



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GEOGRAFIA

Alice Ensfeld Lueders

**ANÁLISE HISTÓRICA DO USO DA TERRA E PREVISÃO FUTURA UTILIZANDO
O MOLUSCE, NO DISTRITO DA LAGOA DA CONCEIÇÃO, FLORIANÓPOLIS-SC**

Florianópolis-SC
2023

Alice Ensfeld Lueders

**ANÁLISE HISTÓRICA DO USO DA TERRA E PREVISÃO FUTURA UTILIZANDO
O MOLUSCE, NO DISTRITO DA LAGOA DA CONCEIÇÃO, FLORIANÓPOLIS-SC**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Geografia do Centro de Filosofia e Ciências Humanas da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Fabris Goerl

Florianópolis-SC

2023

Lueders, Alice Ensfield

Análise histórica do uso da terra e previsão futura utilizando o MOLUSCE, no distrito da Lagoa da Conceição, Florianópolis-SC / Alice Ensfield Lueders ; orientador, Roberto Fabris Goerl, 2023.

52 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de
Filosofia e Ciências Humanas, Graduação em Geografia,
Florianópolis, 2023.

Inclui referências.

1. Geografia. 2. SIG. 3. Uso da terra. I. Goerl,
Roberto Fabris. II. Universidade Federal de Santa
Catarina. Graduação em Geografia. III. Título.

Alice Ensfield Lueders

**ANÁLISE HISTÓRICA DO USO DA TERRA E PREVISÃO FUTURA UTILIZANDO O
MOLUSCE, NO DISTRITO DA LAGOA DA CONCEIÇÃO, FLORIANÓPOLIS-SC**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de bacharel e aprovado em sua forma final pelo Curso de Geografia.

Florianópolis, 11 de dezembro de 2023.



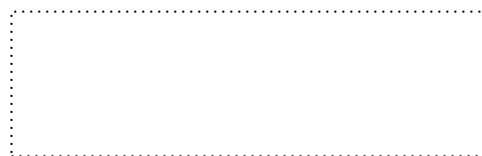
Coordenação do Curso

Banca examinadora

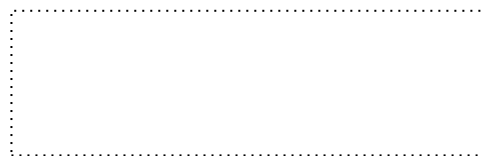


Prof. Dr. Roberto Fabris Goerl

Orientador



Prof. Dra. Michele Monguilhott
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Dr. Danilo Piccoli Neto
Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis, 2023.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer aos meus pais, Maira e Gerson, por todo o amor, dedicação, compreensão e incentivo na minha criação e na minha vida, especialmente durante a escrita deste trabalho. Um agradecimento também as minhas irmãs, Carolina, Johanna e Mariana, pelo carinho e apoio nas melhores e piores horas.

Aos demais membros da minha família, que sempre estiveram do meu lado e me enchem de amor todos os dias. Em especial a minha prima-amiga Isabela, pelo companheirismo, conversas, desabafos e carinhos trocados desde que nos entendemos por gente.

Ao professor Roberto, pelo excelente trabalho como orientador e por toda a ajuda, compreensão e conversas ao longo de aulas, reuniões, projetos, e horas no laboratório. Agradecer também à banca e aos professores que tive na UFSC, dentro e fora da Geografia, que passaram seu conhecimento que o levarei para minha vida.

Gostaria de agradecer aos amigos e colegas que conheci no curso, em especial ao Marcelo, ao Arthur, a Regina e a Laura, por acompanharem tão de perto e com tanto amor a trajetória geográfica que foi minha graduação, em meio a grupos de trabalho, bares e andanças, conversas maravilhosas, uma pandemia mundial, chamadas de vídeo, saídas de campo e choros, abraços e carinhos.

Também agradeço aos amigos que me acompanharam na infância e adolescência, especialmente a Maria Cristina, ao Lucas e ao Vicente, que, mesmo não cotidianamente, ainda me cobrem de alegria e sorrisos quando nos vemos, tornando todo momento com eles um quentinho no coração.

Um agradecimento aos amigos que conheci e me acompanharam no EIV 2023, uma das melhores experiências que vivi, que muito agregou na minha formação pessoal e acadêmica, junto de pessoas incríveis e da Via Campesina, a qual admiro muito.

A Beatriz, pelo suporte e amor incondicionais que recebi durante a escrita deste trabalho e nos demais momentos. Obrigada por todos os instantes juntos, por estar do meu lado nas risadas e nos choros e por me amar do jeito que sou, assim como eu amo você.

Todos esses queridos ajudaram a moldar a pessoa que eu sou hoje, e por isso sou grandemente grata pelo companheirismo, apoio e amor.

RESUMO

A urbanização da Lagoa da Conceição vem trazendo impactos negativos para a região ao longo dos anos, como exemplo o rompimento da Lagoa de Evapotranspiração e Infiltração (LEI) em 2021, e muitos destes impactos ocorrem devido a um crescimento desordenado e não planejado. Uma forma de estudar esses casos é pelo uso de ferramentas geotecnológicas que dão suporte para um estudo mais aprofundado do padrão do uso da terra e uma possível previsão futura das ocupações. O objetivo deste trabalho foi analisar a evolução da cobertura da terra no distrito da Lagoa da Conceição e aplicá-la na ferramenta MOLUSCE, em ambiente SIG, para prever o avanço futuro das classes, junto com uma série de testes de sensibilidade da ferramenta. Para a análise da evolução da cobertura, foi utilizada a base de dados do MapBiomas de 2002, 2007, 2012, 2017 e 2021. Já para as previsões futuras, foram inseridos os mesmos dados de 2002 e 2012 no plugin MOLUSCE, além de diferentes combinações de variáveis e reclassificações com o intuito de identificar as melhores formas de utilizar o plugin. A partir das análises do MapBiomas, foi observado o aumento da urbanização e a diminuição das áreas verdes na Lagoa da Conceição entre 2002 e 2021, porém a maioria das previsões futuras feitas pelo MOLUSCE não seguiu esse padrão. Os testes realizados apresentaram resultados incomuns sobre a evolução dos usos da terra, sendo necessárias mais análises e estudos sobre o plugin e sua funcionabilidade, visto a importância do tema para auxiliar em planejamentos e manejos futuros da ocupação da Lagoa da Conceição e de outros lugares.

Palavras-chave: Urbanização; uso da terra; MOLUSCE.

ABSTRACT

The urbanization of Lagoa da Conceição has been bringing negative impacts to the region over the years, such as the rupture of the Evapotranspiration and Infiltration Pond (Lagoa de Evapotranspiração e Infiltração - LEI) in 2021, and many of these impacts occur due to disorderly and unplanned growth. One way to study these cases is by the use of geotechnological tools that support a more in-depth study of the land use pattern and a possible future prediction of occupations. This paper's goal was to analyze the evolution of land cover in the district of Lagoa da Conceição and apply it to the MOLUSCE tool, in a GIS environment, in order to predict the future advancement of the classes, along with a series of the tool's sensitivity tests. For the analysis of the evolution of land cover, the MapBiomass database from 2002, 2007, 2012, 2017 and 2021 was used. As for the future predictions, the same data from 2002 and 2012 were inserted in the MOLUSCE plugin, as well as distinct combinations of variables and reclassifications in order to identify the best ways to use the plugin. From the MapBiomass analyses, an increase of urbanization and a decrease of green area was observed in Lagoa da Conceição between 2002 and 2021, however most of the future predictions made by MOLUSCE did not follow this pattern. The tests carried out presented unusual results on the evolution of land uses, requiring further analyses and studies on the plugin and its functionality, given the importance of the subject to assist in future planning and management of the occupation of Lagoa da Conceição and other places.

Keywords: Urbanization; land use; MOLUSCE.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Etapas do processo de simulação futura no MOLUSCE..... | 17 |
| Figura 2 - Mapa de localização do distrito da Lagoa da Conceição - Florianópolis, SC | 20 |
| Figura 3 - Mancha urbana do distrito da Lagoa da Conceição nos anos de 1977, 1994 e 2012. | 22 |
| Figura 4 - Mapas de uso do solo do distrito da Lagoa da Conceição, nos anos de 2002, 2007, 2012, 2017 e 2021. | 29 |
| Figura 5 - Área, em km ² , das respectivas classes de uso da terra no distrito da Lagoa da Conceição nos anos de 2002, 2007, 2012, 2017 e 2021. | 30 |
| Figura 6 - Área, em km ² , das classes de Floresta, Restinga e Área Urbanizada no distrito da Lagoa da Conceição nos anos de 2002, 2007, 2012, 2017 e 2021..... | 30 |
| Figura 7 - Área, em km ² , das classes de Floresta (Figura 7.1) e de Área Urbanizada (Figura 7.2) no distrito da Lagoa da Conceição nos anos de 2002, 2007, 2012, 2017 e 2021. | 31 |
| Figura 8 - Mapas de uso do solo das classes de Floresta, Restinga e Área Urbanizada do distrito da Lagoa da Conceição, nos anos de 2002, 2007, 2012, 2017 e 2021.... | 32 |
| Figura 9 - Mapas de uso do solo de 2002 e 2012 e previsão de uso do solo futuro do distrito da Lagoa da Conceição, nos anos de 2022, 2032, 2042, 2052, 2062 e 2072, feito a partir de 11 classes e com a variável de declividade..... | 36 |
| Figura 10 - Gráficos da taxa de crescimento da área de cada classe comparada ao ano anterior analisado, a partir das 11 classes iniciais. Figura 10.1: taxa a partir da variável de declividade; Figura 10.2: taxa a partir das variáveis de declividade, distância de drenagem e distância de estradas. | 37 |
| Figura 11 - Índices Kappa, em porcentagem, das variáveis de declividade e de declividade, drenagem e estradas, para cada reclassificação utilizada. | 39 |
| Figura 12 - Gráficos da taxa de crescimento da área de cada classe comparada ao ano anterior analisado, a partir das variáveis de declividade, distância de drenagem e distância das estradas. Figura 12.1: taxa da reclassificação de 5 classes; Figura 12.2: taxa da reclassificação de 6 classes; Figura 12.3: taxa da reclassificação de 7 classes; Figura 12.4: a taxa da reclassificação de 10 classes. | 40 |
| Figura 13 - Gráficos da taxa de crescimento da área de cada classe comparada ao ano anterior analisado, a partir da variável de declividade. Figura 13.1: taxa da | |

