

COLEÇÃO DIAGNÓSTICO
DOS DESASTRES NATURAIS
NA METADE SUL DO RIO GRANDE DO SUL



DESASTRES NATURAIS

EM SÃO LOURENÇO DO SUL-RS

Autores

Diuliana Leandro
Andréa Souza Castro
Maurizio Silveira Quadro
Ottoni Marques Moura de Leon
Everton Rodrigues Zirbes
Samanta Tolentino Cecconello
Luana Nunes Centeno
Larissa Aldrighi da Silva
Vanessa Faria de Oliveira
Maria Eduarda Silveira dos Anjos

Gabriel Fragali de Castro
Priscila Pedra Garcia
Maiara Moraes Costa
Carina Sinnott Duarte
Diovana da Silva Guterres
Lismara Marques
Mélory Maria Fernandes de Araujo
Rafael Moreira
Tainá Rhoden Schneider
Maele Costa dos Santos

DESASTRES NATURAIS EM SÃO LOURENÇO DO SUL-RS

**COLEÇÃO DIAGNÓSTICO DOS DESASTRES NATURAIS
NA METADE SUL DO RIO GRANDE DO SUL**

Laboratório de Geoprocessamento aplicado a Estudos Ambientais
– LGEA
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais – Centro de
Engenharias – Universidade Federal de Pelotas
<https://wp.ufpel.edu.br/lgea>

DESASTRES NATURAIS EM SÃO LOURENÇO DO SUL-RS

COLEÇÃO DIAGNÓSTICO DOS DESASTRES NATURAIS
NA METADE SUL DO RIO GRANDE DO SUL

Diuliana Leandro	Gabriel Fragali de Castro
Andréa Souza Castro	Priscila Pedra Garcia
Maurizio Silveira Quadro	Maiara Moraes Costa
Ottoni Marques Moura de Leon	Carina Sinnott Duarte
Everton Rodrigues Zirbes	Diovana da Silva Guterres
Samanta Tolentino Ceconello	Lismara Marques
Luana Nunes Centeno	Mélory Maria Fernandes de Araujo
Larissa Aldrighi da Silva	Rafael Moreira
Vanessa Faria de Oliveira	Tainá Rhoden Schneider
Maria Eduarda Silveira dos Anjos	Maele Costa dos Santos



Pedro & João
editores

Copyright © Autoras e autores

Todos os direitos garantidos. Qualquer parte desta obra pode ser reproduzida, transmitida ou arquivada desde que levados em conta os direitos das autoras e dos autores.

Vários autores

Desastres naturais em São Lourenço do Sul-RS. Coleção diagnóstico dos desastres naturais na metade sul do Rio Grande do Sul. São Carlos: Pedro & João Editores, 2024. 196p. 16 x 23 cm.

ISBN: 978-65-265-0966-1 [Digital]

DOI: 10.51795/9786526509661

1. Desastres naturais. 2. São Lourenço do Sul-RS. 3. Geografia brasileira. I. Título.

CDD – 370/900

Capa: Luidi Belga Ignacio

Ficha Catalográfica: Hélio Márcio Pajeú – CRB - 8-8828

Diagramação: Diany Akiko Lee

Editores: Pedro Amaro de Moura Brito & João Rodrigo de Moura Brito

Conselho Científico da Pedro & João Editores:

Augusto Ponzio (Bari/Itália); João Wanderley Geraldi (Unicamp/Brasil); Hélio Márcio Pajeú (UFPE/Brasil); Maria Isabel de Moura (UFSCar/Brasil); Maria da Piedade Resende da Costa (UFSCar/Brasil); Valdemir Miotello (UFSCar/Brasil); Ana Cláudia Bortolozzi (UNESP/Bauru/Brasil); Mariangela Lima de Almeida (UFES/Brasil); José Kuiava (UNIOESTE/Brasil); Marisol Barenco de Mello (UFF/Brasil); Camila Caracelli Scherma (UFFS/Brasil); Luís Fernando Soares Zuin (USP/Brasil).



Pedro & João Editores

www.pedroejoaoeditores.com.br

13568-878 – São Carlos – SP

2024

Sumário

Apresentação	7
Agradecimentos	9
1. Introdução	11
2. Desastres e eventos extremos	15
3. Eventos adversos no município com decretos de emergência	21
4. Eventos adversos significativos no contexto climatológico de São Lourenço do Sul	43
5. Eventos adversos significativos no contexto climatológico de São Lourenço do Sul	53
5.1 Uma análise socioeconômica de São Lourenço do Sul	56
6. Resiliência urbana e rural	65
7. A importância do planejamento de Riscos	71
8. Mapeamento de áreas suscetíveis a eventos adversos	75
8.1. Fragilidade Ambiental	76
8.2. Mapeamentos de Suscetibilidade a eventos hidrológicos	80
8.3. Bacias de detenção e bacias de retenção	98
8.4. Parque Linear	101
8.5. Vulnerabilidade natural à contaminação de águas subterrâneas	103
8.6. Vulnerabilidade natural	104
9. Gestão de Risco à Desastres	117
9.1. Plano de contingência	118
9.2. Plano de contingência de São Lourenço do Sul	123
9.3. Ações de Resiliência	126
9.4. Análise dos serviços de Saneamento básico de São Lourenço do Sul	127
9.4.1. Análise do sistema de abastecimento e tratamento de água	129

9.4.2. Análise do sistema de Esgotamento Sanitário	133
9.4.3. Análise do sistema de drenagem de águas pluviais	135
9.4.4. Análise do sistema de Gerenciamento de Resíduos Sólidos	139
9.4.5. Drenagem Sustentável	141
9.5 Educação Ambiental e Defesa Civil Mirim	145
Referências	155
Sobre as autoras e os autores	181
Índice remissivo	193

Apresentação

O terceiro livro da coleção intitulada DIAGNÓSTICO DOS DESASTRES NATURAIS NA METADE SUL DO RIO GRANDE DO SUL, é o resultado de um esforço coletivo alicerçado nos frutos e aspirações do projeto Fortalecimento da Defesa Civil nos municípios da Região Sul, da Universidade Federal de Pelotas, coordenado pelo prof. O Dr. Maurizio Silveira Quadro e pela prof.^a Dr.^a Diuliana Leandro. Neste projeto de extensão o grupo busca identificar lacunas nos protocolos e identificar áreas de melhoria para as ações da Defesa Civil Municipal de São Lourenço do Sul e contribuir para ajudar a população lourenciana a preparar-se de forma mais eficiente para eventos extremos que afetam o município.

Por meio desta obra, o grupo de pesquisa busca direcionar práticas e lições aprendidas não somente aos entes gestores, mas também para o público em geral, com vistas à disseminação de informações sobre medidas de prevenção e mitigação de riscos. Tem como finalidade, ainda, propor a cooperação entre as diferentes agências governamentais e civis, mediante o desenvolvimento de soluções eficazes e respostas a eventos extremos; difundido, assim, a cultura da resiliência.

A presente obra, que contou com a colaboração de pesquisadores de diversas áreas do conhecimento, buscou abranger – em um único livro – diferentes perspectivas. Fez-se indispensável para esse resultado a iniciativa de três laboratórios do Centro de Engenharias da Universidade Federal de Pelotas, a saber:

- Laboratório de Geoprocessamento aplicado a Estudos Ambientais – LGEA
 - Laboratório de Análise de Águas e Efluentes - LA AE
- Laboratório de Drenagem e Águas Residuárias - LabDAR
- Núcleo de Pesquisa, Ensino e Extensão em Saneamento Ambiental - NPSA



LGEA
Laboratório de Geoprocessamento
Aplicado a Estudos Ambientais



Agradecimentos

Cumprе reconhecer, inicialmente, que a execução da presente obra somente fez-se possível em virtude dos dados disponibilizados pela Coordenadoria de Proteção e Defesa Civil de Pelotas (CREPDEC 4 – Pelotas). Neste ensejo, cabe agradecer ao Tenente Coronel Márcio André Facin e sua equipe; à Major Vanessa Rodrigues Avila Wenitt; ao 2.º Sargento, João Carlos Goulart Domingues; ao Rodrigo Seefeldt; e, finalmente, ao jornalista Diego Freitas.

O desenvolvimento do livro, também, contou com auxílio da Universidade Federal de Pelotas; da Fundação de Amparo à pesquisa do estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS); e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior do Brasil (CAPES), Código de Financiamento 001, do CNPq, por meio de subsídios e concessões de bolsas.

Ressalta-se que o Laboratório de Geoprocessamento Aplicado a Estudos Ambientais - LGEA, constituiu-se ante o desígnio de suscitar benefícios sociais por meio dos conhecimentos produzidos na Universidade. Fundamenta-se, para tanto, na associação entre as demandas oriundas da comunidade e o conhecimento científico.

O LGEA, então, busca promover apoio técnico — sobretudo às prefeituras de pequeno porte — em virtude de fatores ordinários, como restrição de recursos, dificuldades estruturais e insuficiência no quadro que, comumente, obstam a realização de análises complexas em municípios assim considerados. A atuação no laboratório, portanto, permite constatar e enfatizar a importância da Universidade Pública para promoção de cidadania ativa, exercício profissional e desenvolvimento humano.

1. Introdução

A gestão de riscos para eventos extremos é uma questão complexa para municípios em todo o mundo. Com a mudança climática exacerbando a frequência e a intensidade dos desastres naturais, como inundações, incêndios florestais e estiagens, torna-se crucial que os governos locais, estaduais e nacionais priorizem as medidas de redução de riscos. Os desastres naturais têm impactos econômicos, sociais e ambientais significativos que podem persistir por muito tempo após a ocorrência do evento. Os municípios, em específico, encontram-se na linha de frente da gestão de risco a eventos extremos, pois são responsáveis por garantir a segurança de seus residentes e proteger sua infraestrutura e ativos.

Esta obra, mediante sugestões de implementação de planos de gerenciamento de riscos e coordenação de esforços para resposta a desastres, busca a redução de impactos oriundos de eventos extremos. Além disso, visa garantir a segurança e o bem-estar da comunidade de São Lourenço do Sul, se qualificadas e implementadas pelos órgãos gestores.

O município de São Lourenço do Sul (Figura 1) ocupa um território de 2.036,125 km² e está localizado na região da Costa Doce, à margem esquerda da Laguna dos Patos, no Leste/Litoral Sul do Rio Grande do Sul, à 31°21'55"S de latitude e à 51°58'42"W de longitude, fazendo limite com os seguintes municípios: Camaquã e Cristal a Norte; Pelotas e Turuçu a Sul; Canguçu a Oeste e a Laguna dos Patos a Leste. Com aproximadamente 44.935 habitantes, conforme informações do último censo (IBGE, 2010), o município encontra-se há 2h30min (128 km) da capital Porto Alegre. O ente político-territorial em questão é perpassado pelo curso hídrico do arroio São Lourenço, desempenhando um papel vital no suprimento de água à rede de distribuição municipal. Adicionalmente, recebe aporte hídrico proveniente das nascentes

do rio Camaquã e da Lagoa dos Patos, constituindo uma fonte significativa para o abastecimento hídrico da região.

Além de um sistema hidroviário privilegiado, o campo é responsável por 60% do Produto Interno Bruto (PIB), somado à pecuária de corte e de leite, unida ao crescente movimento da agricultura familiar e produção de orgânicos (Prefeitura Municipal, 2022).

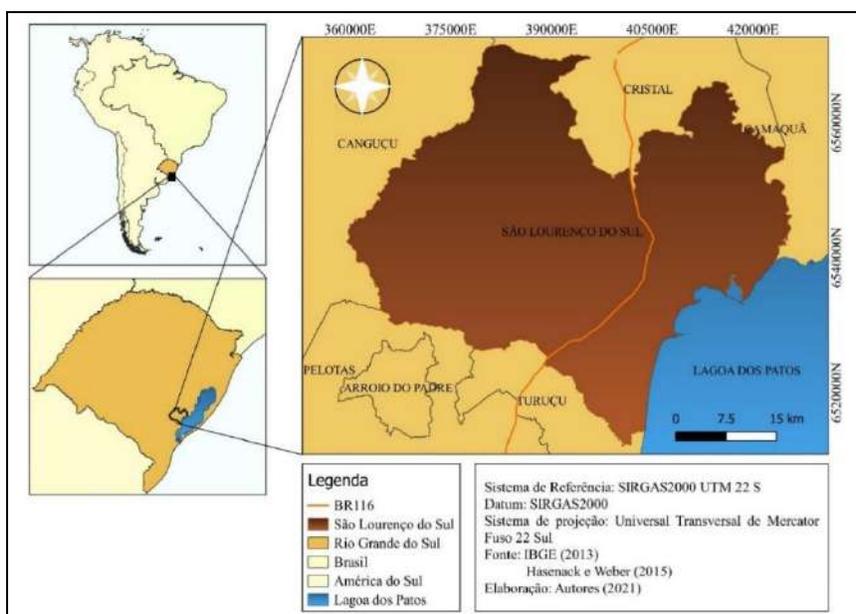


Figura 1. Localização da área de estudo – Município de São Lourenço do Sul/RS.

Historicamente, o município de São Lourenço do Sul destaca-se por seus eventos de tempo severo significativo com diversos decretos de emergência, inclusive já tendo sido declarado, no evento de enxurrada de 2011, como área de desastre, sendo esse o nível mais elevado na escala de gravidade em termos de perdas socioeconômicas em detrimento de evento hidrometeorológico potencialmente grave.

Segundo estudo desenvolvido por Zanchin *et al.* (2018) tal gravidade do evento em destaque está diretamente atrelada a uma

dinâmica habitacional irregular da área urbana no município de São Lourenço do Sul, onde se constroem residências em áreas de risco geomorfológicos e hidrológicos às margens do Arroio São Lourenço. Desta forma, expõe-se a acontecimentos ligados a escorregamento e deslizamento de encostas e enchentes, os quais caracterizam eventos extremos.

2. Desastres e eventos extremos

Desastres e eventos extremos são fenômenos imprevisíveis da natureza ou provocados pelo homem que causam danos significativos à vida, que causam danos às pessoas, à infraestrutura e ao meio ambiente. Embora sejam frequentemente usados de forma intercambiável, os termos têm diferenças conceituais. Desastres naturais resultam de forças da natureza que causam perdas humanas, materiais ou ambientais e prejuízos econômicos e sociais (Moura; Gomes, 2015; Santos; Guimarães, 2016). Já eventos extremos são fenômenos climáticos que ocorrem com uma frequência e/ou intensidade acima do normal em uma determinada região (Ipcc, 2012; Coumou; Rahmstorf, 2012). Já os desastres causados pelo homem podem decorrer de erros humanos, falhas tecnológicas, falta de regulamentação ou intenção criminosa. Esses eventos incluem acidentes industriais, como vazamentos de produtos químicos tóxicos, bem como ataques terroristas que resultam em perdas humanas e materiais significativos.

Embora os desastres naturais e eventos extremos possam causar impactos semelhantes, é importante destacar que eles têm causas diferentes e, portanto, exigem abordagens diferentes para a prevenção e mitigação dos seus efeitos. Desastres naturais requerem medidas de adaptação e resiliência, como o monitoramento e a prevenção de riscos, a elaboração de planos de contingência e a preparação da população para lidar com esses eventos (Hallegatte *et al.* 2020). Já eventos extremos exigem ações de mitigação, como a redução das emissões de gases de efeito estufa, a adaptação da infraestrutura e dos sistemas de produção às mudanças climáticas (Coumou *et al.*, 2018).

As atividades humanas podem causar desastres, como vazamentos de produtos químicos, poluição do ar e do solo, entre outros. Esses desastres podem ter consequências de longo prazo para a saúde humana e para o meio ambiente (Chakraborty *et al.*,

2018). Portanto, é fundamental que as atividades humanas sejam realizadas de forma sustentável e responsável, de modo a minimizar os impactos negativos (SINGH et al., 2019).

A resposta a esses eventos deve envolver uma combinação de medidas preventivas, de preparação e de resposta. As medidas preventivas incluem a criação de leis e regulamentos que promovam o desenvolvimento sustentável, o uso de materiais de construção resistentes e a criação de sistemas de alerta precoce (Koirala; Karmacharya; Inoue, 2019). Já o monitoramento desses eventos permite a identificação de áreas vulneráveis e a elaboração de planos de contingência para prevenir danos maiores (Hu *et al.*, 2021). Além disso, o diagnóstico ambiental é importante para entender a extensão dos danos causados pelos eventos e para direcionar ações de recuperação ambiental (Ferreira *et al.*, 2018).

Sendo assim, a realização de diagnósticos ambientais em áreas vulneráveis é essencial para prevenir e mitigar os impactos desses eventos (Marius; Toma; Hamodi, 2021). É importante avaliar a qualidade do solo, da água e do ar nessas áreas, a fim de identificar possíveis fontes de riscos e implementar medidas de prevenção e mitigação (Mishra; Sharma; Singh, 2020). Observa-se, dessa forma, que a monitoração dos eventos extremos e desastres naturais deve ser constante e deve ser utilizada para aprimorar as previsões e a prevenção desses fenômenos. Além disso, o monitoramento de eventos extremos pode ajudar a ampliar o conhecimento sobre o clima e seus impactos, permitindo que as políticas públicas sejam mais assertivas na prevenção e mitigação desses eventos.

Em suma, é importante ressaltar que a prevenção e mitigação de desastres naturais e eventos extremos exigem um esforço coletivo e multidisciplinar, envolvendo governos, comunidades, organizações não governamentais, setor privado e demais atores da sociedade. Mostra-se necessário um planejamento estratégico e ações coordenadas para minimizar os impactos desses eventos e garantir a segurança e o bem-estar das pessoas e do meio ambiente. Isso inclui a implementação de medidas preventivas, de preparação e de resposta, a monitoração constante desses eventos

e o investimento em tecnologias e infraestrutura resilientes e sustentáveis.

No contexto deste livro, que trata de eventos extremos em São Lourenço do Sul, o conteúdo a seguir foi inspirado nas pesquisas dos seguintes autores: Behncke et al. (2023); Ribeiro (2021); Embrapa Clima Temperado (2019); Gonçalves, Pelizzoli e Silva (2019); Ambos *et al.* (2017); Soares (2016); Moura (2014); Pedroso (2014) e Oliveira (2013). A cidade de São Lourenço do Sul, objeto deste estudo, é conhecida por sua paisagem natural exuberante e diversidade ecológica, com destaque para o Rio São Lourenço, que corta o município e possui grande importância socioambiental para a região. No entanto, a cidade também é marcada por eventos extremos e desastres naturais que, ao longo dos anos, têm causado danos significativos ao meio ambiente e à população local.

Desde o início do século XX, São Lourenço do Sul já enfrentou inúmeras enchentes, deslizamentos de terra, tempestades e outros eventos climáticos extremos, que resultaram em perdas de vidas humanas e prejuízos materiais e econômicos. Pesquisas já vem apontando uma tendência de nas próximas três décadas haver maior frequência na passagem de sistemas meteorológicos, ao longo dos anos, sobre a região Sul do Brasil, em virtude de mudanças no padrão climatológico regional (IPCC, 2021; Foguesatto; Machado, 2021; Pereira *et al.*, 2017). Historicamente, esse aumento na frequência de desastres já vinha sendo observado sobre o Litoral Médio Gaúcho (leste gaúcho), em especial entre as décadas de 1990 e 2000, se comparado com vinte anos antes (Debortoli *et al.*, 2017)

Entre os eventos extremos mais significativos, pode-se destacar a enchente de 2011, que causou grandes prejuízos e perdas materiais em diversas regiões da cidade. A enchente de 2011 foi causada por um grande volume de chuvas que atingiu a região, principalmente na bacia hidrográfica do Rio Camaquã. Essas chuvas foram intensas e persistentes, o que provocou o aumento do nível do Rio Camaquã e de seus afluentes, como o Arroio Cadena e o Arroio da Velha. A água desses rios invadiu a cidade e

causou danos em diversas áreas, como em estradas, pontes, casas e comércios. Os prejuízos causados pela enchente foram significativos, e os moradores da cidade tiveram que lidar com problemas como a perda de bens materiais, a falta de acesso a serviços básicos como água e energia elétrica, além de problemas de saúde, como doenças causadas pela água contaminada. A população local teve que se unir para enfrentar a situação, e diversas entidades e órgãos públicos mobilizaram esforços para minimizar os impactos da enchente.

Além da enchente de 2011, São Lourenço do Sul também é afetada por outras variações climáticas extremas, como secas e tempestades. A seca de 2006 foi um exemplo desse tipo de evento, que causou prejuízos à agricultura local, além de afetar a produção de arroz, principal cultura do município. Outro evento extremo que afeta São Lourenço do Sul é a tempestade, comum na região durante o verão. Essas tempestades são frequentes e podem causar danos em diversas áreas, como em estruturas físicas, plantações e no fornecimento de energia elétrica.

Além dos eventos extremos relacionados às chuvas, São Lourenço do Sul também tem enfrentado problemas com a erosão costeira. A cidade está localizada próxima à costa do Oceano Atlântico e é vulnerável a processos erosivos, que podem levar à degradação ambiental, perda de terras e prejuízos econômicos. A erosão costeira tem sido agravada pelas atividades humanas, como o desmatamento de áreas de restinga e a construção de empreendimentos imobiliários em áreas de risco.

Por fim, além dos eventos extremos causados por variações climáticas, São Lourenço do Sul também enfrenta problemas ambientais decorrentes do crescimento urbano. A urbanização acelerada causa impactos negativos no meio ambiente local, como a impermeabilização do solo, que prejudica a infiltração da água e contribui para enchentes, além da degradação da mata ciliar, que afeta a fauna e a flora local.

Em resumo, os eventos extremos e desastres ambientais são uma realidade em São Lourenço do Sul e em outras regiões do país,

e exigem ações e políticas públicas efetivas para minimizar seus impactos na vida das pessoas e no meio ambiente. É necessário investir em medidas preventivas e em políticas de conservação e preservação ambiental para garantir a sustentabilidade do município e de suas populações.

3. Eventos adversos no município com decretos de emergência

O presente capítulo tem o intuito de apresentar o levantamento de eventos ocorridos no município de São Lourenço do Sul – RS que apresentaram decretos de emergência. Esses dados são disponibilizados através da plataforma de dados Sistema Integrado de Informação sobre Desastre (S2iD), as quais estão dispostas através do Atlas Brasileiro do estado Rio Grande do Sul, pelas séries históricas e/ou relatórios gerenciais disponíveis.

O Atlas carrega consigo publicações com informações de 1991 até 2012; já os dados de 2003 a 2015 ficam disponíveis através das séries históricas, por fim, o intervalo condizente ao ano de 2013 e 2023 ficam disponibilizados através dos relatórios gerenciais. Ressalta-se que os eventos apresentados nessa obra para o município de São Lourenço do Sul compreendem os anos de 1989, 1991, 1995, 1996, 2000, 2004, 2005, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022 e 2023. A tabela apresentada a seguir (Tabela 1) carrega as informações sobre os eventos ocorridos entre 1989 e 2023, bem como suas denominações.

Esses documentos fornecidos pela Defesa Civil, nomeados de decretos de emergência, são ferramentas críticas para permitir que os governos locais acessem recursos adicionais e tomem medidas rápidas e decisivas para ajudar as comunidades afetadas por eventos extremos. Esses decretos são acionados quando ocorre uma situação de emergência que ultrapassa a capacidade do governo local ou estadual em fornecer assistência adequada aos cidadãos afetados pelo evento. Em outras palavras, o decreto de emergência é uma ferramenta para liberar recursos e permitir que o governo tome medidas rápidas e decisivas para ajudar as comunidades afetadas pelo evento extremo. A implementação desses decretos, coordenados com outras medidas de gestão de riscos e respostas a desastres, pode ajudar a mitigar os efeitos de eventos extremos e proteger a população local.

A importância do município em implementar a solicitação desses decretos de emergência é crítica, pois eles permitem que as autoridades locais acessem recursos adicionais para ajudar a mitigar os efeitos de eventos extremos e para proteger a população local.

Tabela 1. Tabela representativa das ocorrências registradas em São Lourenço do Sul entre os anos de 1989 a 2023.

Denominação	Código	Nº de ocorrência	Ano(s)
Alagamento	12300	1	2013
Doenças infecciosas virais	15110	3	2020, 2021(2)
Enxurradas	12200	3	1995, 2011, 2013
Estiagem	14110	9	1991, 1995, 1996, 2000, 2004, 2018, 2020, 2022, 2023
Inundação	12100	3	2009, 2010, 2015
Seca	14120	2	1991, 2005
Tempestade local/convectiva – Chuvas Intensas	13214	3	1989, 2016, 2019
Tempestade local/convectiva – Granizo	13213	3	2013, 2014, 2018
Tempestade local/convectiva – Vendaval	13215	3	2010, 2012, 2023
TOTAL DE OCORRÊNCIAS =		30	1989 - 2023

Em geral, o governo federal não pode intervir diretamente em uma emergência estadual ou municipal, a menos que um pedido seja feito pelos líderes locais para fornecer assistência adicional. Quando o governo local emite um decreto de emergência, ele está indicando que a situação é grave o suficiente para justificar uma intervenção do governo federal. Isso permite que as autoridades locais recebam assistência do governo federal, o qual pode incluir recursos financeiros, equipamentos e suprimentos, bem como assistência técnica e pessoal.

Um estudo de Barros *et al.* (2021) destaca a importância da implementação de planos de gestão de riscos e respostas a desastres, incluindo a emissão de decretos de emergência, por governos locais para a mitigação dos efeitos de eventos extremos. O estudo conclui que a emissão de decretos de emergência pelos governos locais é uma ferramenta importante para facilitar a assistência do governo federal e mobilizar recursos adicionais para enfrentar a emergência.

Outro estudo de Chiang *et al.* (2018) destaca a importância da coordenação entre governos locais e estaduais na emissão de decretos de emergência. O estudo argumenta que a coordenação entre os governos locais e estaduais pode garantir uma resposta mais eficaz e melhorar a tomada de decisões em situações de emergência.

No Brasil a defesa civil é responsável pela gestão e planejamento de ações preventivas, mitigação e resposta a desastres e eventos extremos, com o objetivo de proteger a vida e o patrimônio das pessoas. Para realizar essa tarefa de forma eficaz, é fundamental que a defesa civil tenha um histórico dos eventos extremos e dos decretos de emergência emitidos no município.

O registro de eventos extremos e de decretos de emergência permite que a defesa civil tenha uma visão clara dos riscos e das vulnerabilidades do município. Com base nessas informações, a defesa civil pode identificar áreas críticas e estabelecer medidas preventivas para minimizar os efeitos de eventos extremos no futuro. Além disso, o histórico dos eventos extremos pode fornecer

informações valiosas para o desenvolvimento de planos de contingência e respostas a desastres, permitindo que a defesa civil esteja melhor preparada para enfrentar situações de emergência.

A defesa civil também pode usar essas informações para avaliar a eficácia das medidas preventivas e das ações de resposta a desastres tomadas no passado. Com base nessas avaliações, a defesa civil pode identificar áreas de melhoria e ajustar suas estratégias para enfrentar eventos extremos no futuro.

Um estudo de Aline da Silva *et al.* (2021) destaca a importância da coleta e análise de dados históricos sobre eventos extremos e decretos de emergência para a gestão de riscos e respostas a desastres. O estudo argumenta que a coleta e análise de dados históricos são essenciais para a elaboração de políticas públicas e planos de gestão de riscos eficazes. Outro estudo, por Wenchuan Wu *et al.* (2018), mostra que o uso de informações históricas pode melhorar a precisão dos modelos de previsão de riscos e aprimorar as estratégias de gerenciamento de riscos. O estudo destaca a importância de um sistema de informações geográficas (GIS) para coletar, armazenar e analisar informações históricas sobre eventos extremos e decretos de emergência. Dentro deste contexto, a seguir, neste capítulo será apresentado a coleta e análise desses dados históricos, os quais são essenciais para o desenvolvimento de políticas públicas e planos de gestão de riscos eficazes para dar suporte ao município perante situações de risco a eventos extremos.

São Lourenço do Sul é constantemente atingido por eventos de precipitação, aos quais apresentam registros desde 1989 com registro COBREDE (Tabela 1) como chuvas intensas, esse evento foi registrado de acordo com a Portaria/GM/Nº 481 de 21 de setembro de 1989, o Ministro do Estado do Interior reconhece Emergência no município de São Lourenço do Sul por 90 dias.

Passados 2 anos, em 1991 foi lançado o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais, onde apresenta informações sobre todas as regiões do Brasil, de forma direta. Neste documento, foi identificado o registro de uma seca severa para São Lourenço, a qual resultou para o município dois novos decretos para apoio a

situação vulnerável do momento, o qual acarretou um grande percentual de perdas no setor primário como pecuária e agrícola, ocasionando um crescente êxodo rural devido a frustração das safras, e ao comprometimento prolongado de redução das reserva hídrica do município, assim prejudicando o abastecimento de água para a população principalmente em locais com maior densidade demográfica, atingindo escolas, postos de saúde, entre outros. A forte estiagem do ano de 1991 continuou até o final do ano.

Ao passar quatro anos (1995) dois novos registros de emergência surpreenderam a região, especialmente por um ser referente a estiagem e o outro a um evento de enxurrada. O decreto realizado no mês de julho foi devido às intensas precipitações, ocasionando inundações em vários pontos do município. Esse decreto teve prazo de 60 dias. Já o segundo decreto do ano, foi assinado em dezembro, e em fevereiro de 1996 teve renovação devido ao prolongamento da estiagem. Já em 1996, ocorreu o registro de um novo evento referente a estiagem, o decreto que prolongava o anterior (dez/95) e o próximo teve um intervalo de quatro anos, ocorrendo apenas nos anos 2000 para o mesmo tipo de evento (estiagem).

A partir de então, os dados foram catalogados para a sessão série histórica e relatórios gerenciais, apresentando mais informações e detalhes sobre o evento, bem como, os reconhecimentos federais, os danos e as ações de resposta.

Foi então, em 18 de junho de 2004, que o município voltou a contar com registros de emergência, e mais uma vez por causa de estiagem, assim como em janeiro de 2005.

No mês de janeiro de 2009, uma significativa precipitação pluviométrica assolou parte da zona urbana, especificamente nos bairros Centro e Lomba, e afetou também uma parcela considerável da área rural, abrangendo as localidades de Sesmaria, Santalla, Harmonia e Cerrito, entre outras. O volume de chuvas alcançou a notável marca de 200 milímetros em um intervalo temporal relativamente curto. Esta intensa precipitação culminou em uma inundação que resultou em lesões para duas pessoas, as quais

tiveram necessidade de intervenção médico-hospitalar, além de materiais e insumos de saúde, em decorrência direta dos efeitos adversos desse desastre natural. Esse evento danificou 37 unidades habitacionais e 27 obras de infraestrutura pública, causando um prejuízo de R\$ 178.500,00 (cento e setenta e oito mil, quinhentos reais) e R\$ 250.000,00 (duzentos e cinquenta mil reais) respectivamente.

O ano de 2010 foi um ano conturbado para a região. No mês de outubro, a previsão do município era de uma precipitação pluviométrica de 130mm, e o ocorrido foi de 307mm. Essas chuvas, associadas aos fenômenos de fortes ventos acabaram ocasionando a subida do nível da Lagoa dos Patos, que conseqüentemente ocasionou no extravaso em diversos pontos. Além do alto volume precipitado e o registro de ocorrência de ventos, houve um curto intervalo de tempo o qual ocorreu queda granizo, ocasionando danos materiais, humanos e prejuízos sociais e para a economia.

O evento ocorrido em outubro de 2010 deixou 30 pessoas desabrigadas¹, 40 desalojadas² e 6 mil outras afetadas. A fim de contornar e minimizar a situação e auxiliar os necessitados, o município disponibilizou todo o aparato possível, tais como, assistência e socorro. Para os desabrigados foi disponibilizado abrigo na Comunidade Medianeira, e aos que possuíam parentes próximos, foi disponibilizado o resgate e transporte até as residências.

Além dessas pessoas afetadas, 300 unidades habitacionais, 5 instalações públicas de ensino e 43 obras de infraestrutura sofreram danos, as quais geraram um prejuízo de R\$ 1.000.000,00 (um milhão de reais); R\$ 1.429,00 (um mil, quatrocentos e vinte nove reais) e R\$ 2.473.531,50 (2 milhões, quatrocentos e setenta e três mil,

¹ Pessoa que necessita sair do seu domicílio devido o efeito do desastre e por consequência necessita de apoio do poder público para se instalar em abrigos públicos até remediar a situação (S2iD, 2023).

² Pessoas que deixam seu domicílio em decorrência do desastre, porém, não necessitam de auxílio para ocupar abrigos públicos, conseguem apoio em residências familiares (S2iD, 2023).

quinhentos e trinta e um com cinquenta reais) respectivamente. Esses registros ocorreram especialmente devido ao transbordamento do leito e da chuva de granizo, de forma que danificou as telhas das escolas rurais e unidade habitacionais tanto urbano, quanto rural, além, de carregar as pontes e danificar as vias, calçadas, meio fio e contenções de margens. Associado a esses danos, foi registrado também os prejuízos econômicos públicos e privados, onde os públicos somaram R\$ 1.429,00 (um mil quatrocentos e vinte nove reais) em virtude ao granizo que atingiu as escolas rurais e R\$ 150.000,00 (cento e cinquenta mil reais) para suporte em relação a geração e distribuição de energia, visto que ocorreu registro de diversos postes quebrados, transformadores danificados e diversos pontos de rede rompida, ocasionando consequentemente descarregamento elétrico para essas regiões.

É importante salientar que no período deste evento, cerca de 2.800 clientes permaneceram por mais de 24 horas sem abastecimento elétrico. Já aos prejuízos econômicos privados somaram R\$ 28.223.830,00 (vinte e oito milhões, duzentos e vinte e três mil, oitocentos e trinta reais) divididos em: prejuízos para agricultura (R\$ 27.065.000,00 – vinte e sete milhões e sessenta e cinco mil reais) atingindo a produção de fumo, milho, feijão, soja, arroz, trigo, olerícolas/frutícolas e azevém/aveia; para pecuária (R\$ 1.080.000,00 – um milhão e oitenta mil reais) afetando especialmente a produção leiteira; e para o comércio e turismo (R\$ 78.830,00 – setenta e oito mil e oitocentos e trinta reais).

Faltando exato 1 dia para completar 1 mês do registro de emergência devido a forte inundação que atingiu o município, em 15 de novembro o mesmo estava novamente decretando emergências, dessa vez devido a um vendaval acompanhado de granizo que atingia as localidades de Harmonia, Sesmária, Quevedos, Bom Jesus e Picada das Antas, na Área rural. No entanto, o relatório apresentado pelo S2iD (Sistema de Informação ao Desastre) não apresenta registro dos danos causados.

Ainda sem uma recuperação completa dos eventos severos ocorridos em 2010, em 22 do mês de março de 2011 era acionado

pelo município situação de emergência devido ao evento 12220 (código COBRADE) denominado enxurrada. Esse evento atingiu São Lourenço do Sul como um todo, isso é, tanto a zona rural quanto a urbana, acarretando em intensos danos materiais e perdas humanas. Após a contabilização de pessoas afetadas, que necessitam de alguma forma de auxílio do poder público, tiveram 205 pessoas feridas que sofreram lesões em decorrência direta dos efeitos do desastre, 7 mortos, 1 desaparecido, 500 pessoas enfermas que desenvolveram processos patológicos em decorrência do desastre, 15.000 que necessitam de abrigo público em função do dano ou ameaça de dano, ficando desabrigados e 360 pessoas ficaram desalojadas. Apesar dos danos humanos apresentarem uma extrema significância, o formulário de informação ao desastre não trouxe as demais informações em relação aos danos materiais públicos e privados.

No que se refere ao evento de 2012, segundo o atlas apresentou um registro de vendaval, não carregando informações significativas em relação aos demais eventos. Já o ano de 2013 surpreendeu a população lourenciana com 3 eventos significativos consecutivamente, onde, em 29 de novembro teve um registro de alagamento, seguido por um de enxurrada em 05 de novembro e por fim, em 23 de dezembro um novo registro, dessa vez o de tempestade local/ convectiva – granizo, e somente o evento de granizo teve registro, os demais foram apenas reconhecidos.

Quanto ao evento no mês de outubro não ocorreu nenhum levantamento, já a enxurrada de novembro carregou consigo danos humanos para 10 pessoas, os quais não tiveram especificações, e danificou 1 obra de infraestrutura pública e destruiu 6, gerando um prejuízo aproximado de R\$ 366.000,00 (trezentos e sessenta e seis mil).

Ao referir-se ao evento de dezembro (granizo) esse apresentou um impacto maior para o município, afetando áreas localizadas na zona rural do município nos seguintes distritos; 1º Distrito nas localidades de Sítio, Rincão dos Azevedos, Santa Izabel e Butiá; 3º Distrito na localidade de Pinheiros; 5º Distrito nas localidades de Rincão das Almas, Espinilho e Coqueiro; 6º Distrito nas localidades

de Sabão e Gusmão; 7º Distrito nas localidades de Evaristo, Feliz, Canta Galo e Faxinal.

O granizo foi causado por uma frente fria que se formou e deslocou-se rapidamente pelo Estado do Rio Grande do Sul atingindo de forma brusca o município de São Lourenço do Sul. Este veio acompanhado de chuvas e destelhou casas causando prejuízos também em lavouras e na criação de animais, de forma que atingiu 5.000 pessoas que tiveram telhas quebradas e necessitam de auxílio de lonas, telhas, colchões, travesseiros e alimentação. Esse levantamento ocorreu através de 8 equipes da prefeitura, Corpo de Bombeiros, SAMU e Defesa Civil.

A contabilização desses prejuízos através de danos materiais ficou exposta da seguinte maneira: 3 instalações públicas de ensino danificadas nas localidades de Coqueiro, Gusmão e Rincão dos Azevedos (R\$ 41.488,90 – quarenta e um mil, quatrocentos e oitenta e oito reais com noventa centavos), sendo que uma escola teve que transferir suas atividades devido aos estragos do temporal; 700 unidades habitacionais rurais danificadas (R\$ 3.500.000,00 – três milhões e quinhentos mil reais); 1 instalação pública de saúde na localidade de Coqueiro, não registrando grandes prejuízos e 6 instalações públicas de uso comunitário (R\$ 80.000,00 – oitenta mil reais). Importante salientar que esses danos se referem apenas em propriedades danificadas, considerando que não houve registro de nenhuma instalação destruída.

Esse evento não registrou danos ambientais, porém, foram registrados pela Secretaria Municipal de Planejamento e Meio Ambiente em visita a zona rural devido ao granizo que afetou o município, observou-se o impacto na fauna, com morte de pássaros, herbívoros (lebres), e flora, com a queda e danificação de espécies nativas.

Ao abordar os prejuízos econômicos públicos e privados, é possível afirmar que a CEEE - D (Companhia Estadual de Energia Elétrica) registrou no dia do evento 70 ocorrências, o que representa quatro vezes a média normal, totalizando um prejuízo de R\$ 6.500,00 (seis mil e quinhentos reais) por falta de

fornecimento de energia. Já em relação aos prejuízos econômicos, conforme levantamentos realizados pela EMATER (Associação Riograndense de Empreendimentos de Assistência Técnica e Extensão Rural), Sindicato dos Trabalhadores Rurais, Secretaria Municipal de Desenvolvimento Rural, Federação Nacional dos Trabalhadores e Trabalhadoras Rurais na Agricultura Familiar - Região SUL, foi constatado perdas nos setores da agricultura, sendo a cultura de fumo afetada em cerca de 2.800 hectares num montante de mais de R\$ 16 milhões de reais em prejuízos privados. Foi registrado prejuízos também em outras culturas como milho, feijão, soja e videiras.

