



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

João Vinícius da Rocha

**Diretrizes para a gestão do lodo oriundo do tratamento de efluentes no lote em
áreas rurais do Estado de Santa Catarina**

Florianópolis
2024

João Vinícius da Rocha

Diretrizes para a gestão do lodo oriundo do tratamento de efluentes no lote em áreas rurais do Estado de Santa Catarina

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Engenharia Sanitária e Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental

Orientador: Fabrício Jacques Vieira, Me.

Florianópolis

2024

Ficha catalográfica gerada por meio de sistema automatizado gerenciado pela BU/UFSC.
Dados inseridos pelo próprio autor.

Da Rocha, João Vinicius

Diretrizes para a gestão do lodo oriundo do tratamento de efluentes no lote em áreas rurais do Estado de Santa Catarina / João Vinicius Da Rocha ; orientador, Fabrício Jacques Vieira, 2024.

84 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,
Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental,
Florianópolis, 2024.

Inclui referências.

1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2. Gestão do lodo em áreas rurais. 3. Esgotamento sanitário. 4. Sistemas no lote. 5. Diretrizes . I. Vieira, Fabrício Jacques. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. III. Título.

João Vinícius da Rocha

Título: Diretrizes para a gestão do lodo oriundo do tratamento de efluentes no lote em áreas rurais do Estado de Santa Catarina

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro Sanitarista e Ambiental e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental.

Florianópolis, 09 de dezembro de 2024.

Prof. Bruno Segalla Pizzolatti, Dr.
Coordenador do Curso

Banca examinadora

Eng. Fabrício Jacques Vieira, Me.
Orientador(a)

Prof. Pablo Heleno Sezerino, Dr.
UFSC

Prof.(a) Maria Elisa Magri, Dr.(a)
UFSC

Florianópolis, 2024.

A todos aqueles que trilharam
esta jornada junto a mim.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é o fim de um ciclo de uma longa e intensa jornada para adquirir o título de Engenheiro Sanitarista e Ambiental. Felizmente, não tracei esta jornada sozinho, e obtive o apoio de muitas pessoas as quais gostaria de expressar o meu profundo agradecimento.

Primeiramente, gostaria de agradecer a minha família e, especialmente, meu pai e minha mãe, que desde o meu primeiro milésimo de segundo de vida nesta terra sempre me apoiaram e se dedicaram muito em todas as etapas da minha vida, sobretudo para que eu sempre tivesse acesso a uma educação de qualidade.

Gostaria também de expressar meus agradecimentos ao professor Pablo e ao meu orientador Fabrício. Ao Pablo, pois foi devido as suas excelentes aulas durante a graduação que me inspirei para escolher a temática deste trabalho. Ao Fabrício, pois seu apoio como orientador e seus ensinamentos foram fundamentais para que este projeto saísse do campo das ideias e fosse colocado de fato em prática.

Agradeço também a minha namorada Karolina, que durante todos os anos da graduação esteve comigo me apoiando nas vitórias, mas principalmente, nos momentos mais difíceis e angustiantes desta jornada.

Expresso minha gratidão aos colegas que fiz na graduação, os quais compartilharam comigo muitos desafios durante esses anos. No entanto, ajudando-os uns aos outros, conseguimos superar as dificuldades do processo.

Agradeço também aos locais de trabalho que me deram a oportunidade de me desenvolver profissionalmente, como na Secretaria da Saúde de Florianópolis, na Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN), no Laboratório de Ciclo de Vida da UFSC (CICLOG) e na MPB Engenharia. Agradeço a todos os profissionais com quem tive o prazer de trabalhar e que contribuíram, por meio dos seus ensinamentos, pela minha formação profissional.

Quero agradecer também todos os meus professores na UFSC, especialmente os que compõe o Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, pois cada um deles foi responsável pelos conhecimentos por mim adquiridos acerca dos assuntos que dizem respeito as atribuições de um Engenheiro Sanitarista e Ambiental.

Por fim, mas não menos importante, agradeço a Universidade Federal de Santa Catarina por possuir um corpo técnico e docente dedicados as demandas dos

seus alunos, pela excelente infraestrutura e por proporcionar tanta qualidade de forma gratuita.

RESUMO

Nas áreas rurais de Santa Catarina, o tratamento de efluentes dos domicílios dá-se por sistemas descentralizados. As fossas sépticas e rudimentares são as tecnologias mais comuns nesses locais. Contudo, a falta de diretrizes claras quanto ao manejo e gestão do lodo formado por estes sistemas compromete a sua eficiência, além de causar potenciais riscos ao meio ambiente. Diante deste cenário, este trabalho busca propor diretrizes para o manejo do lodo gerado em sistemas descentralizados de tratamento de esgoto em áreas rurais de Santa Catarina. Com o intuito de ser ter um embasamento para a proposição das diretrizes, o trabalho caracteriza as áreas rurais das mesorregiões do estado quanto as suas densidades populacionais, clima, relevo, atividades agrícolas e geração anual de lodo de esgoto. Para isso, fez-se a análise de dados censitários, elaborou-se mapas utilizando o software Qgis e, além disso, aplicou-se uma revisão bibliográfica sistemática, fazendo-se as devidas adaptações dos resultados encontrados para a realidade das áreas rurais de Santa Catarina. Por meio do estudo dos dados censitários, foi possível verificar que Santa Catarina apresenta uma distribuição diversificada em relação a sua população rural, que corresponde a 944.372 habitantes. Nesse contexto, a mesorregião Oeste de Santa Catarina detém a maior densidade populacional rural do estado, com aproximadamente 337.872 habitantes, correspondendo a 35% da população total rural de Santa Catarina. Verificou-se que a agricultura é uma atividade econômica de forte representatividade em Santa Catarina. A respeito da área destinada ao plantio e colheita de culturas no estado, o Oeste detém a maior área para esta finalidade com 789.689 hectares cultivados. Por ser a região com a maior população e atividade agrícola, o Oeste é a mesorregião que mais produz lodo anualmente no estado nas áreas rurais. Por meio do levantamento bibliográfico feito através da revisão sistemática, identificou-se alguns métodos de coleta, transporte, tratamento e disposição final do lodo oriundo de fossas sépticas. Estas práticas foram adaptadas para a realidade das áreas rurais de Santa Catarina e embasaram as diretrizes propostas para a gestão e manejo do lodo nessas regiões. Constatou-se a necessidade da aplicação de políticas públicas e estratégias específicas de acordo com as características de cada região rural do estado, como relevo, clima e densidade populacional.

Palavras-chave: saneamento rural; gestão de lodo; tratamento descentralizado; sistemas no lote; fossas sépticas; Santa Catarina.

ABSTRACT

In rural areas of Santa Catarina, households are served by decentralized wastewater treatment systems. Septic tanks and rudimentary systems are the most common technologies in these locations. However, the lack of clear guidelines regarding the management of sludge generated by these systems compromises their efficiency, in addition to causing risks to the environment. Given this scenario, this study seeks to propose guidelines for the management of sludge generated in decentralized sewage treatment systems in rural areas of Santa Catarina. To support the proposed guidelines, the study characterizes the rural areas of the state in the social and environmental context and analyzes national and global publications on good practices for the management of sludge from decentralized treatment systems. Census data from the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE) were analyzed, maps were created using the Qgis software, and a systematic literature review was applied, adapting the solutions found to the reality of rural areas of Santa Catarina. It was found that the state has a heterogeneous distribution in relation to its rural population, which is 944,372 inhabitants. The West of Santa Catarina was the mesoregion with the highest population density, with approximately 337,872 inhabitants, which corresponds to approximately 35% of the state's rural population. It was found that agriculture is a highly representative economic activity in Santa Catarina. Regarding the area destined for planting and harvesting crops in the state, the West has the largest area for this purpose with 789,689 hectares cultivated. As it is the region with the largest population and agricultural activity, the West is the mesoregion that produces the most sludge annually in the state in rural areas. Through the bibliographic survey carried out through systematic review, some methods of collection, transportation, treatment and final disposal of sludge from septic tanks were identified. These practices were adapted to the reality of rural areas of Santa Catarina and supported the proposed guidelines for sludge management in these regions. The need to implement specific public policies and strategies was identified according to the characteristics of each rural region of the state, such as relief, climate and population density.

Keywords: rural sanitation; sludge management; decentralized treatment; on-site systems; septic tanks; Santa Catarina.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Desenho esquemático dos setores censitários do IBGE	19
Figura 2: Desenho esquemático de uma fossa séptica	27
Figura 3: Mapa de distribuição populacional rural de SC - 2010	35
Figura 4: População rural de SC por mesorregião - 2010	36
Figura 5: Mapa das áreas de cultivo de SC por mesorregião - 2010.....	37
Figura 6: Mapa do cultivo de soja em SC - 2010.....	38
Figura 7: Mapa do cultivo de milho em SC - 2010.....	39
Figura 8: Mapa do cultivo de maçã em SC - 2010.....	39
Figura 9: Mapa de cultivo de fumo em SC - 2010	40
Figura 10: Mapa de cultivo de cebola de SC - 2010.....	40
Figura 11: Mapa de cultivo de batata em SC - 2010.....	41
Figura 12: Mapa de cultivo de banana em SC - 2010.....	41
Figura 13: Mapa de cultivo de arroz em SC - 2010	42
Figura 14: Classificação climática de SC segundo Koppen-Geigger.....	43
Figura 15: Quadro de classificação Climática de Koppen elaborada por Setzer	44
Figura 16: Média das temperaturas média do mês de Julho em SC	45
Figura 17: Mapa de produção de lodo anual de SC - 2010	47
Figura 18: Nº de domicílios x Tipo de tratamento de efluentes nas áreas rurais de SC	50
Figura 19: Porcentagem do número de domicílios rurais em relação as tecnologias de tratamento de efluentes utilizadas.....	50
Figura 20: Mapa do nº de domicílios rurais que utilizam fossas sépticas nas mesorregiões de SC -2010.....	51
Figura 21: Mapa do nº de domicílios rurais que utilizam fossas rudimentares nas mesorregiões de SC - 2010.....	51
Figura 22: Mapa do nº de domicílios rurais que utilizam valas nas mesorregiões de SC - 2010.....	52
Figura 23: Mapa do nº de domicílios rurais que despejam efluentes em corpos hídricos nas mesorregiões de SC - 2010	52
Figura 24: Modelo digital de elevação de SC	53
Figura 25: Percentual de artigos x ano de publicação	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Situação rural – setores censitários de códigos 4, 5, 6, 7 ou 8.....	19
Tabela 2: Algumas tecnologias utilizadas em sistemas descentralizados de tratamento de efluentes.....	21
Tabela 3: Classificação do lodo de tanque séptico.....	24
Tabela 4: Parâmetros físico-químicos do lodo de tanque séptico.....	25
Tabela 5: Palavras-chave para a elaboração da pesquisa sistemática	33
Tabela 6: População rural de SC por mesorregião.....	36
Tabela 7: Área destinada a agricultura (plantio e colheita) nas mesorregiões de SC	37
Tabela 8: Área destinado ao cultivo em SC por tipo de cultura	38
Tabela 9: Volume de lodo gerado em mesorregiões de SC - 2010	46
Tabela 10: Tratamento de efluentes utilizado nos domicílios rurais catarinenses por mesorregião - 2010.....	49
Tabela 11: Valores totais dos tipos de tratamento utilizados nos domicílios rurais catarinenses - 2010.....	49
Tabela 12: Resultados das buscas feitas em inglês na base Scopus	54
Tabela 13: Resultados das buscas feitas em inglês na base Scielo	54
Tabela 14: Resultados das buscas feitas em português	55
Tabela 15: Descrição resumida dos artigos selecionados.....	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EPA	Environmental Protection Agency
EPI's	Equipamentos de Proteção Individual
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
NTK	Nitrogênio Total Kjeldahl
OMS	Organização Mundial da Saúde
PIB	Produto Interno Bruto
PLANSAB	Plano Nacional de Saneamento Básico
PNSA	Política Nacional de Saneamento Ambiental
PNSR	Plano Nacional de Saneamento Rural
PROSAB	Programa de Pesquisas em Saneamento Básico
QGIS	Quantum Geographic Information System
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Paraná
SIDRA	Sistema IBGE de Recuperação Automática
SS	Sólidos Suspensos
ST	Sólidos Totais
SUS	Sistema Único de Saúde
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket
USEPA	United States Environmental Protection Agency
VT	Sólidos Totais
VTS	Sólidos Totais Voláteis
WHO/UNICEF	World Health Organization/United Nations International Children's Emergency Fund

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	OBJETIVOS	17
2.1	OBJETIVO GERAL	17
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1	CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS RURAIS BRASILEIRAS.....	18
3.2	SISTEMA DE ESGOTAMENTO DESCENTRALIZADO.....	20
3.3	PANORAMA MUNDIAL DO TRATAMENTO DE ESGOTOS NO LOTE EM ÁREAS RURAIS.....	21
3.4	SUBPRODUTOS DO TRATAMENTO DE ESGOTO NO LOTE.....	23
3.5	TANQUES SÉPTICOS, GERAÇÃO E GESTÃO DE LODO	26
3.6	POSSÍVEIS APLICAÇÕES DO LODO DE FOSSA SÉPTICA	29
3.7	ASPECTOS LEGAIS DO SANEAMENTO BÁSICO	29
4	METODOLOGIA	31
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	31
4.2	REVISÃO SISTEMÁTICA BIBLIOGRÁFICA	32
4.3	PROPOSIÇÃO DE DIRETRIZES PARA A GESTÃO DO LODO DE SISTEMAS DESCENTRALIZADOS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES NO CONTEXTO RURAL DE SANTA CATARINA	34
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	34
5.1	CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS RURAIS DE SANTA CATARINA	34
5.2	SELEÇÃO DOS ARTIGOS E ESTUDOS PARA EMBASAR A PROPOSIÇÃO DAS DIRETRIZES.....	53
5.3	DIRETRIZES PROPOSTAS PARA A GESTÃO DO LODO EM SISTEMAS DESCENTRALIZADOS DE EFLUENTES NAS ÁREAS RURAIS DE SC	61
5.3.1	Diretrizes para a coleta e transporte do lodo	61
5.3.2	Diretrizes para o tratamento do lodo.....	65
5.3.3	Diretrizes para a disposição final do lodo	69
6	CONCLUSÃO	72
7	REFERÊNCIAS	73

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, o saneamento básico é um direito garantido pela Constituição Federal e regulamentado pela Política Nacional de Saneamento Básico (Lei nº 11.445/2007), que estabelece diretrizes para o abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, manejo de resíduos sólidos, drenagem e manejo de águas pluviais. No entanto, o país ainda enfrenta um déficit significativo nesses serviços, sobretudo em áreas rurais, onde 57,5% dos domicílios utilizam soluções inadequadas para o tratamento de esgoto, como fossas rudimentares, valas ou até mesmo o descarte direto em corpos d'água (IBGE, 2015).

Neste contexto, insere-se as áreas rurais de Santa Catarina, com uma população de aproximadamente 944.372 habitantes, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010). Nestas regiões, em geral, o tratamento de efluentes domésticos é feito por sistemas descentralizados (no lote), sendo que as fossas sépticas e as fossas rudimentares são as tecnologias de tratamento de esgoto mais utilizadas (PLANSAB, 2019). Cordeiro (2010), define as fossas sépticas como sendo sistemas anaeróbios individuais para o tratamento de esgoto que com o tempo, acumulam resíduos denominados lodo, que precisam ser removidos periodicamente para garantir seu funcionamento adequado.

Em sistemas instalados no próprio lote, a operação e manutenção geralmente são responsabilidades dos proprietários, o que pode, em muitos casos, levar a falhas no funcionamento do sistema (ANDREOLI, 2009). Além disso, em grande parte dos casos, o lodo acumulado nas fossas sépticas não é removido na frequência prevista no projeto, o que acaba transformando o reator em uma simples caixa de passagem para o esgoto (TONETTI *et al.*, 2018).

Vilarouca (2013) aponta que na tentativa de reduzir custos, os próprios moradores ou pessoas não habilitadas acabam executando a limpeza das fossas sépticas, sendo comum o lançamento indevido do lodo em corpos d'água, terrenos abandonados ou lixões. A autora ainda aponta que a maioria das pessoas não possui conhecimento acerca dos problemas advindos da destinação incorreta do lodo.

Há ainda a problemática da contratação de serviços de empresas que executam a remoção do lodo de fossas sépticas, popularmente conhecidas como "limpa-fossa". Para Medeiros (2009), em muitos casos, o usuário que contrata esse tipo de serviço não se preocupa em verificar o destino do resíduo, onde ele será

descartado ou se a empresa possui a devida licença dos órgãos ambientais municipais para realizar a atividade.

De acordo com Klingel *et al.* (2002), o interesse pelo planejamento e gestão dos lodos de fossas tende a ser mais comum e provável por parte do poder público. Para Cordeiro (2010), isso ocorre porque o cidadão comum, em geral, demonstra pouco interesse, já que os benefícios obtidos dessas ações são indiretos, como os relacionados à saúde, e não diretamente perceptíveis.

Diante desta realidade, fica evidente a necessidade de se desenvolverem estratégias técnicas para o manejo adequado do lodo oriundo de sistemas descentralizados de tratamento de efluentes no contexto das áreas rurais de Santa Catarina, levando-se em consideração as características particulares sociais e ambientais de cada região.

Sendo assim, o presente trabalho busca apresentar diretrizes para o correto manejo e gestão do lodo nas áreas rurais de Santa Catarina. Tais diretrizes poderão auxiliar os gestores municipais na tomada de decisões mais assertivas e adaptadas às particularidades locais. O trabalho, então, busca contribuir para o desenvolvimento de melhorias e adequações quanto as práticas de saneamento, promovendo soluções eficazes para as regiões rurais do estado.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Elaborar diretrizes para a gestão do lodo em áreas rurais de Santa Catarina, com vistas ao seu manejo adequado.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

a) Caracterizar aspectos socioambientais das áreas rurais do Estado de Santa Catarina;

b) Inventariar publicações sobre o manejo de lodo de esgotos oriundos do tratamento de esgotos no lote para áreas rurais;

c) Propor diretrizes de boas práticas para o manejo de lodo proveniente de sistemas de tratamento de esgotos no lote em domicílios rurais, com vistas ao estado de Santa Catarina.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS ÁREAS RURAIS BRASILEIRAS

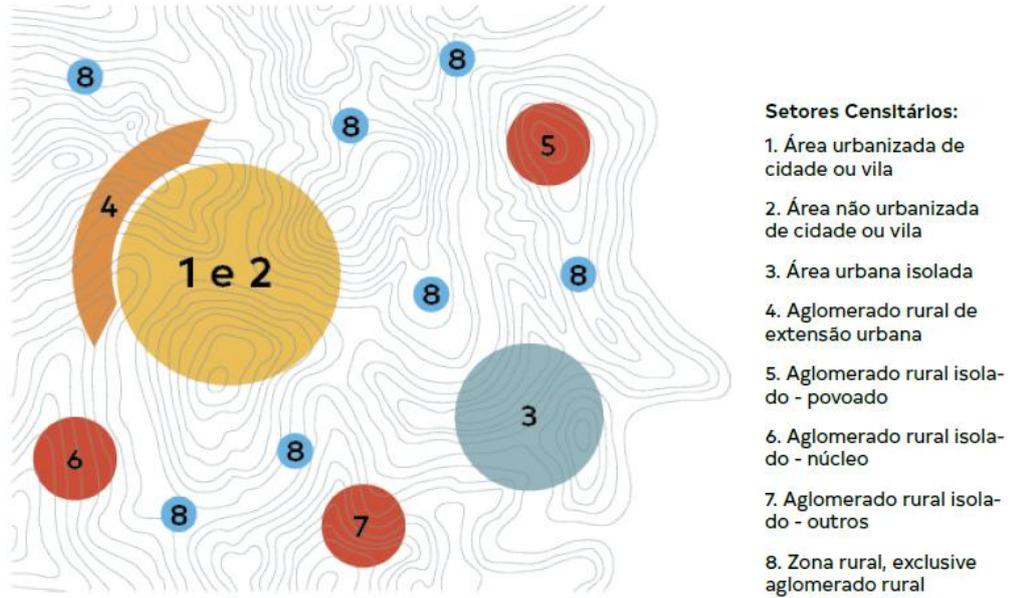
A conceituação de rural é composta por diversas áreas do saber, como: a economia, a partir das distâncias a serem superadas; a demografia, a partir da dinâmica populacional; a geografia, pela leitura do espaço/território, e a antropologia ou pelas representações sociais (GALIZONI, 2021).

A delimitação do perímetro urbano está a cargo de cada administração municipal e não há um critério único nacional para estabelecer a fronteira entre o que é área urbana e o que é rural (BRASIL, 2009, s.p).

Segundo o Censo Demográfico do IBGE realizado no ano de 2010, 30 milhões de pessoas residem em localidades rurais no Brasil, o que, na época, representava cerca de 16% da população brasileira. De acordo com o Plano Nacional de Saneamento Rural (2019), o IBGE considera como área rural de um município aquelas externas ao seu perímetro urbano e que correspondam a setores censitários rurais. Tais setores foram divididos pelo IBGE em 8 grupos, sendo que os grupos 4 a 8 correspondem aos setores censitários das áreas ruralizadas, conforme apresentado na Tabela 1. A Figura 1, elaborada pelo PNSR (2019), apresenta um desenho esquemático dos setores censitários do IBGE.

De acordo com dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Brasil, 2012), as atividades agropecuárias no meio rural desempenham um papel central na economia das regiões Sul e Centro-Oeste do Brasil, correspondendo a 22,3% do Produto Interno Bruto (PIB), gerando um faturamento anual de R\$ 822,9 bilhões.

Figura 1: Desenho esquemático dos setores censitários do IBGE



Fonte: PNSR (2019)

Tabela 1: Situação rural – setores censitários de códigos 4, 5, 6, 7 ou 8

Grupo	Descrição
4	Aglomerado rural de extensão urbana: “Localidade que tem as características definidoras de Aglomerado Rural e está localizada a menos de 1 Km de distância da área urbana de uma Cidade ou Vila. Constitui simples extensão da área urbana legalmente definida”.
5	Aglomerado rural isolado – povoado: “Localidade que tem a característica definidora de Aglomerado Rural Isolado e possui pelo menos 1 (um) estabelecimento comercial de bens de consumo frequente e 2 (dois) dos seguintes serviços ou equipamentos: 1 (um) estabelecimento de ensino de 1º grau em funcionamento regular, 1 (um) posto de saúde com atendimento regular e 1 (um) templo religioso de qualquer credo. Corresponde a um aglomerado sem caráter privado ou empresarial ou que não está vinculado a um único proprietário do solo, cujos moradores exercem atividades econômicas, quer primárias, terciárias ou, mesmo secundárias, na própria localidade ou fora dela”.
6	Aglomerado rural isolado – núcleo: “Localidade que tem a característica definidora de Aglomerado Rural Isolado e possui caráter privado ou empresarial, estando vinculado a um único proprietário do solo (empresas agrícolas, indústrias, usinas, etc.)”.
7	Aglomerado rural isolado - outros aglomerados: “São os aglomerados que não dispõem, no todo ou em parte, dos serviços ou equipamentos definidores dos povoados e que não estão vinculados a um único proprietário (empresa agrícola, indústria, usina, etc..)”
8	Zona rural, exclusive aglomerado rural: “São áreas rurais não classificadas como aglomerados”.

Fonte: Plano Nacional de Saneamento Rural, 2019. Adaptado pelo autor, 2024

3.2 SISTEMA DE ESGOTAMENTO DESCENTRALIZADO

O sistema de tratamento de esgotamento sanitário no lote (descentralizado) é definido pela NBR 17.076 (ABNT, 2024) como um sistema de saneamento onde as distâncias entre as fontes geradoras de esgotos, seu tratamento e disposição final são próximas entre si, não necessitando normalmente de rede coletora extensa, coletor-tronco, poços de visita, emissários, elevatórias etc. Segundo (Mesquita *et al*, 2021) é muito utilizado em regiões periféricas e áreas rurais, onde a distância torna inviável a interligação com sistemas centralizados

Os sistemas de esgotamento sanitário descentralizado podem ser divididos em dois tipos: sistemas em cluster, que tratam esgoto de várias unidades, e sistemas locais, voltados para unidades familiares (Mesquita *et al.*, 2021).