| | |
|---|----|
| reclassificação de 4 classes; Figura 13.2: taxa da reclassificação de 7 classes; Figura 13.3: taxa da reclassificação de 8 classes; Figura 13.4: a taxa da reclassificação de 9 classes. | 42 |
| Figura 14 - Mapas de uso do solo de 2002 e 2012 e previsão de uso do solo futuro do distrito da Lagoa da Conceição, nos anos de 2022, 2032, 2042, 2052, 2062 e 2072, feito a partir de 7 classes e com as variáveis de declividade, distância da drenagem e distância das estradas..... | 44 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Classificação do MapBiomias em comparação com a reclassificação inicial usada na pesquisa. | 23 |
| Tabela 2 - Novas reclassificações para a Lagoa da Conceição e suas respectivas classes. | 26 |
| Tabela 3 - Área, em km ² , das classes de Floresta, Restinga e Área Urbanizada no distrito da Lagoa da Conceição nos anos de 2002, 2007, 2012, 2007 e 2021. | 33 |
| Tabela 4 - Número de moradores e seu crescimento, em porcentagem, no distrito da Lagoa da Conceição e em Florianópolis, nos anos de 2000 e 2010. | 33 |
| Tabela 5 - Diferença, em porcentagem, que cada classe apresentou para cada variável explicativa entre as simulações de 2022 e 2032. | 34 |
| Tabela 6 - Diferença, em porcentagem, que cada classe apresentou para cada intervalo de tempo entre as simulações de 2022 e 2032. | 35 |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 11 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 13 |
| 2.1 | A LAGOA DA CONCEIÇÃO E POLÍTICAS PÚBLICAS DE ORDENAÇÃO TERRITORIAL | 13 |
| 2.2 | MODELAGEM DA EVOLUÇÃO DE USO DA TERRA | 14 |
| 3 | METODOLOGIA | 20 |
| 3.1 | ÁREA DE ESTUDO | 20 |
| 3.2 | MAPEAMENTO DO USO DA TERRA | 22 |
| 3.3 | SIMULAÇÕES COM AS VARIÁVEIS EXPLICATIVAS E A VARIAÇÃO DE TEMPO | 24 |
| 3.4 | ANÁLISE DE SENSIBILIDADE | 26 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 28 |
| 4.1 | MAPEAMENTO DO USO DA TERRA | 28 |
| 4.2 | SIMULAÇÕES COM AS VARIÁVEIS EXPLICATIVAS E A VARIAÇÃO DE TEMPO | 33 |
| 4.3 | ANÁLISE DE SENSIBILIDADE | 35 |
| 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 47 |
| | REFERÊNCIAS | 50 |

1 INTRODUÇÃO

A Lagoa da Conceição, localizada na parte leste da Ilha de Florianópolis-SC, constitui-se no maior corpo hídrico lagunar de usos múltiplos da cidade, possuindo um importante papel ecológico, por abrigar uma grande diversidade de espécies, e turístico, por sua beleza natural e suas águas tranquilas. “Ela é considerada o ambiente de maior potencial natural, turístico e econômico da Ilha de Santa Catarina.” (BORGIO et al., 2015, p. 95). Por esse motivo, a região do complexo lagunar vem sofrendo um crescimento urbano acelerado e desordenado, acarretando em mudanças drásticas no ecossistema do local, o que pode resultar na queda da qualidade de vida da região (SOUZA JÚNIOR, 2021).

Desde o começo do século XX, o Brasil passa pelo processo de urbanização, principalmente a partir da sua industrialização crescente em 1930, quando a população passou a ser incentivada pelo governo a migrar das áreas rurais para as áreas urbanas e para a “modernidade”. A burguesia industrial cresceu nessa época e impulsionou o mercado e o crescimento das cidades urbanas brasileiras, e logo a migração acelera e a economia brasileira passa de rural-agrária para urbano-industrial (WEISS, 2016).

O município de Florianópolis também teve sua urbanização marcada pela industrialização e modernização da cidade, com o crescimento dos povoados e implementação de ruas, estradas e um sistema viário parecido com o atual, ligando vários núcleos urbanos. O investimento em “grandes obras públicas de infraestrutura” (WEISS, 2016, p. 132) ajudou na expansão urbana da cidade, feita de forma fragmentada e sem planejamento, dependendo grandemente da especulação imobiliária e do grande mercado (WEISS, 2016).

Isso proporcionou uma forte e acelerada urbanização das áreas, incluindo a Lagoa da Conceição. Ao longo dos anos, a sua ocupação e atividade antrópica vêm crescendo, a partir da “relação intrínseca entre a rede viária e o desenvolvimento do uso da terra” (WEISS, 2016, p. 151), trazendo também riscos para o meio ambiente e para a população, visto que não há muito controle, vistorias e adaptações da região para esse crescimento. Em janeiro de 2021, um talude da Lagoa de Evapotranspiração e Infiltração (LEI) rompeu e despejou seu efluente na laguna, afetando diversas residências e o próprio corpo lagunar. O aumento desenfreado da

população influenciou no desastre, assim como a falta de devida manutenção da LEI para comportar esse aumento, ocasionando um grande estrago.

É necessário fazer pesquisas e levantamentos sobre o crescimento urbano da Lagoa da Conceição e da população que mora no distrito, além de fiscalização e vistorias frequentes pelos responsáveis públicos pelas infraestruturas de esgoto e saneamento que são construídas no local, para fazer a sua manutenção e aumentar a sua capacidade à medida que a população cresce.

O presente trabalho teve como objetivo aplicar o modelo MOLUSCE (Modules for Land Use Change Evaluation - Módulos de Avaliação de Mudanças no Uso do Solo) em ambiente SIG para realizar testes de usos da terra futuros no distrito da Lagoa da Conceição. O estudo buscou analisar dados e trabalhos com informações sobre o uso do MOLUSCE em outras áreas; mapear os diferentes tipos de uso da terra que a região possui; calcular e mapear os avanços antrópicos; e, por fim, averiguar quais os melhores métodos e variáveis para se usar com o MOLUSCE a fim de prever as ocupações futuras.

Os resultados alcançados neste trabalho poderão auxiliar na tomada de decisões sobre o planejamento de residências e instalações, na avaliação e melhoria da ocupação da terra, da preservação da vegetação e da infraestrutura do local. Serão fornecidas informações sobre a intensidade da ocupação que está acontecendo, além de resultados importantes para o aprimoramento de modelos que possam ajudar na previsão do avanço da urbanização e de outras formas de ocupação.

O espaço geográfico é dinâmico, e passa por constantes alterações complexas provindas de inúmeros fatores que influenciam na forma como se dá o uso da terra e os seres vivos que o ocupam. A utilização e experimentação desses modelos auxilia na sua calibração para que essas sensibilidades possam ser atendidas. Com isso, poderá haver um suporte maior para auxiliar no gerenciamento das cidades e de políticas públicas responsáveis que contribuam para o seu desenvolvimento saudável, sem sobrecarregar o meio ambiente e os recursos naturais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A LAGOA DA CONCEIÇÃO E POLÍTICAS PÚBLICAS DE ORDENAÇÃO TERRITORIAL

Os estudos e trabalhos que têm sido feitos sobre a região da Lagoa da Conceição tratam de diversos temas, e a maioria apresenta análises ambientais sobre o crescimento urbano ou a cobertura da terra presente na região, como apresentam Silva, M. (2002) e Souza Júnior (2021), respectivamente.

No início dos anos 2000, Silva, M. (2002) discutiu os problemas ambientais do processo de urbanização acelerado e desordenado que implicam num desequilíbrio do ecossistema. Em seu trabalho, ela procurou dados de sustentabilidade da região, ocupação da terra, entre outros, junto com análise da lei de zoneamento do plano diretor vigente na época. Assim, ela buscou levantar as questões de qualidade ambiental urbana em relação às atividades antrópicas e seus impactos.

As legislações municipais e estaduais regem as ocupações e a preservação das áreas na cidade, a partir dos Planos Diretores, Códigos Florestais, Estatuto da Cidade e outros documentos pertinentes.

Conforme o art. 2º da Lei Municipal Complementar nº 482, de 17 de janeiro de 2014 (FLORIANÓPOLIS, 2014, p. 1),

“O Plano Diretor do Município de Florianópolis é o pacto que visa organizar a ocupação do território municipal de forma a proporcionar qualidade de vida para o conjunto da população, baseado nos valores sociais e deve garantir o desenvolvimento sustentável, praticado em estreita correlação com o meio ambiente e o patrimônio cultural.”

Há diferenças nos zoneamentos de Áreas de Preservação Permanente (APP) e de Áreas de Preservação de Uso Limitado (APL) nos Planos diretores de 1997 e de 2014. Em relação a Lagoa da Conceição, alguns de seus ambientes não foram considerados APPs no Plano Diretor de 2014, mesmo tendo sido considerados anteriormente em 1997, segundo a análise de Rosa (2015, p. 24), como:

- Mananciais, considerados como a bacia de drenagem contribuinte, desde as nascentes até as áreas de captação d'água para abastecimento;
- Faixa marginal de 33,00m (trinta e três metros) ao longo dos cursos d'água com influência da maré, e de 30,00m (trinta metros) nos demais;
- Faixa marginal de 30,00m (trinta metros) ao longo das lagoas e reservatórios d'água, situados na zona urbana, e de 50,00m (cinquenta) a 100,00m (cem metros) para os situados na Zona rural;
- Áreas onde as condições geológicas desaconselham a ocupação;

Essas áreas ainda são protegidas pelo Código Florestal, porém a partir de 2014 elas ficaram sem a proteção do município caso fossem revogadas as normas do código (ROSA, 2015, p. 25).