Em setembro do ano consecutivo (2014) aconteceu o reconhecimento de um novo evento – de mesma tipologia (granizo) – o qual teve uma curta duração (5 minutos) e afetou apenas localidade de Medianeira, Lomba, Centro, Sete de Setembro, Barrinha e Navegantes. Todos na zona urbana do município.

Já em outubro de 2015, ocorreu o reconhecimento de inundação que desabrigou 30 pessoas, desalojou 40 e de alguma maneira atingiu outras 6.000. Esse evento danificou 300 unidades habitacionais (R\$ 1.000.000,00 – um milhão de reais), 5 instituições públicas de ensino (R\$ 1.429,00 – um mil, quatrocentos e vinte e nove reais) e 43 obras de infraestrutura pública (R\$ 2.473.532,00 – dois milhões, quatrocentos e setenta e três mil, quinhentos e trinta e dois reais), além, dos prejuízos econômicos públicos (PEPL) e privados (PEPR).

Os PEPL ocorreram em relação a geração e distribuição de energia elétrica; e associado ao apoio em unidades de ensino, totalizando respectivamente um gasto orçamentário de R\$ 150.000,00 (cento e cinquenta mil) e R\$ 1.429,00 (um mil, quatrocentos e vinte e nove reais). Já em relação aos PEPR, os mesmos ocorreram na agricultura (R\$ 27.065.000,00 – vinte e sete milhões, sessenta e cinco mil reais), pecuária (R\$ 1.080.000,00 – um milhão e oitenta mil reais) e comércio (R\$ 78.830,00 – setenta e oito mil e oitocentos e trinta reais).

O ano de 2016 ficou marcado com o reconhecimento ocorrido em abril, recorrente a tempestade local/ convectiva – chuvas intensas. Este evento atingiu toda a área rural (todos os distritos 1º ao 7º) e parte da área urbana, às margens do rio São Lourenço, a estrada para o Camping Municipal e nos bairros Sete de Setembro, Nova Esperança, Santa Terezinha, Arthur Kraft, Fiorame, Camponesa, Avenida e Banhado Grande.

O INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) divulgou que para o mês de abril era prevista uma precipitação de 62,64mm e a ocorrência foi de 222,60mm/mês. Além dessa elevada precipitação, foi também registrado ventos fortes, causando danos como estragos em residências, plantações, vias e em redes, seja elétrica ou de drenagem, assim como, queda de pontes e estragos em bueiros devido a deslizamento de terras em estradas na zona rural. Importante apontar que devido a suba no nível da lagoa, pistas ficaram cobertas e residências foram invadidas por esse alto volume.

Cerca de 2.070 indivíduos residentes na área urbana do município foram impactados pelo evento adverso, enquanto aproximadamente 3.000 pessoas foram afetadas na zona rural. Entre os afetados, 20 pessoas, que ficaram desabrigadas, receberam acomodação provisória, e outras 50, que foram desalojadas, foram realocadas nas residências de familiares. A administração municipal mobilizou todos os recursos ao seu alcance para atenuar os efeitos do desastre e oferecer suporte e assistência aos atingidos. Um abrigo foi providenciado na Comunidade Medianeira para acolher aqueles que foram afetados, juntamente com auxílio para transferência de famílias para lares de parentes e amigos.

Quanto aos prejuízos referentes a essa chuva intensa, 20 unidades habitacionais sofreram danos, porém não contabilizados, e também 18 obras de infraestrutura pública, tais como, 12 pontes danificadas e 6 bueiros somando um prejuízo de R\$ 365.544,00 (trezentos e sessenta e cinco mil, quinhentos e quarenta e quatro reais). Importante salientar que esse evento não acarretou em nenhum dano severo de poluição ambiental.

Quanto aos setores públicos, o prejuízo calculado foi de aproximadamente R\$ 791.244,00 (setecentos e noventa e um mil, duzentos e quarenta e quatro reais), divididos em: R\$ 425.700,00 (quatrocentos e vinte e cinco mil e setecentos reais) para geração e distribuição de energia elétrica e R\$ 365.544,00 (trezentos e sessenta e cinco mil e quinhentos e quarenta e quatro reais) para transporte local, regional e/ou de longo curso. A companhia de energia elétrica atuante na época do ocorrido (CEEE-D) registrou diversos postes quebrados, transformadores danificados e diversos pontos de rede rompidos tanto na área rural quanto na urbana. No entanto, ao tratar dos prejuízos econômicos privados, esses geraram impactos significativos nas culturas de soja, milho, arroz, olerícolas e frutícolas, fumo, pescado e bovinos de leite; bem como, prejuízos materiais em estradas que dificultam o manejo destes. O PEPR totalizou R\$ 113.414.000,00 (cento e treze milhões e quatrocentos e quatorze mil reais), subdivididos em: agricultura (R\$ 108.822.000,00 – cento e oito milhões, e oitocentos e vinte dois mil reais), pecuária (R\$ 2.592.000,00 – dois milhões, e quinhentos e noventa e dois) e indústria (R\$ 2.000.000,00 – dois milhões reais).

O ano de 2018 foi contemplado com dois reconhecimentos no mesmo mês, o primeiro está caracterizado como estiagem e foi registrado em 09/02, e o segundo ocorreu em 27 dias do mesmo mês, sendo nomeado como tempestade local/convectiva – granizo. A estiagem de 2018 afetou toda a zona rural do município, reduzindo o volume hídrico da região em ao menos 20%, ou seja, atingindo açudes, sangas, riachos, rios e arroios, bem como outros tipos de armazenamento de águas, tais como, poços, vertentes e pequenas barragens, as quais não estavam completamente secas estavam próximas a essa situação. A estiagem se caracterizava tão severa, que em pontos a vegetação se encontrava tão seca que apresentava risco de queimadas, além de claro, afetar especialmente o produtor. Efeitos do evento podem ser visualizados na Figura 2.



Figura 2. Relatório fotográfico referente a estiagem de fevereiro de 2018. 1.a) Arroio Evaristo, principal arroio que corta o município. 1.b) Arroio Santa Tereza, que banha as localidades de Santa Tereza e parte de Socorro e Pinheiros. 1.c) Campos secos, onde vacas leiteiras da raça Jersey não possuem pastagem de alimentação. 1.d) Açude praticamente seco em propriedade. 1.e) Lavoura de soja completamente comprometida. 1.f) Lavoura de milho seca e comprometida antes da granação, o que impossibilita o uso até para silagem.

Este evento teve início em dezembro de 2017, devido a baixa pluviosidade que pairava na região, de modo que atingiu mais de 647 pessoas, de forma direta, os quais ficaram em situação de escassez de água para os animais e sem acesso à água potável para consumo. Essa estiagem não causou danos materiais, porém, os prejuízos econômicos foram consideráveis. Os prejuízos do setor público ficaram em R\$ 40.050,00 (quarenta mil e cinquenta), dividido em: R\$ 550,00 (quinhentos e cinquenta) para o frete a terceiros e R\$ 4.900,00 (quatro mil e novecentos) em despesas ao município para a distribuição de água, esta que foi cedida gratuitamente pela CORSAN; além desse valor gasto para distribuição, foi gasto também o valor de R\$ 34.950,00 (trinta e quatro mil, e novecentos e cinquenta) para a construção de açudes,

limpeza de cacimbas e açudes, abertura de canais e outros serviços ligados a irrigação, coleta e armazenamento de água.

No entanto, o prejuízo econômico privado ultrapassou R\$ 163 milhões nos setores da agricultura e pecuária. A agricultura teve uma perda ainda maior que a pecuária. As culturas mais atingidas foram a de milho (R\$ 29.046.600,00 – vinte e nove milhões, quarenta e seis mil, e seiscentos), soja (R\$ 58.500.000,00 – cinquenta e oito milhões e quinhentos mil), fumo (R\$ 47.174.400,00 – quarenta e sete milhões, cento e setenta e quatro mil e quatrocentos), e na pecuária de corte, leite e silagem: milho se silagem (R\$ 8.775.000,00 – oito milhões, e setecentos e setenta e cinco mil), gado de leite (R\$ 748.800,00 – setecentos e quarenta e oito mil, e oitocentos), gado de corte (R\$ 17.834.425,00 – dezessete milhões, oitocentos e trinta e quatro mil, e quatrocentos e vinte e cinco).

A queda de granizo registrada dias após ao decreto de estiagem atingiu a divisa entre São Lourenço do Sul e Canguçu, em fevereiro de 2018, ocasionando danos à agricultura local. Em aproximadamente 30 minutos, foi registrado um volume pluviométrico de 55 mm seguido de uma forte tempestade de granizo levando animais domésticos a óbito e comprometendo cerca de 15% da área rural lourenciana, mais precisamente as localidades de Santa Inês, Harmonia, Bom Jesus II, Santo Antônio, Benedito, Taquaral, Quevedos, Picada Quevedos, Campos Quevedos, Santa Augusta, Canta Galo, Picada Feliz, Evaristo, Gusmão, Pinheiros, Araçá, Faxinal e Santa Tereza. Segundo os técnicos da Emater as perdas para a agricultura foram superiores a 18 milhões de reais, além de causarem danos significativos ao telhado de mais de 500 casas e 300 galpões (Eberhardt, 2018).

Em março do ano de 2018 houve uma intensa precipitação que causou danos a plantações e criações no município. A chuva causou prejuízo às plantações de soja, fumo, arroz e a criação de gado. Os prejuízos para agricultura foram superiores a 2 milhões de reais, para a criação de animal vacum foi registrado o desaparecimento de mais de 300 animais (G1, 2023).

A queda de granizo acompanhada de chuvas danificaram uma grande quantidade de imóveis, danificando ao menos 300 galpões ou estufas, 550 unidades habitacionais e uma instalação pública de ensino, afetando diretamente 2.310 pessoas. Esse prejuízo contabilizou R\$ 1.427.909,20 (um milhão, quatrocentos e vinte sete mil, novecentos e nove com vinte) e desses R\$ 59.909,20 (cinquenta e nove mil, novecentos e nove com vinte) foram destinados dos cofres públicos para a restauração completa da cobertura danificada da Escola Municipal Martinho Lutero. Efeitos do evento podem ser visualizados na Figura 3.

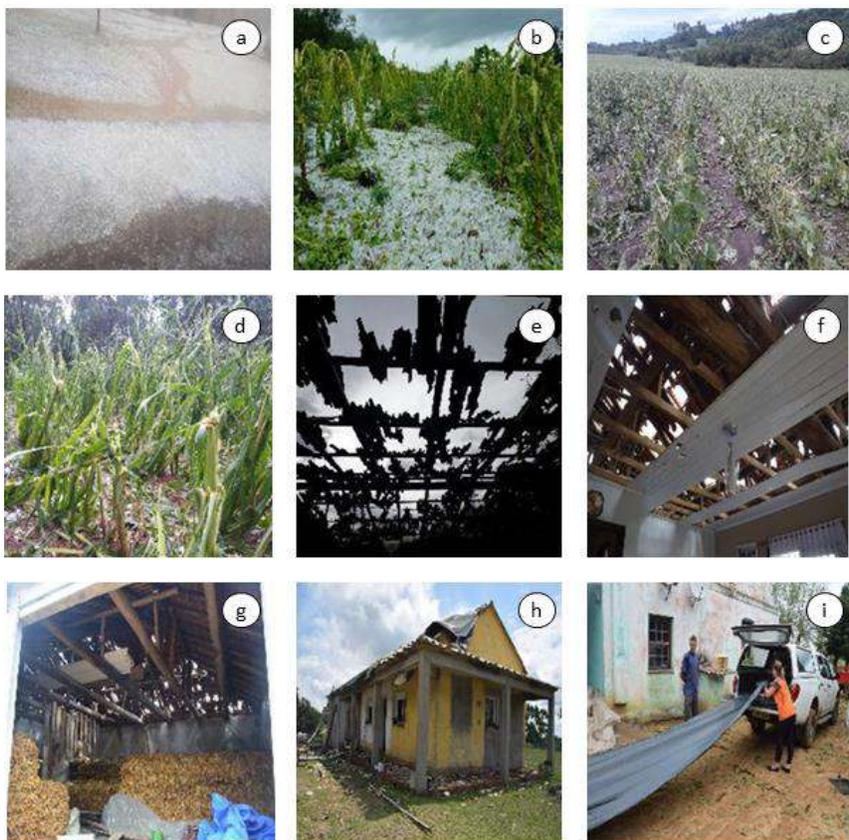


Figura 3. Relatório fotográfico referente ao decreto de granizo ocorrido em fevereiro de 2018. 3.a) Lavoura de fumo destruída pelo granizo. 3.b) Granizo acumulado em Campos Quevedos. 3.c) Lavoura de soja destruída. 3. d)

Lavoura de milho destruída. 3.e) Cobertura de galpão localizado em Taquaral completamente destruída. 3.f) Telhado residencial completamente destruído. 3.g) Cobertura de galpão de fumo destruído, ocasionando perda total da colheita, uma vez que estava seca. 3.h) Casa localizada em Canta Galo que necessitou de suporte da Defesa Civil. 3.i) Trabalho emergencial por parte da Defesa Civil.

Além da restauração do telhado da escola, o município teve uma despesa extra de R\$ 4.200,00 (quatro mil e duzentos reais) com combustíveis para o transporte de água potável e R\$ 700,00 (setecentos reais) com transporte para levantamento social do impacto do desastre. Outro ponto significativo de perdas foi em relação aos danos na agricultura, essa que já vinha sofrendo com o impacto da estiagem, associando os eventos, a mesma teve uma soma de danos em R\$ 18.931.500,00 (dezoito milhões, novecentos e trinta e um mil, e quinhentos reais).

Em 2019, o reconhecimento era de tempestade local/convectiva – chuvas intensas. O evento em questão atingiu 70% da área rural do município, carregando danos especialmente na produção agrícola e leiteira, isso pois choveu de forma excessiva por 3 dias consecutivos extrapolando o volume médio mensal para o mês de 103 mm para 350 – 505 mm (variação mínima e máxima registrada de acordo com as regiões afetadas). A população rural de São Lourenço do Sul é composta por cerca de 18.000 habitantes, os quais 7.000 foram afetados, seja de forma direta (perdas) ou indireta (estradas/locomoção).

Diante desse desastre 14 obras de infraestrutura públicas foram atingidas, tais quais, estradas, pontes, bueiros e pontilhões; acarretando em um prejuízo material inicial de R\$ 1.235.220,85 (um milhão, duzentos e trinta e cinco mil, duzentos e vinte com oitenta e cinco), o qual teve um acréscimo de R\$ 220.000,00 (duzentos e vinte mil) para a melhoria de 600 km de estradas, reconstrução e cascalhamento, totalizando um dano aos cofres públicos de R\$ 1.455.220,85 (um milhão, quatrocentos e cinquenta e cinco mil, duzentos e vinte com oitenta e cinco). Efeitos do evento podem ser visualizados na Figura 4.



Figura 4. Relatório fotográfico referente ao decreto de tempestade local/convectiva – chuvas intensas ocorridas em outubro de 2019. 4.a) Vista da estrada de poste de fixação do pluviômetro da região derrubado pelo evento. 4.b) Vista do arroio de poste de fixação do pluviômetro da região derrubado pelo evento e vista de danos ocorridos na cabeceira da ponte 4.c/d) Vistas dos danos causados em ponte que realiza a divisa entre São Lourenço do Sul e Canguçu. 4.e) Transbordo do arroio que corta o município ao meio Arroio Evaristo. 4.f) Deslizamento/Cratera aberta na cabeceira da ponte do Arroio Evaristo. 4.g) Galeria danificada na estrada Sabão. 4.h) Ponte Campestre Socorro. 4.i) Galeria Pinheiros. 4.j) Galeria Faxinal. 4.k) Estrada de Travessão Feliz. 4.l) Estrada localizada entre Campos Quevedos e Feliz. Fonte: S2iD, (2023).

No entanto, ao tratar os danos econômicos privados, esses totalizaram R\$ 18.649.840,00 (dezoito milhões, seiscentos e quarenta mil, oitocentos e quarenta), divididos em: R\$ 18.630.000,00 (dezoito milhões, seiscentos e trinta mil reais) o equivalente a 1.926 toneladas a menos na colheita; e R\$ 19.840,00 (dezenove mil, e oitocentos e quarenta reais) o que impede a movimentação circular de produto e conseqüentemente de dinheiro na região e o desperdício de produto que acaba estragando por consequência dos danos nas estradas.

O ano seguinte (2020) teve dois registros reconhecidos, sendo o primeiro em 10 de janeiro que se refere a estiagem, e o seguinte em 30 de junho referindo-se a doenças infecciosas virais. No que diz respeito ao segundo registro, não foram levantados dados perante relatório de informação ao desastre da defesa civil. Já em relação ao primeiro evento, o de estiagem, esse atingiu de forma direta e/ou indireta 18.000 pessoas devido a diminuição ou exaurimento³ superior a 20% nos corpos hídricos da região; o que conseqüentemente acarretou em um PEPL de R\$ 2.500,00 (dois mil e quinhentos) referente a abastecimento de água potável na região. Já os PEPR perante a perdas na agricultura ultrapassaram o valor de R\$ 109.847.000,00 (cento e nove milhões, oitocentos e quarenta e sete mil reais), valor muito maior que a pecuária (R\$ 4.792.950,00 – quatro milhões, setecentos e noventa e dois mil, novecentos e cinquenta reais).

Em 2021 ainda era possível ver os impactos e mudanças recorrentes do registro de doenças infecciosas virais. Essa era a conhecida COVID-19, doença que desencadeou a pandemia mundial que se estendeu no Brasil de 11 de março de 2020 (OPAS/OMS, 2020) até 05 de maio de 2023 (OPAS/OMS, 2023). Desse modo, os únicos registros que ocorreram neste ano, foram referentes a doenças infecciosas, os quais não foram apresentadas informações através do formulário de informação ao desastre.

³ Ato ou consequência de exaurir-se; esgotar ou esgotar-se. (Exaurimento, 2023).

Já em 2022, a situação foi diferente, visto que em 05 de fevereiro era reconhecida a situação de estiagem em São Lourenço. Esse evento atingiu quase a totalidade da zona rural do Município e incluem as seguintes localidades: 2º Distrito: Campos Quevedos, Santa Augusta. 3º Distrito: Pinheiros, Santa Tereza, Socorro, Fazenda das Tunas, Gusmão, Evaristo. 4º Distrito: Harmonia, Sesmária, Santana. 5º Distrito: Coqueiro, 6º Distrito: Boa Vista. 7º Distrito: Picada Esperança, Pinheirinhos, Faxinal, Cantagalo. Efeitos do evento podem ser visualizados na Figura 5.



Figura 5. Relatório fotográfico referente ao decreto de estiagem ocorrido em fevereiro de 2022. 5.a/b) Entrega de água na localidade de Pinheiros. 5.c) Entrega de água no Quilombo Torrão, localidade e Cantagalo. 5.d/e) Lavoura comprometida de tabaco em Santa Tereza. 5.f) Lavoura comprometida de milho em Picada Gusmão. Fonte: S2iD, (2023).

A estiagem decretada em fevereiro havia indícios desde dezembro de 2021, porém agravou a partir da segunda semana de janeiro do ano recorrente com uma redução e/ou exaurimento significativo de 5% dos recursos hídricos e baixos volumes precipitados. Esse desastre em questão atingiu 1.197 pessoas residentes na zona rural do município, através do

desabastecimento de água, o que se refere a 42 famílias. Para suprir essa necessidade de água potável, houve um gasto de R\$ 5.250,00 (cinco mil e duzentos e cinquenta) referente ao transporte de água em caminhões tanques, mais R\$ 10.400,00 (dez mil e quatrocentos) em transporte de água com caminhões pipas. Ainda, se obteve um prejuízo de R\$ 20.324,00 (vinte mil, trezentos e vinte quatro reais), referido ao custo de prestação de serviços de hora máquina, operário e operador de máquina para assim viabilizar o transporte de água para as propriedades.

Esse exaurimento hídrico acarretou um PEPR de R\$ 286.403.918,80 (duzentos e oitenta e seis milhões, quatrocentos e três mil, novecentos e dezoito mil com oitenta), de forma a R\$ 283.197.668,80 (duzentos e oitenta e três milhões, cento e noventa e sete mil, seiscentos e sessenta e oito com oitenta) contemplar as perdas nas culturas de tabaco, milho, soja, feijão e olerícolas. Já a redução pecuária na produção de leite acarretou aos produtores um prejuízo de R\$ 3.206.250,00 (três milhões, duzentos e seis mil e duzentos e cinquenta reais). Como ação mitigadora, o município solicitou 6 obras de serviços gerais, como limpeza e abertura de bebedouros e cacimbas, melhoria de vias de acesso às propriedades rurais para entrega de água potável.

Esse evento em questão acarretou em danos ambientais significativos, visto a diminuição e/ou exaurimento hídrico associado com o calor excessivo devido às altas temperaturas para a data acarretaram em focos de queimadas, que conseqüentemente provocam a poluição ou contaminação do solo, ar e corpos hídricos.

Por fim, o ano corrente (2023) até o início do mês de maio registrou uma estiagem severa, atingindo a totalidade da população lourenciana (43.114 habitantes). Isso pois o exaurimento hídrico e a poluição do ar ultrapassaram a marca de 20% da sua totalidade, necessitando de um apoio municipal que acarreta em um PEPL em relação ao abastecimento de água no valor de R\$ 22.500,00 (vinte e dois mil e quinhentos reais). O que, conseqüentemente gera perda nas produções de safra (da época) e na pecuária, de modo que esses somam R\$ 371.324.000,00

(trezentos e setenta e um milhões e trezentos e vinte e quatro reais) e R\$ 407.312.000,00 (quatrocentos e sete milhões, e trezentos e doze mil reais) em prejuízo privado respectivamente.

Apesar do verão de 2023 ter sido extremamente rigoroso em relação à ausência pluviométrica, o inverno foi o oposto. Isso ocorreu por consequência do El Niño que se encontra em atividade sobre o continente atualmente, desencadeando diversos ciclones que atingiram o Rio Grande do Sul. Em São Lourenço ficou registrado um vendaval (Tempestade Local/Convectiva - Vendaval, código COBRADE 13215) o qual desalojou 11 pessoas e atingiu em outras formas 43103 pessoas. Além disso, 108 unidades habitacionais foram danificadas pela força do vento acompanhado de fortes chuvas, o que quantificou um dano material de R\$ 108.000,00.

Além disso, ocorreu também os danos materiais em instalações públicas, sendo: 2 de saúde, 4 de ensino, 4 de uso comunitário, 1 prestadora de serviço e 1 obra de infraestrutura, o que acarreta em um prejuízo público de R\$ 16.844,11, R\$ 28.800,53, R\$ 169.105,60, R\$ 4.827,60, R\$ 125.604,40, respectivamente. Já ao se tratar de prejuízo econômico público, esse se deu através dos serviços de: assistência médica, saúde pública e atendimentos de emergência (R\$ 16.844,11); sistema de limpeza urbana, recolhimento e destinação do lixo (R\$ 243.759,3); segurança pública (16.540,04) e ensino (R\$ 28.800,53). Devido aos fortes ventos, que deixaram a população local muito tempo sem abastecimento de energia (consequência da queda de postes e árvores), o setor do comércio e indústria sofreram grandes perdas, gerando um prejuízo privado de R\$ 300.595,00 e mais de R\$ 584.400,00 respectivamente.

4. Eventos adversos significativos no contexto climatológico de São Lourenço do Sul

O Rio Grande do Sul possui um clima relativamente similar aos estados do extremo sul dos Estados Unidos da América banhados pelo oceano Atlântico, como os Estados do Texas, Louisiana, Mississippi, Alabama, Geórgia e a Flórida. Sendo assim, os fenômenos meteorológicos que ocorrem no RS também se assemelham aos encontrados nessas regiões, porém, geralmente se dão de forma muito mais branda (Leandro, 2021, p.53).

Corroborando com essa observação, ZIRBES *et al.* (2021), salientam que esses fenômenos podem intensificar-se tanto em relação a sua força quanto no que refere-se à frequência, devido a atuação de sistemas meteorológicos de grande escala (sinótica), por exemplo: bloqueios atmosféricos, ondas de leste, frentes, ciclones, dentre outros. Além de fenômenos de escala global, como: ENOS (El Niño, Neutralidade e La Niña), oscilações oceânicas e o fenômeno das teleconexões. Alguns desses fenômenos podem eventualmente ocorrer de forma simultânea.

Historicamente São Lourenço do Sul, por estar situada às margens do arroio São Lourenço, é um município naturalmente suscetível a enfrentar eventos de cheia por ocasionais transbordamentos da Lagoa dos Patos. Da mesma forma, períodos longos com estiagem tendem a causar transtornos para a população em toda a região, em especial por tratar-se de uma área com fonte de renda voltada à agricultura familiar e produção de orgânicos, além da pecuária de corte e leite.

Médias climatológicas são baseadas em 30 anos de dados, de estações oficiais do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Como o município de São Lourenço do Sul não conta com uma estação governamental própria de medição de dados meteorológicos, a única forma de estimar as médias climatológicas desse município é por meio de um método de interpolação de

dados das estações meteorológicas mais próximas, existentes em torno da área de interesse. Isso, de forma objetiva, leva em consideração o fato de que a maior parte dos sistemas meteorológicos transeuntes e cursos naturais de água se deslocam de oeste para leste, em direção à Lagoa dos Patos. Com auxílio de dados extraídos do Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA) é possível realizar algumas observações

Climatologicamente o município possui verões quentes e abafados e os invernos costumam ser longos, amenos e com ventos intensos. Em geral, a temperatura varia de 10°C a 29°C ao longo do ano e em raras oportunidades fica inferior a 5°C ou acima de 33°C. A precipitação é relativamente bem distribuída durante praticamente o ano inteiro, registrando seus maiores acumulados entre o fim do outono e começo da primavera. Também há destaque para o mês de fevereiro, sendo o que registra a maior média de precipitação durante os últimos anos. Períodos de estiagem costumam ocorrer entre os meses de março e junho, especialmente favorecidos na presença do fenômeno climático La Niña. Na Figura 6, pode-se observar gráficos das médias climatológicas de temperatura e precipitação em torno do município de São Lourenço do Sul.

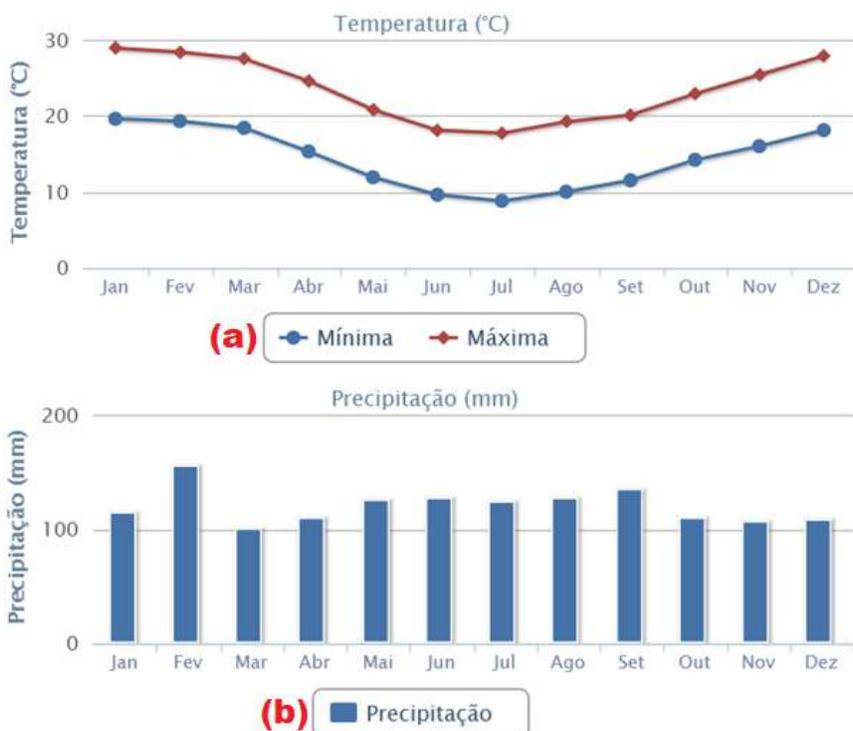


Figura 6. Normais Climatológicas de (a) temperatura e (b) precipitação, em São Lourenço do Sul. Fonte: Somar Meteorologia, via IRGA. 2023.

Ao converter-se os gráficos em uma tabela (Figura 7) é possível notar-se alguns dados interessantes, como por exemplo uma média superior a 100 mm durante o ano todo, em especial no primeiro semestre do ano, havendo tendência de superávit hidrológico em fevereiro e entre maio e setembro, sendo esses os meses com maior potencial a ocorrências de desastres hidrometeorológicos.

Mês	Temp Min.	Temp Max.	Chuva
Jan	19.6 °C	28.9 °C	114.9 mm
Fev	19.3 °C	28.4 °C	155.1 mm
Mar	18.4 °C	27.5 °C	100.2 mm
Abr	15.3 °C	24.6 °C	109.3 mm
Mai	11.9 °C	20.8 °C	125.2 mm
Jun	9.6 °C	18.1 °C	126.3 mm
Jul	8.8 °C	17.7 °C	124.4 mm
Ago	10 °C	19.2 °C	126 mm
Set	11.5 °C	20.1 °C	135.4 mm
Out	14.2 °C	22.9 °C	108.7 mm
Nov	16 °C	25.4 °C	106.8 mm
Dez	18.1 °C	27.9 °C	107.1 mm

Figura 7. Tabela de dados climatológicos com destaques de precipitação e temperaturas. Fonte: adaptada de Somar Meteorologia, via IRGA. 2023.

Ressalta-se que nem todos os eventos extremos enquadram-se nos quesitos dispostos no capítulo **Eventos adversos no município com decretos de emergência** e, eventualmente, acabam passando despercebidos pelo poder público e população menos atenta, o que não significa que não sejam potencialmente danosos, quando localizados e/ou observados longe de áreas urbanizadas. Todavia, a observação e documentação desses eventos de menor magnitude, essencialmente os que não recebem decretos de emergência, ajudam a parametrizar a climatologia local e evidenciar o grau de risco potencial que uma determinada área está exposta.

Contudo, eventos significativos do tempo severo em menor escala não podem ser ignorados, pois estes quando somados representam uma parcela importante na perda de PIB local, considerando que eles ocorrem com certa regularidade. Observou-se, analogamente, diversas ocorrências de granizo sobre o município nas duas últimas décadas, com aumento expressivo nos últimos 5 anos.

Um levantamento realizado a partir de mídias sociais, jornais de circulação regional e estadual, aponta registros de granizo nos

anos de 2009, 2010, 2013, 2014, 2018, 2019, 2020, 2021, e recentemente em 2022. Alguns destes eventos foram de fraca intensidade e não geraram perdas consideráveis, porém, a chuva de granizo em 2018 causou danos em larga escala, destruindo lavouras inteiras, resultando em perdas superiores a R\$ 18 milhões.



Figura 8. Múltiplos registros de danos por granizo no interior de São Lourenço do Sul Fonte: Deniz Peglow, via GZH. 2018.

Alguns desses registros destacam-se não apenas por sua magnitude, mas também em razão de suas características um tanto quanto peculiares, gerando curiosidade entre a população local. Esse é o caso da chuva de granizo ocorrida em 15 de novembro de 2010 sobre a propriedade do Sr. Fabio Ramos, na localidade de Harmonia em São Lourenço do Sul.

De acordo com moradores locais uma intensa chuva de granizo durou aproximadamente 40 minutos gerando grande acúmulo de gelo. No entanto, a chuva que sucedeu a granizada varreu o campo e arrastando palha por sobre o gelo, assim o protegendo do sol. Devido a isso, o granizo permaneceu

preservado durante aproximadamente 1 mês inteiro. A localidade praticamente se converteu em ponto turístico em razão do grande número de visitantes do “morro de granizo”.



Figura 9. Granizo acumulado por mais de um mês em Harmonia, interior de São Lourenço do Sul Fonte: Nauro Júnior via GZH. 2010

Eventos relacionados a vento intenso também vem repetindo-se com certa frequência sobre o município, geralmente de forma muito localizada, porém, eventualmente intensa. O ano de 2018 destaca-se pela recorrência de tempestades na região de São Lourenço do Sul durante os períodos de primavera-verão. Em um intervalo de 8 dias, entre 22 e 29/09, dois vendavais atingiram a região. O primeiro deles derrubou 54 postes e danificou os stands montados para a realização da Expofeira. No segundo, apenas 2 postes foram tombados.



Figura 10. Stands danificados montados para a realização da Expofeira e postes caídos. Fonte: Blog de Notícias O Lourenciano. Novembro de 2018.

Para a surpresa dos moradores locais, em dezembro de 2018 um intenso vendaval com características de *downburst*, sendo este caracterizado por uma intensa corrente de vento descendente de uma tempestade que ao atingir a superfície possui alto potencial de destruição, atingiu a zona rural no município danificando edificações bem construídas como a igreja local, um salão de eventos e um minimercado. 1,5 mil famílias tiveram o fornecimento de energia elétrica temporariamente interrompidos.



Figura 11. Estragos causados pela tempestade em São Lourenço do Sul em dezembro de 2018. Fonte: reprodução, via RBS Notícias. 2018.

Essa não foi a 1ª vez que uma tempestade de vento severa ocorreu por lá. Em 1989, um fenômeno similar atingiu a zona urbana do município. Não há informações de qual a natureza do evento, mas todavia os danos foram muito significativos. À época, a residência da família Schnorr teve toda a sua cobertura arrancada e arremessada por sobre os terrenos vizinhos gerando escombros. Felizmente, não houve registro de feridos.



Figura 12. Destruição na residência da família Schnorr em São Lourenço do Sul devido ao forte vendaval. Fonte: Ana Cristina Schnorr Krüger. 1989.

Outros eventos de tempo significativos ocorreram ao longo dos anos, inclusive nuvens funil (estágio inicial de tornado) foram avistadas serpenteando o céu em 2014, poucas horas após uma tempestade de natureza inconclusiva devastar uma propriedade rural no Taim próxima às margens da BR-471, destruindo completamente silos de armazenagem de arroz. Esse paralelo é destacado aqui em razão de que ambas as localidades na Zona Sul do RS estavam condicionadas à forte instabilidade atmosférica nessa ocasião.



Figura 13. Nuvem funil em São Lourenço do Sul e destruição de silos em propriedade rural no Taim. Fonte: via Metsul, fevereiro de 2014.

Dito isso, observaram-se outros eventos significativos, mas de menor proporção, muito localizados e geralmente relacionados à passagem de frentes ou ciclones junto a região costeira, causando danos mais pontuais como destelhamentos leves, quedas de árvores e/ou interrupções no fornecimento de energia elétrica à comunidade.

Conclui-se que embora os eventos pontuais de tempo severo, em geral, não ofereçam grandes risco à população, não devem ser subestimados pelos cidadãos, tampouco pelo poder público, já que

podem ocasionar grandes transtornos para a população, sobretudo em virtude de cortes no fornecimento elétrico e, conseqüentemente, de abastecimento de água potável.

Estes eventos servem, portanto, como uma espécie de métrica ao enfrentamento de crises, como a necessidade de elaboração de planos de contingência, manutenção da prestação de serviços básicos, conforme ocorre em hospitais públicos, o efetivo policial, incluindo a Guarda Municipal e de Trânsito, para manutenção do fluxo de trânsito ou interrupção do mesmo por medida preventiva, distribuição de lonas e fornecimento de kits de primeiros socorros e cestas básicas para os desabrigados.

5. Eventos extremos e vulnerabilidade socioambiental urbana e rural

A vulnerabilidade social refere-se às características de uma população ou comunidade que os tornam mais suscetíveis a danos causados por desastres naturais ou eventos extremos, como pobreza, idade, gênero e etnia. Ou seja, refere-se às características de uma população que aumentam sua suscetibilidade a danos e reduzem sua capacidade de responder e se recuperar de perigos como desastres naturais ou eventos extremos. A vulnerabilidade ambiental, por outro lado, refere-se à suscetibilidade do meio ambiente a danos causados por desastres naturais ou eventos extremos, como desmatamento, erosão e mudança no uso da terra. Vários estudos têm mostrado que existe uma forte relação entre a vulnerabilidade social e o impacto de desastres naturais ou eventos extremos.

Segundo Fekete e Hagenlocher (2020), a vulnerabilidade social pode ser atribuída a diversos fatores, como pobreza, idade, deficiência, raça e gênero. Esses fatores influenciam o acesso a recursos, redes sociais e informações, que são fundamentais para reduzir o risco de desastres. A vulnerabilidade ambiental, por outro lado, é causada por fatores naturais e induzidos pelo homem, como mudanças climáticas, desmatamento e erosão do solo, que afetam a resiliência dos ecossistemas a desastres naturais (Cutter *et al.*, 2019).

A interação entre vulnerabilidade social e ambiental pode agravar os impactos dos desastres. Por exemplo, comunidades de baixa renda que vivem em áreas propensas a inundações podem não ter recursos e infraestrutura para mitigar os impactos das inundações. Além disso, a degradação ambiental pode aumentar o risco de deslizamentos de terra e erosão do solo, o que pode afetar os meios de subsistência de comunidades vulneráveis (Adger *et al.*, 2019).

Portanto, é essencial considerar a vulnerabilidade social e ambiental nas estratégias de gestão de riscos de desastres. Isso

pode envolver o desenvolvimento de sistemas de alerta precoce, melhoria da infraestrutura e acesso a recursos e promoção da participação da comunidade na preparação e resposta a desastres (Bennett *et al.*, 2020).

A relação entre vulnerabilidade socioambiental e eventos extremos pode variar significativamente entre ambientes urbanos e rurais. As áreas urbanas são geralmente mais densamente povoadas e com maior concentração de edifícios e infraestrutura, tornando-as mais suscetíveis a certos tipos de desastres, como inundações ou terremotos. Por outro lado, as áreas rurais podem apresentar diferentes vulnerabilidades, como acesso limitado a serviços de emergência ou falta de infraestrutura para resposta a desastres.

Segundo estudo de Saito e Villanueva (2021), em áreas urbanas, fatores de vulnerabilidade social como pobreza, falta de acesso à educação e barreiras linguísticas podem agravar o impacto de desastres, principalmente para comunidades marginalizadas. Além disso, a urbanização pode levar a vulnerabilidades ambientais, como o aumento das superfícies impermeáveis e a diminuição dos espaços verdes, o que pode contribuir para inundações e eventos relacionados ao calor.

Nas áreas rurais, as vulnerabilidades ambientais, como erosão do solo, desmatamento e degradação do solo, podem aumentar o risco de desastres naturais, principalmente aqueles relacionados a eventos climáticos. As vulnerabilidades sociais nas áreas rurais podem incluir acesso limitado a recursos, falta de acesso a informações e infraestrutura limitada para resposta a desastres, conforme destacado por Salgado *et al.* (2021). Nas zonas rurais, a vulnerabilidade social está muitas vezes ligada a questões como o acesso limitado à educação e aos cuidados de saúde, bem como à dependência da agricultura e dos recursos naturais (Hamidi *et al.*, 2020; Wang *et al.*, 2018). A vulnerabilidade ambiental nas áreas rurais pode estar associada a fatores como desmatamento, mudança no uso da terra e mudanças climáticas, que podem aumentar o risco de desastres naturais, como incêndios florestais,

secas e inundações (Hamidi *et al.*, 2020; Wang *et al.*, 2018). Por exemplo, em um estudo realizado no Paquistão, Hamidi *et al.* (2020) constataram que a vulnerabilidade das comunidades às inundações foi influenciada por fatores como pobreza, falta de acesso a recursos e infraestrutura inadequada.

De modo geral, a relação entre vulnerabilidade socioambiental e desastres naturais ou eventos extremos pode variar muito dependendo do contexto. Compreender essas diferenças é crucial para o desenvolvimento de estratégias eficazes de redução do risco de desastres em áreas urbanas e rurais. Sendo assim, as mudanças climáticas, que possuem origem antrópica, possuem relação direta com o aumento na frequência e na intensidade de eventos climáticos extremos (IPCC, 2019). Os eventos extremos causam prejuízos em todos os âmbitos da sociedade humana, fazendo aflorar ou acentuando a vulnerabilidade social.

