente Solução Individual em 2035 (KgDBOd ⁻¹)	Carga Efluente Solução Individual em 2035 (KgDBOd ⁻¹)	População Atendida Estimada em 2035	Investimentos em Coleta e Tratamento (R\$)	Necessidade de Remoção de DBO	Tipologia de Solução/Tratamento
Arroz	UGT 6	Doutor Pedrinho	2.743	100,0%	0,0%	148,1	148,1	32,6	0,0	0,0	2.743	3.486.318,59	60-80%	Secundário convencional
		Rodeio	10.767	90,0%	10,0%	581,4	523,3	209,3	58,1	23,2	9.690	8.467.778,02	60-80%	Secundário convencional
		Garuva	21.079	90,0%	10,0%	1.138,3	1.024,5	409,8	113,8	45,5	18.971	23.216.030,27	60-80%	Secundário convencional
		Timbó	57.584	90,0%	10,0%	3.109,5	2.798,6	1.119,4	311,0	124,4	51.826	63.880.237,78	60-80%	Secundário convencional
		Ascurra	7.346	90,0%	10,0%	396,7	357,0	142,8	39,7	15,9	6.611	6.311.090,34	60-80%	Secundário convencional
		Barra Velha	36.961	90,0%	10,0%	1.995,9	1.796,3	359,3	199,6	79,8	33.265	39.543.533,43	60-80%	Secundário convencional
		Luiz Alves	8.987	90,0%	10,0%	485,3	436,8	174,7	48,5	19,4	8.088	14.897.763,34	60-80%	Secundário convencional
		Balneário Piçarras	26.529	100,0%	0,0%	1.432,6	1.432,6	143,3	0,0	0,0	26.529	32.556.148,26	>80%	Secundário avançado
		Benedito Novo	7.945	90,0%	10,0%	429,0	386,1	154,5	42,9	17,2	7.151	9.095.594,31	60-80%	Secundário convencional
		Itapema	77.363	90,0%	10,0%	4.177,6	3.759,8	112,8	417,8	167,1	69.627	60.286.638,08	>80%	Secundário avançado
		Indaial	89.312	90,0%	10,0%	4.822,8	4.340,5	1.736,2	482,3	192,9	80.381	89.574.439,00	60-80%	Secundário convencional
		Schroeder	23.702	90,0%	10,0%	1.279,9	1.151,9	460,8	128,0	51,2	21.332	27.100.128,98	60-80%	Secundário convencional
		Itapoá	24.892	90,0%	10,0%	1.344,2	1.209,8	483,9	134,4	53,8	22.403	32.338.241,06	60-80%	Secundário convencional
		Porto Belo	26.491	90,0%	10,0%	1.430,5	1.287,5	38,6	143,1	57,2	23.842	37.384.785,52	>80%	Secundário avançado
		Corupá	14.510	90,0%	10,0%	783,5	705,2	141,0	78,4	31,4	13.059	15.737.876,19	60-80%	Secundário convencional
		São Francisco do Sul	64.445	90,0%	10,0%	3.480	3.132	1.252,8	348,0	139,2	58.001	85.752.253,92	Requer solução complementar	Outras soluções ¹
		Tijucas	45.598	90,0%	10,0%	2.462,3	2.216,1	886,4	246,2	98,5	41.038	37.429.359,84	60-80%	Secundário convencional
		Biguaçu	72.944	90,0%	10,0%	3.939,0	3.545,1	531,8	393,9	157,6	65.650	73.646.506,12	>80%	Secundário avançado
		Palhoça	223.758	90,0%	10,0%	12.082,9	10.874,6	412,9	1.208,3	483,3	201.382	285.178.574,70	>80%	Secundário avançado
Canelinha	9.022	90,0%	10,0%	487,2	438,5	175,4	48,7	19,5	8.120	10.175.873,47	60-80%	Secundário convencional		
Brusque	170.307	90,0%	10,0%	9.196,6	8.276,9	3.310,8	919,7	367,9	153.276	200.485.604,88	60-80%	Secundário convencional		
São João Batista	41.069	95,0%	5,0%	2.217,7	2.106,8	653,1	110,9	44,4	39.016	40.098.921,05	60-80%	Secundário convencional		
Guabiruba	28.281	90,0%	10,0%	1.527,2	1.374,5	274,9	152,7	61,1	25.453	31.235.249,85	60-80%	Secundário convencional		

Legenda: UGT – Unidade de Gestão Técnica; UGT 6 – Litoral Norte Catarinense; UGT 7 – Região Metropolitana, UGT 8 – Litoral Sul Catarinense. 1 – Revisão da classe do rio, corpo receptor alternativo, reuso, etc. Fonte: ANA (2013).

APÊNDICE 10 – Dados extraídos do Atlas Esgotos 2013: projeção para 2035 para as culturas selecionadas e os seus respectivos municípios que irrigam culturas (continuação)

Cultura	UGT	Município	População Urbana (2035)	Índice de Atendimento com ETEs Avaliado (2035)	Índice de Atendimento Solução Individual Avaliado (2035)	Carga Gerada Total em 2035 (KgDBOd ⁻¹)	Carga Afluente ETE em 2035 (KgDBOd ⁻¹)	Carga Efluente ETE em 2035 (KgDBOd ⁻¹)	Carga Afluente Solução Individual em 2035 (KgDBOd ⁻¹)	Carga Efluente Solução Individual em 2035 (KgDBOd ⁻¹)	População Atendida Estimada em 2035	Investimentos em Coleta e Tratamento (R\$)	Necessidade de Remoção de DBO	Tipologia de Solução/Tratamento
Arroz	UGT 8	Turvo	11.055	95,0%	5,0%	597,0	567,2	85,1	29,9	12,0	10.502	12.427.280,37	>80%	Secundário avançado
		Forquilha	29.949	90,0%	10,0%	1.617,2	1.455,5	145,6	161,7	64,7	26.954	30.718.504,16	Solução conjunta	Solução conjunta
		Meleiro	4.631	100,0%	0,0%	250,1	250,1	75,0	0,0	0,0	4.631	5.678.327,58	60-80%	Secundário convencional
		Nova Veneza	12.869	90,0%	10,0%	694,9	625,4	187,6	69,5	27,8	11.582	12.408.795,61	Solução conjunta	Solução conjunta
		Jacinto Machado	6.656	90,0%	10,0%	359,4	323,5	129,4	35,9	14,4	5.990	8.723.531,62	60-80%	Secundário convencional
		Tubarão	106.270	90,0%	10,0%	5.738,6	5.164,7	2.065,9	573,9	229,6	95.643	121.020.007,43	60-80%	Secundário convencional
		Araranguá	60.862	90,0%	10,0%	3.286,5	2.957,9	1.183,2	328,7	131,5	54.776	70.324.303,04	60-80%	Secundário convencional
		Jaguaruna	18.862	100,0%	0,0%	1.018,5	1.018,5	101,9	0,0	0,0	18.862	27.363.587,26	>80%	Secundário avançado
		São João do Sul	4.239	90,0%	10,0%	228,9	206,0	82,4	22,9	9,2	3.815	6.667.950,72	60-80%	Secundário convencional
		Imaruí	5.308	90,0%	10,0%	286,6	257,9	103,2	28,7	11,5	4.777	8.014.051,77	60-80%	Secundário convencional
		Ermo	732	90,0%	10,0%	39,5	35,6	14,2	4,0	1,6	659	876.287,25	60-80%	Secundário convencional
		Morro Grande	839	90,0%	10,0%	45,3	40,8	16,3	4,5	1,8	755	1.321.310,83	60-80%	Secundário convencional
		Praia Grande	5.369	90,0%	10,0%	289,9	260,9	104,4	29,0	11,6	4.832	8.789.695,88	60-80%	Secundário convencional
		Imbituba	48.403	90,0%	10,0%	2.613,8	2.352,4	235,2	261,4	104,6	43.563	86.167.511,97	Requer solução complementar	Outras soluções ¹
		Timbé do Sul	2.585	90,0%	10,0%	139,6	125,6	50,3	14,0	5,6	2.327	4.118.628,59	60-80%	Secundário convencional
		Capivari de Baixo	24.194	90,0%	10,0%	1.306,5	1.175,9	470,4	130,7	52,3	21.775	22.508.704,65	60-80%	Secundário convencional
		Içara	61.313	90,0%	10,0%	3.310,9	2.979,8	89,4	331,1	132,4	55.182	52.148.523,18	60-80%	Secundário convencional
		Maracajá	5.867	90,0%	10,0%	316,8	285,1	57,0	31,7	12,7	5.280	6.502.344,51	60-80%	Secundário convencional
		Sombrio	26.754	90,0%	10,0%	1.444,7	1.300,2	260,1	144,5	57,8	24.079	28.537.689,13	60-80%	Secundário convencional
		Laguna	39.355	100,0%	0,0%	2.125,2	2.125,2	467,5	0,0	0,0	39.355	38.331.924,55	60-80%	Secundário convencional
		Paulo Lopes	6.457	90,0%	10,0%	348,7	313,8	62,8	34,9	14,0	5.811	7.764.365,70	60-80%	Secundário convencional
		Treze de Maio	4.370	90,0%	10,0%	236,0	212,4	85,0	23,6	9,4	3.933	6.699.304,48	60-80%	Secundário convencional
		Santa Rosa do Sul	5.145	90,0%	10,0%	277,8	250,0	100,0	27,8	11,1	4.631	8.356.372,89	60-80%	Secundário convencional
		Sangão	9.039	90,0%	10,0%	488,1	439,3	87,9	48,8	19,5	8.135	9.014.383,11	60-80%	Secundário convencional
		Gravatal	5.930	90,0%	10,0%	320,2	288,2	100,9	32,0	12,8	5.337	4.946.688,72	60-80%	Secundário convencional
		Passo de Torres	10.512	90,0%	10,0%	567,6	510,8	204,4	56,8	22,7	9.461	13.919.099,01	60-80%	Secundário convencional
		Morro da Fumaça	17.790	90,0%	10,0%	960,7	864,6	345,8	96,1	38,4	16.011	16.239.197,27	60-80%	Secundário convencional
Criciúma	232.038	90,0%	10,0%	12.530,1	11.277,1	717,2	1.253,0	501,2	208.834	146.342.089,88	Solução conjunta	Solução conjunta		
Cocal do Sul	15.348	100,0%	0,0%	828,8	828,8	165,8	0,0	0,0	15.348	23.432.375,46	60-80%	Secundário convencional		
Siderópolis	12.365	90,0%	10,0%	667,7	600,9	42,1	66,8	26,7	11.129	10.230.188,36	Solução conjunta	Solução conjunta		
Garopaba	27.142	90,0%	10,0%	1.465,7	1.319,1	303,4	146,6	58,6	24.428	35.937.406,80	60-80%	Secundário convencional		
Urussanga	13.161	90,0%	10,0%	710,7	639,6	159,9	71,1	28,4	11.845	12.214.037,02	60-80%	Secundário convencional		

Legenda: UGT – Unidade de Gestão Técnica; UGT 8 – Litoral Sul Catarinense; 1 – Revisão da classe do rio, corpo receptor alternativo, reuso, etc.

Fonte: ANA (2013).

APÊNDICE 11 – Dados extraídos do Atlas Esgotos 2013: projeção para 2035 para as culturas selecionadas e os seus respectivos municípios que irrigam culturas
(continuação)

Cultura	UGT	Município	População Urbana (2035)	Índice de Atendimento com ETEs Avaliado (2035)	Índice de Atendimento Solução Individual Avaliado (2035)	Carga Gerada Total em 2035 (KgDBOd ⁻¹)	Carga Afluente ETE em 2035 (KgDBOd ⁻¹)	Carga Efluente ETE em 2035 (KgDBOd ⁻¹)	Carga Afluente Solução Individual em 2035 (KgDBOd ⁻¹)	Carga Efluente Solução Individual em 2035 (KgDBOd ⁻¹)	População Atendida Estimada em 2035	Investimentos em Coleta e Tratamento (R\$)	Necessidade de Remoção de DBO	Tipologia de Solução/Tratamento
Cebola	UGT 3	Bom Retiro	8.823	90,0%	10,0%	476,4	428,8	85,8	47,6	19,0	7.941	7.612.090,17	60-80%	Secundário convencional
		Urubici	8.140	90,0%	10,0%	439,6	395,6	138,5	44,0	17,6	7.326	8.372.984,01	60-80%	Secundário convencional
	UGT 4	Irineópolis	5.863	90,0%	10,0%	316,6	284,9	114,0	31,7	12,7	5.277	9.675.375,26	60-80%	Secundário convencional
	UGT 5	Ituporanga	21.212	90,0%	10,0%	1.145,4	1.030,9	237,1	114,5	45,8	19.091	25.053.627,53	60-80%	Secundário convencional
		Alfredo Wagner	4.640	90,0%	10,0%	250,6	225,5	90,2	25,1	10,0	4.176	6.927.231,37	60-80%	Secundário convencional
		Imbuia	3.916	90,0%	10,0%	211,5	190,4	76,1	21,2	8,5	3.524	5.583.376,65	60-80%	Secundário convencional
		Aurora	3.362	90,0%	10,0%	181,5	163,4	65,4	18,2	7,3	3.026	5.470.940,26	60-80%	Secundário convencional
		Leoberto Leal	1.683	90,0%	10,0%	90,9	81,8	32,7	9,1	3,6	1.515	2.724.350,52	60-80%	Secundário convencional
		Vidal Ramos	3.364	90,0%	10,0%	181,7	163,5	65,4	18,2	7,3	3.028	5.413.241,85	60-80%	Secundário convencional
		Chapadão do Lageado	1.876	90,0%	10,0%	101,3	91,2	36,5	10,1	4,0	1.688	3.010.697,55	60-80%	Secundário convencional
	Petrolândia	3.253	90,0%	10,0%	175,7	158,1	63,2	17,6	7,0	2.928	4.750.570,77	60-80%	Secundário convencional	
	Atalanta	1.784	90,0%	10,0%	96,3	86,7	34,7	9,6	3,8	1.606	2.853.814,31	60-80%	Secundário convencional	
	UGT 7	Angelina	2.196	90,0%	10,0%	118,6	106,7	42,7	11,9	4,8	1.976	3.542.622,87	60-80%	Secundário convencional
	UGT 10	Lebon Régis	9.062	90,0%	10,0%	489,3	440,4	176,2	48,9	19,6	8.156	8.317.588,17	60-80%	Secundário convencional
		Caçador	80.307	90,0%	10,0%	4.336,6	3.902,9	295,3	433,7	173,5	72.276	95.016.753,84	>80%	Secundário avançado
		Fraiburgo	35.536	90,0%	10,0%	1.918,9	1.727,0	250,9	191,9	76,8	31.982	39.153.620,36	>80%	Secundário avançado
		Curitibanos	39.458	90,0%	10,0%	2.130,7	1.917,6	57,5	213,1	85,2	35.512	40.070.155,39	>80%	Secundário avançado
Tangará		5.897	90,0%	10,0%	318,4	286,6	114,6	31,8	12,7	5.307	7.593.683,34	60-80%	Secundário convencional	
UGT 2	Brunópolis	1.110	90,0%	10,0%	59,9	53,9	21,6	6,0	2,4	999	1.807.517,64	60-80%	Secundário convencional	
UGT 3	Ponte Alta	3.169	90,0%	10,0%	171,1	154,0	61,6	17,1	6,8	2.852	4.208.858,65	60-80%	Secundário convencional	
Alho	UGT 10	Curitibanos	39.458	90,0%	10,0%	2.130,7	1.917,6	57,5	213,1	85,2	35.512	40.070.155,39	60-80%	Secundário avançado
		Capiravi de baixo	24.194	90,0%	10,0%	1.306,5	1.175,9	470,4	130,7	52,3	21.775	22.508.704,65	60-80%	Secundário convencional
	Fraiburgo	35.536	90,0%	10,0%	1.918,9	1.727,0	250,9	191,9	76,8	31.982	39.153.620,36	60-80%	Secundário avançado	
	Lebon Régis	9.062	90,0%	10,0%	489,3	440,4	176,2	48,9	19,6	8.156	8.317.588,17	60-80%	Secundário avançado	
	Caçador	80.307	90,0%	10,0%	4.336,6	3.902,9	295,3	433,7	173,5	72.276	95.016.753,84	>80%	Secundário avançado	

Legenda: UGT – Unidade de Gestão Técnica; UGT 2 – Meio Oeste Catarinense; UGT 3 – Planalto Sul Catarinense; UGT 4 – Planalto Norte Catarinense; UGT 5 – Alto Vale do Itajaí; UGT 7 – Região Metropolitana; UGT 10 – Alto Vale do Rio de Peixe.
Fonte: ANA (2013).

APÊNDICE 12 – Dados extraídos do Atlas Esgotos 2013: projeção para 2035 para as culturas selecionadas e os seus respectivos municípios que irrigam culturas
(continuação)

Cultura	UGT	Município	População Urbana (2035)	Índice de Atendimento com ETEs Avaliado (2035)	Índice de Atendimento Solução Individual Avaliado (2035)	Carga Gerada Total em 2035 (KgDBOd ⁻¹)	Carga Afluente ETE em 2035 (KgDBOd ⁻¹)	Carga Efluente ETE em 2035 (KgDBOd ⁻¹)	Carga Afluente Solução Individual em 2035 (KgDBOd ⁻¹)	Carga Efluente Solução Individual em 2035 (KgDBOd ⁻¹)	População Atendida Estimada em 2035	Investimentos em Coleta e Tratamento (R\$)	Necessidade de Remoção de DBO	Tipologia de Solução/Tratamento
Banana-Caturra	UGT 6	Corupá	14.510	90,0%	10,0%	783,5	705,2	141,0	78,4	31,4	13.059	15.737.876,20	60-80%	Secundário convencional
		Luiz Alves	8.987	90,0%	10,0%	485,3	436,8	174,7	48,5	19,4	8.088	14.897.763,34	60-80%	Secundário convencional
		Massaranduba	10.748	90,0%	10,0%	580,4	522,4	208,9	58,0	23,2	9.673	12.117.828,88	60-80%	Secundário convencional
		Jaraguá do Sul	220.212	90,0%	10,0%	11.891,4	10.702,3	2.140,5	1.189,1	475,6	198.191	186.967.665,48	60-80%	Secundário convencional
		São João do Itaperiú	2.787	90,0%	10,0%	150,5	135,5	27,1	15,1	6,0	2.508	4.271.973,81	60-80%	Secundário convencional
		Balneário Piçarras	26.529	100,0%	0,0%	1.432,6	1.432,6	143,3	0,0	0,0	26.529	32.556.148,26	>80%	Secundário avançado
Batata	UGT 2	Água Doce	4.426	90,0%	10,0%	239,0	215,1	21,5	23,9	9,6	3.983	7.036.618,89	>80%	Secundário avançado
	UGT 4	Mafra	50.541	90,0%	10,0%	2.729,2	2.456,3	540,4	272,9	109,2	45.487	65.600.926,79	60-80%	Secundário avançado
Tomate	UGT 10	Caçador	80.307	90,0%	10,0%	4.336,6	3.902,9	295,3	433,7	173,5	72.276	95.016.753,84	>80%	Secundário avançado
		Lebon Régis	9.062	90,0%	10,0%	489,3	440,4	176,2	48,9	19,6	8.156	8.317.588,17	60-80%	Secundário convencional
Banana-prata	UGT 8	Jacinto Machado	6.656	90,0%	10,0%	359,4	323,5	129,4	35,9	14,4	5.990	8.723.531,62	60-80%	Secundário convencional

Legenda: UGT – Unidade de Gestão Técnica; Legenda: UGT 2 – Meio Oeste Catarinense; UGT 3 – Planalto Sul Catarinense; UGT 4 – Planalto Norte Catarinense; UGT 6 – Litoral Norte Catarinense; UGT 8 – Litoral Sul Catarinense; UGT 10 – Alto Vale do Rio de Peixe.

Fonte: ANA (2013).

APÊNDICE 13 – Dados extraídos do Atlas Esgotos 2013: projeção para 2035 para as culturas selecionadas e as ETEs operantes nos seus respectivos municípios que irrigam culturas

Cultura	UGT	Município	Informações das ETEs			Características do efluente			Características do corpo receptor			
			Nome da ETE	População Atendida	Processo de referencia	Eficiência adotada	Vazão afluente (Ls ⁻¹)	Carga afluente ¹	Carga lançada ¹	Nome	Vazão de referência (Ls ⁻¹)	Classe de enquadramento adotada
Arroz	UGT 5	Taió	ETE Taió	12.206	Reator Anaeróbio	60%	25,4	659,1	263,6	Rio Itajaí do Oeste	13.083,90	2
		Pouso Redondo	ETE Pouso Redondo	14.108	Reator Anaeróbio	60%	29,4	761,8	304,7	Rio das Pombinhas	2.651,40	2
		Mirim Doce	ETE Mirim Doce	1.261	Reator Anaeróbio	60%	2,6	68,1	27,2	Rio Taió	3.410,40	2
		Rio do Oeste	ETE Rio Do Oeste	4.254	Reator Anaeróbio	60%	8,9	229,7	91,9	Rio Itajaí do Oeste	17.744,30	2
		Rio do Campo	ETE Rio Do Campo	2.921	Reator Anaeróbio	60%	6,1	157,7	63,1	Rio do Campo	1.134,70	2
		Agrolândia	ETE Agrolândia	8.484	Reator Anaeróbio	60%	17,7	458,1	183,2	Rio Trombudo	2.301,70	2
		Rio do Sul	ETE Rio Do Sul	75.580	Reator anaeróbio + Filtro percolador + Decantador	78%	107,4	4.081,30	897,9	Rio Itajaí-açu	38.770,70	2
		Agrolândia	ETE Agrolândia	8.484	Reator Anaeróbio	60%	17,7	458,1	183,2	Rio Trombudo	2.301,70	2
		Lontras	ETE Lontras	11.090	Reator Anaeróbio	60%	23,1	598,9	239,6	Rio Itajaí-açu	7.200,00	2
		Alfredo Wagner	ETE Alfredo Wagner	4.176	Reator Anaeróbio	60%	8,7	225,5	90,2	Rio Itajaí do Sul	3.340,00	2
		Salete	ETE Salete	5.543	Reator Anaeróbio	60%	11,5	299,3	119,7	Ribeirão Grande	1.323,00	2
		Laurentino	ETE Laurentino	6.073	Reator Anaeróbio	60%	12,7	327,9	131,2	Rio Itajaí do Oeste	17.744,30	2
		Trombudo Central	ETE Trombudo Central	5.594	Reator Anaeróbio	60%	11,7	302,1	120,8	Rio Itajaí-açu	3.758,70	2
		Presidente Getúlio	ETE Presidente Getúlio	15.017	Reator Anaeróbio	60%	31,3	810,9	324,4	Rio Itajaí do Norte ou Hercílio	24.762,90	2
		Ibirama	ETE Ibirama	16.713	Reator anaeróbio + Filtro aerado submerso + Decantador	78%	9,7	902,5	198,6	Rio Itajaí do Norte ou Hercílio	24.762,90	2
		Braço do Trombudo	ETE Braço Do Trombudo	2.515	Reator Anaeróbio	60%	5,2	135,8	54,3	Ribeirão Braço do Trombudo	992,8	2
		Apiúna	ETE Apiúna	5.609	Reator Anaeróbio	60%	11,7	302,9	121,2	Rio Itajaí-açu	37.259,50	2
Vitor Meireles	ETE Vitor Meireles	2.417	Reator Anaeróbio	60%	5	130,5	52,2	Não disponível na base hidrográfica utilizada	362,6	2		
Arroz	UGT 6	Massaranduba	ETE Massaranduba	9.673	Reator Anaeróbio	60%	20,2	522,3	208,9	Rio Pitanga	2.593,40	2
		Guaramirim	ETE Guaramirim	42.117	Reator Anaeróbio + Filtro Biológico Percolador	80%	87,7	2.274,30	454,9	Rio Itapocu	11.384,30	2
		Gaspar	ETE Gaspar	69.719	Reator Anaeróbio	60%	145,2	3.764,80	1.505,90	Rio Itajaí-açu	58.939,40	2
		Ilhota	ETE Ilhota	9.977	Reator Anaeróbio	60%	20,8	538,8	215,5	Rio Itajaí-açu	64.943,70	2
			ETE Jarivatuba	564.701	Lodos Ativados	93%	286,4	30.493,90	2.043,10	Rio Velho	156	2
			ETE Profipo	7.059	Lodos ativados convencional	95%	3,6	381,2	17,5	Não disponível na base hidrográfica utilizada	75,8	1
		Joinville	ETE Pinheiros	26.682	Reator anaeróbio + Filtro Biológico Percolador + Decantadores Secundários + físico-químico	93%	13,5	1.440,80	100,9	Rio Iriiriguaçu	230,2	2
	ETE Morro Do Amaral	2.259	Reator anaeróbio + Filtro Biológico Percolador + Decantadores Secundários	91%	1,1	122	11,6	Córrego Varador/Canal Ipiranga	34,8	Não avaliado		

Legenda: UGT – Unidade de Gestão Técnica; UGT 5 – Alto Vale do Itajaí; UGT 6 – Litoral Norte Catarinense; 1 – KgDBODia⁻¹.