A situação das APLs também mudou, e enquanto o Plano Diretor de 1997 definiu restrições e condições para a ocupação de terrenos, como a necessidade de determinados equipamentos urbanos para poder haver ocupação e restrições ambientais específicas, o Plano Diretor de 2014 as retirou (ROSA, 2015, p. 27). Pode-se observar então, que algumas áreas da Lagoa da Conceição sofreram mudanças de zoneamento e de configurações do zoneamento, causando permissões na ocupação antrópica da área.

O Código Florestal atual, Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012, estabelece normas e regimentos que determinam a proteção e o uso da vegetação no Brasil, e possui Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Estas resoluções estabelecem “normas, critérios e padrões relativos ao controle e à manutenção da qualidade do meio ambiente, com vistas ao uso racional dos recursos ambientais.” (CONAMA, 2018).

2.2 MODELAGEM DA EVOLUÇÃO DE USO DA TERRA

O MOLUSCE (Modules for Land Use Change Evaluation - Módulos de Avaliação de Mudanças no Uso do Solo) é um plugin desenvolvido para o QGIS, em 2013, pela Asia Air Survey Co. Ltda e pela NextGIS Ltd., duas empresas que desenvolvem tecnologias geoespaciais e suporte para SIGs. Ele tem o intuito de simular mudanças no uso e cobertura da terra ao longo de períodos de tempo.

O modelo só funciona nas versões 2.x do QGIS, e para sua utilização são necessários dados em formato raster de uso da terra de diferentes épocas, e também variáveis explicativas, como drenagem, estradas, declividade etc. Com esses dados de entrada, o MOLUSCE faz uma análise do uso da terra e das mudanças de cobertura da terra dos anos de referências inseridos. Além disso, o modelo produz uma análise de correlação entre as variáveis explicativas e uma análise comparativa entre as classes dos usos da terra de diferentes anos. E então, ele utiliza um dos métodos disponíveis para modelagem de potencial de transição do uso e ocupação da terra, para finalmente fornecer os resultados das simulações de uso futuras. A validação e acurácia das simulações são feitas pelo índice Kappa.

O MOLUSCE funciona em seis etapas:

- Módulo de entrada (Inputs) (Figura 1.1): Na qual devem-se inserir os dados raster de uso da terra de dois anos diferentes e os rasters das variáveis explicativas, para a checagem de geometrias.

- Módulo de avaliação de correlação (Evaluating correlation) (Figura 1.2): Essa etapa possui três técnicas para a análise de correlação, sendo elas: Correlação de Pearson; Coeficiente de Cramer; Incerteza de informação conjunta. A partir da escolha de uma delas, realiza-se a comparação entre os rasters das variáveis explicativas. A Correlação de Pearson, escolhida para usar no trabalho, “é uma medida de associação linear entre variáveis” (FIGUEIREDO FILHO, SILVA JÚNIOR, 2009, p. 118), e varia de -1 a 1. Nele, quanto mais próximo de 0 o valor da correlação, menos relação há entre as variáveis.

- Análise de variação de área (Area Changes) (Figura 1.3): O MOLUSCE produz duas tabelas. Uma com as estatísticas das classes, na qual ele calcula os valores em pixel e área de cada classe e também o quanto mudou. A outra possui a matriz de transição para os anos inseridos na primeira etapa, apresentando o quanto de cada classe mudou e o que se tornou. Por fim, ele gera um mapa com as alterações das classes.

- Métodos de modelagem (Transition Potential Modelling) (Figura 1.4): É possível escolher um entre quatro métodos para a modelagem de potencial de transição

do uso e ocupação do solo, e são eles: ANN (Rede Neural Artificial - Artificial Neural Networks), que usa uma rede neural para prever mudanças no uso da terra, a partir de pontos amostrais e da sua análise, treinamento e validação, para então utilizar a melhor rede neural executada; MCE (Avaliação Multi-Critério - Multi-Criteria Evaluation), no qual é gerada uma matriz de comparação pareada e o usuário define quais valores serão utilizados nela; WoE (Pesos de Evidência - Weights of Evidence), em que o usuário define o número de intervalos ou os valores de quebra, e então o modelo usa a razão de chances para prever as mudanças; LR (Regressão Logística - Logistic Regression), no qual definem-se amostras e então é utilizada uma função logística para calcular as mudanças nas classes.

- Simulação (Cellular Automata Simulation) (Figura 1.5): É a etapa na qual o plugin gera os mapas de simulação. Podem ser gerados mapas de potencial de transição, na opção Prefixo dos mapas de potencial de transição (Prefix of transition potencial maps); há a função certeza, ainda em fase experimental (Certainty function); e os resultados da simulação (Simulation result), no qual são gerados mapas simulados do uso do solo, e o número de iterações (Number of simulation iterations) é a quantidade de intervalos de tempo simuladas. Por exemplo, se os rasters de entrada são dos anos de 2002 e 2012, o mapa de simulação gerado com 1 iteração vai ser o de 2022, com 2 iterações o de 2032 e assim por diante.
- Validação (Validation) (Figura 1.6): Na última etapa, é possível inserir um raster de uso da terra para comparar e validar o resultado das simulações a partir das estatísticas Kappa, em porcentagem.

Figura 1 - Etapas do processo de simulação futura no MOLUSCE.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Souza et al. (2019) analisaram as alterações de uso e cobertura da terra que ocorreram na bacia hidrográfica do Rio Claro (SP), utilizando o MOLUSCE para compreender as dinâmicas temporais da terra daquela área e relacionar os recorrentes processos erosivos com a expansão das áreas de agricultura e práticas agrícolas irregulares. Para isso, foram usados dados do MapBiomas para fazer as séries temporais, e o MOLUSCE para a análise das mudanças de uso e cobertura da terra. Os autores concluíram que houve transições de algumas classes para outras, principalmente nas áreas de agricultura e pastagem. As áreas que mais aumentaram foram as de cobertura vegetal e de culturas agrícolas perenes e semiperenes, as

áreas que mais diminuíram foram as de agricultura e pastagem, e as que tiveram um leve aumento foram as áreas urbanizadas.

Muhammad et al. (2022) aplicaram o MOLUSCE para simular a mudança temporal do uso da terra em uma cidade chamada Linyi, na China, utilizando dados do RESDC (Chinese Academy of Sciences' Resources and Environment Science Data Center - Centro de Dados de Recursos e Ciências Ambientais da Academia Chinesa de Ciências) de 1990 até 2020, com um intervalo de tempo de 10 anos. As variáveis experimentadas foram as de declividade, distância das estradas e o MDT (Modelo Digital de Terreno), e a metodologia utilizada no MOLUSCE foi o ANN. Foram gerados três mapas com as mudanças: um entre 1990 e 2000, outro entre 2000 e 2010 e um terceiro entre 2010 e 2020. Após terem resultados satisfatórios, utilizaram os dados para fazer previsões de 2030, 2040 e 2050. A área verde foi a classe que mais sofreu modificações entre 2020 e 2050, sendo que 5,19% tornaram-se áreas de superfície impermeável e 0,56% tornaram-se terras improdutivas, enquanto 1,69% das terras improdutivas mudaram para áreas de superfície impermeável e 3,95% mudaram para floresta.

O estudo de Kamaraj et al. (2022) teve como objetivo identificar as alterações ocorridas no uso da terra na bacia de Bhavani, na Índia, nos anos de 2005 e 2015, para previsão de possíveis mudanças nos anos de 2025 e 2030. Foram utilizadas cinco variáveis: MDT, declividade, aspecto, distância das estradas e distância de área construída. No MOLUSCE, os autores aplicaram o método ANN para criar os mapas com as mudanças e os mapas das previsões, e a partir deles perceberam, nos dois anos, o aumento de até 4% da área construída e das áreas de plantações, e a diminuição de menos de 3% nas demais classes.