A NBR 17.076 (ABNT, 2024) apresenta algumas tecnologias que podem ser utilizadas nos sistemas descentralizados de tratamento de efluentes, sendo elas: Filtros anaeróbios; tanques sépticos e ainda canteiros de evapotranspiração, para ajudar em solos com baixa capacidade de infiltração.

De acordo com Massoud; Tarhini; Nasr (2009), escolher a "Tecnologia Mais Adequada" não é uma tarefa fácil, mas pode reduzir o risco de problemas e falhas futuras. As duas questões principais na escolha de uma tecnologia de tratamento são a acessibilidade econômica e a adequação (Grau, 1996). A acessibilidade econômica está relacionada às condições econômicas da comunidade, enquanto a adequação refere-se às condições ambientais e sociais.

É de grande conhecimento no meio científico as possibilidades e exemplos de tecnologias de tratamento de esgoto em sistemas descentralizados. A Tabela 2 apresenta de forma resumida as características principais de algumas destas tecnologias:

Tabela 2: Algumas tecnologias utilizadas em sistemas descentralizados de tratamento de efluentes

Tecnologia	Descrição
Tanques sépticos	Conforme a norma NBR 17076: 2024 da ABNT, um tanque séptico é definido como uma "unidade cilíndrica ou prismática retangular de fluxo horizontal, destinada ao tratamento de esgotos por meio de processos de sedimentação, flotação e digestão", podendo ser feita de concreto, alvenaria ou qualquer outro material que garanta resistência mecânica adequada ao ambiente, bem como resistência química contra substâncias presentes ou formadas no esgoto
Wetland	O sistema de tratamento <i>wetlands</i> foi desenvolvido para imitar os processos naturais que ocorrem nos pântanos, utilizando uma combinação de vegetação, solo, microrganismos e água para realizar o tratamento de efluentes (WU <i>et al.</i> , 2015).
Lagoas anaeróbias	As lagoas anaeróbias são classificadas como unidades de tratamento primário, projetadas com profundidades significativas para suportar altas cargas de esgoto. Sua estrutura reduz a incidência de radiação solar, promovendo a decomposição anaeróbia da matéria orgânica (SAÚDE, 2020)
Tanques de evapotranspiração	De acordo com a NBR 17076:2024, os tanques de evapotranspiração são tecnologias utilizadas para a disposição final do esgoto, por meio de processos de evapotranspiração das folhas de vegetação e pelo processo infiltrativo no solo.
Reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB)	O tratamento nos reatores UASB utiliza a decomposição anaeróbia da matéria orgânica, representada por DBO ou DQO, presente no esgoto através da passagem do esgoto por uma manta de lodo biológico em fluxo ascendente, gerando como subprodutos metano, dióxido de carbono, gás sulfídrico e mais lodo (SAÚDE, 2020)

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

3.3 PANORAMA MUNDIAL DO TRATAMENTO DE ESGOTOS NO LOTE EM ÁREAS RURAIS

Atualmente, estima-se que 2,3 bilhões de pessoas no mundo não possuem acesso a qualquer tipo de serviço de saneamento básico (WHO/UNICEF, 2017). Além disso, sete em cada dez pessoas no mundo sem acesso a serviços de saneamento básico vivem em áreas rurais (WHO/UNICEF 2015).

Em regiões rurais, 49% da população ainda enfrenta condições de esgotamento sanitário consideradas inadequadas pela Organização Mundial da Saúde (OMS) e pelo Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF). Essas condições incluem práticas como defecação a céu aberto, que abrange o despejo de esgoto diretamente em corpos d'água ou no solo, além do uso de métodos precários,

como buracos no solo, baldes ou banheiros suspensos sobre corpos d'água (WHO/UNICEF 2015).

Sendo assim, o tratamento de esgoto rural mostra-se fundamental para promover a melhoria do ambiente de vida rural (Chen *et al.*, 2022). Na China, de acordo com o Anuário Estatístico de Construção Urbana e Rural de 2019 do Ministério da Habitação e Desenvolvimento Urbano-Rural chinês, 552 milhões de pessoas vivem em vilas rurais do país e a quantidade total de esgoto produzido a cada ano excede 8 bilhões de toneladas (Chen *et al.*, 2022).

Neste país, o tratamento descentralizado de esgoto é o método de tratamento de águas residuais mais popular em vilas e a tecnologia de tratamento primária mais comum usada em áreas rurais é a fossa séptica (Guo *et al.*, 2014).

Na Índia, desde a década de 1980, os programas de saneamento rural têm se concentrado principalmente na construção de banheiros com fossas de lixiviação dupla, projetadas para tratar o lodo fecal diretamente no lote (Dasgupta; Agarwal, 2021). Segundo Saxena *et al.* (2022), diferentemente das fossas sépticas ou simples, as fossas duplas possibilitam uso quase ininterrupto, sem necessidade de remoção mecanizada ou semi-mecanizada do lodo, nem de tratamento externo, pois quando uma das fossas é preenchida, ela é selada, e o esgoto é direcionado para a outra, por meio de um sistema simples de válvulas.

A Instituição Sul-Africana de Engenheiros Civis (The South African Institution of Civil Engineers, 2017) observou que, nas áreas urbanas da África do Sul, a infraestrutura de saneamento (incluindo os sistemas de águas residuais) é aceitável, embora esteja sob pressão extrema, enquanto, nas áreas rurais onde a maioria da população negra reside, os sistemas estão em colapso e podem potencialmente expor o público a riscos de saúde e segurança (Montwedi *et.al*, 2021).

No Brasil, o saneamento básico enfrenta grandes déficits, especialmente no tratamento de esgotos, com maior impacto nas periferias urbanas e áreas rurais, onde vive a população mais vulnerável (Castro, 2009).

Segundo dados compilados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2015), cerca de 12,6% dos domicílios rurais pesquisados não dispõem de qualquer sistema de tratamento de esgoto, e 57,7% utilizam soluções inadequadas para o esgotamento sanitário, como fossas rudimentares e outras práticas de descarte, como o lançamento de esgoto em valas, corpos d'água e outros locais.

Tais práticas podem tornar-se fontes de potencial poluição e contaminação do solo e da água, visto que nestas alternativas não há impermeabilização para impedir o contato do efluente com o solo (Silva, 2014).

No Brasil, as fossas rudimentares são os sistemas de tratamento de efluentes no lote mais utilizadas, de acordo com os dados de pesquisas realizadas em áreas rurais brasileiras (IBGE, 2014; PNSR, 2019). Isso se deve ao fato de que esta solução é a mais econômica e simples, além de ter grande aceitação cultural e amplo senso comum (Figueiredo, 2019).

Após as fossas rudimentares, os tanques sépticos são a tecnologia mais comum nas áreas rurais do Brasil (Figueiredo, 2019). A simplicidade de construção e a facilidade de manutenção fizeram dessa a tecnologia descentralizada a mais amplamente utilizada em todo o mundo (Massoud, Tahini e Nasr, 2009). Porém, a falta de manutenção dos tanques sépticos pode torná-lo tão nocivo ao meio ambiente quanto as fossas.

Em vários estados do Brasil, há discussões sobre como adaptar a disposição dos esgotos nas áreas rurais para alcançar a universalização do saneamento. No entanto, a maioria das instituições envolvidas com saneamento rural foca apenas na instalação dos sistemas de tratamento, negligenciando quase completamente o gerenciamento desses sistemas (Tonetti *et al.*, 2018).

3.4 SUBPRODUTOS DO TRATAMENTO DE ESGOTO NO LOTE

Segundo Vilarouca (2013), os resíduos gerados no tratamento de esgoto são os seguintes: sólidos grosseiros, areia, espuma e lodo. O autor também afirma que o principal subproduto gerado, tanto em termos de relevância quanto de quantidade, é o lodo onde a composição e a quantidade dos lodos resultantes do tratamento de esgotos dependem da natureza do esgoto, do tipo de tratamento utilizado e dos processos aos quais o lodo é submetido.

O termo "lodo" é frequentemente usado para se referir aos resíduos sólidos resultantes do tratamento de esgoto (Pedroza *et al.*, 2010.). Levy (2023) aponta que o lodo de esgoto contém entre 40% e 80% de matéria orgânica, principalmente derivada de excrementos humanos, sendo que sua composição inclui carboidratos, gorduras, proteínas, açúcares e ácidos graxos. Esses elementos favorecem o crescimento vegetativo, o que torna o lodo potencialmente útil para a agricultura (Levy, 2023).

Em se tratando especificamente do lodo de tanques sépticos, uma das tecnologias mais utilizadas no Brasil para a abordagem descentralizada de tratamento de esgoto, a USEPA (2002) define lodo séptico como o material líquido ou sólido removido de tanques sépticos que receba somente esgoto sanitário, independentemente do tipo de estabelecimento (residência, comércio ou indústria).

De acordo com Andreoli *et al.* (2001), o lodo séptico é formado principalmente por água, esgoto, materiais inorgânicos como areia e matéria orgânica fecal, apresentando coloração escura, odor intenso e variações em sua composição, influenciadas por fatores como a frequência de remoção, as características do efluente e o processo de mistura nos caminhões limpa-fossa.

Andreoli (2006) classifica a estabilidade do lodo em Alta ou Baixa, a depender do grau de digestão a qual foi submetido, levando-se em consideração o tempo de permanência do lodo no interior do tanque. A Tabela 3 a seguir apresenta a referida classificação dada pelo autor.

Tabela 3: Classificação do lodo de tanque séptico

Item	Tipo "A" (baixa estabilidade)	Tipo "B" (alta estabilidade)	Esgoto Doméstico
Amostra	Banheiro público ou químico	Tanque séptico	Esgoto tropical
Caracterização	Alta concentração, lodo séptico fresco (estocado por dias ou semanas apenas)	Lodo séptico de baixa concentração, geralmente estocado por anos	-
DQO (mg/L)	20000 – 50000	< 15000	500 – 2500
DQO/DBO	5:1 - 10:1	-	2:1
$N - NH_4^+$	2000 – 5000	< 1000	30 – 70
ST	< 3,5%	< 3%	< 1%
SS (mg/L)	< 30000	≈ 7000	200 – 700
Helminhos (ovos/L)	20000 – 60000	≈ 4000	300 – 2000

Fonte: Andreoli (2006)

Quanto as características físico-químicas do lodo de tanques sépticos, estas podem variar de acordo com a origem do esgoto bruto, costumes populacionais,

localização e forma de tratamento (Fogolari, 2011). A Tabela 4 abaixo mostra a caracterização físico-química do lodo de tanque séptico segundo alguns autores:

Tabela 4: Parâmetros físico-químicos do lodo de tanque séptico

Referências	Parâmetros físico-químicos (mg/L)						
	ST	STV	DQO	DBO5	NH4+	NTK	P total
Philippi (1992)	36.570-46.400	25.810-31.570	2.502-3.873	-	-	-	-
Koottatep et al., (2007)	2.200-67.000	848-52.362	1.200-76.000	600-5.500	120-1.200	300-5.000	-
Heinss et al. (1999)	11.900	-	7.800	600-1.500	-	-	-
U.S.EPA (1999)	1.132-130.475	353-71.402	1.500-703.000	404-78.600	3-116	66-1.060	20-760
Koné; Strauss, (2004)	6.000-35.000	-	4.200	750-2.600	150	-	-
Klingel (2001)	15.350	-	15.700	2.300	415	-	-
Metcalf & Eddy (1991)	5.000-100.000	-	2.400-16.000	1.020-4.800	38-149	55-180	6-67
Belli Filho et al. (2007)	7.186	3.413	6.199	1.890	58	-	90
Meneses et al. (2001)	12.880	3.518	6.895	2.434	89	120	18

Fonte: Fogolari (2011)

De acordo com Hossain, Strezov e Nelson (2009) a produção de lodo de esgoto no Reino Unido chegou a quase 1 milhão de m³/ano, 50 milhões de m³/ano na Alemanha, 4,2 milhões de m³/ano na Suíça e 170 mil m³/ano em Singapura. Segundo Barneto *et al.*, (2009), em 2005, a produção espanhola de lodo de esgoto foi de 1.120.000 toneladas de matéria seca. Nos Estados Unidos, a produção de lodo em 2000 foi estimada em 7,1 milhões de toneladas, com a expectativa de alcançar 8,2 milhões de toneladas em 2010 (EPA, 1999).

Atualmente, no Brasil, a produção de lodo é estimada entre 150 mil e 220 mil toneladas de matéria seca anualmente (Andreoli, 2001). Levando em conta que apenas 30% da população urbana possui seu esgoto adequadamente coletado e tratado, estima-se que a produção de lodo poderia ultrapassar 400 mil toneladas anuais se todo o esgoto no país fosse completamente tratado (Soares, 2004).

Em se tratando do contexto rural brasileiro, conforme supracitado, nas áreas rurais brasileiras há a disseminação de sistemas descentralizados unifamiliares com frequente utilização de tanques sépticos e sumidouros rudimentares como tecnologias de tratamento de esgoto. No entanto, as normas brasileiras que guiam o desenvolvimento de projetos para tratamento de esgotos em áreas rurais ou isoladas

(NBR 17076, 2024) recomendam que, em todos os casos, seja utilizado um tanque séptico seguido de um pós-tratamento (Tonon *et al.*, 2015; Tonetti *et al.*, 2012).

3.5 TANQUES SÉPTICOS, GERAÇÃO E GESTÃO DE LODO

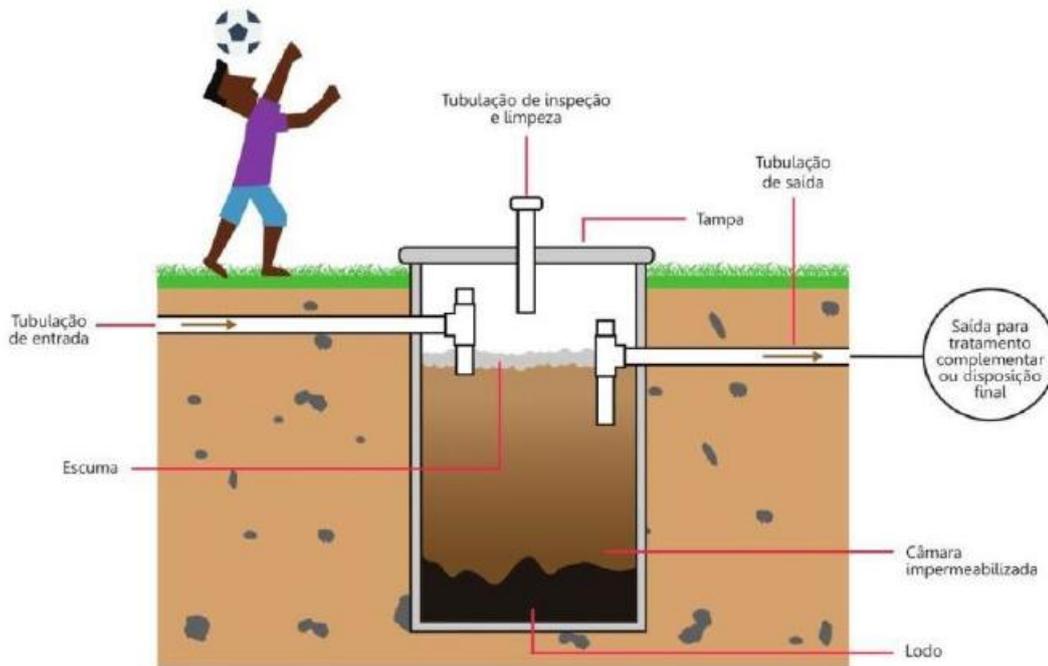
Cordeiro (2010) define, de maneira técnica, fossas sépticas ou tanques sépticos como sendo sistemas anaeróbios de tratamento individual de esgotos sanitários que possuem características básicas bastante conhecidas e difundidas na literatura técnica de saneamento. Andreoli (2009) reitera a simplicidade construtiva, a economia e a baixa manutenção que esses sistemas requerem, sendo necessária somente uma limpeza periódica a cada um a cinco anos, de acordo com a NBR 17076 (2024).

A fossa séptica é um sistema independente para o descarte de esgoto doméstico, utilizado em locais onde não há rede pública de coleta e tratamento de esgoto (Lupatini, *et al.* 2009). Jordão (2005) descreve os processos que ocorrem neste tipo de sistema, sendo eles:

- **RETENÇÃO:** O esgoto permanece na fossa por um período de 12 a 24 horas;
- **DECANTAÇÃO:** Durante a retenção, entre 60 e 70% dos sólidos em suspensão se depositam no fundo, formando o lodo, enquanto os sólidos que não se sedimentam, junto com gases, sobem à superfície, formando espuma;
- **DIGESTÃO ANAERÓBICA:** O lodo e a espuma são decompostos por bactérias anaeróbias, que degradam total ou parcialmente o material, incluindo os organismos patogênicos;
- **REDUÇÃO DO VOLUME DE LODO:** A digestão anaeróbia resulta na formação de gases e líquidos, além da redução do volume dos sólidos, que passam a ter características mais estáveis.

A Figura 2 a seguir ilustra o esquema básico de uma fossa séptica.

Figura 2: Desenho esquemático de uma fossa séptica



Fonte: Tonetti *et al*, 2018

Nos tanques sépticos, o lodo é tratado por meio de digestão anaeróbia, onde diferentes microrganismos decompõem a matéria orgânica em metano, dióxido de carbono, água, sulfeto de hidrogênio e amônia, enquanto ocorre a proliferação de novas bactérias (Rodrigues, 2014).

No entanto, ainda que uma parte do lodo seja decomposto, com o passar dos meses, o acúmulo de material vai aumentando gradualmente, resultando na diminuição do volume útil da fossa séptica (Jordão e Pessôa, 2011). Para sanar este infortúnio, a NBR 17.076 (2024) orienta que a limpeza do lodo da fossa séptica seja feita a cada um a cinco anos. Em contrapartida, a Fundação Nacional de Saúde (2014) estipula que esta limpeza deve ser feita de dois em dois anos, pois desta maneira o lodo estará mais estabilizado, o que reduzirá custos no tratamento.

Cordeiro (2010) afirma que o lodo removido durante a limpeza de fossas sépticas deve ser descartado conforme as normas técnicas e legais. Segundo a ABNT (2024), em nenhuma situação o lodo deve ser descartado em corpos d'água ou galerias de águas pluviais. Essa orientação é dada devido aos riscos ambientais e

sanitários, já que o lodo acumula poluentes afluentes ao tanque ao longo dos meses de operação.

De acordo com Klingel *et al.* (2002), o tratamento de águas residuais no lote é uma prática comum em países em desenvolvimento, utilizando fossas sépticas ou outras soluções. Os autores destacam que, para garantir a segurança ambiental e sanitária, é necessário realizar o manejo adequado do material acumulado nas fossas, independentemente do método de disposição adotado. Segundo eles, na ausência de uma gestão pública organizada para gerenciar os lodos de fossa, as ações de manejo se limitam à remoção periódica do lodo. Nesses casos, a responsabilidade de projetar, construir e operar o sistema local recai sobre o próprio usuário, que geralmente desconhece os problemas relacionados ao lodo (Cordeiro, 2010).

Fiuza Júnior e Philippi (2005, *apud* Cordeiro, 2010) conduziram um estudo sobre a gestão de medidas de saneamento *in situ* na cidade de Blumenau, em Santa Catarina. Os autores verificaram que, ainda que sejam amplamente utilizadas, as fossas sépticas encontradas estavam em sua maioria subdimensionadas e fora das normatizações estabelecidas pela ABNT. Ainda assim, essas soluções eram recomendadas e aprovadas pela prefeitura, tornando-se a opção mais utilizada pela população.

O estudo de Fiuza Júnior e Philippi (2005) também constatou que a coleta dos lodos de fossa era realizada por empresas privadas, que os encaminhavam para Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) em municípios próximos. No entanto, segundo os autores, a capacidade da ETE de receber essas cargas de lodo já estava próxima do limite, evidenciando a necessidade de readequação por parte do município no que diz respeito ao modelo de gestão do lodo.

Andreoli (2009) constata que outras cidades brasileiras tentam organizar e normatizar as diretrizes para a disposição final de lodo de fossa/tanque séptico. O autor cita que, em Belém, por exemplo, o lodo de fossas e tanques sépticos é desaguado em leitos de secagem e, posteriormente, encaminhado para o aterro sanitário. Já em Brasília, são definidos pontos estratégicos para o descarte do lodo de fossas e tanques sépticos na rede coletora de esgoto ou nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs). Por último, em Natal, o lodo de fossas e tanques sépticos deve ser tratado em lagoas de estabilização, que são construídas e operadas pela empresa responsável pela limpeza das fossas.

3.6 POSSÍVEIS APLICAÇÕES DO LODO DE FOSSA SÉPTICA

Segundo Ramos (2014), para que o lodo possa ser reaproveitado, é necessário submetê-lo a um processo de desidratação, visando diminuir o teor de água e facilitar seu manejo. O autor aponta que, com isso, torna-se possível aproveitar uma quantidade maior de lodo, utilizando alternativas como a aplicação na agricultura, disposição em aterros sanitários, incineração, recuperação de áreas degradadas, descarte em oceanos e rios, reutilização em processos industriais, uso em florestas, entre outras possibilidades.

Quanto a aplicação agrícola, o uso do lodo de esgoto como fertilizante é motivado não apenas pela presença de nutrientes minerais, como nitrogênio, fósforo e micronutrientes, mas também pelo seu alto teor de matéria orgânica (Andreoli *et al*, 1997). De acordo com Tsutiya (2002), o lodo de esgoto contém em sua composição macronutrientes como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre, além de micronutrientes como cobalto, zinco, manganês, boro, molibdênio e cloro, que desempenham um papel fundamental no crescimento das plantas.

A higienização ou desinfecção do lodo é imprescindível quando ele é destinado à reciclagem agrícola, pois os processos de digestão anaeróbia e aeróbia utilizados no tratamento de esgoto não conseguem diminuir os patógenos a níveis seguros (Von Sperling; Gonçalves, 2001).

Para além do âmbito agrícola, segundo Lessa (2005), o lodo de esgoto também pode ser utilizado na construção civil, por meio da fabricação de blocos de concreto para contrapiso e argamassas.

3.7 ASPECTOS LEGAIS DO SANEAMENTO BÁSICO

De acordo com a Política Nacional de Saneamento Básico, dada pela Lei nº 11.445 de julho de 2007, pelo Art 3º, inciso I, o saneamento básico é um conjunto de serviços, infraestrutura e instalações operacionais de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana, manejo de resíduos sólidos, drenagem e manejo de águas pluviais (Brasil, 2007). Recentemente, esta Lei passou por uma atualização pela Lei nº 14.026 de julho de 2020 no novo Marco Legal do Saneamento Básico, que estabeleceu a meta de atingir 99% da população com acesso à água potável e 90% com coleta e tratamento de esgoto até 2033.

A Constituição Federal Brasileira de 1988 garante o saneamento básico a todos os cidadãos brasileiros, sendo estabelecido no Art. 21, inciso XX, que a União

possui competência administrativa de instituir diretrizes para o desenvolvimento urbano, incluindo o saneamento básico. Ademais, a Constituição também estabelece no Art. 21, inciso IX, que é de competência comum da União, dos Estados, Distrito Federal e Municípios promover programas de melhorias para o saneamento básico. Ainda sobre a Constituição Federal de 1998, foi atribuído ao Sistema Único de Saúde (SUS) a promoção de políticas de saneamento básico como medida de saúde pública (Art. 200, inciso IV).

De acordo com Lemos (2020) e dados da Organização Mundial da Saúde (OMS), estima-se que anualmente cerca de 15 mil pessoas morrem e 350 mil são internadas no Brasil por conta de doenças ligadas a precariedade do saneamento básico.

De acordo com Athaydes *et al.* (2021), dada a reconhecida ligação entre saneamento e saúde, no âmbito do SUS, a Fundação Nacional de Saúde (FUNASA) é responsável, em nível federal, por promover ações de saneamento que atendam prioritariamente os municípios com menos de 50.000 habitantes, áreas rurais e comunidades tradicionais em todo o Brasil.