Fonte: ANA (2013).

APÊNDICE 14 – Dados extraídos do Atlas Esgotos 2013: projeção para 2035 para as culturas selecionadas e as ETEs operantes nos seus respectivos municípios que irrigam culturas (continuação)

Cultura	UGT	Município	Informações das ETEs			Características do efluente				Características do corpo receptor			
			Nome da ETE	População Atendida	Processo de referencia	Eficiência adotada	Vazão afluente (Ls ⁻¹)	Carga afluente ¹	Carga lançada ¹	Nome	Vazão de referência (Ls ⁻¹)	Classe de enquadramento adotada	
Arroz	UGT 6	Araquari	ETE Centro	11.574	Reator anaeróbio + Filtro Biológico Percolador + Decantadores Secundários	90%	6,2	625	62,5	Rio Parati	508,7	2	
			ETE Itinga	23.103	Reator anaeróbio + Filtro Biológico Percolador + Decantadores Secundários + físico-químico	93%	12,3	1.247,60	87,3	Rio Parati	201,5	2	
		Itajaí	ETE Cidade Nova	82.743	Lodos ativados convencional com remoção biológica de N	98%	96,5	4.468,10	89,4	Rio Itajaí-mirim	12.403,10	2	
			ETE Itajaí I	80.877	Reator anaeróbio	60%	94,3	4.367,40	1.747,00	Rio Itajaí-açu	77.536,40	2	
			ETE Itajaí II	80.877	Lodos ativados convencional	85%	94,3	4.367,40	655,1	Rio Itajaí-açu	77.536,40	2	
		São João do Itaperiú	ETE São João Do Itaperiú	2.508	Lagoa Anaeróbia + Facultativa + Maturação	80%	5,2	135,4	27,1	Rio Itaperiu	119,1	2	
		Rio dos Cedros	ETE Rio Dos Cedros	7.680	Reator Anaeróbio	60%	16	414,7	165,9	Rio dos Cedros	5.140,50	2	
		Camboriú	ETE Camboriú	88.886	Lodos Ativados	93%	185,2	4.799,80	336	Rio Camboriú	1.346,00	2	
		Navegantes	ETE Navegantes	90.803	Reator Anaeróbio	60%	189,2	4.903,40	1.961,40	Rio Itajaí-açu	77.536,40	2	
		Jaraguá do Sul	ETE Nereu Ramos	66.064	Reator Anaeróbio + Filtro Biológico Percolador	80%	62,3	3.567,50	713,5	Rio Itapocu	5.879,00	2	
			ETE Água Verde	66.064	Reator Anaeróbio + Filtro Biológico Percolador	80%	62,3	3.567,50	713,5	Rio Itapocu	5.879,00	2	
		Doutor Pedrinho	ETE Figueira	66.063	Reator Anaeróbio + Filtro Biológico Percolador	80%	62,3	3.567,40	713,5	Rio Itapocu	8.172,20	2	
			ETE Bacia A	1.845	Reator anaeróbio + Filtro percolador + Decantador	78%	1,8	99,6	21,9	Rio Benedito	1.391,90	2	
			ETE Bacia B	898	Reator anaeróbio + Filtro percolador + Decantador	78%	0,9	48,5	10,7	Rio Benedito	2.459,20	2	
			Rodeio	ETE Rodeio	9.690	Reator Anaeróbio	60%	20,2	523,3	209,3	Rio Itajaí-açu	37.259,50	2
			Garuva	ETE Garuva	18.971	Reator Anaeróbio	60%	39,5	1.024,40	409,8	Rio São João	1.072,90	2
			Timbó	ETE Timbó	51.826	Reator Anaeróbio	60%	108	2.798,60	1.119,40	Rio Benedito	11.847,10	2
			Ascurra	ETE Ascurra	6.611	Reator Anaeróbio	60%	13,8	357	142,8	Rio Itajaí-açu	37.259,50	2
			Barra Velha	ETE Barra Velha	33.265	Lagoa Anaeróbia + Facultativa + Maturação	80%	69,3	1.796,30	359,3	Rio do Peixe	590,2	2
			Luiz Alves	ETE Luiz Alves	8.088	Reator Anaeróbio	60%	16,9	436,8	174,7	Rio Luís Alves	2.203,40	2
			Balneário Piçarras	ETE Balneário Piçarras	26.529	Lodos ativados de aeração prolongada	90%	43,6	1.432,60	143,3	Rio do Peixe	590,2	2
		Benedito Novo	ETE Benedito Novo	7.151	Reator Anaeróbio	60%	14,9	386,2	154,5	Rio Benedito	5.764,80	2	
		Itapema	ETE Morretes	69.627	Lodos Ativados + físico-químico	97%	58,9	3.759,90	112,8	Rio do Pereque	154,8	2	
Indaial	ETE Nações	80.381	Reator Anaeróbio	60%	22,2	4.340,60	1.736,20	Rio Benedito	11.847,10	2			
Schroeder	ETE Schroeder	21.332	Reator Anaeróbio	60%	44,4	1.151,90	460,8	Rio Itapocuzinho	2.893,40	1			

Legenda: UGT – Unidade de Gestão Técnica; UGT 6 – Litoral Norte Catarinense; 1 – KgDBODia⁻¹.

Fonte: ANA (2013).

APÊNDICE 15 – Dados extraídos do Atlas Esgotos 2013: projeção para 2035 para as culturas selecionadas e as ETEs operantes nos seus respectivos municípios que irrigam culturas
(continuação)

Cultura	UGT	Município	Informações das ETEs			Características do efluente			Características do corpo receptor			
			Nome da ETE	População Atendida	Processo de referencia	Eficiência adotada	Vazão afluente (Ls ⁻¹)	Carga afluente ¹	Carga lançada ¹	Nome	Vazão de referência (Ls ⁻¹)	Classe de enquadramento adotada
Arroz	UGT 6	Itapoá	ETE Itapoá ²	22.403	Reator Anaeróbio	60%	46,7	1.209,80	483,9	Rio Saí-mirim	1.330,1	2
		Porto Belo	ETE Porto Belo ²	23.842	Lodos Ativados + físico-químico	97%	49,7	1.287,50	38,6	Rio Perequê	411,8	2
		Corupá	ETE Corupá ²	13.059	Lagoa Anaeróbia + Facultativa + Maturação	80%	27,2	705,2	141	Rio Itapocu	5.879	2
		São Francisco do Sul	ETE São Francisco do Sul ²	58.001	Tratamento Mínimo/Emissário submarino	60%	120,8	3.132,10	1.252,80	Emissário submarino/Mar	Ilimitado	Não avaliado
	UGT 7	Tijucas	ETE Tijucas	41.038	Reator Anaeróbio	60%	32,5	2.216,10	886,4	Rio Tijucas	17.521,90	1
		Biguaçu	ETE Biguaçu	65.650	Reator anaeróbio + Lodos ativados convencional	85%	56	3.545,10	531,8	Rio Biguaçu	2.911,90	2
			ETE Madri	48.499	Lodos Ativados	97%	15	2.618,90	78,6	Rio Passa Vinte	201,7	2
		Palhoça	ETE Terra Nova	75.960	Lodos ativados em batelada	99%	23,5	4.101,80	41	Rio Passa Vinte	201,7	2
			ETE Jardins	15.195	Lodos Ativados + físico-químico	97%	4,7	820,5	24,6	Rio Passa Vinte	201,7	2
			ETE Porto Das Águas	17.094	Lodos Ativados + físico-químico	97%	5,3	923,1	27,7	Não disponível na base hidrográfica utilizada	62,1	2
		ETE Nova Palhoça	44.634	Tratamento Mínimo/Emissário submarino	90%	13,8	2.410,20	241	Bahia Sul / mar	Ilimitado	Não avaliado	
		Canelinha	ETE Canelinha ²	8.120	Reator Anaeróbio	60%	16,9	438,5	175,4	Rio Tijucas	15.959,50	1
	UGT 8	Brusque	ETE Brusque ²	153.276	Reator Anaeróbio	60%	319,3	8.276,90	3.310,80	Rio Itajai-mirim	10.595,70	2
		São João Batista	ETE São João Batista	39.016	Reator anaeróbio + Decantador	69%	52	2.106,90	653,1	Rio Tijucas	14.168,30	1
		Guabiruba	ETE Guabiruba ²	25.453	Lagoa Anaeróbia + Facultativa + Maturação	80%	53	1.374,50	274,9	Rio Guabiruba do Norte	825,5	2
		Turvo	ETE Turvo	10.502	Reator anaeróbio + Lodos ativados convencional	85%	11	567,1	85,1	Rio Turvo	557,7	2
	UGT 8	Forquilha	ETE Forquilha	26.954	Lodos Ativados	90%	20,5	1.455,50	145,6	Rio Mãe Luzia	4.192,20	2
		Meleiro	ETE Meleiro	4.631	Reator anaeróbio + <i>Wetlands</i>	70%	7,1	250,1	75	Rio Manoel Alves	2.801,20	2
		Nova Veneza	ETE Nova Veneza	11.582	Reator anaeróbio	70%	24,1	625,4	187,6	Rio Mãe Luzia	2.149,90	2
		Jacinto Machado	ETE Jacinto Machado	5.990	Reator Anaeróbio	60%	12,5	323,5	129,4	Rio da Pedra	1.586,70	2
		Tubarão	ETE Tubarão	95.643	Reator Anaeróbio	60%	199,3	5.164,70	2.065,90	Rio Tubarão	29.697,70	2
		Araranguá	ETE Araranguá	54.776	Reator Anaeróbio	60%	20,3	2.957,90	1.183,20	Rio Araranguá	20.469,40	2
		Jaguaruna	ETE Jaguaruna	18.862	Lodos ativados em batelada	90%	41,2	1.018,50	101,9	Rio Jaguaruna	927,1	2
		São João do Sul	ETE São João Do Sul	3.815	Reator Anaeróbio	60%	7,9	206	82,4	Rio do Sertão	2.694,20	2
Imaruí		ETE Imaruí	4.777	Reator Anaeróbio	60%	10	258	103,2	Lagoa do Mirim	5.407,90	1	
Ermo		ETE Ermo	659	Reator Anaeróbio	60%	1,4	35,6	14,2	Rio Ermo	220,5	2	
Morro Grande		ETE Morro Grande	755	Reator Anaeróbio	60%	1,6	40,8	16,3	Rio Manoel Alves	1.357,60	2	
Praia Grande		ETE Praia Grande	4.832	Reator Anaeróbio	60%	10,1	260,9	104,4	Rio Mampituba	3.005,20	2	
Imbituba	ETE Paes Leme	43.563	Tratamento Mínimo/Emissário submarino	90%	6,5	2.352,40	235,2	Lagoa da Bomba	Ilimitado	Não avaliado		
Timbé do Sul	ETE Timbé Do Sul	2.327	Reator Anaeróbio	60%	4,8	125,7	50,3	Rio Timbé	1.028,20	2		

Legenda: UGT – Unidade de Gestão Técnica; UGT 6 – Litoral Norte Catarinense; UGT 7 – Região Metropolitana; UGT 8 - Litoral Sul Catarinense; 1 – KgDBODia⁻¹; 2 – Solução estudada na modelagem.
Fonte: ANA (2013).

APÊNDICE 16 – Dados extraídos do Atlas Esgotos 2013: projeção para 2035 para as culturas selecionadas e as ETEs operantes nos seus respectivos municípios que irrigam culturas
(continuação)

Cultura	UGT	Município	Informações das ETEs			Características do efluente				Características do corpo receptor				
			Nome da ETE	População Atendida	Processo de referencia	Eficiência adotada	Vazão afluente (Ls ⁻¹)	Carga afluente ¹	Carga lançada ¹	Nome	Vazão de referência (Ls ⁻¹)	Classe de enquadramento adotada		
Arroz	UGT 8	Capivari de Baixo	ETE Capivari De Baixo	21.775	Reator Anaeróbio	60%	45,4	1.175,90	470,4	Rio Tubarão	29.697,70	2		
		Içara	ETE Içara	55.182	Reator Anaeróbio + Filtro Biológico Percolador	97%	38,2	2.979,80	89,4	Rio Linha Anta	257,8	2		
		Maracajá	ETE Maracajá	5.280	Lagoa Anaeróbia + Facultativa + Maturação	80%	11	285,1	57	Rio Mãe Luzia	5.909,80	2		
		Sombrio	ETE Sombrio	24.079	Lagoa Anaeróbia + Facultativa + Maturação	80%	50,2	1.300,30	260,1	Rio da Laje	999	2		
		Laguna	ETE Laguna	39.355	Reator anaeróbio + Filtro aerado submerso + Decantador	78%	47,4	2.125,20	467,5	Lagoa de Santo Antônio	8.349,90	1		
		Paulo Lopes	ETE Paulo Lopes	5.811	Lagoa Anaeróbia + Facultativa + Maturação	80%	12,1	313,8	62,8	Rio da Lagoa	392,7	1		
		Treze de Maio	ETE Treze De Maio	3.933	Reator Anaeróbio	60%	8,2	212,4	85	Rio do Salto	677,7	1		
		Santa Rosa do Sul	ETE Santa Rosa Do Sul	4.631	Reator Anaeróbio	60%	9,6	250,1	100	Lagoa do Sombrio	3.239,40	2		
		Sangão	ETE Sangão	8.135	Lagoa Anaeróbia + Facultativa + Maturação	80%	16,9	439,3	87,9	Rio Sangão	263,1	2		
		Gravatal	ETE Gravatal	5.337	Reator anaeróbio	65%	4,1	288,2	100,9	Rio Caipora	582,5	1		
		Passo de Torres	ETE Passo De Torres	9.461	Reator Anaeróbio	60%	19,7	510,9	204,4	Rio Mampituba	12.704,10	1		
		Morro da Fumaça	ETE Morro Da Fumaça	16.011	Reator Anaeróbio	60%	33,4	864,6	345,8	Rio Urussanga	2.720,60	2		
					ETE Criciúma	137.083	Reator anaeróbio + Filtro Biológico Percolador + Decantadores Secundários + físico-químico	93%	178,9	7.402,50	518,2	Rio Sangão	987,1	2
					ETE Prospera	33.454	Lodos Ativados + físico-químico	97%	51,8	1.806,50	54,2	Rio Linha Anta	257,8	2
					ETE Criciúma II	38.297	Reator anaeróbio + Filtro Biológico Percolador + Decantadores Secundários + físico-químico	93%	59,3	2.068,00	144,8	Rio Sangão	987,1	2
					ETE Cocal Do Sul	15.348	Reator Anaeróbio + Filtro Biológico Percolador	80%	26,7	828,8	165,8	Rio Cocal e Rio Barbosa	415,6	2
					ETE Siderópolis	11.129	Lodos Ativados	93%	23,2	601	42,1	Rio Kuntz	216,5	1
			ETE Garopaba	24.428	Reator anaeróbio + Filtro aerado submerso - sem decantador	77%	31,8	1.319,10	303,4	Rio Siriú	249,9	2		
			ETE Urussanga	11.845	Lagoa facultativa	75%	5,9	639,6	159,9	Rio Urussanga	1.091,50	2		

Legenda: UGT – Unidade de Gestão Técnica; UGT 8 - Litoral Sul Catarinense; 1 – KgDBODia⁻¹.

Fonte: ANA (2013).

APÊNDICE 17 – Dados extraídos do Atlas Esgotos 2013: projeção para 2035 para as culturas selecionadas e as ETEs operantes nos seus respectivos municípios que irrigam culturas (continuação)

Cultura	UGT	Município	Informações das ETEs			Características do efluente				Características do corpo receptor		
			Nome da ETE	População Atendida	Processo de referencia	Eficiência adotada	Vazão afluente (Ls ⁻¹)	Carga afluente ¹	Carga lançada ¹	Nome	Vazão de referência (Ls ⁻¹)	Classe de enquadramento adotada
Cebola	UGT 3	Bom Retiro	ETE Bom Retiro	7.941	Lagoa Anaeróbia + Facultativa + Maturação	80%	16,5	428,8	85,8	Rio Ponte Alta	393	2
		Urubici	ETE Urubici	7.326	Reator anaeróbio	65%	15,3	395,6	138,5	Não disponível na base hidrográfica utilizada	414,2	2
	UGT 4	Irineópolis	ETE Irineópolis	5.277	Reator Anaeróbio	60%	11	285	114	Rio Iguacu	145.884,60	2
	UGT 5	Ituporanga	ETE Ituporanga	19.091	Reator anaeróbio + Filtro aerado submerso - sem decantador	77%	6,9	1.030,90	237,1	Rio Itajaí do Sul	12.182,60	2
		Alfredo Wagner	ETE Alfredo Wagner	4.176	Reator Anaeróbio	60%	8,7	225,5	90,2	Rio Itajaí do Sul	3.340,00	2
		Imbuia	ETE Imbuia	3.524	Reator Anaeróbio	60%	7,3	190,3	76,1	Rio Itajaí do Sul	8.114,80	2
		Aurora	ETE Aurora	3.026	Reator Anaeróbio	60%	6,3	163,4	65,4	Rio Itajaí do Sul	14.131,00	2
		Leoberto Leal	ETE Leoberto Leal	1.515	Reator Anaeróbio	60%	3,2	81,8	32,7	Rio Alto Braço	5.032,50	1
		Vidal Ramos	ETE Vidal Ramos	3.028	Reator Anaeróbio	60%	6,3	163,5	65,4	Rio Itajaí-mirim	1.231,50	2
		Chapadão do Lageado	ETE Chapadão Do Lageado	1.688	Reator Anaeróbio	60%	3,5	91,2	36,5	Rio Itajaí do Sul	8.114,80	2
	UGT 7	Petrolândia	ETE Petrolândia	2.928	Reator Anaeróbio	60%	6,1	158,1	63,2	Rio Perimbó	1.543,10	2
		Atalanta	ETE Atalanta	1.606	Lodos Ativados	60%	3,3	86,7	34,7	Rio Dona Luísa	827,5	2
		Angelina	ETE Angelina	1.976	Reator Anaeróbio	60%	4,1	106,7	42,7	Rio das Antas	2.789,20	2
		Lebon Régis	ETE Lebon Régis	8.156	Reator Anaeróbio	60%	17	440,4	176,2	Rio dos Patos	1.255,30	2
Caçador		ETE Santa Catarina	303	Lodos Ativados	93%	0,3	16,4	1,1	Rio do Peixe	693,6	2	
		ETE Cohab - Caçador	303	Reator Anaeróbio	60%	0,3	16,4	6,6	Rio Castelhana	305,2	2	
		ETE Ulisses Guimarães	10.297	Reator anaeróbio	90%	9,2	556	55,6	Rio Castelhana	305,2	2	
UGT 10		ETE Caçador	61.373	Lodos Ativados	93%	54,7	3.314,10	232	Rio do Peixe	693,6	2	
		Fraiburgo	ETE Jardim América	7.366	Reator anaeróbio	90%	3,3	397,8	39,8	Rio Roberto	1.080,30	2
		ETE Araucária	8.041	Reator anaeróbio + Filtro anaeróbio	72%	3,6	434,2	121,6	Rio Roberto	1.080,30	2	
	ETE São Sebastião 1	12.522	Reator anaeróbio + Filtro Biológico Percolador + Decantadores Secundários	90%	5,7	676,2	67,6	Rio das Pedras	255,1	2		
	ETE São Sebastião 2	4.053	Reator anaeróbio + Filtro Biológico Percolador + Decantadores Secundários	90%	1,8	218,9	21,9	Rio das Pedras	255,1	2		
Curitibanos	ETE Curitibanos	35.512	Lodos Ativados + físico-químico	97%	19,3	1.917,60	57,5	Lajeado da Estância	181,9	2		
Tangará	ETE Tangará	5.307	Reator Anaeróbio	60%	11,1	286,6	114,6	Rio do Peixe	4.539,00	2		

Legenda: UGT – Unidade de Gestão Técnica; UGT 3 – Planalto Sul Catarinense; UGT 4 – Planalto Norte Catarinense; UGT 5 – Alto Vale do Itajaí; UGT 7 – Região Metropolitana; UGT 10 – Alto Vale do Rio de Peixe; 1 – KgDBODia⁻¹.

Fonte: ANA (2013).

APÊNDICE 18 – Dados extraídos do Atlas Esgotos 2013: projeção para 2035 para as culturas selecionadas e as ETEs operantes nos seus respectivos municípios que irrigam culturas (continuação)

Cultura	UGT	Município	Informações das ETEs			Características do efluente				Características do corpo receptor		
			Nome da ETE	População Atendida	Processo de referencia	Eficiência adotada	Vazão afluente (Ls ⁻¹)	Carga afluente ¹	Carga lançada ¹	Nome	Vazão de referência (Ls ⁻¹)	Classe de enquadramento adotada
	UGT 2	Brunópolis	ETE Brunópolis	999	Reator Anaeróbio	60%	2,1	53,9	21,6	Lajeado da Fartura	208,1	2
	UGT 3	Ponte Alta	ETE Ponte Alta	2.852	Reator Anaeróbio	60%	5,9	154	61,6	Rio Canoas	16.182,60	2
Alho		Curitibanos	ETE Curitibanos	35.512	Lodos Ativados + físico-químico	97%	19,3	1.917,60	57,5	Lajeado da Estância	181,9	2
		Frei Rogério ²	ETE Frei Rogério	1.079	Reator Anaeróbio	60%	2,2	58,3	23,3	Rio Taquaruçu	392,3	2
			ETE Jardim América	7.366	Reator anaeróbio	90%	3,3	397,8	39,8	Rio Roberto	1.080,30	2
		Fraiburgo	ETE Araucária	8.041	Reator anaeróbio + Filtro anaeróbio	72%	3,6	434,2	121,6	Rio Roberto	1.080,30	2
			ETE São Sebastião 1	12.522	Reator anaeróbio + Filtro Biológico Percolador + Decantadores Secundários	90%	5,7	676,2	67,6	Rio das Pedras	255,1	2
	UGT 10		ETE São Sebastião 2	4.053	Reator anaeróbio + Filtro Biológico Percolador + Decantadores Secundários	90%	1,8	218,9	21,9	Rio das Pedras	255,1	2
		Lebon Régis	ETE Lebon Régis	8.156	Reator Anaeróbio	60%	17	440,4	176,2	Rio dos Patos	1.255,30	2
			ETE Santa Catarina	303	Lodos Ativados	93%	0,3	16,4	1,1	Rio do Peixe	693,6	2
		Caçador	ETE Cohab - Caçador	303	Reator Anaeróbio	60%	0,3	16,4	6,6	Rio Castelhanos	305,2	2
			ETE Ulisses Guimarães	10.297	Reator anaeróbio	90%	9,2	556	55,6	Rio Castelhanos	305,2	2
		ETE Caçador	61.373	Lodos Ativados	93%	54,7	3.314,10	232	Rio do Peixe	693,6	2	
Banana-caturra		Corupá	ETE Corupá	13.059	Lagoa Anaeróbia + Facultativa + Maturação	80%	27,2	705,2	141	Rio Itapocu	5.879,00	2
		Luiz Alves	ETE Luiz Alves	8.088	Reator Anaeróbio	60%	16,9	436,8	174,7	Rio Luís Alves	2.203,40	2
		Massaranduba	ETE Massaranduba	9.673	Reator Anaeróbio	60%	20,2	522,3	208,9	Rio Pitanga	2.593,40	2
			ETE Nereu Ramos	66.064	Reator Anaeróbio + Filtro Biológico Percolador	80%	62,3	3.567,50	713,5	Rio Itapocu	5.879,00	2
		Jaraguá do Sul	ETE Água Verde	66.064	Reator Anaeróbio + Filtro Biológico Percolador	80%	62,3	3.567,50	713,5	Rio Itapocu	5.879,00	2
			ETE Figueira	66.063	Reator Anaeróbio + Filtro Biológico Percolador	80%	62,3	3.567,40	713,5	Rio Itapocu	8.172,20	2
		São João do Itaperiú	ETE São João Do Itaperiú	2.508	Lagoa Anaeróbia + Facultativa + Maturação	80%	5,2	135,4	27,1	Rio Itaperiú	119,1	2
	Balneário Piçarras	ETE Balneário Piçarras	26.529	Lodos ativados de aeração prolongada	90%	43,6	1.432,60	143,3	Rio do Peixe	590,2	2	
Batata	UGT 2	Água Doce	ETE Água Doce	3.983	Reator anaeróbio + Filtro Biológico Percolador + Decantadores Secundários	90%	8,3	215,1	21,5	Rio da Água Doce	100,1	2
	UGT 4	Mafra	ETE Mafra	45.487	Reator anaeróbio + Filtro aerado submerso + Decantador	78%	9,7	2.456,30	540,4	Rio Negro	20.319,30	2
Tomate			ETE Santa Catarina	303	Lodos Ativados	93%	0,3	16,4	1,1	Rio do Peixe	693,6	2
		Caçador	ETE Cohab - Caçador	303	Reator Anaeróbio	60%	0,3	16,4	6,6	Rio Castelhanos	305,2	2
	UGT 10		ETE Ulisses Guimarães	10.297	Reator anaeróbio	90%	9,2	556	55,6	Rio Castelhanos	305,2	2
			ETE Caçador	61.373	Lodos Ativados	93%	54,7	3.314,10	232	Rio do Peixe	693,6	2
		Lebon Régis	ETE Lebon Régis	8.156	Reator Anaeróbio	60%	17	440,4	176,2	Rio dos Patos	1.255,30	2
Banana-prata	UGT 8	Jacinto Machado	ETE Jacinto Machado	5.990	Reator Anaeróbio	60%	12,5	323,5	129,4	Rio da Pedra	1.586,70	2