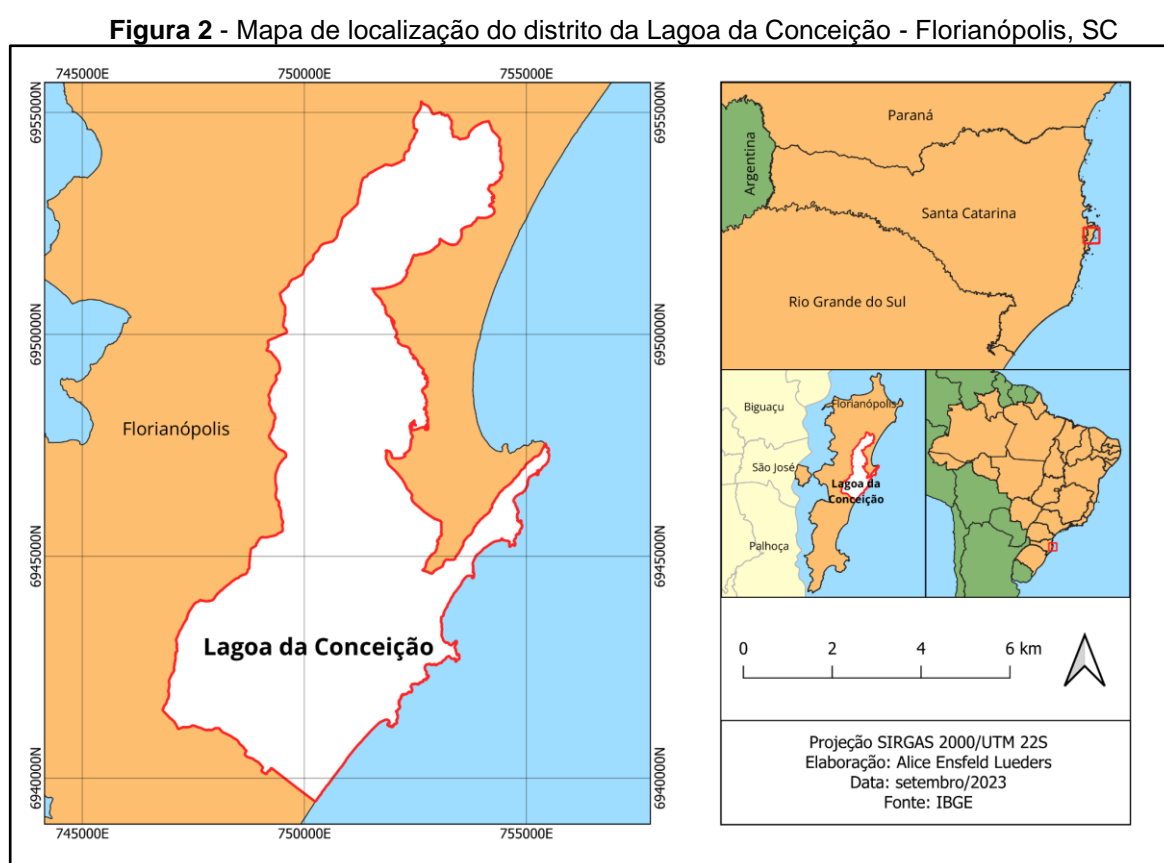
Amgoth et al. (2022) pretenderam identificar as mudanças no uso e cobertura da terra e fazer previsões futuras na região do Lago Pakhal, na Índia Peninsular. Foram usados mapas de uso da terra dos anos de 2016, 2019 e 2022, e as variáveis utilizadas foram o MDT, mapas de direção da encosta (aspecto), declividade, e distância Euclidiana. O método escolhido para rodar o MOLUSCE foi também o ANN e, após o seu uso, perceberam o aumento das áreas de agricultura, área construída e terras improdutivas (12, 0,5 e 0,48% respectivamente), enquanto as demais classes diminuíram, como as de água e de vegetação, que caíram 10%.

Os estudos fizeram análises de alterações na cobertura da terra utilizando softwares e plugins especializados, principalmente o MOLUSCE, e mostraram resultados que podem contribuir para pesquisas futuras. A partir do estudo desses trabalhos foi possível entender mais sobre as possibilidades do MOLUSCE e escolhê-lo para a previsão de crescimento urbano da região da Lagoa da Conceição.

3 METODOLOGIA

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O Distrito da Lagoa da Conceição está localizado na região Leste do município de Florianópolis, em Santa Catarina. Ele possui aproximadamente 54 km² de extensão e a população estimada no último censo publicado é de 11.811 habitantes (IBGE, 2010). De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é o Cfa, denominado subtropical úmido. Esse tipo de clima caracteristicamente apresenta chuvas durante o ano todo, verões quentes e não possui uma estação seca (PANDOLFO, C. et al., 2002).



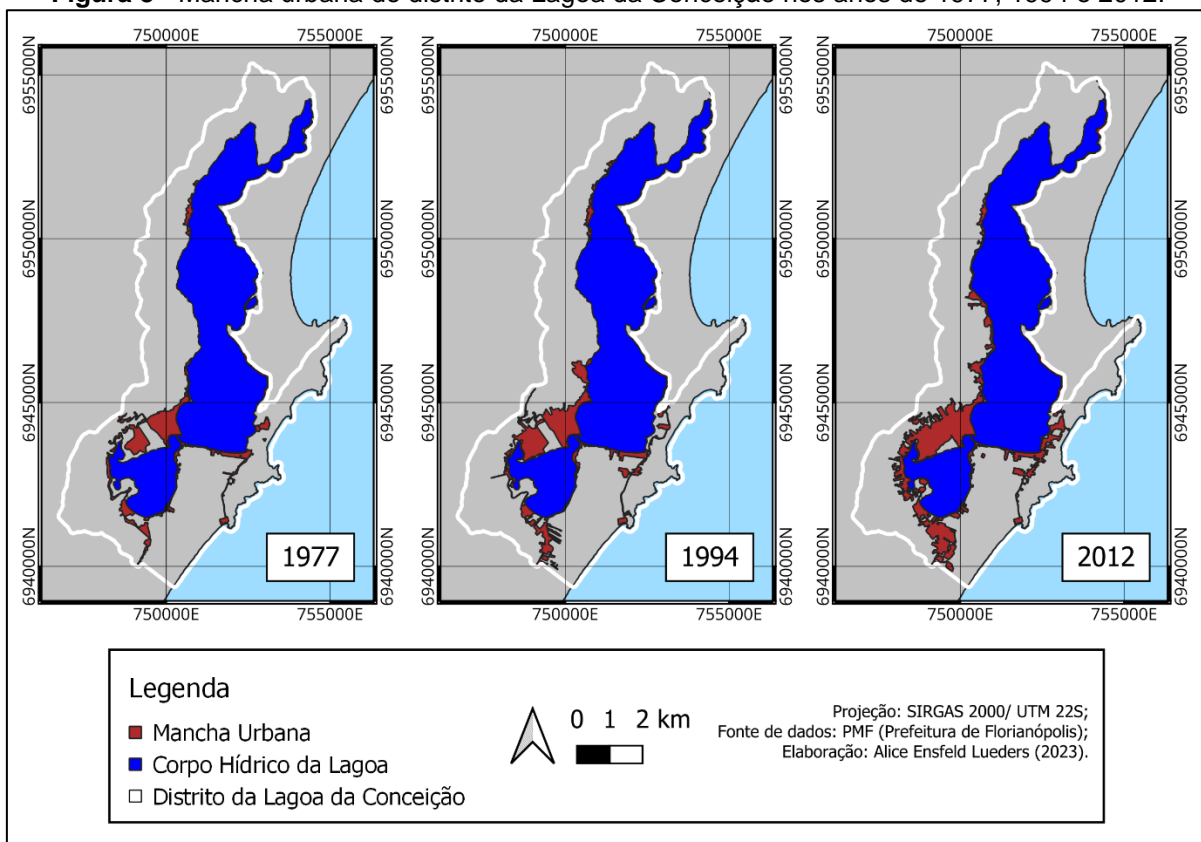
Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Por conta da ligação com o mar existente na região do Canal da Barra, o corpo hídrico principal do distrito mantém contato com a água salina, sendo, portanto, denominado de laguna (SILVA, V., 2021). É uma região que apresenta riqueza em elementos naturais, mas que estão cada vez mais perdendo espaço para as

consequências da urbanização, como aconteceu no desastre do rompimento da LEI em janeiro de 2021. O distrito apresenta também uma grande variedade de coberturas da terra, que, combinada com uma alta amplitude de declividade, faz com que seja uma tarefa complicada manejar toda a população residente e ainda encontrar novos lugares para o grande fluxo migratório que se dirigiu para lá nos últimos anos (LIMA, 2022).

A ocupação antrópica na região começou cedo, com registros arqueológicos datados de mais de 4.500 anos atrás, feitos pelos povos originários que já estavam estabelecidos antes da chegada dos europeus. Depois da colonização das Américas, em 1750, a Freguesia da Lagoa da Conceição foi fundada e então a região contou com uma expansão urbana mais acelerada. Nesse processo a natureza foi fortemente impactada pelas relações do ser humano com o meio ambiente, porém ainda como uma região muito rural. Mais de 200 anos depois, em 1970, a região da Lagoa da Conceição começou a deixar de ser rural para adentrar aos espaços mais urbanizados. A região conta com uma migração crescente até hoje, muito influenciada pelo turismo e pela iniciativa privada, o que acaba causando um impacto negativo para a cultura do local e conseqüentemente a sua natureza (LIMA, 2022). A Figura 3 consegue ilustrar bem essa urbanização, mostrando a mancha urbana nos anos de 1977, 1994 e 2012. Em 1977 a área ocupada por classes urbanas ainda é pequena comparada ao resto do distrito, tendo um total de 2,56 km², e em menos de 20 anos depois, em 1994, essa área aumenta de tamanho, indo para 3,59 km². Isso ocorreu porque em 1977 o distrito estava começando a transicionar de rural para urbano, já em 1994 essa área estava melhor estabelecida, e até 2012 ela continuou aumentando, chegando a 5,31 km².

Figura 3 - Mancha urbana do distrito da Lagoa da Conceição nos anos de 1977, 1994 e 2012.



Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados da PMF (2023).

3.2 MAPEAMENTO DO USO DA TERRA

Para as análises da urbanização passada e presente na Lagoa da Conceição, inicialmente foram elaborados mapas de uso da terra a partir de dados do MapBiomas, para investigar a evolução temporal do crescimento da urbanização, visto que nele há uma padronização de dados favorável para o tipo de trabalho feito. O MapBiomas surgiu em 2015, e é uma iniciativa colaborativa do SEEG/OC (Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Observatório do Clima) com ONGs, universidades e empresas de tecnologia. Ele produz mapas anuais, de resolução de 30 m, da cobertura e uso da terra no Brasil com dados a partir de 1985, além de monitorar a superfície de água, as cicatrizes do fogo, e fazer relatórios sobre o desmatamento no país.

Foi feita uma reclassificação a partir da coleção 7 do MapBiomias para Florianópolis, na qual algumas subclasses semelhantes e mais específicas foram agrupadas dentro de classes mais amplas, pois não era de interesse da pesquisa fazer algo tão específico, com diferentes tipos de agriculturas por exemplo. A reclassificação está demonstrada na Tabela 1.