Em 2013 foi criado o Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB), que estipula que todos os brasileiros possam ter acesso a todas as atividades e componentes de cada área do saneamento básico, atendendo de forma diferenciada as populações desiguais, com prioridade para aqueles que mais necessitam (BRASIL, 2013). Diante do histórico de carências no saneamento nas áreas rurais e comunidades tradicionais brasileiras, que demandam soluções diferentes das adotadas em áreas urbanas (Brasil, 2013), o PLANSAB propôs o Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR). O objetivo é reduzir a falta de infraestrutura em todos os setores do saneamento básico para essas populações, com a FUNASA sendo a entidade federal encarregada de sua implementação.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a área rural de um município é aquela que fica fora do perímetro urbano, conforme definido pela legislação local, e que corresponde a setores censitários rurais (FUNASA, 2019). O IBGE então criou 8 setores censitários, onde a situação urbana corresponde aos setores de 1 a 3 e a situação rural de 4 a 8. No entanto, foram identificados setores urbanos com poucos domicílios e falta de serviços, evidenciando falhas na classificação, já que esses setores deveriam ser considerados rurais (FUNASA, 2019; Rigotti; Hadad, 2019 *apud* Roland *et al.*, 2019).

De acordo com a FUNASA (2019), áreas rurais devem ter baixa densidade populacional e estar próximas de pelo menos outro setor rural, pois essa proximidade é útil para identificar áreas rurais típicas (FUNASA, 2019). Diante disso, o PNSR (2019) propõe delimitar os territórios rurais utilizando como critério a densidade demográfica combinada com as características da vizinhança.

4 METODOLOGIA

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A primeira etapa deste trabalho consistiu na caracterização da área de estudo, que são as áreas rurais do estado de Santa Catarina. Para isso, foram utilizadas as bases de dados do IBGE referentes ao censo demográfico de 2010 com as seguintes informações:

- População residente em áreas rurais de Santa Catarina;
- Área destinada ao plantio e colheita, em hectares, nas áreas rurais de Santa Catarina
- Tipos de culturas existentes em Santa Catarina;
- Número de fossas sépticas presentes em domicílios rurais de Santa Catarina.

Através dos dados censitários disponíveis no Sistema IBGE de Recuperação Automatizada (SIDRA), foi possível identificar os padrões de distribuição da população rural de Santa Catarina. Apesar de existirem dados recentes em referência ao Censo do ano 2022, até a data de finalização deste trabalho não foram disponibilizadas todas as informações desagregadas necessária para a realização do estudo, por isso optou-se por utilizar os dados referentes ao censo do ano 2010.

Além disso, caracterizou-se também o clima de Santa Catarina através da classificação climática de Köppen-Geiger, com o auxílio das bases em Shapefile, que posteriormente foram manipuladas utilizando a ferramenta de Geoprocessamento Qgis, (Quantum GIS).

Caracterizou-se também o relevo de Santa Catarina, com o auxílio do Modelo Digital de Elevação disponibilizado na mapoteca digital da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI).

Ademais, fez-se um mapeamento geográfico das áreas rurais de Santa Catarina utilizando a ferramenta Qgis.

Dados adicionais para a caracterização da área de estudo foram obtidos por meio de pesquisa bibliográfica em outras fontes de dados como, artigos, TCC, dissertações, teses, documentos governamentais e não governamentais.

4.2 REVISÃO SISTEMÁTICA BIBLIOGRÁFICA

Para avaliar as diferentes abordagens sobre a gestão do lodo em áreas rurais, o trabalho utilizou o método de Revisão Sistemática. Segundo Galvão e Ricarte (2019) a revisão sistemática da literatura é uma forma de pesquisa que adota protocolos rigorosos, indo além da simples análise de textos, cujo objetivo é compreender e organizar um vasto conjunto de documentos, avaliando o que é eficaz ou não em um determinado contexto.

Okoli (2019) define um passo a passo para se realizar uma revisão sistemática, que consiste em:

- Definir o objetivo, sendo o passo inicial em qualquer revisão consiste em que os revisores determinem de forma clara o propósito da revisão e os objetivos que desejam alcançar, o que é essencial para tornar a revisão compreensível para seus leitores;
- Realizar uma seleção criteriosa, apresentando de forma clara os estudos selecionados e excluídos na revisão e justificando as exclusões visando garantir que a análise permaneça abrangente e que a revisão ainda alcance seus objetivos;
- Conduzir a busca bibliográfica descrevendo o processo de pesquisa bibliográfica, explicando e justificando de que forma foi garantida a robustez e abrangência da pesquisa;
- Identificar os estudos que serão incluídos na revisão, extraíndo sistematicamente as informações mais pertinentes à pesquisa.

Para este trabalho, inicialmente definiu-se a questão da pesquisa, a qual foi crucial para nortear o estudo. A questão definida foi: “Existem bibliografias no Brasil e no mundo que abordem o tema de manejo de lodo oriundo do tratamento de esgoto no lote em áreas rurais?” A partir daí, criou-se um protocolo de pesquisa para definir critérios de inclusão e exclusão, fontes de dados e métodos de análise.

Esta pesquisa utilizou as seguintes bases de dados acadêmicas: Scopus; Scielo e Google Acadêmico. Definiu-se então o período dos últimos 24 anos (2000-2024) de publicações de sobre gestão do lodo no lote em áreas rurais, excluindo

publicações com enfoque na gestão do lodo em áreas urbanas ou de estações de tratamento de água.

Nas bases de dados Scielo e Scopus foram pesquisadas palavras-chaves em inglês com relação direta com o tema deste trabalho. Entretanto, no Google Acadêmico pesquisou-se somente palavras-chave em português, uma vez que, ao realizar as buscas com palavras-chaves em português nas bases Scielo e Scopus, os resultados foram nulos.

A Tabela 5 a seguir apresenta uma sintetização das palavras-chave utilizadas para a elaboração da revisão sistemática:

Tabela 5: Palavras-chave para a elaboração da pesquisa sistemática

Palavras-chave em inglês	Palavras-chave em português
“Sludge treatment” AND “on-site” AND “rural areas”	"Tratamento do lodo" AND "no lote" AND "áreas rurais"
“Sludge treatment” AND “on-site”	"Tratamento do lodo" AND "no lote" do lodo no lote em áreas rurais
“Sludge management” AND “rural areas”	"Tratamento do lodo" AND "no lote"
“Septik tank” AND “sludge”	"Gestão do lodo" AND "áreas rurais"
“Septic tank sludge”	"Lodo" AND "fossa séptica"
“Septic” AND “tank” AND “sludge” AND “treatment” AND “rural areas”	"tratamento" AND "lodo" AND "fossas sépticas" AND "áreas rurais"
“Sludge” AND “management” AND “regulations”	"Normas" AND "gestão do lodo"
“Sludge” AND “policy” AND “treatment”	"Políticas" AND "tratamento de lodo"
“Agriculture” AND “sewage” AND “sludge”	"Agricultura" AND "lodo de esgoto"
“Final” AND “disposal” AND “sludge”	"Disposição final" AND "lodo de esgoto"
“Final disposal” AND “sanitary” AND “sludge” AND “on-site”	"Disposição final" AND "lodo sanitário" AND "no lote"
“Guidelines” AND “sludge management”	"Diretrizes" AND "manejo" AND "lodo"
“Guidelines” AND “on-site” AND “sludge management”	"Diretrizes" AND "manejo" AND "lodo" and "lote"
“On-site” AND “sludge treatment” AND “Technologies”	"Tecnologias" AND "tratamento" AND "lodo" AND "no lote"
“On-site” AND “sludge management”	"Manejo" AND "lodo" AND "no lote"
“On-site” AND “sludge” AND “management” AND “rural áreas”	"Manejo" AND "lodo" AND "no lote" AND "rurais"
“Faecal” AND “sludge management”	"Manejo" AND "lodo" AND "fecal"
“On site” AND “faecal sludge management”	"Manejo" AND "lodo" AND "fecal" and "lote"
“Faecal” AND “sludge” AND “septic” AND “tank”	"lodo" AND "fecal" AND "fossa séptica"
“Faecal” AND “sludge management” AND “rural areas”	"Manejo" AND " lodo fecal" AND "lote" AND "rurais"

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024

Fez-se então uma triagem nos resultados encontrados, com o auxílio do software Zotero, buscando primeiramente se as palavras-chave desejadas se encontravam no título e nos resumos dos textos.

Na sequência, leu-se os resumos dos trabalhos que sinalizaram positivamente para este critério. Feita a leitura dos resumos, selecionou-se os trabalhos que possuíam maior potencial de contribuir para esta pesquisa e então, na sequência, leu-se na íntegra o conteúdo destes estudos, analisando de forma crítica as publicações que realmente poderiam acrescentar valor para a formulação das diretrizes para o manejo do lodo no lote em áreas rurais de Santa Catarina oriundo de sistemas individuais de tratamento de efluentes.

4.3 PROPOSIÇÃO DE DIRETRIZES PARA A GESTÃO DO LODO DE SISTEMAS DESCENTRALIZADOS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES NO CONTEXTO RURAL DE SANTA CATARINA

Feitas as análises de publicações sobre a gestão do lodo no lote em áreas rurais no contexto nacional e internacional, estabeleceu-se e compilou-se os pontos de destaque, fazendo as devidas adaptações para o contexto rural do estado de Santa Catarina, levando-se em consideração as características ambientais e socioeconômicas da região, como clima, relevo, logística de transporte e densidade populacional nas áreas rurais abordados por meio do objetivo 1.

A compilação das melhores práticas encontradas na literatura nacional e mundial formou então as diretrizes para o gerenciamento do lodo oriundo de sistemas de esgotamento sanitário no lote em áreas rurais de Santa Catarina.

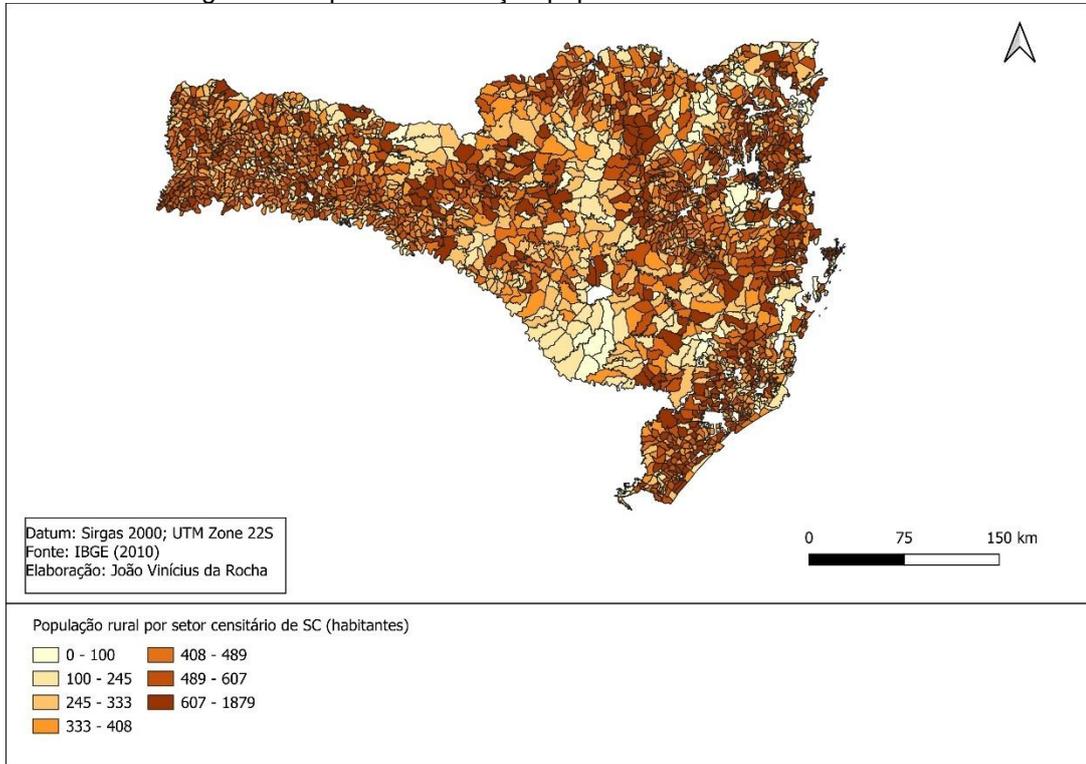
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ASPECTOS SOCIOAMBEINTAIS DAS ÁREAS RURAIS DE SANTA CATARINA

Por meio da análise de dados do Censo Demográfico do IBGE de 2010, disponibilizados no portal SIDRA, foi possível observar uma distribuição heterogênea da população rural do estado de Santa Catarina. De acordo com a malha censitária do IBGE (2010), a população ruralizada de Santa Catarina (SC) é de 944.372 habitantes, o que corresponde a aproximadamente 15% da população total do estado, que é de 6.249.682 habitantes. A Figura 3 apresenta este cenário através da malha

censitária rural de Santa Catarina, evidenciando a heterogeneidade da distribuição populacional rural do estado.

Figura 3: Mapa de distribuição populacional rural de SC - 2010



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Os resultados deste trabalho foram analisados com base na divisão das mesorregiões do estado de Santa Catarina, onde, segundo a definição do IBGE (Brasil, 2017), mesorregiões são áreas individualizadas, em uma Unidade da Federação, as quais apresentam forma de organização do espaço geográfico definidas pelas seguintes dimensões: o processo social, como determinante; o quadro natural, como condicionante; e a rede de comunicação de lugares, como elemento de articulação espacial.

O IBGE (2010) subdivide o território do estado de Santa Catarina em seis mesorregiões, sendo elas:

- Oeste Catarinense;
- Norte Catarinense;
- Serrana
- Vale do Itajaí;
- Sul Catarinense;
- Grande Florianópolis.

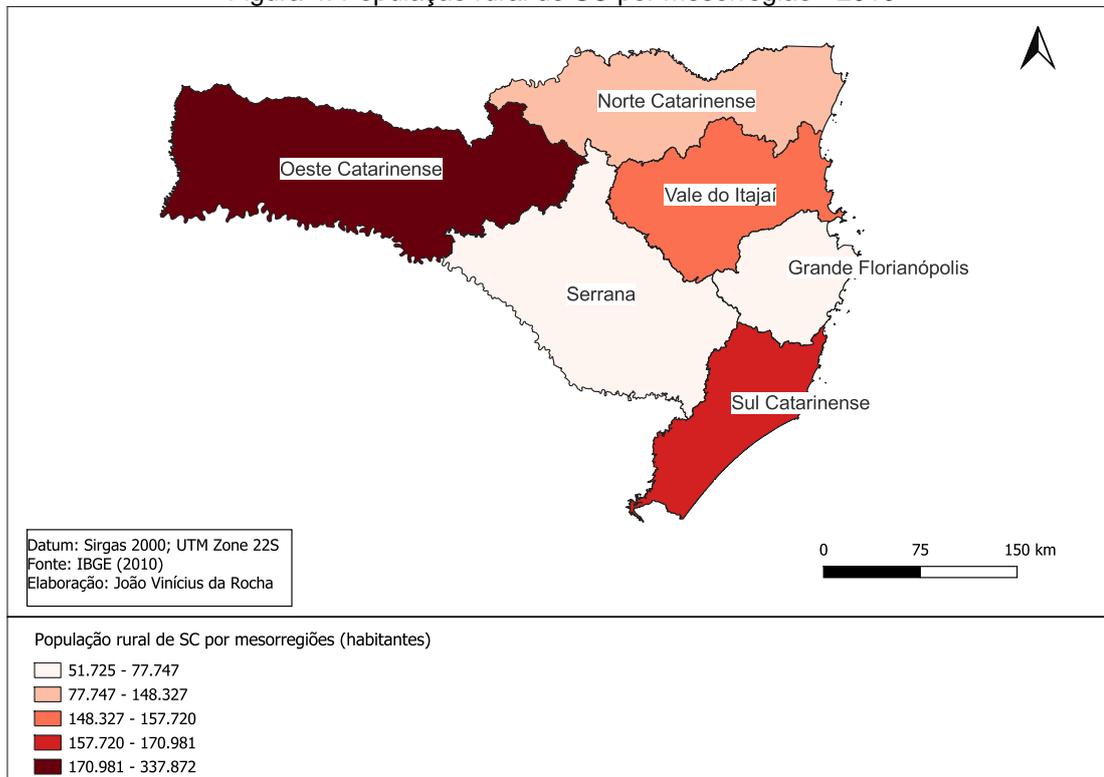
No que se refere a população rural, o Oeste Catarinense apresentou-se como a mesorregião mais densamente povoada, abrangendo aproximadamente 337.872 habitantes, correspondendo a cerca de 35% da população rural total do estado. Por outro lado, a região Serrana é a que apresenta a menor densidade populacional rural de Santa Catarina, com cerca de 51.725 habitantes, correspondendo a aproximadamente 5% da população rural total do estado. A Tabela 6 apresenta as populações rurais das demais mesorregiões de Santa Catarina e a Figura 4 ilustra este cenário:

Tabela 6: População rural de SC por mesorregião

Mesorregião	População rural	Porcentagem sobre a população rural total de SC (%)
Oeste Catarinense	337.872	36
Norte Catarinense	148.327	16
Serrana	51.725	5
Vale do Itajaí	157.720	17
Sul Catarinense	170.981	18
Grande Florianópolis	77.747	8

Fonte: IBGE (2010), adaptado pelo autor (2024).

Figura 4: População rural de SC por mesorregião - 2010



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Quanto a agricultura, segundo dados do IBGE (2010), Santa Catarina conta com uma área de 1.677.831 hectares destinados ao plantio e a colheita. O Oeste Catarinense detém a maior área de extensão agrícola do estado, com 789.689

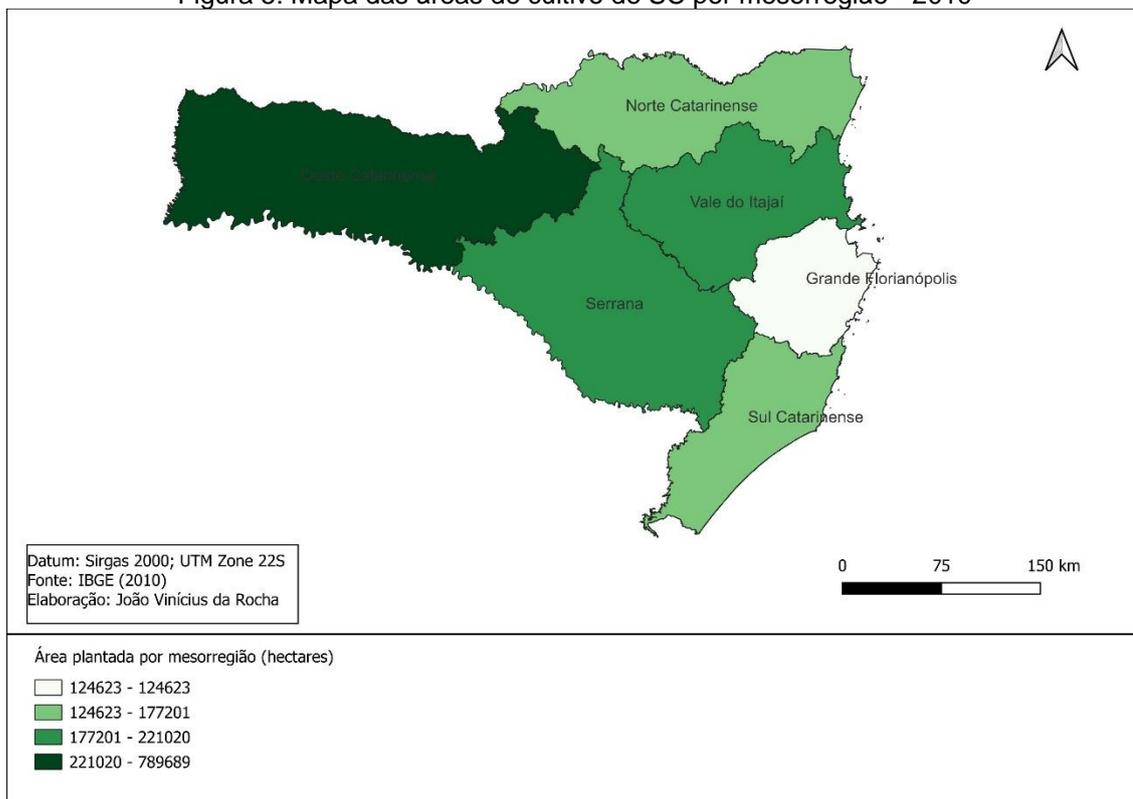
hectares cultivados e a Grande Florianópolis a menor extensão territorial dedicada a agricultura, detendo 124.623 hectares para esta finalidade. A Tabela 7 e a Figura 5 apresentam estes dados bem como os dados referentes as outras 4 mesorregiões quanto as suas respectivas extensões territoriais agrícolas.

Tabela 7: Área destinada a agricultura (plantio e colheita) nas mesorregiões de SC

Mesorregião	Área destinada a agricultura (Ha)
Sul catarinense	177.201
Grande Florianópolis	124.623
Vale do Itajaí	196.995
Serrana	221.020
Norte Catarinense	168.303
Oeste	789.689
Total	1.677.831

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 5: Mapa das áreas de cultivo de SC por mesorregião - 2010



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Ademais, observa-se que a soja é a cultura com maior área destinada ao cultivo e plantio no estado, contando com 776.923 hectares e estando presente em praticamente toda a extensão territorial de Santa Catarina, conforme apontado na Tabela 8. Segundo dados do IBGE (2023), no ano de 2023 a cultura da soja

apresentou o maior valor de produção entre todas as demais culturas produzidas no estado, atingindo uma marca de 7.016.732 mil reais.

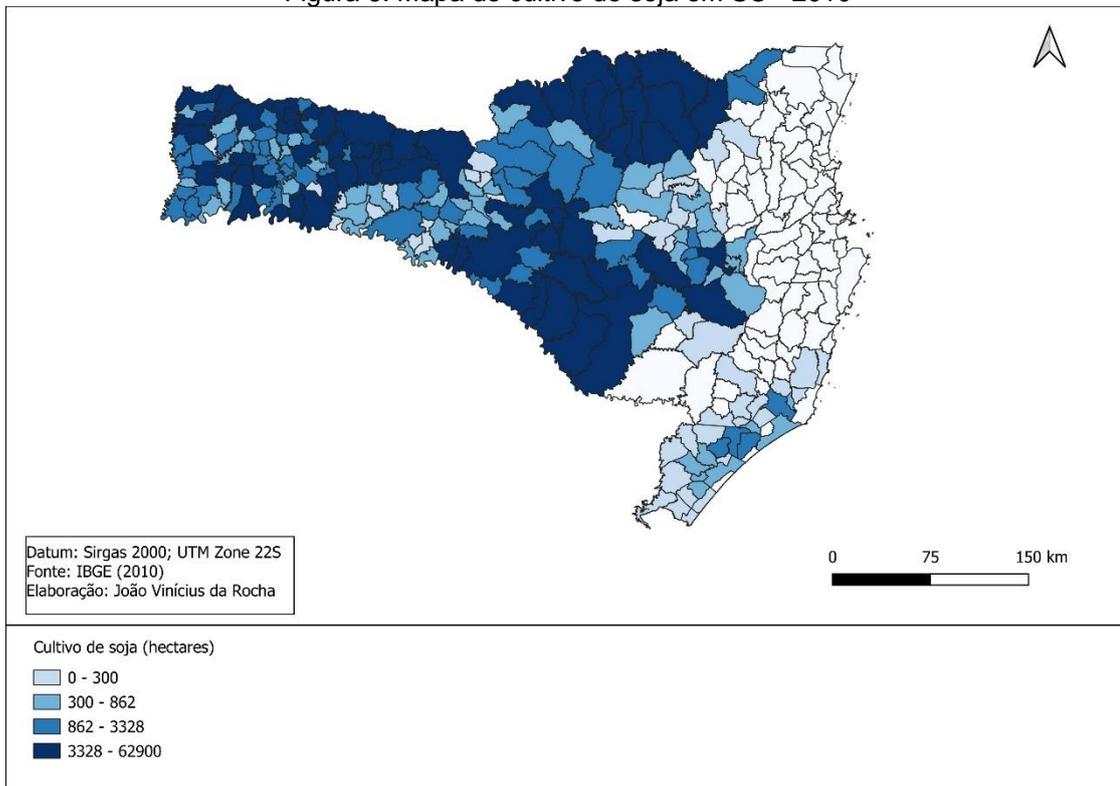
Além da soja, Santa Catarina destaca-se pelo plantio de outras importantes culturas como milho; maçã; fumo; cebola; batata; banana, arroz entre outros. As figuras 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 e 13 ilustram em forma de mapas a distribuição destes plantios ao longo do estado.