A exposição da população às consequências de eventos extremos aumentou, logo, é importante fazer estudos que avaliem a vulnerabilidade social em escala regional e local (Yang *et al.*, 2015). É necessário ressaltar que a vulnerabilidade social é um parâmetro difícil de quantificar, uma vez que é oriunda de questões sociais (Cutter *et al.*, 2003), no entanto, é preciso o entendimento dos parâmetros socioeconômicos da região, pois a vulnerabilidade social está diretamente relacionada com esses.

Para realizar uma análise sobre a vulnerabilidade do município de São Lourenço do Sul foi realizado um estudo sobre os principais índices socioeconômicos locais. No presente estudo foi utilizado como fonte para os parâmetros socioeconômicos o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e o Departamento de Economia e Estatística da Secretaria de Governança e Gestão do Governo do Estado do Rio Grande do Sul. Já para alguns parâmetros, se utilizou uma comparação entre os índices do município em questão com a média apresentada para os municípios do estado do Rio Grande do Sul. Outros parâmetros foi utilizada uma série histórica para avaliação do comportamento

desse. Por fim, foi realizada uma breve discussão sobre o quadro do município em relação à vulnerabilidade social.

Conforme dados fornecidos pela Secretaria de Meio Ambiente e de Infraestrutura (2022), o estado do Rio Grande do Sul enfrentou, no período compreendido entre 2003 e 2021, um total de 4.230 ocorrências de desastres naturais. Especificamente, no intervalo de 2017 a 2021, mais de 4 milhões de habitantes, residentes em 482 municípios gaúchos, encontraram-se impactados por esses eventos catastróficos, resultando em perdas econômicas estimadas em R\$ 22 bilhões (Secretaria de Meio Ambiente e de Infraestrutura, 2022).

A análise desses números corrobora para a necessidade do estado do Rio Grande do Sul em direcionar recursos substanciais para a mitigação dos danos causados por tais eventos, evidenciando, assim, a persistente vulnerabilidade social que aflige a região face às adversidades climáticas. A frequência de decretos de calamidade pública em resposta a tais eventos extremos atesta a gravidade da situação. Ou seja, São Lourenço do Sul, localizado no mencionado estado, não está imune a esses desafios. Nas últimas décadas, diversos eventos climáticos extremos geraram uma gama diversificada de prejuízos na região. Considerando que o sustento econômico do município repousa predominantemente na produção rural, e tendo em vista a elevada suscetibilidade da atividade agrícola às flutuações climáticas, eventos extremos que poderiam ser relativamente inócuos em outras áreas provocam prejuízos econômicos consideráveis aqui. Além disso, é crucial destacar que a cidade está às margens do Rio São Lourenço, o que a expõe diretamente a inundações durante os períodos de cheias, agravando ainda mais a vulnerabilidade socioeconômica local.

5.1 Uma análise socioeconômica de São Lourenço do Sul

Na tabela 2 estão expostos os indicadores municipais referentes a São Lourenço do Sul. Os dados são oriundos do Departamento de Economia e Estatística da Secretaria de

Governança e Gestão do Governo do Estado do Rio Grande do Sul
(Secretaria de Governança e Gestão, 2023).

Tabela 2: Indicadores Municipais: Dados Econômicos, Populacionais e de Desenvolvimento

PIB do município	R\$ 1.126.353.198,00
PIB per capita	R\$ 25.869,39
Extensão territorial	2.036,13 Km ²
População	41.989 (2022)
Expectativa de vida ao nascer	76 anos
Densidade demográfica	20,62 hab/km ² (2022)
Estoque de emprego formal	5.802
IDESE	0,715

Fonte: Adaptação de Governo do Rio Grande do Sul (2021) e IBGE (2023).

Para avaliar o desenvolvimento para além do PIB per capita de uma região, o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD, 2023) desenvolveu o índice de desenvolvimento humano (IDH), que permite analisar o progresso social em fatores que afetam a qualidade de vida da população, nele estão presentes indicadores de saúde, educação e estilo de vida. O IDH é um indicador utilizado na tomada de decisão de políticas públicas.

No Rio Grande do Sul se utiliza o Índice de Desenvolvimento Humano (IDESE). O IDESE é uma adaptação do conceito de Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) para nível municipal, levando em consideração as particularidades e necessidades do estado do Rio Grande do Sul. Para a construção de tal índice são utilizados parâmetros qualitativos e quantitativos referentes à educação, saúde e renda dos municípios gaúchos (FEE, 2021).

No Gráfico 1 estão expostos a série do IDESE do município de São Lourenço do Sul e a média dos municípios do RS referentes ao

período de 2013 a 2020. É possível notar que o índice IDESE do município em questão é inferior que a média dos municípios do estado. No Rio Grande do Sul, nas últimas décadas, a região norte e nordeste do estado é onde estão contidos os municípios com o melhor desempenho do IDESE (FEE, 2021).

É possível se observar também, através dos dados expostos na figura 14, que o município de São Lourenço do Sul teve um crescimento do IDESE, no período reportado pela pesquisa, superior à média do Estado. Os dados gráficos indicam um aumento significativo na qualidade de vida dos lourencianos.



Figura 14. IDESE. Fonte: Adaptação de Governo do Rio Grande do Sul (2021).

O Índice de Desenvolvimento da Educação Básica (IDEB) foi desenvolvido no ano de 2007, o indicador possui base em dois parâmetros, o fluxo escolar e as médias das notas obtidas nas avaliações (Ministério da Educação, 2023). É um índice importante para a criação e o direcionamento de políticas públicas, pois é o principal indicador da educação básica do país (Silva; Santos, 2019).

Através da análise do IDEB médio dos municípios do RS com o IDEB do município de São Lourenço do Sul foram bastante próximos nos anos de 2012, 2013, 2014 e 2018. Nos anos de 2014,

2015, 2016 e 2017 o IDEB do município de São Lourenço do Sul foi superior à média do IDEB gaúcho. Para os anos de 2019, 2020 e 2021 o IDEB de São Lourenço do Sul foi inferior ao IDEB médio dos demais municípios gaúchos. Na Figura 15, estão expostos os dados gráficos referentes ao IDEB municipal e ao IDEN médio dos municípios do estado do Rio Grande do Sul.

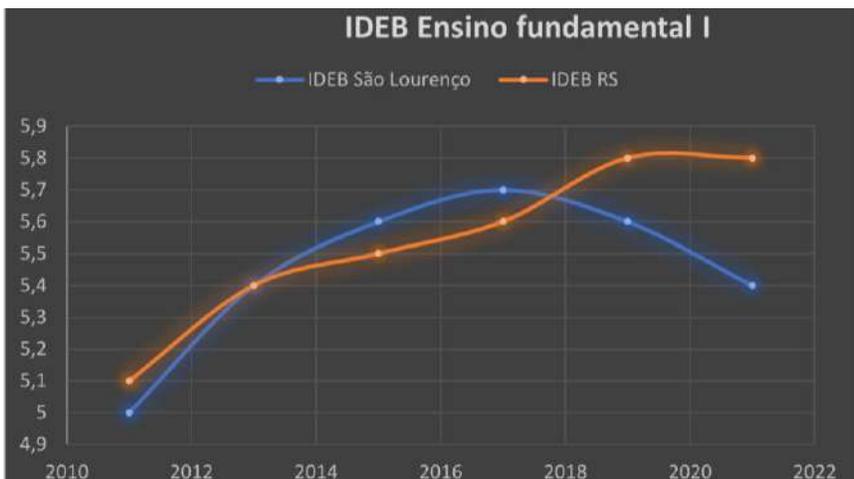


Figura 15. IDEB Ensino Fundamental I. Fonte: Adaptação de Governo do Rio Grande do Sul (2021).

O percentual de municípios com água encanada fornecida pelo sistema municipal de abastecimento de água caiu de forma significativa a partir do ano de 2015. No ano de 2015 aproximadamente 61% da população do município eram supridas com o abastecimento de água, já para o ano de 2016 esse atendimento com abastecimento foi de aproximadamente 56% da população. Na figura 16, estão expostos os dados gráficos do percentual de pessoas que possuem abastecimento de água oriundo da rede municipal.

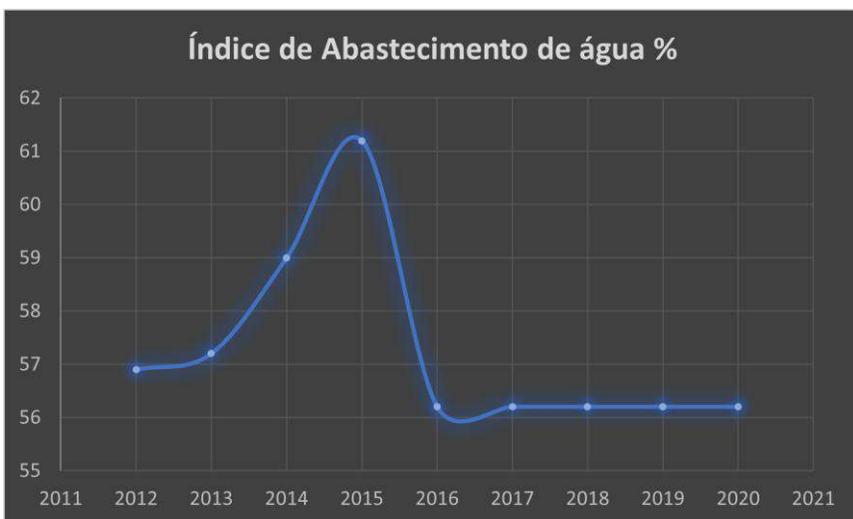


Figura 16. Índice de abastecimento de água %. Fonte: Adaptação de Governo do Rio Grande do Sul (2021).

Os resíduos sólidos constituem um desafio em constante ascensão, refletido no expressivo crescimento da produção de resíduos sólidos domésticos no Brasil ao longo dos anos de 2010 a 2020. Nesse período, observou-se um incremento significativo na geração de resíduos sólidos domésticos per capita. Em 2010, a produção anual per capita era de 348 kg, valor que aumentou para 379 kg em 2019 e alcançou 390 kg em 2020 (Abrelpe, 2019, 2021). Esse crescimento significativo requer uma adaptação urgente no sistema de coleta e gerenciamento de resíduos.

No município de São Lourenço do Sul, a coleta de resíduos sólidos alcançou 80% da população a partir de 2017. Esse índice demonstrou um crescimento constante, diferentemente das tendências apresentadas nos dados anteriores, não evidenciando declínio no período abordado pela pesquisa. A figura 17 ilustra a evolução percentual da população atendida pela coleta de resíduos sólidos.

Além da problemática dos resíduos sólidos, o município de São Lourenço do Sul apresentou flutuações na taxa de mortalidade infantil nos últimos anos. Destaca-se uma queda a partir de 2019,

como evidenciado na Figura 18, que retrata os dados gráficos dos índices de mortalidade infantil. Esse declínio merece análise aprofundada para compreender suas causas e possíveis correlações com políticas interventivas.

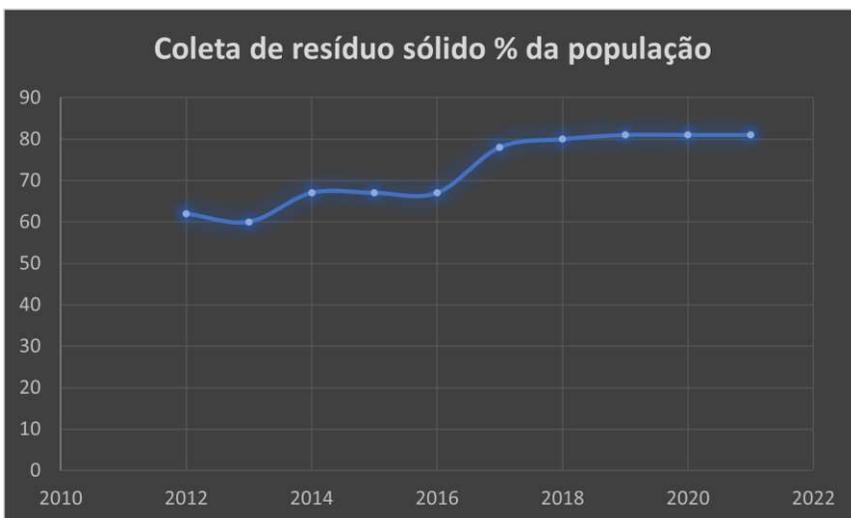


Figura 17. Coleta de resíduo sólido %.. Fonte: Adaptação de Governo do Rio Grande do Sul (2021).



Figura 18. Mortalidade infantil. Fonte: Adaptação de Governo do Rio Grande do Sul (2021).

Outro fato que colabora para que o município apresente uma baixa vulnerabilidade social é que no ano de 2021 São Lourenço do Sul conquistou o primeiro lugar no prêmio "Band Cidades Excelentes", uma premiação realizada pelo Instituto Aquila e o Grupo Bandeirantes de Comunicação (São Lourenço do Sul, 2021). A cidade foi reconhecida pela excelência em Saúde e Bem-Estar entre municípios com população de 30 mil a 100 mil habitantes.

De forma ampla, o município exhibe um panorama positivo em relação aos indicadores apresentados, sugerindo que tem fortalecido sua capacidade de resiliência. Os indicadores abrangem diversas esferas de análise e revelam que o município ostenta desempenho satisfatório, estando em estreita proximidade com a média observada nos municípios do estado, especialmente nos indicadores que foram objeto de comparação.

A análise dos dados evidencia que o fornecimento de água representa uma vulnerabilidade no âmbito do saneamento básico municipal, pois houve, nos últimos anos, uma redução no número de indivíduos atendidos por esse serviço. Essa flutuação nos dados pode derivar de registros incorretos em momentos anteriores ou do aumento da população rural, a qual, de forma geral, não possui acesso à rede de abastecimento. Tais cenários demandam atenção da administração pública para identificar essas variações atípicas e implementar medidas corretivas de modo a garantir um saneamento básico eficaz e equitativo para todos os setores da população. Por outro lado, setores cruciais como saúde e educação demonstram indicadores favoráveis para um município cuja população é inferior a 100 mil habitantes.

Em relação ao desenvolvimento socioeconômico, o município de São Lourenço do Sul apresentou um crescimento nos últimos anos. Tendo tais fatos por base, é possível afirmar que a resiliência, em relação a eventos extremos, cresce junto ao desenvolvimento econômico. A resiliência frente a eventos extremos possui uma ligação direta com a capacidade econômica.

Apesar disso, é uma cidade próxima a um corpo hídrico volumoso que sofre variações sazonais. O Arroio São Lourenço é

um afluente da bacia do Rio Camaquã, o arroio possui uma área de drenagem de 193,36 km² (Freitas; Nunes, 2022). As cheias na região possuem origem em condições atmosféricas que proporcionam um grande volume de precipitação em um curto período.

Outros pontos que contribuem significativamente para a vulnerabilidade local é o fato de o município possuir uma parcela significativa da sua população morando em zona rural, mais de 20 mil habitantes do município estão localizados na região rural (São Lourenço do Sul, 2023). São regiões de difícil acesso, com estradas não pavimentadas e pontilhões de madeira sobre corpos hídricos. Fatores que em situação de chuvas fortes contribuem para o isolamento de algumas regiões.

É importante também ressaltar que a atividade agrícola possui grande importância no município, logo, as perdas agrícolas, ocasionadas por eventos extremos, causam prejuízos significativos na economia local. Em relação a perdas agrícolas a região é afetada tanto por eventos de precipitação extrema, granizo e estiagens. Os eventos de estiagem frequentemente causam prejuízos ao setor agrícola gaúcho e para o município, por exemplo, no ano de 2023 foi registrado Um prejuízo no setor agrícola do município de São Lourenço do Sul de aproximadamente 400 R\$ milhões devido à estiagem, onde a cultura do milho teve a perda mais significativa (Silveira, 2023). A Emater estimou que o mesmo evento de estiagem afetou diversos municípios do RS, tendo uma perda total para o setor agrícola superior a um bilhão de reais (Silveira, 2023). E no ano de 2022 a produção de tabaco foi aquém do esperado, devido a estiagem, é estimado que a produção de tabaco tenha sido 10% menor que o previsto (Governo do Estado do Rio Grande do Sul, Secretaria da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural, 2022).

É plausível inferir que a suscetibilidade do município de São Lourenço a eventos extremos está intrinsecamente relacionada à forte dependência econômica da agricultura. Dessa forma, tais eventos extremos acarretam prejuízos econômicos significativos, dada a relevância desse setor na economia local. Uma análise adicional crucial é a concentração substancial da população em

áreas rurais, o que as expõe à carência de infraestrutura típica dessas regiões.

Essa interconexão entre a economia agrícola predominante e a alta proporção da população em zonas rurais evidencia uma complexa teia de vulnerabilidade social. Os desastres naturais não apenas afetam a economia local, mas também a qualidade de vida das comunidades rurais, que enfrentam desafios específicos decorrentes da insuficiência de infraestrutura e recursos necessários para mitigar os impactos desses eventos.

Portanto, a vulnerabilidade social encontra-se profundamente enraizada nesse contexto, destacando a necessidade de estratégias eficazes para abordar essas questões de forma holística e sustentável.

6. Resiliência urbana e rural

A resiliência a desastres naturais/eventos extremos é um aspecto importante da redução do risco de desastres, especialmente em ambientes urbanos e rurais. Embora os desafios específicos possam diferir nesses dois cenários, é importante considerar ambos os ambientes para desenvolver estratégias eficazes de resiliência. De acordo com Cinner *et al.* (2019), a resiliência aos estressores ambientais requer uma abordagem multifacetada que inclua estratégias para melhorar os sistemas sociais e ecológicos, como diversificar os meios de subsistência, proteger habitats críticos e melhorar as estruturas de governança.

Nas áreas urbanas, o foco geralmente é o ambiente construído, incluindo infraestrutura e edifícios, bem como os sistemas sociais e econômicos que sustentam a vida urbana. Um dos principais desafios é garantir que os sistemas urbanos sejam flexíveis e adaptáveis às circunstâncias mutáveis, incluindo eventos climáticos extremos, ao mesmo tempo em que mantêm as funções e serviços básicos que dão suporte à vida cotidiana. Isso requer uma abordagem holística que considere as interdependências entre diferentes sistemas, bem como as necessidades e perspectivas de diversas comunidades dentro do ambiente urbano.

Nas áreas rurais, o foco é frequentemente na gestão de recursos naturais e sistemas agrícolas, bem como nos sistemas sociais e econômicos que sustentam os meios de subsistência rurais. Um dos principais desafios é garantir que os sistemas rurais sejam resilientes aos impactos de eventos climáticos extremos, incluindo secas, inundações e tempestades, que podem ter um impacto significativo na produção agrícola, na segurança alimentar e nos meios de subsistência rurais. Isso requer um foco na construção de resiliência na gestão de recursos naturais e na agricultura, bem como no apoio às comunidades rurais para se adaptarem às mudanças nas condições ambientais.

Segundo Zaidi *et al.* (2021), a construção de resiliência em ambientes urbanos e rurais requer um foco na "resiliência sistêmica", que envolve a construção da capacidade de comunidades e sistemas para antecipar, adaptar e se recuperar dos impactos de eventos extremos. Isso requer um foco na construção de capital social e coesão da comunidade, bem como investimento em infraestrutura e sistemas que apoiem a resiliência, como infraestrutura verde, sistemas de alerta e resposta a desastres e práticas sustentáveis de gestão de recursos.

Por exemplo, de Sousa *et al.* (2019) investigaram a resiliência de pequenos agricultores do semiárido brasileiro à seca e descobriram que uma combinação de conhecimento tradicional, organização comunitária e acesso a políticas públicas desempenhou um papel crucial em sua capacidade de lidar com os impactos da seca.

Outro aspecto fundamental da resiliência a eventos extremos é a importância de abordagens participativas que envolvam as comunidades locais no planejamento e implementação de estratégias de resiliência. Segundo Keskinen *et al.* (2019), as abordagens participativas podem ajudar a construir confiança e capital social, bem como garantir que as estratégias de resiliência sejam adaptadas às necessidades e perspectivas específicas das comunidades locais. Araújo *et al.* (2021) exploraram a resiliência de pequenos agricultores na região amazônica a eventos extremos de chuva e descobriram que uma combinação de conhecimento tradicional, acesso a assistência técnica e apoio institucional era importante para sua capacidade de lidar com os impactos das enchentes.

É imperativo reconhecer que a resiliência a eventos extremos não recai exclusivamente sob a responsabilidade do setor ambiental, mas representa uma preocupação abrangente para a gestão pública. Nesse contexto, a cooperação efetiva dos instrumentos de gestão pública proporciona um sólido arcabouço para enfrentar os desafios contemporâneos associados à resiliência urbana.

A inserção da Agenda 21 em âmbito municipal revela-se instrumental na fomentação da resiliência frente a eventos extremos. A referida agenda instiga São Lourenço do Sul a incorporarem práticas de planejamento sustentável, englobando o desenvolvimento de infraestruturas robustas diante de eventos de magnitude extrema, a exemplo de inundações, ciclones, chuvas severas e outros fenômenos naturais adversos. A assimilação de considerações relativas à resiliência nos esquemas de desenvolvimento urbano possibilita uma preparação mais eficaz para a cidade para fazer frente a tais eventos adversos. No entanto, o documento disponível nas redes sociais para a população é muito raso com relação a como as ações sugeridas serão realizadas.

É pertinente ressaltar que a Agenda 21 também deveria enfatizar a relevância do estabelecimento de processos educativos e de conscientização pública concernentes a temáticas ambientais e de desenvolvimento sustentável. Deveria-se instruir a comunidade acerca dos riscos associados aos eventos extremos e orientar sobre medidas preparatórias, os municípios podem elevar a resiliência da população, consolidando-se como agentes ativos na gestão de situações críticas.

A implementação da Agenda 21 em âmbito municipal em São Lourenço do Sul emerge, portanto, como uma ferramenta de considerável valia no reforço da resiliência frente a eventos extremos, deve se tornar mais sólida, mediante a integração de práticas sustentáveis e o fomento da participação comunitária na edificação de comunidades mais resilientes e sustentáveis. Este enfoque estratégico não apenas promove uma abordagem proativa em relação aos desafios ambientais, mas também consolida um arcabouço científico e crítico para a construção de um futuro urbano mais resiliente e sustentável.

Outra ferramenta que São Lourenço do Sul possui, porém não trata a temática de resiliência é o plano diretor municipal. Esse instrumento é essencial para a administração do desenvolvimento urbano, assume um papel indispensável na promoção da resiliência perante eventos extremos, no qual deve ser enfatizada a

questão. Sua relevância transcende a mera organização espacial, estendendo-se à consideração estratégica de riscos e à integração de princípios sustentáveis no processo de evolução urbana. Assim, o plano diretor torna-se uma ferramenta na configuração de uma cidade mais apta a enfrentar desafios associados a eventos extremos, amalgamando a gestão de riscos e sustentabilidade.

Sugere-se que a concepção do novo plano diretor do município compreenda além da formulação de diretrizes que abrangem a ampla gama de elementos influenciadores do tecido urbano, desde o ordenamento territorial até a infraestrutura urbana, o ambiente circunvizinho e a qualidade de vida da coletividade, também esteja em consonância com a emergência de eventos extremos, no qual seja incorporado uma perspectiva crítica sobre a resiliência urbana e rural. E que neste documento haja o delineamento das zonas de ocupação humana, com uma meticulosa consideração dos riscos associados a eventos extremos. Tal abordagem preventiva visa evitar a implantação de infraestruturas em áreas propícias a inundações, deslizamentos de terra e outras ameaças, fundamentando-se na prevenção de danos potenciais.

Outro ponto a promover a resiliência pelo plano diretor manifesta-se, também, na adoção de políticas que fomentem a construção de infraestrutura resistente. Esta abordagem não apenas mitiga os efeitos adversos de eventos extremos, mas estabelece uma base sólida para a recuperação subsequente a desastres, evidenciando uma postura proativa e estratégica na gestão urbana.

Ainda se incentiva no plano diretor que as práticas de desenvolvimento sustentável e preservação ambiental, pois estas assumem um papel crucial na redução dos impactos adversos de eventos extremos, como secas e enchentes, por meio de uma gestão criteriosa e equilibrada do uso e cobertura da terra. Essa ênfase na sustentabilidade contribui não apenas para a resiliência imediata, mas para a promoção de ambientes duradouros e adaptáveis.

As sugestões evidenciadas para o plano diretor municipal visa forjar uma cidade capaz de enfrentar desafios inerentes a eventos extremos. Sendo este documento orientador na construção de um ambiente urbano robusto, resistente e harmonizado com os princípios do desenvolvimento sustentável.

7. A Importância do Planejamento de Riscos

Em um contexto geral, com o decorrer do avanço da urbanização e as facilidades oferecidas pelo meio urbano, vem ocasionando uma tendência contrária à manutenção do equilíbrio ambiental. Sendo uma constante o crescimento populacional e a impermeabilização do solo, o ciclo hidrológico natural tem se alterado e muito nos últimos tempos, com maior escoamento superficial do que a infiltração subterrânea (Feitoza, 2022).

Os impactos causados por conta desse avanço são os aumentos das enchentes, inundações e proliferação de doenças, aumento da poluição das águas por conta do aumento de lixo e de fatores patogênicos que tem sidos dispostos nos corpos receptores por conta das precipitações e falta da devida manutenção (Virgiliis,2009).

E conforme o atlas de Mortalidade e Perdas Econômicas elaborado pela Organização Meteorológica Mundial (World Meteorological Organization - WMO), os três desastres naturais que foram maiores causadores de perdas humanas no mundo estão relacionados aos regimes de precipitação, por exemplo, inundações por excesso de chuva ou a escassez da mesma; tempestades, deslizamentos de terra e somam por volta de, 1.3 milhões de mortes entre 1970 e 2019 (WMO, 2021).

Neste cenário, o planejamento de mitigação de riscos revela-se um procedimento fundamental no gerenciamento de desastres naturais, cuja frequência e severidade vêm crescendo em virtude das mudanças climáticas. É imperativo dedicar esforços ao planejamento e à preparação, visando atenuar os riscos associados a esses eventos, o que contribui para a minimização da probabilidade de danos tanto às pessoas quanto ao ambiente. No Brasil, um país propenso a desastres naturais como enchentes, deslizamentos de terra e secas, o planejamento de mitigação de riscos assume uma relevância inquestionável.

Conforme apontado no estudo conduzido por Souza *et al.* (2021), o planejamento de mitigação de riscos é um fator-chave para reduzir a vulnerabilidade das comunidades frente aos desastres naturais. Os autores ressaltam a importância de contemplar uma gama diversificada de fatores, tais como vulnerabilidade social, ambiental e econômica, no processo de planejamento. Argumentam que um planejamento de mitigação de riscos eficaz demanda a participação de diversos atores, incluindo agências governamentais, líderes comunitários e organizações da sociedade civil. Esta abordagem inclusiva é crucial para uma estratégia de gestão de desastres que seja verdadeiramente abrangente e efetiva.

Um exemplo de planejamento de riscos no Brasil é o Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres (PNRD), instituído em 2012. O PNRD busca criar um sistema abrangente de gestão de riscos, incluindo prevenção, preparação, resposta e recuperação. O plano visa integrar esforços entre os diferentes níveis de governo e da sociedade para reduzir o impacto dos desastres naturais.

Outro exemplo é o Programa de Resiliência da Cidade (CRP) no Rio de Janeiro, lançado em 2017. O programa visa aumentar a resiliência da cidade a desastres naturais por meio do fortalecimento da capacidade das comunidades, organizações e órgãos governamentais. O CRP se concentra na participação da comunidade, na avaliação de riscos e na implementação de medidas para reduzir vulnerabilidades.

No âmbito de São Lourenço do Sul, a elaboração de planos para lidar com eventos extremos foi iniciada após a inundação ocorrida em 2011. Esse processo foi conduzido pelo Centro de Pesquisa e Estudos sobre Desastres do Rio Grande do Sul (CEPED/RS), um núcleo interdisciplinar vinculado à Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Esta instituição empreendeu esforços significativos, incluindo mapeamento para identificação de áreas críticas na cidade. Paralelamente, a Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), por meio do Núcleo de Ensino, Pesquisa e Extensão em Saneamento Ambiental (NPSA) e grupos correlatos na

área de Engenharia Ambiental e Sanitária, tem se dedicado a pesquisas com o propósito de aprimorar a gestão desta problemática. Este livro representa um exemplo tangível desses esforços, consolidando-se como uma contribuição sólida e valiosa para o conhecimento e aprimoramento das estratégias de resposta a eventos extremos em São Lourenço do Sul.

8. Mapeamento de áreas suscetíveis a desastres e eventos adversos

As constantes alterações decorrentes de atividades antrópicas têm gerado diversos impactos negativos no meio ambiente. Como vimos no decorrer desse livro esses impactos têm auxiliado no aumento de eventos extremos, onde as regiões com maior probabilidade de serem afetadas são as que apresentam uma vulnerabilidade socioeconômica e ambiental elevada, na qual os indivíduos residem em locais sem planejamento e não possuem recursos para deixarem os locais de forma imediata e/ou não conseguem compreender a gravidade das situações no momento em que estão ocorrendo (Gonçalves, 2016).

Nesse contexto, o gerenciamento de riscos auxilia na compreensão das ações tomadas antes e depois da ocorrência de um desastre natural para gerenciar as consequências negativas dos eventos. Assim, é possível utilizar técnicas e ferramentas de monitoramento e registros de informações das características do espaço que será estudado, buscando uma melhor compreensão da interação dos aspectos físicos e ambientais, como o sensoriamento remoto, a cartografia, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Auxiliam no entendimento do território de forma ampla e na avaliação de como eventos se comportam no espaço em um determinado período, podendo gerar subsídios à gestão pública através de mapas temáticos e sua interpretação (Chaudhary; Piracha, 2021; Araújo, Andrade e Dobbss, 2020; Crepani *et al.*, 2001).

Dessa forma, somado ao SIG o uso de modelagens ambientais pode ser considerado uma ferramentas que permite representar o processo físico que resulta diretamente no perigo, também pode representar características dinâmicas, para alinhar com, por exemplo, as projeções climáticas (Cremen; Galasso; Mccloskey, 2022).

Dentre essas modelagens temos a fragilidade ambiental o qual nos permite analisar os diferentes níveis de degradação do ambiente

através das características já existentes e as que foram modificadas por ações antrópicas (Araújo, Andrade e Dobbss, 2020).

Analisando o conjunto dessas informações é possível delimitar as áreas que estão mais suscetíveis a serem afetadas por determinados eventos e estabelecer medidas mitigadoras. Por exemplo, Araújo (2018) expôs o problema constante de inundação no Município de São Lourenço do Sul e com o intuito de diminuir as consequências causadas por estes eventos, propôs a implementação de bacias de retenção ou detenção. Assunto que é abordado no capítulo 8.2 deste livro, intitulado de mapeamento de suscetibilidades a eventos hidrológicos.

8.1 Fragilidade Ambiental

A fragilidade ambiental refere-se à vulnerabilidade dos ecossistemas, da flora, da fauna e do meio ambiente como um todo a sofrer perturbações externas, como desastres naturais, mudanças climáticas e atividades humanas, ou seja, à suscetibilidade a distúrbios e estresse. Essa suscetibilidade pode ser causada por fatores naturais ou induzidos pelo homem. É fundamental considerar a fragilidade ambiental na gestão de riscos de desastres naturais, pois o grau de fragilidade ambiental de um ecossistema pode influenciar na gravidade dos impactos causados pelos desastres naturais e na resiliência das comunidades afetadas (Zhang *et al.*, 2023). Portanto, entender a fragilidade ambiental e implementar medidas para enfrentá-la é crucial para uma gestão de risco eficaz.

Segundo Santos *et al.* (2021), a fragilidade ambiental pode ser definida como o potencial dos ecossistemas para sofrer um processo de degradação e redução da sua capacidade de fornecer serviços ambientais, incluindo abastecimento de água, sequestro de carbono, proteção do solo, entre outros. Os autores sugerem que uma melhor compreensão da fragilidade ambiental pode ajudar a identificar áreas de alto risco de desastres naturais e orientar a

tomada de decisões no planejamento do uso da terra, medidas de mitigação e estratégias de redução de riscos.

Da mesma forma, Lima *et al.* (2021) discutem a importância de considerar a fragilidade ambiental na gestão de riscos para desastres naturais, especialmente em áreas com alta sensibilidade ecológica, como áreas protegidas e territórios indígenas. Os autores argumentam que avaliar a fragilidade ambiental pode ajudar a identificar os impactos potenciais de desastres naturais nos ecossistemas e na biodiversidade e orientar a implementação de medidas preventivas e de recuperação.

Pautz *et al.* (2023), destacam a importância dos estudos de fragilidade ambiental no Brasil, pois eles podem indicar a presença de uma variedade de impactos negativos numa região ou comunidade. Por exemplo, é provável que ocorram catástrofes naturais como inundações, deslizamentos de terras e tempestades que podem danificar infra-estruturas e ameaçar vidas em áreas densamente habitadas. Além disso, as fragilidades ambientais podem levar à escassez de recursos naturais, como água e alimentos, aumentando a pobreza e a fome, forçando o deslocamento de pessoas a abandonar as suas casas e comunidades devido a desastres naturais e à degradação ambiental (Pautz *et al.*, 2023). Portanto, é fundamental considerar a fragilidade ambiental na gestão de riscos de desastres naturais e eventos externos para reduzir os impactos potenciais nos ecossistemas e no meio ambiente como um todo.

No contexto da determinação do Índice de Fragilidade Ambiental (IFA), a definição do modelo é um processo meticuloso que leva em consideração os diversos aspectos envolvidos e a relevância significativa de cada critério adotado no desenvolvimento do modelo matemático. Nesta sessão apresentamos os resultados do estudo baseado fundamentalmente na pesquisa conduzida por Dors *et al.* (2021) baseada na pesquisa conduzida por Leandro (2013), utilizando-a para a formulação do modelo, incorporando critérios como a declividade do terreno, tipo de solo, litologia, clima, ocupação humana, mata ciliar, cobertura

vegetal e uso do solo. Neste contexto, cada critério no modelo IFA (Figura 18) foi classificado em cinco categorias distintas: Muito Baixo, Baixo, Médio, Alto e Muito Alto, exceto o critério mata ciliar, que é categorizado em três classes: Baixo, Médio e Alto.

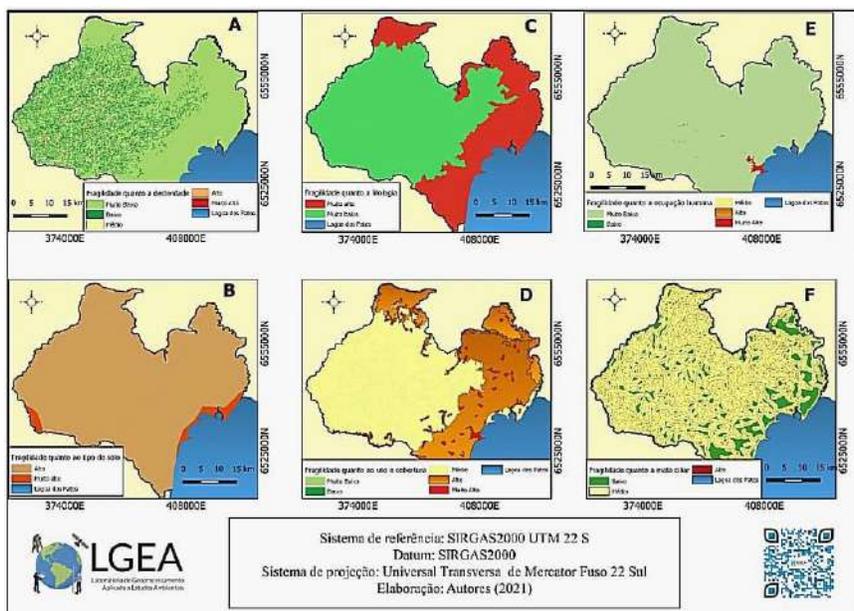


Figura 18. Fragilidade ambiental para os diferentes elementos ambientais analisados para o município de São Lourenço do Sul. Figura 19A: fragilidade quanto a declividade; 19B: fragilidade quanto ao tipo de solo; 19C: fragilidade quanto a litologia; 19D: fragilidade quanto ao uso e cobertura do solo; 19E: fragilidade quanto a ocupação humana e 19F: fragilidade quanto a mata ciliar.

No que tange ao critério clima, este apresentou um índice de fragilidade considerado Baixo, fundamentado nas características do clima subtropical pouco úmido com inverno frio e verão fresco, juntamente com os dados pluviométricos da Estação Boqueirão mantida pela Agência Nacional de Águas (ANA). O índice de fragilidade do município de São Lourenço do Sul foi classificado como Muito Baixo em 66,6% da área, especialmente na região do Escudo Cristalino Sul-Riograndense, composta por rochas ígneas do tipo granito, caracterizadas por maior resistência aos efeitos do

intemperismo. Por outro lado, a região da Planície Costeira, abrangendo 33,4% da área do município, apresentou um índice de fragilidade considerado Muito Alto, sendo mais suscetível ao intemperismo devido às características das rochas sedimentares.

A análise do critério do solo revelou índices de fragilidade Muito Alto em 2,7% da área, localizada nas porções extremas oeste e leste, e Alto em 97,3% da área central. As áreas do Escudo Cristalino Sul-Riograndense apresentaram solos com problemas sérios, como horizontes rasos, acidez e suscetibilidade à erosão, enquanto as áreas da Planície Costeira foram caracterizadas por solos pobres, parcialmente salinos e permeáveis.

No que concerne à ocupação humana, a maior parte da área do município (99,5%) apresentou índice de fragilidade Muito Baixo, enquanto as áreas rural e urbana foram classificadas como Alto (0,03%) e Muito Alto (0,4%), respectivamente. A presença de aglomerados urbanos sem esgotamento sanitário na área urbana contribuiu para a poluição das águas do Arroio São Lourenço.

O critério mata ciliar revelou índices de fragilidade Alto (7,2%), Médio (77,6%) e Baixo (15,2%), considerando as áreas no entorno das malhas hidrográficas. São Lourenço do Sul, com sua extensa malha hidrográfica, destacou a importância das áreas de mata ciliar na proteção ambiental, sendo legalmente protegidas.

A análise do critério cobertura vegetal e uso do solo indicou índices de fragilidade Muito Alto (1,3%), Alto (39,5%), Médio (59,1%) e Baixo (0,09%), evidenciando a necessidade de estratégias de manejo apropriadas para diferentes usos do solo, especialmente na conservação de recursos naturais.

O índice de fragilidade para o critério declividade foi categorizado como Muito Alto (0,09%), Alto (0,8%), Médio (5,4%), Baixo (19,0%) e Muito Baixo (74,7%), com a maior parte da área urbana situada em declividades favoráveis à ocupação e uso diversificado, embora com risco de inundação.