Tabela 1 – Classificação do MapBiomias em comparação com a reclassificação inicial usada na pesquisa.

| ID e Classe MapBiomias | Novo ID e Nova Classe |
|------------------------------------|-----------------------------------|
| 3 Formação Florestal | 1 Floresta |
| 4 Formação Savânica | |
| 5 Mangue | 2 Mangue e Associações |
| 32 Apicum | |
| 49 Restinga Arborizada | 3 Restinga |
| 50 Restinga Herbácea | |
| 11 Campo Alagado e Área Pantanosa | 4 Campo Alagado e Área Pantanosa |
| 12 Formação Campestre | 5 Formação Campestre |
| 29 Afloramento Rochoso | 6 Afloramento Rochoso |
| 13 Outras Formações não Florestais | 7 Outras Formações não Florestais |
| 18 Agricultura | 8 Agricultura |
| 19 Lavoura Temporária | |
| 20 Cana | |
| 21 Mosaico de Usos | |
| 36 Lavoura Perene | |
| 39 Soja | |
| 40 Arroz | |
| 41 Outras Lavouras Temporárias | |
| 46 Café | |
| 47 Citrus | |
| 48 Outras Lavouras Perenes | |
| 62 Algodão | |
| 15 Pastagem | 9 Pastagem |
| 9 Silvicultura | 10 Silvicultura |
| 23 Praia, Duna e Areal | 11 Praia, Duna e Areal |
| 24 Área Urbanizada | 12 Área Urbanizada |
| 30 Mineração | 13 Mineração |
| 25 Outras Áreas não Vegetadas | 14 Outras Áreas não Vegetadas |
| 33 Rio, Lago e Oceano | 15 Rio, Lago e Oceano |
| 31 Aquicultura | 16 Aquicultura |
| Não Observado | 17 Não Observado |

Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do MapBiomias (2023).

Após o agrupamento das classes, foi contabilizada a área de cada classe para a análise da evolução do uso do solo para os anos de 2002, 2007, 2012, 2017 e 2021, recortados os resultados a partir de um vetor buffer da área do distrito da Lagoa da Conceição e posteriormente elaborados mapas dos respectivos anos. Foram gerados mapas do uso da terra com todas as 11 classes e também mapas com as classes de Floresta, Restinga e Área Urbanizada, tendo as demais classes sido agrupadas em uma só.

3.3 SIMULAÇÕES COM AS VARIÁVEIS EXPLICATIVAS E A VARIAÇÃO DE TEMPO

Além do uso da terra, o MOLUSCE utiliza como dados de entrada características da paisagem como altimetria, declividade, distância da drenagem, entre outros parâmetros ambientais. No presente trabalho foram utilizados a altimetria, MDT, declividade, distância da rede de drenagem e distância das estradas.

O MDT e a altimetria utilizados foram disponibilizados no site da Prefeitura Municipal de Florianópolis (PMF), com resolução original de 5m, reamostrados para 30m. A partir deste MDT, foi gerada a declividade. O cálculo da distância da rede de drenagem foi realizado em ambiente SIG, utilizando os cursos d'água na escala 1:10.000, disponibilizado pela Secretaria de Desenvolvimento Sustentável (SDS) via portal SIGSC. Já os dados de estradas e vias, foram adquiridos em formato vetor pelo site GeoFabrik, que usa dados do OpenStreetMap, a partir do qual foi gerado o raster de proximidade (distância das estradas). Todos estes parâmetros foram gerados com resolução de 30m, compatibilizando-os assim com a resolução dos dados de uso da terra.

Foram então feitos testes com as variáveis, utilizadas individualmente para os rasters de uso da terra dos anos de 2002 e 2012, simulando 2022, para saber quais apresentaram maior diferença nos mapas de simulações. As variáveis de altimetria e MDT não apresentaram mudanças significativas nas simulações, por isso foram descartadas dos resultados finais, restando para serem usadas somente as que mostraram mudanças significativas, sendo elas: as variáveis de declividade, de distância das drenagens e de distância das estradas.

Após os testes das variáveis explicativas, foram feitos os testes e a sua calibração com dois intervalos de tempo, de 10 anos e 5 anos. Para o de 10 anos, foram usados os mapas dos anos de 2002 e 2012 e os de 2007 e 2017, já para o intervalo de 5 anos, utilizaram-se os mapas dos anos de 2002 e 2007, de 2007 e 2012 e os de 2012 e 2017.

Os intervalos de 5 em 5 anos (2002 e 2007; 2007 e 2012; 2012 e 2017) apresentaram diferenças mínimas e pouco significativas, e por isso também foram descartados dos resultados finais, sendo os intervalos de 10 em 10 anos mais precisos. O MOLUSCE, na versão 3.0.13, foi então utilizado no QGIS 2.18.9 para previsão da urbanização futura do distrito da Lagoa da Conceição com o principal dado de entrada sendo o uso do solo dos anos de 2002 e 2012, predizendo os usos de 2022 e comparando com dados de uso da terra de 2021. Essa diferença de um ano se deu em virtude da falta, no momento da pesquisa, dos dados do MapBiomas de 2022. Foi feito então o processo de validação da simulação de 2022 com o raster do MapBiomas de 2021, e então geradas as previsões para 2032, 2042, 2052, 2062 e 2072.

Nas primeiras tentativas, após definidas as variáveis explicativas e os anos a serem utilizados, foram realizadas as análises de correlação das variáveis explicativas usadas a partir da técnica da Correlação de Pearson. Em seguida, calculou-se a alteração do uso do solo nos dois anos usados, a partir de tabelas com as estatísticas das classes e com a matriz de transição, e então foi gerado um mapa raster dessas alterações. O próximo passo foi rodar os métodos de modelagem, e o escolhido para o primeiro teste foi a ANN, com um total de 1.000 amostras distribuídas pelo modo “Todos” (All) e um máximo de 100 iterações. Apenas esse método de modelagem foi testado por ser mais automatizado e se encaixar melhor no objetivo do presente trabalho. Foi também testada a modelagem ANN com 1.000 amostras distribuídas de modo “Estratificado” (Stratified), visto que seria um dos mais indicados, por colocar as amostras em uma quantidade ponderada a partir das áreas das classes ao invés de na área toda. No entanto, todas as vezes que foi rodado o plugin com o “Estratificado” ele travou, mesmo com uma quantidade muito pequena de amostras, sendo assim descartada a possibilidade de trabalhar com ele.

Após vários testes, foi concluído que as melhores especificações e configurações do plugin para rodar seriam a modelagem ANN, com 1.000 amostras espalhadas

aleatoriamente sobre a área total pelo modo “Aleatório” (Random), e permaneceu o número de 100 iterações máximas.

3.4 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

A fim de testar a sensibilidade do MOLUSCE ao número de classes de uso, foram feitas 7 novas reclassificações, que contêm de 4 até 10 classes, para os rasters de uso do solo dos anos de 2002, 2012 e 2021. A primeira reclassificação gerada foi a de 4 classes, sendo elas a de Floresta, Área Urbanizada, Rio, Lago e Oceano e Outros (que são as demais classes agrupadas), como mostra na Tabela 2. O critério utilizado para separar as classes a cada reclassificação foi a área, ou seja, a classe com a maior área foi separada e reclassificada, e todas as reclassificações feitas com todas as suas classes correspondentes podem ser vistas na Tabela 2.

Tabela 2 - Novas reclassificações para a Lagoa da Conceição e suas respectivas classes.

| 4 classes | 5 classes | 6 classes | 7 classes | 8 classes | 9 classes | 10 classes |
|--------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Floresta | Floresta | Floresta | Floresta | Floresta | Floresta | Floresta |
| Área Urbanizada | Área Urbanizada | Área Urbanizada | Área Urbanizada | Área Urbanizada | Área Urbanizada | Área Urbanizada |
| Rio, Lago e Oceano | Rio, Lago e Oceano | Rio, Lago e Oceano | Rio, Lago e Oceano | Rio, Lago e Oceano | Rio, Lago e Oceano | Rio, Lago e Oceano |
| Outros | Agricultura | Agricultura | Agricultura | Agricultura | Agricultura | Agricultura |
| | Outros | Outras Áreas não Vegetadas | Outras Áreas não Vegetadas | Outras Áreas não Vegetadas | Outras Áreas não Vegetadas | Outras Áreas não Vegetadas |
| | | Outros | Praia, Duna e Areal | Praia, Duna e Areal | Praia, Duna e Areal | Praia, Duna e Areal |
| | | | Outros | Restinga | Restinga | Restinga |
| | | | | Outros | Silvicultura | Silvicultura |
| | | | | | Outros | Pastagem |
| | | | | | | Outros |

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Outra análise feita com a sensibilidade do plugin foram os diferentes modos de usar as variáveis explicativas. Cada reclassificação foi rodada de duas maneiras diferentes: primeiramente só com a variável de declividade, que foi a que apresentou mais mudanças nas classes dentre todas as variáveis; e depois com as variáveis de declividade, distância de drenagens e distância de estradas juntas, que foram as três

que o MOLUSCE demonstrou maior sensibilidade. Foi feito dessa maneira pois algumas reclassificações tiveram a maior parte de suas classes sem mudanças quando usadas as três variáveis juntas, porém mostraram mudanças significativas somente com a variável de declividade.