Tabela 8: Área destinado ao cultivo em SC por tipo de cultura

Cultura	Área destinada ao cultivo (Ha)
Soja	776.923
Milho	329.571
Maçã	16.004
Fumo	86.449
Cebola	17.571
Batata	35.254
Banana	29.076
Arroz	143.092

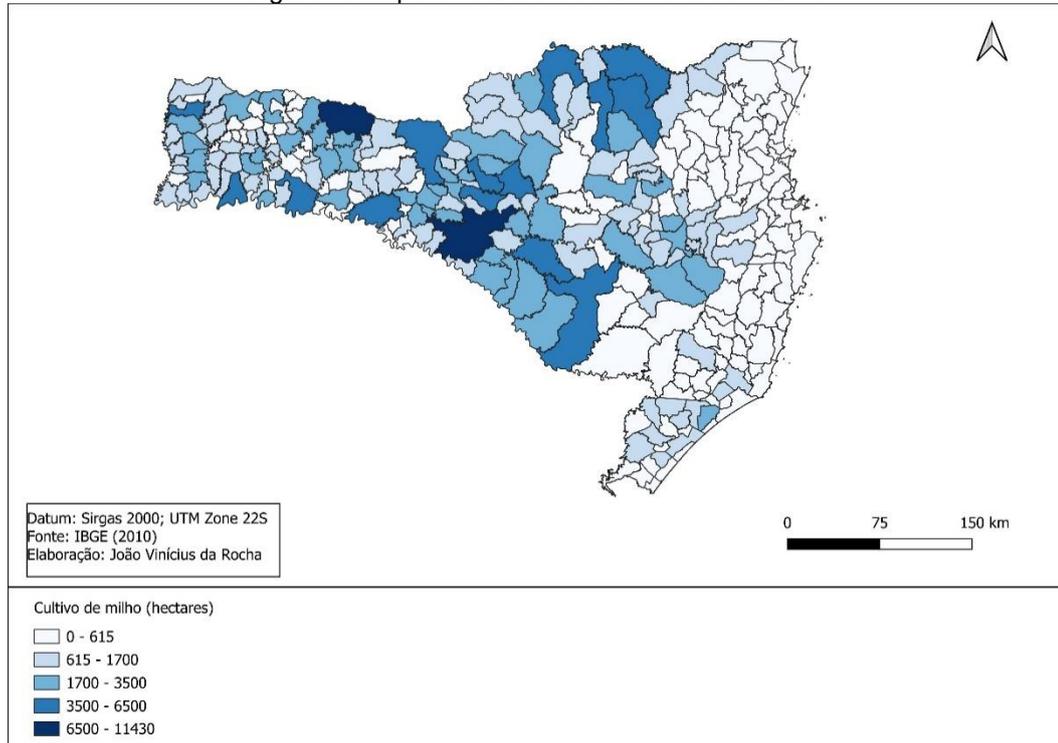
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 6: Mapa do cultivo de soja em SC - 2010



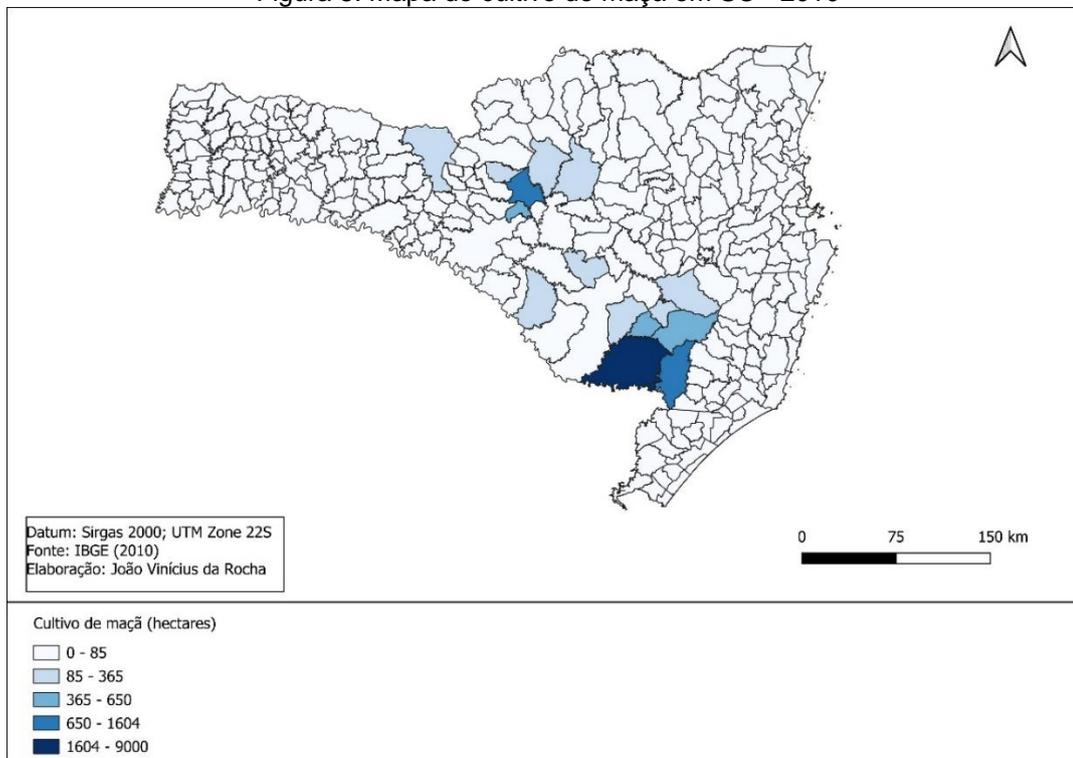
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 7: Mapa do cultivo de milho em SC - 2010



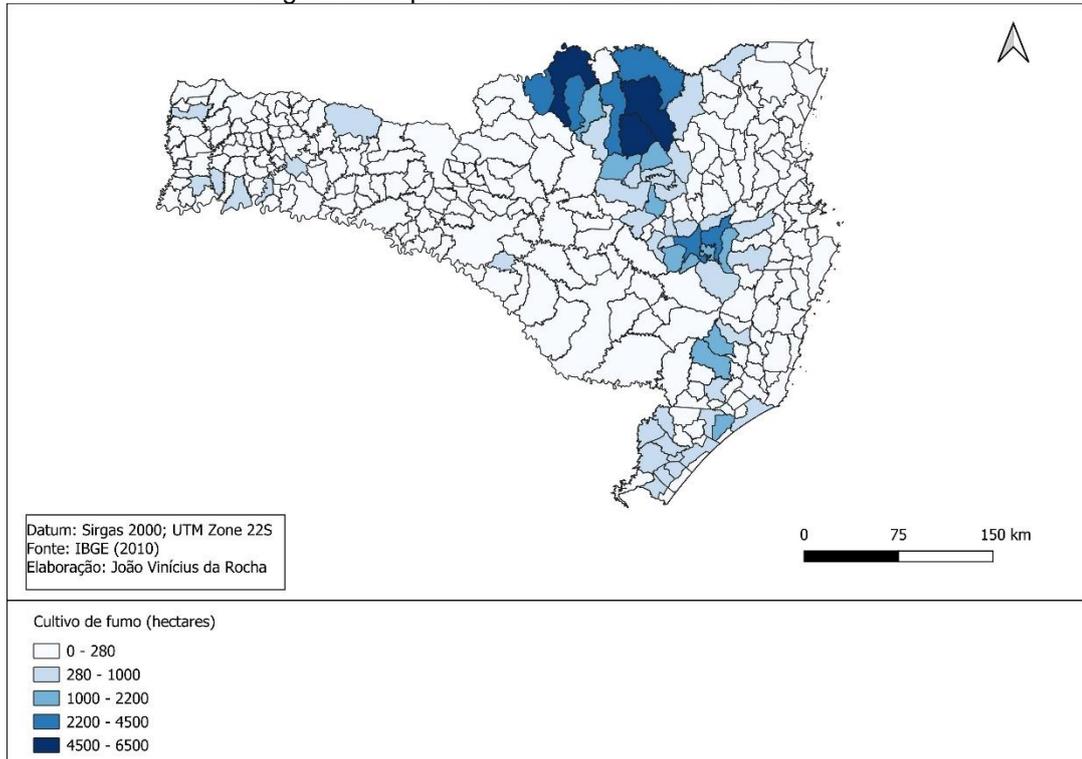
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 8: Mapa do cultivo de maçã em SC - 2010



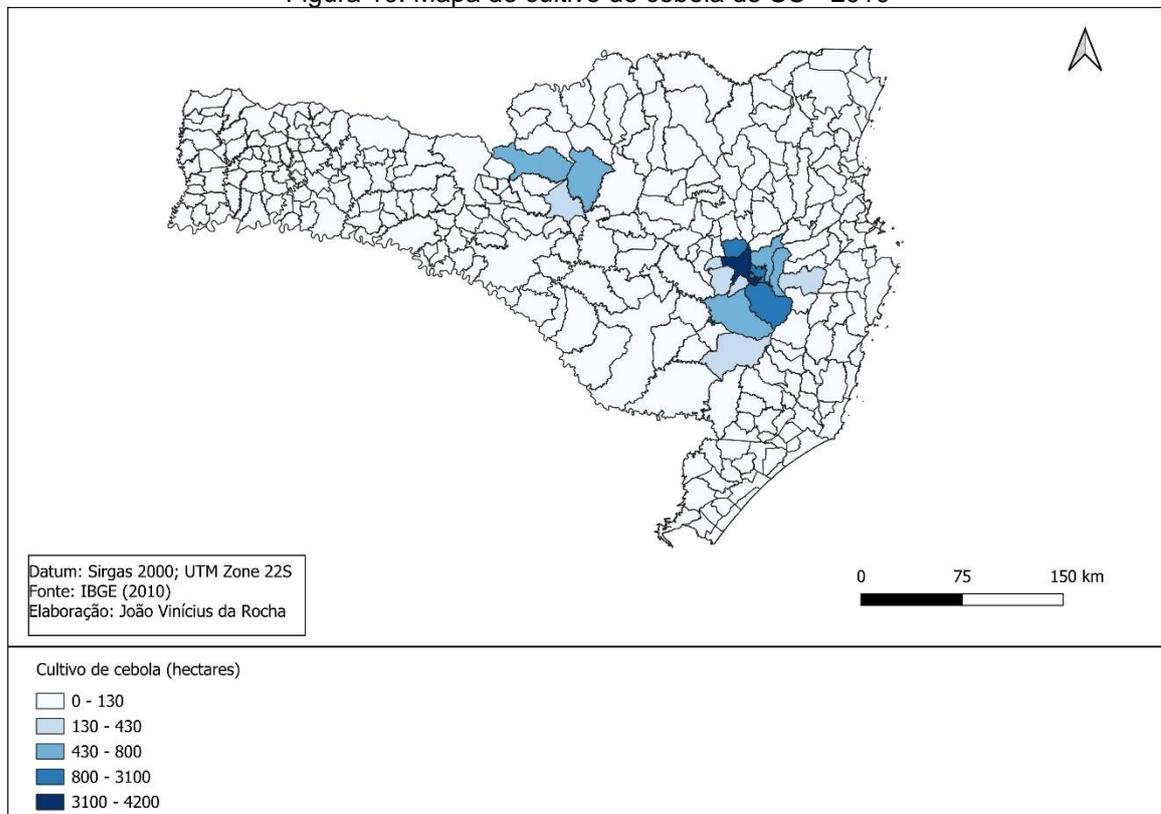
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 9: Mapa de cultivo de fumo em SC - 2010



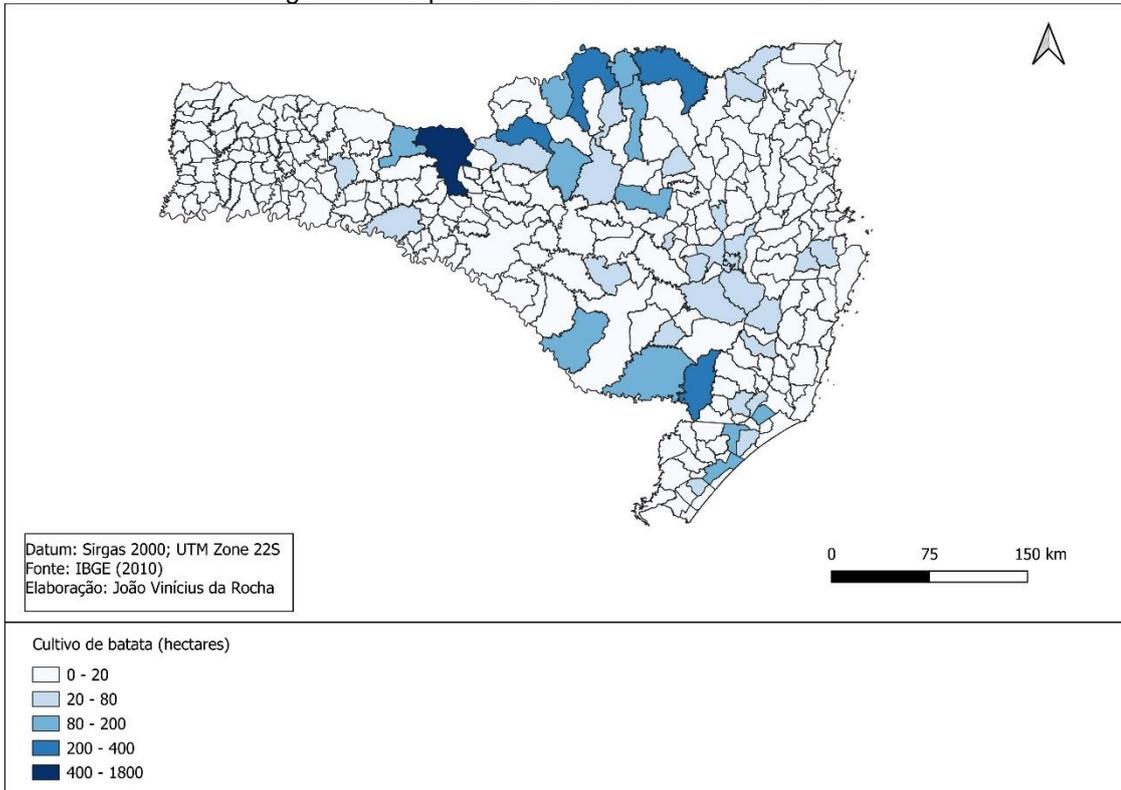
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 10: Mapa de cultivo de cebola de SC - 2010



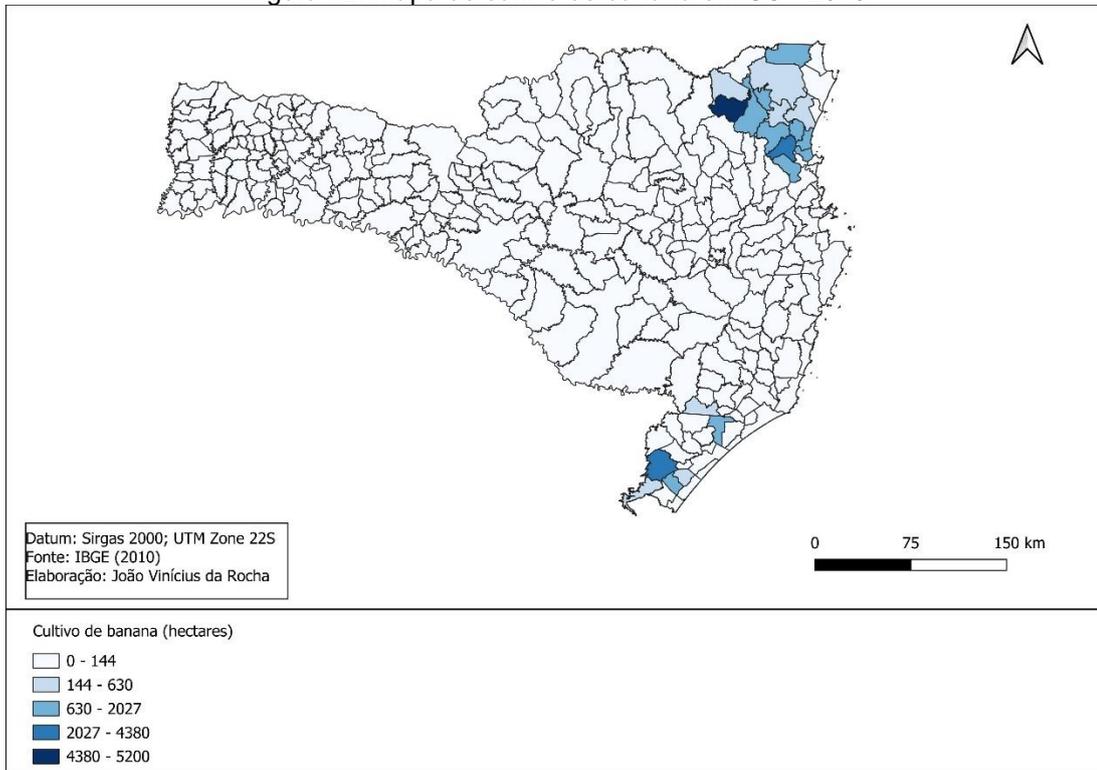
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 11: Mapa de cultivo de batata em SC - 2010



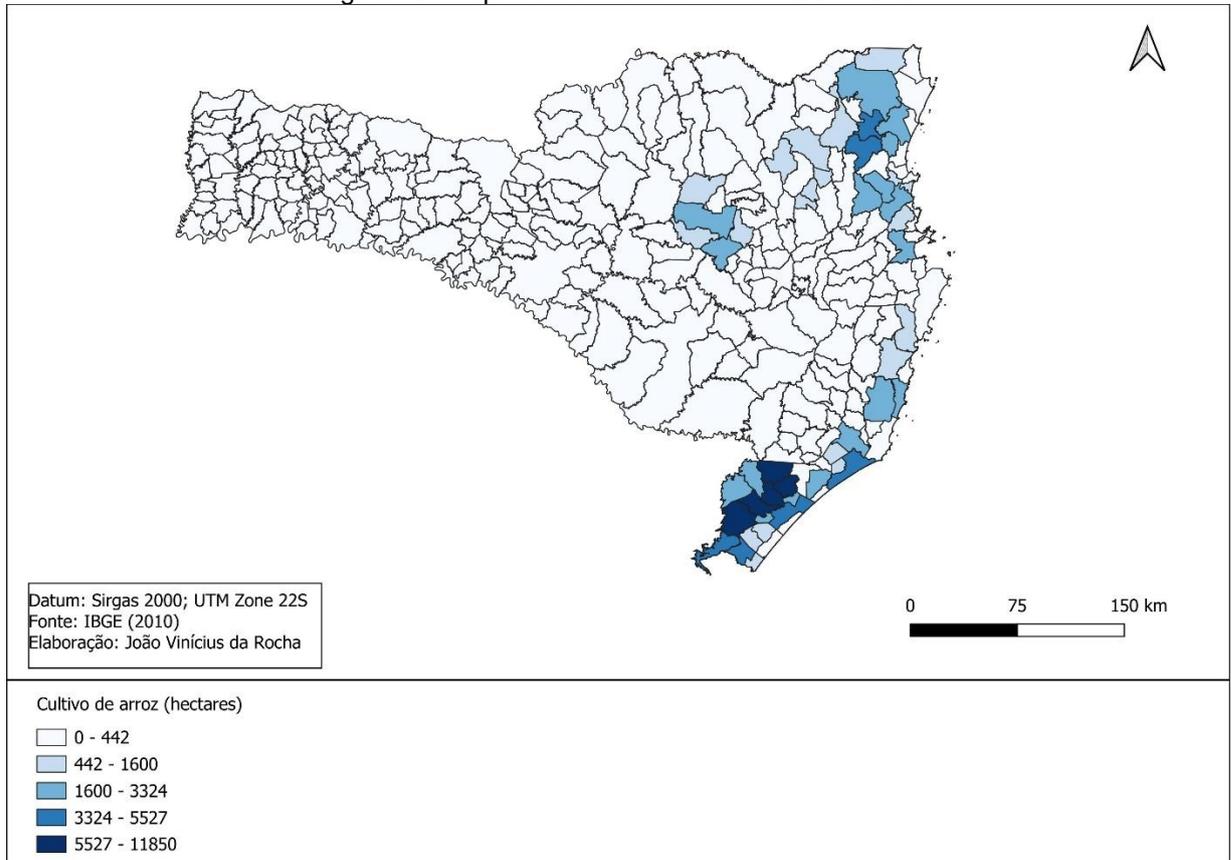
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 12: Mapa de cultivo de banana em SC - 2010



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

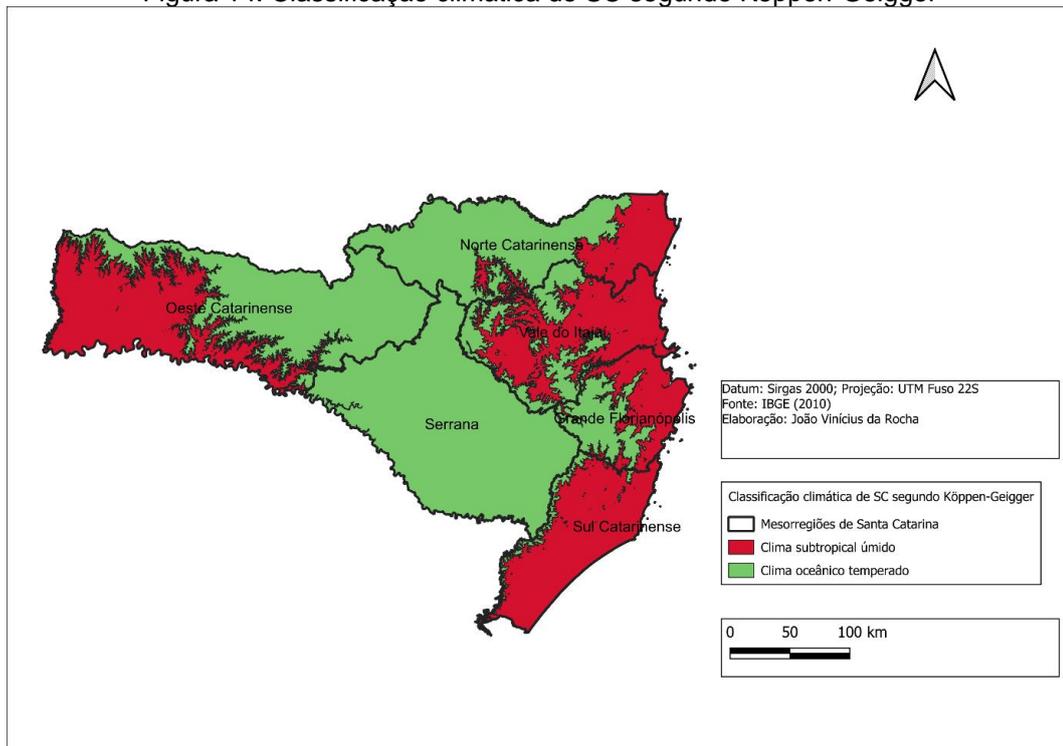
Figura 13: Mapa de cultivo de arroz em SC - 2010



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Com relação ao clima de Santa Catarina, é possível defini-lo de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger. Esta classificação é baseada principalmente na quantidade e distribuição de precipitação e temperatura, anual e mensal (Cardoso *et al.*, 2015). Conforme verificado na Figura 14 o estado de Santa Catarina enquadra-se em duas classificações climáticas, de acordo com a metodologia de Köppen-Geiger, sendo elas: Clima subtropical úmido e clima oceânico temperado.