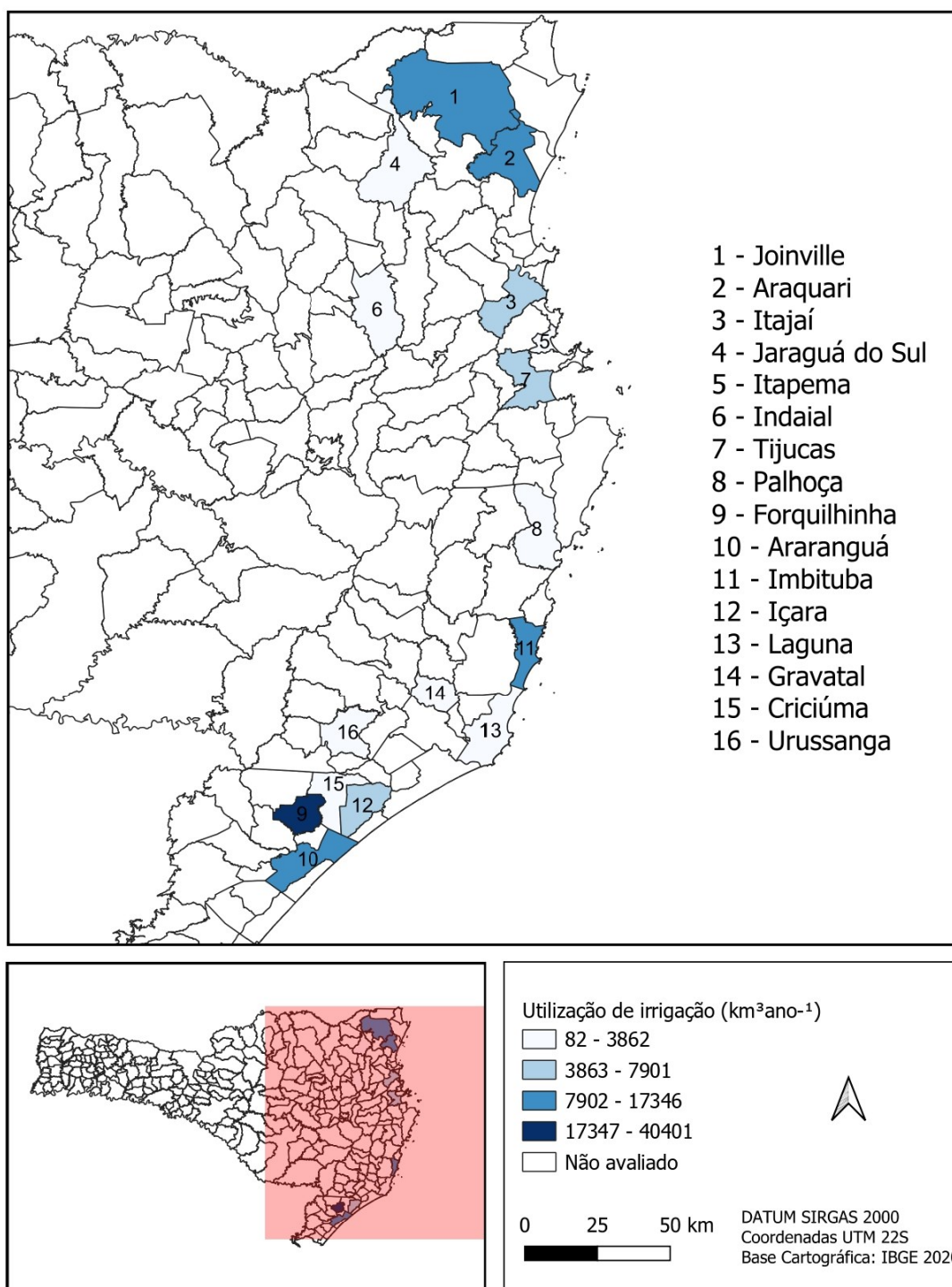
Legenda: UGT – Unidade de Gestão Técnica; UGT 2 – Meio Oeste Catarinense; UGT 3 – Planalto Sul Catarinense; UGT 4 – Planalto Norte Catarinense; UGT 6 – Litoral Norte Catarinense; UGT 8 – Litoral Sul Catarinense; UGT 10 – Alto Vale do Rio de Peixe; 1 – KgDBOdia⁻¹; 2 – Solução estudada na modelagem.

Fonte: ANA (2013).

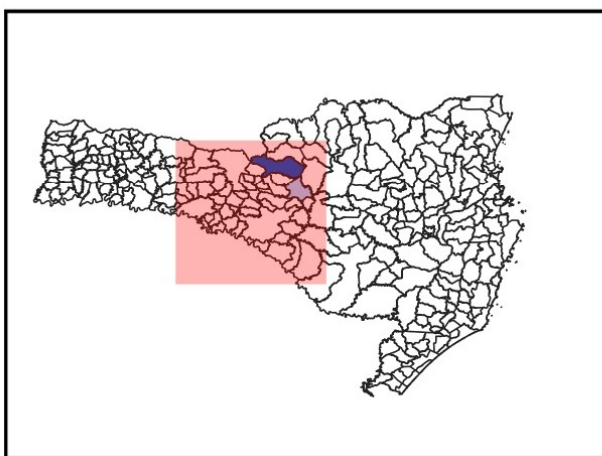
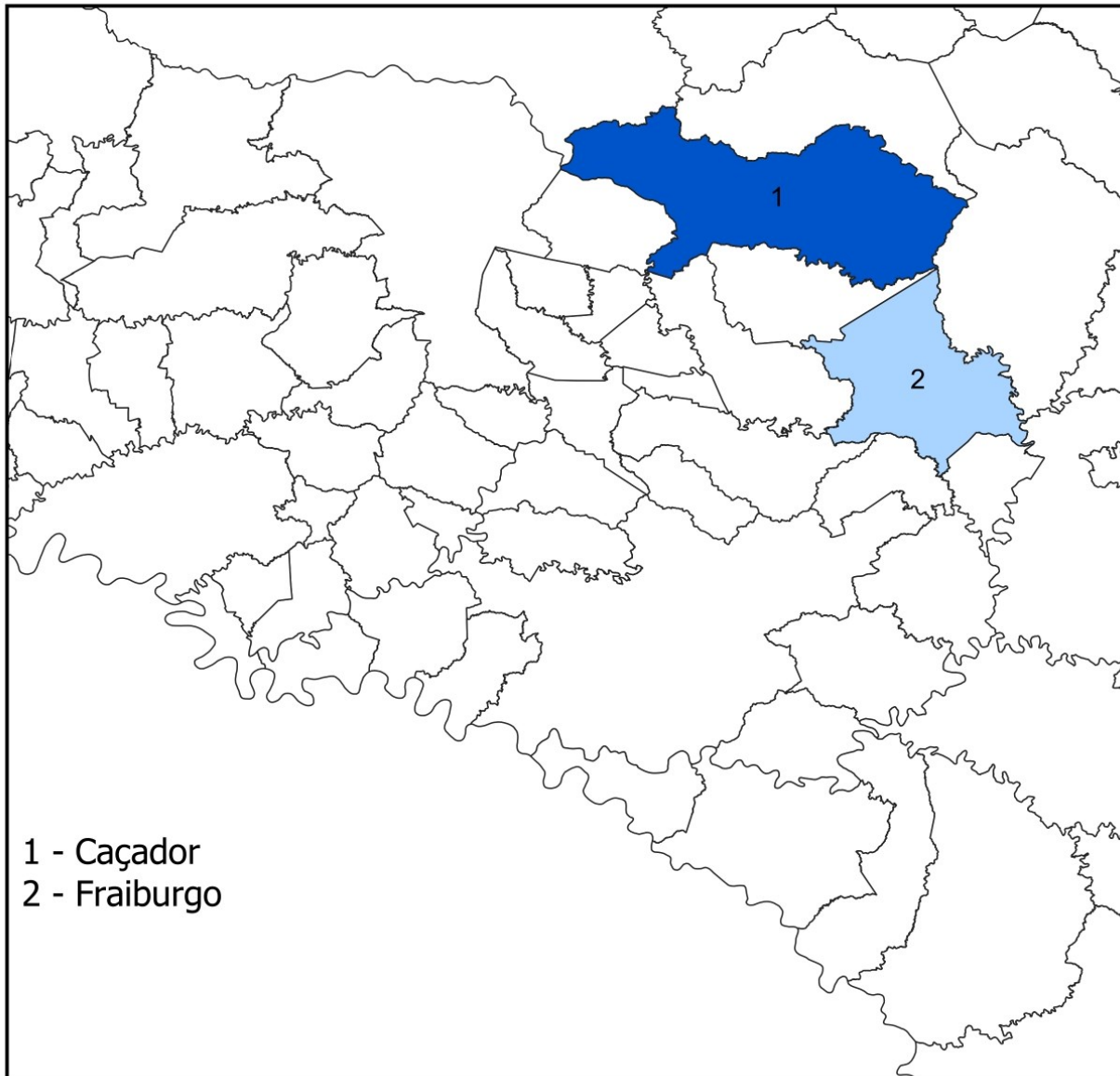
APÊNDICE 19 – Mapas referentes à utilização de água de irrigação nas culturas e municípios selecionados: cenário atual

Este apêndice apresenta os mapas individuais acerca da utilização de água de irrigação nos municípios produtores das culturas estudadas no estudo do potencial de irrigação agrícola com esgoto tratado no cenário atual.

Utilização de água de irrigação para a cultura arroz nos municípios selecionados



Utilização de água de irrigação para a cultura cebola nos municípios selecionados



Utilização de irrigação ($\text{km}^3\text{ano}^{-1}$)

- 215
- 316
- Não avaliado

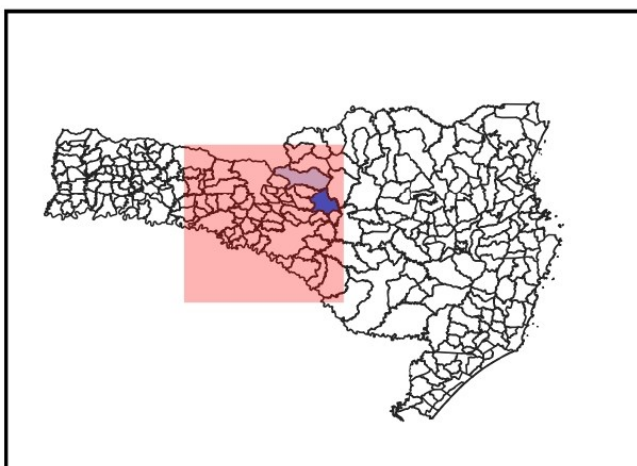
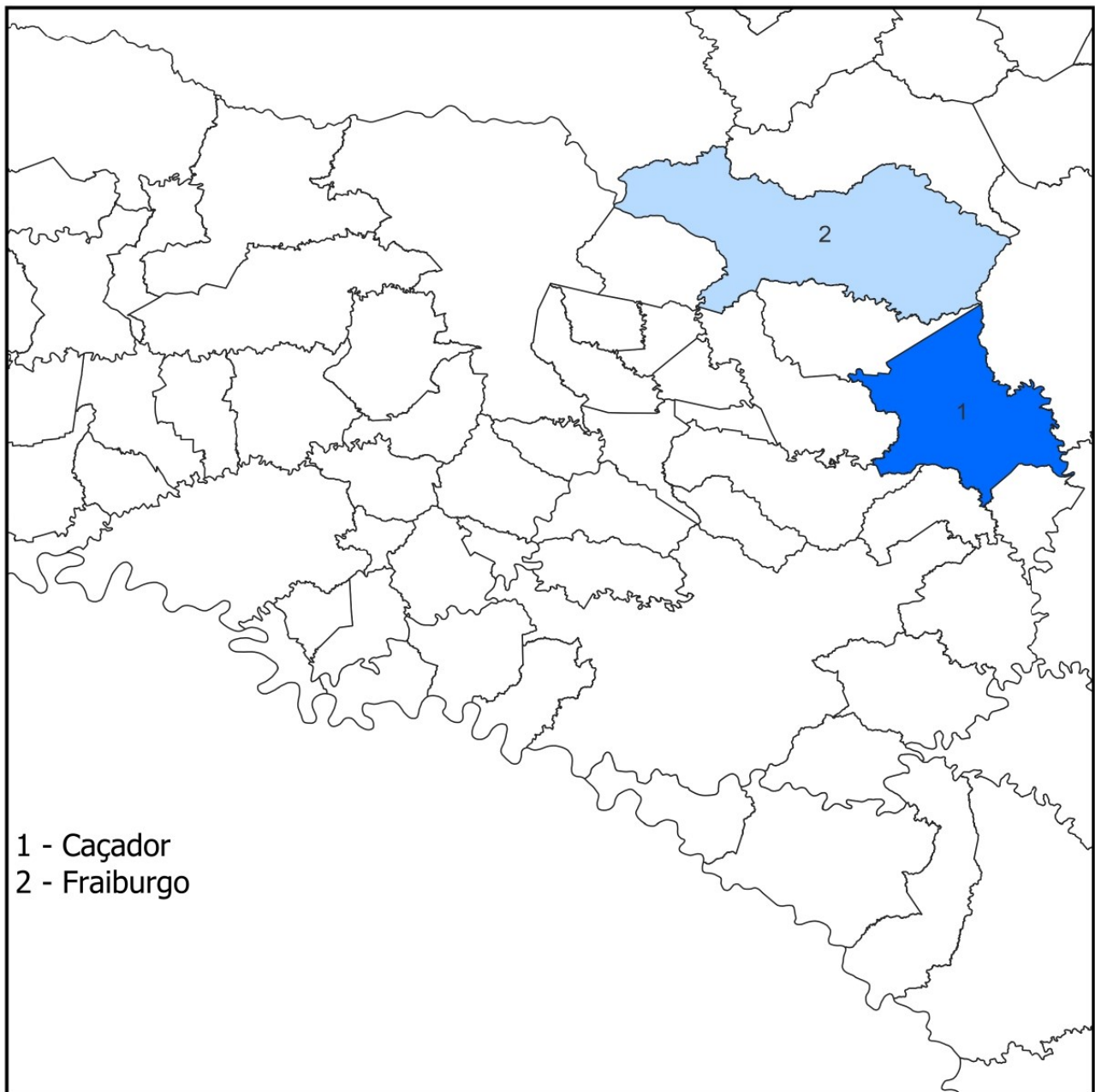


0 10 20 km



DATUM SIRGAS 2000
Coordenadas UTM 22S
Base Cartográfica: IBGE 2020

Utilização de água de irrigação para a cultura alho nos municípios selecionados

Utilização de irrigação ($\text{km}^3\text{ano}^{-1}$)

66

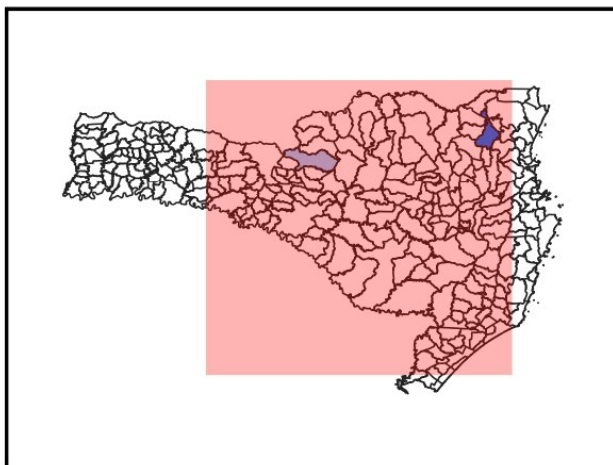
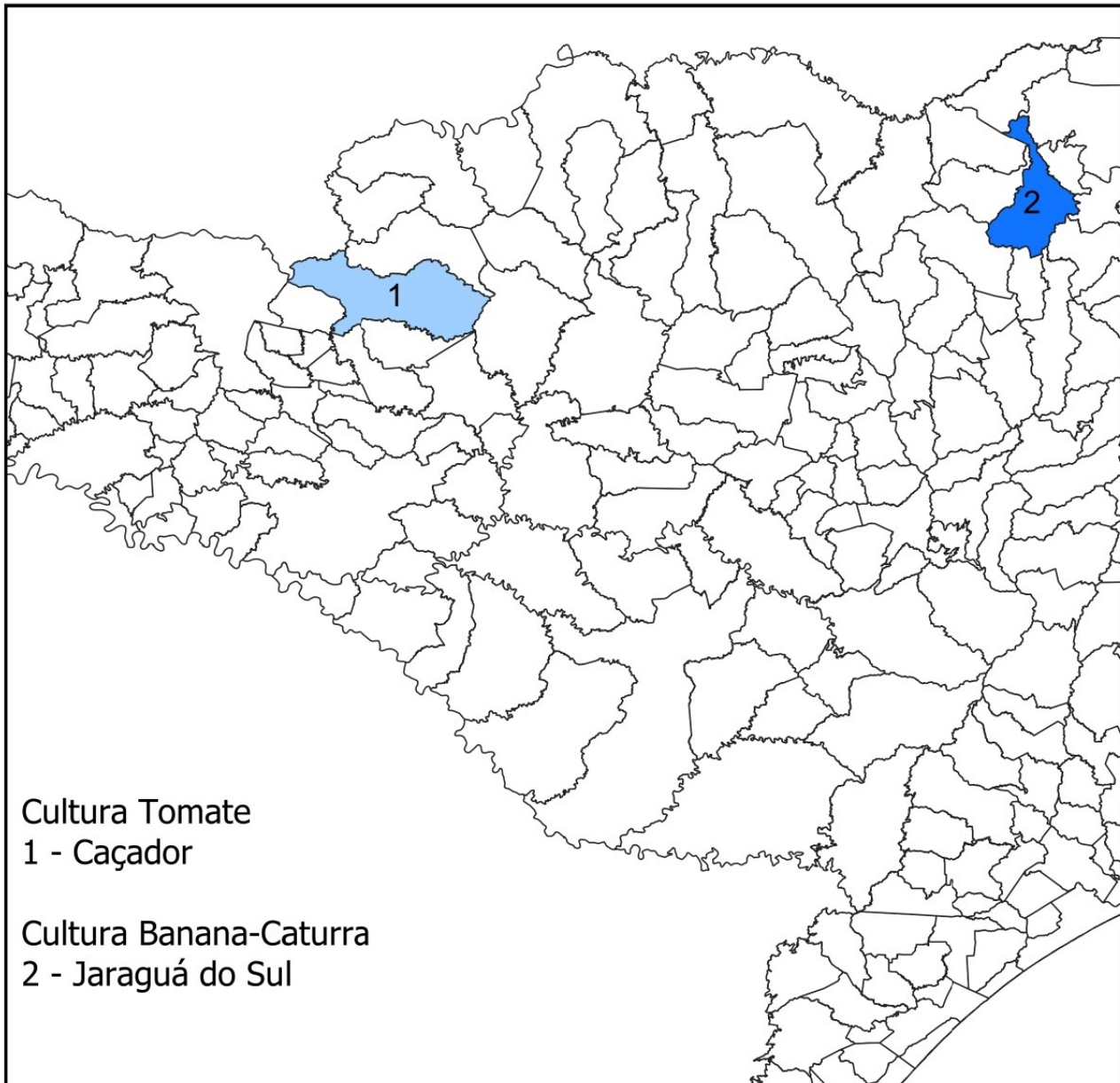
310

Não avaliado

0 10 20 km

DATUM SIRGAS 2000
Coordenadas UTM 22S
Base Cartográfica: IBGE 2020

Utilização de água de irrigação para as culturas banana-caturra e tomate nos municípios selecionados



Utilização de irrigação ($\text{km}^3\text{ano}^{-1}$)

- 122
- 92
- Não avaliado



0 25 50 km

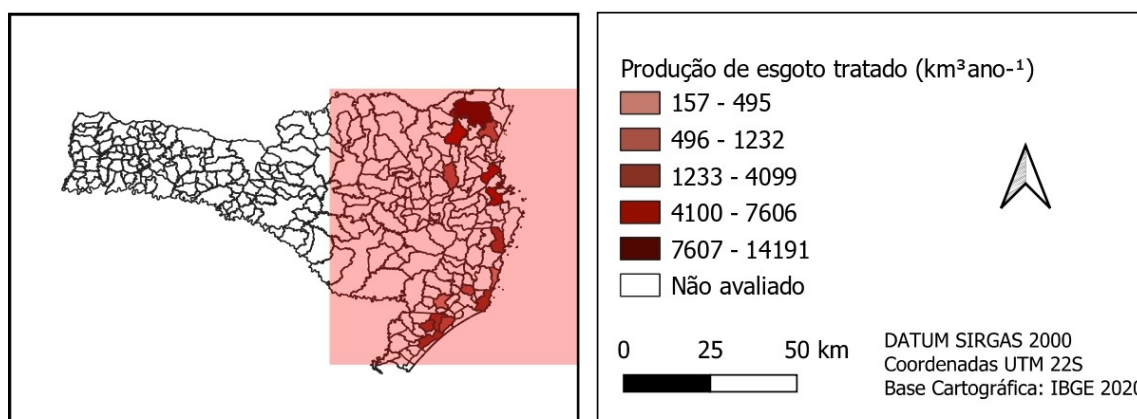
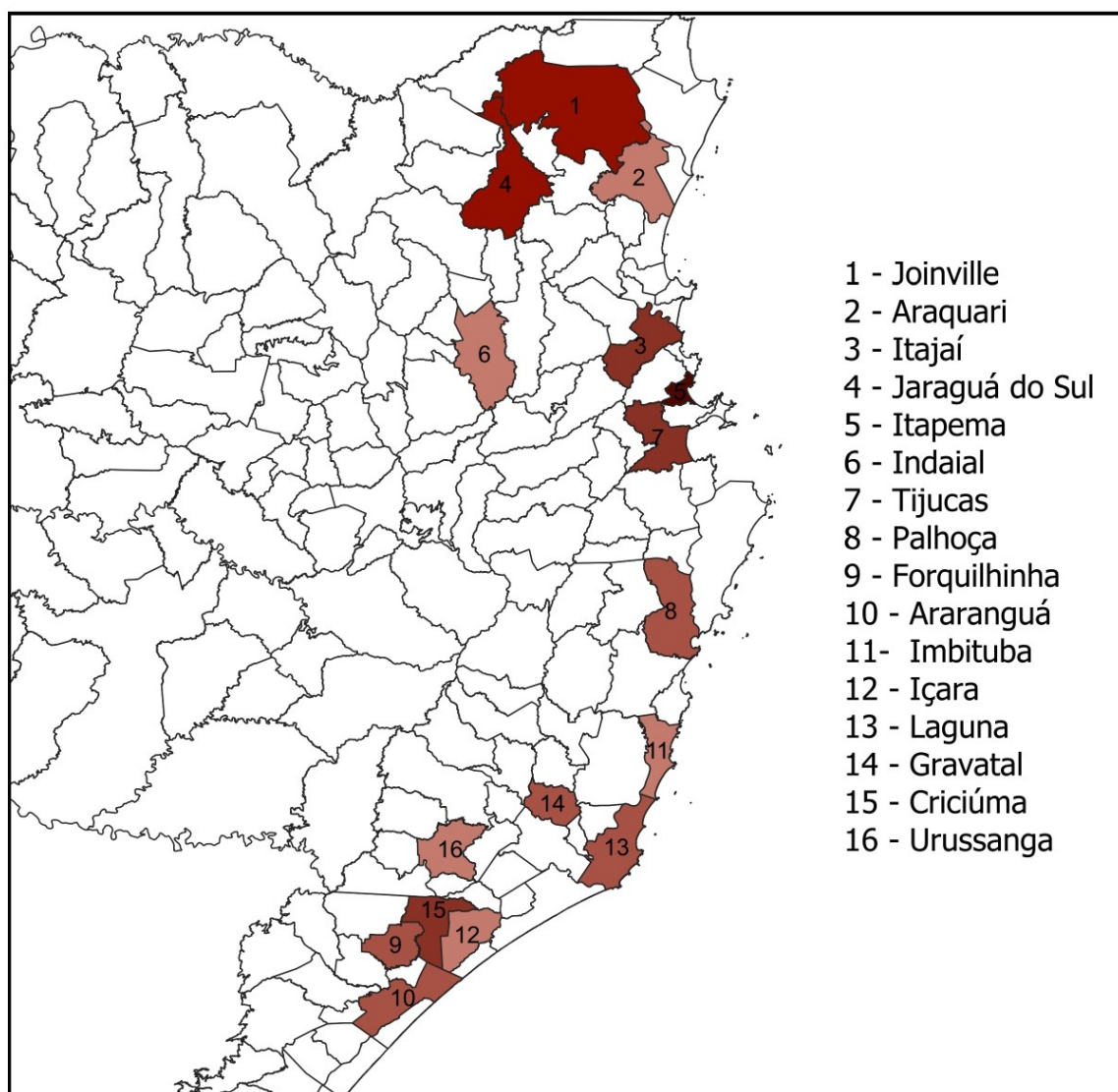