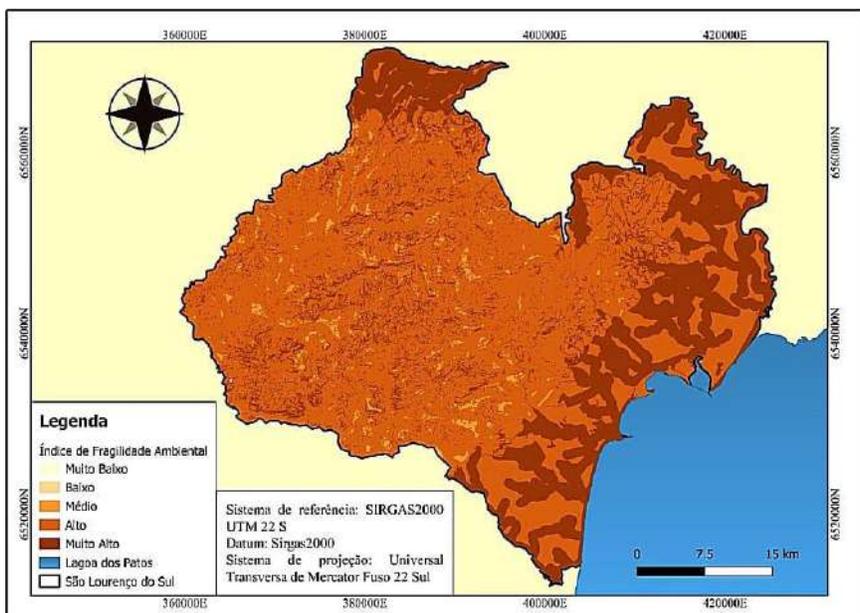


Figura 20. Índices de fragilidade ambiental para o município de São Lourenço do Sul.

A aplicação do modelo IFA (Figura 20) revelou que 30,3% das áreas apresentaram índice de fragilidade Muito Alto, 67,1% Alto e 2,6% Médio. Áreas de planícies fluviais e relevo abrupto foram associadas a índices de fragilidade mais elevados. A conservação das Áreas de Preservação Permanente (APP) ao longo das malhas hidrográficas, o monitoramento, fiscalização e campanhas de conscientização são essenciais para prevenir ocupações irregulares.

8.2 Mapeamentos de Suscetibilidade a eventos hidrológicos

O mapeamento de suscetibilidade de eventos hidrológicos é uma poderosa ferramenta utilizada na gestão de riscos para desastres naturais e eventos externos. É um processo que envolve a identificação de áreas com maior probabilidade de serem afetadas por um evento extremo, como por exemplo um evento hidrológico, assim como a avaliação do potencial impacto de tal evento no meio ambiente e na população.

O objetivo do mapeamento de suscetibilidade é fornecer informações úteis para a tomada de decisões no planejamento do uso da terra, gestão de emergências e mitigação de riscos. Ele pode ser usado para identificar áreas com maior risco de inundações, deslizamentos de terra e outros eventos hidrológicos e para priorizar áreas para medidas de intervenção, como sistemas de alerta precoce, planos de evacuação e investimentos em infraestrutura.

O processo de mapeamento de suscetibilidade envolve a integração de diferentes fontes de dados, incluindo topografia, cobertura da terra, propriedades do solo, padrões de chuva e eventos históricos. A combinação dessas fontes de dados permite o desenvolvimento de modelos que podem prever a probabilidade e intensidade de eventos hidrológicos e o potencial impacto sobre o meio ambiente e a população.

Segundo Marques *et al.* (2019), o mapeamento de suscetibilidade é uma ferramenta crucial para a gestão de riscos de desastres naturais, principalmente em países em desenvolvimento, onde a falta de dados e infraestrutura confiáveis pode exacerbar o impacto de eventos extremos. Igualmente, Kourgialas *et al.* (2019) destacam a importância do mapeamento de suscetibilidade no contexto das mudanças climáticas, pois permite identificar as áreas mais vulneráveis aos efeitos das mudanças nos padrões climáticos.

O mapeamento das planícies de inundação em municípios representa uma ferramenta fundamental para a gestão do uso e ocupação do solo, bem como para orientar as expansões urbanas. Além disso, desempenha um papel crucial na elaboração do Plano de Defesa Civil, que define ações preventivas e corretivas destinadas a minimizar perdas durante eventos de enchentes (Ministério da Integração Nacional Secretaria de Defesa Civil, 2015).

Atualmente, há uma oportunidade promissora de integrar o Sistema de Informações Geográficas (SIG) com técnicas de multicritério, possibilitando a compreensão das inter-relações entre os diversos elementos ambientais, incluindo os processos hidrológicos. Essas abordagens visam representar o mundo real de

forma simplificada, enfocando os aspectos mais relevantes ao investigar as correlações envolvidas.

Dentro desse contexto, a delimitação das bacias hidrográficas no município de São Lourenço do Sul torna-se uma etapa essencial para a condução da análise hidrológica. Para a análise, empregam-se diversas técnicas, entre as quais se destaca o método chuva-vazão, conhecido pela transformação da precipitação em escoamento. Desta forma, é importante conhecer certas características da bacia hidrográfica, tais como a área, o comprimento do talvegue, o desnível do talvegue, a declividade da bacia, a sinuosidade do curso d'água principal e a declividade do curso d'água principal.

Essas características, denominadas características físicas da bacia, juntamente com o tempo de concentração, desempenham papel crucial na compreensão do comportamento hidrológico. A maioria dessas características podem ser obtidas utilizando ferramentas de sensoriamento remoto integradas à plataforma de algum software.

Em São Lourenço utilizamos imagens SRTM 30m, para delimitar a área do município, e suas bacias hidrográficas, e assim identificar as direções do fluxo de água e sua concentração. A delimitação destas bacias no âmbito municipal revelou três sub-bacias de significativa importância para eventos extremos (Figura 21).

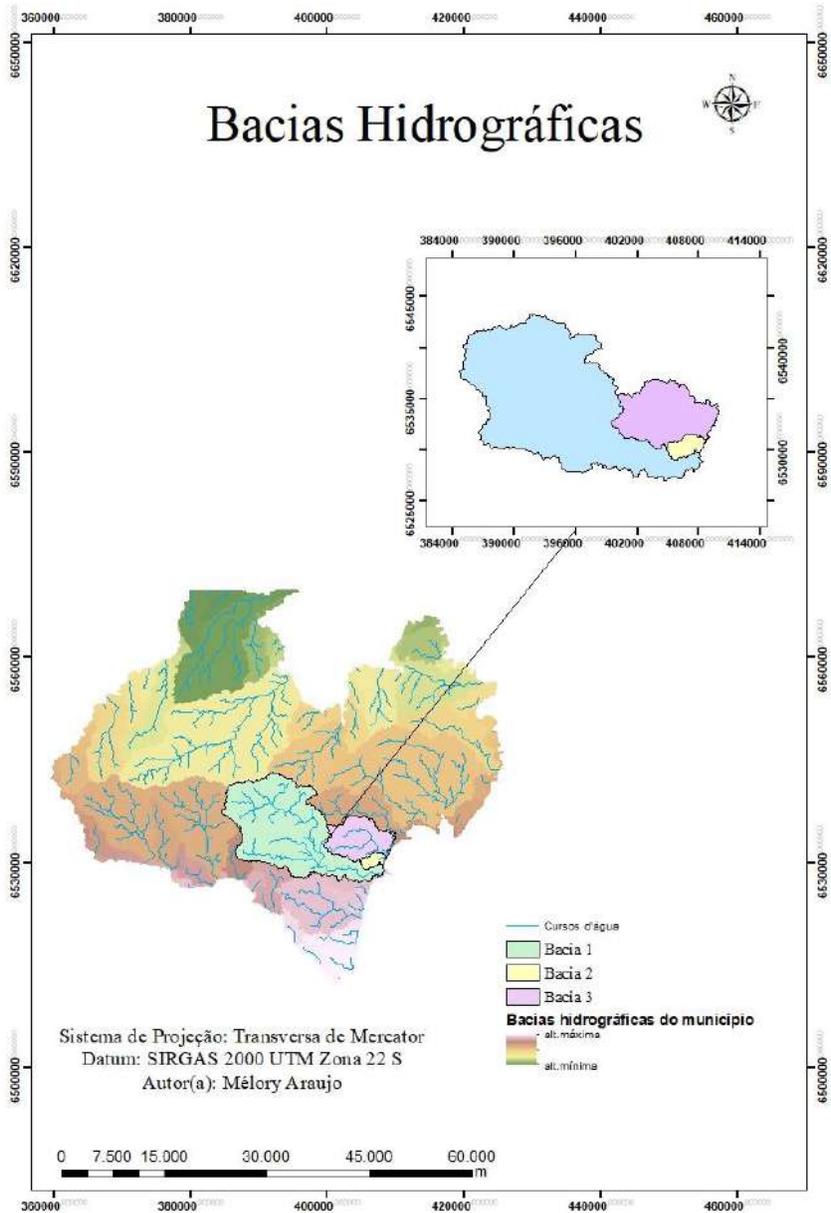


Figura 21. Sub-bacias hidrográficas em âmbito municipal de São Lourenço do Sul, com destaque às propensas a eventos extremos.

A partir disto foram calculadas as características físicas para cada sub-bacia, como área, perímetro (P), comprimento do curso d'água principal (LP) e comprimento axial (L) (Tabela 3). E ainda a sinuosidade do curso d'água principal (S) a qual é obtida através da relação direta entre o comprimento do curso d'água principal em metros dividido pelo comprimento axial do curso d'água principal, também em metros.

Quanto à declividade do curso d'água principal, foi estabelecida a partir da média harmônica ponderada da raiz quadrada das declividades dos diversos trechos retilíneos, sendo considerada a extensão de cada trecho como peso. Esses parâmetros foram calculados pela equação 1, a seguir, apresenta o cálculo desta declividade.

$$S3 = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (Li)}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{Li}{\sqrt{Di}} \right)} \right)^2 \quad \text{Eq. 1.}$$

A equação (1) é apresentada como parte do cálculo da sinuosidade do curso d'água principal (S3), onde L representa o comprimento em planta do curso d'água principal, Li é a extensão horizontal de cada um dos n trechos, e Si é a declividade em cada um dos n trechos ($Si = \Delta Hi/Li$).

Diversas equações são aplicáveis para determinar o tempo de concentração, primariamente considerando a área da bacia. Duas equações distintas são apresentadas: a equação (2), correspondente à Equação de *Kirpich*, utilizada para áreas menores que 1000 hectares; e a equação (3), correspondente à Equação de Dodge, aplicada a áreas com valores entre 140 e 930 km².

$$Tc = 21,88 A^{0,41} * So^{-1,17} \quad \text{Eq. 2}$$

$$Tc = 57 A^{1,155} * H^{-0,385} \quad \text{Eq. 3}$$

Na presente formulação:

Tc representa o Tempo de Concentração (em minutos),

A denota a Área da bacia (em quilômetros quadrados),

So indica a Declividade Média do Talvegue (em metros por metro).

As equações (4) e (5) delineiam, respectivamente, o Coeficiente de Compacidade (Kc) e o Índice de Conformação (Ic) das bacias.

$$Kc = 0,26 * \frac{P}{\sqrt{A}} \quad \text{Eq. 4}$$

$$Ic = \frac{A}{L^2 ax} \quad \text{Eq. 5}$$

Então se calcula o Tempo de Concentração (Equação 6), uma medida em minutos que caracteriza o intervalo de tempo necessário para que a água proveniente de chuvas atinja um ponto específico da bacia hidrográfica.

$$Tc = 57 * L^{1,155} * H^{-0,385} \quad \text{Eq. 6}$$

Onde:

TC é o Tempo de concentração (min)

L é o comprimento do talvegue principal (Km)

H é o desnível entre a cabeceira e a seção de controle da bacia (m)

Sequencialmente se calcula o coeficiente de compacidade (Kc) constitui uma métrica que quantifica a dinâmica do fluxo de água na bacia hidrográfica em relação à disposição espacial de suas

características físicas, tais como o formato e a extensão do talvegue. Um coeficiente de compacidade (Kc) (Equação 7) mais elevado denota uma bacia hidrográfica mais compacta, caracterizada por um escoamento mais ágil, ao passo que um valor inferior sugere uma bacia mais dispersa, apresentando um escoamento mais lento. Este indicador é uma ferramenta pertinente em investigações hidrológicas, proporcionando uma compreensão da resposta da bacia às precipitações e facilitando a modelagem do comportamento do fluxo hídrico.

$$Kc = 0,26 * \frac{P}{\sqrt{A}} \quad \text{Eq. 7}$$

Onde:

Kc é o coeficiente de compacidade

P é o Perímetro da bacia (Km)

A é a Área da bacia (Km²)

O índice de conformação (Ic) (Equação 8) constitui uma métrica que quantifica a conformidade do talvegue ou canal principal de uma bacia hidrográfica em relação a uma forma geométrica específica, como a forma circular ou retangular. Este índice desempenha um papel crucial em análises hidrológicas, permitindo a avaliação do grau de aderência da geometria do talvegue a uma configuração predeterminada.

Valores mais elevados de Ic indicam uma conformidade mais pronunciada do talvegue em relação à forma geométrica selecionada, ao passo que valores mais baixos sugerem uma menor aderência. O índice de conformação emerge como uma ferramenta fundamental em estudos hidrológicos, desempenhando um papel essencial na caracterização da morfologia do curso d'água e proporcionando insights sobre como essa conformidade impacta o comportamento hidráulico da bacia.

$$Ic = \frac{A}{L^2 ax} \quad \text{Eq. 8}$$

Onde:

Ic é o índice de conformação

A é a Área da bacia (Km²)

L² ax é o comprimento axial da bacia (Km)

Com base nos resultados apresentados na Tabela 3, é possível observar as principais características físicas e extrair o valor do tempo de concentração. Este termo refere-se ao intervalo temporal que a água demanda para percorrer a distância entre o ponto mais elevado e o ponto mais baixo da bacia. Comumente expresso em minutos, o tempo de concentração é uma variável de significativa importância, desempenhando um papel crucial na interpretação do comportamento hidrológico da bacia.

Tabela 3. Características físicas e hidrográficas das sub-bacias

	Área (Km ²)	P (Km)	LP (Km)	L (Km)	S3 (m/m)	TC (min)	KC	IC
B1	188,66	90,22	34,84	24,88	1,40	177	1,83	7,50
B2	5,92	11,99	6,2	3,82	1,62	19,5	1,37	1,51
B3	45,45	36,4	11,52	8,77	0,0012	29,09	1,50	5,10

Foi calculado um valor para a declividade do curso d'água obtendo-se resultado de 0,0034 m/m. Além disso, a declividade média da bacia hidrográfica foi determinada, atingindo o patamar de 1,98%. Esses parâmetros são fundamentais para compreender a topografia e a dinâmica da água na área em estudo, proporcionando informações cruciais para análises hidrológicas e tomadas de decisão relacionadas à gestão sustentável da bacia hidrográfica.

A interpretação dos dados revela associações significativas; por exemplo, o coeficiente de compacidade das bacias sugere um potencial elevado para a ocorrência de picos de enchentes. Conforme indicado por Villela e Mattos (1975), valores entre 1 e 1,25 indicam uma propensão elevada a grandes enchentes,

enquanto valores entre 1,25 e 1,50 apontam para uma tendência mediana, e valores superiores a 1,50 sugerem um baixo potencial para grandes enchentes. Ao analisar os dados das três bacias, observa-se que a bacia 2 apresenta a maior propensão a enchentes, evidenciada pelo menor índice entre elas. Essa tendência pode ser atribuída principalmente à área relativamente menor da bacia, o que influencia diretamente no tempo de concentração.

Outro indicador relevante é o índice de conformação (*I_c*), que relaciona a área e o comprimento axial da bacia. Quanto mais próximo de 1 esse índice, maior a propensão a picos de cheias. Mais uma vez, a bacia 2 destaca-se entre as três estudadas, exibindo o menor índice e, conseqüentemente, uma maior predisposição a picos de cheias. Ao examinar os dados das três bacias, é possível observar que a bacia 2 demonstra uma maior propensão a enchentes, revelando o menor valor registrado para o coeficiente de compacidade em comparação com as demais.

Essa propensão é primariamente atribuída à significativa redução de sua área em relação às outras bacias, exercendo influência direta sobre o tempo de concentração da mesma. Por outro lado, o índice de conformação, que estabelece uma correlação entre a área e o comprimento axial da bacia, evidencia que quanto mais próximo de 1 este índice, maior a propensão a picos de cheias.

Mais uma vez, destaca-se a bacia 2 entre as três analisadas, apresentando o menor índice e, conseqüentemente, uma predisposição mais acentuada a picos de cheias. Esses resultados enfatizam a importância de considerar múltiplos fatores na avaliação da suscetibilidade das bacias a eventos extremos, destacando a necessidade de estratégias de gestão adequadas para mitigar potenciais impactos.

Entre as bacias consideradas, a bacia 1 destaca-se historicamente por apresentar o maior número de registros relacionados a eventos de inundação e enxurrada. Além disso, abrange uma parcela significativa da área urbana. Essa bacia tem seu exutório precisamente na descarga do Arroio São Lourenço na

Lagoa dos Patos e possui a maior extensão territorial, incluindo também áreas rurais do município.

Com o objetivo de propor a implementação de bacias de detenção e retenção no município, foram conduzidas análises do hidrograma unitário específicas para esta bacia. Além disso, para um estudo hidrológico mais completo faz-se necessário também utilizar técnicas para compreender o regime de chuvas do local e os níveis d'água e vazão que os cursos d'água apresentam. Desta forma, neste estudo foram adotados métodos de transformação de chuva em vazão devido ao fato de não ter monitoramento de níveis de vazão no local, sendo eles o método do Hidrograma Unitário (HU) e o do Soil Conservation Service (SCS).

Essas abordagens representam ferramentas fundamentais na análise hidrológica, proporcionando insights valiosos para a compreensão do comportamento hídrico das bacias em estudo. Sendo assim para a Bacia 1, realizou-se a análise do hidrograma unitário e suas variáveis. Nesse contexto, destaca-se a observação do Hietograma de Projeto gerado pelo método do Bureau of Reclamation, o qual leva em consideração o tempo de retorno de 100 anos para o cálculo da chuva de projeto. Adicionalmente, integra-se o valor do tempo de duração da chuva, obtido a partir do tempo de concentração da bacia.

Optou-se por dividir a análise em 8 intervalos de 25 minutos. Dessa forma, torna-se possível obter os valores correspondentes, relacionando as intensidades extraídas da equação de Intensidade duração e frequência (IDF), para durações que variam de 25 a 200 minutos, conforme apresentado na Tabela 4. Além disso, a precipitação total (ΔP) para cada intervalo de tempo foi calculada, ressaltando que as precipitações foram reorganizadas seguindo a ordem estabelecida pelo método de estudo: 6^o, 4^o, 3^o, 1^o, 2^o e 5^o.

Essa estratégia contribui para uma análise sistemática e organizada, proporcionando insights valiosos sobre a distribuição temporal da precipitação e subsidiando decisões relacionadas ao gerenciamento de eventos hidrológicos críticos.

Tabela 4. Hietograma de Projeto para a Bacia Hidrográfica 1.

	Duração (min)	I (mm/h)	Precipitação Total (mm)	ΔP (mm)	ΔP Reorganizado (mm)
1	25	187,05	77,93	77,93	9,05
2	50	126,66	105,55	27,61	13,17
3	75	98,49	123,11	17,56	17,56
4	100	81,77	136,28	13,17	77,93
5	125	70,54	146,96	10,67	27,61
6	150	62,41	156,02	9,05	10,67
7	175	56,20	163,94	7,91	13,17
8	200	51,30	171,00	7,06	7,91

Fonte: Araújo (2018)

Nota-se que, à medida que a duração aumenta, a intensidade da precipitação tende a diminuir. Contudo, é relevante observar que os valores de precipitação estão dispostos em ordem crescente em relação à duração. Esse padrão sugere que, com o aumento da duração, o volume total de precipitação em milímetros aumenta, mesmo que a intensidade tenda a diminuir. Essa dinâmica observada destaca a complexidade das relações temporais na precipitação, enfatizando a importância de uma análise abrangente ao interpretar os dados hidrológicos.

Após extrair a curva do hietograma, observou-se um pico máximo em aproximadamente 100 minutos para uma precipitação de 80 mm. Este resultado destaca que, nos cálculos iniciais do tempo de concentração, a bacia inicialmente apresentava um tempo de 177 minutos. Esses dados complementares são fundamentais, pois indicam que a partir dos 100 minutos, correspondentes à precipitação de 80 mm, já ocorre a geração de escoamento superficial direto. A compreensão da distribuição temporal da chuva é de extrema importância, visto que pode influenciar de maneira significativa tanto na forma quanto no pico do hidrograma.

Após estabelecer os comportamentos da chuva, foi aplicado o método da Curva Número, no qual foi obtido um valor de CN, através da média ponderada dos valores de CN encontrados na literatura, para cada tipo de solo e uso correspondente, apresentados na tabela 5, o valor da média dos CNs foi de 87,9 portanto o valor adotado foi de CN igual a 88.

A partir da distância temporal da chuva efetiva, uniformemente distribuída em toda a área de drenagem da bacia, foram realizados cálculos para a obtenção do hidrograma unitário sintético. O tempo de retardo da vazão de pico (t_{lag}) encontrado é de 7,6 horas, esse tempo se refere ao tempo entre a ocorrência chuva efetiva unitária e sua transformação em vazão. A duração da chuva efetiva unitária, foi pré-determinada sendo igual a 1 hora (ΔT). Sendo assim, é fácil obter um t_p , o qual é tempo entre a precipitação efetiva (escoamento superficial direto) e o pico do hidrograma, o qual é de aproximadamente 8 horas. A precipitação efetiva unitária foi definida sendo de 1mm. A vazão de pico (q_p) calculada, foi obtida da relação entre área e t_p e apresentou um valor correspondente a 4,83 m³/s.

Com base nesses dados, foi viável conduzir uma análise de risco de inundação empregando o Sistema de Informação Geográfica (SIG) em conjunto com o método de Análise Hierárquica de Pesos (AHP), desenvolvido por Saaty (1977). Essa abordagem combina a eficiência do SIG, uma ferramenta poderosa para manipulação e visualização de dados geoespaciais, com a robustez do método AHP, que possibilita a atribuição de pesos hierárquicos a diferentes fatores de decisão.

Essa integração oferece uma estrutura analítica sólida para avaliar e classificar os riscos de inundação, fornecendo subsídios essenciais para o desenvolvimento de estratégias de mitigação e tomada de decisões no âmbito da gestão de riscos ambientais.

A partir do Modelo Digital de Elevação (MDE), foi gerado um mapa de declividades para a região em estudo. Então, este mapa de declividades foi combinado com o mapa de uso do solo e o mapa de altitude. Estabeleceu-se, assim, uma escala linearmente hierárquica

de importância entre esses fatores, onde os mapas reclassificados receberam pontuações variando de 0 a 10. Neste contexto, as classes menos suscetíveis foram atribuídas à nota 0, enquanto as mais suscetíveis ao risco de inundação receberam a nota 10.

A determinação do risco de inundação envolveu a criação de uma matriz utilizando a escala fundamental de Saaty, conforme apresentado na Tabela 5. Essa abordagem analítica e hierárquica proporciona uma avaliação criteriosa da suscetibilidade ao risco de inundação, integrando múltiplos fatores geoespaciais de maneira ponderada. Essa metodologia é crucial para embasar decisões e estratégias de gerenciamento de riscos em áreas suscetíveis a eventos de inundação.

Tabela 5. Escala fundamental de *Saaty*

Valores	Importância Mútuas
1/9	Extremamente menos importante que
1/7	Muito fortemente menos importante que
1/5	Fortemente menos importante que
1/3	Moderadamente menos importante que
1	Igualmente importante a
3	Moderadamente mais importante que
5	Fortemente mais importante que
7	Muito fortemente mais importante que
9	Extremamente mais importante que

Fonte: Saaty (1997).

O fator declividade foi estabelecido como o mais preponderante entre os três fatores considerados, enquanto a altitude foi considerada de menor importância. Após determinar os pesos relativos de cada fator, procede-se à atribuição dos valores

conforme a Equação 09 para a criação do mapa de áreas de risco de inundação. Na análise multicritério subsequente, empregou-se a escala de comparação de Saaty (1973) para atribuir pesos a cada fator. Notavelmente, decidiu-se incorporar um fator de grande relevância para a configuração das bacias, considerando hotspots sociais. Para uma compreensão mais abrangente e uma interpretação visual mais elucidativa dos resultados, optou-se por examinar a evolução do curso do Arroio São Lourenço por meio de imagens capturadas em diferentes datas.

Essa ponderação cuidadosa dos fatores é essencial para refletir de maneira precisa a contribuição de cada variável na suscetibilidade à inundação. Ao atribuir valores de acordo com a equação específica, o mapa resultante oferece uma representação visual clara das áreas mais propensas a riscos de inundação, proporcionando uma base sólida para a implementação de estratégias eficazes de prevenção e resposta a eventos extremos.

$$RISLS = 0,6694 * D + 0,2426 * U + 0,88 * A \quad \text{Eq. 9}$$

Onde:

RISLS é o Risco de Inundação de São Lourenço do Sul;

D é o Mapa de declividade (%);

U é o Mapa de uso e ocupação da terra;

A é o Mapa de altitude (m).

Os resultados obtidos (Figura 21) após a avaliação do risco de inundação para a bacia 1 revelam claramente a presença de suscetibilidade a eventos desse tipo na área em questão. Este resultado contrasta com informações prévias que sugerem, com base no coeficiente de compacidade e no índice de conformação, que a bacia 1 estava fora do risco de eventos de cheia.

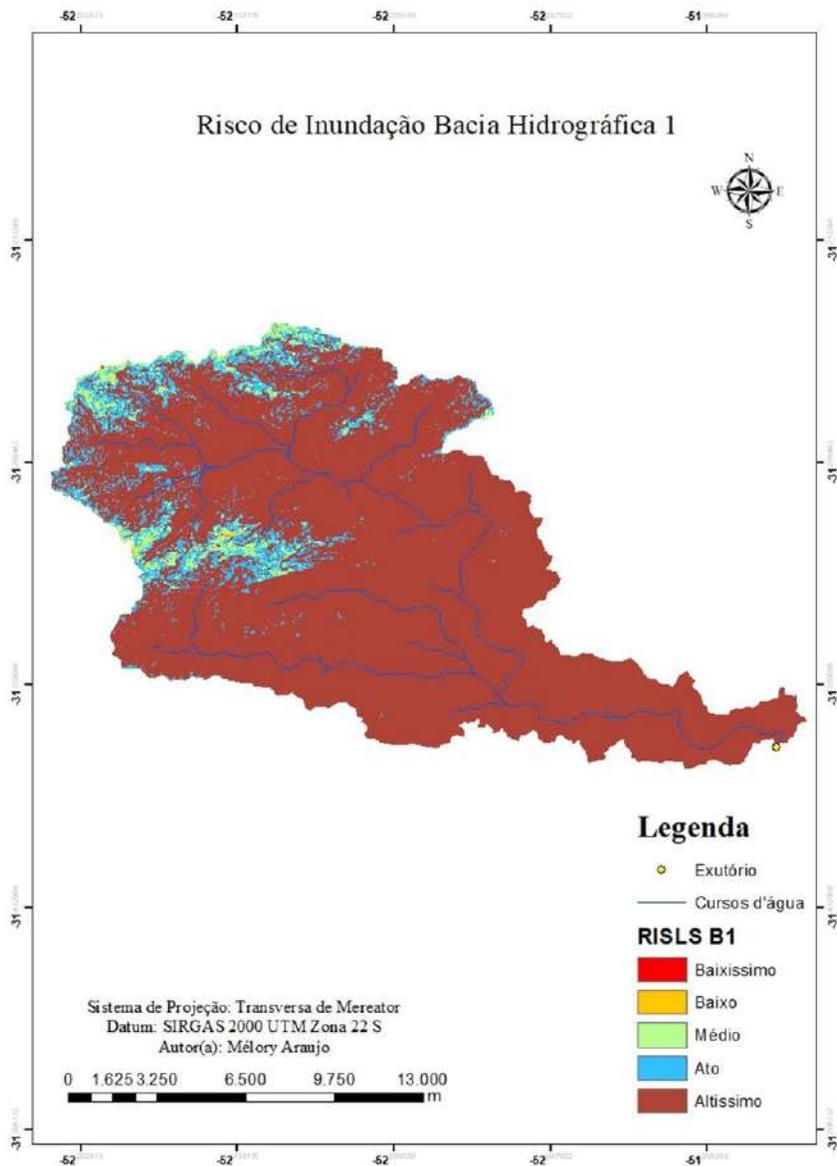


Figura 22. Risco de inundação. Fonte: Araújo (2018)

A metodologia empregada neste estudo, destaca a influência significativa do uso e ocupação do solo no risco de inundação, conforme já evidenciado pela urbanização e ocupação irregular de

áreas. A baixa declividade do terreno também aponta para a possível relação entre a geração de escoamento direto na área, resultando em problemas como o transporte de sedimentos, que, por sua vez, contribuem para o assoreamento de rios, canais e arroios, culminando no transbordamento dessas vias hídricas.

Esses resultados sublinham a complexidade do sistema hidrológico e a necessidade de considerar múltiplos fatores na avaliação de riscos e na implementação de medidas de gestão adequadas. As imagens (Figura 23) ilustram de maneira clara a progressão na ocupação das margens do arroio.

Nota-se que, na imagem mais recente, correspondente ao ano de 2016, os limites originais do extravasamento do canal encontram-se totalmente ocupados. Essa área é classificada como Área de Preservação Permanente (APP), na qual se espera que seja respeitada uma distância adequada do leito do curso d'água. Contudo, as mudanças consideráveis nessa configuração tornam-se evidentes, especialmente ao observarmos as alterações nas margens do canal.

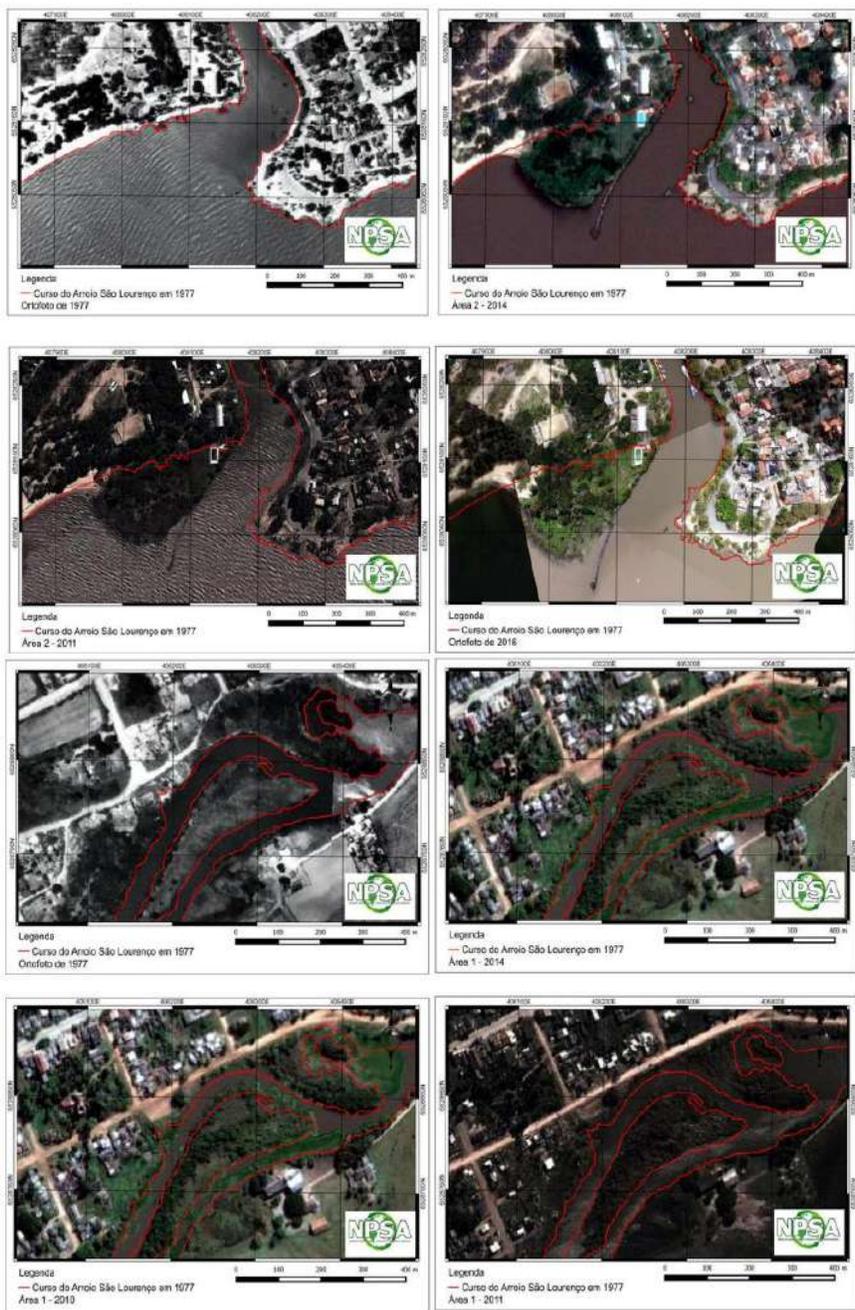


Figura 23. Evolução da ocupação às margens do Arroio São Lourenço. Fonte: Núcleo de Pesquisa, Ensino e Extensão em Saneamento Ambiental (UFPel)

Além das imagens utilizadas na identificação de hotspots sociais neste item, também incorporou-se a observação de efeitos em eventos de chuva ocorridos no município. Foram realizadas inspeções em alguns dias, além da colaboração da Prefeitura, que forneceu imagens e dados para esta análise. Essas observações permitiram avaliar o comportamento do arroio e identificar áreas afetadas durante eventos de chuva superiores a 100 mm, o que está diretamente alinhado com o valor identificado no hietograma de projeto, que apresenta seu pico com 80 mm.

Essa abordagem combinada, que inclui tanto dados visuais quanto informações pluviométricas, enriquece significativamente a análise do risco de inundação, permitindo uma compreensão mais completa dos impactos reais desses eventos na região em estudo. Essa integração de dados empíricos e observações de campo contribui para uma avaliação mais robusta e fundamentada do risco de inundação nas áreas de interesse.

Com base nos mapeamentos realizados, o grupo propõe alternativas de mitigação para o risco de inundações na área urbana do município de São Lourenço do Sul. Essas alternativas podem ser categorizadas em medidas estruturais e não estruturais. As medidas não estruturais consistem essencialmente em ações que visam controlar o uso e ocupação do solo, bem como reduzir a vulnerabilidade dos habitantes em áreas de risco aos efeitos das inundações.

Exemplos dessas medidas incluem o desenvolvimento de planos e programas para o controle da drenagem urbana, a implementação de serviços de previsão e alerta de enchentes com planos de evacuação, a adoção de incentivos fiscais para o uso prudente de áreas sujeitas a inundação, o reassentamento de populações em áreas de risco, e a implementação de políticas e programas de contingência e educação ambiental. Essas ações não estruturais são fundamentais não apenas para lidar diretamente com as consequências das inundações, mas também para abordar questões mais amplas relacionadas ao planejamento urbano, prevenção e conscientização da comunidade. A abordagem

integrada dessas medidas busca promover uma gestão abrangente e sustentável dos riscos de inundação na região.

As sugestões para medidas estruturais se subdivide em duas:

- 1) Bacias de retenção e detenção
- 2) Parque linear

8.3 Bacias de detenção e bacias de retenção

A implementação de bacias de detenção ou retenção é vista como uma solução potencial para reduzir os problemas de inundação na região. Além de desempenharem um papel crucial na gestão de águas pluviais, as bacias de detenção podem ser projetadas de maneira a proporcionar espaços de lazer para a comunidade. Da mesma forma, as bacias de retenção, comumente utilizadas em áreas rurais, têm o potencial de servir como reservatórios de água para atividades agropecuárias. Dessa forma, ambas as abordagens podem oferecer benefícios significativos à população local, contribuindo para a prevenção de desastres e melhorando a qualidade de vida da comunidade.

A seleção dos locais para a implementação eficaz de bacias de detenção e/ou retenção (Figura 24) com o propósito de minimizar os picos de cheias decorrentes das chuvas, foi conduzida por meio do processo de decisão multicritério (MCDM). Nesse contexto, o método Analytic Hierarchy Process (AHP) foi novamente empregado para determinar os pesos dos critérios de decisão. Adicionalmente, foram utilizadas ferramentas de Sistema de Informação Geográfica (SIG) para realizar a análise geoespacial, que constitui a fase final do processo de seleção de locais para as bacias.

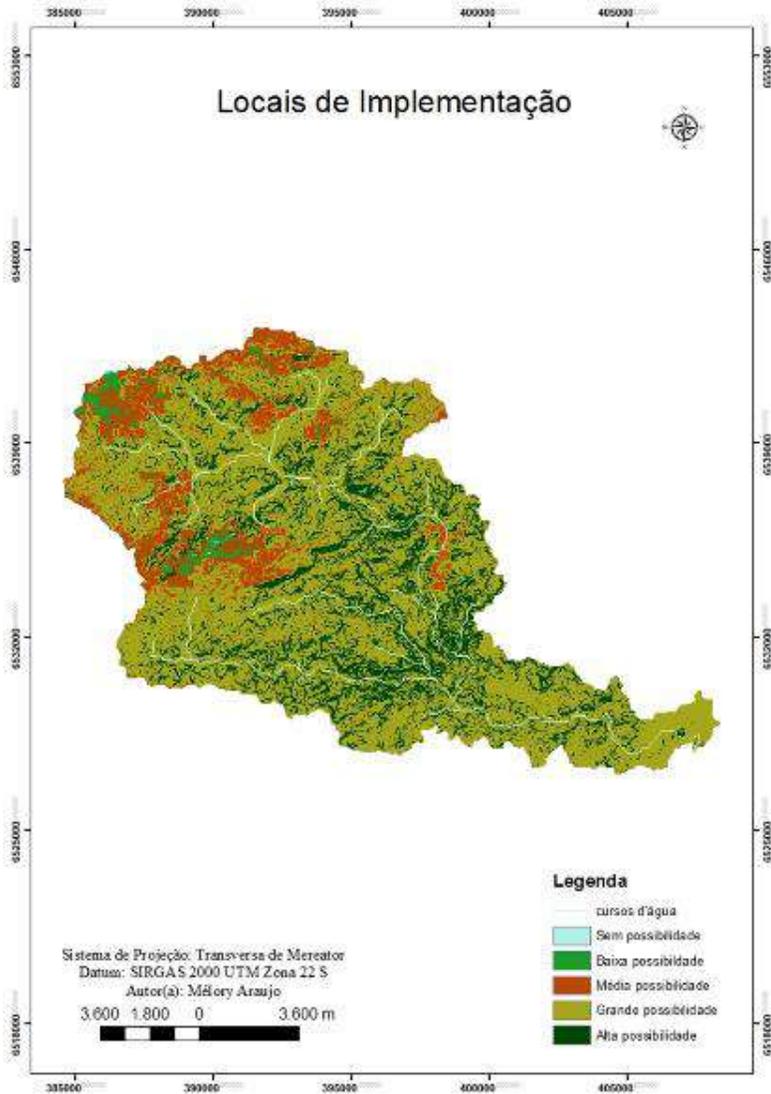


Figura 24. Locais propícios para implantação de bacias de detenção e/ou retenção.

Além disso, o volume necessário para cada bacia foi calculado por meio da associação das variáveis da equação Cota x Área x Volume, utilizando o Modelo Digital de Elevação (MDE) da bacia hidrográfica. Essa abordagem permitiu a geração de um mapa com maior precisão, contribuindo para a efetividade da escolha dos

locais para implementação das bacias de retenção e/ou detenção. E os cálculos dos parâmetros, como área alagada, altura do barramento e cota, foram derivados a partir das equações presentes nos gráficos Volume x Cota.

Recomenda-se, portanto, a instalação de uma bacia de retenção na cota de 29, adequada para uma vazão média mínima de $0,14 \text{ m}^3/\text{s}$. Esta proposta contempla um volume útil de $1,2 \text{ hm}^3$ e uma área alagada de $0,0013 \text{ km}^2$. Adicionalmente, sugere-se a implementação de dois reservatórios de detenção, com a finalidade de operar sob vazão máxima ou reter a quantidade máxima de água durante os períodos de chuva, visando prevenir possíveis desastres. A localização de um desses reservatórios é indicada na cota 39, para uma vazão média de $0,86 \text{ m}^3/\text{s}$, apresentando um volume útil de 2 hm^3 e uma área alagada de $0,0015 \text{ km}^2$.