Figura 14: Classificação climática de SC segundo Köppen-Geiger



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

De acordo com esta classificação, para o Clima Subtropical Úmido, as chuvas são bem distribuídas ao longo do ano, sem a ocorrência de uma estação seca definida, com verões quentes cuja temperatura média é de 22°C no mês mais quente e os invernos são moderados. Para o Clima Oceânico Temperado, ocorre a presença de chuvas regulares e bem distribuídas durante o ano, verões frescos onde a temperatura média normalmente fica abaixo de 22 °C no mês mais quente e os invernos são mais frios, em comparação com o Clima Subtropical Úmido. Setzer (1966, *apud Cardoso et al., 2015*) criou um quadro classificatório de cada tipo de clima, segundo Köppen-Geiger. Este quadro é apresentado na Figura 15 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** abaixo:

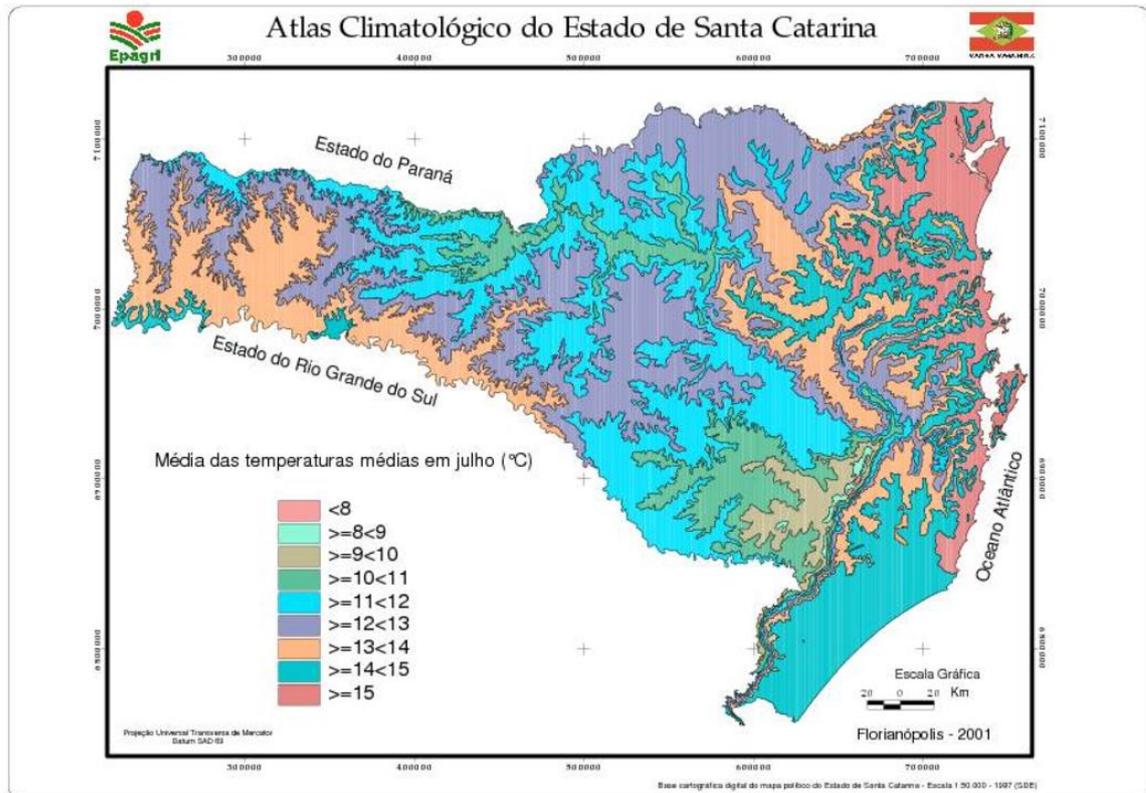
Figura 15: Quadro de classificação Climática de Köppen elaborada por Setzer

Temperatura média Normal		Total de chuva do mês mais seco (Pms)	Total de chuva anual (P)	Descrição do Tipo de Clima segundo Köppen (Climas Úmidos)		Símbolo	
do mês mais frio	do mês mais quente						
≥ 18°C	≥ 22°C	≥ 60mm	< 2500 - 27,27. Pms	TROPICAL	sem estação seca	Af	
		< 60mm			≥ 2500 - 27,27. Pms	TROPICAL com chuvas excessivas	Inverno Seco
			< 30mm		SUBTROPICAL	Quente	Inverno Seco
		Temperado				Cwa	
≥ 22°C	Quente	sem estação seca	Cfb				
< 22°C	Temperado		Cfa				

Fonte: Setzer (1966, *apud* Cardoso *et al.*, 2015)

Ainda a respeito do clima do estado, a EPAGRI, através do seu acervo de mapas, apresenta um material detalhado com as médias anuais de temperatura (em °C) para o estado de Santa Catarina. Segundo a EPAGRI, o mês mais frio do estado é o mês de Julho, onde, na região Serrana por exemplo, as temperaturas médias podem ficar entre 7°C e 9°C, conforme apresentado na imagem a seguir:

Figura 16: Média das temperaturas média do mês de Julho em SC



Fonte: EPAGRI (2001)

A partir da quantificação da população rural de cada mesorregião de Santa Catarina, foi possível estimar a produção de lodo diária e anual, a título de relativização, em um cenário onde todos os domicílios rurais de Santa Catarina utilizassem fossas sépticas. Segundo a NBR 17.076 (ABNT, 2024), a geração de lodo fresco per capita diária é de 1 litro. Considerando a temperatura média do mês mais frio do ano em cada mesorregião de Santa Catarina, têm-se que em todo o estado as temperaturas enquadram-se entre 10°C e 20°C, com exceção da Serra Catarinense, que apresenta temperaturas menores ou iguais a 10°C.

Sendo assim, levando-se em consideração um intervalo de limpeza da fossa de 1 ano, a tabela A.2 da NBR 17.076 (2024) estipula os valores da Taxa de Acumulação total de lodo (K), em dias, por intervalo entre limpezas e temperatura do mês mais frio. Para os parâmetros supracitados, o K para a Serra Catarinense seria de 94 dias enquanto para as demais regiões seria de 65 dias.

Multiplicando-se o número de habitantes de cada mesorregião, pela geração de lodo per capita diária e pela taxa de acumulação total do lodo têm-se o volume de lodo digerido anual, passível de retirada do tanque séptico pela coleta programada,

em cada mesorregião de Santa Catarina. Este cálculo é descrito na equação abaixo e os resultados encontrados são expressos Tabela 9 e na Figura 17.

$$V = N * K * Lf$$

Em que:

- V= Volume de lodo digerido a ser retirado do tanque séptico (L)
- N= Número de habitantes
- K= Taxa de acumulação total de Lodo
- Lf= Contribuição diária de Lodo Fresco (L/habitante)

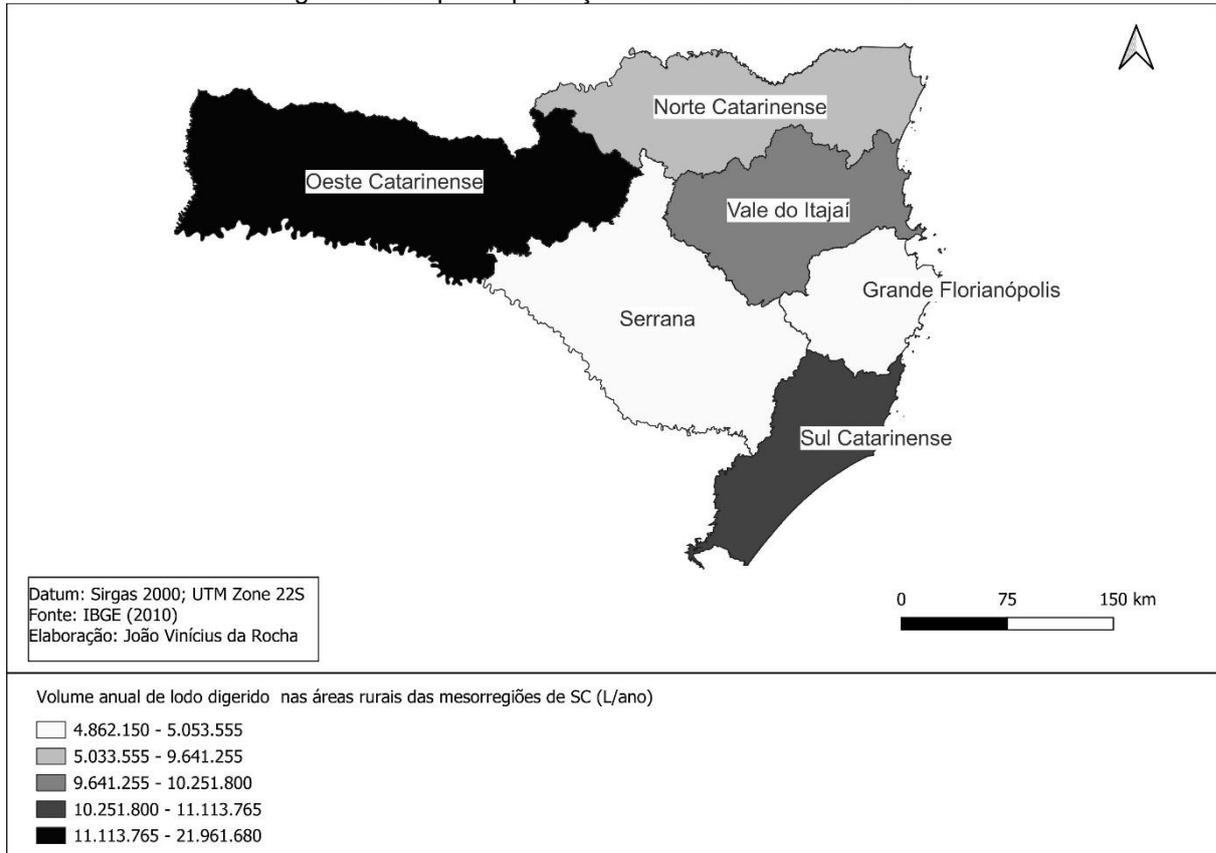
Conforme mencionado anteriormente, o Oeste Catarinense, por ser a mesorregião com maior número de habitantes rurais, destacou-se como a região com o maior volume de lodo digerido em fossas sépticas, totalizando 337.872,00 litros diariamente, o que equivale a 21.961.680,00 litros por ano em áreas rurais. Em contrapartida, a região Serrana apresentou os menores volumes, com 51.725,00 litros diários e 4.862.150 litros anuais. Considerando esses parâmetros, os domicílios rurais em Santa Catarina são responsáveis pela produção de aproximadamente 62.704.205 litros de lodo digerido por ano

Tabela 9: Volume de lodo digerido em mesorregiões de SC - 2010

Mesorregião	Volume diário de lodo gerado (L)	Volume anual de lodo gerado (L)
Oeste Catarinense	337.872	21.961.680
Sul Catarinense	170.981	11.113.765
Vale do Itajaí	157.720	10.251.800
Norte Catarinense	148.327	9.641.255
Grande Florianópolis	77.747	5.053.555
Serrana	51.725	4.862.150

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 17: Mapa de produção de lodo anual de SC - 2010



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Através das malhas de setores censitários do IBGE (2010) foi possível identificar as principais formas de disposição e tratamento descentralizado de esgotamento sanitário no lote em áreas rurais, sendo elas: Fossas sépticas; fossas rudimentares e valas. A análise levou em consideração o número de domicílios particulares permanentes do tipo casa, casa de vila ou condomínio e apartamentos com banheiro (ou sanitário) de uso exclusivo dos moradores localizados em áreas rurais em cada mesorregião de Santa Catarina.

É importante observar que as fossas rudimentares e sépticas são as tecnologias de tratamento de efluentes mais utilizadas nas regiões ruralizadas do estado. O Vale do Itajaí e Sul Catarinense configuram-se como as mesorregiões com o maior número de domicílios que fazem uso de fossas sépticas como forma de tratamento de efluentes. Já o Norte Catarinense e o Oeste apresentam-se como as áreas com a maior quantidade de domicílios que fazem uso de fossas rudimentares. Este dado pode ser um alerta, visto que a região Oeste é a maior produtora do lodo no estado e ao mesmo tempo é a região que mais utiliza fossas rudimentares, as quais operam a margem das normativas impostas pela NBR 17.076 (2024).

Há ainda a disposição de efluentes em corpos hídricos como rios e lagos, sendo que, observou-se que tal maneira de disposição é mais comumente utilizada no Vale do Itajaí, Grande Florianópolis e Sul catarinense, mesorregiões com maior proximidade ao litoral do estado. Já as valas são mais utilizadas no Vale do Itajaí e na Grande Florianópolis. A Tabela 10 e a Tabela 11, bem como as Figuras 20, 21, 22 e 23 sintetizam os dados observados.

Diante deste cenário, é possível fazer-se um contraponto com relação a relativização feita através do cálculo do volume do lodo gerado anualmente nas áreas rurais de Santa Catarina. O cálculo em questão, conforme citado anteriormente, foi elaborado considerando-se que todos os domicílios utilizam fossas sépticas e seguem as normativas impostas para a implantação e operação desta tecnologia. No entanto, é possível observar que boa parte do lodo calculado anteriormente é gerado não somente por fossas sépticas, mas também por outras tecnologias de tratamento de efluentes que não são operadas dentro dos padrões regulamentados por norma técnica, o que pode ocasionar em riscos ambientais e de saúde pública.

A realidade que se apresenta é que, dos 288.011 domicílios rurais de Santa Catarina verificados no censo do IBGE (2010), 44,6% utilizam fossas sépticas como forma de tratamento de efluentes enquanto que 55,4% utilizam formas de disposição e tratamento irregulares. Os gráficos apresentados na Figura 18 e Figura 19 sintetizam esses dados.

Tabela 10: Tratamento de efluentes utilizado nos domicílios rurais catarinenses por mesorregião - 2010

Mesorregião	Tipo de tratamento	Nº de domicílios
Oeste Catarinense	Fossas sépticas	23.750
	Fossas rudimentares	70.534
	Valas	2.234
	Disposição em corpo hídrico	239
Norte Catarinense	Fossas sépticas	19.797
	Fossas rudimentares	19.610
	Valas	1.990
	Disposição em corpo hídrico	341
Serrana	Fossas sépticas	9.131
	Fossas rudimentares	8.931
	Valas	3.018
	Disposição em corpo hídrico	395
Vale do Itajaí	Fossas sépticas	31.560
	Fossas rudimentares	12.775
	Valas	5.811
	Disposição em corpo hídrico	3.052
Grande Florianópolis	Fossas sépticas	13.361
	Fossas rudimentares	5.692
	Valas	3.033
	Disposição em corpo hídrico	1.716
Sul Catarinense	Fossas sépticas	30.933
	Fossas rudimentares	16.275
	Valas	2.763
	Disposição em corpo hídrico	1.070

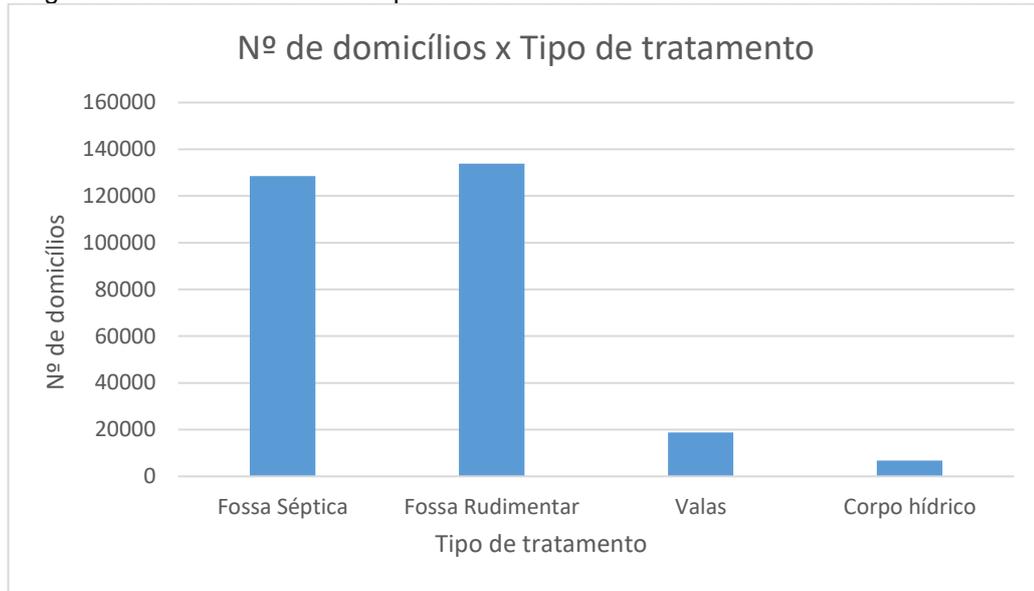
Fonte: Elaborado pelo autor (2024) com base no IBGE (2010).

Tabela 11: Valores totais dos tipos de tratamento utilizados nos domicílios rurais catarinenses - 2010

Tipo de tratamento	Nº de domicílios
Fossas sépticas	128.532
Fossas rudimentares	133.817
Valas	18.849
Disposição em corpo hídrico	6.813

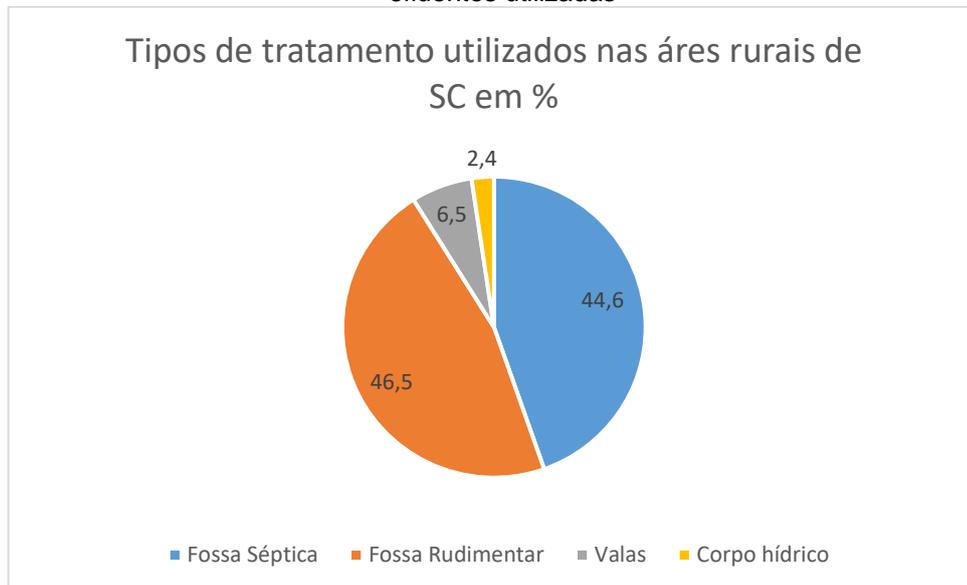
Fonte: Elaborado pelo autor (2024) com base no IBGE (2010).

Figura 18: Nº de domicílios x Tipo de tratamento de efluentes nas áreas rurais de SC



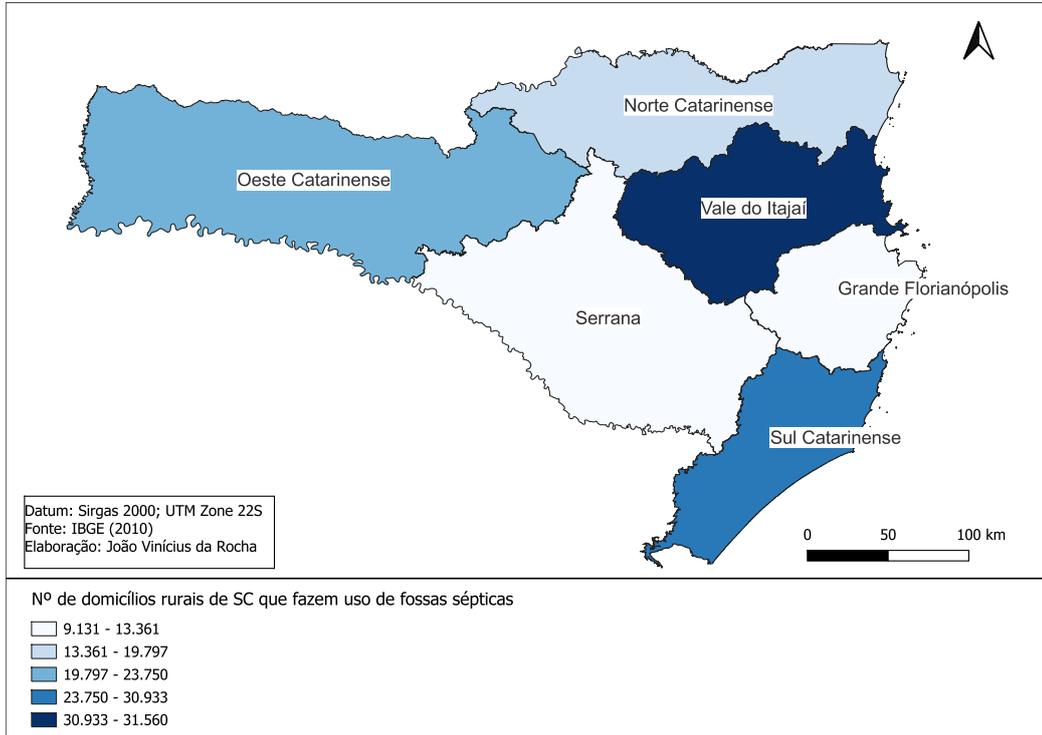
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 19: Porcentagem do número de domicílios rurais em relação as tecnologias de tratamento de efluentes utilizadas



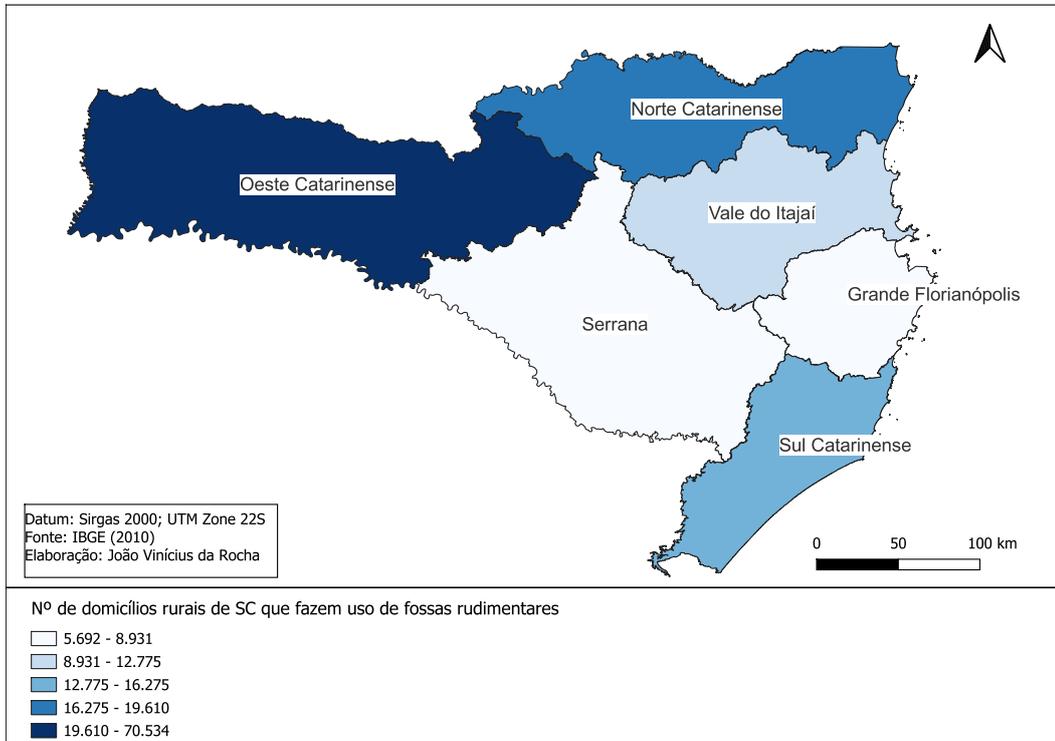
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 20: Mapa do nº de domicílios rurais que utilizam fossas sépticas nas mesorregiões de SC - 2010



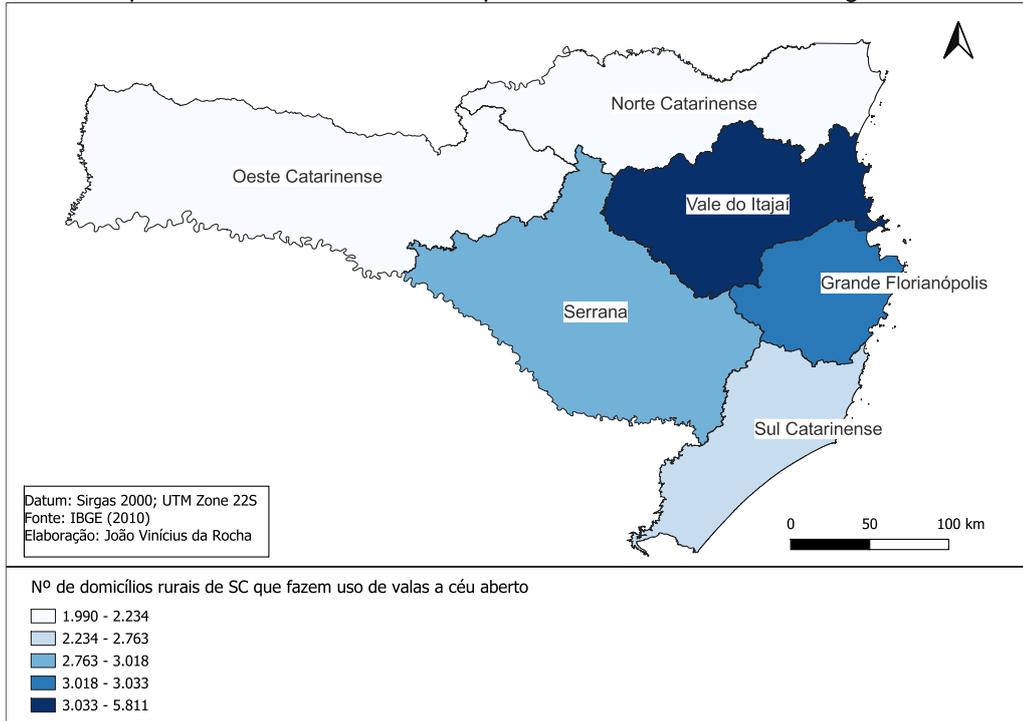
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 21: Mapa do nº de domicílios rurais que utilizam fossas rudimentares nas mesorregiões de SC - 2010