DATUM SIRGAS 2000
Coordenadas UTM 22S
Base Cartográfica: IBGE 2020

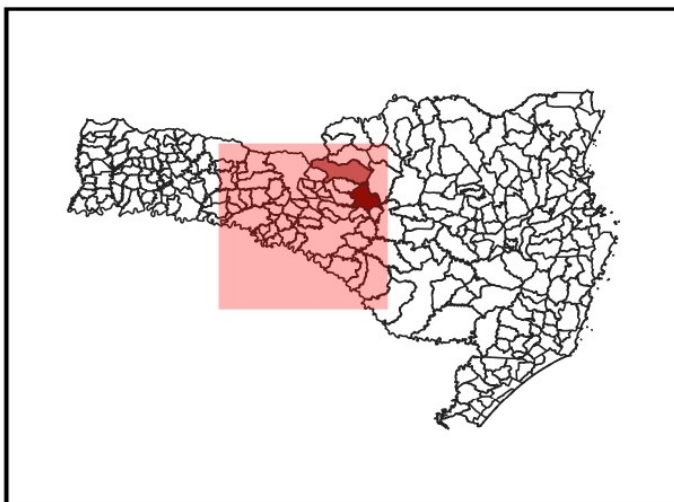
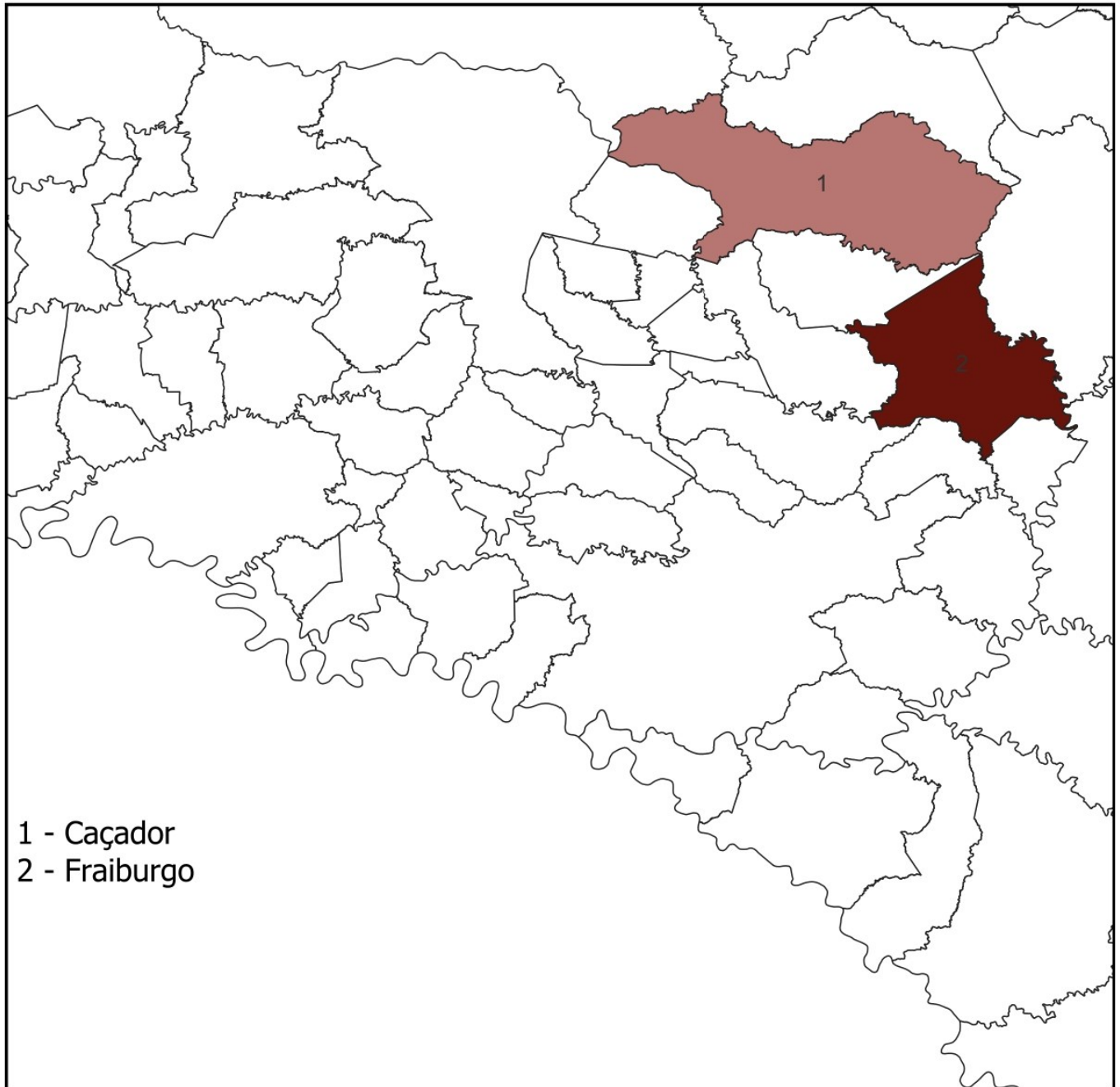
APÊNDICE 20 – Mapas relativos à produção de esgoto nos municípios avaliados: cenário atual

Este apêndice apresenta os mapas individuais acerca da produção de esgoto tratado nos municípios produtores das culturas estudadas no estudo do potencial de irrigação agrícola com esgoto tratado no cenário atual

Produção de esgoto tratado nos municípios selecionados produtores de arroz



Produção de esgoto tratado nos municípios selecionados produtores de cebola



Produção de esgoto tratado ($\text{km}^3\text{ano}^{-1}$)

148

291

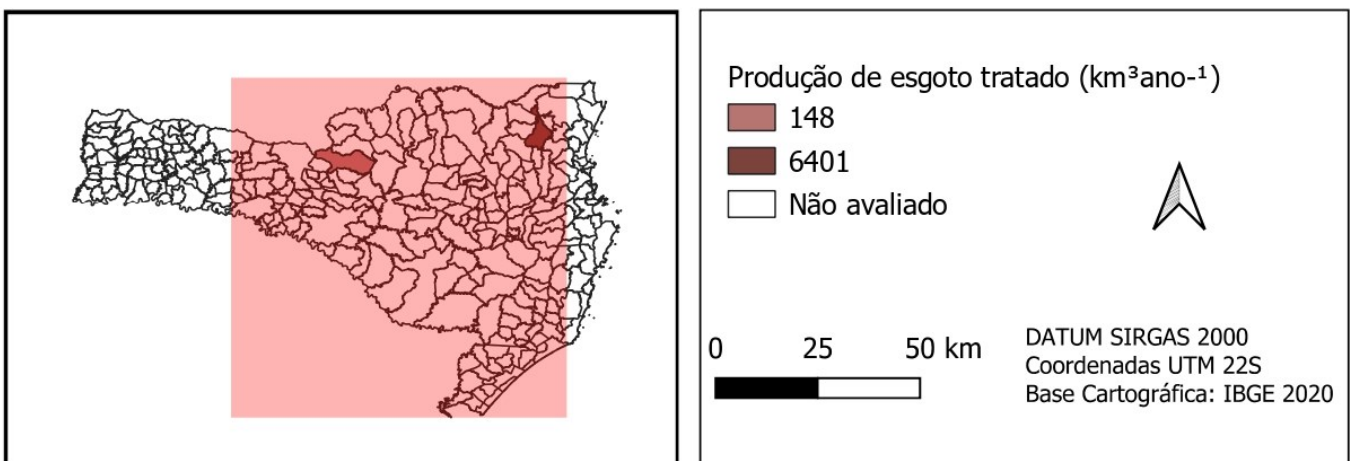
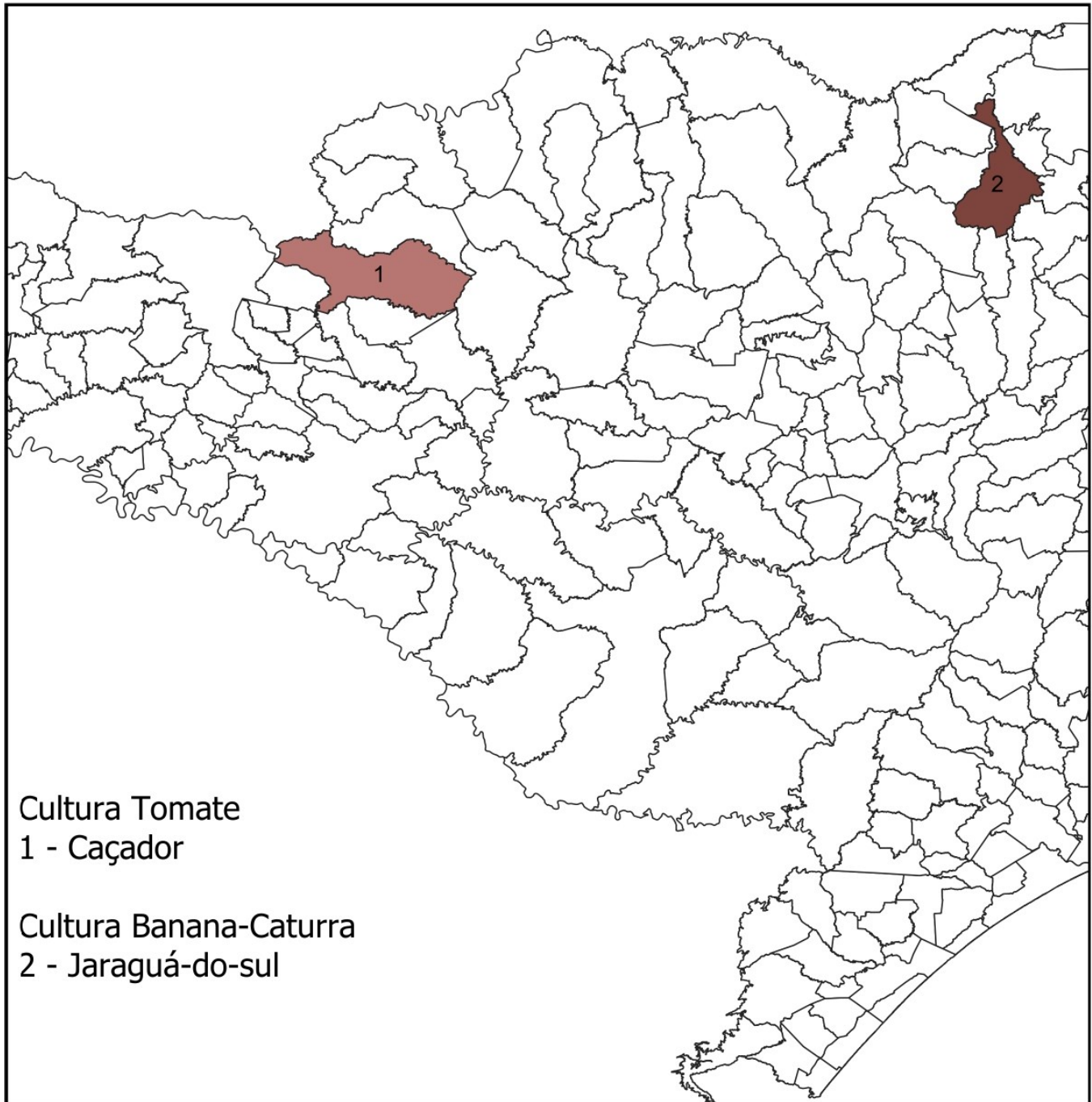
Não avaliado

0 10 20 km

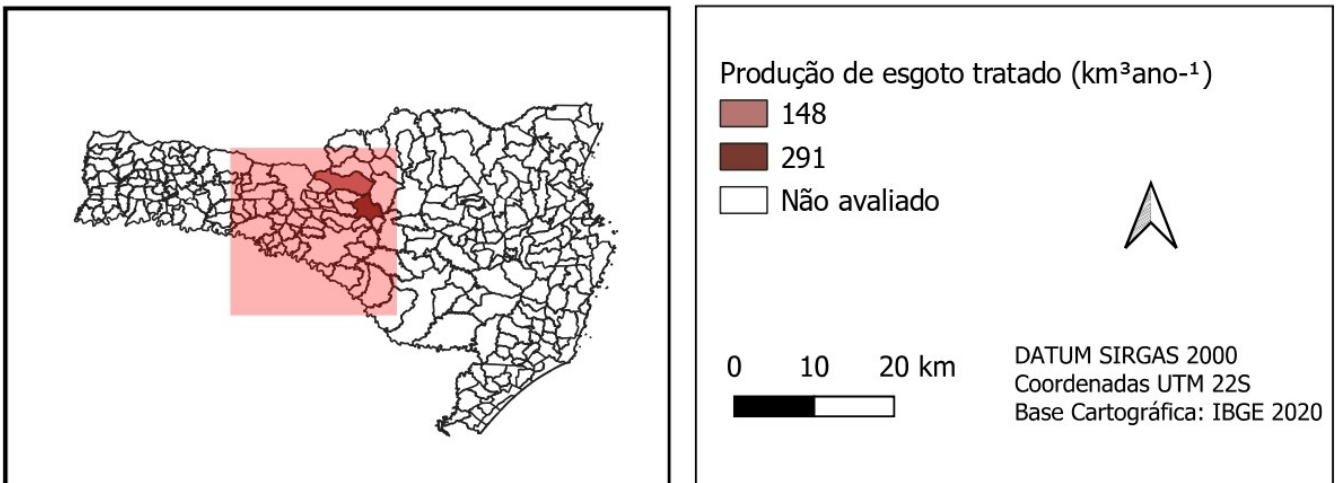
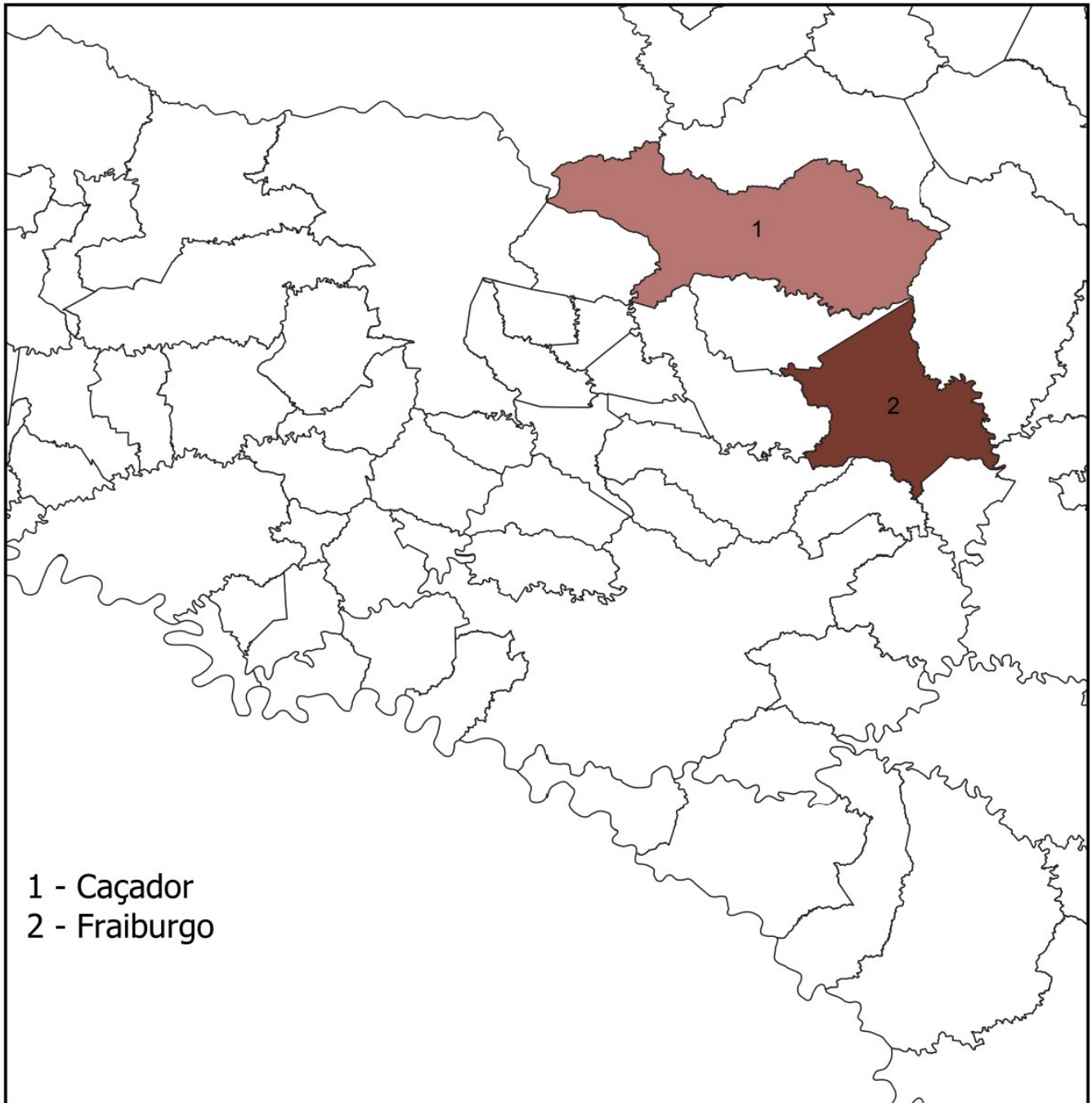


DATUM SIRGAS 2000
Coordenadas UTM 22S
Base Cartográfica: IBGE 2020

Produção de esgoto tratado nos municípios selecionados produtores de banana-caturra e tomate



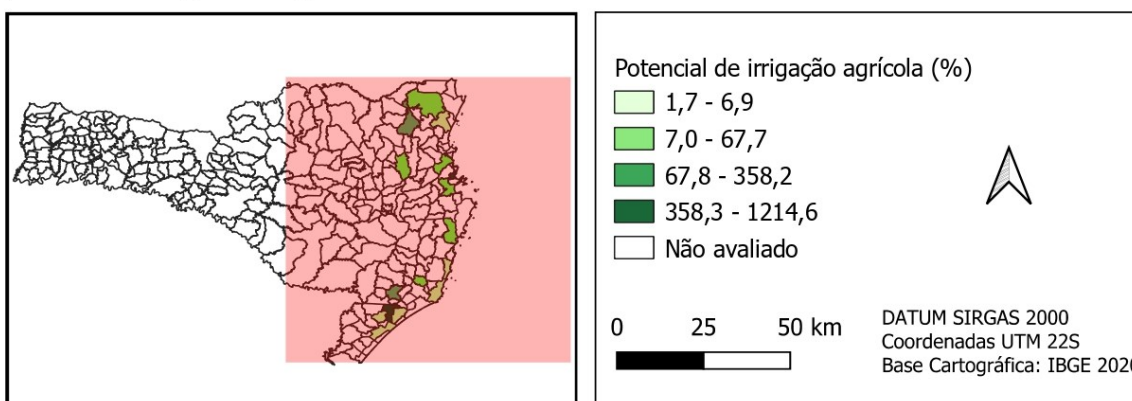
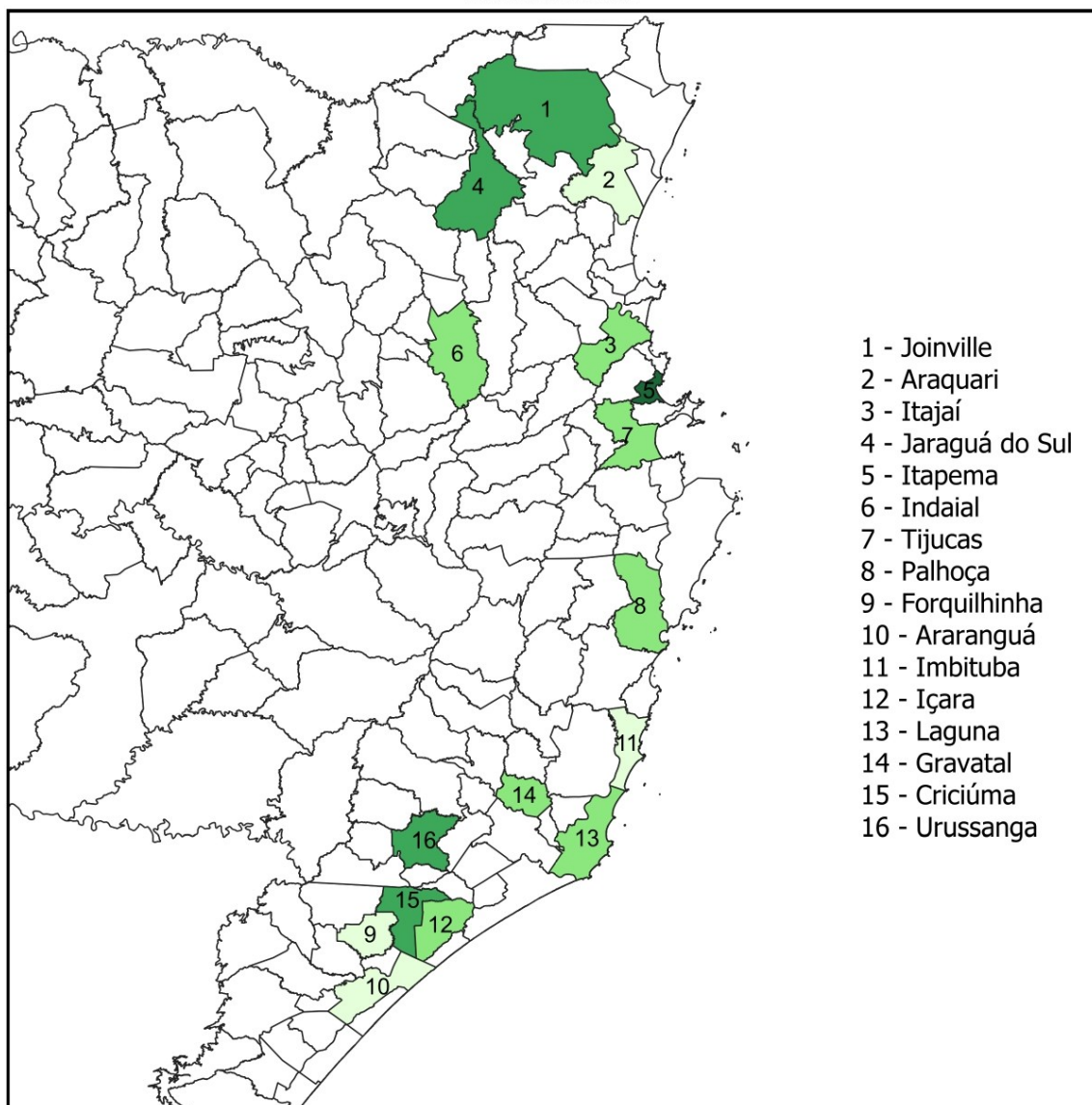
Produção de esgoto tratado nos municípios selecionados produtores de alho



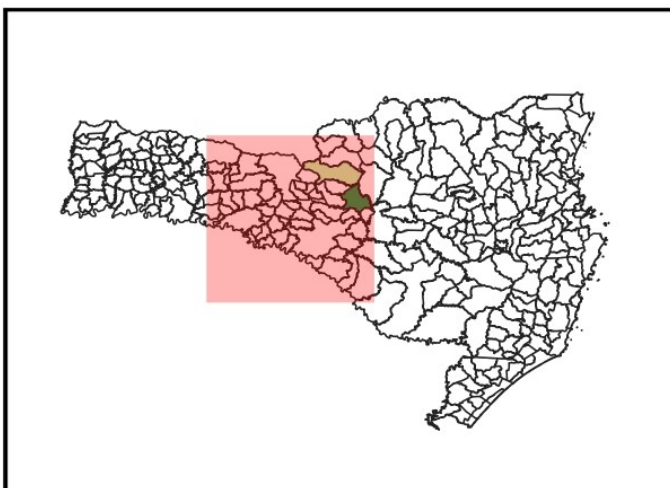
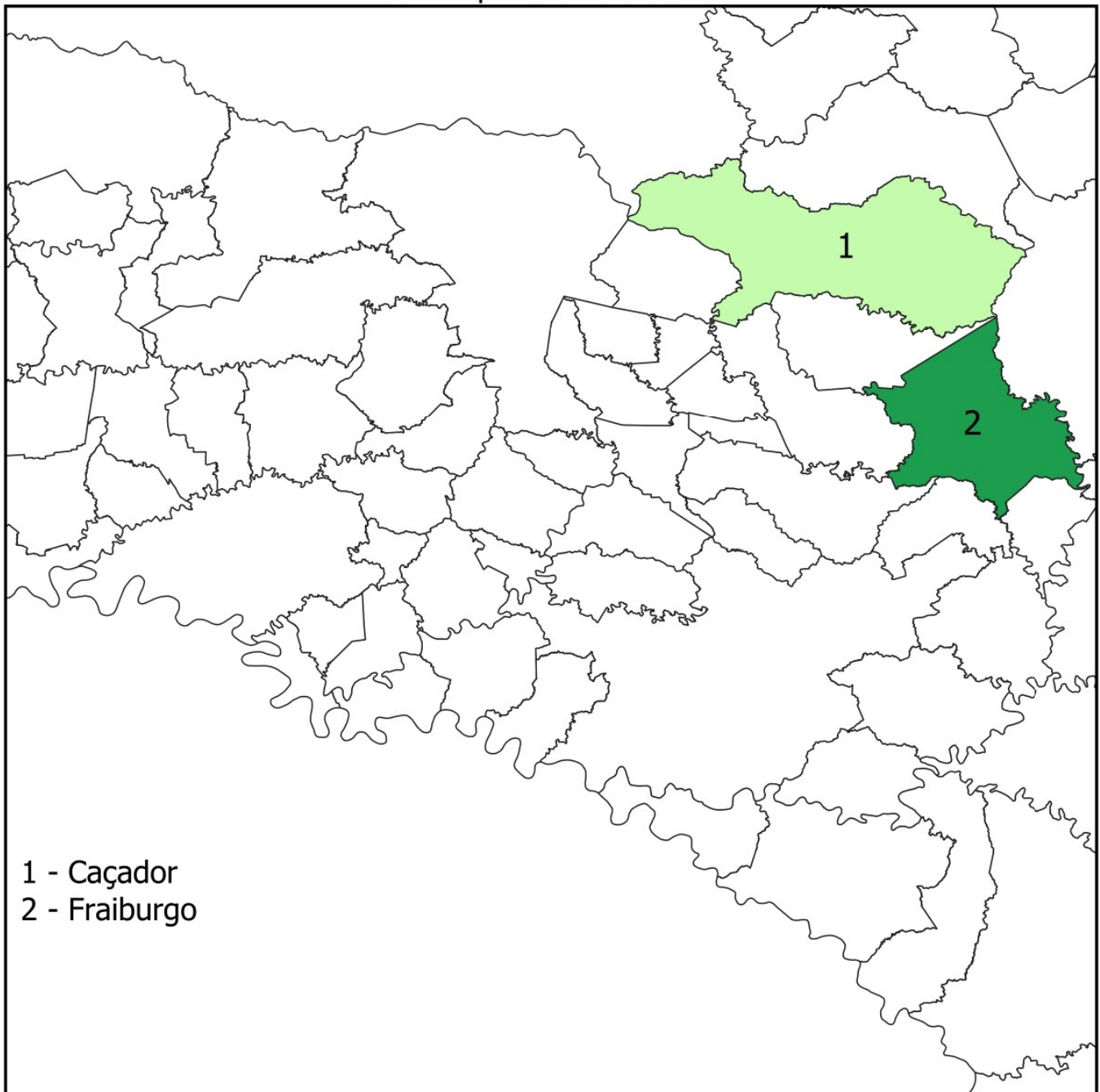
APÊNDICE 21 – Mapas relativos ao potencial de irrigação agrícola das culturas selecionadas produzidas nos municípios selecionados: Cenário Atual

Este apêndice apresenta os mapas individuais acerca do potencial de irrigação dos municípios produtores das culturas estudadas no estudo do potencial de irrigação agrícola com esgoto tratado no cenário atual.