Para reter valores extremos, a sugestão é a instalação na cota 48, associada a uma vazão de pico de $4,83 \text{ m}^3/\text{s}$, com uma área correspondente a $0,017 \text{ km}^2$. A identificação dos locais sugeridos à implantação pode ser visualizada na Figura 25.

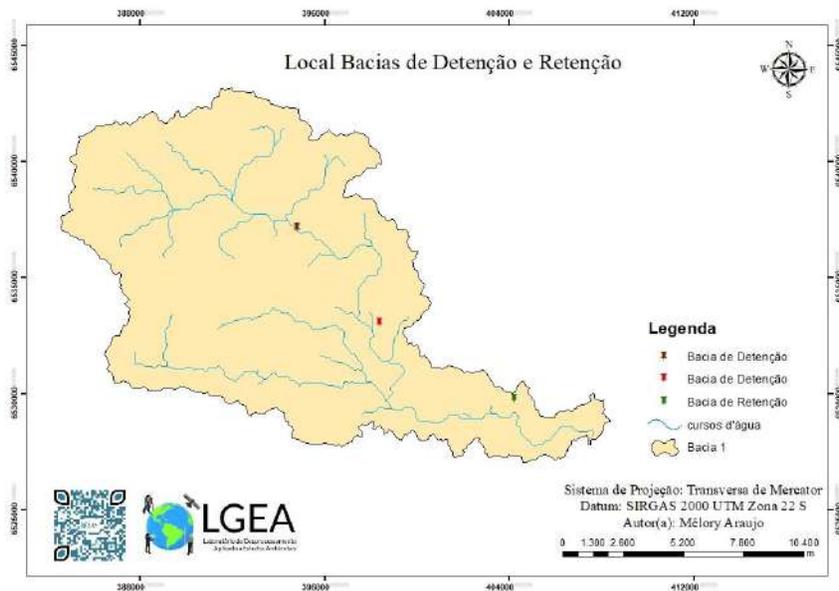


Figura 25. Locais indicados para as bacias de detenção e retenção.

A metodologia de análise hierárquica adotada para indicar o local de possível implementação das bacias apresentou satisfação quando comparada a metodologia de cota X área X volume, pois nas duas metodologias observou-se que as áreas indicadas são muito próximas. Além de que através da análise hidrológica também foi possível indicar para cada reservatório um volume estimado. Pode-se concluir também que um dos indicadores que mais tem influência nos problemas de inundações que ocorrem no município é a ocupação das áreas irregulares ao entorno do Arroio São Lourenço.

Nas zonas urbanas e em seu entorno, é viável conceber bacias de retenção e detenção com abordagens paisagísticas, convergindo-as em parques e áreas de recreação. Frequentemente, esses locais são estruturados para incorporar elementos naturais, tais como vegetação nativa, trilhas para pedestres, ciclovias e até mesmo corpos d'água artificiais. Essa concepção integrada não apenas aprimora a estética urbana, mas também proporciona oportunidades para atividades recreativas, prática de exercícios físicos e engajamento com a natureza.

8.4 Parque Linear

Considerando os desafios relacionados ao desconforto e à redução da qualidade de vida da população local nas proximidades do Arroio São Lourenço, no ano de 2017, o grupo propôs a implementação de um parque linear composto por disposição paisagística e de mobílias de bancos, parques infantis e academias ao ar livre. Essa iniciativa levou em conta a presença de ocupações irregulares ao longo do curso d'água que corta a cidade, aliada à deficiência nos sistemas de infraestrutura de saneamento básico, fatores que contribuem significativamente para a amplificação dos problemas relacionados a inundações.

As ocupações irregulares identificadas estão localizadas em áreas de Preservação Permanente (APP), indicando a perda da qualidade ambiental desta zona que originalmente deveria

cumprir o papel de preservação e proteção do corpo hídrico. Como resultado, o Arroio São Lourenço passou a ser receptor de diversos resíduos, incluindo rejeitos depositados nas margens, resíduos de construção civil e efluentes domésticos in natura. Esses elementos, arrastados pela força das águas, são especialmente problemáticos durante os períodos de cheias.



Figura 26. Entorno do arroio São Lourenço na área urbana inundada. Fonte: São Lourenço do Sul (2017).

A proposta do grupo apresentada por Dall’Agnol *et al.* (2017), busca não apenas a recuperação da mata ciliar, mas também a manutenção dessa área. Para atingir esse objetivo, a remoção das residências situadas dentro do perímetro designado como APP é considerada crucial. Além disso, a criação de um parque linear visa estabelecer um vínculo afetivo da população local com a APP, proporcionando não apenas benefícios ambientais, mas também um sentimento de pertencimento.

Nessa perspectiva, a construção de um parque linear (Figura 27) é vista como uma alternativa eficaz para conciliar os aspectos urbanos e ambientais, contribuindo para o planejamento e a gestão

ambiental. A proposta também inclui ações e obras complementares, como a dragagem do arroio para remoção de sedimentos, a estruturação dos taludes com sistemas como muros de gabião e a implementação de um dique para conter eventos de precipitações elevadas. Essas medidas são essenciais para promover a resiliência do ambiente urbano frente aos desafios hidrológicos e ambientais identificados.



Figura 27. Proposta do Parque Linear no entorno do Arroio São Lourenço. Fonte: Dall’Agnol *et al.* (2017).

8.5 Vulnerabilidade natural à contaminação de águas subterrâneas

Neste subcapítulo ver-se-á a importância da água subterrânea e sua vulnerabilidade, especialmente em relação à contaminação. Para avaliar a vulnerabilidade da água subterrânea em São Lourenço do Sul/RS, é necessário considerar fatores como as características geológicas e hidrogeológicas da região, a litologia da zona não saturada, a profundidade do lençol freático e as fontes de contaminação potencial. A análise da vulnerabilidade da água

subterrânea é crucial para garantir sua proteção e preservação. O mapeamento de risco e a análise de desastres ambientais são importantes para prever e gerenciar possíveis problemas que possam ocorrer na região. Além disso, o planejamento de risco e os planos de contingência são essenciais para prevenir e mitigar danos ambientais e humanos.

Sendo assim, a realização de diagnósticos ambientais é importante para identificar possíveis fontes de contaminação e a extensão dos danos causados. Essa análise permite identificar as áreas mais vulneráveis e desenvolver estratégias para minimizar os riscos. A análise de eventos no município com e sem decreto de emergência pode ajudar a entender a frequência e a gravidade dos eventos e a desenvolver medidas preventivas e corretivas. O mapeamento de risco é fundamental para identificar as áreas mais vulneráveis à contaminação e os possíveis efeitos negativos que podem ocorrer. Com base nisso, é possível desenvolver planos de contingência para lidar com possíveis eventos adversos, como vazamentos de substâncias químicas ou enchentes.

Em suma, a análise da vulnerabilidade da água subterrânea deve ser realizada em conjunto com outras análises, como diagnósticos ambientais, mapeamento de risco, planejamento de risco, eventos no município com e sem decreto de emergência e planos de contingência. Essas análises permitem identificar os possíveis riscos e desenvolver estratégias para proteger e preservar os recursos naturais, bem como a saúde e o bem-estar das pessoas.

8.6 Vulnerabilidade natural

A água é um recurso natural de extrema importância para a vida na Terra. Além de ser essencial para a sobrevivência dos seres vivos, ela também é utilizada para diversas atividades humanas, como agricultura, indústria e abastecimento urbano (Clemens, 2015; Lal, 2015). No entanto, a água não é um recurso ilimitado e sua disponibilidade pode ser afetada por diferentes fatores, como

mudanças climáticas, uso excessivo e contaminação (Rose; Gleick, 2019; D'odorico *et al.*, 2018).

Nesse contexto, a água subterrânea desempenha um papel crucial, pois é responsável por uma parcela significativa do abastecimento de água em muitas regiões do mundo (Cuthbert *et al.*, 2019; Loveless *et al.*, 2021). No entanto, ela também pode estar sujeita a diferentes tipos de contaminação, o que pode torná-la imprópria para o consumo humano e prejudicar o meio ambiente (Katz *et al.*, 2015; Eerkes-Medrano; Thompson; Aldridge, 2021).

Por isso, a avaliação da vulnerabilidade da água subterrânea é fundamental para garantir sua proteção e preservação (Cardellini *et al.*, 2019; Song *et al.*, 2019). No caso específico do município de São Lourenço do Sul/RS, esse processo pode ser realizado por meio do método GOD, que consiste em uma análise integrada das variáveis geológicas, hidrogeológicas e ambientais (Ao *et al.*, 2019; Gaire *et al.*, 2021).

Antes de entrar em detalhes sobre o método GOD, é importante entender as características geológicas e hidrogeológicas do município. A região é caracterizada por um relevo bastante plano, com altitudes que variam de 10 a 50 metros acima do nível do mar (Santos, 2009). O substrato geológico é composto principalmente por sedimentos arenosos, argilosos e cascalhos, que foram depositados durante o período Quaternário, há cerca de 2,6 milhões de anos atrás.

Esses sedimentos formam um aquífero livre, ou seja, formam uma camada de rocha ou sedimento permeável que contém água subterrânea em sua porção saturada (Ito *et al.*, 2020). A água do aquífero é recarregada principalmente pela infiltração da água da chuva e pelos cursos d'água superficiais, como o Rio Camaquã e o Arroio São Lourenço. Além disso, a região também é afetada por processos de subsidência, que ocorrem devido à extração excessiva de água subterrânea e podem resultar em afundamentos do solo (Bortoluzzi *et al.*, 2019).

Com base nesse contexto geológico e hidrogeológico, é possível entender como as águas subterrâneas se movem na região

e como elas podem ser afetadas por diferentes fatores (Cobo *et al.*, 2010). A partir disso, é possível realizar o estudo da ocorrência das águas subterrâneas e determinar onde elas ocorrem na área de estudo e quais são as principais fontes de recarga (Ruiz-Aquino *et al.*, 2019).

Outra variável importante para avaliar a vulnerabilidade da água subterrânea é a litologia da zona não saturada. Essa camada de solo e rocha acima do aquífero é importante porque influencia o tempo que a água leva para atingir o aquífero, bem como a sua qualidade (Foster *et al.*, 1998). Por exemplo, solos com alta permeabilidade podem permitir que a água atinja o aquífero rapidamente, mas também podem facilitar a entrada de contaminantes (Foster; Hirata, 2002).

A profundidade do lençol freático é outra variável importante a ser considerada na avaliação da vulnerabilidade da água subterrânea. A profundidade do lençol pode variar ao longo da área de estudo e em diferentes períodos do ano, e isso pode afetar a sua vulnerabilidade a diferentes tipos de contaminação (Foster; Chilton, 2003). Por fim, é necessário identificar as principais fontes de contaminação potencial das águas subterrâneas na área de estudo (Vrba; Zaporozec, 1994).

A presença de atividades industriais, agropecuárias ou de disposição inadequada de resíduos pode representar riscos para a qualidade da água subterrânea e, por isso, devem ser consideradas no processo de avaliação da vulnerabilidade (Stigter *et al.*, 2016).

Além disso, é importante analisar o uso e ocupação do solo na área de estudo, uma vez que esses fatores também podem afetar as águas subterrâneas e aumentar a sua vulnerabilidade a diferentes tipos de contaminação (Dai; Zhong, 2018). Por exemplo, o uso intensivo de agrotóxicos na agricultura pode resultar na contaminação das águas subterrâneas, bem como a disposição inadequada de resíduos sólidos em áreas próximas aos aquíferos (Uddameri; Memon, 2017).

O estudo da dinâmica do uso e ocupação do solo na região pode ajudar a identificar áreas que representam maior risco de

contaminação das águas subterrâneas e a desenvolver estratégias para prevenir ou mitigar esses riscos (De Waele *et al.*, 2005).

Com base nessas informações, o método GOD (do inglês, Groundwater Occurrence and Vulnerability Diagnostic) pode ser aplicado para avaliar a vulnerabilidade das águas subterrâneas na área de estudo. Esse método considera diversas variáveis geológicas, hidrogeológicas e ambientais para avaliar a vulnerabilidade da água subterrânea a diferentes tipos de contaminação (Lindsey *et al.*, 2003).

Esse método foi desenvolvido na década de 1990 pelo British Geological Survey (BGS) e tem sido aplicado em diversos países, como Reino Unido, Alemanha, França, Itália, Espanha, Portugal e Brasil (Foster, 2006).

O método GOD consiste em quatro etapas principais: seleção de parâmetros, atribuição de pesos, cálculo do índice de vulnerabilidade e interpretação dos resultados. Na primeira etapa, são selecionados os parâmetros que afetam a vulnerabilidade da água subterrânea, como a permeabilidade do solo, a profundidade do aquífero, a recarga de água, a presença de camadas impermeáveis e a proximidade de fontes de contaminação (Beyer, 2012).

Na segunda etapa, são atribuídos pesos a cada parâmetro, de acordo com sua importância relativa na vulnerabilidade da água subterrânea. Os pesos são geralmente definidos por especialistas em hidrogeologia, consultando-se a literatura científica e a experiência local (Lindsey *et al.*, 2003). Na terceira etapa, é calculado o índice de vulnerabilidade, que é a soma ponderada dos valores dos parâmetros para cada ponto de amostragem ou célula do modelo hidrogeológico. Esse índice pode ser apresentado como um mapa de vulnerabilidade, que indica as áreas de maior e menor risco de contaminação (Foster, 2006). Na quarta etapa, os resultados são interpretados e comparados com os critérios de qualidade da água e os objetivos de gestão da área de estudo. Essa etapa é importante para definir medidas de gestão adequadas, como a proteção de áreas vulneráveis, a remediação de áreas contaminadas e o monitoramento contínuo da qualidade da água (Beyer, 2012).

O método GOD tem algumas limitações e incertezas, como a subjetividade na seleção e atribuição de pesos aos parâmetros, a dificuldade em representar a complexidade dos processos hidrogeológicos em modelos simplificados e a necessidade de dados de alta qualidade e resolução (Lindsey *et al.*, 2003).

No entanto, o método GOD tem sido amplamente utilizado e validado em diversas aplicações, como na avaliação da vulnerabilidade das águas subterrâneas em áreas urbanas e industriais, na identificação de áreas prioritárias para a proteção da qualidade da água e na elaboração de planos de gestão dos recursos hídricos subterrâneos (Lu *et al.*, 2021; Aslam *et al.*, 2020; Yang *et al.*, 2020; Huang *et al.*, 2018; Wang *et al.*, 2017; Zhang *et al.*, 2017; Rezaei *et al.*, 2016; Liu *et al.*, 2014; Shen *et al.*, 2012). Além disso, o método GOD é uma ferramenta útil para a tomada de decisão em questões relacionadas à gestão ambiental, planejamento urbano e desenvolvimento sustentável (Foster, 2006).

Com base nisto, neste capítulo, foi realizada a estimativa da vulnerabilidade natural à contaminação das águas subterrâneas do município de São Lourenço do Sul/RS, utilizando-se a metodologia GOD proposta por Foster *et al.*, (2006). Para a aplicação da metodologia GOD, foram obtidas informações referentes aos poços localizados na área de estudo, como o grau de confinamento do poço (G), o perfil litológico (O) e a profundidade do nível estático (D). Esses dados foram obtidos no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) Serviço Geológico do Brasil para o município de São Lourenço do Sul.

O índice de vulnerabilidade do aquífero à contaminação foi determinado pelo produto dos valores obtidos para cada um dos parâmetros, variando de 0,0 (vulnerabilidade insignificante) até 1,0 (vulnerabilidade extrema). As classes de vulnerabilidade de aquíferos variam de desprezível (ou insignificante) à extrema, sendo que sua nomenclatura apresenta definição específica, que reflete a sensibilidade natural dos aspectos hidrogeológicos observados no estudo.

A superfície potenciométrica foi utilizada para determinar a tendência da direção do fluxo subterrâneo. Esse parâmetro pode facilitar a identificação da direção das plumas de contaminação originada na superfície do solo. Utilizou-se a krigagem ordinária como interpolador para predizer o valor da variável vulnerabilidade em um ponto não amostrado.

Utilizou-se o programa ArcGIS para geração do mapa de vulnerabilidade natural à contaminação e o QGIS versão 2.18 para elaboração do mapa de localização. Dados cartográficos da litologia do IBGE na escala 1:250.000 foram utilizados para elaboração do cartograma de tendências de direção de fluxo. O método GOD mostrou-se eficiente na avaliação da vulnerabilidade natural à contaminação das águas subterrâneas do município de São Lourenço do Sul. As definições das diferentes classes de vulnerabilidade são apresentadas na Tabela 1.

Já a classificação dos níveis de vulnerabilidade e suas respectivas definições podem ser definidas como: insignificante, baixa, moderada, alta e extrema. Sendo que a classe de vulnerabilidade insignificante se refere a um aquífero pouco vulnerável, uma vez que possui camadas confinantes que impedem significativamente o fluxo vertical de água subterrânea (percolação). Já a classe de vulnerabilidade baixa se aplica a aquíferos vulneráveis somente a contaminantes conservadores, a longo prazo, quando são continuamente lançados ou lixiviados.

A classe de vulnerabilidade moderada, por sua vez, descreve um aquífero vulnerável a alguns contaminantes, mas apenas quando são continuamente lançados ou lixiviados. Na classe de vulnerabilidade alta, o aquífero é considerado vulnerável a diversos contaminantes, com exceção dos que são fortemente adsorvidos ou rapidamente transformados, em vários cenários de contaminação. Por fim, a classe de vulnerabilidade extrema é atribuída a aquíferos vulneráveis à grande maioria dos contaminantes, com impacto rápido em vários cenários de contaminação. Através da tabela, é possível entender a relação entre os diferentes níveis de vulnerabilidade e as características dos

aquíferos, permitindo a tomada de decisões mais informadas na gestão e preservação desses recursos hídricos subterrâneos.

Desta maneira a vulnerabilidade das águas subterrâneas do município de São Lourenço do Sul apresentou vulnerabilidade natural à contaminação, variando de insignificante a baixa, como demonstra a Figura 28.

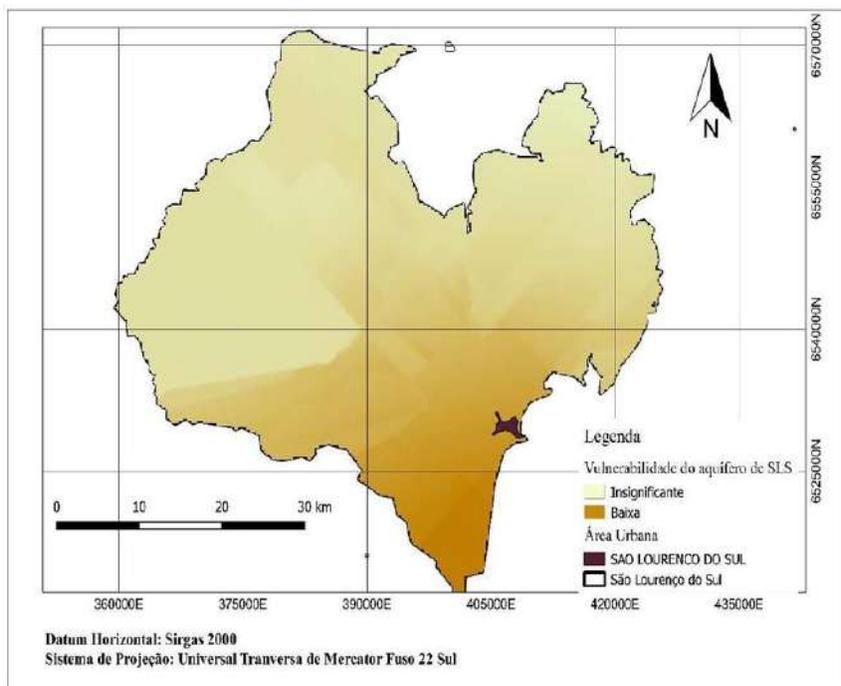


Figura 28. Vulnerabilidade natural à contaminação do aquífero no município de São Lourenço do Sul.

Pode-se observar que em São Lourenço do Sul, a vulnerabilidade natural dos aquíferos subterrâneos na porção leste e nordeste foi considerada insignificante, o que indica que essas áreas apresentam pouca susceptibilidade à contaminação de poluentes. No entanto, a vulnerabilidade dos aquíferos na porção sul e sudeste da região foi considerada baixa, o que significa que essas áreas estão mais suscetíveis à contaminação de águas

subterrâneas por poluentes. Essa alteração na classificação da vulnerabilidade pode ser explicada pela presença de atividades humanas que podem contribuir para a contaminação, como o uso de fertilizantes e agrotóxicos na agricultura, a disposição inadequada de resíduos sólidos, a atividade industrial e a disposição inadequada de resíduos de animais.

A contaminação dos aquíferos subterrâneos pode ter consequências graves para a região, afetando a qualidade da água que é utilizada para consumo humano, para a agricultura e para a preservação do meio ambiente. Além disso, a contaminação pode afetar a biodiversidade e a saúde dos ecossistemas aquáticos. Para evitar a contaminação dos aquíferos subterrâneos em São Lourenço do Sul, é fundamental adotar práticas mais sustentáveis e responsáveis em relação às atividades humanas que podem contribuir para a poluição dessas águas. Isso inclui o uso adequado de fertilizantes e agrotóxicos na agricultura, a gestão correta dos resíduos sólidos, a fiscalização das atividades industriais e o monitoramento constante da qualidade das águas subterrâneas.

Além disso, é importante incentivar a conscientização da população local sobre a importância da preservação dos aquíferos subterrâneos e da utilização responsável dos recursos hídricos em geral. A implementação de políticas públicas que promovam a educação ambiental e a sustentabilidade pode ser uma medida efetiva para garantir a proteção desses recursos naturais.

Outro fator extremamente importante de se mencionar é que a vulnerabilidade natural difere de risco a poluição, pois mesmo em áreas com atividades de alto risco de poluição, podem apresentar baixa vulnerabilidade natural à contaminação. Pois a vulnerabilidade natural é apenas um dos fatores que influenciam na possibilidade de contaminação das águas subterrâneas, e não deve ser considerado como a única variável a ser avaliada.

Uma vez que, áreas com baixa vulnerabilidade natural podem estar em risco de contaminação se houver atividades humanas inadequadas que possam poluir as águas subterrâneas. Sendo

assim é importante que a avaliação da vulnerabilidade dos aquíferos subterrâneos leve em consideração não apenas a vulnerabilidade natural, mas também as atividades humanas presentes na região e seu potencial de poluição. Isso permitirá uma avaliação mais precisa do risco de contaminação dessas águas e a implementação de medidas efetivas de proteção e preservação dos aquíferos subterrâneos, conforme vem sendo abordado ao longo deste livro.

Neste sentido, destaca-se os estudos realizados por Baričević *et al.* (2019), Ritter *et al.* (2014), Sener *et al.* (2005), Atiku *et al.* (2019), Tamene *et al.* (2017), Gueddari *et al.* (2015), Salcedo-Sanz *et al.* (2016), Loureiro *et al.* (2013), Mabrouk *et al.* (2015) e Oukili *et al.* (2017) que avaliaram a vulnerabilidade dos aquíferos em diferentes regiões do mundo. Em todos os estudos, a vulnerabilidade foi classificada como insignificante e baixa, o que indica um baixo risco de contaminação da água subterrânea. No entanto, os autores destacam a importância de práticas sustentáveis para preservar os recursos hídricos subterrâneos e garantir a segurança hídrica em diferentes regiões do mundo. Essas práticas sustentáveis incluem o uso responsável da água, a redução do uso de produtos químicos e o controle da poluição. Além disso, é importante que os governos locais e as comunidades adotem medidas para gerenciar a demanda de água, monitorar a qualidade da água subterrânea e proteger as áreas de recarga de aquíferos. Dessa forma, pode-se garantir a disponibilidade de água limpa e segura para as gerações futuras.

A análise da Figura 29 permitiu identificar a direção do fluxo das águas subterrâneas em São Lourenço do Sul. Para isso, foram consideradas as diferenças entre a cota do terreno e o nível estático (NE) dos poços, que permitem estabelecer a superfície potenciométrica e obter uma estimativa da direção do fluxo.

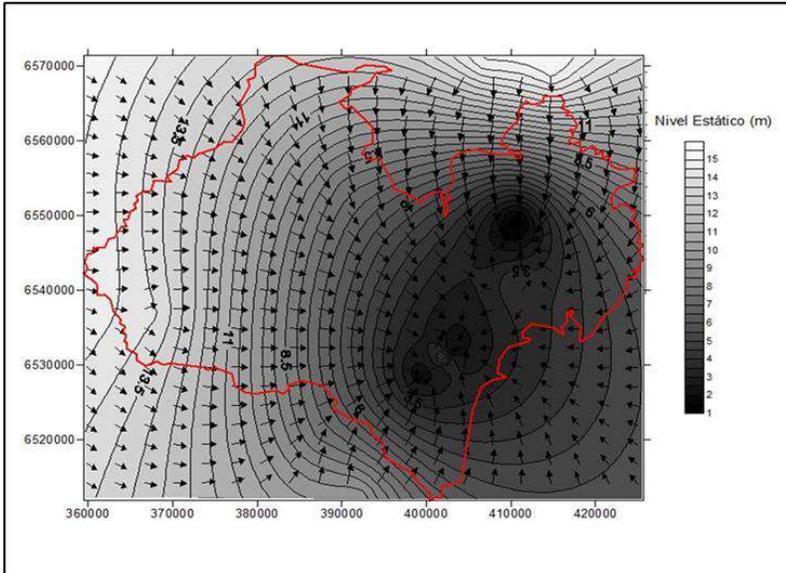


Figura 29. Tendência da direção e sentido do escoamento subterrâneo do município de São Lourenço do Sul.

Sendo assim, com base na figura 29, é possível observar que as regiões mais elevadas apresentam valores de NE mais altos, indicando uma maior profundidade do lençol freático. Já nas regiões com valores de NE mais baixos, a profundidade do lençol freático é menor. Nesse contexto, a tendência do fluxo das águas subterrâneas se dá de regiões mais elevadas para regiões com valores de NE mais baixos.

De acordo com Zhang, Huang e Lai (2020) e Pereira *et al.* (2019), essa informação é relevante para compreender como as águas subterrâneas se movimentam na região, o que pode ter implicações importantes para a qualidade da água e para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos. Por exemplo, em regiões com valores de NE mais baixos, a proximidade do lençol freático com a superfície do solo pode aumentar a vulnerabilidade à contaminação da água subterrânea, já que a menor profundidade do lençol freático permite uma maior interação com as atividades humanas e com os resíduos gerados. Ou seja, há uma maior vulnerabilidade à contaminação pelo lançamento de substâncias ao

solo. É importante destacar ainda que a malha urbana do município se encontra em áreas de menor nível estático e conseqüentemente de maior vulnerabilidade.

Dessa forma, a análise da direção do fluxo das águas subterrâneas é uma importante ferramenta para entender a dinâmica dos recursos hídricos subterrâneos e para orientar ações de gestão e proteção desses recursos. Sendo assim pode-se observar neste capítulo que a realização de diagnósticos ambientais é crucial para o entendimento dos impactos das atividades humanas no meio ambiente. O conhecimento da interação entre as atividades antrópicas e os recursos naturais, como as águas subterrâneas, é essencial para a preservação dos recursos naturais e para o desenvolvimento sustentável.

No caso específico da análise aqui realizada em São Lourenço do Sul, a realização de diagnósticos ambientais permite a avaliação da vulnerabilidade da água subterrânea à contaminação por resíduos gerados por atividades humanas. Como mencionado anteriormente, áreas com menor profundidade do lençol freático são mais vulneráveis à contaminação por substâncias lançadas ao solo, o que pode resultar em graves impactos na qualidade da água subterrânea e, conseqüentemente, na saúde pública.

A importância da realização de diagnósticos ambientais é ainda mais evidente em áreas urbanas, onde a densidade populacional e a quantidade de atividades humanas são maiores, e, portanto, a pressão sobre os recursos naturais é maior. Em São Lourenço do Sul, a malha urbana do município se encontra em áreas de menor nível estático, o que indica uma maior vulnerabilidade à contaminação da água subterrânea. A realização de diagnósticos ambientais permite a identificação de áreas críticas em relação à contaminação da água subterrânea e o estabelecimento de medidas preventivas e corretivas para minimizar os impactos ambientais.

Além disso, a realização de diagnósticos ambientais é fundamental para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos. No intuito de se compreender a dinâmica das águas subterrâneas e a

interação com as atividades humanas, pois permite a implementação de políticas públicas e planos de gestão adequados para a preservação dos recursos hídricos subterrâneos.

Por fim, destaca-se que apenas a avaliação de vulnerabilidade não é suficiente para garantir a segurança das pessoas em caso de desastres ambientais. Por isso, é importante realizar o planejamento de risco, mapeamento de risco e planos de contingência para lidar com diferentes cenários de emergência. É necessário considerar eventos no município com e sem decreto de emergência, como inundações, deslizamentos de terra, contaminação da água, entre outros. Dessa forma, é possível desenvolver estratégias para prevenir ou mitigar os efeitos desses eventos e garantir a segurança da população.

9. Gestão de Risco à Desastres

A gestão de riscos a desastres provocados por eventos extremos é essencial para reduzir o impacto desses eventos nas comunidades e na infraestrutura, sua importância está no fato de permitir uma abordagem proativa aos perigos potenciais, permitindo a identificação de riscos potenciais e a implementação de estratégias para mitigar o seu impacto (Zhang *et al.*, 2023).

Segundo Li e Li (2021), a gestão de riscos para desastres naturais envolve a identificação, avaliação e priorização de riscos potenciais, bem como a implementação de medidas para reduzir a probabilidade de ocorrência do risco e/ou a gravidade de sua ocorrência. Os principais objetivos dessa gestão são prevenir e reduzir o impacto de desastres naturais, proteger a segurança da população e preservar o meio ambiente e a infraestrutura (Liu *et al.*, 2019).

Para gerir os riscos com eficácia, é importante ter uma compreensão abrangente dos perigos, vulnerabilidades e possíveis consequências de desastres e eventos adversos. Isso requer a coleta e análise de dados e o desenvolvimento de modelos para simular e prever o impacto de possíveis desastres. Na perspectiva da população em situação de vulnerabilidade, Spink (2014) diz que é necessário a caracterização dos atores que nos desastres podem estar envolvidos, como a população e as governanças, pois são eles que dão sentido aos riscos.

Embora existam diversos instrumentos e mecanismos para a análise de riscos ambientais, estes estão sujeitos à subjetividade, segundo Bissacot e Oliveira (2016), visto que não existe uma padronização para priorizar as tomadas de decisões. De acordo com Zou *et al.* (2021), a gestão de riscos deve envolver o engajamento ativo das partes interessadas, incluindo agências governamentais, organizações não governamentais e o público em geral. A colaboração entre as partes envolvidas pode ajudar a

garantir que as estratégias de gestão de riscos sejam eficazes, apropriadas e aceitas por todas as partes.

Neste capítulo, apresentamos recomendações fundamentais para a gestão eficaz de riscos por parte da administração pública, começando pelo estabelecimento de uma compreensão abrangente dos perigos, vulnerabilidades e potenciais desdobramentos decorrentes de desastres naturais e eventos extremos. Nosso objetivo é fornecer diretrizes que possam orientar de forma precisa os pontos cruciais a serem considerados no início desse processo com eficácia.

Esta abordagem visa aprimorar a capacidade das autoridades públicas em antecipar, planejar e responder de maneira adequada a situações de risco, garantindo uma gestão eficaz e estrategicamente embasada. A compreensão detalhada dos elementos envolvidos e a identificação clara dos principais aspectos a serem abordados são fundamentais para o fortalecimento da resiliência das comunidades e a minimização dos impactos dos desastres naturais.

9.1 Plano de contingência

O plano de contingência é um mecanismo de extrema importância na gestão de risco perante o enfrentamento de desastres naturais, pois é nele que devem ser expostas informações como: riscos locais, disponibilidade de recursos, existência de planos de ações a serem implementados antes, durante e após o evento, além das demais atividades que auxiliem a prevenção e a minimização dos impactos causados pela ocorrência de desastres (Leon *et al.*, 2022).

Ou seja, é um conjunto de medidas a serem tomadas em caso de eventos adversos, como desastres naturais, crises de saúde pública, falhas de sistemas críticos, entre outros. A importância de um plano de contingência é a prevenção ou minimização de danos, preservando vidas, patrimônio e recursos. Ele permite uma resposta rápida e organizada em emergências, com o objetivo de

mitigar seus efeitos e facilitar a retomada das atividades após o evento.

Mazzali e Boin (2017) destacam que um plano de contingência eficaz deve contemplar todas as etapas do processo de resposta a emergências, desde a identificação dos riscos até a avaliação pós-evento. Por isso, é preciso realizar treinamentos e exercícios para garantir que todos os envolvidos no processo estejam preparados para agir com rapidez e eficiência em caso de emergência. Além disso, Goh e Heng (2019) em seus estudos destacam a importância do uso de tecnologias para a implementação de planos de contingência eficazes. Eles sugerem a utilização de sistemas de informação geográfica (SIG) e análise de dados para identificar áreas de risco e aprimorar a tomada de decisão.

Seguindo a orientação do documento base de planos de contingência, para sua elaboração uma série de ações devem ser levadas em consideração quando o município cria o seu, algumas dessas expostas nesse documento norteador são: estudo de cenário de risco, sistema de monitoramento, sistema de alerta, sistema de alarme, sistema de fuga (evacuação), ações de socorro, de sistema de assistência às vítimas, de restabelecimento de serviços essenciais (Brasil, 2017; Leon *et al.*, 2022). Além do mais, as principais características de um plano de contingência incluem:

1. Identificação de riscos e perigos potenciais: Um plano de contingência deve identificar os riscos e perigos potenciais que podem ocorrer em uma determinada área e avaliar o impacto potencial desses eventos na comunidade.

2. Procedimentos de resposta a emergências: Um plano de contingência deve estabelecer procedimentos claros para resposta a emergências, incluindo as funções e responsabilidades de diferentes partes interessadas, canais de comunicação e procedimentos de evacuação.

3. Alocação de recursos: Um plano de contingência deve alocar recursos, incluindo pessoal, equipamentos e suprimentos, para responder à emergência e fornecer o suporte necessário à população afetada.

4. Treinamento e exercícios: Um plano de contingência deve incluir treinamento e exercícios regulares para as partes interessadas envolvidas na resposta de emergência, para garantir que estejam familiarizados com os procedimentos e possam responder com eficácia.

5. Monitoramento e avaliação: Um plano de contingência deve incluir um mecanismo para monitorar e avaliar a eficácia do plano e para fazer ajustes e melhorias conforme necessário.

Em resumo, um plano de contingência é uma ferramenta crucial para minimizar o impacto de eventos extremos e desastres nas comunidades. O plano deve incluir procedimentos claros para resposta a emergências, alocação de recursos, treinamento e avaliação, e deve ser atualizado e aprimorado regularmente com base em feedback e monitoramento.

No Brasil, o Plano de Contingência é um pré-planejamento para possíveis eventos e serve de subsídio para a elaboração do Plano de Ação do Evento (PAE). No PC (Plano de Contingência), estão previstas as responsabilidades de cada organização, as prioridades e medidas iniciais a serem tomadas e a forma como os recursos serão empregados para uma determinada emergência. Os PCs devem ser testados por meio de exercícios simulados e devem ser modificados sempre que necessário, pode acontecer ainda que o plano de contingência precise ser readequado, ou seja, ajustado, durante a resposta, com base nos fatos da evolução do evento (Ministério da Saúde, 2022).

Os planos de contingência, têm como objetivo possibilitar que a preparação e resposta sejam eficazes, garantindo a segurança da população e amenizando danos e prejuízos. Os processos de elaboração de planos de contingência podem ser estruturados a partir de três questões: hipótese de desastre e/ou emergência, respostas como ações de socorro, assistência às vítimas e restabelecimento, e preparação para o desastre e/ou emergência (Defesa Civil - RS, 2017).

Na elaboração dele, temos também a participação da sociedade civil, que contribui e facilita a atuação do gestor de

proteção e defesa civil, por conta de que amplia a compreensão da população acerca dos riscos e das ações de gestão, gerando uma postura de corresponsabilidade, reforça a credibilidade do gestor e de sua equipe, pois a população se sente parte integrante do processo de tomada de decisão, favorece o cumprimento de exigências legais em relação à participação e controle social. Ações participativas, portanto, não devem se restringir apenas a capacitações ou audiências públicas posteriores à elaboração do plano de contingência, fazendo-se assim presente já na fase de planejamento, através da criação de núcleos comunitários de proteção e defesa civil (NUPDEC's), espaços formais de participação e controle social, (Defesa Civil - RS, 2017).

Na Figura 30 é possível visualizar em um diagrama, no qual as etapas da elaboração de um plano de contingência estão dispostas segundo a defesa civil do Rio Grande do Sul, figura adaptada do artigo CAPACITAR, elaboração de Plano de Contingência.





Figura 30. Etapas da Elaboração de um Plano de Contingência. Fonte: Adaptado de SEDEC/MI,2017.

Diversos órgãos e instituições oferecem diretrizes e suporte para a elaboração de planos de contingência. Como exemplo, o Escritório das Nações Unidas para a Redução do Risco de Desastres (UNDRR) disponibiliza direcionamentos e ferramentas destinadas à redução e administração do risco de desastres. Da mesma forma, a Agência Federal de Gerenciamento de Emergências (FEMA) nos Estados Unidos oferece orientações específicas para a elaboração de planos de emergência, abrangendo tanto empresas quanto comunidades.

É de extrema importância salientar que além do apoio dos diversos órgãos e instituições, existe o suporte técnico fornecido pelas Nações Unidas tanto para o enfrentamento dos desastres, quanto para a elaboração do PC. Esse suporte ocorre por meio do Marco de Ação de Hyogo e pelo Marco de Sendai. O primeiro enumera os cinco principais pontos de enfrentamento ao desastre (i. priorizar a redução dos riscos de desastres; ii. mapear os riscos; iii. promover a informação sobre desastres e riscos; iv. reduzir o risco e a vulnerabilidade; v. fortalecer a resposta ao risco) com a função de expor as diretrizes capazes de auxiliarem a redução de risco (United Nations International Strategy for Disaster Reduction, 2005). Já o segundo, o Marco de Sendai é responsável pela resiliência perante o evento, promovendo medidas

integradoras e inclusivas em todas as esferas (Asian Disaster Reduction Center, 2015).

9.2 Plano de contingência de São Lourenço do Sul

O mais recente plano de contingência do município, acessível desde o dia 14 de janeiro de 2019, foi elaborado durante a gestão do prefeito Rudnei Harter e do coordenador da defesa civil José Valdoir Ribeiro. Esse plano tem como finalidade estabelecer os procedimentos a serem seguidos pelos órgãos responsáveis na resposta a situações emergenciais. Essas ações envolvem prontidão imediata após a ocorrência da emergência, abrangendo atividades de socorro, assistência à população afetada e reabilitação do cenário, visando à normalização o mais rápido possível.

O propósito fundamental desses planos é fornecer diretrizes claras para a tomada de ações diante de situações críticas, como o aumento do nível do Rio São Lourenço indicando possíveis inundações, áreas alagadas, bem como eventos adversos como vendavais e granizo, que podem causar danos significativos. Nestas circunstâncias, o prefeito municipal e/ou o coordenador municipal de defesa civil têm a autoridade para acionar o plano de contingência. É importante ressaltar que o acesso a esse plano deve ser facilitado para toda a população de São Lourenço, sendo disponibilizado online de maneira clara e de fácil compreensão.