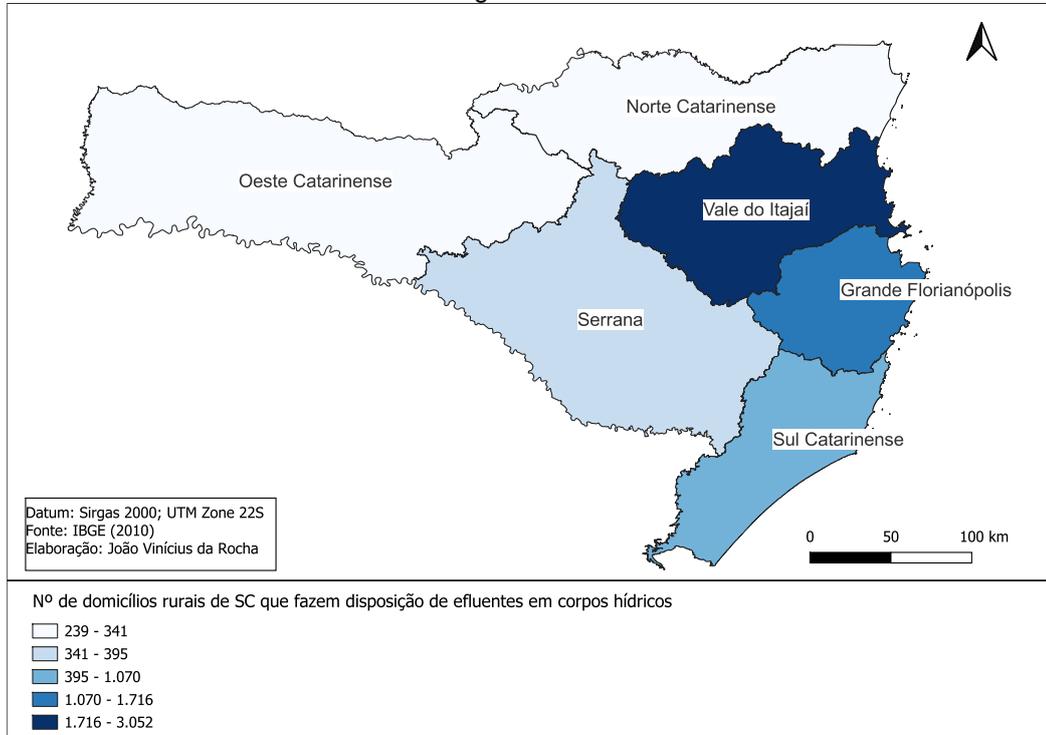
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 22: Mapa do nº de domicílios rurais que utilizam valas nas mesorregiões de SC - 2010



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 23: Mapa do nº de domicílios rurais que despejam efluentes em corpos hídricos nas mesorregiões de SC - 2010



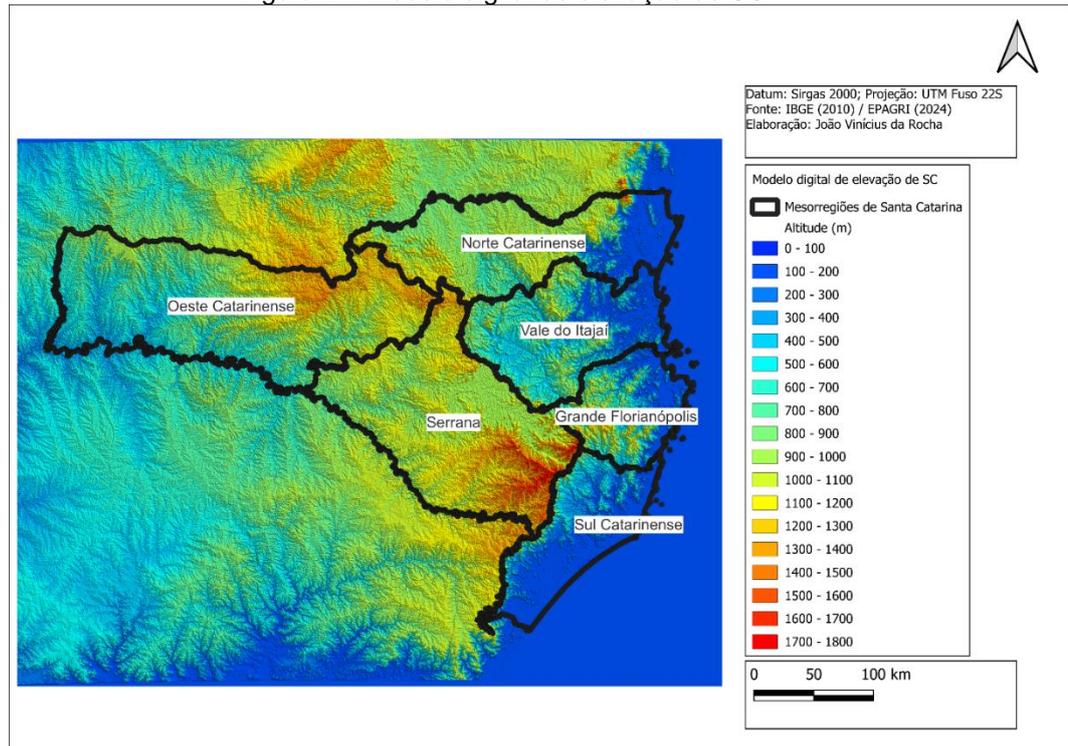
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Por meio do mapa de modelos digitais de elevação, apresentado na Figura 24 é possível ter um panorama geral das características topográficas de Santa Catarina.

É possível perceber que o estado apresenta elevações diversas em toda a sua extensão, com regiões localizadas no nível do mar, como é o caso da região litorânea do estado.

Em contrapartida, existem áreas que podem chegar a 1.800m de altitude, como na região norte da Serra e em algumas áreas do Centro-Oeste catarinense.

Figura 24: Modelo digital de elevação de SC



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

5.2 SELEÇÃO DOS ARTIGOS E ESTUDOS PARA EMBASAR A PROPOSIÇÃO DAS DIRETRIZES

Seguindo a metodologia descrita no tópico 4.2, para as buscas das palavras-chaves em inglês, obteve-se um retorno de 9.891 artigos na base de dados Scopus e 57 artigos na base Scielo. Já para as buscas dos termos em português, obteve-se 30.339 resultados encontrados no Google Acadêmico. Somando-se as três bases de dados utilizadas para a elaboração da revisão sistemática, têm-se um total de 40.230 artigos encontrados. As tabelas 12, 13 e 14 apresentam os termos utilizados para as buscas nas bases de dados.

Tabela 12: Resultados das buscas feitas em inglês na base Scopus

Palavra-chave (ENG)	Resultados	Artigos com palavra chave no título e resumo
Sludge treatment on-site in rural areas	37	3
Sludge treatment on-site	760	0
Sludge management in rural areas	234	1
Septic tank sludge	442	20
Septic tank sludge treatment in rural	30	0
Sludge management regulations	960	0
Sludge policy treatment	661	0
Agriculture and sewage sludge	2788	39
Final disposal of sludge	1289	1
Final disposal of sanitary sludge on-site	2	0
Guidelines for sludge management	347	1
Guidelines for on-site sludge	13	1
On-site sludge treatment technologies	208	0
On-site sludge management	413	3
On-site sludge management in rural areas	0	0
Faecal sludge management	751	58
On site faecal sludge management	0	0
Faecal sludge of septic tank	140	3
Faecal sludge management in rural areas	37	1

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024

Tabela 13: Resultados das buscas feitas em inglês na base Scielo

Palavra-chave (ENG)	Resultados	Artigos com palavra chave no título e resumo
Sludge treatment on-site in rural areas	0	0
Sludge treatment on-site	0	0
Sludge management in rural areas	0	0
Septic tank sludge	6	3
Septic tank sludge treatment in rural areas	0	0
Sludge management regulations	2	0
Sludge policy treatment	0	0
Agriculture and sewage sludge	0	0
Final disposal of sludge	43	1
Final disposal of sanitary sludge on-site	0	0
Guidelines for sludge management	2	0
Guidelines for on-site sludge management	0	0
On-site sludge treatment technologies	1	0
On-site sludge management	1	0
On-site sludge management in rural areas	0	0
Faecal sludge management	1	0
On site faecal sludge management	0	0
Faecal sludge of septic tank	1	0
Faecal sludge management in rural areas	0	0

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024

Tabela 14: Resultados das buscas feitas em português

Palavra-chave (PT-BR)	Base	Resultados	Artigos com palavras-chave no título e resumo
Tratamento do lodo no lote em áreas rurais	Google acadêmico	8	0
Tratamento do lodo no lote	Google acadêmico	23	0
Gestão do lodo em áreas rurais	Google acadêmico	35	0
Lodo de fossa séptica	Google acadêmico	1920	3
Tratamento do lodo de fossa séptica em áreas rurais	Google acadêmico	638	0
Normas para gestão do lodo	Google acadêmico	197	0
Políticas do tratamento de lodo	Google acadêmico	382	1
Agricultura e lodo de esgoto	Google acadêmico	9800	25
Disposição final do lodo de esgoto	Google acadêmico	3540	6
Disposição final do lodo sanitário no lote	Google acadêmico	0	0
Diretrizes para o manejo do lodo	Google acadêmico	6070	0
Diretrizes para o manejo do lodo no lote	Google acadêmico	931	0
Tecnologias para o tratamento do lodo no lote	Google acadêmico	256	0
Manejo do lodo no lote	Google acadêmico	241	0
Manejo do lodo no lote em áreas rurais	Google acadêmico	145	0
Manejo de lodo fecal	Google acadêmico	4900	0
Manejo de lodo fecal no lote	Google acadêmico	762	0
lodo fecal de fossa séptica	Google acadêmico	481	0
Manejo de lodo fecal no lote em áreas rurais	Google acadêmico	10	0

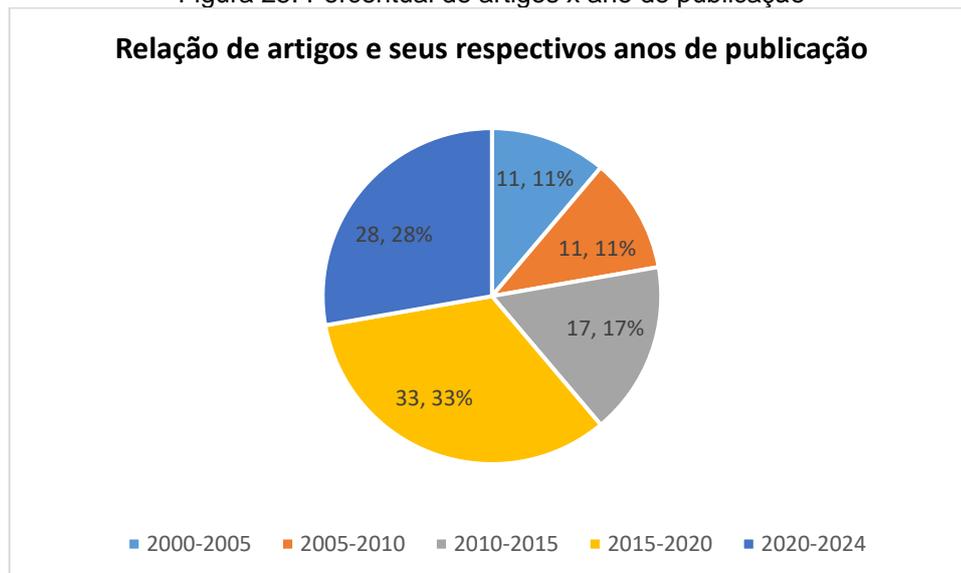
Fonte: Elaborado pelo autor, 2024

No entanto, considerando o segundo critério de exclusão adotado para esta revisão sistemática, que filtra somente artigos que apresentam as palavras-chaves tanto no título quanto no resumo, o número de resultados, somando-se as três bases de dados citadas anteriormente, cai drasticamente para 178 artigos encontrados. Por fim, fez-se a leitura dos resumos dos 178 artigos encontrados e excluiu-se aqueles

que abordavam a gestão do lodo no ambiente urbano e em Estações de Tratamento de Água, avaliando-se então somente aqueles que possuíam maior afinidade com o tema deste trabalho, ou seja, artigos e trabalhos que abordam diretrizes, guias e estudos a respeito da gestão do lodo oriundo de tratamento de efluentes no lote em áreas rurais. Nas buscas, foi possível observar um grande acervo de pesquisas que tratam a questão do gerenciamento do lodo em sistemas descentralizados de esgotamento sanitário, porém para áreas urbanas. Em contraste, para as áreas rurais, notou-se que existem menos artigos ou guias completos acerca deste tema. Sendo assim, após esta avaliação, selecionou-se um total de 18 artigos que possuíam maior relevância para o trabalho.

O gráfico a seguir representa uma relação dos 18 artigos selecionados com seus respectivos anos de publicação.

Figura 25: Percentual de artigos x ano de publicação



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024

A seguir, apresenta-se uma tabela que descreve, de forma resumida, o assunto abordado nos 18 artigos selecionados para compor as diretrizes de boas práticas para o manejo de lodo proveniente de sistemas de tratamento de esgotos no lote em domicílios rurais, com vistas ao estado de Santa Catarina.

Tabela 15: Descrição resumida dos artigos selecionados

(continua)

Título	Caderno didático/Técnico para curso de gestão de Sistemas de Esgotamento Sanitário em áreas rurais do Brasil
Autor (es)	FUNASA
Ano	2020
País	Brasil
Descrição resumida do artigo	O curso técnico desenvolvido pela Funasa auxilia gestores municipais e técnicos na gestão da infraestrutura de esgotamento sanitário em áreas rurais do Brasil. Os exemplos de questões abordadas incluem tipos de esgoto e níveis de tratamento (do primário ao terciário), além do uso de tecnologias apropriadas, como tanques sépticos e reatores anaeróbios. O curso também promove um plano multiescalar e um modelo de gestão coletiva, que envolvem a comunidade e autoridades locais para garantir a continuidade dos serviços. Além disso, o plano chama a atenção para a necessidade de participação comunitária e da contextualização das soluções às necessidades urbanas da população.
Título	Destinação e reuso na agricultura do lodo de esgoto derivado do tratamento de águas residuárias domésticas no Brasil.
Autor (es)	Michelle M. Rigo; Rafaela R. Ramos; Alexandre A. Cerqueira; Paulo Sérgio A. Souza; Mônica Regina C. Marques
Ano	2014
País	Brasil
Descrição resumida do artigo	O artigo discute o reuso do lodo de esgoto na agricultura no Brasil, destacando seus benefícios para a produtividade das culturas e a melhoria do solo, além de minimizar impactos ambientais. Os autores enfatizam a importância de seguir a legislação brasileira, como a Política Nacional de Resíduos Sólidos, para garantir práticas sustentáveis. O texto também menciona a necessidade de mais estudos sobre as propriedades do lodo e suas aplicações. A relação entre saneamento básico e saúde pública é abordada, ressaltando avanços e desafios na gestão de resíduos. Em suma, o reuso do lodo é apresentado como uma alternativa viável e sustentável.
Título	Dewatering of septic tank sludge in alternative sludge drying bed.
Autor (es)	Denise Vazquez Manfio; Adriano Luiz Tonetti; David Matta
Ano	2018
País	Brasil
Descrição resumida do artigo	Este artigo analisa a eficiência de leitos de secagem para remover água do lodo de fossa séptica, comparando leitos convencionais com leitos que possuem pavimento permeável. O estudo mostra que os leitos com pavimento permeável permitem a infiltração de água 37,4% mais rápido, o que significa que o lodo seca mais rápido e exige menos espaço para o leito. A adição de um polímero sintético acelerou o processo sem alterar o teor de sólidos do lodo. O pavimento permeável pode ser reutilizado, mas precisa ser bem lavado. Os resultados indicam uma maneira prática e eficaz de manejar o lodo em áreas descentralizadas.
Título	Bridging the rural–urban divide in sanitation with a cluster-based approach to faecal sludge management: a case study from Dhenkanal district in Odisha, India.
Autor (es)	Shipra Saxena; Narendra Singh Chouhan; Sujoy Mojumdar; Monika Oledzka Nielsen; Swathi Manchikanti; Anindita Mukherjee; Neha Agarwal; Megha Rani; Anwesa Dutta; Rajendran Vignesh and Jeffrey P. Walters
Ano	2022
País	Índia

(continua)

Descrição resumida do artigo	O artigo apresenta uma nova abordagem para o manejo de lodo fecal (FSM) em áreas rurais, testada no distrito de Dhenkanal, em Odisha, Índia, por meio da integração de sistemas de esgotamento sanitário entre as áreas urbanas e rurais, resultando na coleta e tratamento seguro de 278 quilolitros de lodo fecal em apenas cinco meses. Os pesquisadores avaliaram 1.000 domicílios rurais para medir o interesse nos serviços de gestão de lodo fecal e descobriram que muitos habitantes estão dispostos a usá-los. O estudo também destaca que uma boa governança e capacitação são essenciais para uma gestão eficiente do lodo no lote em áreas rurais. O objetivo dos pesquisadores deste artigo é expandir este modelo para outros distritos, mas há necessidade de melhorar o monitoramento de dados e obter mais apoio governamental. A cooperação entre governos locais é fundamental para garantir a sustentabilidade das soluções de saneamento.
Título	A gestão de lodos de fossas sépticas: Uma abordagem por meio da análise multiobjetivo e multicritério.
Autor (es)	Bernardo Souza Cordeiro
Ano	2010
País	Brasil
Descrição resumida do artigo	Cordeiro, em seu trabalho, aborda a gestão dos lodos de fossas sépticas, sugerindo uma abordagem pautada em métodos de análise multiobjetivo e multicritério. Para o autor, é importante a realização de um planejamento assertivo para que a gestão do lodo possa ser feita com eficiência, sobretudo em países onde os recursos de saneamento são limitados. Por este motivo, o autor enfatiza a importância de se otimizar gastos e, ao mesmo tempo, buscar ações benéficas a população e ao meio ambiente.
Título	Lodo de fossa e tanque séptico: Caracterização, tecnologias de tratamento, gerenciamento e destino final
Autor (es)	PROSAB
Ano	2009
País	Brasil
Descrição resumida do artigo	Esta publicação trata a problemática do lodo oriundo de fossas sépticas no Brasil, apontando algumas definições, histórico e apresentando um cenário futuro quanto a geração desses resíduos. Ademais, o documento também aborda metodologias para auxiliar a tomada de decisão na escolha dos sistemas de gestão do lodo. O objetivo do estudo é servir de orientação para políticas públicas, além de trazer à tona o debate sobre saneamento ambiental e gestão do lodo de fossas sépticas.
Título	Guidelines and Regulations for Fecal Sludge Management from On-site Sanitation Facilities.
Autor (es)	Nilanthi Jayathilake; Pay Drechsel; Bernard Keraita; Sudarshana Fernando and Munir A. Hanjra (†).
Ano	2019
País	Sri Lanka
Descrição resumida do artigo	O documento aponta diretrizes cruciais para a gestão do lodo fecal em sistemas de saneamento descentralizados, definindo os papéis dos atores envolvidos em todo o processo. Ademais, o guia também aborda as regulamentações para a coleta, transporte, tratamento e disposição do lodo em áreas afastadas de países com baixa ou média renda.
Título	Sludge treatment and reuse as soil conditioner for small rural communities.
Autor (es)	Inping Kuai; Farida Doulam; Willy Verstraete.
Ano	2000
País	Bélgica
Descrição resumida do artigo	O artigo aborda um método para o tratamento de lodo de esgoto em pequenas comunidades rurais. O tratamento consiste na utilização de um material superabsorvente para transformar o lodo doméstico primário em um condicionador de solo. O resultado do tratamento é um material com alta qualidade higiênica, rico em nutrientes e com propriedades melhoradas do solo. Ademais, os autores realizaram testes em estufa com milho e verificaram um crescimento considerável das plantas.

(continua)

Título	Treatment of septic tank sludge in a vertical low constructed wetland system.
Autor (es)	Cynthia F. Andrade; Marcos Von Sperling; Elias S. Manjate
Ano	2017
País	Brasil
Descrição resumida do artigo	O artigo aborda o tratamento de lodo de tanque séptico em um sistema de <i>wetlands</i> construídos de fluxo vertical, realizado no Centro de Pesquisa e Treinamento em Saneamento da UFMG. Os autores verificaram boa eficácia do sistema na remoção de matéria orgânica e nitrogenada e consideram ser uma solução compacta, de baixo custo e sustentável a longo prazo, sendo especialmente relevante para áreas rurais onde sistemas descentralizados de tratamento de efluentes são comumente utilizados.
Título	Use of septic tank sludge as raw material in the manufacture of bricks.
Autor (es)	INGUNZA, María del Pilar Durante; LIMA, Andressa Dantas; André Luis Calado Araújo
Ano	2013
País	Brasil
Descrição resumida do artigo	O artigo faz uma análise a respeito da viabilidade do uso de lodo tratado de fossa séptica como matéria-prima na fabricação de tijolos cerâmicos, sendo uma alternativa para sua disposição final. Através da adição de 6,5% de lodo em uma mistura de argilas, resultou-se na produção de 500 tijolos. Os autores realizaram testes de resistência à compressão, absorção e água e lixiviação e atestaram que os tijolos atendem às normas brasileiras, além de não apresentarem riscos sanitários.
Título	Constructed wetland for septic tank sludge management: drained water quality under different operating strategies on a bench-scale experiment.
Autor (es)	Wagner Alex dos Santos, Gabriela Anzanello Rodrigues, Marcus Soares, Raphae Corrêa Medeiros, Samara Terezinha Decezar
Ano	2024
País	Brasil
Descrição resumida do artigo	O artigo apresenta um estudo a respeito da gestão de lodo de tanque séptico utilizando Unidades de Gestão de Lodo Wetlands (UGLW) plantadas com <i>Canna x Generalis</i> . Os experimentos foram realizados em escala de bancada, entretanto, os resultados apontaram altas eficiências de remoção de poluentes, com até 98% de remoção do nitrogênio total. Os autores acreditam que o uso de UGLW é uma alternativa possível para o tratamento do lodo em sistemas descentralizados de tratamento de esgoto, como ocorre em áreas rurais.
Título	Business models for fecal sludge management in India
Autor (es)	Rao, K.C.; Velidandla, S.; Scott, C.L.; Drechsel, P.
Ano	2020
País	Índia
Descrição resumida do artigo	O artigo, desenvolvido na Índia, aponta que, no mundo, 50% da população depende de Sistemas de Saneamento In-Situ, como fossas sépticas, demandando soluções para gestão de lodo destas tecnologias. Na Índia, o programa Swachh Bharat Mission construiu mais de 100 milhões de banheiros entre 2014 e 2019, mas a gestão do lodo é crucial para a continuidade do uso. Apesar do baixo custo e rápida implantação de técnicas de gestão do lodo, desafios incluem descarte inapropriado e financiamento insuficiente. O relatório analisa modelos de negócios aplicados a gestão do lodo, destacando a predominância de operadores informais e a necessidade de apoio público para tratamento sustentável. Políticas e parcerias público-privadas são essenciais para ampliar a gestão do lodo e atingir metas globais de saneamento.