Potencial de irrigação agrícola da cultura arroz com esgoto tratado nos municípios selecionados



Potencial de irrigação agrícola da cultura cebola com esgoto tratado nos municípios selecionados



Potencial de irrigação agrícola (%)

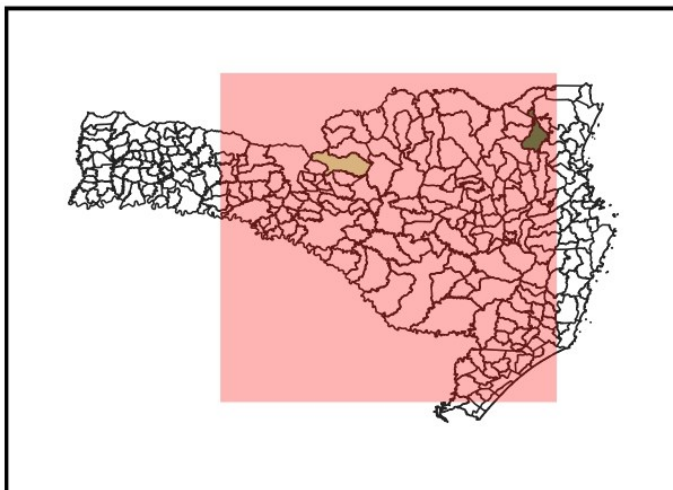
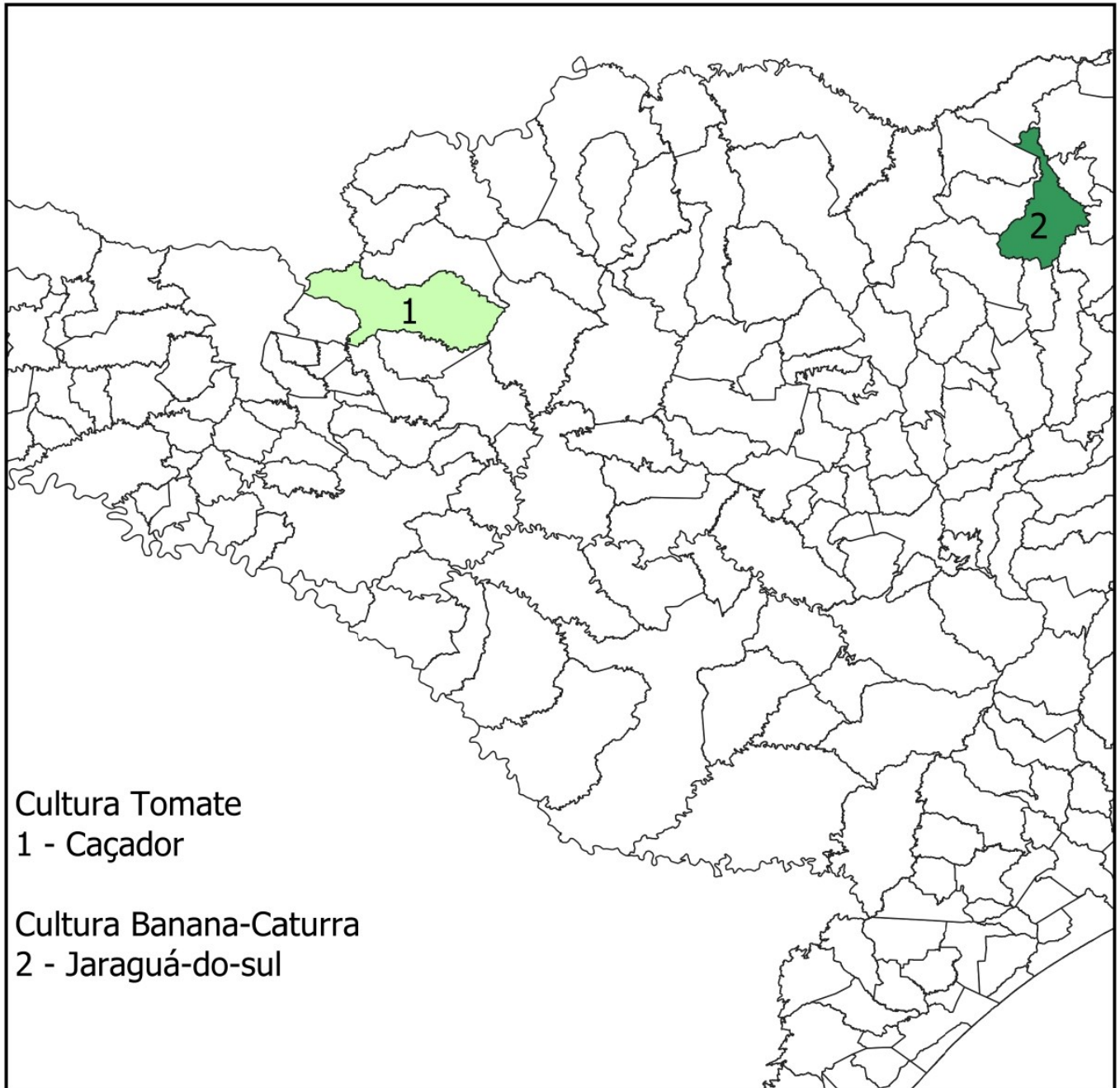
- 47
- 135
- Não avaliado



0 10 20 km

DATUM SIRGAS 2000
Coordenadas UTM 22S
Base Cartográfica: IBGE 2020

Potencial de irrigação agrícola da cultura alho com esgoto tratado nos municípios selecionados



Potencial de irrigação agrícola (%)

- 121
- 6899
- Não avaliado

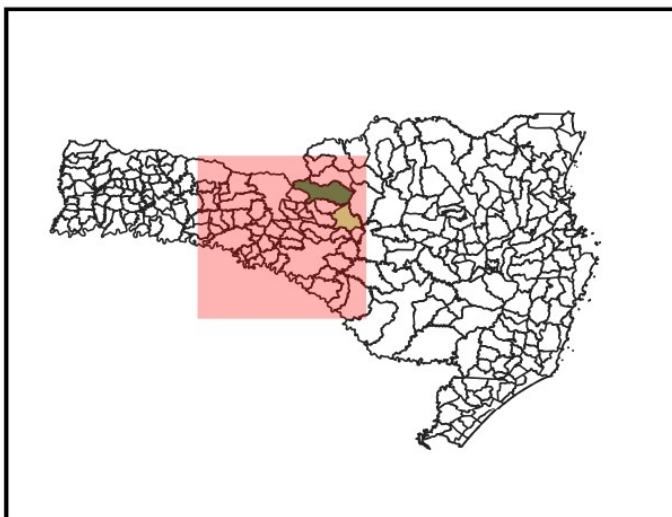
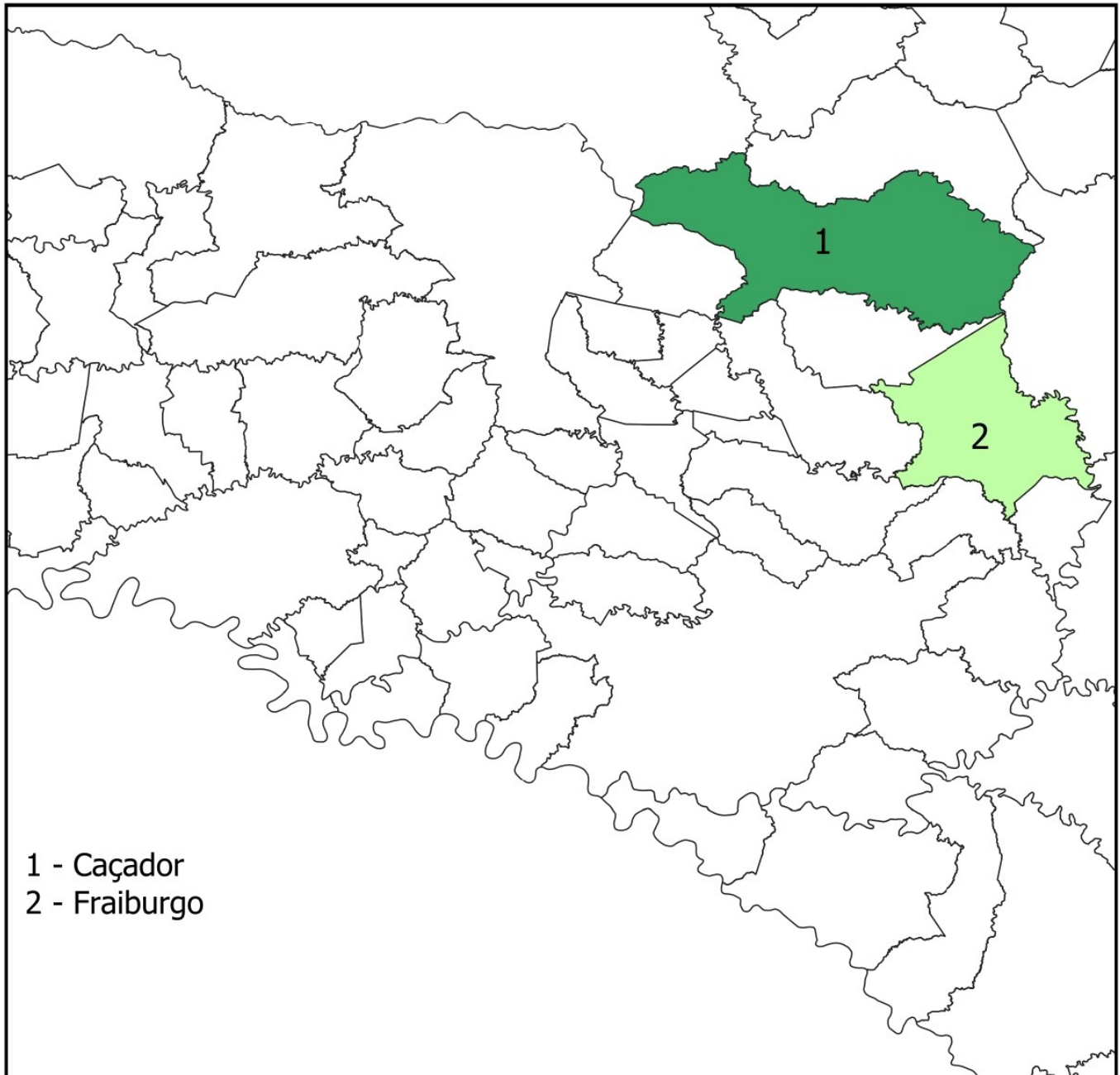


0 25 50 km



DATUM SIRGAS 2000
Coordenadas UTM 22S
Base Cartográfica: IBGE 2020

Potencial de irrigação agrícola da cultura alho com esgoto tratado nos municípios selecionados



Potencial de irrigação agrícola (%)

- 94
- 210
- Não avaliado



0 10 20 km

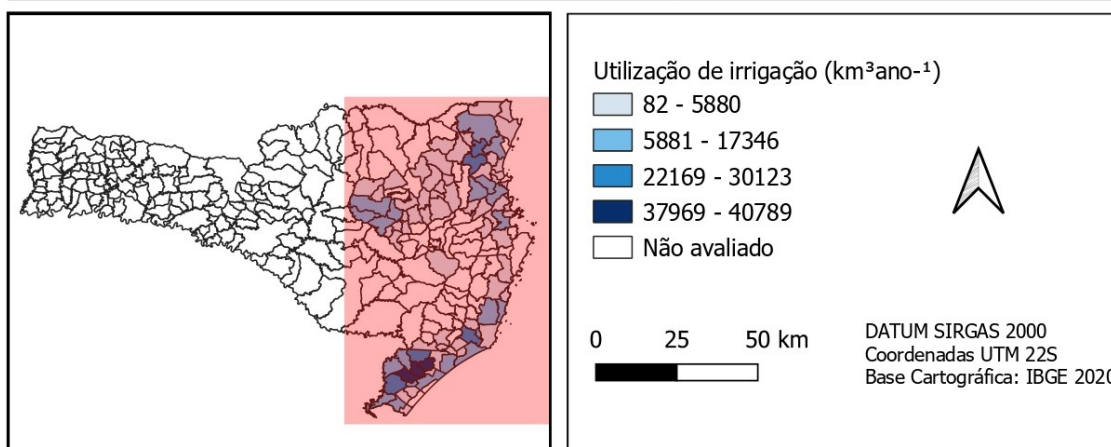
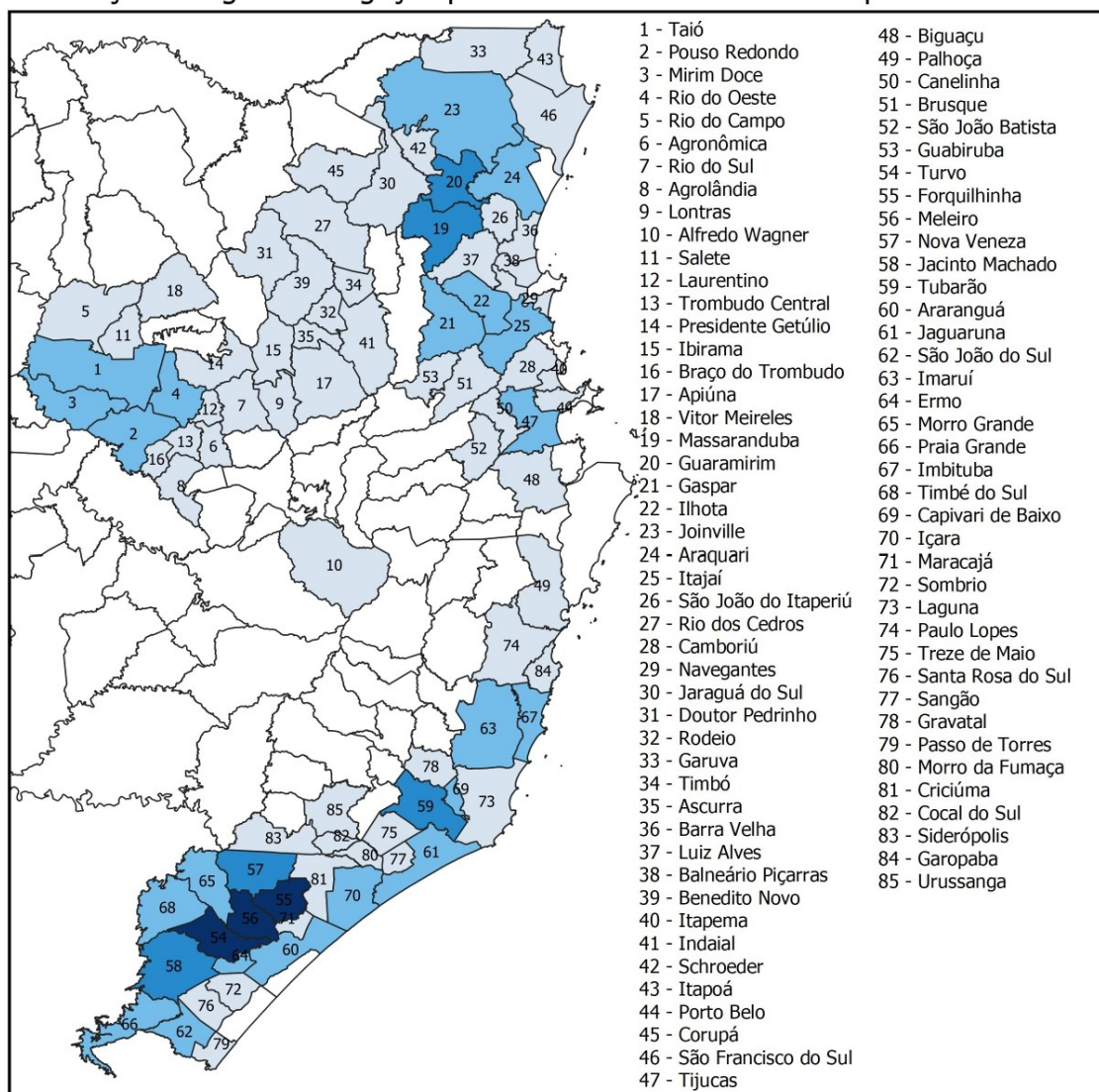


DATUM SIRGAS 2000
Coordenadas UTM 22S
Base Cartográfica: IBGE 2020

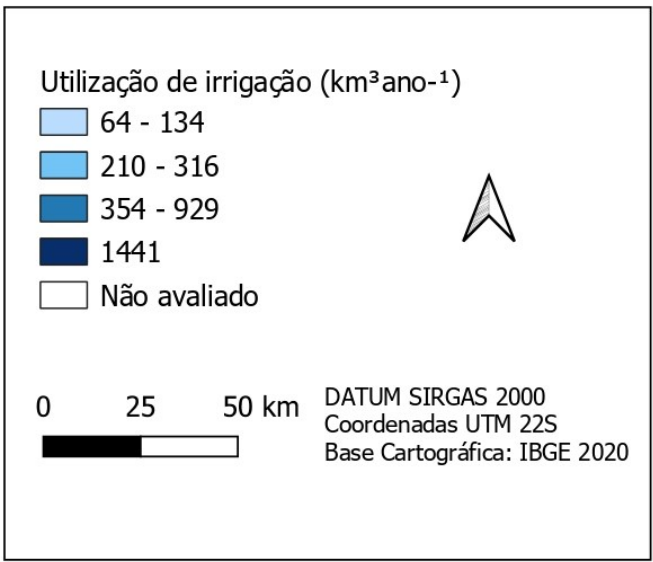
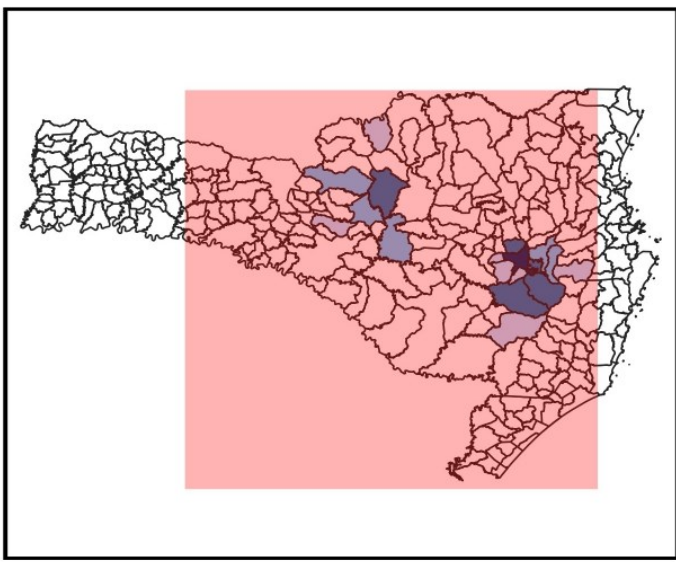
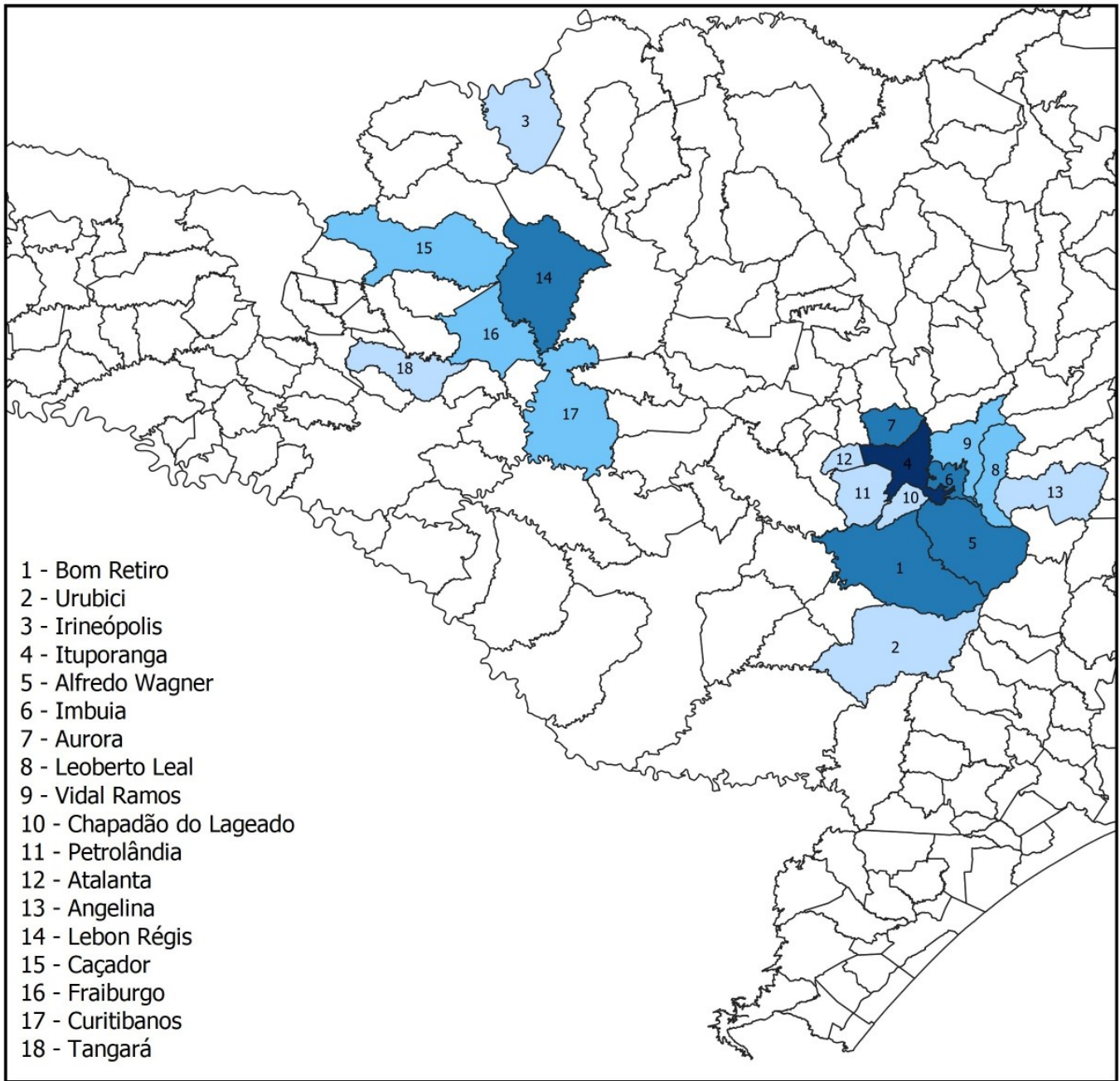
APÊNDICE 22 – Mapas referentes à utilização de água de irrigação nas culturas e municípios selecionados: cenário 2035

Este apêndice apresenta os mapas individuais acerca da utilização de água de irrigação nos municípios produtores das culturas estudadas no estudo do potencial de irrigação agrícola com esgoto tratado no cenário 2035.