No plano, destaca-se a identificação das principais áreas suscetíveis a riscos significativos diante da ocorrência de eventos extremos, as quais são detalhadas na Tabela 6. Para mitigar os impactos associados a tais eventos, o município implementa diversas ações, tais como: i. utilização de alertas, monitoramento e comunicações sonoras, por meio de carros de som, como exemplo; ii. acionamento das partes envolvidas por meio de telefonemas; iii. isolamento do local afetado; iv. coordenação da organização de abrigos, sob responsabilidade designada; v. realização da remoção dos afetados, com a colaboração do grupo da prefeitura e

voluntários. Essas medidas visam assegurar uma resposta eficaz diante de situações de emergência.

Tabela 6. Áreas de risco identificadas em São Lourenço do Sul.

Local	Risco	Observação
Av. São Lourenço	Inundações	Elevação do Arroio São Lourenço
Rua General Osório	Inundações	Elevação do Arroio São Lourenço
Rua Cristóvão Colombo	Alagamentos	-
Rua Riachuelo	Alagamentos	-
Todo o município	Granizo	Área Rural e Urbana
Todo o município	Estiagem	Mais grave na Área Rural

Fonte: Adaptado de Plano de Contingência de São Lourenço do Sul, (2019).

É importante apresentar a informação de que o município conta com amparo de sete abrigos (Tabela 6) que totalizam a capacidade de suporte para 420 pessoas, os quais além de serem locais seguros contam com banheiros, cozinha, almoxarifado e manutenção em dia.

Tabela 7. Levantamento dos abrigos de suporte da região perante ocorrência de eventos extremos.

Abrigo	Identificação	Endereço	Capacidade (Pessoas)
1	Comunidade Medianeira	R. Osvaldo Cruz n° 212	70
2	Comunidade Evangélica de Confissão Luterana	R. Dr. Pio Ferreira n° 355	50
3	Nossa Senhora dos Navegantes	R. Duque de Caxias n° 81	100
4	Nossa Senhora Aparecida	R. Isolina Passos n° 1820	50
5	Nossa Senhora de Fátima	R. Santa Cruz n° 287	50
6	Comunidade Santa Rita	R. Mariz e Barros n° 448	50
7	Comunidade São José	Av. Coronel Nonô Centeno n° 1627	50

Fonte: Adaptado de Plano de Contingência de São Lourenço do Sul, (2019).

De acordo com o último plano de contingência apresentado pelo município (2019), o mesmo conta ainda com um estoque emergencial de lonas novas, uma caminhonete Mitsubishi e uma lancha de motor, ambas em perfeito estado de funcionamento.

O plano atual concentra-se principalmente em informações quantitativas e contatos, mas não inclui as instruções essenciais sobre o comportamento que a população deve adotar durante um evento. Isso se estende à falta de informações detalhadas sobre como os órgãos de socorro e apoio conduzirão suas ações, bem como à falta de detalhes sobre as áreas mapeadas e as possíveis situações de risco. A deficiência observada muitas vezes decorre da

carência de especialistas técnicos. Este livro tem como meta preencher essa lacuna, oferecendo suporte ao setor público para melhorar a comunicação com a comunidade e ajustar os procedimentos de gestão em resposta a eventos extremos.

9.3 Ações de Resiliência

As ações de resiliência a eventos extremos referem-se a medidas tomadas por indivíduos, comunidades e instituições para se preparar, resistir e se recuperar de eventos adversos, como desastres naturais, mudanças climáticas e outros choques externos. Essas ações visam minimizar os impactos desses eventos e construir a capacidade de recuperação e adaptação a novas circunstâncias. Essas ações podem incluir preparação para desastres, sistemas de alerta precoce, planos de evacuação, melhorias de infraestrutura e planos de recuperação pós-desastre.

Locais com tendência a ventos periódicos ou outros eventos extremos, como inundações, granizo e estiagens, são particularmente vulneráveis e devem priorizar ações de resiliência. Essas ações podem incluir construção de infraestrutura resiliente, desenvolvimento de planos de contingência e aprimoramento do envolvimento e participação da comunidade na redução do risco de desastres.

De acordo com Cutter e Cols (2018), ações de resiliência são essenciais para mitigar os efeitos de eventos extremos e reduzir o potencial de perda de vidas, propriedades e recursos. Os autores sugerem que as ações de resiliência devem ser desenvolvidas em colaboração com as comunidades locais, levando em conta o conhecimento local, as práticas culturais e os recursos.

Além disso, Zeb *et al.* (2020) destacam a importância da adoção de uma abordagem abrangente e integrada para ações de resiliência, que leve em consideração fatores sociais, econômicos e ambientais. Os autores sugerem que tal abordagem pode levar à sustentabilidade e resiliência de longo prazo nas comunidades e pode ajudar a construir sociedades mais igualitárias e justas.

Um exemplo de ações de resiliência a eventos extremos é a implantação de infraestrutura verde. A infraestrutura verde refere-se a recursos naturais ou seminaturais, como pântanos, florestas e pastagens, que podem ajudar a reduzir o impacto de eventos extremos, absorvendo e armazenando o excesso de água, evitando a erosão e fornecendo habitat para a vida selvagem. Um estudo de Yang et al. (2018) mostrou que a infraestrutura verde pode reduzir significativamente o risco de inundação em áreas urbanas.

Outro exemplo é o uso de tecnologia, como sistemas de alerta precoce e sensoriamento remoto, para melhorar a preparação e resposta a desastres. Um estudo de Kousky e Kunreuther (2018) mostrou que os sistemas de alerta precoce podem reduzir significativamente o impacto econômico dos furacões.

Neste capítulo, serão apresentadas ações de resiliência urbana para o município de São Lourenço do Sul, com o objetivo de melhorar as condições de preparo dos órgãos gestores de defesa civil e auxiliar a população em eventos adversos.

9.4 Análise dos serviços de Saneamento básico de São Lourenço do Sul

A avaliação do saneamento básico é uma medida crucial de prevenção que proporciona uma visão abrangente da capacidade de uma comunidade diante de eventos extremos. Identificar e corrigir deficiências no saneamento permite que as autoridades municipais fortaleçam a preparação e resposta a emergências, protegendo a saúde pública e reduzindo os impactos adversos de eventos extremos.

A eficiência do sistema de saneamento desempenha um papel vital na redução do risco de doenças relacionadas à água, especialmente em situações emergenciais. A análise do saneamento básico também identifica áreas suscetíveis a inundações, contaminação da água e outros desafios decorrentes de eventos extremos. A infraestrutura de saneamento tem impacto direto na capacidade de resposta a crises. Sistemas eficazes de

esgoto e tratamento de água são cruciais para garantir a segurança e bem-estar da população. A ausência de uma infraestrutura adequada pode agravar os impactos de eventos extremos, resultando em crises sanitárias.

Saneamento básico refere-se a um conjunto amplo de medidas e ações, incluindo fornecimento de água potável, sistema de esgoto, controle de doenças, recolhimento de resíduos e drenagem urbana, influenciando diretamente na saúde e bem-estar da população. A Constituição Federal de 1988 estabelece o saneamento básico como responsabilidade compartilhada entre os governos federal, estadual e municipal, e a Lei nº11.445/2007 define como serviços de saneamento básico o abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e drenagem e manejo de águas pluviais urbanas.

No município de São Lourenço do Sul, a Lei nº 3.284 de 2011 representa um marco para o saneamento básico ao criar o Departamento Municipal de Saneamento (DESAN), vinculado à Secretaria Municipal de Obras e Urbanismo. Essa iniciativa reflete o reconhecimento da importância estratégica do saneamento básico para a qualidade de vida e o desenvolvimento sustentável da região.

O sistema de saneamento básico compreende infraestruturas e serviços para a gestão segura de dejetos humanos, lixo e águas residuais. No Brasil, enfrentamos desafios significativos, com muitas áreas carentes de acesso a serviços de saneamento adequados, representando ameaças à saúde pública e ao meio ambiente.

Segundo estudo de Da Costa *et al.* (2020), o saneamento inadequado é um fator de risco significativo para várias doenças, como diarreia, cólera e febre tifóide, prevalentes em diversas regiões do Brasil. Conforme as Nações Unidas, o acesso à água potável e ao saneamento é essencial para alcançar o desenvolvimento sustentável, refletido nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). O ODS 6 trata da necessidade de acesso à água potável e saneamento para todos, enquanto o ODS 13 destaca a

importância de medidas contra as mudanças climáticas, incluindo seus impactos nos recursos hídricos.

Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) de 2020, o abastecimento de água é responsabilidade da Companhia Rio-Grandense de Saneamento (CORSAN), enquanto os serviços de esgotamento sanitário não foram informados pelo órgão responsável. O gerenciamento de resíduos sólidos e drenagem de águas pluviais é de responsabilidade total dos serviços da Secretaria Municipal de Obras e Urbanismo (SMOU).

9.4.1 Análise do sistema de abastecimento e tratamento de água

Para a Política Nacional de Saneamento Básico (2007), o abastecimento de água potável, pode ser caracterizado pelas atividades, flexibilidades, manutenções e instalações realizadas para fornecer água potável de maneira adequada para a população, através da captação, ligações prediais, medidores e outros instrumentos necessários para efetivação do serviço.

A empresa responsável pelo abastecimento de água no município de São Lourenço do Sul é a Companhia Rio-Grandense de Saneamento - CORSAN. Em relação aos indicadores do serviço de abastecimento de água para o município foram fornecidos ao Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento - SNIS pela Companhia Rio-Grandense de Saneamento-CORSAN no ano de 2021, sendo que o consumo médio de água por habitante da região foi de 147,2 L/hab.dia, abaixo da média brasileira de 150,66 L/hab.dia.

Nos municípios brasileiros, existem diferentes formas de abastecimento de água para as áreas urbanas e rurais. Em São Lourenço do Sul, o abastecimento de água na área urbana é integralmente realizado por meio da rede pública. Já nas áreas rurais, a situação é caracterizada por uma maior variabilidade, sendo o fornecimento proveniente de diferentes fontes, como

poços, nascentes dentro das propriedades, armazenamento de águas pluviais, entre outras alternativas.

No município de São Lourenço do Sul, a população no último censo (2022) é composta por 41989 pessoas, sendo 7041 domicílios urbanos, de acordo com os dados consolidados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS, como pode ser verificado na Figura 30 representa 24456 pessoas, e 6223 domicílios rurais. Em relação a distribuição de água, 6987 pessoas da área urbana e 1242 da área rural do município utilizam a rede Geral, 1 pessoa da área urbana e 3898 da da área rural utilizam poços ou nascentes na propriedade, 4 pessoas no meio urbano e 46 no meio rural utilizam água pluviais de reservatórios, e por fim, 49 pessoas moradoras do meio urbano e 1037 moradores do meio rural utilizam outras formas de abastecimento hídrico (IBGE, 2010). Já no ano de 2021, a produção de água tratada nas estações é de 1502,5 a unidade de medida utilizada é 1000 m³/ano (SNIR, 2021), com 10741 ligações totais de água.



Figura 31. Comparação da população atendida com água no município. Fonte: SNIS, 2021.

No contexto do saneamento de água potável, referimo-nos a um conjunto de infraestruturas e serviços que asseguram o acesso seguro e adequado à água potável para a população. No entanto, no Brasil, o acesso à água potável permanece desafiador,

especialmente em áreas rurais e em assentamentos informais nas áreas urbanas. Conforme Oliveira *et al.* (2019), em muitas regiões do país, o acesso à água potável é inexistente, e mesmo onde disponível, a qualidade muitas vezes é deficiente, representando riscos significativos para a saúde pública, incluindo doenças como diarreia, cólera e febre tifoide.

Para superar esses desafios, é crucial investir na melhoria da infraestrutura e dos serviços de saneamento básico, envolvendo a expansão e manutenção das redes de abastecimento de água e o tratamento adequado para garantir a segurança do consumo humano. Além disso, campanhas de educação comunitária podem promover práticas seguras de água e melhorar os resultados de saúde pública. Contudo, para implementar essas ações, é fundamental compreender as condições existentes no município abrangido por esta análise.

Estudos, como o de Silva *et al.* (2021), evidenciam que desastres naturais, como enchentes e secas, podem impactar negativamente a qualidade e disponibilidade de água potável, especialmente em áreas rurais com recursos limitados. Medidas proativas, como sistemas de alerta precoce, fortalecimento da infraestrutura e gestão comunitária da água, são propostas para mitigar os impactos desses eventos na disponibilidade de água potável.

Outro ponto relevante destacado por Oliveira *et al.* (2019) é a integração da gestão de riscos e a preparação para desastres nos sistemas de abastecimento de água. Identificar perigos potenciais e implementar medidas adequadas, como fontes de água de reserva e planos de resposta a emergências, contribui para garantir a disponibilidade de água potável durante e após desastres naturais.

A gestão do sistema de abastecimento de água da cidade é realizada pela Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN), uma empresa estatal responsável pelo fornecimento de água e tratamento de esgoto no estado. Segundo a CORSAN (2022), a água utilizada na cidade é captada no rio Camaquã e tratada em uma estação local.

No entanto, um estudo conduzido por Viana *et al.* (2017) destaca que a gestão dos recursos hídricos em São Lourenço do Sul é desafiadora, especialmente em relação à disponibilidade e qualidade da água. O estudo ressalta a importância da implementação de políticas públicas efetivas e gestão participativa da água para assegurar a sustentabilidade do sistema de abastecimento.

Garantir água de qualidade é fundamental para os municípios, e, conforme a Portaria GM/MS Nº 888 de 2021, define-se água para consumo humano como aquela potável destinada à ingestão, preparação de alimentos e higiene pessoal, independente de sua origem. Portanto, a qualidade da água implica a ausência de poluentes, sendo necessário monitoramento conforme padrões de potabilidade estabelecidos nas normativas.

No contexto específico de São Lourenço do Sul, caracterizado por uma economia baseada na agricultura, o uso de agrotóxicos pelos agricultores torna-se relevante. Assim, o monitoramento da qualidade hídrica, conforme estabelecido pelo Ministério da Saúde, inclui a aferição de 27 variedades de agrotóxicos no recurso hídrico disponível para a população, cujas análises são publicadas no SISAGUA/MS. Conforme ressalta a Fiocruz (2020), os agrotóxicos são parâmetros cruciais para a avaliação da qualidade hídrica, dada sua presença nos recursos hídricos públicos.

A compreensão plena da capacidade do sistema de armazenamento de água por parte da CORSAN e da prefeitura é crucial, incluindo a autonomia temporal, a identificação prévia da população afetada e sua localização, bem como a definição de quem, onde e como pode contribuir para restabelecer os serviços. A elaboração de planos adaptáveis e a prontidão para respostas rápidas são imperativas, especialmente nas áreas rurais, onde poços e cacimbas são mais suscetíveis à contaminação. Estabelecer rotas alternativas para atender a população rural diante de perdas de pontes e interdições de estradas é crucial para garantir um fornecimento contínuo de água.

A espera pela ocorrência de uma tragédia para tomar decisões é inadequada, sendo necessário elaborar planos com antecedência, considerando de forma eficiente e ágil os recursos disponíveis. Outro ponto relevante é a presunção geral da gestão pública de que os especialistas do sistema estarão disponíveis durante uma crise, o que nem sempre é verdadeiro, visto que esses profissionais podem ter sido afetados de alguma forma pelo evento extremo, prejudicando sua participação na resposta à emergência. Portanto, a disponibilidade online dos planos de resposta é crucial para facilitar o acesso a todos que possam prestar socorro, assegurando uma abordagem eficaz e ágil em momentos críticos.

9.4.2 Análise do sistema de Esgotamento Sanitário

A legislação brasileira possui marcos relevantes em relação ao esgoto sanitário. No entanto, a Lei do Saneamento Básico (Brasil, 2007), que estabelece a Política Nacional de Saneamento Básico, é onde estão estabelecidas as diretrizes para o esgoto sanitário no Brasil. Nesse documento é dada a ênfase a universalização do acesso, priorização de áreas vulneráveis e a introdução de instrumentos econômicos, como a cobrança pela utilização do serviço, entre outras providências.

De acordo com a Política Nacional de Saneamento Básico (Brasil, 2007), o serviço de esgotamento sanitário é definido como as infraestruturas, instalações e flexibilidades imprescindíveis para a coleta, transporte, tratamento e disposição final ambientalmente adequada para os esgotos domésticos, englobando as ligações prediais, destinação final, produção de água de reuso ou lançamento com os padrões de qualidade para o meio ambiente.

A importância desse sistema não se limita apenas aos aspectos normativos, mas estende-se ao seu papel crítico na mitigação dos impactos causados por eventos extremos e desastres naturais. A adequada infraestrutura de esgotamento sanitário desempenha um papel fundamental na prevenção de riscos à saúde pública e na preservação ambiental durante situações de crise.

Em eventos extremos, como enchentes ou tempestades, há a possibilidade de mistura das águas pluviais com esgotos, ampliando o risco de contaminação por patógenos. A eficácia de um sistema de esgotamento sanitário atua na redução dessa contaminação, minimizando a propagação de doenças transmitidas pela água. A convergência de águas contaminadas com esgotos pode propiciar o surgimento de epidemias, principalmente em comunidades vulneráveis.

O adequado tratamento e disposição de esgotos desempenham papel crucial na prevenção de surtos de doenças. Em situações de crise, a probabilidade de vazamentos de substâncias poluentes aumenta. Um sistema de esgotamento bem concebido minimiza a liberação descontrolada desses poluentes, protegendo ecossistemas e assegurando a qualidade da água. A eficiência de um sistema de esgotamento sanitário contribui significativamente para a preservação da ordem social, evitando crises de saúde pública e deslocamentos em massa devido a condições insalubres.

No município de São Lourenço do Sul não existe uma rede de esgoto em funcionamento. Conforme o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (Brasil, Ministério Das Cidades, 2020), o município não possui tratamento de esgoto. Esta situação apresenta-se como um desafio significativo para a comunidade, afetando diretamente a gestão adequada dos resíduos e a preservação ambiental. A ausência de infraestrutura de esgotamento sanitário impacta negativamente na saúde pública e destaca a necessidade urgente de medidas para suprir essa carência no município.

A rede geral de esgoto ou pluvial atende a 1850 domicílios no perímetro urbano e outros 384 no rural (IBGE, 2010). Entre os domicílios urbanos, 3784 possuem a fossa séptica como destino do esgoto, entre os rurais, são 2063 (IBGE, 2010). Para 1343 domicílios urbanos e 2249 rurais, a fossa rudimentar é o método utilizado para lidar com o esgoto (IBGE, 2010). A vala é utilizada em 117 domicílios urbanos e mais de 1000 rurais (IBGE, 2010). Ao todo, 19 domicílios

despejam seus dejetos em algum corpo hídrico, sem nenhum tipo de tratamento (IBGE, 2010). Entre os domicílios urbanos, 25 não possuem nenhuma forma de lidar com o esgoto, e para os rurais, essa realidade atinge mais de 390 domicílios (IBGE, 2010).

Essa situação demonstra claramente a carência de uma adequada infraestrutura de esgoto sanitário no município. A ausência de tratamento de esgoto é preocupante, pois pode acarretar diversos problemas ambientais. Essas questões precisam ser prioritárias na agenda da administração local, buscando soluções para melhorar a qualidade do saneamento básico na região.

9.4.3 Análise do sistema de drenagem de águas pluviais

O sistema de drenagem de águas pluviais desempenha um papel essencial na administração de eventos extremos, especialmente em áreas urbanas onde a permeabilidade do solo é drasticamente reduzida. O fluxo de água proveniente das chuvas pode causar transtornos, destacando a necessidade de um sistema eficiente para regular o escoamento dessas águas (Goulden *et al.*, 2018). A eficaz gestão das águas pluviais urbanas não apenas mitiga os impactos desses eventos, mas também desempenha um papel crucial na preservação da saúde da população.

De acordo com Loggia *et al.* (2020), as inundações e alagamentos têm manifestado um aumento, tanto em frequência quanto em intensidade ao longo dos últimos anos, destacando a drenagem urbana como um instrumento fundamental na atenuação dos impactos decorrentes desses eventos. As inundações e alagamentos, como apontam Ohl e Tapsell (2000), frequentemente resultam em prejuízos significativos à sociedade, incluindo a propagação de doenças, ocorrências de afogamentos, perturbações nas vias públicas, bem como danos materiais tanto a bens públicos quanto privados.

O impacto positivo da drenagem urbana na segurança e saúde pública se estende à prevenção de situações de emergência. No entanto, um sistema que não atenda adequadamente às

necessidades pode comprometer o bem-estar da população. Para desenvolver um sistema de drenagem eficaz no centro urbano, é crucial realizar um estudo abrangente sobre os impactos diretos e indiretos causados pelos alagamentos e inundações na região, como ressaltado por Loggia et al. (2020). A drenagem urbana, como componente essencial da estrutura urbana, exerce uma influência significativa no bem-estar da população.

Em relação à drenagem urbana, a Lei nº 11.445/2007 (BRASIL, 2007), estabelece que a drenagem é um dos princípios básicos, além de integrar o conjunto de serviços que se caracteriza, o saneamento básico. Para o município de São Lourenço do Sul, o Plano Municipal de Saneamento Básico Participativo apresenta a drenagem urbana como um serviço essencial, e ressalta como as características topográficas da localidade acentuam a necessidade do manejo de águas pluviais.

São Lourenço do Sul possui um sistema de drenagem urbana unitário, não existe tratamento para as águas pluviais (BRASIL, MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2020). O total de vias públicas em áreas urbanas é de 111, 90 dessas possuem pavimento e meio fio, ou algo semelhante, existe um total de 4117 bocas de lobo e 112 bocas de lobo múltiplas (BRASIL, MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2020). São um total de 70 vias públicas com canal de água subterrâneo (BRASIL, MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2020).

Segundo o PLAMSABP de São Lourenço do Sul, além das estruturas citadas acima, o município também tem valetas a céu aberto no seu sistema de drenagem urbana, onde foram observados, entre 2009 e 2012, o fechamento de 1453m de valas. O dado pode ser visualizado na Tabela 8.

Tabela 8 - Pesquisa Vigilância Ambiental (SMS) valetas a céu aberto

Bairro	m /2009	m /2012
Barrinha	562	237
Avenida	556	440
Balneário	30	15
Sete	262	195
Navegantes	147	110
Nova Esperança	130	130
Centro	383	187
Lomba	551	344
Santa Terezinha	199	30
Medianeira	1103	782
TOTAL	3923	2470

Fonte: PLAMSABP De São Lourenço do Sul (s.n.)

Valetas de drenagem a céu aberto são elementos integrantes do sistema de drenagem urbana, sendo canais lineares abertos na superfície destinados a coletar, conduzir e direcionar as águas pluviais. Essa infraestrutura desempenha um papel crucial na prevenção de alagamentos em áreas de baixa altitude, como ruas e terrenos vulneráveis, contribuindo para a preservação da mobilidade urbana e a funcionalidade de áreas residenciais e comerciais. Contudo, sua utilização apresenta desafios que podem impactar negativamente o ambiente urbano, incluindo a obstrução e acumulação de resíduos, riscos de inundações e poluição hídrica. Para mitigar a obstrução, é imperativo realizar manutenções regulares. Além disso, o acúmulo de resíduos pode gerar odores desagradáveis e propiciar condições para a proliferação de doenças. Portanto, a gestão eficaz das valetas de drenagem é essencial para garantir não apenas a funcionalidade do sistema, mas também para minimizar os impactos negativos associados, promovendo um ambiente urbano saudável e seguro.

Outra problemática é em relação a poluição da água quando recebem esgoto cloacal de forma irregular. A presença de no esgoto pode trazer excesso de nutrientes, micro-organismos patogênicos e produtos químicos, representando assim riscos para a saúde humana e ambiental. No que tange ao risco de inundações e

alagamentos, o risco de canais abertos está relacionado ao mau dimensionamento. As inundações podem causar danos a propriedades, interrupções no tráfego, risco de acidentes com veículos e pessoas caírem devido à perda de visibilidade do canal, e em casos extremos, representar riscos à vida.

Durante períodos de alagamentos e inundação, as valetas a céu aberto têm o potencial de se encher rapidamente, formando áreas de água mais profundas. Esse cenário aumenta o risco de afogamentos, especialmente para pedestres e motoristas que podem não discernir a profundidade da água ou serem pegos por correntezas imprevistas. O arraste de carros pelas correntezas em valetas cheias durante inundações representa perigos sérios para motoristas e passageiros. Adicionalmente, pedestres podem enfrentar dificuldades ao atravessar valetas inundadas, elevando o risco de quedas e lesões.

Além disso, o acúmulo de água em valetas propicia condições para a proliferação de vetores de doenças, incluindo mosquitos transmissores de enfermidades como dengue, zika e chikungunya. Áreas alagadas e estagnadas nessas valetas podem tornar-se ambientes ideais para a reprodução desses insetos.

Diante de tais desafios, torna-se imperativa aprimorar o sistema de drenagem pluvial da cidade de São Lourenço do Sul e considerar a redução de valetas a céu aberto como uma medida essencial para a segurança e saúde da comunidade. Enquanto aprimoramentos no sistema de drenagem pluvial não são efetivados, é essencial adotar medidas para reduzir os riscos relacionados às valetas durante inundações. Iniciar campanhas educativas para conscientizar a população sobre os perigos associados a essas valetas durante eventos de alagamento e inundação, enfatizando a importância de evitar áreas alagadas e de tomar precauções ao se deslocar por esses locais. Além disso, implementar medidas de segurança, como a instalação de sinalizações visíveis, incluindo placas informativas e marcações no pavimento, podem contribuir para alertar as pessoas sobre os riscos presentes nas valetas durante períodos de chuva intensa.

9.4.4 Análise do sistema de Gerenciamento de Resíduos Sólidos

Nos municípios de menor porte, frequentemente caracterizados por recursos e infraestrutura limitados, torna-se evidente a falta de um sistema eficiente para o gerenciamento de resíduos sólidos. O descarte inadequado, como a presença de lixões a céu aberto, gera poluição ambiental, contaminando tanto a água quanto o solo, aumentando os riscos para a saúde pública.

Além disso, a presença de resíduos sólidos em áreas alagadas pode facilitar a propagação de doenças, representando uma ameaça direta à população. A ausência de infraestrutura para lidar com os resíduos durante eventos extremos pode resultar em consequências sérias, desde a disseminação de enfermidades até danos ambientais de longo prazo. Diante desse cenário, é crucial não apenas abordar a limpeza imediata, mas também priorizar estratégias eficazes de gestão de resíduos, visando prevenir danos futuros associados a eventos climáticos extremos.

Nesse contexto, a gestão adequada de resíduos sólidos está alinhada com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, especialmente o ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis), que visa tornar as cidades inclusivas, seguras, resilientes e sustentáveis, considerando a gestão de resíduos como um componente fundamental para alcançar esses objetivos. A Lei do Saneamento Básico, Lei nº 11.445/2007 (BRASIL, 2007), estabelece as diretrizes para a implantação da gestão integrada de resíduos sólidos, nela recebe destaque o desenvolvimento de planos municipais de gestão de resíduos sólidos. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010 (BRASIL, 2010), introduziu princípios como a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, impulsionando a gestão ambientalmente adequada e sustentável dos resíduos.

A Lei ordinária Nº 3774 (São Lourenço do Sul, 2017), estabelece o Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do município de São Lourenço do Sul e dá outras providências. O documento

apresenta a caracterização dos resíduos sólidos por dois critérios, quanto à origem e quanto à periculosidade. Apresenta os empreendimentos que necessitam de licença ambiental, listando quais possuem as devidas licenças e quais estão com o processo em andamento. Apresenta também a composição, com base em algumas amostras, do resíduo domiciliar urbano convencional e do oriundo da coleta seletiva.

O município possui coleta de resíduo sólido, cerca de 24000 munícipes são atendidos pelo serviço, possui também coleta seletiva. O município possui um Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos.

A prestação do serviço é de responsabilidade da Secretaria Municipal de Obras e Urbanismo - SMOU. O serviço é cobrado junto ao IPTU. O resíduo sólido é coletado de segunda a sábado e atende 100% do perímetro urbano. Já a realização da coleta, é dividida em três partes: a região central, na qual a coleta ocorre diariamente, a região 1, onde a coleta ocorre segunda, quarta e sexta, e a região 2 onde a coleta ocorre terça, quinta e sábado (Oliveira, 2012).

A coleta seletiva foi implementada no município no ano de 2002. Foi criada também a Associação de Recicladores de São Lourenço do Sul, composta por trabalhadores da reciclagem envolvidos, em parceria com a prefeitura, na coleta seletiva e na reciclagem do material coletado (Oliveira, 2012).

Atualmente, a ASSER possui 13 integrantes atuantes, que mensalmente trabalham com aproximadamente 45 toneladas de material reciclável (FURG, 2022). No ano de 2016 houve uma aproximação da equipe da ASSER com a Universidade Federal do Rio Grande - FURG, que possui campus em São Lourenço. Essa parceria resultou em impactos positivos, principalmente no aumento da renda dos trabalhadores e na regularização desses com o INSS (FURG, 2022). No ano de 2019 a ASSER recebeu do Projeto Reciclar Pelo Brasil uma quantia de 30.000 para investir em melhorias, como uniformes, para os seus integrantes (Lourenciano, 2019). Dessa forma, o manejo de Resíduos Sólidos no município de

São Lourenço do Sul transcende a esfera operacional, configurando-se como uma medida essencial para mitigar os efeitos adversos resultantes de eventos extremos, resguardando a saúde da comunidade e fomentando a sustentabilidade ambiental. A adoção de práticas eficazes de gestão de resíduos em cenários municipais menos robustos deve ser priorizada, visando não apenas à limpeza imediata, mas também à prevenção de danos futuros relacionados a eventos climáticos extremos.

9.4.5 Drenagem Sustentável

No âmbito do capítulo 8.3, discutimos propostas referentes às Bacias de Detenção e Bacias de Retenção, enquanto no segmento subsequente, 8.4, abordamos o conceito de Parque Linear como alternativas para a implementação de práticas de drenagem sustentável. Este capítulo explora a relevância desses projetos estruturais específicos para São Lourenço do Sul, contextualizando sua importância por meio de perspectivas internacionais relevantes sobre a temática.

Conforme debatemos a importância desses projetos estruturais específicos para São Lourenço do Sul, é crucial reconhecer que as alterações climáticas representam uma ameaça cada vez mais urgente. Assim, a necessidade de práticas sustentáveis de drenagem não é apenas local, mas parte integrante de uma resposta global a uma realidade em que as comunidades, especialmente as mais vulneráveis, enfrentam impactos significativos. Assim, este capítulo visa não apenas contextualizar soluções locais, mas também contribuir para um entendimento mais amplo e integrado das estratégias necessárias diante de desafios climáticos globais.

Na atualidade, as mudanças climáticas são uma amarga realidade que a humanidade está experimentando. Vivemos um momento de crise global cercados por muitas dúvidas e incertezas, exceto o fato de que nosso mundo está realmente passando por um período de mudanças, de forma muito mais acelerada. Imagina-se

que estas alterações estão impactando diretamente a vida de milhões de pessoas em torno do mundo, em especial aqueles mais vulneráveis, marginalizados em uma sociedade repleta de desigualdades sociais, sendo que esses impactos já estão indo além da capacidade de resiliência em diferentes regiões do planeta, entre elas a América do Sul.

É o que aponta o mais recente relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, na sigla em inglês) publicado em 23 de março de 2023. Segundo o relatório, mais de 40% da população mundial é "altamente vulnerável" ao atual estado do clima, onde eventos climáticos extremos já relacionados às mudanças climáticas, como enchentes e ondas de calor, estão atingindo os seres humanos e outras espécies de forma muito mais dura do que avaliações anteriores indicavam.

No entanto, pesquisas sobre novos métodos de drenagem têm feito progresso na busca por desenvolver soluções sustentáveis, que sejam economicamente viáveis. O conceito da sustentabilidade visa adequar com modelagem hidráulica e uso do solo, um modo de diminuir o impacto da urbanização, com o princípio de absorção das águas por meio de solos permeáveis e seu armazenamento em bolsões subterrâneos, abastecimento de aquíferos ou mesmo a transferência da mesma para estações de tratamento ou absorção do solo, para causar um retardo em seu escoamento para o meio receptor, ou seja, tornar novamente semelhante ao natural (Gonzalez, 2014).

Entre esses métodos estão os telhados verdes, sendo essa uma técnica eficaz capaz de auxiliar no controle do escoamento superficial urbano que, quando não bem dimensionado, pode causar diversos transtornos durante ocasionais eventos de precipitação intensa.

A exemplo, apresenta-se parte da pesquisa da tese de doutorado desenvolvida pela Professora. A Dra. Andréa Souza Castro, publicada na *Environmental Science and Pollution Research*. Baseado em um módulo experimental de telhado verde instalado no Instituto de Pesquisas Hidráulicas - IPH - UFRGS, o dispositivo

é composto por quatro módulos de 4 m² cada um, os quais a estrutura foi cedida pela empresa Ecotelhado. Os módulos dividem-se em: dois módulos horizontais com telhados verdes (terraços), um módulo com presença de telhado verde (telhado) e um módulo sem presença de telhado verde (telhado), ambos com declividade de 15° (graus).

No experimento, um módulo de telhado e um módulo de terraço são constituídos por ecotelhas (cobertura verde), sendo o módulo do telhado verde também composto por duas membranas onde uma retém água e nutrientes e outra é anti-raízes. A membrana para a retenção de raízes fica abaixo da membrana de retenção de água e nutrientes. A ecotelha é composta com um conjunto de substrato rígido, um substrato leve e plantas, as quais agregam nutrientes essenciais que proporcionam retenção de água e drenagem do excedente. Cada ecotelha possui 35 cm x 68 cm e 6 cm de espessura. A ecotelha já vem plantada e enraizada, pronta para o uso. Cada módulo contém dois reservatórios de coleta d'água com capacidade de 200 litros cada.

O primeiro reservatório é ligado diretamente através de tubulações a um dreno, sendo este localizado na parte mais baixa do módulo para que a água seja conduzida por gravidade ao primeiro reservatório. Já o segundo reservatório é interligado ao primeiro, para servir como vertedouro no caso de o primeiro reservatório extravasar. A taxa de precipitação é monitorada por de uma estação pluviométrica, já o nível de água no reservatório é medido através de sensores de nível conectados a um datalogger que quantifica a água da chuva que o telhado verde não consegue reter, além do tempo necessário para iniciar-se o escoamento do mesmo. No lado que simula um telhado convencional a água captada será a que escorre diretamente para o sistema público de águas pluviais. Com os dados coletados foi possível fazer o balanço hídrico verificando a eficácia da estrutura desse tipo na retenção de água da chuva.

De acordo com Castro *et al.* (2020) foram analisados neste estudo o comportamento da estrutura para oito eventos de

precipitação durante os meses de maio a setembro de 2008, considerando as características de cada evento individualmente, como por exemplo os tempos para o início do escoamento e os volumes acumulados nos reservatórios para os quatro módulos experimentais, avaliando o comportamento da cobertura vegetal até as primeiras 12 horas do início da chuva, bem como a intensidade média da mesma.

Os resultados preliminares apontados pelos autores foram muito promissores. Os dados coletados demonstram que para os eventos estudados, os telhados verdes foram capazes de reduzir o escoamento superficial em até 50% para o telhado e em até 100% no terraço, durante as três primeiras horas após dar-se início à chuva. Após seis horas do início da chuva, a eliminação do escoamento superficial ocorreu em 50% dos eventos no telhado e de 63% no terraço. O dado mais interessante observado foi de que após 12 horas do início da chuva, a cobertura verde continuava retendo o escoamento superficial, sendo em uma taxa de 25% no caso do telhado e 63% no terraço. Isso indica que o uso de coberturas vegetais pode proporcionar uma melhor distribuição e controle adequado do volume do escoamento superficial, diminuição da velocidade de liberação do excesso de água e redução nos volumes escoados, mesmo após muitas horas do início da precipitação.

Essa estatística torna-se muito relevante ao ponto que áreas com deficiência dos sistemas de drenagem urbana estão atualmente se tornando ineficientes em detrimento da velocidade com que a taxa de expansão urbana ocorre, em especial, devido ao crescimento desordenado das grandes cidades, e conseqüentemente no adensamento demográfico. Sem dúvidas essa é uma alternativa a ser adotada, sobretudo, como medida mitigadora ou compensatória.

O que mais vem se destacando, é a constante mudança e aumento da população mundial, conseqüentemente o crescimento desordenado da urbanização, causando a impermeabilização do solo, devido ao uso de materiais como cerâmica, asfalto, dentro de outros materiais que por sua vez substituem a cobertura original

do solo, causando o aumento do fluxo de escoamento superficial das águas pluviais assim como sua vazão de pico, levando à poluição das águas dos corpos receptores, rios, riachos, arroios e afins (Cauduro, 2019).

Considerando esse contexto, a abordagem conhecida como "higienista", que preconiza a transposição rápida do esgoto pluvial para um corpo receptor próximo, tem sido uma solução historicamente adotada. No entanto, à medida que as pesquisas avançam e surgem transformações, outras propostas têm surgido, e estas visam não apenas reduzir o escoamento superficial, mas também ampliar a infiltração e minimizar o tempo de vazão de pico (Cauduro, 2019).

Essas alternativas buscam, como já mencionado, restituir ao solo características semelhantes às prévias à urbanização. O objetivo é potencializar a capacidade de infiltração das águas pluviais e atenuar o impacto das chuvas, resultando na redução de enchentes e na preservação da qualidade das águas. Um exemplo notável é o projeto de pesquisa da tese de doutorado da professora Dra. Andréa Souza Castro, conforme mencionado anteriormente.

Nesse contexto, a incorporação de práticas de drenagem sustentável estão amplamente alinhados com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela ONU e tornam-se essenciais nos desafios urbanos atuais e futuros.

9.5 Educação Ambiental e Defesa Civil Mirim

A educação ambiental deve ser considerada pelo município de São Lourenço do Sul como uma ferramenta fundamental para promover o desenvolvimento sustentável, conscientizando e capacitando os cidadãos para ações de proteção ao meio ambiente. O conceito de alfabetização científica (Chassot, 2018) em união ao conceito de sujeito ecológico (Carvalho, 2012), englobam o protagonismo da educação ambiental na formação de uma sociedade consciente ambientalmente. No contexto da redução do risco de desastres, a educação ambiental pode desempenhar um

papel crucial na construção da resiliência e na redução do impacto dos desastres ambientais. Ademais, cabe ressaltar que a incorporação da segurança à vida nesse contexto confere uma dimensão adicional à importância desta abordagem educacional, potencializando seus efeitos benéficos na preservação do meio ambiente e na proteção da vida humana.

A educação ambiental pode ajudar a fomentar uma cultura de prevenção e preparação diante de desastres ambientais. Por meio de programas de educação, os cidadãos podem aprender sobre os riscos e vulnerabilidades de seu ambiente local e obter o conhecimento e as habilidades necessárias para agir para proteger a si mesmos e suas comunidades. A educação ambiental também pode promover práticas e comportamentos sustentáveis, que podem ajudar a reduzir o risco de desastres ambientais e mitigar seus impactos. Assim como é uma oportunidade valiosa de preparar crianças para lidar com adversidades de maneira mais eficaz, desenvolvendo habilidades que podem ser fundamentais ao longo de suas vidas.

Um estudo de Park *et al.* (2019) examina o papel da educação ambiental na redução do risco de desastres na Coreia do Sul. O estudo destaca a importância dos programas de educação na conscientização sobre os riscos e vulnerabilidades ambientais e na promoção de comportamentos sustentáveis que podem ajudar a reduzir o risco de desastres. Os autores argumentam que a educação ambiental pode desempenhar um papel fundamental na construção da resiliência e na redução do impacto dos desastres.