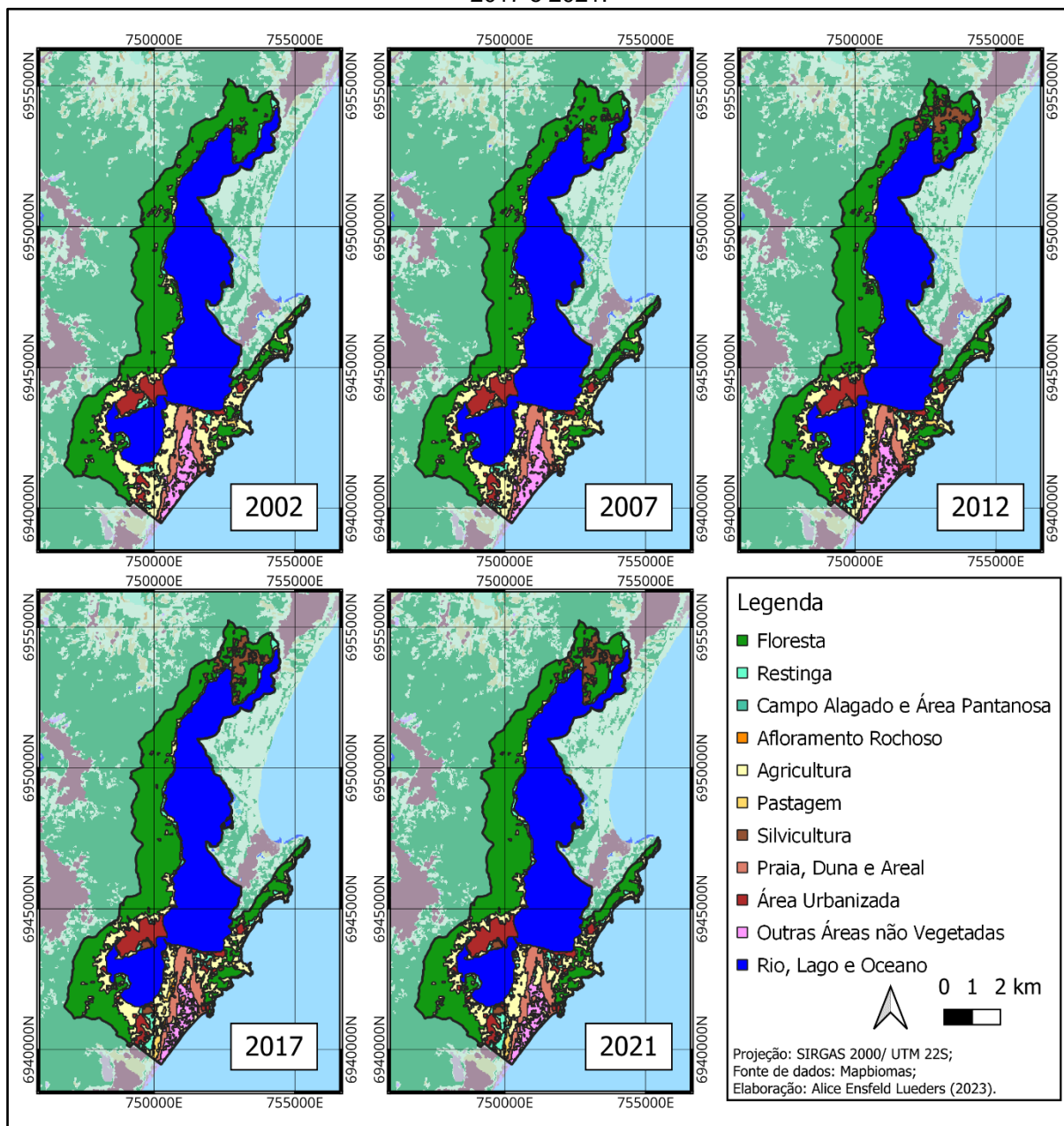
Ao final das análises de sensibilidade, todos os resultados gerados no MOLUSCE foram as simulações para os anos de 2022, 2032, 2042, 2052, 2062 e 2072 para os rasters de 4 a 11 classes.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 MAPEAMENTO DO USO DA TERRA

Após os estudos e as análises feitas ao longo da pesquisa, pode-se observar que a ocupação urbana na bacia da Lagoa da Conceição cresceu ao longo dos anos de 2002 a 2021, como mostra a Figura 4, que apresenta os mapas de uso da terra da área de estudo. A mudança mais perceptível é na porção norte do distrito, onde a Silvicultura, em marrom, avançou sobre as áreas de Floresta, em verde, principalmente a partir do mapa de 2012, tomando conta da região do Rio Vermelho. As áreas de Floresta a oeste da laguna encontram-se pouco modificadas, por serem principalmente morros e terem uma amplitude de altimetria considerável entre o nível do mar e o ponto mais alto. Mais ao sul do distrito encontram-se as regiões com mais Área Urbanizada, em vermelho, e também com maior mistura de classes. Percebe-se o crescimento da urbanização no extremo sul do distrito, comparando o mapa de 2002 com o de 2021, e também na região da Avenida das Rendeiras e nas ruas perpendiculares. A Restinga, por sua vez, teve sua área diminuída e aumentada em diferentes lugares, juntamente com as demais classes.

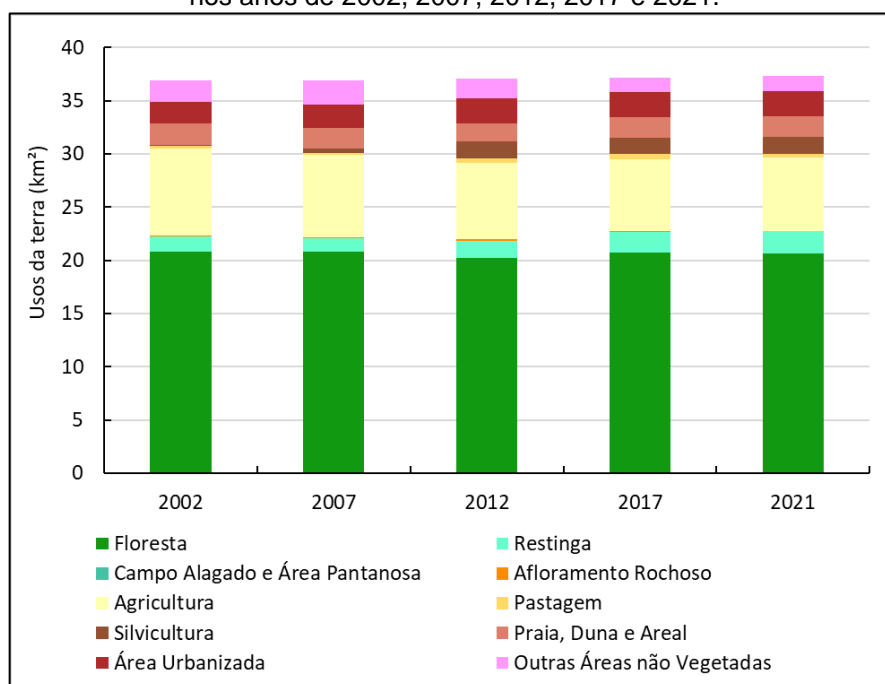
Figura 4 - Mapas de uso do solo do distrito da Lagoa da Conceição, nos anos de 2002, 2007, 2012, 2017 e 2021.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Analisando os produtos, notou-se a predominância de Floresta em todos os anos estudados, com mais de 20 km², conforme a Figura 5. Porém, nesta figura não é tão aparente o crescimento de cada uso ao longo dos anos, portanto o enfoque foi maior nas classes de Floresta, Restinga e Área Urbanizada, resultando nas Figuras 6, 7, e 8, com as três classes juntas e também separadas.

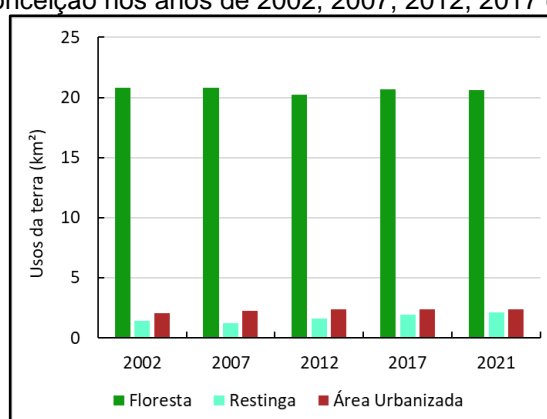
Figura 5 - Área, em km², das respectivas classes de uso da terra no distrito da Lagoa da Conceição nos anos de 2002, 2007, 2012, 2017 e 2021.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Pode ser observado na Figura 6 que a área da Floresta é bem maior do que as de Restinga e de Área Urbanizada, mas ainda assim não é perceptível o crescimento e redução de cada uma.

Figura 6 - Área, em km², das classes de Floresta, Restinga e Área Urbanizada no distrito da Lagoa da Conceição nos anos de 2002, 2007, 2012, 2017 e 2021.

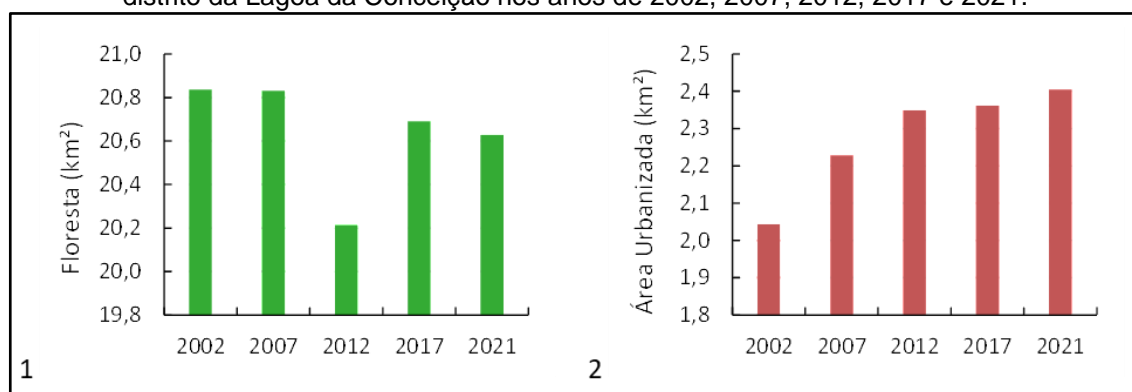


Fonte: Elaborado pela autora (2023).

A área de Floresta na Lagoa da Conceição decaiu ao longo dos anos, como pode-se observar na Figura 7.1, passando de 20,84 km² em 2002 para 20,63 km² em 2021, marcado provavelmente por causa do avanço da Silvicultura na porção norte do

distrito. No ano de 2012 houve, por questões de escala do gráfico, o que pareceu uma queda brusca e acentuada, porém na realidade ela representa menos de 1 km². Já na Área Urbanizada, segundo a Figura 7.2, percebe-se um crescimento constante da urbanização de 2002 até 2021, como visto anteriormente na porção mais ao sul do distrito, tendo aumentado de 2,04 km² em 2002 para 2,40 km² em 2021.