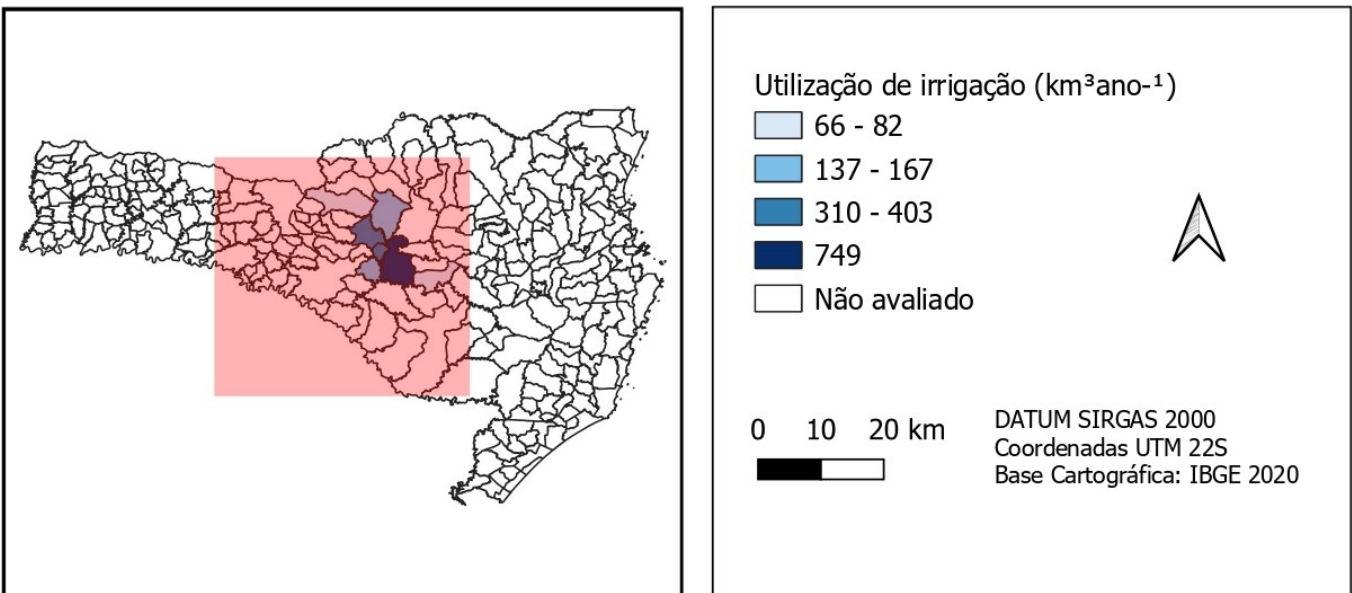
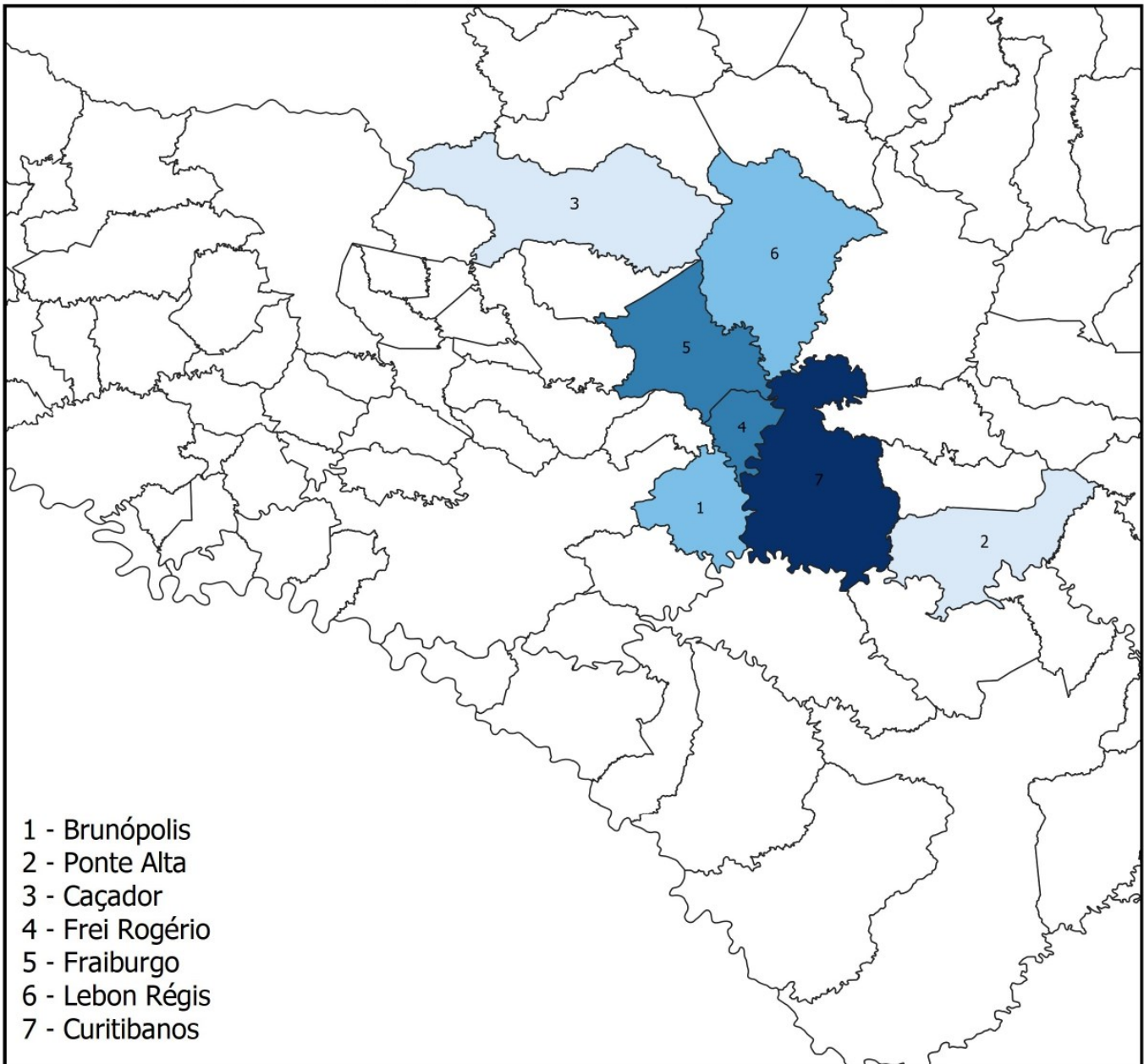
Utilização de água de irrigação para a cultura arroz nos municípios selecionados



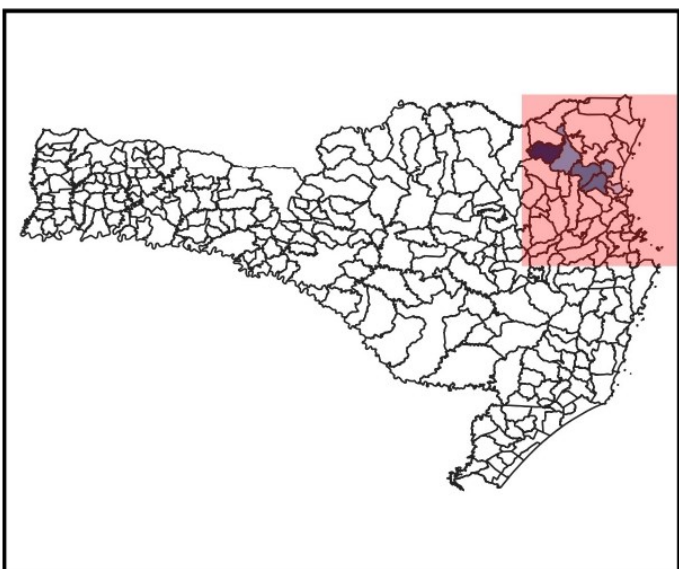
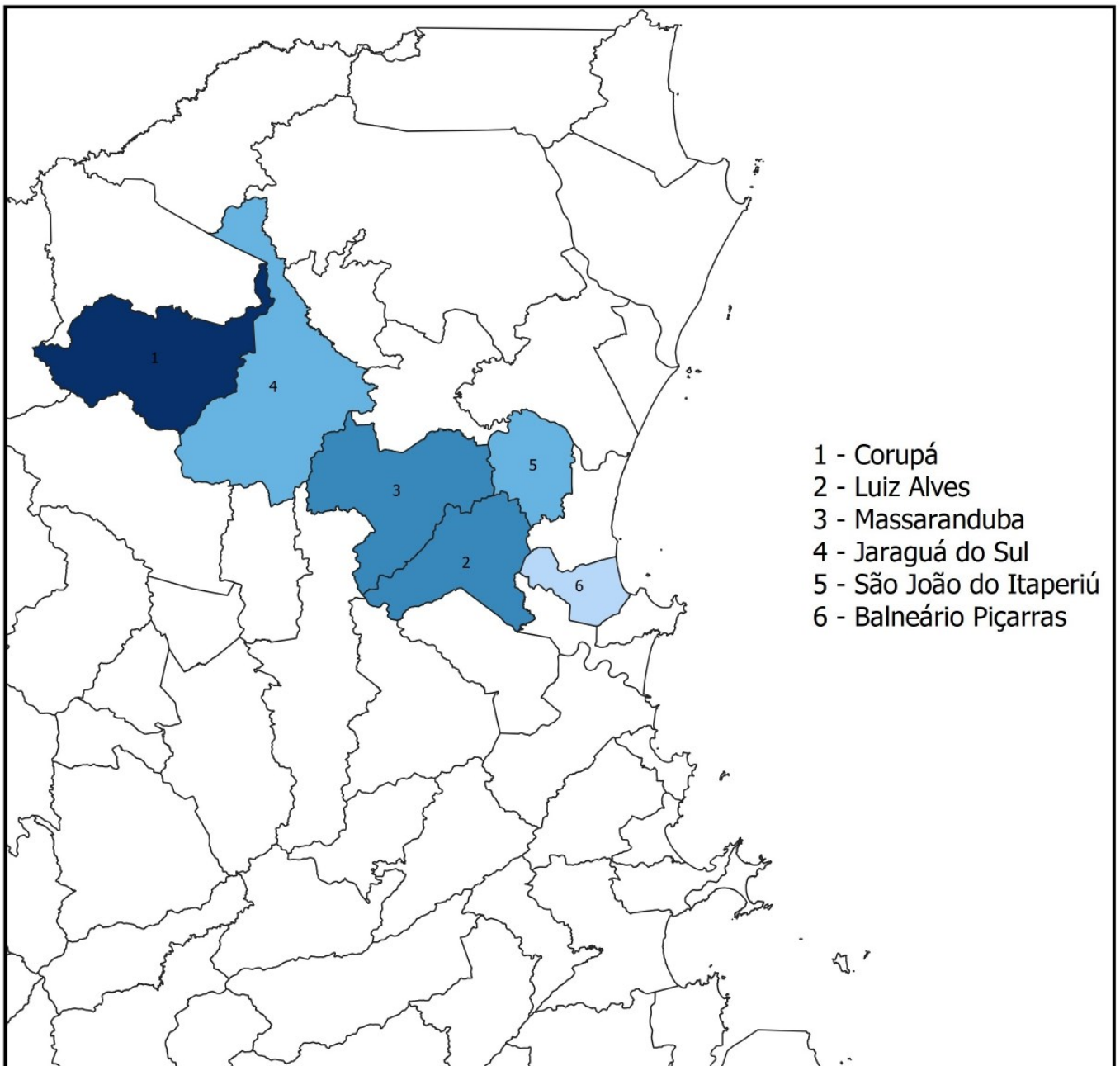
Utilização de água de irrigação para a cultura cebola nos municípios selecionados



Utilização de água de irrigação para a cultura alho nos municípios selecionados



Utilização de água de irrigação para a cultura banana-caturra nos municípios selecionados



Utilização de irrigação ($\text{km}^3\text{ano}^{-1}$)



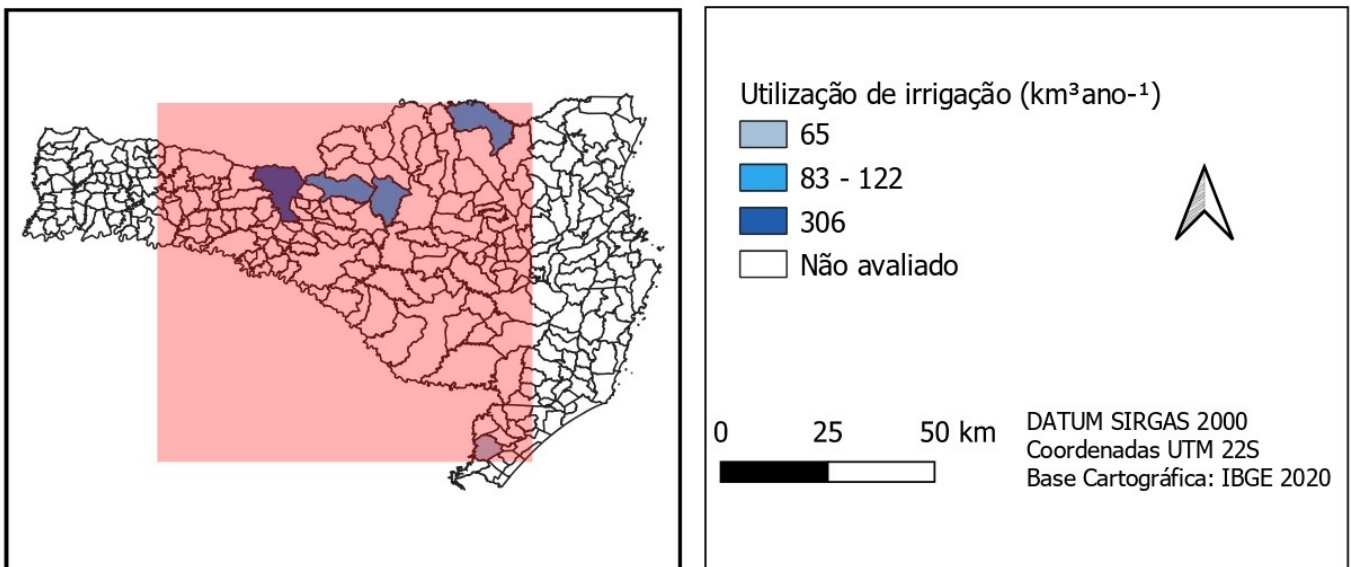
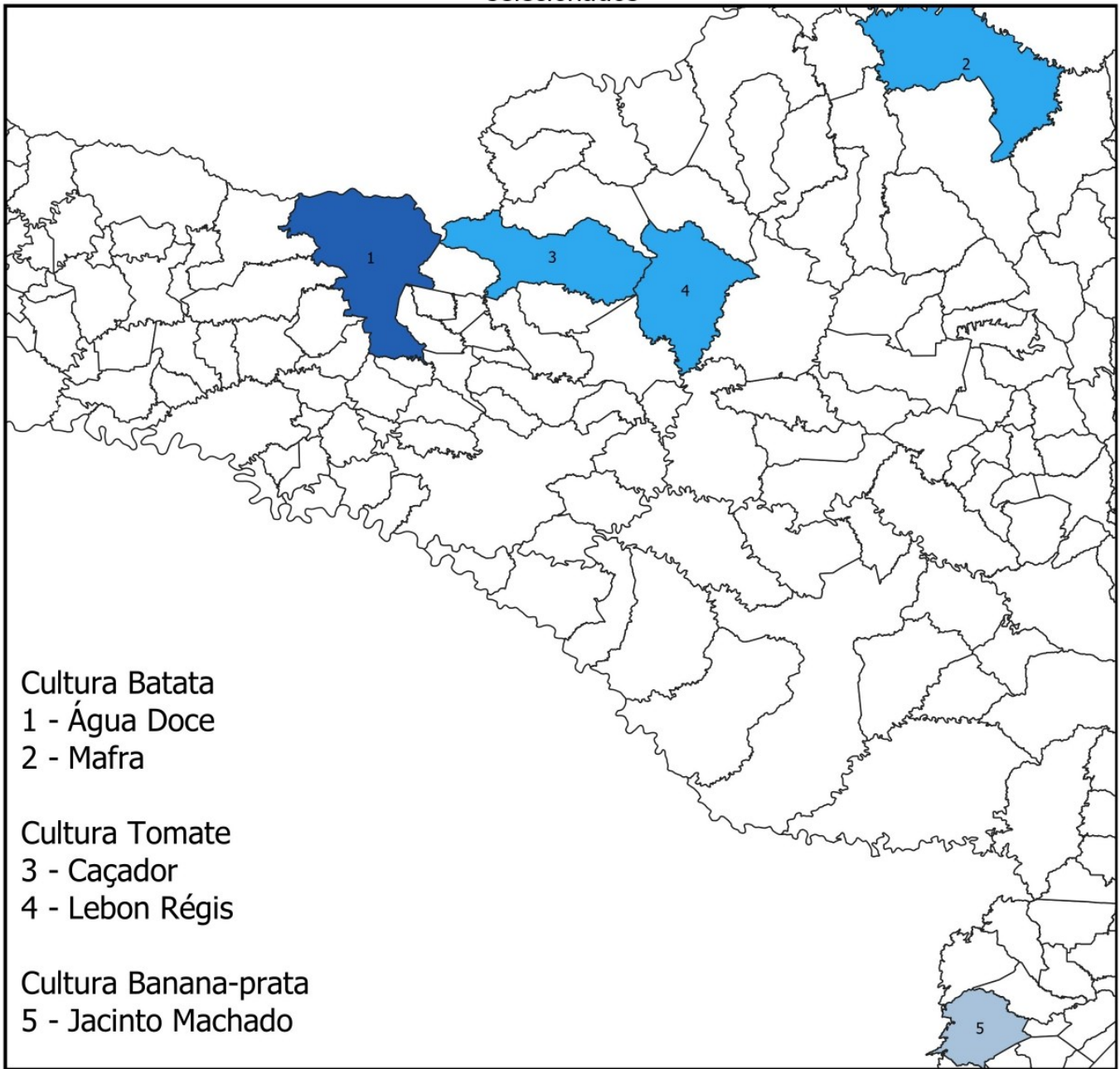
0 10 20 km



DATUM SIRGAS 2000
Coordenadas UTM 22S
Base Cartográfica: IBGE 2020



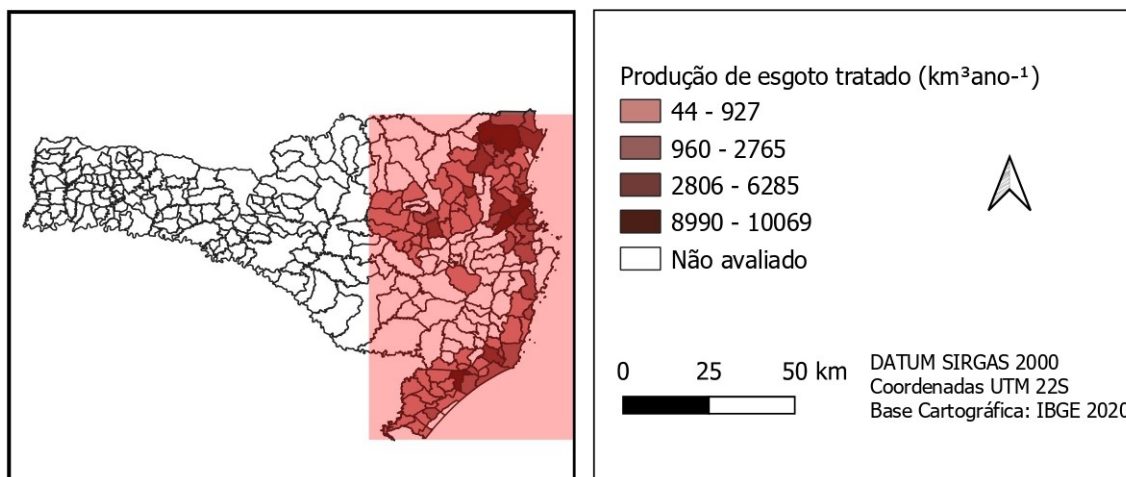
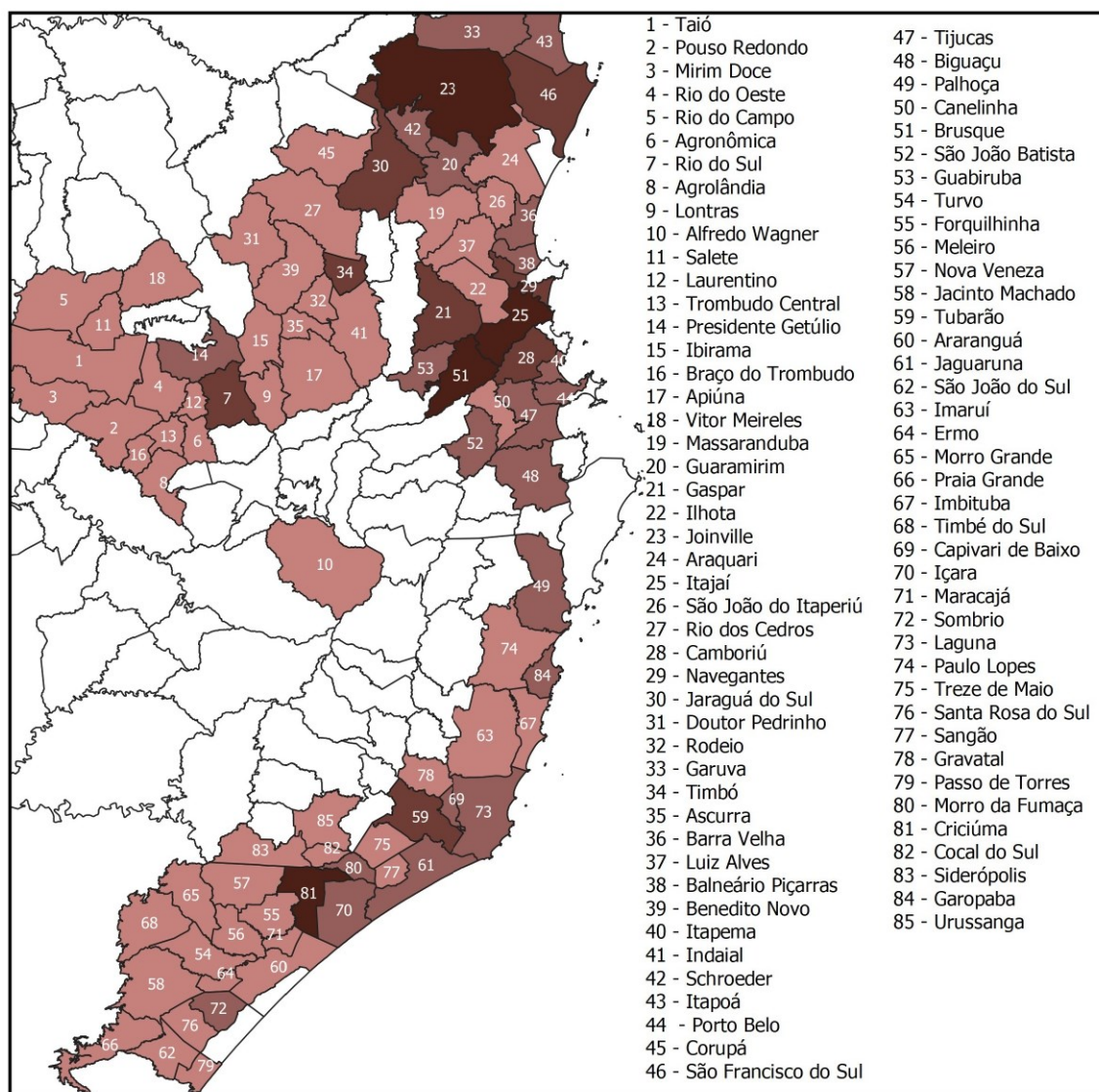
Utilização de água de irrigação para a cultura batata, tomate e banana-prata nos municípios selecionados