Outro estudo, de Shah *et al.* (2020), explora a eficácia da educação ambiental na construção de resiliência a inundações no Paquistão. O estudo mostra que os programas de educação podem melhorar o conhecimento e a conscientização sobre os riscos ambientais e promover práticas sustentáveis que podem ajudar a reduzir o risco de inundações. Os autores argumentam que os programas de educação podem desempenhar um papel crucial na construção da resiliência e na redução do impacto dos desastres ambientais.

Ou seja, a educação ambiental é uma ferramenta fundamental para promover o desenvolvimento sustentável, aumentar a conscientização sobre os riscos ambientais e criar resiliência aos desastres ambientais. Os municípios devem desenvolver programas de educação especificamente concebidos para abordar os riscos e vulnerabilidades ambientais de seu ambiente local e promover práticas e comportamentos sustentáveis. Por meio desses programas, os cidadãos podem obter o conhecimento e as habilidades necessárias para agir para proteger a si mesmos e suas comunidades de desastres ambientais.

Um exemplo prático é que as crianças saibam como se comportar em caso de inundação, pois pode ser uma situação de risco de vida. A seguir estão as ações recomendadas que as crianças devem tomar se estiverem em uma casa que está sendo inundada devido a um desastre natural:

- Fique calmo e ouça as instruções: É importante que as crianças fiquem calmas e ouçam as instruções dadas pelos adultos, especialmente pelos pais ou socorristas.

- Vá para um terreno mais alto: Se a água da enchente estiver subindo rapidamente, as crianças devem se mudar para um terreno mais alto imediatamente. Eles devem tentar ir para os andares superiores da casa ou subir no telhado, se possível.

- Evite aparelhos elétricos: As crianças devem evitar o uso de aparelhos elétricos, incluindo luzes, pois a água pode conduzir eletricidade e causar eletrocussão.

- Evite enchentes: As crianças devem evitar andar ou brincar em enchentes, pois podem conter bactérias nocivas e outros poluentes.

- Peça ajuda: Se as crianças não conseguirem se mover para um terreno mais alto ou ficarem presas, elas devem pedir ajuda imediatamente. Eles devem tentar ligar para os serviços de emergência ou para um adulto de confiança que possa ajudá-los.

No entanto, esses temas não deveriam ser tratados somente durante os eventos adversos, existe a necessidade de um treinamento sistemático e contínuo. A instrução eventual pode não ser suficiente

para garantir que as crianças estejam realmente preparadas para lidar com emergências. Incorporar a educação para situações de emergência no currículo escolar e fornecer treinamento regular pode ajudar a garantir que as crianças estejam mais familiarizadas e confiantes em suas ações durante momentos críticos.

É uma vantagem uma criança já estar familiarizada com essas ações, pois ela possui confiança na execução dessas instruções é fundamental, porque crianças instruídas para situações de emergência têm maior probabilidade de responder de maneira mais eficiente e segura quando confrontadas com tais circunstâncias. E isso só pode ser alcançado por meio de simulações práticas e discussões regulares sobre segurança. A familiaridade não deve ser um conceito vago, mas sim uma prática incorporada na rotina educacional. Além de contribuir para uma cultura de prevenção e segurança em toda a sociedade.

Essas ações estão alinhadas com vários Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, incluindo Objetivo 3: Boa Saúde e Bem-estar, Objetivo 6: Água Potável e Saneamento e Objetivo 11: Cidades e Comunidades Sustentáveis. Ao ensinar as crianças a se comportar durante uma enchente, podemos ajudar a promover sua segurança e bem-estar, além de contribuir para a resiliência geral das comunidades a desastres naturais.

A pesquisa de Sharif *et al.* (2020) destaca a importância da preparação e educação da comunidade para mitigar os impactos das inundações. Os autores sugerem que educar as crianças e a comunidade em geral sobre as medidas de preparação para inundações pode ajudar a reduzir o risco de ferimentos ou morte durante as inundações. Além disso, um estudo de Kulatunga *et al.* (2018) enfatiza a necessidade de abordagens baseadas na comunidade para a redução do risco de desastres, que envolvem a participação ativa de crianças e outros membros da comunidade nas atividades de preparação e resposta a desastres.

Projetos como o "*Community-Based Disaster Risk Reduction and Environmental Education*" das Filipinas são uma abordagem baseada na comunidade para a redução do risco de desastres e educação

ambiental, visando aumentar a capacidade das comunidades para reduzir sua vulnerabilidade a desastres ambientais, promovendo educação e conscientização ambiental. O projeto concentra-se em três áreas principais: educação para a redução do risco de desastres, educação ambiental e envolvimento da comunidade. O projeto envolve o trabalho com as comunidades locais para desenvolver materiais educativos e programas de treinamento específicos para os riscos e vulnerabilidades ambientais de sua área.

Na Europa, projetos como o "*Eco-Schools Program*" (Programa Eco-Escolas) visam promover práticas sustentáveis e consciência ambiental nas escolas de toda a Europa. O projeto se concentra em envolver alunos, professores e a comunidade escolar em geral em iniciativas de educação ambiental e sustentabilidade. O programa fornece uma estrutura para as escolas desenvolverem e implementarem seus próprios projetos de sustentabilidade, com foco na redução de resíduos, conservação de energia e promoção do transporte sustentável. Também são incluídas atividades de educação e conscientização sobre os riscos ambientais e a importância da construção de resiliência a desastres ambientais. O projeto tem tido sucesso na promoção da consciência ambiental e práticas de sustentabilidade em escolas de toda a Europa e foi reconhecido como uma boa prática em educação ambiental.

Dentro deste contexto, existem projetos educacionais que visam aproximar a comunidade, em especial escolas públicas, junto à Defesa Civil, para que haja uma integração entre o órgão governamental, os professores e seus estudantes e também com seus familiares, de forma a esclarecer e educar esta comunidade sobre aspectos ambientais importantes e sobre o grau de fragilidade ambiental a que estão expostas frente a eventos extremos.

A exemplo no Brasil, apresenta-se o *Almanaque e Guia Meteorológico* criado pelos alunos do Curso Técnico em Meteorologia do Instituto Federal de Santa Catarina - IFSC - Campus Florianópolis, sendo este parte da avaliação final na Unidade Curricular de Projeto Integrador II da turma de

formandos 2021/2, em parceria com o Marista Escola Social Lúcia Mayvorne, com objetivo de contribuir para o aprendizado significativo nas diversas áreas de conhecimento, como as linguagens, a matemática, as ciências da natureza e as ciências humanas através da meteorologia.

As equipes de trabalho, sob a tutoria do professor da unidade, orientadores do IFSC e tutores do Lúcia, divididos em três temas relacionados à meteorologia: Astronomia, Prevenção e Regionalidade, que perpassam todo o conteúdo do material. O *Almanaque e Guia Meteorológico* foi realizado 100% online devido à pandemia, tendo as três equipes trabalhado simultaneamente.

Dividido em 12 meses, com temática específica para cada mês, o almanaque apresenta definições de variáveis de clima e tempo e astronomia, como se prevenir em situações que podem ocorrer no dia a dia ou em casos excepcionais, curiosidades mitológicas, ditos populares, um glossário de termos regionais e passatempos meteorológicos, trazendo o tema de forma mais lúdica e divertida, de forma a beneficiar a assimilação de conhecimentos, procurando trazer uma relação temporal entre eventos meteorológicos e sociais e a vida cotidiana de cada pessoa.

Dentre as múltiplas temáticas que englobam o almanaque destacam-se os capítulos desenvolvidos pela equipe Prevenção, os quais visam conscientizar a comunidade escolar e seu entorno sobre a importância da cultura da prevenção a desastres hidrometeorológicos, tendo como referência as ocorrências de fenômenos naturais mais comuns na região de Florianópolis-SC.

Todo o material e informações dedicadas à comunidade levou em conta a fundamentação teórica documentada e elencada sobre a temática abordada na elaboração do almanaque, documentos esses adquiridos principalmente por meio de instituições e órgãos competentes, além de centros de pesquisas em universidades. Um exemplo é o livro *'Prevenção de Desastres Naturais: Conceitos Básicos'*, do CEPED-UFSC (Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil) que detalha conceitos já conhecidos e incorpora novos elementos para gerir um novo patamar de

conhecimento na área; a *'Apostila do Curso de Gestão e Prevenção de Riscos as Áreas de Desastres Naturais'*, do Laboratório de Análise Ambiental e Geoespacial - UFPEL, que aborda toda a dinâmica envolvendo fenômenos hidrometeorológicos e suas consequências; o guia *'Saiba Como Agir'*, da SEDEC (Secretaria de Desenvolvimento Econômico) em parceria com o governo do estado e o Ministério do Desenvolvimento Regional e Defesa Civil, que contém recomendações sobre como agir antes, durante e depois de um desastre.



Figura 32. Ilustração do compilado de algumas das páginas, capa e capas mensais idealizadas e confeccionadas pelas equipes do Projeto Integrador II do curso Técnico em Meteorologia. Fonte: IFSC. 2022.

O almanaque também recebeu diversas inspirações em projetos educacionais dentro de escolas, como por exemplo, o manual *“Defesa Civil da Escola”*, elaborado pela própria Defesa Civil para uso e aplicação em escolas do estado de Santa Catarina. Este material é pautado nas diretrizes e bases nacionais (LDB, BNCC e ECA) e internacionais (ONU, EIRD, Marco de Sendai), visando um melhor futuro e preparando os estudantes (cidadãos) para as adversidades. Além disso, baseia-se em outros projetos elaborados para escolas como o CEMADEN educação; a SEESP com seu projeto *‘Programa de conscientização sobre riscos de desastres naturais’*; a CNM com o programa de *‘Conscientização sobre riscos de desastres naturais’*, entre outros, que priorizem a formação de uma rede de escolas e comunidades na prevenção de riscos de desastres e outros projetos realizados dentro das escolas, visando formar alunos (cidadãos) para o enfrentamento de desastres naturais.

Projetos escolares internacionais também fornecem subsídio para o entendimento das ações mitigadoras relativas a desastres naturais, é o caso do *‘First County-wide Prepare Athon! in North Carolina Rallies Community’*, realizado pela FEMA (Agência Federal de Gestão de Emergências). Também foram incluídos guias práticos internacionais voltados à prevenção mediante ocorrência de tempo severo, por exemplo: a ocorrência de tornados. É o caso dos guias *‘Tornado Preparedness Tips for School Administrators’*, o *‘Tornado Safety Information’* e o *‘Severe Weather Toolkit’*, que relatam todo um plano de segurança para os responsáveis dentro de escolas em Oklahoma, no Texas e na Carolina do Norte, Estados Unidos, caso venha a ocorrer uma tempestade ou tornado no local, além de estratégias de fuga, proteção e como agir após um potencial tornado os atingir.

Os tópicos dividem-se ao longo das estações do ano, sempre pautados na literatura científica, com explicações objetivas de suas ocorrências e eventuais consequências. Entre eles: Prevenção contra descargas elétricas; Tempestades de granizo; Seca e estiagem;

Geada e neve; Alagamentos, cheias e ressacas (marés); Nevoeiros; Temporada de tempestades; entre outros.

Todos os tópicos desenvolvidos são extremamente interessantes, porém, um deles se destaca devido a importância de se difundir mais conhecimentos referentes à prevenção de desastres, evidenciando seus maiores riscos frente a ocorrências de tempo severo, algo cada vez mais frequente sobre o estado de SC. É o tópico *“Especial! Dicas de Proteção para Professores e Alunos Durante Período de Aula:”* (figura 32) o qual visa colaborar para que a comunidade torne-se mais consciente de suas necessidades e responsabilidades sociais no tocante a proteção individual e coletiva.

Neste tópico são abordadas técnicas de proteção coletiva a serem executadas pelos tutores/professores durante a ocorrência de tempestades de caráter grave que levem risco a integridade física das pessoas e da edificação onde se encontram, entre elas, administrar de forma hábil o tempo de fuga para um local seguro, como por exemplo, um corredor livre de janelas e portas longe de salas amplas as quais oferecem risco iminente e são consideradas verdadeiras armadilhas, até como posicionar-se de forma *“segura”* próximo a emenda entre o piso e a parede durante a passagem do fenômeno, sendo esse o *“ponto resistente”*.

Segundo reportagem publicada no portal do IFSC em agosto de 2022, o projeto *“Meteorologia do cotidiano à ciência: a meteorologia como ferramenta de aprendizagem no ensino fundamental e médio”*, que está em sua terceira edição, e foi possível a partir de uma parceria estabelecida entre as duas instituições de ensino, o IFSC e a escola Marista Escola Social Lucia Mayvorne. A iniciativa conta com o apoio institucional oferecido pelos editais de Integração da Pesquisa e Extensão ao Ensino (EPE), publicados anualmente pelo do IFSC.

ESPECIAL! DICAS DE PROTEÇÃO PARA PROFESSORES E ALUNOS DURANTE PERÍODO DE AULA:

Muitas vezes uma tempestade grave, como por exemplo um tornado, se forma em poucos/sísimos minutos, restando pouco tempo para tomadas de decisão, daí a necessidade de se existir um plano de ação escolar na iminência de uma tempestade atingir o local. Pensando nisso, agrupamos algumas dicas básicas, mas fundamentais, disponibilizadas por guias educacionais elaborados pelos Norte Americanos, população acostumada a enfrentar situações de eventos extremos como tornados e outras tempestades graves.

- **CADA SEGUNDO CONTA!** Se levar mais de 2 ou 3 minutos para mover todas as pessoas do andar superior para baixo, as coisas ficam realmente arriscadas! O plano deve ser manter todas as pessoas em um local seguro em um ou dois minutos após o primeiro sinal de alerta. Esse é o objetivo final. Agora, como você define um "lugar seguro"? Não há "lugar seguro" garantido durante um tornado; mas...

- **DESTROÇOS VOANDO!** São o maior perigo durante tornados. É por isso que é necessário colocar tantas paredes quanto possível entre você e o tornado. Existem corredores, ou quartos internos no segundo andar que NÃO estejam expostos ao exterior através de janelas, portas ou paredes de vidro? Do contrário, esse local pode se transformar em uma armadilha mortal de vidro quebrado voando. Se houver lugares fechados suficientes no segundo andar, sem exposição direta ao exterior, talvez você possa economizar o tempo necessário para mover as pessoas para um andar. Mas mesmo assim... Ginásios, refeitórios e auditórios não oferecem proteção significativa contra ventos com força de tornado. Além disso, mesmo que não haja tornado, tempestades severas podem gerar ventos fortes o suficiente para causar grandes danos. Lanches ou reuniões em grandes salas devem ser adiados se o tempo severo estiver se aproximando.

- MOMENTO DA PASSAGEM DA TEMPESTADE OU TORNADO!

Aqui vai uma **super dica**, talvez a mais importante de todas, para os alunos e funcionários da escola, na eventualidade de uma tempestade forte ou tornado estar efetivamente atingindo a escola: Professor! Após ter encaminhado todos os alunos ao local designado como "seguro" de maneira calma, ordeira e firme. Todos então devem se agachar sobre os joelhos virados para o canto, próximo a emenda entre a parede e chão, ou sob as classes/carterias/mesas, com o rosto para baixo próximo ao chão, protegendo a nuca com os braços. Fique longe de janelas, portas e grandes salas abertas, como por exemplo: ginásios, refeitórios e auditórios.



Alunos da Escola Primária Oakley em Asheville, Carolina do Norte, participando da simulação de tornado. Fonte: FEMA.DOV

- **APÓS A PASSAGEM DO FENÔMENO:** Mantenha os alunos reunidos de maneira ordeira, em uma área segura, longe de vidros quebrados e outros detritos pontiagudos, e longe de linhas de força, poças contendo linhas de força e áreas de acesso para emergência. Enquanto espera a chegada do pessoal de emergência, preste atenção aos feridos. Mantenha todos longe de partes danificadas da escola; pedaços de entulho ou mesmo toda a seção do edifício podem cair. Certifique-se de que ninguém esteja usando fósforos ou isqueiros, em caso de vazamento de gás nas proximidades. É muito importante que professores, diretores e outras figuras de autoridade adultas deem um exemplo de calma para os alunos na cena do desastre e tranquilizem aqueles que estão abalados.

Figura 33. Demonstrativo do tópico especial dentro da seção prevenção dedicada a escolas. Fonte: IFSC. 2022.

A ideia é que os conteúdos desenvolvidos através de projetos educativos, como por exemplo o Almanaque e Guia Meteorológico, sejam plenamente apreciados pela comunidade escolar e seus familiares, por sua riqueza de detalhes e empenho para confeccioná-lo, e que esse material educativo não apenas auxilie na ampliação de conhecimento sobre os temas abordados, mas que também sirva de inspiração para as crianças, aumentando seu interesse pelas Ciências Exatas e da Terra. Segundo Chassot (2018), é preciso formar cidadãos conscientes do mundo em que vivem. Dado que somos parte integrante da natureza, estamos suscetíveis aos fenômenos que nela ocorrem. Desta forma, compreender os fenômenos que podem ocorrer e como proceder, pode salvar vidas.

Faz-se necessário ressaltar, também, a importância da preparação da população por parte do poder público, o que deve acontecer com muitas horas de antecedência à passagem de

fenômenos previsíveis. Governos estaduais, em parceria com órgãos competentes, entre eles, Defesa Civil, devem emitir avisos ostensivos aos municípios em perigo potencial os alertando para a necessidade de interrupção das atividades não essenciais por parte dos gestores nas áreas em sobreaviso, para que a população permanecesse abrigada, na medida do possível, durante o período previsto para a passagem do evento monitorado.

A sugestão para o município de São Lourenço do Sul consiste na incorporação da temática de desastres e eventos extremos, juntamente com a educação ambiental, no currículo de todas as séries das escolas municipais. Além disso, propõe-se que a prefeitura promova ativamente a criação de uma Defesa Civil Mirim, envolvendo os estudantes de forma a fazê-los sentir-se parte integrante dessa instituição. Essa iniciativa não apenas atuaria como um veículo eficaz para disseminar conhecimento sobre prevenção e preparação para desastres, mas também contribuiria para a criação de uma cultura resiliente em São Lourenço do Sul. Portanto, a participação dos alunos nessa Defesa Civil mirim não apenas fortaleceria os laços com a comunidade, mas também estimularia uma abordagem proativa e preventiva diante de potenciais adversidades.

Referências

- ABRELPE, A. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2018/2019. **São Paulo: Abrelpe**, 2019.
- ABRELPE, A. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2020. **São Paulo: Abrelpe**, 2021.
- ADGER, W. N., et al. (2019). Social-Ecological Resilience to Coastal Disasters. **Science**, 369(6504), 1417-1419.
- AMBOS, S.H. et al. Mudanças climáticas e seus efeitos no Litoral Médio do Rio Grande do Sul. **Revista Eletrônica Científica da UERGS**. v. 3, n. 4 (Número Especial), p. 683-693, 2017. Acesso em:

ago. 2022. Disponível em: <<http://revista.uergs.edu.br/index.php/revuergs/article/view/1076>>.

AO, T. et al. Estimating the vulnerability of the deep aquifer to contamination in the eastern part of the Sichuan Basin, China. **Environmental Earth Sciences**, 78(7), 1-14, 2019. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8306-z>

ASIAN DISASTER REDUCTION CENTER. Sendai framework for disaster risk reduction 2015–2030. **United Nations Office for Disaster Risk Reduction**: Geneva, Switzerland, 2015.

ASLAM, M.; AFZAL, M.; NIAZI, N. K. Groundwater vulnerability assessment using GIS and GOD models: A case study of a peri-urban area of Lahore, Pakistan. **Journal of Water and Health**, v. 18, n. 4, p. 573-586, 2020.

Araújo, M. S., et al. Assessing the resilience of small-scale farmers to extreme rainfall events in the Brazilian Amazon. **Sustainability**, v. 13, n.5, p.27-51, 2021.

Araújo, M. S. **Análise Hierárquica através de SIG para reservatórios de detenção e retenção como medida mitigadora para cheias, estudo de caso: São Lourenço do Sul-RS.** Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Graduação em Engenharia Hidrica. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2018. Disponível em: <https://pergamum.ufpel.edu.br/pergamumweb/vinculos/0000ac/0000ac38.pdf>

ATIKU, Ibraheem B. et al. Assessment of groundwater vulnerability using the modified DRASTIC model: case of the Yola area, northeast Nigeria. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 12, n. 22, p. 691, 2019.

Barros, B., et al. O papel do governo local na gestão de riscos e respostas a desastres: um estudo de caso sobre a emissão de decretos de emergência em municípios brasileiros. **Revista Brasileira de Gestão de Riscos**, v. 2, n.1 p. 25-39, 2021 .

BARIČEVIĆ, Ante et al. Groundwater vulnerability assessment in karst area using modified GOD method. **Journal of environmental management**, v. 251, p. 10-21, 2019.

BEHNCKE, F. M.; CALHEIROS, D. F.; SCHIMDT, M. A. de F.; LEITE, M. R.; ELER, M. N. Análise dos eventos extremos ocorridos em São Lourenço do Sul, RS. In.: **Anais do VII Simpósio de Recursos Hídricos do Sul, 2018**. Disponível em: https://www.furg.br/extensao/srh/srh2018/pdfs/srh_23.pdf.

Acesso em: 16 mar. 2023.

BENNETT, N. J., et al. (2020). Building a more constructive relationship between practitioners and academics in conservation and environmental management. **Journal of Environmental Management**, 266, 110604.

BISSACOT, Thaiza Clemente Couto; OLIVEIRA, Sílvia Maria Alves Correa. Instrumento para o gerenciamento de riscos ambientais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S.L.], v. 21, n. 2, p. 227-232, 20 jun. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522016140442>.

BRASIL. MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. Departamento de Minimização de Desastres. **Módulo de formação: elaboração de plano de contingência: livro base** / Ministério da Integração Nacional, Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil, Departamento de Minimização de Desastres. - Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2017.

BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 15 de nov. de 2023.

BRASIL. Lei nº. 11.445, de 05 de janeiro de 2007. **Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências**. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm. Acesso em: 10 de nov. de 2023.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de**

fevereiro de 1998; e dá outras providências. [S.l.], 2 ago. 2010. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 6 nov. 2023.

BRASIL, M. das C. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento–SNIS. **Diagnóstico dos Serviços Água e Esgotos**, 2020.

BRASIL. **Ministério da integração nacional secretaria de defesa civil manual de planejamento em defesa civil volume I.** [s.l.: s.n., s.d.]. Disponível em: <<https://www.defesacivil.rs.gov.br/upload/arquivos/201511/04145531-11-manual-de-planejamento-em-defesa-civil-volume-1.pdf>>.

CARDELLINI, E., Colletini, C., Cevenini, F., Fanucci, F., & Martinelli, G. Assessment of groundwater vulnerability in the Po valley (Italy): a comparison of different methods. **Hydrogeology Journal**, 27(1), 31-46, 2019. <https://doi.org/10.1007/s10040-018-1869-7>

CARMO, MichellyEustáquia do; GUIZARDI, FranciniLube. O conceito de vulnerabilidade e seus sentidos para as políticas públicas de saúde e assistência social. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 34, p. e00101417, 2018.

CARVALHO, I. C. M. **Educação ambiental: a formação do sujeito ecológico.** 6. ed. São Paulo: Cortez, 2012.

CASTRO, A.S. et al. The analysis of green roof's runoff volumes and its water quality in an experimental study in Porto Alegre, Southern Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**. v. 27, p. 9520–9534, 2020. Disponível em: <<https://link-springer-com.ez66.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s11356-019-06777-5>>. Acesso em: mar. 2023.

CHAKRABORTY, S. et al. Human health risks due to emissions of greenhouse gases from landfill sites. **Environmental Science and Pollution Research**, Heidelberg: Springer, v. 26, n. 18, p. 18709-18724, 2019.

CHANGE, Climate. **IPCC fourthassessment report.** 2007.

CHASSOT, A. **Alfabetização científica: questões e desafios para a educação.** 8. ed. Ijuí: Editora Ijuí, 2018.

CINNER, J. E., et al. (2019). Building adaptive capacity to climate change in tropical coastal communities. **Nature Climate Change**, 9(11), 917-927.

CLEMENS, Steven C. The Future of Water: Challenges and Opportunities. **Environmental Health Perspectives**, v. 123, n. 6, p. A138-A143, 2015.

Chiang, C-Y., Huang, Y-C., & Hsu, S-H. (2018). Intergovernmental coordination for emergency management: A case study of Taiwan's Typhoon Morakot. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, 31, 777-785. doi: 10.1016/j.ijdr.2018.06.001

COBO, Valter José et al. **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. Rio de Janeiro: Interciência, 2010.

COMPANHIA RIOGRANDENSE DE SANEAMENTO (CORSAN). São Lourenço do Sul. Disponível em: <https://www.corsan.com.br/atendimento/cidades/Paginas/Sao-Lourenco-do-Sul.aspx>. Acesso em: 28 de abril de 2023.

Costa, M. R., et al. (2020). Assessment of the health impact of inadequate access to water and sanitation facilities in the northeast of Brazil. **Journal of Water and Health**, 18(3), 347-361.

COUMOU, D. et al. Changes in weather extremes and their impacts on the natural physical environment. **The Science of the Total Environment**, Amsterdam: Elsevier, v. 613-614, p. 409-415, 2018.

COUMOU, D.; RAHMSTORF, S. A decade of weather extremes. **Nature Climate Change**, v. 2, n. 7, p. 491-496, 2012. <https://doi.org/10.1038/nclimate1452>.

Coutinho, G. C.B. **O Impacto Causado pelo Furacão Katrina na Atividade Turística do Bairro Francês**, Nova Orleans – EUA. 2007. Disponível: https://bdm.unb.br/bitstream/10483/190/1/2007_GuilhermeCasteloBrancoCoutinho.pdf. Acessado: Maio 2021

CUTHBERT, M. O., Gleeson, T., Moosdorf, N., Befus, K. M., Schneider, A., Hartmann, J., ... Villholth, K. G. Groundwater: the processes and global significance of aquifer degradation. **Hydrogeology Journal**, 27(1), 1-30, 2019. <https://doi.org/10.1007/s10040-018-1886-6>

CUTTER, Susan L.; BORUFF, Bryan J.; SHIRLEY, W. Lynn. Social vulnerability to environmental hazards. **Social science quarterly**, v. 84, n. 2, p. 242-261, 2003.

Cutter, S. L., et al. (2019). The Landscape of Disaster Resilience Indicators in the USA. **Natural Hazards**, 97(2), 397-415.

Cutter, S. L., Ash, K. D., & Emrich, C. T. (2018). The geographies of community disaster resilience. **Global environmental change**, 29, 65-77.

D'ODORICO, Paolo et al. Water scarcity and droughts: a critical review of the literature. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 22, n. 4, p. 2407-2418, 2018.

DAI, S., & ZHONG, L. Spatial analysis of groundwater quality and its relationship with land use in an arid region. **Science of The Total Environment**, 616-617, 900-910, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.166>.

DALLAGNOL, A. L. B. ; NAZARI, M. T. ; FARIAS, J. P. ; PEREIRA, M. F. ; ANDREAZZA, R. ; LEANDRO, D. ; LEANDRO, D. Diagnóstico E Proposta De Recuperação De Área Degradada Do Município De São Lourenço Do Sul/RS.. In: **IX Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental, XV ENEEAmb e III Fórum Latino Americano de Engenharia e Sustentabilidade, 2017, Belo Horizonte. IX Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental, XV ENEEAmb e III Fórum Latino Americano de Engenharia e Sustentabilidade, 2017**. Disponível: <https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/diagnostico-e-proposta-de-recuperao-de-rea-degradada-do-municipio-de-so-lourenco-do-sulrs-26702>

DEBORTOLI, Nathan; CAMARINHA, Pedro Ivo M.; MARENCO, José A; RODRIGUES, Regina R. An index of Brazil's vulnerability to expected increases in natural flash flooding and landslide disasters in the context of climate change. **Natural Hazards**, v. 86, n. 2, p. 557–582, 2017. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11069-016-2705-2>>. Acesso em: 11 out. 2023.

DE WAELE, J. et al. Assessing groundwater vulnerability: a literature review and a proposed methodology. **Environmental Impact Assessment Review**, [s. l.], v. 25, n. 7, p. 676-683, out. 2005.

Acesso em: mar. 2023. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0195925504000881>>.

DEFESA CIVIL RS. **Diário Oficial do Estado publica homologação da Situação de Emergência de quatro municípios gaúchos.** Disponível em: <https://www.defesacivil.rs.gov.br/quatro-municipios-gauchos-recebem-homologacao-do-estado>. Acesso em 27 de março de 2021.

DEFESA CIVIL RS. **Temporal de Granizo Muda a Paisagem de Arroio do Padre.** Acesso em: mar. 2021. Disponível em: <https://www.defesacivil.rs.gov.br/temporal-de-granizo-muda-a-paisagem-de-arroio-do-padre>.

DEFESA CIVIL RS. **Elaboração de Plano de Contingência.** Disponível em: <https://www.defesacivil.rs.gov.br/upload/arquivos/201710/05172056-02-plano-de-contingencia.pdf>

DIÁRIO GAÚCHO. **Temporal Causa Estrago Também Em Arroio Do Padre.** Disponível em: <http://diariogaicho.clicrbs.com.br/rs/noticia/2010/11/temporal-causa-estracos-tambem-em-arroio-do-padre-3110606.html>. Acesso em: mar. 2021.

DORS, Gisanara. **Delimitação dos índices de fragilidade ambiental do Município de São Lourenço do Sul - RS.** 2016. 93f. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas

EBERHARDT, Fábio. **São Lourenço do Sul registra prejuízo de R\$ 18 milhões com chuva de granizo, diz Emater.** G1, [s. l.], 1 mar. 2018. Disponível em: <https://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/sao-lourenco-do-sul-registra-prejuizo-de-r-18-milhoes-com-chuva-de-granizo-diz-emater.ghtml>. Acesso em: 14 ago. 2023.

EERKES-MEDRANO, D., THOMPSON, R. C., & ALDRIDGE, D. C. Emerging threats to groundwater resources from microplastics. **Current Opinion in Environmental Science & Health**, 18, 1-7, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2021.08.005>

EMBRAPA CLIMA TEMPERADO. **Mudanças climáticas e eventos extremos no Sul do Brasil.** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2019.

EXAURIMENTO. *In*: DICIO, **Dicionário Online de Português**. Porte: 7Graus, 2023. Disponível em: <<https://www.dicio.com.br/exaurimento/>>. Acesso em: maio/2023.

FEITOZA, J.M.A. **Drenagem Urbana: uma proposta de drenagem da Lagoa Olho D'água, uma possível solução para os problemas de alagamento em seu entorno. Estudo de caso das precipitações pluviométricas no bairro de Piedade - Jaboatão dos Guararapes**. 2022. <https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/24206/1/Artigo%20drenagem%20urbana.estudo%20de%20caso.pdf>
Fekete, A., & Hagenlocher, M. (2020). Socio-ecological resilience in disasters: A review of recent theoretical developments and implications for practical implementation. **Progress in Disaster Science**, 7, 100088.

FERREIRA, L.R. et al. Environmental diagnosis and land use planning after the 2017 wildfire in Pedrógão Grande, Portugal. **Environmental Science & Policy**, v. 89, p. 146-153, 2018.

FLACH, C.W. **Zoneamento de suscetibilidade a movimentos de massa em Arroio do Padre/RS**. 2017. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pelotas.

Foguesatto, C.R., Machado, J.A.D. What shapes farmers' perception of climate change? A case study of southern Brazil. **Environ Dev Sustain** 23, 1525–1538 (2021). <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00634-z>

FOSTER, S. **Groundwater vulnerability mapping: A brief overview**. In *Assessing and managing groundwater in different environments* (pp. 211-229), 2006. Springer, Dordrecht.

FOSTER, S.S.D., CHILTON, P.J. Groundwater: the processes and global significance of aquifer degradation. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 358(1440), 1957-1972, 2003.

FOSTER, S., et al. **Proteção da Qualidade da Água Subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais**. Edição brasileira: SERVIMAR – Serviços Técnicos Ambientais Ltda. São Paulo, 2006.

FOSTER, S.S.D. **Groundwater recharge and pollution vulnerability**. Paris: UNESCO, 1998.

FOSTER, S.S.D.; HIRATA, R. (eds.). **Groundwater quality protection: a guide for water utilities, municipalities, and regulators**. Washington: World Bank, 2002.

FREITAS, C.M. et al. Desastres Naturais e Saúde. Uma análise da situação do Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**. Acesso em: mai. 2021. disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/csc/v19n9/1413-8123-csc-19-09-3645.pdf>.

FREITAS, Carlos Machado de et al. Desastres naturais e saúde: uma análise da situação do Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 19, p. 3645-3656, 2014.

FREITAS JÚNIOR, A. L.; NUNES, A. B. Investigação do ambiente atmosférico durante chuva histórica ocorrida em São Lourenço do Sul-RS. **Conjecturas**, v. 22, n. 15, p. 547-570, 2022.

FURG - UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE . **Dia do Cooperativismo: Parceria entre FURG SLS e Associação de Recicladores fortalece atuação de catadores**. [S. l.], 1 jul. 2022. Disponível em: <https://www.furg.br/noticias/noticias-institucional/dia-do-cooperativismo-parceria-entre-furg-sls-e-associao-de-recicladores-fortalece-atuacao-de-catadores>. Acesso em: 8 nov. 2023.

GAIRE, A.P.; CHAUDHARY, P.; SHAKYA, N.M. Groundwater vulnerability assessment using GIS-based DRASTIC method in the Lumbini area of Nepal. **Environmental Earth Sciences**, 80(7), 1-23, 2021. <https://doi.org/10.1007/s12665-021-09427-7>.

GONZALEZ, F.C.G. **Projeto de Drenagem Sustentável para Mitigação de Cheias na Bacia do Rio Quitandinha em Petrópolis RJ**. 2014. Disponível em: <https://drhima.poli.ufrj.br/images/documentos/tcc/2014/fernanda-cristina-goncalves-2014.pdf>

GONÇALVES, P. L.; PELIZZOLI, L. H.; SILVA, V. R. Impactos de eventos extremos na cidade de São Lourenço do Sul, RS. **In.: Anais do X Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 2019**. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/xcbga/papers/870.pdf>. Acesso em: 16 mar. 2023.

GOH, Swee Guan; HENG, Michael S. H. GIS and data analytics for emergency response management. **International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment**, v. 10, n. 5, p. 497-511, 2019.

GOULDEN, S. et al. From conventional drainage to sustainable stormwater management: Beyond the technical challenges. **Journal of environmental management**, v. 219, p. 37-45, 2018.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL SECRETARIA DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E DESENVOLVIMENTO RURAL. **Relatório nº N o 05/2022, de 4 de abril de 2022**. RELATÓRIO ESTIAGEM. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://www.agricultura.rs.gov.br/upload/arquivos/202204/04103728-relatorio-estiagem-05.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2023.

GUEDDARI, M. et al. Groundwater vulnerability assessment using the DRASTIC method in the Mnasra (Morocco) and Bou-Areg (Algeria) transboundary aquifers. **Environmental Earth Sciences**, v. 73, n. 2, p. 599-611, 2015.

GUTERRES, DIOVANA DA SILVA ; LEANDRO, D. ; LAZAROTTO, MARÍLIA ; CRUZ, ROSEANE BORBA DOS SANTOS ; COSTA, MAIARA MORAES ; SILVA, LARISSA ALDRIGHI DA ; CASTRO, Andréa Souza . Gestão de riscos voltada aos desastres naturais em áreas rurais no Rio Grande do Sul. **Revista Ibero-americana de Ciências Ambientais**, v. 13, p. 32-50, 2022.

G1. **Enchente destrói lavouras de arroz, fumo, milho e soja no Sul do Brasil**. G1, [S. l.], p. 1-2, 14 mar. 2011. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/agronegocios/noticia/2011/03/enchente-destroi-lavouras-de-arroz-fumo-milho-e-soja-no-sul-do-brasil.html>. Acesso em: 13 ago. 2023.

HALLEGATTE, Stephane; RENTSCHLER, Jun; ROZENBERG, Julie. **Adaptation principles: a guide for designing strategies for climate change adaptation and resilience**. The World Bank, 190p. 2020.

HAMIDI, A. R. et al. Flood vulnerability assessment using MOVE framework: A case study of the northern part of district Peshawar, Pakistan. **Natural Hazards**, v. 101, p. 385-408, 2020.

HU, Q. et al. Multi-scale spatiotemporal monitoring of natural disasters and their impacts on urbanization using remote sensing and GIS: A review. **Remote Sensing of Environment**, v. 252, p. 112165, 2021.

HUANG, J.; YAO, X.; XU, G. Groundwater vulnerability assessment in a karst area using the GOD method combined with GIS and remote sensing. **Environmental Earth Sciences**, v. 77, n. 7, p. 1-16, 2018.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Brasileiro de 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

IBGE- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Arroio do Padre**. Acesso em 22 de março de 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/arroio-do-padre/panorama>.

IBGE. Panorama de São Lourenço do Sul. 2023. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/sao-lourenco-do-sul/panorama>. Acesso em: mar. 2023.

IDENTIFICAÇÃO DOS RISCOS - **É preciso registrar corretamente as inundações graduais e bruscas para construir a verdadeira história e evitar futuras tragédias**. Disponível: http://www.labhidro.ufsc.br/Artigos/Ed25_Arti...pdf acessado: mai. 2021

IFSC. **Projeto usa a Meteorologia como ferramenta de aprendizagem no Ensino Fundamental e Médio**. Instituto Federal de Santa Catarina. Disponível em: https://www.ifsc.edu.br/web/noticias/w/projeto-usa-a-meteorologia-como-ferramenta-de-aprendizagem-no-ensino-fundamental-e-medio?p_1_back_url=%2Fsearch%3Fq%3Dmeteorologia. Acesso em: ago. 2022.

IPCC. **Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation**: Special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2012. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/managing-the-risks-of-extreme-events-and-disasters-to-advance-climate-change-adaptation/>. Acesso em: mar. 2023.

IPCC. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report

of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2021. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>. Acesso em: mar. 2023.

IPCC, 2022: **Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change**. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926. Acesso em: abr. 2023. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/about/how-to-cite-this-report/>>.

IRGA. **Normais Climatológicas**. Instituto Riograndense do Arroz. Acesso em: out. 2022. Disponível em: <<https://irga.rs.gov.br/medias-climatologicas>>

ITO, Kazumasa et al. Depositional environments and groundwater flow characteristics of a multilayered aquifer system in the Pampa del Tamarugal Basin, Atacama Desert, Chile. **Hydrogeology Journal**, v. 28, n. 2, p. 663-679, 2020.

JANCZURA, Rosane. **Risco ou vulnerabilidade social?**. Textos & Contextos (Porto Alegre), v. 11, n. 2, p. 301-308, 2012.

Jawitz, J. W., & Abers, R. N. Managing groundwater in agricultural settings: Perspectives on trade-offs and groundwater-surface water interactions. **Journal of Environmental Quality**, 39(1), 92-102, 2010.

KATZ, B. G., Greenhalgh, R., Griffin, D. W., & Alcalá, F. J. Assessing the vulnerability of groundwater to contamination: introducing the EPIK method. **Journal of Contaminant Hydrology**, 179, 1-21, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2015.03.002>

KOIRALA, R. P.; KARMACHARYA, J.; INOUE, S. A review of disaster risk reduction policies of Nepal and other selected countries. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 33, p. 71-81, 2019.

Kourgialas, N. N., & Karatzas, G. P. (2019). Hydrological susceptibility mapping and risk assessment for natural disasters under climate change conditions: a review. **Water**, 11(10), 2141.

Kousky, C., & Kunreuther, H. (2018). Improving Flood Insurance and Reducing Flood Risk: Insights from Stochastic Modeling and Behavioral Economics. **Journal of Extreme Events**, 5(2), 1850012.

LAL, R. Water Resources Management and Sustainable Agriculture: A Review. **Advances in Agronomy**, v. 129, p. 1-44, 2015.