(continua)

Título	Effective faecal sludge management measures for on-site sanitation systems.
Autor (es)	Achara Taweesan; Thammarat Koottatep
Ano	2015
País	Tailândia
Descrição resumida do artigo	Este artigo apresenta as práticas existentes de gestão de lodo em locais que utilizam sistemas de tratamento de esgoto <i>on-site</i> em países em desenvolvimento como Ásia e África. Os autores propõem melhorias para uma gestão do lodo mais eficiente, incluindo a aquisição de mais caminhões limpa-fossa, escolha de tecnologias mais avançadas e maior conscientização pública acerca do tema.
Título	Performance of constructed wetland applied for domestic wastewater treatment: Case study at Boimorto (Galicia, Spain).
Autor (es)	Jácome, J.A., Molina; J., Suárez; J., Mosqueira; G., Torres, D.
Ano	2016
País	Espanha
Descrição resumida do artigo	O trabalho elabora uma avaliação do desempenho de um Sistema de wetland construído de fluxo horizontal como alternativa para o tratamento secundário de águas residuais domésticas em Boimorto, Galícia, Espanha. Os autores indicam que o sistema é adequado para comunidades rurais, apresentando baixos custos operacionais e manutenção mínima.
Título	Sludge accumulation rates in septic tanks used as part of the on-site treatment of domestic wastewater in a northern maritime temperate climate.
Autor (es)	Joanne Mac Mahon; Jan Knappe; Laurence W. Gill
Ano	2021
País	Irlanda
Descrição resumida do artigo	O artigo faz uma pesquisa a respeito das taxas de acumulação de lodo em sistemas de fossas sépticas de dois compartimentos utilizados no tratamento de águas residuais domésticas na Irlanda. Os autores sugerem que a frequência ideal para a remoção do lodo pode variar entre 3 e 5 anos, a depender do tamanho do tanque séptico e da ocupação. O artigo também apresenta como fatores socioeconômicos e climáticos podem influenciar nas taxas de produção de fezes e na digestão de sólidos em fossas sépticas. Os autores recomendam a remoção regular do lodo destes sistemas para que sua eficiência seja mantida.
Título	Status of sustainable sanitation chain in rural, semi-urban, and urban regions: A case study of Maharashtra, India.
Autor (es)	Chandana, N.; Rao, B.
Ano	2021
País	Índia
Descrição resumida do artigo	O artigo faz uma análise da situação da gestão do lodo fecal em áreas rurais, semiurbanas e urbanas da cidade de Maharashtra, Índia. Os autores ressaltam a importância da conscientização da população quanto às características e benefícios da gestão do lodo de fossas sépticas. O estudo sugere a criação de regulamentações adequadas para se ter um gerenciamento adequado do lodo de esgoto.
Título	Actors and interpretations in an environmental controversy: The Swedish debate on sewage sludge use in agriculture
Autor (es)	Bengtsson, M.; Tillman, A.-M.
Ano	2004
País	Suécia
Descrição resumida do artigo	O artigo realiza uma análise do debate sueco sobre o uso de lodo de esgoto como fertilizante agrícola, destacando vantagens ambientais e riscos à saúde e à produtividade do solo. O trabalho investiga crenças e argumentos dos atores envolvidos na questão.

(conclusão)

Título	Present Restrictions of Sewage Sludge Application in Agriculture within the European Union
Autor (es)	Hudcova, H., Vymazal, J. and Rozkosny, M.
Ano	2019
País	República Tcheca
Descrição resumida do artigo	O artigo faz uma análise das regulamentações atuais quanto a aplicação de lodo de esgoto na agricultura nos países que fazem parte da União Europeia, principalmente no que se refere aos limites de metais pesados presentes no lodo. Os autores discutem a necessidade de se atualizar as regulamentações quanto aos riscos associados ao uso do lodo na agricultura.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024

5.3 DIRETRIZES PROPOSTAS PARA A GESTÃO DO LODO ACUMULADO E DIGERIDO EM TANQUES SÉPTICOS DE DOMICÍLIOS RURAIS DE SC

Um sistema eficaz de gestão de lodo garante a remoção, o transporte e o tratamento adequados dos resíduos fecais, antes de sua reutilização ou descarte seguro no meio ambiente (Harada *et al.* 2016).

A cadeia produtiva da gestão do lodo nas áreas rurais de Santa Catarina deverá envolver alguns processos, sendo eles: Coleta, transporte, tratamento e descarte final. Diante disso, a seguir são apresentadas sugestões de diretrizes para o gerenciamento do lodo no lote nas áreas rurais de Santa Catarina para cada um destes processos envolvidos.

As diretrizes foram elaboradas com base na leitura e análise dos artigos escolhidos no tópico 5.2 e são voltadas para sistemas descentralizados que fazem a utilização de tanques sépticos, cujo lodo resultante será factível de ser retirado. Ademais, não se considerou neste estudo aspectos econômicos.

5.3.1 Diretrizes para a coleta e transporte do lodo

5.3.1.1 Utilizar bombas de Vácuo para Sucção

Cordeiro (2010) aponta que o que se percebe tanto na literatura técnica quanto na prática é a frequente utilização de bombas de vácuo para sucção do lodo de fossas sépticas através de um tubo flexível inserido na fossa.

Essa abordagem permite uma maior segurança aos operadores no ato da remoção do biossólido, pois minimiza o contato direto destes com o lodo, evitando acidentes e contaminações. O uso de bombas também pode ser viável em regiões com o clima mais úmido, característica comum no estado de Santa Catarina, pois nestes casos o solo pode estar encharcado, o que dificultaria a coleta manual do lodo,

fazendo-se então necessária a utilização destes equipamentos que devem ser operados por profissionais devidamente treinados e capacitados.

5.3.1.2 *Armazenar adequadamente o lodo em tanques de sucção apropriados*

O relevo das regiões rurais de Santa Catarina apresenta grande diversidade, com regiões de Planalto, Serras, Morros, Planícies e Depressões. Neste sentido, o transporte do lodo pode ser afetado pelos diferentes tipos de relevo que se encontram no estado, com estradas sinuosas e frequentemente não pavimentadas nas áreas rurais. Exposto isso, a escolha de tanques apropriados para o armazenamento adequado do lodo pode facilitar o processo de transporte do material.

Os tanques de sucção de grande porte apresentam grande versatilidade, já que seu volume varia de 1 a 10m³ (Cordeiro, 2010). Esta característica pode permitir uma maior flexibilidade para atender as diferentes condições de acesso das áreas rurais catarinenses.

Citando como exemplo o Oeste de Santa Catarina, região com a maior densidade populacional rural e conseqüentemente a maior produção de lodo rural do estado (conforme apresentado na Figura 17) a utilização de tanques maiores pode ser mais eficiente para o armazenamento adequado do lodo nessa região. Por outro lado, nas regiões Serranas ou mais isoladas, a utilização de tanques menores transportados por tratores ou veículos adaptados pode ser mais adequada, devido à presença característica de relevos acidentados na região.

Vale ressaltar que seja qual for o tipo ou tamanho do tanque escolhido, este deve ser devidamente selado para evitar derramamentos e vazamentos que possam comprometer a integridade ambiental ou a saúde dos operadores e moradores do local.

5.3.1.3 *Planejar a logística de transporte do lodo*

O transporte do lodo envolve levá-lo do local onde é gerado até o ponto onde será condicionado, tratado ou destinado adequadamente (PROSAB, 2009). Sendo o clima de Santa Catarina caracterizado pela ocorrência de chuvas frequentes em várias regiões e de geadas nos meses de inverno na região Serrana, por exemplo, as estradas rurais podem ser prejudicadas por estas características devido a formação de lama ou gelo.

Por este motivo, levar em consideração as condições climáticas e as características do terreno de uma determinada região rural é de suma importância para o planejamento exitoso do transporte do lodo. Sendo assim, faz-se necessária a utilização de veículos adaptados (caminhões com tração nas quatro rodas ou tratores) para terrenos escorregadios ou acidentados, como nas áreas rurais serranas ou em Morros de Santa Catarina.

Um outro fator a se considerar no ato do planejamento da logística de transporte do lodo, é a densidade populacional de uma determinada região rural, visto que algumas áreas rurais de Santa Catarina podem apresentar densidades populacionais muito pequenas, conforme explicitado na Figura 3, os domicílios nestas regiões podem estar distantes uns dos outros.

Este fator faz com que os veículos transportadores de lodo percorram maiores distâncias, o que conseqüentemente aumentaria o tempo e o consumo de combustível para que cada propriedade seja atendida. Para estes casos, sugere-se a coleta do lodo em domicílios localizados em regiões próximas, por meio de veículos menores, agrupando-os e enviando o material para um ponto estratégico intermediário onde posteriormente um caminhão-tanque maior coletará o material e irá enviá-lo à próxima etapa do gerenciamento.

Em todo caso, o transporte do lodo coletado deve ser realizado por empresas e profissionais técnicos, cadastrados e regulamentados nas Prefeituras Municipais. Chandana e Rao (2020) em um estudo de caso da cadeia de serviços acerca do gerenciamento do lodo nas áreas rurais da cidade de Maharashtra na Índia, apontam que o desenvolvimento de um serviço eficiente de coleta de lodo de fossas sépticas deve incluir a implementação de programas de treinamento em segurança e a regulamentação para o licenciamento de motoristas de caminhões de coleta.

5.3.1.4 Realizar manutenções periódicas nos equipamentos e veículos

Deve-se prever um programa de manutenções regulares visando o correto funcionamento das bombas de vácuo e dos tanques de sucção para garantir a melhor eficiência possível das operações. Os veículos transportadores de lodo também devem passar por revisões regulares para evitar a ocorrência de acidentes ou falhas operacionais.

5.3.1.5 *Capacitar os profissionais envolvidos no processo*

Visando a execução dos processos de coleta e transporte do lodo de forma segura e eficaz, deve-se prover capacitação profissional aos trabalhadores envolvidos nestas atividades. A formação deve abranger o uso correto de equipamentos de proteção individual (EPIs), o manejo adequado dos resíduos e o devido cumprimento das normas sanitárias e ambientais nas esferas municipais, estaduais e federais.

5.3.1.6 *Utilização de tecnologias de monitoramento*

Uma opção viável para a otimização do transporte do lodo nas áreas rurais de Santa Catarina é a utilização de rastreadores de GPS nos veículos de transporte de biossólidos, dando acesso a localização em tempo real destes veículos e ainda auxiliando na elaboração de rotas mais eficientes.

O registro dos volumes transportados e o tempo de descolamento também são dados importantes que devem ser monitorados, visando auxiliar os gestores técnicos em suas tomadas de decisão, sobretudo para a verificação de brechas para melhorias. Neste contexto, o PROSAB (2009) propõe a elaboração de banco de dados e utilização do sistema de informações georreferenciadas, para possibilitar o acompanhamento, a especialização e o estabelecimento de indicadores de desempenho do gerenciamento de lodo.

Um estudo desenvolvido na Irlanda, país com clima temperado que apresenta algumas similaridades com o clima de Santa Catarina, por Mahon, Knappe e Gill (2022) atenta para a importância de se compreender as taxas de enchimento de lodo nas fossas sépticas para planejar a frequência de remoção. Adaptando essa abordagem para realidade das áreas rurais de Santa Catarina, os gestores podem integrar informações deste tipo nos sistemas georreferenciados e criarem um banco de dados que permite saber e planejar com precisão o momento ideal de realizar a coleta do lodo nos domicílios rurais.

5.3.1.7 *Investir em melhorias das vias rurais*

Um ponto crucial para tornar o transporte do lodo mais eficiente são investimentos em melhorias nas vias rurais do estado de Santa Catarina. Sabe-se que muitas das estradas localizadas nessas regiões não são pavimentadas e/ou apresentam avarias. Estas características dificultam o transporte, além de apresentarem risco

potencial de ocorrência de acidentes, sobretudo em dias chuvosos ou com geada. Investimentos em pavimentações e manutenções destas estradas facilitará todo o processo de transporte do lodo além de torná-lo mais seguro.

5.3.1.8 Investir e incentivar a execução de pesquisas em melhorias nas logísticas de coleta e transporte do lodo

Verificou-se que na literatura, até a data de publicação deste trabalho, existem poucas pesquisas que abordem a questão das melhores práticas para realizar a coleta e o transporte do lodo de sistemas descentralizados de tratamento de efluentes em áreas rurais.

Nesse sentido, investimentos por parte dos gestores municipais e estaduais, da iniciativa privada e das instituições de ensino do estado de Santa Catarina em pesquisas que tratem deste assunto serão importantes para que se encontrem soluções melhores e mais eficientes no que se refere ao processo de coleta e transporte do lodo nas zonas rurais.

5.3.2 Diretrizes para o tratamento do lodo

5.3.2.1 Dispor de uma equipe capacitada para operação e manutenção dos sistemas de tratamento do lodo

Para assegurar o correto e eficaz funcionamento dos sistemas de tratamento do lodo é importante que a equipe técnica responsável pela sua operação e manutenção seja devidamente capacitada.

Nos casos em que os sistemas de tratamento sejam instalados no lote, principalmente em áreas rurais remotas do estado de Santa Catarina, os próprios moradores podem ficar responsáveis quanto a execução e manutenção de processos operacionais mais simples do tratamento, desde que recebam treinamento e instruções do corpo técnico das prefeituras ou empresas contratadas especializadas em saneamento.

5.3.2.2 Escolher a tecnologia de tratamento mais adequada levando-se em consideração as características locais

A escolha da tecnologia de tratamento do lodo mais adequada para as regiões rurais de Santa Catarina deve ser feita pelos gestores municipais e estes devem

avaliar algumas condições locais como a densidade populacional da região, a disponibilidade de espaço, o clima e o acesso logístico.

A seguir, são exemplificadas três das várias tecnologias existentes para o tratamento de lodo que poderiam ser aplicadas nas zonas rurais de Santa Catarina:

- **Wetlands:** As *wetlands* (Zonas húmidas construídas) são leitos feitos de material poroso, como pedregulho ou areia, com plantas específicas que ajudam na desidratação do lodo por percolação e evapotranspiração. Na Europa, as *Wetlands* são frequentemente utilizadas para tratar o lodo de áreas com populações menores que 2.000 habitantes (Jácome *et al.*, 2016). Um estudo desenvolvido por Andrade; Sperling; Manjate (2017) obteve resultados satisfatórios de desidratação do lodo utilizando *Wetlands* verticais, atingindo um teor de sólidos secos de 55% e a relação STV/ST foi de 0,60. Santos *et al.* (2024) testaram *wetlands* de pequena escala com *Canna x generalis* no tratamento de lodo séptico em Frederico Westphalen (RS), alcançando remoções de 76% de sólidos totais, 91% de DQO, 94% de TKN e 95% de PO₄-3P. O clima subtropical úmido do local é semelhante ao de regiões de Santa Catarina, como Oeste, Vale do Itajaí e Grande Florianópolis. Os autores recomendam testar maiores cargas de lodo para reduzir custos e demanda de área. Como desvantagens, a literatura aponta que as *wetlands* exigem áreas maiores de implantação em comparação com outras tecnologias; necessidade de manutenções regulares como o monitoramento da vegetação e controle de pragas invasoras, além disso, embora os custos operacionais sejam baixos, o custo de instalação pode ser dispendioso, principalmente se a instalação envolver movimentações de terra.
- **Leitos de secagem:** Os leitos de secagem são estruturas prismáticas (quadradas ou retangulares), geralmente construídas de alvenaria e que são preenchidas por materiais que retém os sólidos, mas permitem a drenagem da água (Cordeiro, 2010). O processo de secagem do lodo ocorre parte por meio de drenagem e parte por meio de evaporação. Considerando o clima subtropical úmido das regiões do Vale do Itajaí e Grande Florianópolis (vide Figura 14), por exemplo, com temperaturas amenas e presença do sol durante boa parte do ano,

essas condições podem então favorecer o processo de evaporação da água contida no lodo nas áreas rurais dessas regiões. De acordo com (Jayathilake *et al.*, 2019) as desvantagens de se utilizar os leitos de secagem para tratamento do lodo se devem ao fato de que a qualidade do percolado pode exigir tratamento adicional; os sólidos não são ainda seguros do ponto de vista higiênico; é necessária a instalação que proteja o sistema contra a chuva; pode requerer grandes áreas de terreno para a sua instalação. Como vantagens, o mesmo autor cita que a operação e manutenção desse sistema são relativamente fáceis e de baixo custo.

- **Estabilização alcalina:** Nesse tipo de condicionamento, é feita uma desinfecção e estabilização parcial da matéria orgânica utilizando normalmente cal, mas pode ser usado outro material alcalino (Cordeiro, 2010). Esta é uma tecnologia simples e de baixo custo, podendo ser uma solução viável para pequenas comunidades rurais. Como desvantagem, têm-se o aumento do volume do lodo devido a adição da cal.

5.3.2.3 *Monitorar a qualidade do tratamento*

Independentemente da tecnologia escolhida, é importante estabelecer parâmetros de monitoramento para assegurar que o lodo tratado atenda os padrões ambientais e sanitários. Nesse sentido, deve-se elaborar um cronograma de fiscalizações e efetuar a coleta do material nas centrais de tratamento de lodo, quando existirem, e nos sistemas de tratamento instalados no lote para posterior análise em laboratório.

5.3.2.4 *Priorizar o tratamento do lodo no lote em residências localizadas em áreas rurais remotas*

Para reduzir a necessidade de transporte e custos operacionais, a instalação de *Wetlands* pequenas ou leitos de secagem no lote em domicílios localizados em áreas rurais remotas e de difícil acesso pode ser uma estratégia viável.

5.3.2.5 *Instalar Centrais de Tratamento de Lodo em áreas rurais mais populosas*

Para as regiões rurais mais densamente povoadas, como por exemplo na região Oeste de Santa Catarina, a instalação de uma central de tratamento de lodo

utilizando *Wetlands* ou grandes leitos de secagem, havendo disponibilidade de área, pode ser uma abordagem eficaz, pois, dessa forma, os custos do tratamento podem ser repartidos entre os moradores além de facilitar o processo de fiscalizar e monitorar a qualidade do tratamento, concentrando as atividades em um único ponto centralizado.

5.3.2.6 Propor estímulos financeiros para a maior adesão as práticas de tratamento do lodo por parte da comunidade rural

Alguns incentivos financeiros podem ser propostos aos moradores rurais, inclusive aos agricultores, para que se estimule a realização do tratamento do lodo dos seus sistemas de tratamento de efluentes. Esses incentivos podem acontecer por meio de subsídios, reduções no IPTU ou até mesmo linhas de crédito para a obtenção dos equipamentos e materiais necessários para a realização do tratamento.

Indo de encontro a essa abordagem, a pesquisa publicada por Taweesan, Koottatep e Polprasert (2015) destaca que subsídios governamentais desempenham um papel de suma importância para melhorar a viabilidade econômica da gestão do lodo, sobretudo em áreas com recursos limitados ou densidade populacional dispersa, realidade observada em muitas áreas rurais de Santa Catarina.

5.3.2.7 Estipular a divisão de responsabilidades entre moradores, associações e prefeituras

A fomentação de parcerias e colaborações entre os moradores, as Associações Rurais e Centros Comunitários e as Prefeituras municipais é uma estratégia importante para que sejam compartilhadas e repartidas as responsabilidades e custos dos processos de implementação, operação e manutenção dos sistemas de tratamento.

5.3.2.8 Criar programas de Educação e Sensibilização a respeito da importância do Tratamento do Lodo

Por meio de *wokshops*, treinamentos práticos, *banners*, propagandas e materiais educativos, deve-se consolidar programas de educação e sensibilização aos moradores rurais, explicando a importância do tratamento adequado do lodo tanto para a saúde pública quanto para o meio ambiente. O papel das escolas, associações

rurais e órgãos municipais é crucial para o êxito do processo educativo nas áreas rurais.

5.3.3 Diretrizes para a disposição final do lodo

5.3.3.1 Promover o uso agrícola do lodo tratado nas comunidades rurais

A aplicação controlada do lodo na agricultura, respaldada por normas regulamentares e estudos científicos, pode favorecer o aumento da produtividade e o desenvolvimento das culturas, além de promover melhorias na qualidade e estrutura do solo (RIGO *et al.*, 2014). Levando-se em consideração que o lodo é um material rico em macro e micronutrientes, como fósforo, nitrogênio e potássio, essa característica contribui para o crescimento de plantas e culturas agrícolas, como as de milho e arroz, que se configuram entre as maiores culturas em termos de área de plantio e colheita no estado de Santa Catarina, conforme já abordado neste trabalho. Entretanto, Hudcová; Vymazal; Rozkosny (2019) salientam que o excesso destes nutrientes no solo pode causar a sua lixiviação e transporte por drenagem ou erosão, contaminando águas superficiais ou subterrâneas.

Há no mundo alguns casos de sucesso com a utilização do lodo de esgoto na agricultura, a exemplo, na Suécia, de acordo com (Bengtsson; Tillman, 2004), o uso agrícola do lodo propiciou uma redução da necessidade dos agricultores de utilizarem fertilizantes minerais em suas plantações, que recebem o material sem custo e tornam essa alternativa atrativa do ponto de vista econômico.

5.3.3.2 Realizar monitoramentos regulares acerca da qualidade do Lodo e do Solo

Para evitar riscos a qualidade do solo por meio da aplicação do lodo, recomenda-se a elaboração de um programa de monitoramentos regulares tanto da qualidade e do estado de saúde do solo, quanto da qualidade do lodo aplicado, por meio análises microbiológicas e químicas feitas em laboratório, verificando a existência de possíveis patógenos, metais pesados ou outros poluentes nocivos ao meio ambiente e que ainda podem estar presentes no lodo, indicando a necessidade de uma nova etapa de tratamento.

5.3.3.3 *Optar pela aplicação do lodo em áreas distantes de corpos hídricos*

Recomenda-se que, para efetuar a aplicação do lodo nas áreas rurais agrícolas de Santa Catarina, verifique-se a existência de corpos hídricos próximos e opte-se pela aplicação em áreas distantes destas fontes, a fim de evitar a contaminação de lençóis freáticos e nascentes. Para isso, realizar estudos prévios da hidrografia da região faz-se importante para uma tomada de decisão assertiva, sem comprometer o meio ambiente.

5.3.3.4 *Capacitar agricultores e técnicos agrícolas*

Promover programas de capacitação para os agricultores e técnicos das áreas rurais dos municípios de Santa Catarina, instruindo-os sobre os métodos e diretrizes adequadas para a utilização do lodo nas culturas agrícolas.

5.3.3.5 *Cadastrar os agricultores que optarem por utilizar o lodo em suas culturas*

A fim de se ter um controle e fiscalização mais rigorosos do lodo utilizado nas culturas agrícolas das áreas rurais de Santa Catarina, recomenda-se que os agricultores que optarem por esta prática sejam devidamente cadastrados e que estes mantenham registros detalhados acerca do manejo do lodo, garantindo a rastreabilidade e qualidade dos produtos agrícolas resultantes.

5.3.3.6 *Promover incentivos econômicos aos agricultores e moradores*

Assim como na etapa de tratamento, recomenda-se que as prefeituras e órgãos ambientais proponham subsídios e descontos em impostos para os agricultores e moradores que adotarem práticas seguras quanto ao reaproveitamento e destinação do lodo tratado, incentivando-os na continuação destas práticas.

5.3.3.7 *Implementar áreas de destinação para o lodo não aproveitado*

Para o lodo que não for reaproveitado na agricultura por não atender os padrões de qualidade desejáveis após o tratamento para este tipo de aplicação ou ainda por opção do morador ou agricultor, sugere-se a criação de áreas próprias para a sua destinação, licenciadas e operadas conforme as normas ambientais. O lodo então é coletado nos domicílios (quando tratado no lote) ou centrais de tratamento por

uma equipe técnica especializada, seguindo as diretrizes já propostas neste trabalho quanto a coleta do material, e levado até estas áreas, onde será armazenado para posteriormente passar por outro processo de destinação final.

Uma possibilidade para a destinação deste tipo de lodo seria utilizá-lo na fabricação de tijolos, por exemplo. Inguza; Lima e Araujo (2013) realizaram um estudo sobre a utilização de lodo de fossa séptica tratado como matéria-prima na indústria de cerâmica vermelha. No experimento, foram produzidos 500 tijolos com 6,5% de lodo (peso seco), com um teor de umidade mínimo de 22%, seguindo os métodos e condições da indústria local. Sendo assim, os autores destacam no trabalho o potencial do lodo como uma alternativa viável na fabricação de tijolos.