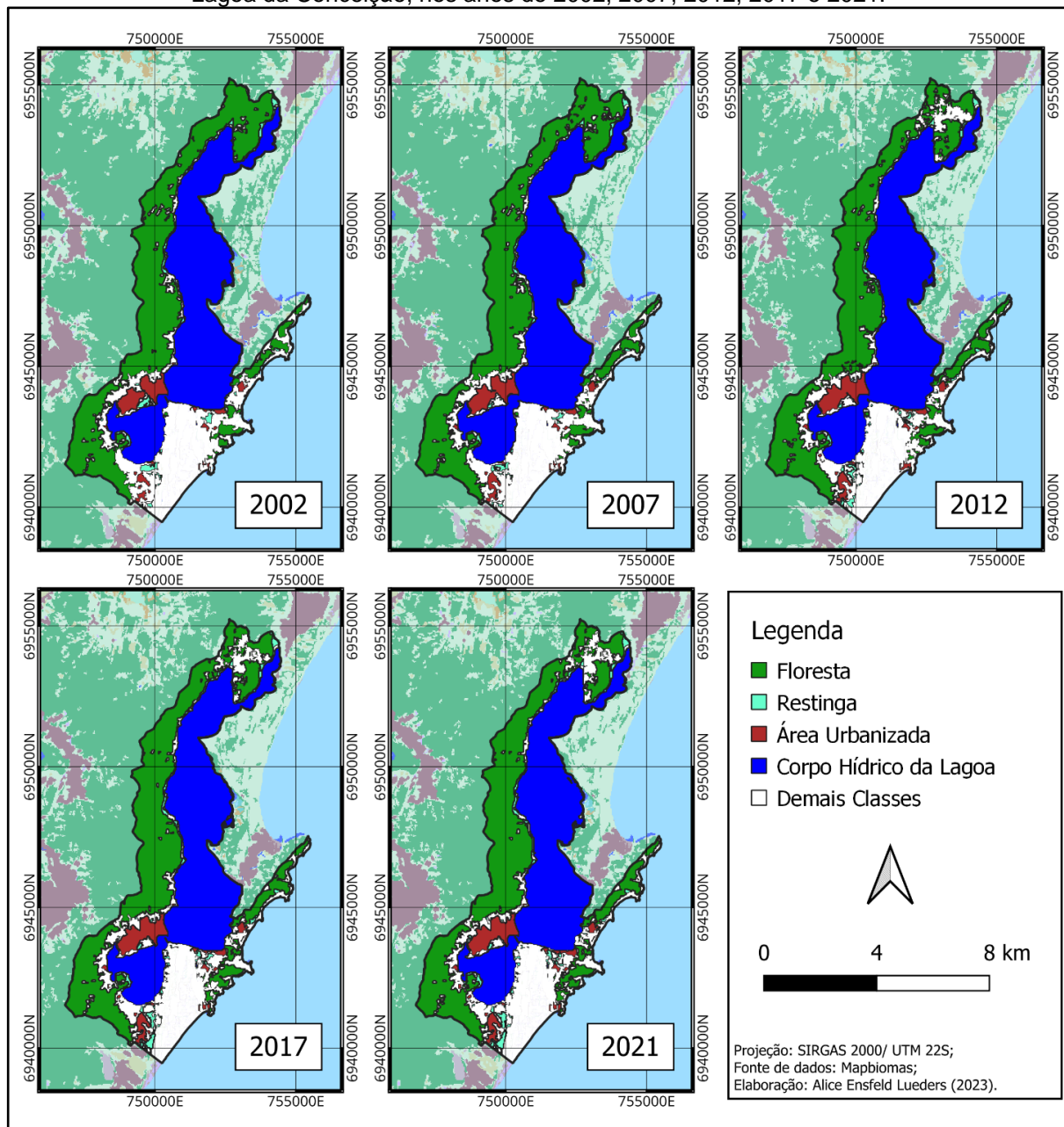
Figura 7 - Área, em km², das classes de Floresta (Figura 7.1) e de Área Urbanizada (Figura 7.2) no distrito da Lagoa da Conceição nos anos de 2002, 2007, 2012, 2017 e 2021.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

No mapa da Figura 8, estão presentes em destaque as classes de Floresta, de Área Urbanizada e de Restinga, correspondente ao gráfico da Figura 6. Nele percebem-se algumas áreas de Floresta e Restinga sendo substituídas pelas demais classes (em branco) nas porções norte e sul. Além disso, a Área Urbana também avança, principalmente no extremo sul do distrito, por conta do crescimento imobiliário e da construção de diversas residências e comércio na região.

Figura 8 - Mapas de uso do solo das classes de Floresta, Restinga e Área Urbanizada do distrito da Lagoa da Conceição, nos anos de 2002, 2007, 2012, 2017 e 2021.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

A Tabela 3 mostra a área, em km², das classes de Floresta, Restinga e Área Urbanizada ao longo dos anos utilizados. A Tabela 4 mostra o número de moradores no distrito da Lagoa da Conceição e em Florianópolis nos anos 2000 e 2010 e o crescimento entre os dois anos.

Tabela 3 - Área, em km², das classes de Floresta, Restinga e Área Urbanizada no distrito da Lagoa da Conceição nos anos de 2002, 2007, 2012, 2007 e 2021.

| | Floresta | Restinga | Área Urbanizada |
|------|--------------|-------------|-----------------|
| 2002 | 20,84 | 1,44 | 2,04 |
| 2007 | 20,83 | 1,25 | 2,23 |
| 2012 | 20,21 | 1,63 | 2,35 |
| 2017 | 20,69 | 1,95 | 2,36 |
| 2021 | 20,63 | 2,12 | 2,40 |

Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do MapBiomias (2023).

Tabela 4 - Número de moradores e seu crescimento, em porcentagem, no distrito da Lagoa da Conceição e em Florianópolis, nos anos de 2000 e 2010.

| | 2000 | 2010 | Crescimento |
|--------------------|----------------|----------------|-------------|
| Florianópolis | 342.315 | 421.240 | 23% |
| Lagoa da Conceição | 9.849 | 11.811 | 20% |

Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do IBGE (2023). (Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/202#/n6/4205407/n10/420540725/v/allxp/p/last%20/c2/0/c1/0//v,p+c2,t+c1/resultado>)

O IBGE ainda não disponibilizou os dados do Censo de 2022 por distrito, mas pode ser observado na Tabela 4 que a população da Lagoa da Conceição aumentou de 2002 até 2010, com crescimento de 20%, semelhante a tendência observada em Florianópolis. Isso é demonstrado também na Tabela 3, com o aumento da área urbanizada de 2,04 km² em 2002 para 2,35 km² em 2012.

Com essas análises, é notável que os lugares onde havia Floresta diminuíram ao longo dos anos. Uma hipótese para isso ter acontecido é pelo aumento da atividade e ocupação antrópica na área, com apropriação dos espaços em que esse tipo de vegetação estava presente. Este fato pode ser percebido pela relação entre o aumento da população do distrito (pelos dados do IBGE) e o aumento da área urbanizada (pelos dados do MapBiomias). Também percebe-se uma mudança no plano diretor da área, como analisado anteriormente, no qual alguns lugares inicialmente classificados como APP e APL no plano de 1997, deixaram de ser no plano de 2014, permitindo a maior urbanização da área.

4.2 SIMULAÇÕES COM AS VARIÁVEIS EXPLICATIVAS E A VARIAÇÃO DE TEMPO

Após testar as variáveis explicativas com os rasters de uso da terra dos anos de 2002 e 2012, observou-se que as variáveis de declividade, distância de estradas e distância de drenagem foram as que apresentaram diferenças em mais classes. Por

meio das simulações para 2022 e 2032 usando as variáveis individualmente, chegou-se aos resultados em porcentagem da diferença entre as simulações que cada classe apresentou nesses dois anos, como observa-se na Tabela 5. Percebe-se que, de 11 classes no total, as variáveis de altimetria e MDT não apresentaram mudanças em 6 e 9 classes, respectivamente. Por outro lado, as variáveis de declividade e de distância das drenagens não apresentaram mudanças somente em 3 classes, e a variável de distância de estradas não mudou em apenas 1.

Tabela 5 - Diferença, em porcentagem, que cada classe apresentou para cada variável explicativa entre as simulações de 2022 e 2032.

| | Altimetria | MDT | Declividade | Drenagem | Estradas |
|----------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Floresta | -0,0136 | -0,0015 | 0 | 0,4220 | 1,4399 |
| Restinga | -0,0015 | 0 | -0,0076 | 0,0454 | -0,2163 |
| Campo | | | | | |
| Alagado e Área Pantanosa | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Afloramento Rochoso | 0 | 0 | -0,003 | -0,0015 | -0,0076 |
| Agricultura | -0,0121 | 0,0015 | -0,0771 | -0,4734 | -0,5067 |
| Pastagem | -0,0015 | 0 | 0 | 0,0106 | -0,1482 |
| Silvicultura | 0,0287 | 0 | -0,0030 | 0,0060 | -0,0892 |
| Praia, Duna e Areal | 0 | 0 | -0,1633 | 0 | -0,2178 |
| Área Urbanizada | 0 | 0 | -0,0166 | 0 | -0,1437 |
| Outras Áreas não Vegetadas | 0 | 0 | 0,2768 | -0,0015 | -0,0892 |
| Rio, Lago e Oceano | 0 | 0 | -0,0060 | -0,0076 | -0,0106 |

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

O intervalo de tempo de 10 anos foi o escolhido para ser utilizado nas simulações, pois o de 5 anos apresentou pouca diferença das classes entre os anos. Isso indica a possibilidade de o MOLUSCE ser pouco sensível a intervalos de tempo menores. É possível observar isso a partir da análise da Tabela 6, na qual o intervalo de 5 anos não apresentou mudanças em 7 classes, enquanto o intervalo de 10 anos não apresentou em somente 3 classes.