LEON, O. M. M. ; SILVA, L. A. Da ; COSTA, M. M. ; BOLZAN, L. M. ; LEANDRO, D. . Análise de Gestão de Risco: Adequação do plano de contingência do município de Arroio do Padre ao livro base para elaboração de plano de contingência. In: **XXII Mostra de Iniciação Científica, Pós-Graduação, Pesquisa e Extensão, 2022**, Caxias do Sul, v.22. 2022.

Li, Y., & Li, Y. (2021). Risk management of natural disasters: a review. **Natural Hazards**, 106(3), 1377-1393.

Lima, T. A., Almeida, R. L., & Oliveira-Júnior, J. F. (2021). Environmental fragility as a tool for risk management in natural disasters: a case study in Brazilian Amazonia. **Environmental Monitoring and Assessment**, 193(5), 296.

Liu, Z., Lu, Q., & Huang, S. (2019). Risk management of natural disasters in China: A review. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, 38, 101198.

LIU, C.; LI, X.; ZHAO, B. Groundwater vulnerability assessment of the Kaili region using the GOD model. **Environmental Earth Sciences**, v. 71, n. 4, p. 1831-1844, 2014.

LOGGIA, G. L.; PULEO, V.; FRENI, G. Floodability: A new paradigm for designing urban drainage and achieving sustainable urban growth. **Water Resources Management**, v. 34, p. 3411-3424, 2020.

LOUREIRO, C. et al. Groundwater vulnerability and risk mapping using modified DRASTIC models in a peri-urban karstic aquifer (Portugal). **Environmental earth sciences**, v. 68, n. 6, p. 1673-1684, 2013.

LOURENCIANO. Jornal o Lourenciano. In: **Associação dos Catadores Materiais Recicláveis (ASSER) Recebe investimentos do Projeto Reciclar Pelo Brasil**. [S. l.], 16 out. 2019. Disponível em:

<https://jornalolourenciano.com.br/cidade/item/9221-associacao-dos-catadores-materiais-reciclaeis-asser-recebe-investimentos-do-projeto-reciclar-pelo-brasil>. Acesso em: 13 nov. 2023.

LOVELESS, T. E., Scanlon, B. R., Reedy, R. C., & Reedy, T. Groundwater use and management: implications for the water-energy-food nexus. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, 48, 71-78, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2021.06.001>.

LU, X.; ZHAO, Y.; FU, Q. Groundwater vulnerability assessment in a coal-mining area using GOD and DRASTIC methods. **Environmental Earth Sciences**, v. 80, n. 3, p. 1-18, 2021.

MABROUK, Besma et al. Groundwater vulnerability assessment using drastic method and GIS mapping: a case study of the Kairouan plain (central Tunisia). **Arabian Journal of Geosciences**, v. 8, n. 1, p. 305-320, 2015.

MAITRA, S. Financiamento de cidades resilientes: lições da Índia. A. 9. ed. 73. 2012. Acesso em: abr. 2021. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com_content&view=article&id=2797:catid=28&Itemid=23>

Marques, E., Pinheiro, M., & Santos, R. (2019). Hydrological susceptibility mapping: a crucial tool for risk management of natural disasters. **Journal of Environmental Management**, 231, 1097-1109.

MAZZALI, Leonel F.; BOIN, Arjen. **Planos de contingência para emergências. Revista de Administração Pública**, v. 51, n. 4, p. 542-551, 2017.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. **Índice de Desenvolvimento da Educação Básica (Ideb)**. Disponível em: <https://www.gov.br/inep/pt-br/areas-de-atuacao/pesquisas-estatisticas-e-indicadores/ideb>. Acesso em: 14 de agosto de 2023.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Plano De Contingência**, 2022, DISPONÍVEL EM: <https://www.gov.br/saude/pt-br/composicao/svsa/resposta-a-emergencias/planos-de-contingencia>

MOURA, G.A.; GOMES, L.F.A.M. Desastres naturais: conceito, caracterização e formas de intervenção. **Ambiência**, Guarapuava, v.

11, n. 2, p. 305-320, 2015. Disponível em: <http://revistas.unicentro.br/index.php/ambiencia/article/view/3105>. Acesso em: 16 mar. 2023.

MOURA, L. M. et al. Gestão de riscos e adaptação às mudanças climáticas: o caso de São Lourenço do Sul, RS. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 18, n. 3, p. 214-226, 2014.

OHL, C. A.; TAPSELL, S. Flooding and human health: the dangers posed are not always obvious. **Bmj**, v. 321, n. 7270, p. 1167-1168, 2000.

OLIVEIRA, A. S. Riscos Ambientais em São Lourenço do Sul/RS: um estudo de caso. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 7, n. 2, p. 61-72, 2013.

OLIVEIRA, P.; MADEIRA, C. G. GESTÃO PÚBLICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO MUNICÍPIO DE SÃO LOURENÇO DO SUL-RS. In: **O Congresso Internacional de Gestão**, 2012.

Oliveira, R. S., et al. (2019). Risk management and disaster preparedness in drinking water supply systems: Lessons from Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**, 26(16), 15805-15816. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05134-7>

OPAS/OMS. **Histórico da pandemia de COVID-19 - OPAS/OMS | Organização Pan-Americana da Saúde**. Disponível em: <<https://www.paho.org/pt/covid19/historico-da-pandemia-covid-19#:~:text=Em%2011%20de%20mar%C3%A7o%20de,e%20n%C3%A3o%20%C3%A0%20sua%20gravidade.>>. Acesso em: 9 maio. 2023.

OPAS/OMS. **OMS declara fim da Emergência de Saúde Pública de Importância Internacional referente à COVID-19 - OPAS/OMS | Organização Pan-Americana da Saúde**. Disponível em: <<https://www.paho.org/pt/noticias/5-5-2023-oms-declara-fim-da-emergencia-saude-publica-importancia-internacional-referente>>. Acesso em: 9 maio. 2023.

OUKILI, O. et al. Groundwater vulnerability assessment using DRASTIC method in Oujda City (Morocco). **Journal of African Earth Sciences**, v. 135, p. 209-217, 2017.

PARIZOTO, D.G.V. et al. **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2012 – 2ª edição revisada e ampliada**. Acesso em: mai. 2021.

Disponível em: https://www.cangucu.rs.gov.br/arquivos/atlas_do_rio_grande_do_sul_20014103.pdf.

PARK, J.H.; PARK, S.H.; KIM, K.A. Disaster management and land administration in South Korea: Earthquakes and the real estate market, **Land use policy**, n.85, p. 52–62, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.03.040>>. Acesso em: 10 set. 2023.

PAUTZ, C. et al. Mapping the Environmental Vulnerability of a Lagoon Using Fuzzy Logic and the AHP Method. **Water**, v. 15, n. 11, p. 2102, 2023.

PEDROSO, D. **Bloqueios Atmosféricos e Sistemas Frontais sobre a América do Sul em Cenários de Clima Futuro**. 2014. Dissertação. (Concentração em Meteorologia) Pós-Graduação em Meteorologia. UFSM.

PEREIRA, R.O.M. *et al.* Groundwater quality and environmental management in a semi-arid area: The case of the Guadiana River Basin (Spain). **J. Env. Man.**, 246, 167-175, 2019. DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.05.122.

PEREIRA, R.V. *et al.* Impacts of climate change on drought: changes to drier conditions at the beginning of the crop growing season in southern Brazil. **Agrometeorology**. Bragantia, v. 77, n. 1, p. 201–211, 2017. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/brag/a/YJWkkMVrfYKbgJmbTrBynbL/#>>. Acesso em: 11 out. 2023.

PNUD - PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. **Entenda o cálculo do IDH Municipal (IDH-M) e saiba quais os indicadores usados. Organização das Nações Unidas**. 2003. Disponível em: <http://www.pnud.org.br/atlas/PR/Calculo_IDH.doc>. Acesso em: 14 de agosto de 2023.

PREFEITURA DE ARROIO DO PADRE. Disponível em: <<https://www.arroiodopadre.rs.gov.br/portal>>. Acesso em: mar. 2021.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO LOURENÇO DO SUL. Disponível em: <<https://www.saolourencodosul.rs.gov.br/portal/servicos/1001/historia-da-cidade/>>. Acesso em: ago. 2022.

Plano de Contingência do município de São Lourenço do Sul. 2019.

RAVENSCROFT, P., BRAMMER, H., & RICHARDS, K. **Arsenic Pollution: A Global Synthesis**. Wiley-Blackwell. 2009.

RBSTV. **Emater Calcula Prejuízos Causados por Chuva de Granizo em Arroio do Padre, RS**. Acesso em 27 de março de 2021. Disponível em: <<http://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/2012/08/chuva-de-granizo-causa-prejuizos-nas-lavouras-de-arroio-do-padre-rs.html>>.

REVISTA DE AGRICULTURA URBANA. **Construindo cidades resilientes**. n. 22. jul. 2009. Acesso em: 06 abr. 2021. Disponível em: <https://www.agriculturaurbana.org.br/RAU/RAU_22/rau22_completo.pdf>.

REZAEI, M.; FADAEI, M.; EMAMI, M. Groundwater vulnerability assessment using the GOD method in the Kermanshah plain, western Iran. **Environmental Earth Sciences**, v. 75, n. 3, p. 1-13, 2016.

RIBEIRO, L.S. et al. Impactos ambientais e socioeconômicos de eventos extremos em São Lourenço do Sul/RS. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 29, p. 434-449, 2021. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/rbc/article/view/79903>. Acesso em: 16 mar. 2023.

RITTER, A. et al. Integrated approach to groundwater resource management of transboundary aquifers in Central Europe. **Environmental earth sciences**, v. 71, n. 1, p. 267-281, 2014.

ROSE, J.B.; GLEICK, P.H. The Global Water Crisis: Addressing an Urgent Security Issue. **Water International**, v. 44, n. 4, p. 412-422, 2019.

RUIZ-AQUINO, C.A. et al. Subsidence of the Toluca Valley due to overexploitation of aquifers. **Engineering Geology**, v. 257, p. 105327, 2019.

SAAB, Flavio et al. Políticas públicas e desenvolvimento humano: fatores que impactam o IDH em municípios brasileiros. **RACE-Revista de Administração, Contabilidade e Economia**, v. 20, n. 2, p. 209-230, 2021.

SACCARO JUNIOR, N.L.; COELHO FILHO, O. **Cidades Resilientes e o Ambiente Natural: Ecologia urbana, adaptação e gestão de riscos**. 2016. Disponível em: <<http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/9183/1/Cidades%20resilientes.pdf>>.

Acesso em: 15 de jul. 2021.

SACCARO JUNIOR, N.L; COELHO, F.O. **Cidades Resilientes e o Ambiente Natural**: Ecologia urbana, adaptação e gestão de riscos. Repositório do conhecimento IPA. Acesso em: abr. 2021. Disponível em: <<http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/9183/1/Cidades%20resilientes.pdf>>.

Saito, K., & Villanueva, L. (2021). Social Vulnerability in Urban Disaster Risk Reduction: A Review of the Literature. **Sustainability**, 13(4), 2024.

SALAMONI, G. A imigração alemã no Rio Grande do Sul – o caso da comunidade pomerana de Pelotas. **História em revista**. v. 7, n. 7, 2001.

SALAMONI, G. A imigração alemã no Rio Grande do Sul–o caso da comunidade pomerana de Pelotas. **História em revista**, v. 7, n. 7, 2001.

SALCEDO-SANZ, S. et al. Groundwater vulnerability assessment in the Duero River basin using a composite DRASTIC model. **Science of the Total Environment**, v. 573, p. 1304-1315, 2016.

Salgado, M. S., Galindo, G., & Siqueira, M. A. (2021). The importance of integrating social and environmental vulnerability in rural disaster risk reduction. **Ambiente & Sociedade**, 24, e01404.

SÃO LOURENÇO DO SUL. Lei nº 3.774, de 19 de outubro de 2017. **Aprova o Plano de Gestão integrada de Resíduos Sólidos do Município e dá outras providências**. [S.l.], 19 out. 2017. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a1/rs/s/sao%20lourengo%20do%20sul/lei-ordinaria/2017/377/3774/lei-ordinaria-n-3774-2017-aprova-o-plano-de-gestao-integrada-de-residuos-solidos-do-municipio-e-da-outras-providencias?r=p>. Acesso em: 8 nov. 2023.

SÃO LOURENÇO DO SUL. Lei nº 3.284, de 17 de agosto de 2011. **Cria o Departamento Municipal de Saneamento - DESAN, na esfera da Secretaria Municipal de Obras e Urbanismo e, dá outras providências**. [S. l.], 17 ago. 2011. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a1/rs/s/sao-lourengo-do-sul/lei-ordinaria/2011/329/3284/lei-ordinaria-n-3284-2011-cria-o-departamento-municipal-de-saneamento-desan-na-esfera-da-secretaria>

municipal-de-obras-e-urbanismo-e-da-outras-providencias?r=p.
Acesso em: 1 nov. 2023.

SÃO LOURENÇO DO SUL. Plano Municipal. **Plano Municipal de Saneamento Básico Participativo São Lourenço do Sul – PLAMSABP**, [S. l.], 2014.

SANTOS, C. A. F.; GUIMARÃES, F.J.C. Desastres naturais e vulnerabilidade social: uma análise do cenário brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 9, n. 6, p. 1998-2015, 2016. Acesso em: 16 mar. 2023. Disponível em: <https://www.revista.ufpe.br/rbgfe/article/view/2006>.

SANTOS, J. S. et al. Hidrogeologia do município de São Lourenço do Sul, RS, Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 39, n. 2, p. 269-280, 2009. Disponível em: http://www.sbgeo.org.br/pub_sbg/rbg/vol39_down/3902/3902155.pdf. Acesso em: 9 mar. 2023.

SANTOS, R. A., Pinheiro, P. T., & Fearnside, P. M. (2021). Environmental fragility as a criterion for siting large hydropower dams in the Amazon Basin. **Environmental Science & Policy**, 119, 135-143.

SCOTT, C.A. et al. Do ecosystems insecurity and social vulnerability lead to failure water security?.**Environmental Development**, v. 38, p. 100606, 2021.

SECRETARIA DE GOVERNANÇA E GESTÃO (Rio Grande do Sul). Departamento de Economia e Estatística. Indicadores Municipais: São Lourenço do Sul. **In: São Lourenço do Sul**. [S.l.], 2023. Disponível em: <https://indicadoresmunicipais.dee.rs.gov.br/>. Acesso em: 14 ago. 2023.

SENER, E. et al. Assessment of groundwater vulnerability based on a modified DRASTIC model, GIS and an analytic hierarchy process (AHP) method: the case of Egirdir Lake basin (Isparta, Turkey). **Hydrogeology journal**, v. 13, n. 3, p. 317-330, 2005.

SHAH, A. A. et al. Measuring education sector resilience in the face of flood disasters in Pakistan: an index-based approach. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, p. 44106-44122, 2020.

SHEN, Y.; SUN, Q.; WU, J. Groundwater vulnerability assessment in the coastal area of Laizhou Bay using the GOD method. **Environmental Earth Sciences**, v. 67, n. 7, p. 1895-1905, 2012.

SILVA, A., et al. O papel da coleta de dados históricos para a gestão de riscos e respostas a desastres: uma revisão sistemática da literatura. **Revista Brasileira de Gestão de Riscos**, 3(1), 1-20; 2021.

SILVA, C. A. B., et al. (2021). Effects of floods and droughts on rural drinking water supply systems in Brazil. *Water*, 13(8), 1051. <https://doi.org/10.3390/w13081051>

SILVA, A. O. **Estratégias Para Construir Cidades Resilientes**. 2018. Dissertação (Mestrado em Dinâmicas Sociais, Riscos Naturais e Tecnológicos, na Especialidade Ciência do Risco), Coimbra, Portugal. Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra. 2018. Acesso em: abr. 2021.

SILVA, G.; SILVA, A. V.; SANTOS, I. M. O IDEB e as políticas públicas educacionais: estratégias, efeitos e consequências. **Revista Exitus**, v. 9, n. 1, p. 258-285, 2019.

SILVA, R.C. et al. Hidrogeologia do município de São Lourenço do Sul, RS. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 17., 2012, Gramado. Anais [...]**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 2012. p. 1-12.

SILVEIRA, A. **Cidades do Sul do RS ainda buscam recursos para amenizar perdas com estiagem**. Correio do Povo , [s. l.], 30 jan. 2023. Disponível em: <https://www.correiodopovo.com.br/not%C3%ADcias/cidades/cidades-do-sul-do-rs-ainda-buscam-recursos-para-amenizar-perdas-com-estiagem-1.979668>. Acesso em: 14 ago. 2023.

SINGH, R. et al. Environmental impacts of solid waste landfilling. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, Tokyo: Springer, v. 21, n. 2, p. 423-442, 2019.

SNIS. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento**. Disponível em: <https://www.aguaesaneamento.org.br/municipios-e-saneamento/fontes-notas-tecnicas#snis>

SNIS. **SNIS - Série Histórica**. Disponível em: <http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/>

SOARES, J. H. C. et al. Caracterização de eventos extremos em São Lourenço do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 2, p. 267-276, 2016.

SOBRAL, A. et al. **Desastres naturais – sistemas de informação e vigilância: uma revisão da literatura**. Fiocruz, 2010. Acessado: Jul. 2021. Disponível: <http://www6.ensp.fiocruz.br/repositorio/sites/default/files/arquivos/Desastres.pdf>.

SOBRAL, A. et al. Desastres naturais – sistemas de informação e vigilância: uma revisão da literatura. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**. 2010. Disponível em: <http://scielo.iec.gov.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1679-49742010000400009>. Acesso em: mai. 2021.

SONG, Y. et al. Vulnerability assessment of groundwater quality based on DRASTIC method in the northern suburbs of Tianjin, China. **Environmental Earth Sciences**, 78(4), 1-13, 2019. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8175-6>

Sousa, R. A., et al. (2019). Resilience of small-scale farmers in the Brazilian semi-arid region to drought. **Regional Environmental Change**, 19(2), 383-395.

Souza, C. F., et al. (2021). Participatory planning for disaster risk management in Brazil: experiences and challenges. **Journal of Environmental Management**, 286, 112241.

SPINK, Mary Jane Paris. Viver em áreas de risco: tensões entre gestão de desastres ambientais e os sentidos de risco no cotidiano. **Ciência & Saúde Coletiva**, [S.L.], v. 19, n. 9, p. 3743-3754, set. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1413-81232014199.01182014>.

STEINMAN, M. et al. **Terremoto no Hiti: uma experiência multiprofissional**. 2011. Disponível em: https://www.scielo.br/pdf/eins/v9n1/pt_1679-4508-eins-9-1-0001.pdf. acessado: Maio 2021.

STIGTER, T. Y., RIBEIRO, L., DILL, A. M. M., & CARVALHO DILL, A. M. (2016). Overview of groundwater vulnerability in Brazil. **Environmental Earth Sciences**, 75(6), 1-20.

TAMENE, L. et al. Groundwater vulnerability assessment in the Ethiopian highlands: a case study in the Baso and Wemberma sub-

catchments of the upper Blue Nile basin. **Hydrogeology journal**, v. 25, n. 4, p. 999-1014, 2017.

TASCON-GONZALEZ, L. et al. Social vulnerability assessment for flood risk analysis. **Water**, v. 12, n. 2, p. 558, 2020.

UDDAMERI, V.; MEMON, S. Assessment of land use impacts on groundwater resources using integrated hydrological modeling. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, 10, 13-28, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2017.02.007>

UNITED NATIONS INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION. Hyogo framework for action 2005–2015: Building the resilience of nations and communities to disasters. In: **The World Conference on Disaster Reduction (A/CONF. 206/6)**. Kobe, Japan: The United Nations International Strategy for Disaster Reduction, 2005. p. 1-34.

UNDRR - UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION. **Anual Report 2020**. 2020. Acessado em: Maio 2021. Disponível em: <https://www.undrr.org/publication/undrr-annual-report-2020>.

UNDRR - UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION. **The human cost of disasters: an overview of the last 20 years (2000-2019)**. Centre for Research on The Epidemiology of Disasters (CRED).

UNDRR - UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION. 2020. Acessado em: maio 2021. Disponível em: <https://www.preventionweb.net/files/74124_humancostofdisasters20002019reportu.pdf>.

United Nations Development Programme (UNDP). (2017). **City Resilience Program**. Retrieved from <https://www.undp.org/content/undp/en/home/projects/city-resilience-program.html>

VIANA, D. S. et al. A sustentabilidade da gestão dos recursos hídricos em São Lourenço do Sul (RS). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 11, p. 777-782, 2017. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-43662017001100777&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 28 de abril de 2023.

VIRGILIIS, A.L.C. **Procedimentos de Projeto e Execução de Pavimentos Permeáveis visando retenção e amortecimento de picos de cheias**. 2009. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-08092010-122549/publico/Dissertacao_Afonso_Luis_Correa_de_Virgiliis.pdf

VRBA, J.; ZAPOROZEC, A. Guidebook on mapping groundwater vulnerability. **International Contributions to Hydrogeology**, 16, p. 131-155, 1994.

Wang, Y., Li, X., Li, J., & Zhang, Y. (2018). Integrated assessment of social and environmental vulnerability to natural hazards in China. **Natural Hazards**, 94(1), 185-206.

WANG, Y.; SUN, X.; YANG, J. A groundwater vulnerability assessment based on GOD and a fuzzy comprehensive evaluation method in eastern Lanzhou City. **Environmental Earth Sciences**, v. 76, n. 3, p. 1-16, 2017.

Wals, A. E. J., & Leal Filho, W. (2014). Sustainability in higher education in Europe: The Eco-Schools Program. **Journal of Cleaner Production**, 62, 6-12. doi: 10.1016/j.jclepro.2013.08.013

WMO - WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **WMO Provisional statement on the state of the global climate in 2019**. 2019. Disponível em: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10108. Acessado em: Maio 2021.

WMO - WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **WMO Atlas of mortality and economic losses from weather, climate and water extremes (1970 - 2019)**. 2021. Disponível em: https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=21930#.ZACKhnbMLIU

Wu, W., Huang, Y., & Li, W. (2018). The use of historical information to improve risk prediction and disaster management: A case study in Wuxi, China. **Natural Hazards**, 94(3), 1303-1318. doi: 10.1007/s11069-018-3386-8

Xu, Y., et al. Groundwater vulnerability and pollution risk assessment in the middle reaches of the Heihe River basin using a modified DRASTIC model. **Environmental Earth Sciences**, 73(11), 7473-7483, 2015.

YANG, Saini et al. Screening of social vulnerability to natural hazards in China. **Natural Hazards**, v. 76, p. 1-18, 2015.

YANG, S., CHEN, L., ZHOU, Y., ZHANG, Y., ZHAO, X. Assessment of Green Infrastructure for Flood Control and Water Quality Improvement in Urban Areas. **Journal of Hydrology**, 561, 381-391, 2018.

YANG, M.; ZHANG, Y.; GUO, L. Groundwater vulnerability assessment using modified GOD and DRASTIC models in the east of the Ordos Plateau, China. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, n. 11, p. 12461-12474, 2020.

ZAIDI, R.; WHITTAKER, J.; AHMAD, S. Systemic resilience for disaster risk reduction and climate change adaptation in urban contexts. **Sustainability Science**, 16(4), 1279-1293, 2021.

ZANCHIN, Mayara. **Análise do Potencial de Perda de Solo através de Técnicas de Geoprocessamento no Município de São Lourenço do Sul/RS**. 2017. (71) f. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

ZEB, B., BHUTTO, N. A., LI, Z., AKHTAR, R. (2020). A comprehensive review of urban resilience: Definitions, concepts, and assessment methods. **Sustainable Cities and Society**, 53, 101991.

ZHANG, X.; SUN, Q.; SONG, X. Groundwater vulnerability assessment in the Shenfu mining area using a modified GOD method. **Environmental Earth Sciences**, v. 76, n. 16, p. 1-15, 2017.

ZHANG, Y., HUANG, G., LAI, J.S. Groundwater flow and quality assessment in karst aquifers: A case study of Liuchong River Basin, Southwest China. **Journal of Cleaner Production**, 263, 121570, 2020. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.121570.

ZHANG, R. et al. Spatiotemporal evolution and impact mechanism of ecological vulnerability in the Guangdong–Hong Kong–Macao Greater Bay Area. **Ecological Indicators**, v. 157, p. 111214, 2023.

ZIRBES, E.R. et al. As múltiplas percepções da comunidade acadêmica sobre o desastre de São Lourenço do Sul em março de 2011 e sua correspondência com as mudanças climáticas. **In: 20^a**

Mostra da Produção Universitária, 2021, Rio Grande. Anais [...].
MPU 2021 - Congresso de Iniciação Científica (CIC).

ZIRBES, E.R. Eventos significativos sem decretos de emergência.
In: LEANDRO, Diuliana. **Desastres Naturais em Arambaré-RS.**
Coleção Diagnóstico dos Desastres Naturais na Metade Sul do Rio
Grande Do Sul. Pelotas: LGEA, 2021. v. 1, p. 52-53. Acesso em: fev.
2023. Disponível em: [https://wp.ufpel.edu.br/lgea/files/2021/
04/Livro-DESASTRES-NATURAIS-EM-ARAMBARE-RS-1.pdf](https://wp.ufpel.edu.br/lgea/files/2021/04/Livro-DESASTRES-NATURAIS-EM-ARAMBARE-RS-1.pdf)

Zou, Y., Zhang, C., Chen, Y., & Wang, Y. (2021). A review of risk
management of natural disasters: with a focus on interdisciplinary
research. **Environmental Hazards**, 1-17.

Sobre as autoras eos autores



Andréa Souza Castro - Natural de Pelotas/RS.

Engenheira Agrícola formada pela Universidade Federal de Pelotas (UFPel). Mestrado e Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (IPH/UFRGS). É professora Associada do Centro de Engenharias (CEng) da UFPel e do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCamb-UFPel). Tem experiência na área de Engenharia Ambiental e Sanitária e Ciências Ambientais atuando principalmente nos seguintes temas: drenagem urbana, escoamento superficial, estruturas de controle na fonte, pavimentos permeáveis, telhados verdes e gestão ambiental.

E-mail: andrea.castro@ufpel.edu.br



Carina Sinnott Duarte - Natural de Pelotas/RS

Graduada em Ciências Biológicas pelo IFSul - CaVG. Atua como docente no ensino básico. Atualmente, mestranda no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Pelotas (UFPel).

E-mail: carinasinnott@mail.com



Diovana da Silva Guterres - Natural de Santana da Boa Vista/RS.

Mestranda em Ciências Ambientais pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Pelotas. Graduada em Engenharia Ambiental e Sanitária na Universidade Federal de Pelotas.

E-mail: guterresdiovana@gmail.com



Diuliana Leandro - Natural de Curitiba/PR.

Engenheira Cartógrafa pela UFPR, mestre e doutora em Ciências Geodésicas (UFPR). Professora do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental e do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais. Atua principalmente nos seguintes temas: Posicionamento GPS, Sensoriamento Remoto, monitoramento ambiental, fragilidade

e vulnerabilidade ambiental, desastres naturais, mapeamento ambiental.

E-mail: diuliana.leandro@gmail.com



Everton Rodrigues Zirbes - Natural de Carazinho/RS.

Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCamb) e Geotecnólogo (2022) pelo Centro de Engenharias (CEng) na Universidade Federal de Pelotas (UFPEL). Técnico em Meteorologia (2021) pelo Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC). Bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES). Possui experiência acadêmica na área de Geociências, com ênfase em Geoprocessamento e Geomática, atuando principalmente nos seguintes temas: Sensoriamento Remoto e Análise Espacial; Fotointerpretação e Vetorização para Construção de Mapas Urbanos Básicos; Processamento Digital de Imagens; Aerofotogrametria com Drones; Levantamento Planialtimétrico Cadastral; Aplicação de Sistemas de Informações Georreferenciadas (GIS) em: Meteorologia de Mesoescala; Desastres Naturais; Análise, Monitoramento e Mapeamento Ambiental.

e-mail: thor.zirbes@gmail.com



Gabriel Fragali de Castro
Graduando do curso de Geoprocessamento na Universidade Federal de Pelotas (UFPEL). Bolsista de Iniciação Científica do Laboratório de Drenagem e Águas Residuárias (LabDAR) sob a orientação das professoras Dr^a Andréa Souza Castro e Dr^a Diuliana Leandro.
Email: fragali.castro@gmail.com



Larissa Aldrighi da Silva – Natural de Pelotas/RS.
Engenheira Ambiental e Sanitarista formada pela Universidade Federal de Pelotas em 2021; Pós graduada/especialista pela Universidade Anhanguera em Engenharia de Segurança do Trabalho e mestranda do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (UFPel), atuante em projetos e pesquisas voltadas para as geotecnologias como auxílio de tomada de decisões no laboratório 201 do Centro de Engenharias da UFPel (CEng).
E-mail: larissa.aldrighi@gmail.com



Luana Nunes Centeno - Natural de São Lourenço/RS.

Possui experiência em áreas relacionadas à gestão e conservação de recursos hídricos e ambientais. Pós-doutoranda (2023-2024) em hidrometeorologia, com ênfase em Condições Atmosféricas e anomalias de precipitação em escala subsazonal no Estado do Rio Grande do Sul. Doutoranda em Manejo e Conservação do Solo e da Água (2020-2023), com enfoque na análise do sistema solo-planta-atmosfera. É Doutora em Recursos Hídricos (2020), onde desenvolveu estudos envolvendo ferramentas estatísticas de séries temporais e espaciais. Possui mestrado em Recursos Hídricos (2017), com foco na qualidade da água em bacias hidrográficas, titulações supracitadas adquiridas junto à UFPel. É especialista em Perícia e Auditoria Ambiental, na UNINTER e graduada em Tecnologia em Saneamento Ambiental no IFSul, Campus Pelotas.

E-mail:

luananunescenteno@gmail.com



Maiara Moraes Costa - Natural de Rio Grande/RS. Mestra em Ciências Ambientais na Universidade Federal de Pelotas. Engenheira Ambiental e Sanitarista, formada pela Universidade Federal de Pelotas.

E-mail:

maiaraengambientalesanitaria@gmail.com



Maurizio Silveira Quadro – Natural de Jaguarão/RS.

Graduado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Pelotas (2001), Mestre em Agronomia pela Universidade Federal de Pelotas (2004), na área de concentração de Solos, com ênfase na área de Descarte de Resíduos. Doutor em Ciência do Solo pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2008), na área de concentração de Reaproveitamento de Resíduos e Dinâmica de Poluentes no solo. Especialista em Gestão de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Tem experiência na área de Engenharia Sanitária, com ênfase em Resíduos Sólidos, Domésticos e Industriais, atuando principalmente

nos seguintes temas: Tratamento de Resíduos Sólidos e Líquidos; Reaproveitamento de resíduos sólidos e líquidos; Minimização da geração de Resíduos.

E-mail: mausq@hotmail.com



Méloory Maria Fernandes de Araújo - Natural de Santana do Livramento/RS.

Atualmente doutoranda em Manejo e Conservação do Solo e da Água, pela Universidade Federal de Pelotas, e bolsista CAPES pelo Programa de Doutorado Sanduíche no Exterior – PDSE, o qual está sendo realizado na Espanha (até 2024). Mestre em Engenharia Oceânica (2021), pela Universidade Federal do Rio Grande-FURG. Engenheira Hídrica pela Universidade Federal de Pelotas (2018). Participou de mobilidade acadêmica internacional entre a Universidade Federal de Pelotas e o Tecnológico Nacional de México, como bolsista no Programa BRAMEX (2016). Tem experiência em projetos nas áreas de: Dragagem; Saneamento Ambiental; Drenagem Urbana (bacias de detenção e retenção); Sistemas de Abastecimento de Água e Esgoto; Mapeamento de Risco a Desastres Naturais com ferramentas sensoriamento remoto e Sistemas de

Informação Geográfica (SIG);
Classificação de solos; Transporte de
sedimentos; Hidrossedimentologia.

E-mail: mmfa.eh@gmail.com



Ottoni Marques Moura de Leon –
Natural de Rio Grande/RS.

Mestre em Ciências Ambientais da
Universidade Federal de Pelotas -
PPGCAMB - UFPEL. Formado no
Curso Superior de Tecnologia em
Gestão Ambiental pela Universidade
Federal de Pelotas - UFPEL. Integra o
Laboratório de Geoprocessamento
aplicado e Estudos Ambientais.

E-mail: ottonibaixo@gmail.com



Priscila Pedra Garcia - Natural de
Piratini/RS

Advogada. Bacharela em Direito pela
Universidade Federal de Pelotas. Pós-
graduada em Direito Constitucional.
Licenciada pelo Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia Sul-
rio-grandense, Campus Pelotas.
Mestre em Ciências Ambientais pelo
Programa de Pós-Graduação em
Ciências Ambientais da Universidade
Federal de Pelotas.

E-mail:

priscilapedragarcia@gmail.com



Rafael Moreira - Natural de Santo Ângelo/RS.

Graduado em Engenharia Ambiental e Sanitária na Universidade Federal de Pelotas (UFPEL). Atualmente mestrando em Ciências Ambientais pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Pelotas (UFPEL). Integrante do Laboratório de Geoprocessamento Ambiental.

e-mail: rafamoreeira94@gmail.com



Maele Costa dos Santos- Natural de Pinheiro Machado/RS.

Graduada em Engenharia Química pela Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA). Possui Especialização em Geração e Uso da Energia pela UNIMAIS. Mestre em Ciências Ambientais (PPGCamb) pela Universidade Federal de Pelotas (UFPEL). Atualmente Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais (PPGCEM) (UFPEL).

E-mail: maeledossantoseq@gmail.com



Maria Eduarda Silveira dos Anjos
Natural de Pelotas. Graduanda do
curso de Engenharia Agrícola da
Universidade Federal de Pelotas
(UFPel). Bolsista de Iniciação
Científica do Laboratório de
Geoprocessamento LABDAR sob
orientação da prof^a Dr^a Andrea.
E-mail:
me.silveiradosanjos@gmail.com



Samanta Tolentino Cecconello -
Natural de Lajeado/RS
Doutoranda no Programa de Manejo e
Conservação do Solo e da Água da
Universidade Federal de Pelotas -
UFPel, em que está desenvolvendo
pesquisas na área de modelagem
hidrossedimentológica e manejo do
solo. Mestre em Ciências Ambientais
pela UFPel onde realizou pesquisas na
área de Fragilidades Ambientais.
Mestra em Desenvolvimento
Territorial e Sistemas Agroindustriais
pela UFPel, em que realizou pesquisas
na área de mudanças no uso e
cobertura da terra e análise dos
processos de urbanização. Docente
dos cursos Superiores de Saneamento
Ambiental, Gestão Ambiental e
Engenharia Química do Instituto
Federal Sul-rio-grandense Câmpus
Pelotas onde atua na área de

modelagem de sistemas ambientais com ênfase nos processos hidrossedimentológicos em bacias hidrográficas e análise espaço-temporal dos recursos hídricos.

E-mail:

samantaceconello@ifsul.edu.br



Tainá Rhoden Schneider - Natural de Salvador do Sul/RS.

Graduanda do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária na Universidade Federal de Pelotas (UFPel). Bolsista de Iniciação Científica do Laboratório de Geoprocessamento aplicado a Estudos Ambientais (LGEA) sob orientação da prof^a Dr^a Diuliana Leandro.

E-mail: tain.schneider48@gmail.com



Vanessa Faria de Oliveira - Natural de Caxias/RS.

Graduanda do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária na Universidade Federal de Pelotas (UFPel). Voluntária de Iniciação Científica do Laboratório de Geoprocessamento aplicado a Estudos Ambientais (LGEA) sob orientação da prof^a Dr^a Diuliana Leandro.

E-mail: vanessafdo0712@gmail.com

Índice remissivo

- Ações Antrópicas - 76
Agricultura – 12, 18, 27, 30, 32, 34, 36, 38, 43, 54, 65, 104, 106, 111
Análise de Risco – 91, 117
APP – 80, 95, 101, 102, 168
Áreas de Preservação – 80, 101
- Bacia hidrográfica – 82, 85, 86, 87, 90
- Calamidade Pública – 56
Características Físicas – 82, 84, 86, 87
Clima – 77, 142, 150
Consumo humano – 33, 105, 111, 129, 131, 132
- Danos – 15, 17, 18, 25, 28, 29, 31, 34, 36, 38, 40, 46, 53, 71, 104, 135
Declividade – 79, 82, 84, 85, 87, 91, 95
Degradação – 18, 53, 54, 75, 77
Desenvolvimento Econômico - 62
Desenvolvimento Sustentável – 67, 69, 108, 114, 128, 139, 145, 149
Desperdício - 38
- Ecosistemas – 53, 76, 77, 111, 134
Educação Ambiental – 97, 111, 145, 146, 149, 155
Emissões - 15
Erosão – 18, 53, 54, 79, 127
Estiagem – 25, 32, 34, 36, 38, 39, 43, 63, 124, 174
Enxurrada – 22, 25, 28, 88
Eventos Adversos – 21, 43, 46, 67, 75, 104, 118, 123, 126, 147
- Fragilidade Ambiental – 76, 77, 78, 80, 149
- Granizo – 27, 29, 32, 35, 46, 47, 63, 124, 126, 152

Geração de Resíduos – 60, 187
Gestão de riscos – 23, 24, 53, 68, 72, 76, 77, 80, 91, 117, 131

Infraestrutura Pública – 26, 28, 30, 31, 36
Inundação – 27, 30, 72, 76, 81, 88, 92, 93, 97, 127, 138, 147

Lençol Freático – 106, 113, 114
Litologia – 77, 78, 103, 106, 109
Lixo – 41, 71, 128

Mapeamento – 72, 75, 80, 81, 97, 104, 115, 183
Meio Ambiente – 17, 19, 29, 53, 56, 75, 77, 80, 105, 111, 114, 128, 143, 145

Ocupação do Solo – 81, 94, 97, 106
Ocupação Humana – 68, 77, 78, 79

Parâmetros – 55, 57, 84, 87, 107, 132
Pecuária – 25, 27, 30, 32, 34, 40, 43, 63, 98, 106
Planejamento – 23, 66, 71, 72, 75, 77, 97, 102, 104, 108, 115, 120, 158
Poços – 32, 108, 112, 130, 132
Precipitação – 25, 31, 34, 44, 63, 71, 82, 90, 91, 142, 144, 185
Prejuízo Econômico – 34, 41

Resíduos Sólidos – 60, 106, 111, 129, 139, 140, 155, 187
Resiliência – 53, 62, 65, 66, 67, 68, 72, 103, 118, 122, 126, 146

Saneamento Básico – 62, 101, 127, 128, 129, 131, 133, 135, 136
Saúde Pública – 41, 114, 118, 128, 131, 134, 139
Sistemas Meteorológicos – 17, 43, 44
Situação de Emergência – 21, c 28, 161
Solos – 79, 106, 142, 186,

Uso da Terra – 53, 54, 77, 81
Uso do Solo – 78, 79, 91, 142

Vegetação – 32, 101

Vulnerabilidade natural – 104, 108, 109, 110, 111, 112

Prezados leitores, nos sigam em
https://www.instagram.com/lgea_ufpel e através do site
<https://wp.ufpel.edu.br/lgea/>.



Este texto foi aprimorado e organizado com o auxílio de ferramentas de inteligência artificial, garantindo uma apresentação mais coesa e fluente. Além disso, foram utilizadas ferramentas de IA para melhorar a qualidade de algumas das imagens incorporadas.

Este livro visa prover diretrizes destinadas a gestores públicos com o propósito de disseminar conhecimentos no tocante à prevenção e mitigação de riscos. Nesse contexto, busca-se fomentar a colaboração entre entidades governamentais e civis, visando à concepção de soluções eficazes e a busca de instrumentos pertinentes a eventos extremos. Dessa maneira, objetiva-se fortalecer a cultura da resiliência, destacando a importância da prontidão e da sinergia entre os diversos