Esta estratégia pode abrir portas para a possibilidade da criação de um modelo de negócios envolvendo a comercialização do lodo tratado nas áreas rurais de Santa Catarina como fonte de matéria-prima para a indústria cerâmica.

5.3.3.8 Promover fiscalizações regulares e Inspeções nas áreas rurais de Santa Catarina

Os gestores municipais e órgãos ambientais de Santa Catarina, com suas respectivas equipes técnicas, devem realizar inspeções e fiscalizações regulares para atestar que a destinação final do lodo nas áreas rurais do estado esteja em conformidade com as normas ambientais e sanitárias. As inspeções devem ocorrer nos locais de armazenamento e aplicação do lodo, e, caso seja verificada alguma irregularidade, caberá aos órgãos competentes estabelecer as devidas sanções aos infratores.

5.3.3.9 Incentivar a realização de estudos científicos acerca das práticas de destinação do lodo em áreas rurais

As Universidades e Instituições de Pesquisa, em parceria com as prefeituras municipais e até mesmo o governo do estado de Santa Catarina, podem colaborar na realização de pesquisas científicas que proponham práticas mais eficazes e seguras para a destinação final do lodo gerado nos sistemas descentralizados de esgotamento sanitário nas áreas rurais de Santa Catarina, levando-se em consideração as características locais de cada região ruralizada.

6 CONCLUSÃO

O gerenciamento e manejo de lodo nas áreas rurais de Santa Catarina apresenta desafios reais. A falta de diretrizes e técnicas claras que elucidam a forma mais adequada de se gerenciar o lodo em sistemas descentralizados, a exemplo as fossas sépticas, acaba por não apenas comprometer o desempenho e eficiência destes sistemas, mas também acarreta impactos negativos ao meio ambiente.

Para um gerenciamento adequado do lodo de esgoto, deve-se levar em consideração as particularidades regionais de cada área rural. Isso porque, não existe um padrão definido sobre como essa gestão deve ocorrer, pois cabe aos gestores municipais analisarem caso a caso as tecnologias de coleta, transporte, tratamento e disposição final mais eficientes para cada tipo de região, visto que questões como relevo, densidade populacional e clima influenciam diretamente na eficiência destas tecnologias. Entretanto, todo tipo de processo e tecnologia adotada para a gestão do lodo deve ser pautada pelas normas técnicas e ambientais nas esferas municipais, estaduais e federais.

Um ponto a se destacar é que, apesar da relevância do tema, até a data de publicação deste trabalho há pouco material científico que aborde práticas adequadas para realizar a gestão do lodo em áreas rurais, desde a coleta até a sua disposição final. Há muito material relacionado às áreas urbanas ou ainda somente ao tratamento do esgoto em comunidades rurais, não levando em consideração o tratamento do lodo gerado por estes sistemas. Nesse sentido, o apoio da comunidade científica é de suma importância para que melhores soluções sejam definidas para esta problemática.

A educação nas áreas rurais de Santa Catarina também apresenta papel importante na conscientização dos moradores e agricultores quanto a importância de se realizar o descarte correto do lodo de esgoto, e ainda, os benefícios que ele pode trazer ao ser aplicado na agricultura, uma das atividades econômicas mais importantes do estado.

Como futuras pesquisas e pontos de melhoria, este trabalho sugere a elaboração de pesquisas em campo nas comunidades rurais do estado, com o objetivo de entender as percepções dos moradores, líderes comunitários, agricultores e representantes locais sobre a gestão atual do lodo nestas áreas. Ademais, sugere-se investigar suas preferências quanto ao tratamento e disposição final do lodo, seja no lote ou em centrais de tratamento. Esta abordagem permite ter um indicador da

aceitação geral da população, fator importante e que deve ser também levado em consideração no ato do planejamento da gestão e manejo do lodo, o que pode garantir uma maior participação no processo de implementação.

Por fim, baseando-se em análise de dados e na revisão da literatura, esta pesquisa propôs diretrizes que abrangem aspectos cruciais para a gestão eficaz do lodo, com vistas a realidade rural do estado de Santa Catarina. Espera-se que este trabalho contribua para a universalização do acesso ao saneamento básico nas áreas rurais do estado, gerando qualidade de vida aos moradores locais e garantindo a preservação dos recursos naturais.

7 REFERÊNCIAS

ALVARADO, Andrés *et al.* Assessment of decentralized wastewater treatment systems in the rural area of Cuenca, Ecuador. **Water Practice And Technology**, [S.L.], v. 12, n. 1, p. 240-249, 1 mar. 2017. IWA Publishing. <http://dx.doi.org/10.2166/wpt.2017.027>.

ANDRADE, Cynthia F. *et al.* TREATMENT OF SEPTIC TANK SLUDGE IN A VERTICAL FLOW CONSTRUCTED WETLAND SYSTEM. **Engenharia Agrícola**, [S.L.], v. 37, n. 4, p. 811-819, ago. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v37n4p811-819/2017>.

ANDREOLI, Cleverson V. (coord.). **Alternativas de uso de resíduos do saneamento**. Curitiba: Abes, 2006. 398 p

ANDREOLI, Cleverson Vitorio (coord). **Lodo de fossa e tanque séptico: caracterização, tecnologias de tratamento, gerenciamento e destino final**. Curitiba: Abes, 2009.

ANDREOLI, Cleverson Vitorio (coord.). **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Curitiba: Abes, 2001b. 257 p.

ANDREOLI, Cleverson Vitorio *et al* (ed.). **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Minas Gerais: Sanepar: UFMG, 2001a. p. 1-483.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 17076: Projeto de sistema de tratamento de esgoto de menor porte — Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

ATHAYDES, Tiago Vinicius Silva *et al*. O PAPEL DA FUNDAÇÃO NACIONAL DA SAÚDE (FUNASA) NA GESTÃO DA MELHORIA NA QUALIDADE DA ÁGUA NO MEIO RURAL. **Percurso - Nemo**, Maringá, v. 13, n. 2, p. 89-108, abr. 2021.

BARNETO, Agustín García *et al*. Kinetic models based in biomass components for the combustion and pyrolysis of sewage sludge and its compost. **Journal Of Analytical And Applied Pyrolysis**, [S.L.], v. 86, n. 1, p. 108-114, set. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaap.2009.04.011>.

BENGTSSON, Magnus; TILLMAN, Anne-Marie. Actors and interpretations in an environmental controversy: the swedish debate on sewage sludge use in agriculture. **Resources, Conservation And Recycling**, [S.L.], v. 42, n. 1, p. 65-82, ago. 2004. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2004.02.004>.

BRASIL. FUNASA. **Saneamento para Promoção da Saúde**. 2017. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/saneamento-para-promocao-da-saude>. Acesso em: 11 out. 2024.

BRASIL. FUNASA. **Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR)**. 2019. Disponível em: http://www.funasa.gov.br/biblioteca-eletronica/publicacoes/engenharia-de-saude-publica/-/asset_publisher/ZM23z1KP6s6q/content/programa-nacional-de-saneamento-rural-pnsr-?inheritRedirect=false. Acesso em: 16 maio 2024.

BRASIL. IBGE. **Censo Agro 2017**. 2017. Disponível em: <https://censoagro2017.ibge.gov.br/1992-novo-portal/edicao/16163-divisoes-regionais-do-brasil-1-5-000-000-divisoesregionaisdobrasil.html>. Acesso em: 06 ago. 2024.

BRASIL. IBGE. **Produção Agropecuária**. 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/sc>. Acesso em: 06 ago. 2024.

BRASIL. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censos Demográficos**. 2010. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/downloads-estatisticas.html>. Acesso em: 23 ago. 2024.

BRASIL. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **PNAD - Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios**. 2015. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/educacao/9127-pesquisa-nacional-por-amostra-de-domicilios.html?edicao=18329>. Acesso em: 29 set. 2024.

BRASIL. **Lei nº 11.445, de 4 de janeiro de 2007**. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, nº 8.036, de 11 de maio de 1990, e nº 8.666, de 21 de junho de 1993; revoga as Leis nº 6.528, de 11 de maio de 1978, e nº 6.797, de 1º de julho de 1980, e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 5 jan. 2007. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm. Acesso em: 28 nov. 2024.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA). **Importância das atividades agropecuárias para a economia brasileira**. 2012.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Operação e manutenção de tanques sépticos-lodo: manual de boas práticas e disposição do lodo acumulado em filtros plantados com macrófitas e desinfecção por processo térmico**. Brasília: Funasa, 2014.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. **PLANSAB Plano Nacional de Saneamento Básico: Mais Saúde com Qualidade de Vida e Cidadania**. Brasília, DF: MDR/SNS, 176 p., 2013.

BRASIL. Senado Federal. **Criados critérios de classificação do espaço urbano e rural**. Notícias, 6 out. 2009. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2009/10/06/criados-criterios-de-classificacao-do-espaco-urbano-e-rural>. Acesso em: 16.ago.2024

CARDOSO, Murilo Raphael Dias *et al.* CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DE KÖPPEN-GEIGER PARA O ESTADO DE GOIÁS E O DISTRITO FEDERAL. **Acta Geográfica**, Boa Vista, v. 8, n. 16, p. 40-55, mar. 2014.

CASTRO, Galvão Júnior Alceu. Desafios para a universalização dos serviços de água e esgoto no Brasil. **Revista Panamericana de Salud Pública**, Fortaleza, v. 6, n. 25, p. 548-556, mar. 2009.

CHANDANA, Narayanappa.; RAO, Bakul. Status of sustainable sanitation chain in rural, semi-urban, and urban regions: a case study of maharashtra, india. **Journal Of Water, Sanitation And Hygiene For Development**, [S.L.], v. 11, n. 1, p. 112-125, 30 dez. 2020. IWA Publishing. <http://dx.doi.org/10.2166/washdev.2020.020>.

CHEN, Peizhen *et al.* Research Progress on Integrated Treatment Technologies of Rural Domestic Sewage: a review. **Water**, [S.L.], v. 14, n. 15, p. 2439, 6 ago. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/w14152439>.

CIRAM - Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina. Climatologia. Disponível em: <https://ciram.epagri.sc.gov.br/index.php/solucoes/climatologia/>. Acesso em: 27 nov. 2024.

CORDEIRO, Bernardo Souza. **A GESTÃO DE LODOS DE FOSSAS SÉPTICAS: UMA ABORDAGEM POR MEIO DA ANÁLISE MULTIOBJETIVO E MULTICRITÉRIO**. 2010. 143 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

DASGUPTA, Shubhagato; AGARWAL, Neha. Managing Non-Sewered Sanitation for Achieving Sustainable Development Goal 6 in India. **Environmental Management - Pollution, Habitat, Ecology, And Sustainability**, [S.L.], p. 1-308, 23 mar. 2022. IntechOpen. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.98597>.

ESTADOS UNIDOS. Environmental Protection Agency. **Biosolids generation, use, and disposal in The United States**. EPA 530-R-99-009, 1999.

FIGUEIREDO, Isabel Campos Salles. **TRATAMENTO DE ESGOTO NA ZONA RURAL: DIAGNÓSTICO PARTICIPATIVO E APLICAÇÃO DE TECNOLOGIAS ALTERNATIVAS**. 2019. 318 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2019.

FOGOLARI, Odinei. **Desinfecção de lodo de tanque séptico em reator com aquecimento solar**. 2011. 151 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Engenharia Ambiental, Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

FUNASA. **Caderno Didático/Técnico para Curso de Gestão de Sistemas de Esgotamento Sanitário em áreas rurais do Brasil**. 2020. Disponível em: http://www.funasa.gov.br/biblioteca-eletronica/publicacoes/engenharia-de-saude-publica/-/asset_publisher/ZM23z1KP6s6q/content/caderno-didatico-tecnico-para-

curso-de-gestao-de-sistemas-de-esgotamento-sanitario-em-areas-rurais-do-brasil?inheritRedirect=false. Acesso em: 16 nov. 2024.

GALIZONI, F. M. 1. **RURAL E RURALIDADES: REFLEXÕES PARA O PROGRAMA NACIONAL DE SANEAMENTO RURAL**. v. 1, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/56008>. Acesso em: 02.set.2024

GALVÃO, Maria Cristiane Barbosa; RICARTE, Ivan Luiz Marques. REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA: conceituação, produção e publicação. **Logeion: Filosofia da Informação**, [S.L.], v. 6, n. 1, p. 57-73, 15 set. 2019. Logeion Filosofia da Informacao. <http://dx.doi.org/10.21728/logeion.2019v6n1.p57-73>.

GRAU, Petr. Low cost wastewater treatment. **Water Science And Technology**, [S.L.], v. 33, n. 8, p. 39-46, abr. 1996. IWA Publishing. [http://dx.doi.org/10.1016/0273-1223\(96\)00259-4](http://dx.doi.org/10.1016/0273-1223(96)00259-4).

GUO, Xuesong *et al.* Decentralized wastewater treatment technologies and management in Chinese villages. **Frontiers Of Environmental Science & Engineering**, [S.L.], v. 8, n. 6, p. 929-936, 8 jan. 2014. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11783-013-0623-z>.

HARADA, Hidenori *et al.* Challenges and Opportunities of Faecal Sludge Management for Global Sanitation. In: KATSUMI, Takeshi; HASHIMOTO, Shizuka. **Towards Future Earth: Challenges and Progress of Global Environmental Studies**. Tokyo: Kaisei Publishing, 2016. p. 81-100.

HOSSAIN, Mustafa K.; STREZOV, Vladimir; NELSON, Peter F.. Thermal characterisation of the products of wastewater sludge pyrolysis. **Journal Of Analytical And Applied Pyrolysis**, [S.L.], v. 85, n. 1-2, p. 442-446, maio 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaap.2008.09.010>.

HUDCOVÁ, Hana; VYMAZAL, Jan; ROZKOŁNÝ, Miloš. Present restrictions of sewage sludge application in agriculture within the European Union. **Soil And Water Research**, [S.L.], v. 14, n. 2, p. 104-120, 30 jun. 2019. Czech Academy of Agricultural Sciences. <http://dx.doi.org/10.17221/36/2018-swr>.

INGUNZA, Maria del Pilar Durante *et al.* Use of Septic Tank Sludge as Raw Material in the Manufacture of Bricks. **Advanced Materials Research**, [S.L.], v. 712-715, p. 921-924, 27 jun. 2013. Trans Tech Publications, Ltd.. <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.712-715.921>.

JÁCOME, Juan Alfredo *et al.* Performance of constructed wetland applied for domestic wastewater treatment: case study at boimorto (galicia, spain). **Ecological Engineering**, [S.L.], v. 95, n. 1, p. 324-329, out. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.06.049>.

JORDÃO, Eduardo Pacheco; PESSOA, Constantino Arruda. **Tratamento de esgotos domésticos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Segrac, 2005.

JORDÃO, Eduardo Pacheco; PESSOA, Constantino Arruda. **Tratamento de esgotos domésticos**. 6. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2011.

KLINGEL, F.; MONTANGERO, A.; KONÉ, D.; STRAUSS, M. **A planning manual on fecal sludge management**. Dübendorf: Swiss Federal Institute for Environmental Science and Technology, Department for Water and Sanitation in Developing Countries, 2002.

KUAI, L. Sludge treatment and reuse as soil conditioner for small rural communities. **Bioresource Technology**, [S.L.], v. 73, n. 3, p. 213-219, jul. 2000. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0960-8524\(99\)00181-9](http://dx.doi.org/10.1016/s0960-8524(99)00181-9).

LEMOS, Simone. Dados da ONU mostram que 15 mil pessoas morrem por doenças ligadas à falta de saneamento. **Jornal da USP**, 2020. Disponível em: <https://jornal.usp.br/?p=339384>. Acesso em: 12 ago. 2024.

LESSA, Gilberto Teixeira. **Contribuição ao estudo da viabilidade da utilização do lodo de estação de tratamento biológico de esgoto misto na construção civil**. 2005. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

LEVY, Roger *et al.* CARACTERIZAÇÃO FÍSICO QUÍMICA DE LODO DE ESGOTO EM ZONA RURAL E POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO NA AGRICULTURA. **Iniciação Científica**, Três Corações, Mg, v. 7, n. 2, p. 1-1, fev. 2017.

LUPATINI, Giancarlo *et al.* Tratamento do lodo de fossa/tanque séptico. In: ANDREOLI, Cleverson Vitório (coord). **Lodo de fossa e tanque séptico: caracterização, tecnologias de tratamento, gerenciamento e destino final**. Curitiba: Abes, 2009.

MAHON, Joanne Mac *et al.* Sludge accumulation rates in septic tanks used as part of the on-site treatment of domestic wastewater in a northern maritime temperate climate. **Journal Of Environmental Management**, [S.L.], v. 304, p. 114199, fev. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114199>.

MANFIO, Denise Vazquez *et al.* Dewatering of septic tank sludge in alternative sludge drying bed. **Journal Of Water, Sanitation And Hygiene For Development**, [S.L.],v.8,n.4,p.792-798,16.jul.2018.IWAPublishing. <http://dx.doi.org/10.2166/washdev.2018.276>.

MASSOUD, May A.; TARHINI, Akram; NASR, Joumana A. Decentralized approaches to wastewater treatment and management: applicability in developing countries. **Journal Of Environmental Management**, [S.L.], v. 90, n. 1, p. 652-659, jan. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.07.001>.

MATTOSO, Fernando Dell'agnolo B. **Estudo de eficiência de Wetland no córrego Pirajussara**. 2014. 55 f. TCC - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

MEDEIROS, Daniel Dantas Viana. **MEDEIROS, D. D. V. Avaliação da Eficiência de lagoas de estabilização no tratamento de resíduos esgotados de fossas sépticas**. Natal, 2009. **Dissertação (Mestrado)**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2009. 97 f. **Dissertação (Doutorado)** - Curso de Engenharia

Sanitária, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009

MENDONÇA, Alexandre Antonio Jacob de. **Avaliação de um sistema descentralizado de tratamento de esgotos domésticos em escala real composto por tanque séptico e wetland construída híbrida.** 2016. 209 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Avaliação de Um Sistema Descentralizado de Tratamento de Esgotos Domésticos em Escala Real Composto Por Tanque Séptico e Wetland Construída Híbrida, Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

MESQUITA, Tayane Cristiele Rodrigues *et al.* Gestão descentralizada de soluções de esgotamento sanitário no Brasil: aspectos conceituais, normativos e alternativas tecnológicas. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, [S.L.], v. 56, p. 46-66, 26 mar. 2021. Universidade Federal do Parana. <http://dx.doi.org/10.5380/dma.v56i0.72908>.

MONTWEDI, Masego *et al.* Resource recovery from and management of wastewater in rural South Africa: possibilities and practices. **Journal Of Water Process Engineering**, [S.L.], v. 40, p. 101978, abr. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.101978>.

OKOLI, Chitu; DUARTE, Traduzido Por:david Wesley Amado; MATTAR, Revisão Técnica e Introdução:joão. Guia Para Realizar uma Revisão Sistemática de Literatura. **Ead em Foco**, [S.L.], v. 9, n. 1, p. 1-40, 3 abr. 2019. Fundacao CECIERJ. <http://dx.doi.org/10.18264/eadf.v9i1.748>.

PEDROZA, Marcelo Mendes *et al.* Produção e tratamento de lodo de esgoto – uma revisão. **Revista Liberato**, Nova Hamburgo, v. 11, n. 16, p. 148-157, nov. 2010.

RAMOS, Lediane Lésleie Campos. **Diagnóstico e avaliação de coleta e disposição de lodo de fossa e de tanque séptico em Cuiabá - MT.** 2014. 98 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2014.

RAO, K. C. *et al.* Business models for fecal sludge management. **Iwmi**, [S.L.], v. 18, n. 1, p. 1-204, jan. 2016. International Water Management Institute (IWMI). <http://dx.doi.org/10.5337/2016.213>.

RODRIGUES, Elisa Siqueira. **Tratamento dos resíduos de fossas e tanques sépticos em um sistema de alagado construído**. 2014. 82 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente (Eec), Universidade Federal de Goiás, Goiás, 2014.

ROLAND, Nathalia *et al.* A ruralidade como condicionante da adoção de soluções de saneamento básico. **Revista DAE**, [s. l.], v. 67, n. 220, p. 15–35, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.4322/dae.2019.053>

SANTOS, Wagner Alex dos *et al.* Constructed wetland for septic tank sludge management: drained water quality under different operating strategies on a bench-scale experiment. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.], v. 29, n. 1, p. 1-8, 2024. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-415220240040>.

SAXENA, Shipra *et al.* Bridging the rural–urban divide in sanitation with a cluster-based approach to faecal sludge management: a case study from dhenkanal district in odisha, india. **H2Open Journal**, [S.L.], v. 5, n. 4, p. 549-566, ago. 2022. IWA Publishing. <http://dx.doi.org/10.2166/h2oj.2022.054>.

SILVA, Wilson Tadeu Lopes da. **Saneamento Básico Rural: ABC da agricultura familiar**. Brasília: Embrapa, 2014. 74 p.

SOARES, Marcio Roberto. **Coefficiente de distribuição (Kd) de metais pesados em solos do estado de São Paulo**. 2005. 214 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

STEFANAKIS, Alexandros *et al.* **Vertical Flow Constructed Wetlands: eco-engineering systems for wastewater and sludge treatment**. Países Baixos: Elsevier, 2014. 392 p.

TAWEESAN, Achara *et al.* Effective faecal sludge management measures for on-site sanitation systems. **Journal Of Water, Sanitation And Hygiene For Development**, [S.L.], v. 5, n. 3, p. 483-492, 13 jul. 2015. IWA Publishing. <http://dx.doi.org/10.2166/washdev.2015.010>.

TONETTI, Adriano Luiz *et al.* Alternativas para o gerenciamento de lodo de sistemas descentralizados de tratamento de esgotos de áreas rurais. **Labor e Engenho**, [S.L.], v. 12, n. 1, p. 145-152, 31 mar. 2018. Universidade Estadual de Campinas. <http://dx.doi.org/10.20396/labore.v12i1.8649680>.

TONETTI, Adriano Luiz *et al.* Tratamento de esgoto e produção de água de reúso com o emprego de filtros de areia. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.], v. 17, n. 3, p. 287-294, set. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522012000300005>

TONON, Daniele *et al.* Wastewater treatment by anaerobic filter and sand filter: hydraulic loading rates for removing organic matter, phosphorus, pathogens and nitrogen in tropical countries. **Ecological Engineering**, [S.L.], v. 82, p. 583-589, set. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.05.018>.

TSUTYA, Milton Tomoyuki *et al.* **Biossólidos na agricultura**. São Paulo: Sabesp, 2001. 468 p.

TSUTYA, Milton Tomoyuki. Alternativas de disposição final de biossólidos. In: TSUTYA, Milton Tomoyuki *et al.* **Biossólidos na agricultura**. São Paulo: Sabesp, 2001. p. 1-468.

USEPA (Estados Unidos). 2002. **Treatment processes and systems**. In: **Onsite Wastewater Treatment Systems Manual**, Disponível em: https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-06/documents/2004_07_07_septics_septic_2002_osdm_all.pdf. Acesso em: 22 out. 2024.

VILAROUCA, Janaina da Silva. **Avaliação do impacto ambiental do destino final do lodo de fossas sépticas nas estações de tratamento de esgotos na ETE São Cristóvão, Fortaleza-CE.** 2013. 127 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Mestrado em Engenharia Civil: Saneamento Ambiental, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

VON SPERLING, Marcos; GONÇALVES, Ricardo Franci. Lodo de esgotos: características e produção. In: ANDREOLI, Cleverson Vitório *et al* (ed.). **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final.** Minas Gerais: Ufmg, 2001. p. 1-444. VON SPERLING, Marcos; GONÇALVES, Ricardo Franci. Lodo de esgotos: características e produção. In: ANDREOLI, Cleverson Vitório *et al* (ed.). **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final.** Minas Gerais: Ufmg, 2001. p. 1-444.

WHO/UNICEF. 2015. World Health Organization and the United Nations Children's Fund. ***Progress on sanitation and drinking water – 2015 update and MDG assessment.*** WHO Press, Geneva Switzerland. 90 p.

WHO/UNICEF. 2017. World Health Organization and the United Nations Children's Fund. ***Progress on drinking water, sanitation and hygiene: 2017 update and SDG baselines.*** WHO Press, Geneva Switzerland. 110 p.

WU, Haiming *et al.* A review on the sustainability of constructed wetlands for wastewater treatment: design and operation. **Bioresource Technology**, [S.L.], v. 175, p. 594-601, jan. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2014.10.068>.