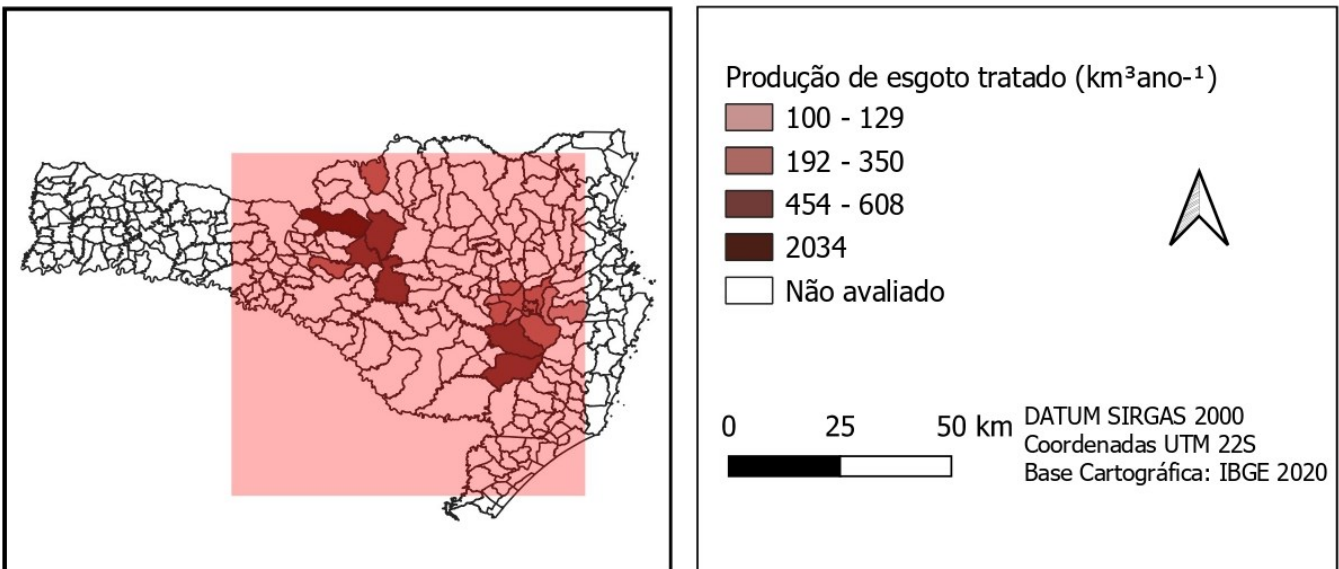
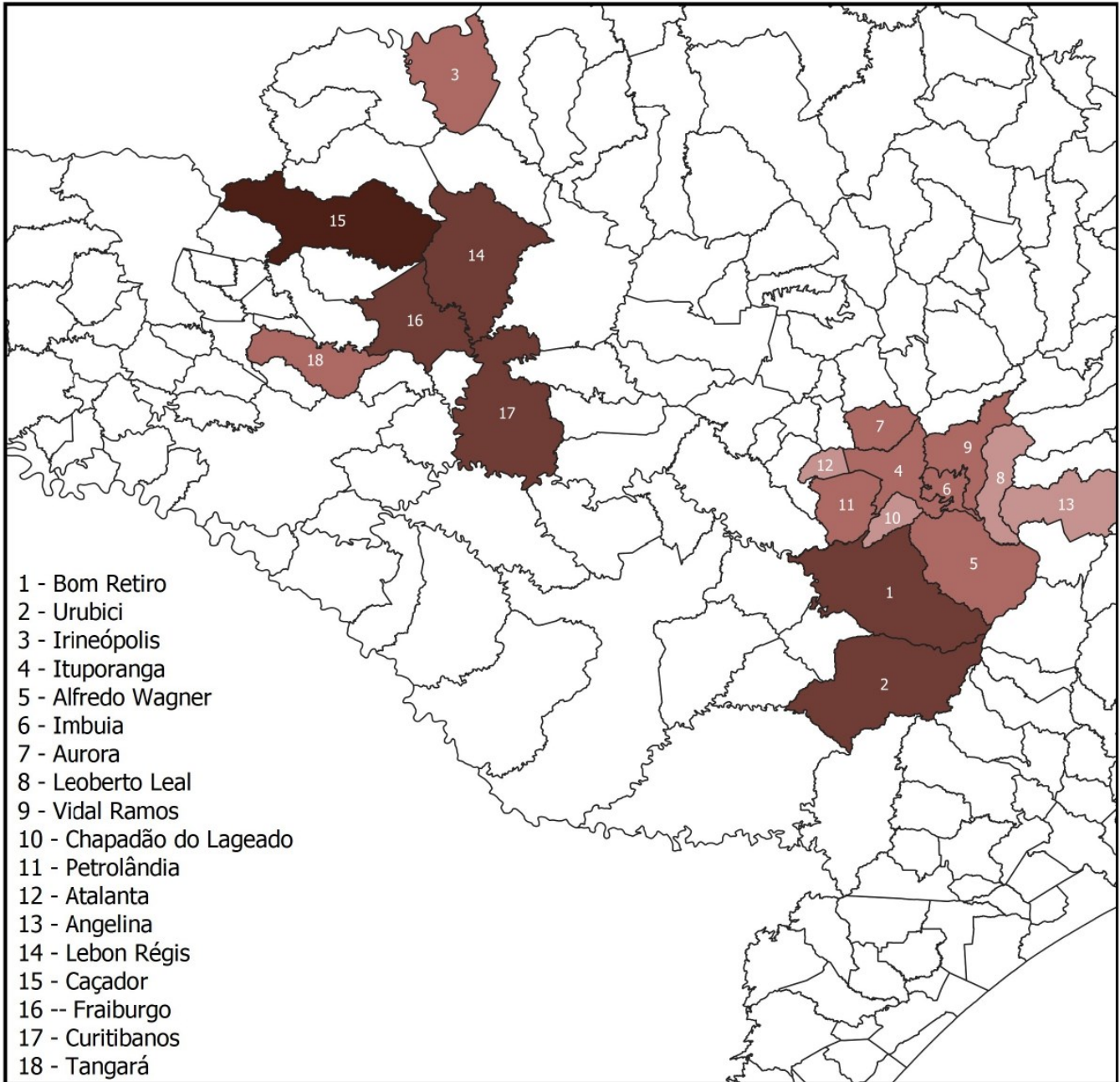
APÊNDICE 23 - Mapas relativos à produção de esgoto nos municípios avaliados: cenário 2035

Este apêndice apresenta os mapas individuais acerca da produção de esgoto tratado nos municípios produtores das culturas estudadas no estudo do potencial de irrigação agrícola com esgoto tratado no cenário 2035.

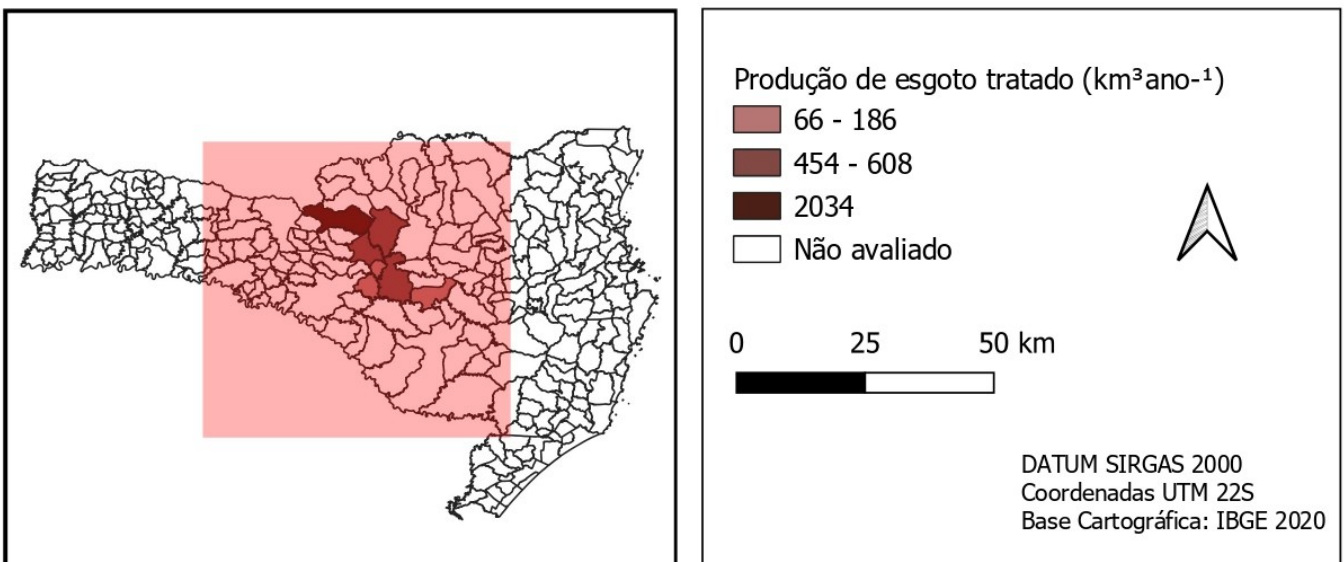
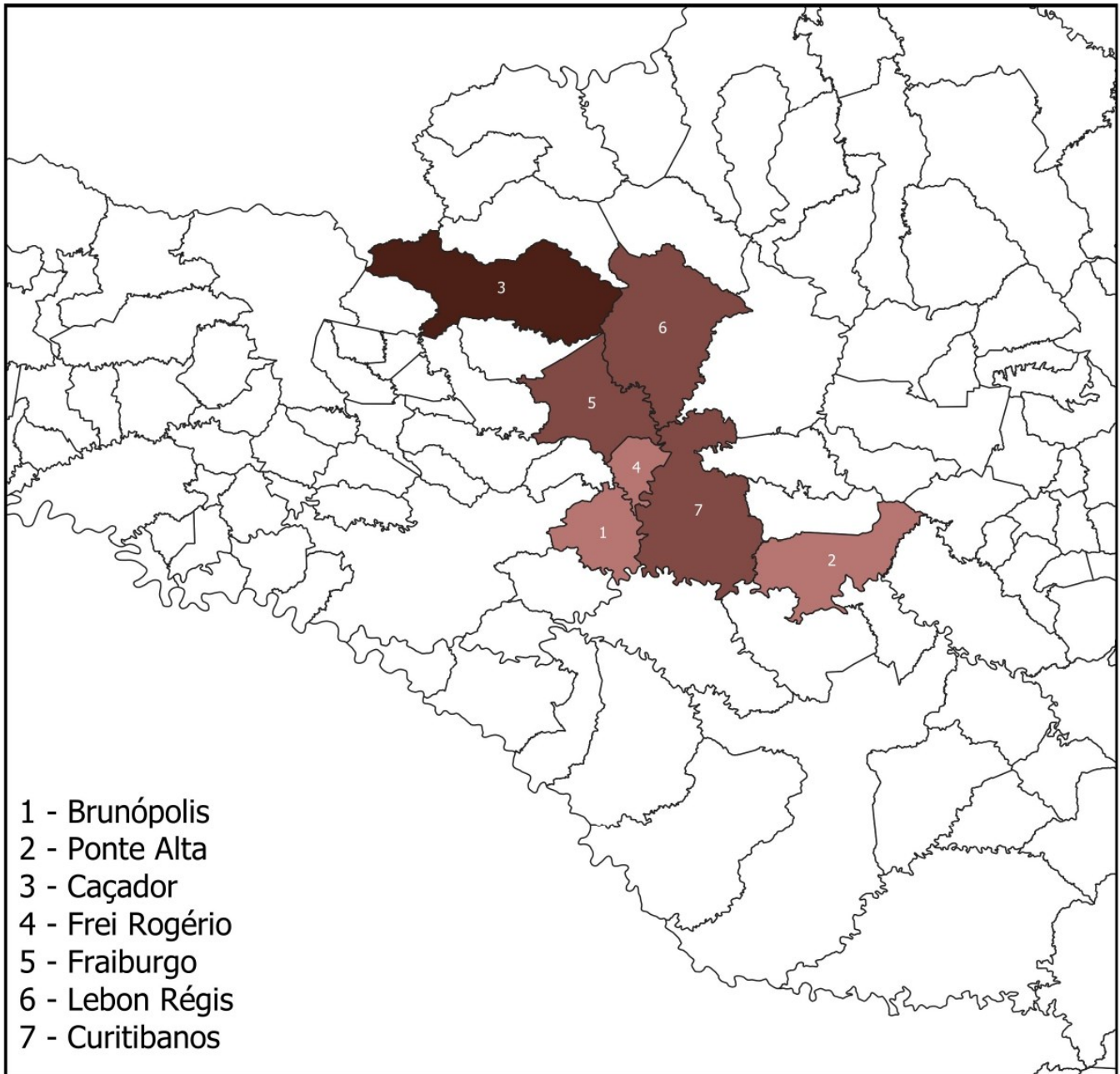
Produção de esgoto tratado nos municípios selecionados produtores de arroz



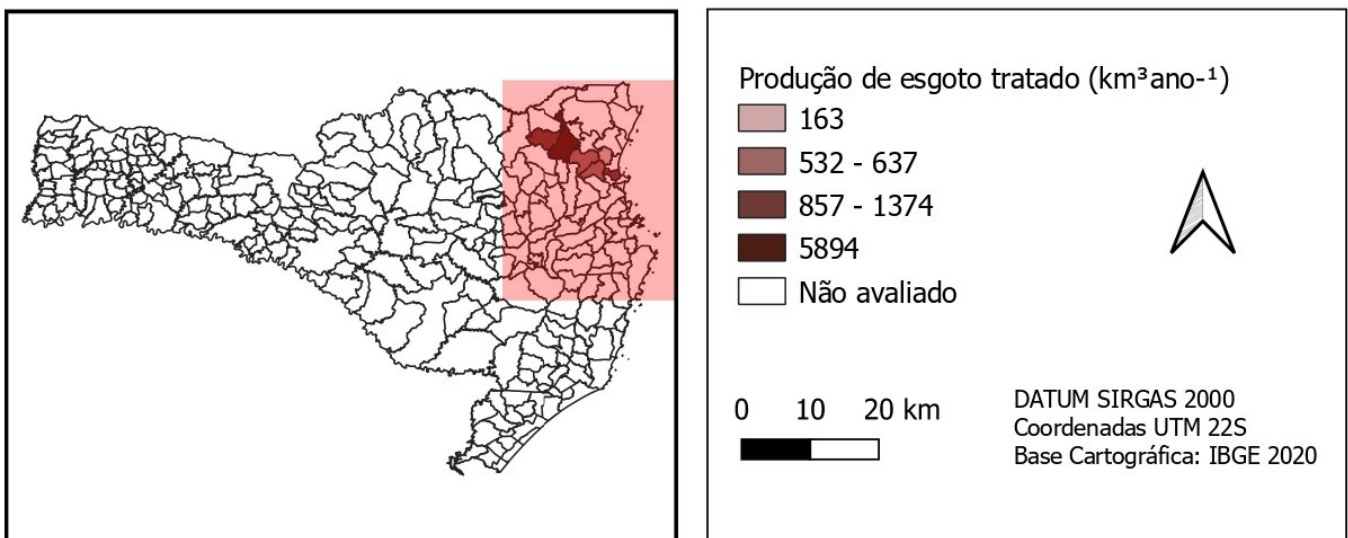
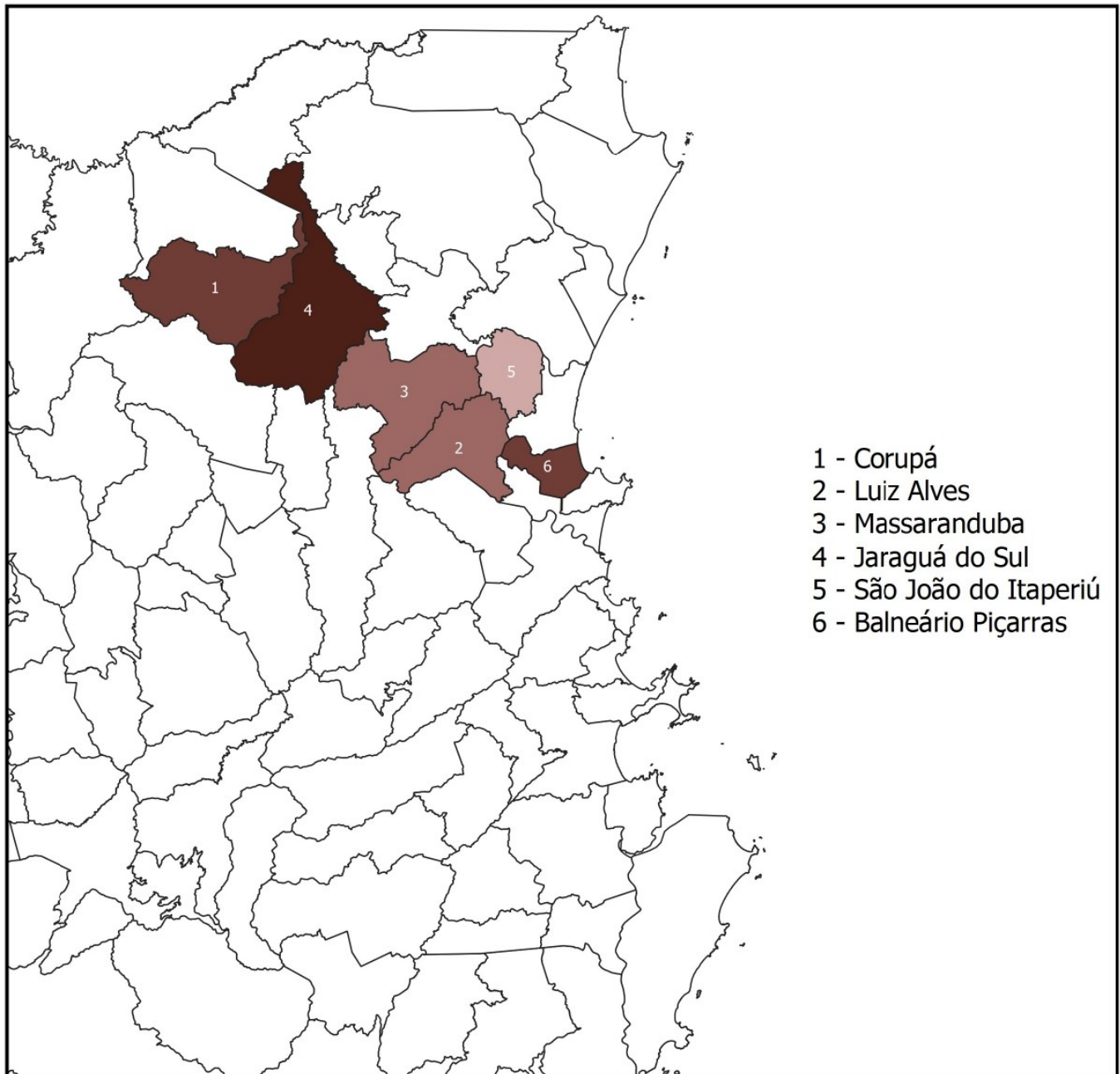
Produção de esgoto tratado nos municípios selecionados produtores de cebola



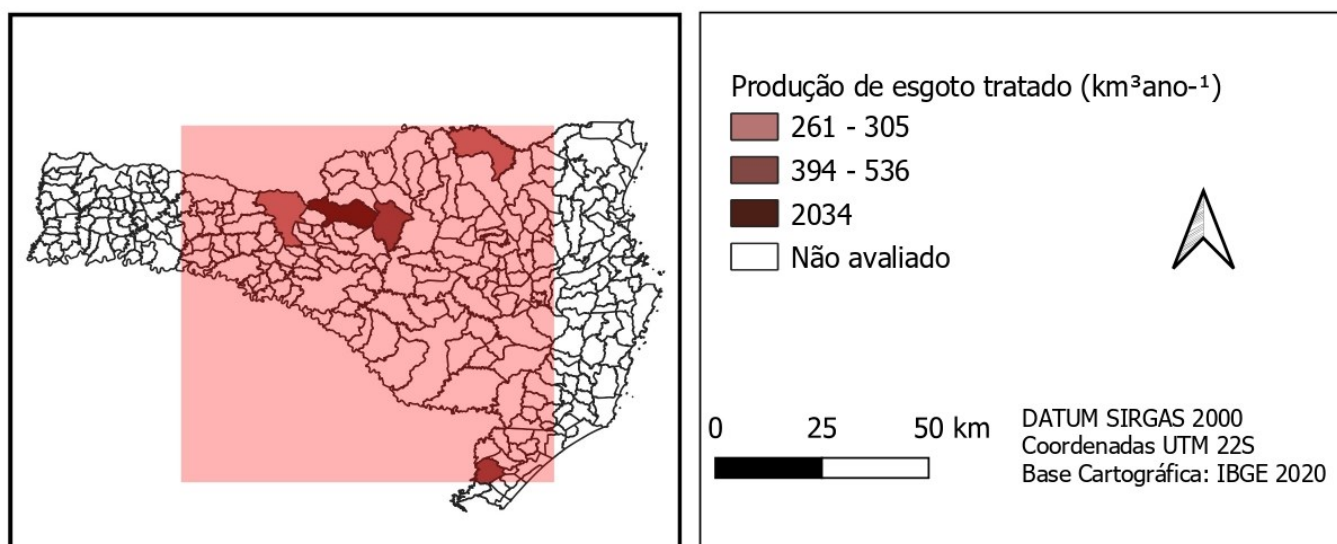
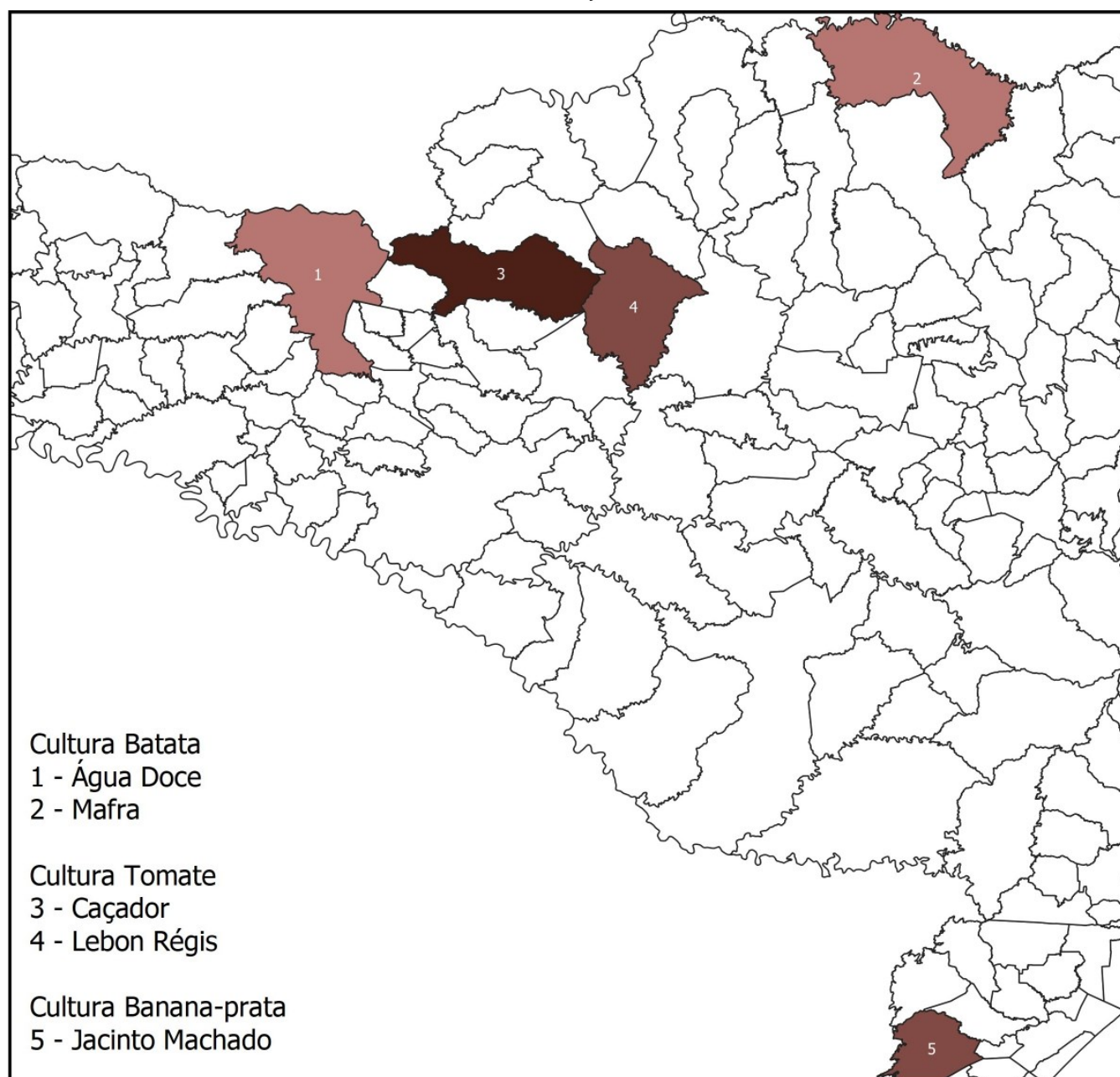
Produção de esgoto tratado nos municípios selecionados produtores de alho



Produção de esgoto tratado nos municípios selecionados produtores de banana-caturra



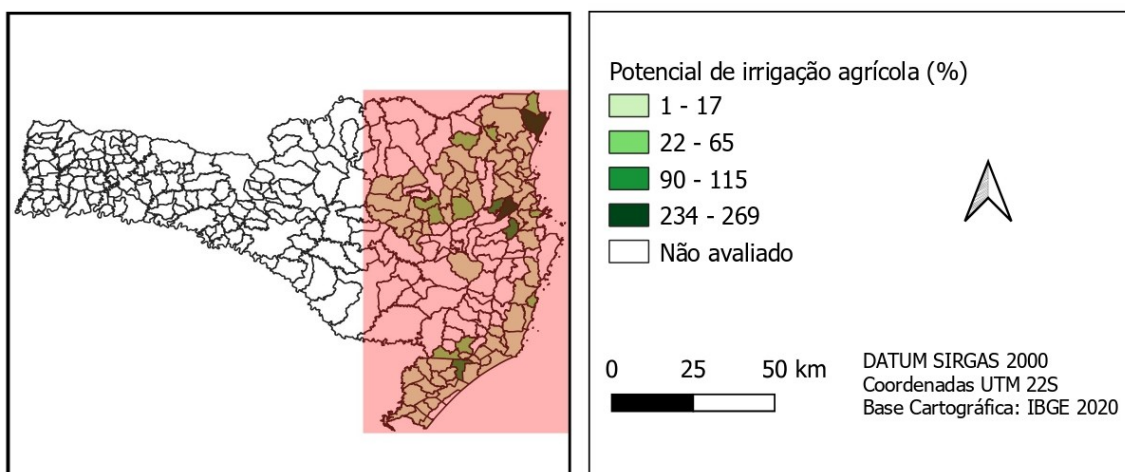
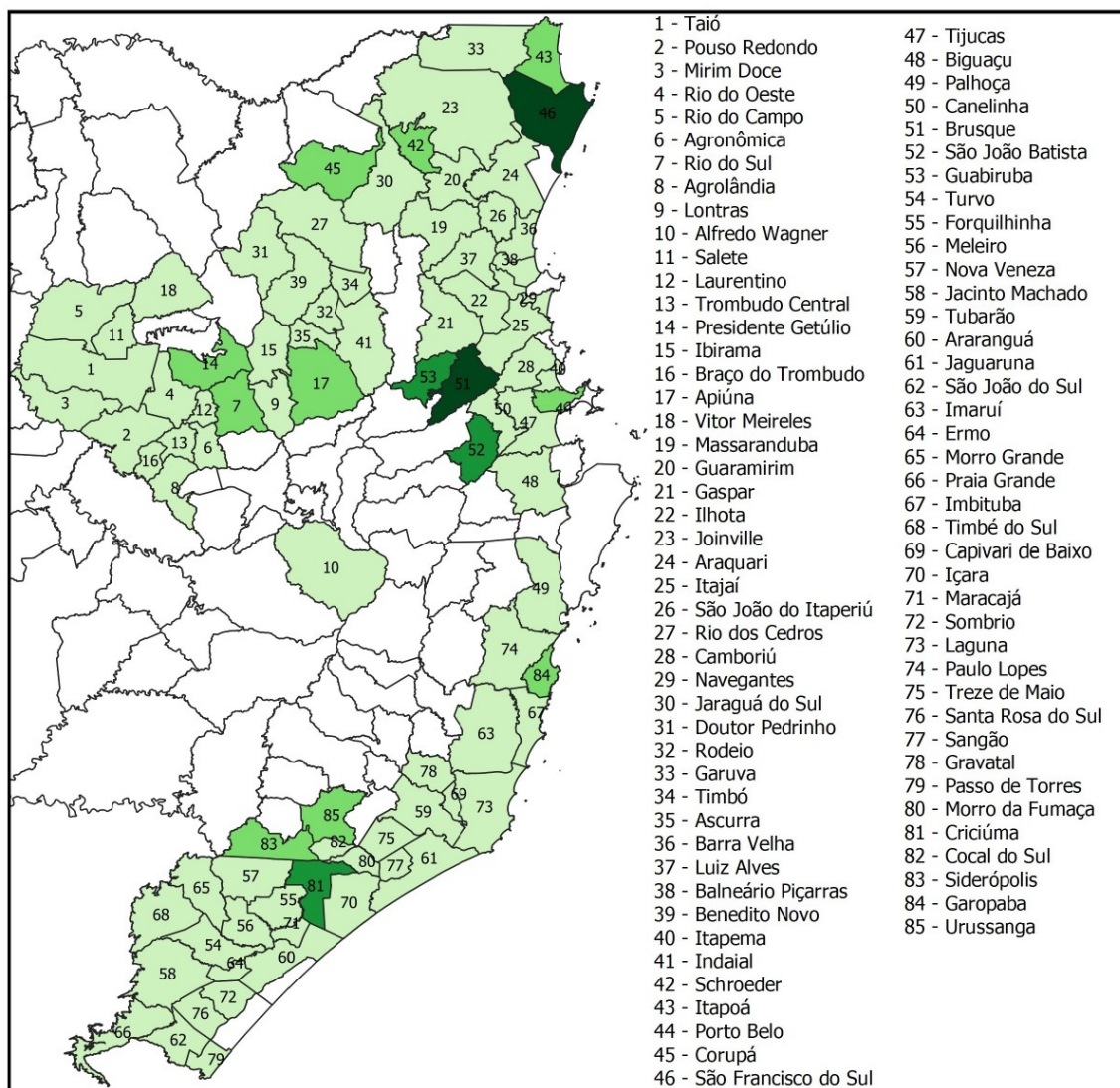
Produção de esgoto tratado nos municípios selecionados produtores de batata, tomate e banana-prata



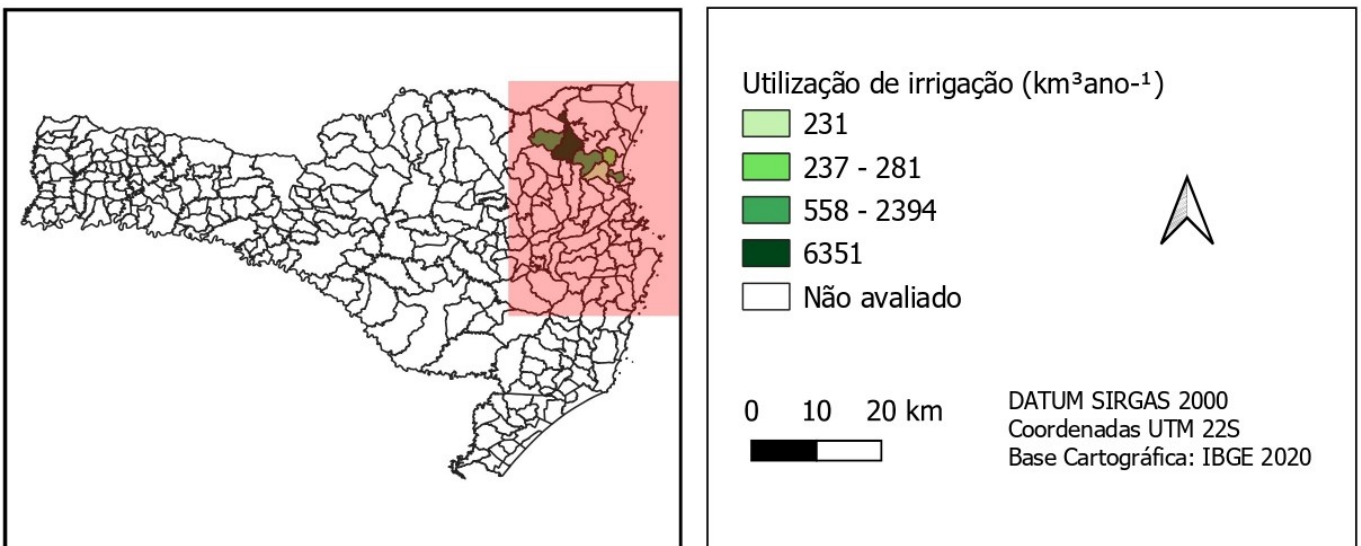
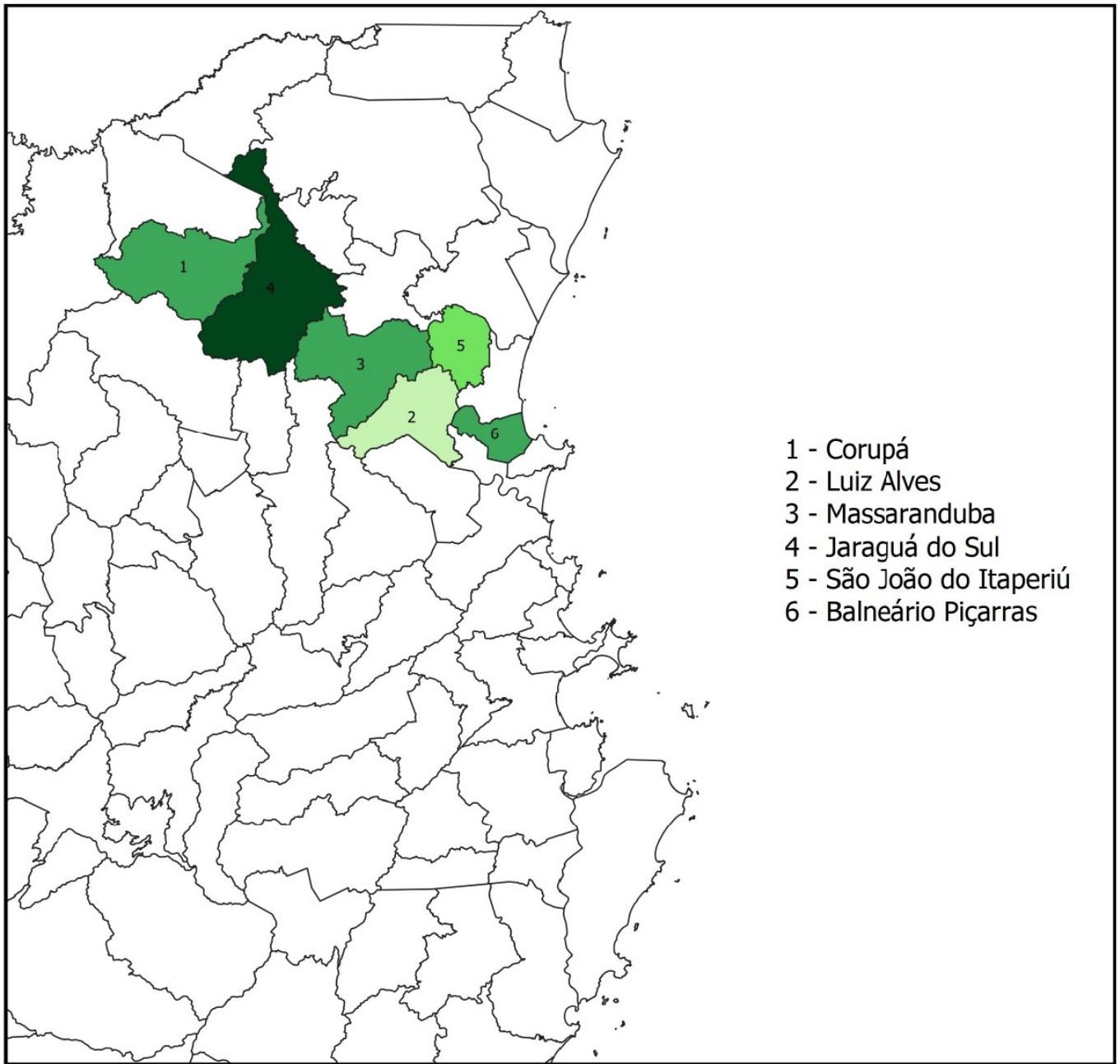
APÊNDICE 24 – Mapas relativos ao potencial de irrigação agrícola das culturas selecionadas produzidas nos municípios selecionados: Cenário 2035

Este apêndice apresenta os mapas individuais acerca do potencial de irrigação dos municípios produtores das culturas estudadas no estudo do potencial de irrigação agrícola com esgoto tratado no cenário 2035.

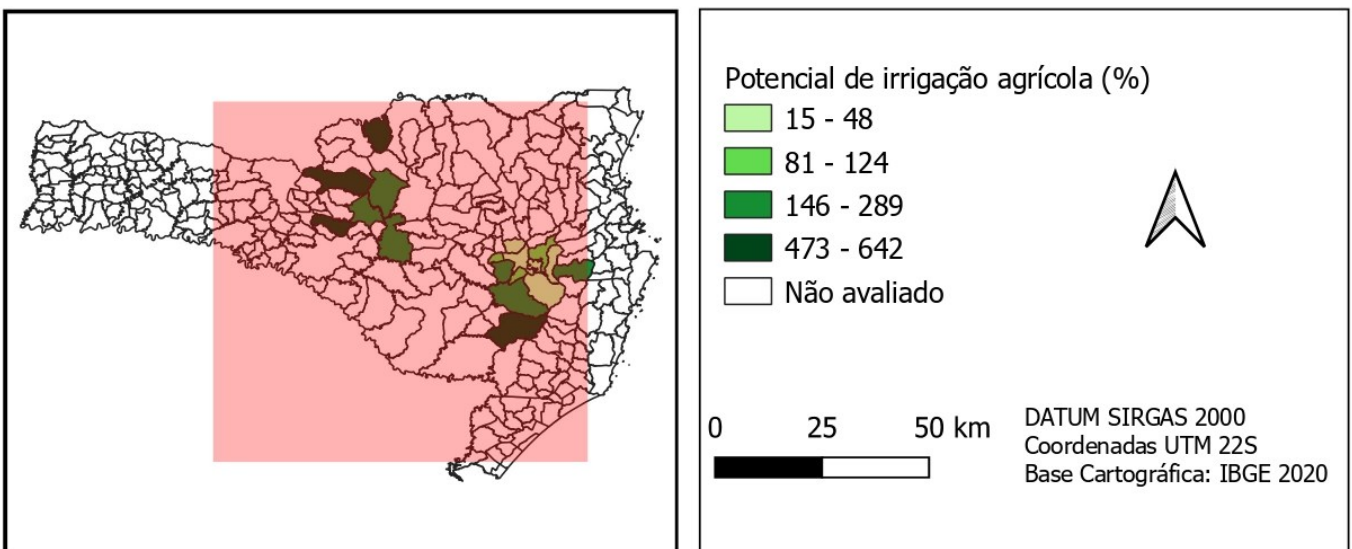
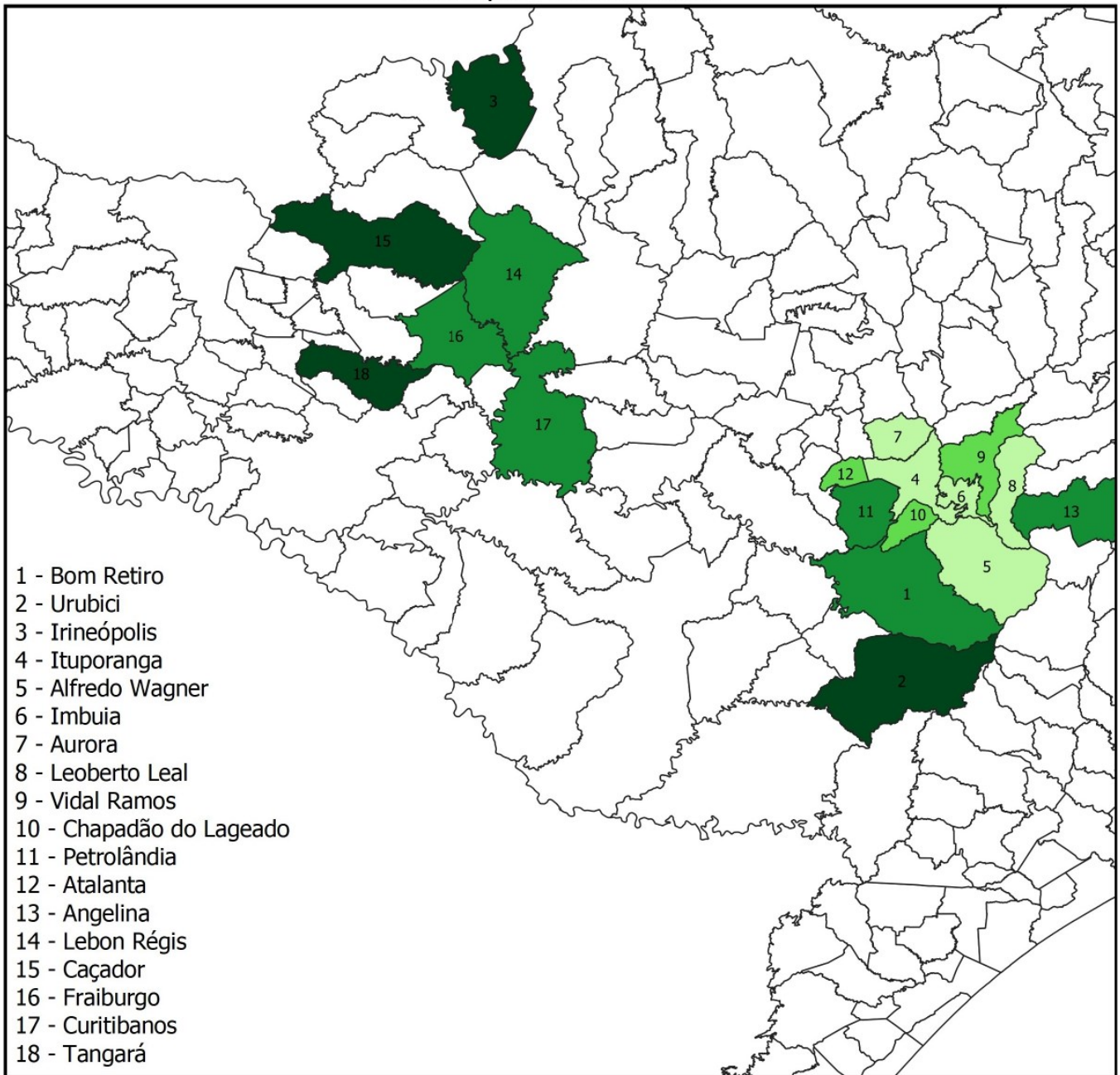
Potencial de irrigação agrícola de arroz com esgoto tratado nos municípios selecionados



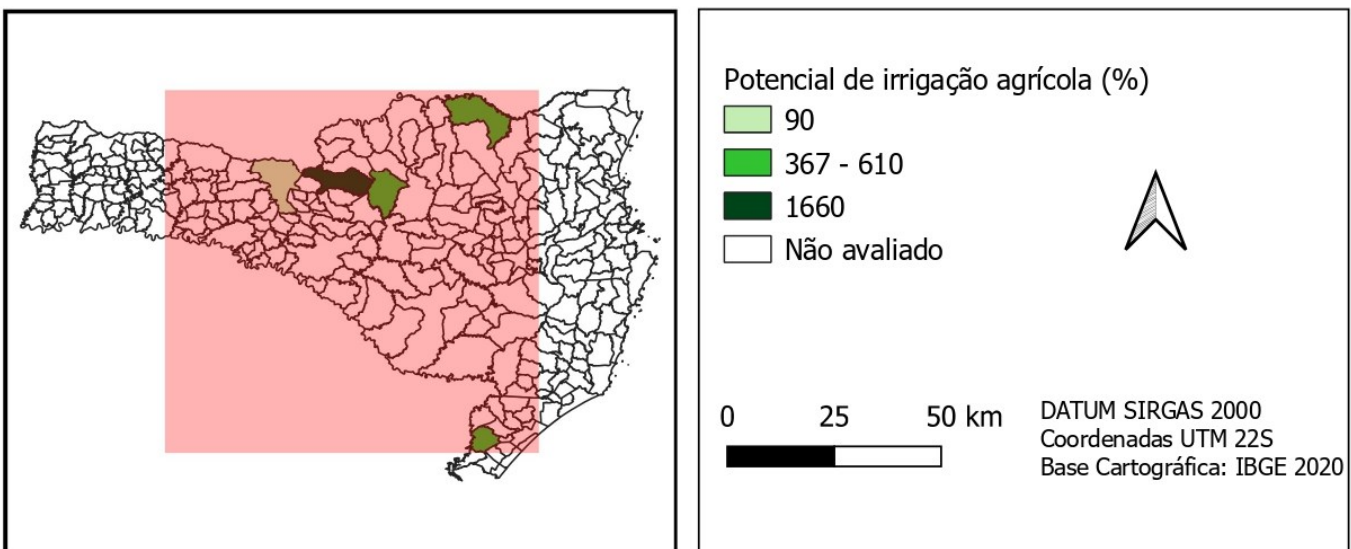
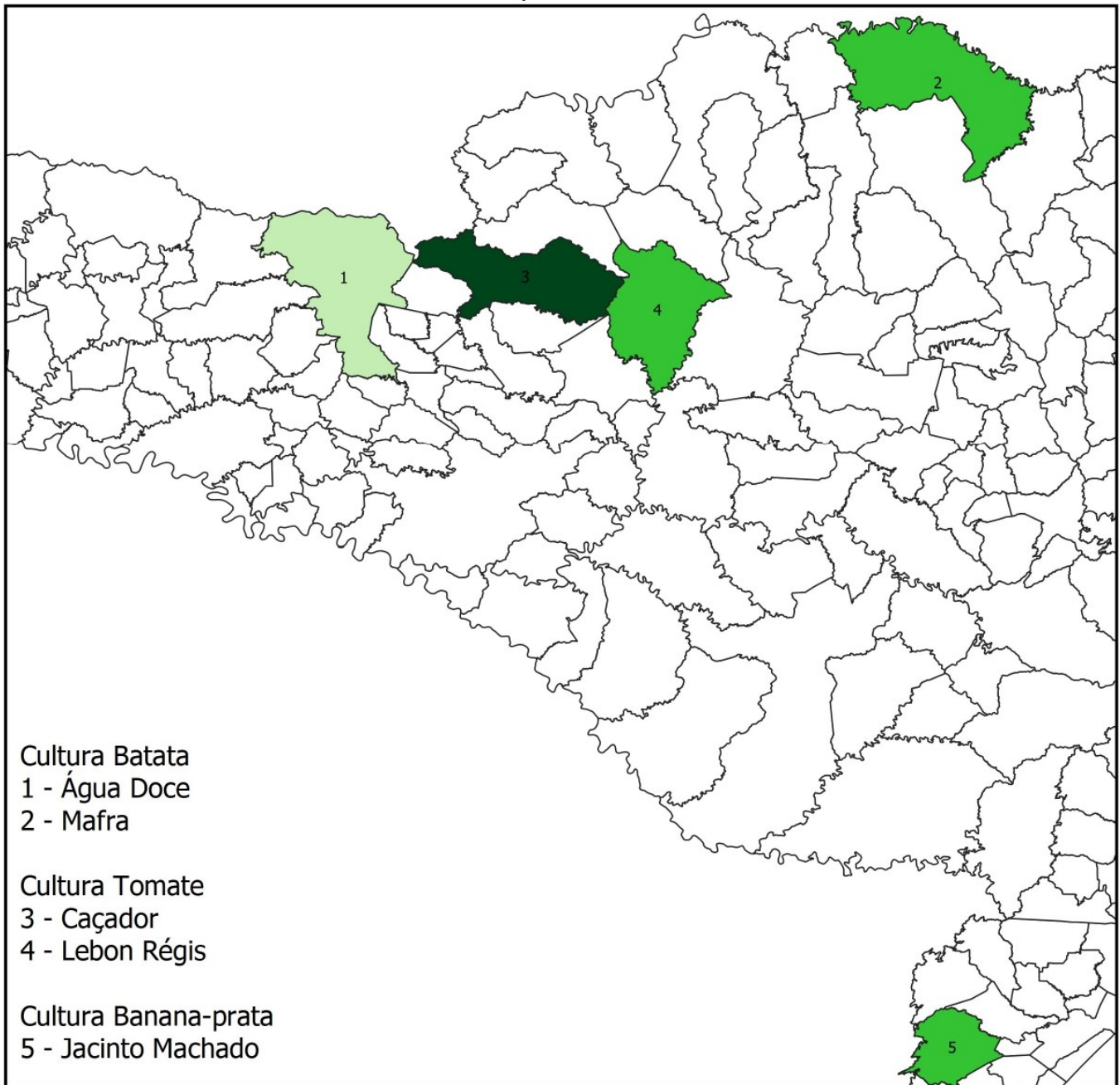
Potencial de irrigação agrícola de banana-caturra com esgoto tratado nos municípios selecionados



Potencial de irrigação agrícola da cultura cebola com esgoto tratado nos municípios selecionados



Potencial de irrigação agrícola da cultura batata, tomate e banana-prata com esgoto tratado nos municípios selecionados



Potencial de irrigação agrícola da cultura alho com esgoto tratado nos municípios selecionados