Tabela 6 - Diferença, em porcentagem, que cada classe apresentou para cada intervalo de tempo entre as simulações de 2022 e 2032.

| | 2022-2032 | |
|--------------------------------|----------------------|-----------------------|
| | 5 anos (2002 e 2007) | 10 anos (2002 e 2012) |
| Floresta | 0,0030 | 0 |
| Restinga | -0,0015 | -0,0076 |
| Campo Alagado e Área Pantanosa | 0 | 0 |
| Afloramento Rochoso | 0 | -0,0030 |
| Agricultura | -0,0030 | -0,0071 |
| Pastagem | 0 | 0 |
| Silvicultura | 0,0015 | -0,0030 |
| Praia, Duna e Areal | 0 | -0,1633 |
| Área Urbanizada | 0 | -0,0166 |
| Outras Áreas não Vegetadas | 0 | 0,2768 |
| Rio, Lago e Oceano | 0 | -0,0060 |

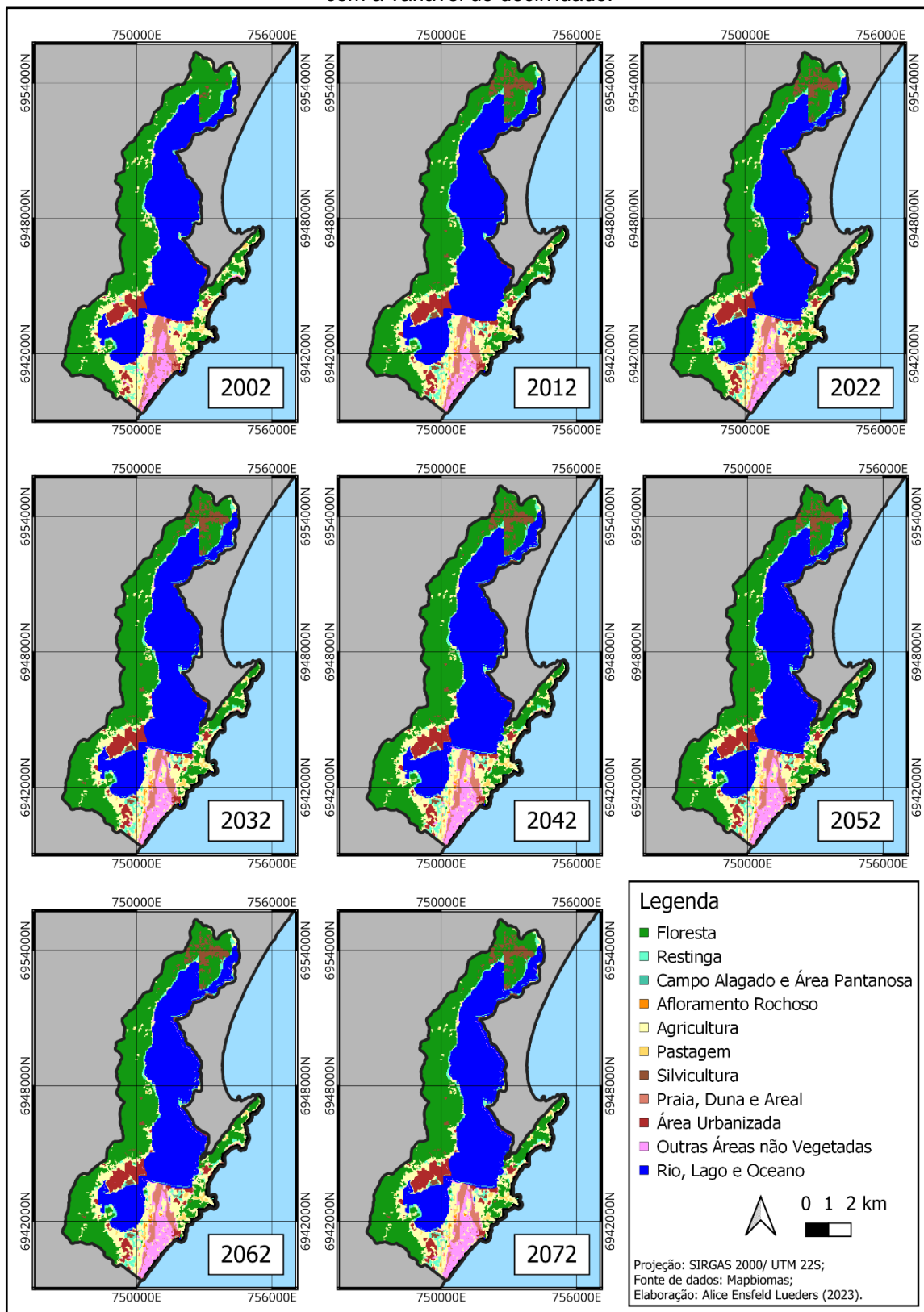
Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Assim, foram feitas as simulações apenas com os mapas de 2002 e 2012, com o intervalo de 10 anos, pois a simulação de 2022 poderia ser comparada com o raster de 2021 do MapBiomias para fazer a validação. Caso fossem utilizados os mapas de 2007 e 2017, a primeira simulação seria de 2027, e não teria um raster do MapBiomias para fazer a validação.

4.3 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

As primeiras análises foram feitas com a reclassificação inicial de 11 classes, e as suas simulações que apresentaram mais sensibilidade foram rodadas somente com a variável de declividade. Isso está representado na Figura 9, pelo conjunto de mapas de 2002 e 2012 do MapBiomias, e pelas simulações feitas no MOLUSCE para os anos de 2022, 2032, 2042, 2052, 2062 e 2072. A partir da visualização dos mapas, nota-se uma pequena expansão e diminuição das classes que seguem o mesmo padrão das análises feitas a partir dos mapas do MapBiomias descritos anteriormente, porém muito menos perceptíveis.

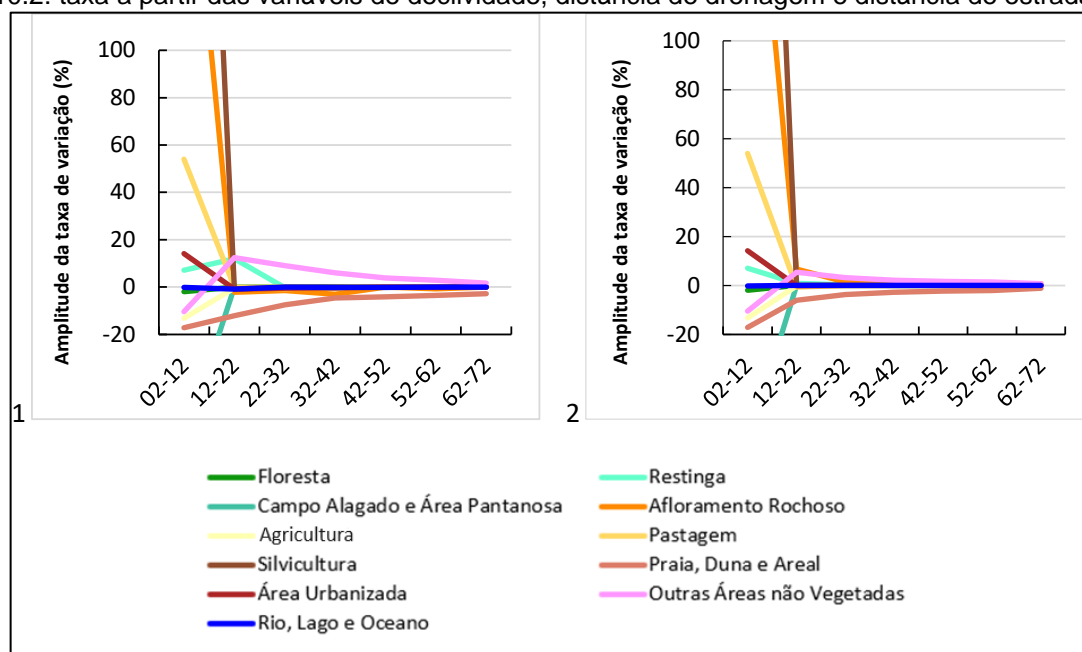
Figura 9 - Mapas de uso do solo de 2002 e 2012 e previsão de uso do solo futuro do distrito da Lagoa da Conceição, nos anos de 2022, 2032, 2042, 2052, 2062 e 2072, feito a partir de 11 classes e com a variável de declividade.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

A visualização das diferenças é muito mais notável nas tabelas do que nos mapas, e mesmo assim as mudanças são mínimas, chegando a menos de 1km². As maiores mudanças apresentadas foram entre 2002 e 2012 (dados observados), com o crescimento de mais que o dobro em algumas classes, como a de Silvicultura, ao comparar-se os dois anos. Utilizando as simulações do MOLUSCE como base, após 2012 os crescimentos e as diminuições chegaram a 12% comparados aos anos anteriores. Isso pode ser observado nos gráficos da Figura 10, na qual a Figura 10.1 demonstra a taxa de crescimento da área comparada ao ano anterior das simulações usando somente a variável de declividade, enquanto na Figura 10.2 são utilizadas as variáveis de declividade, distância de drenagem e distância de estradas. Nos gráficos, as classes de Silvicultura, de Afloramento Rochoso e de Campo Alagado e Área Pantanosa foram minimamente cortadas a fim de obter-se uma melhor visualização das pequenas mudanças das outras classes. Nas Figuras 10.1 e 10.2, entre os anos de 2002 e 2012, a classe de Silvicultura cresceu 452,5%, a classe de Afloramento Rochoso cresceu 219% e a de Campo Alagado e Área Pantanosa decresceu 65%.

Figura 10 - Gráficos da taxa de crescimento da área de cada classe comparada ao ano anterior analisado, a partir das 11 classes iniciais. Figura 10.1: taxa a partir da variável de declividade; Figura 10.2: taxa a partir das variáveis de declividade, distância de drenagem e distância de estradas.



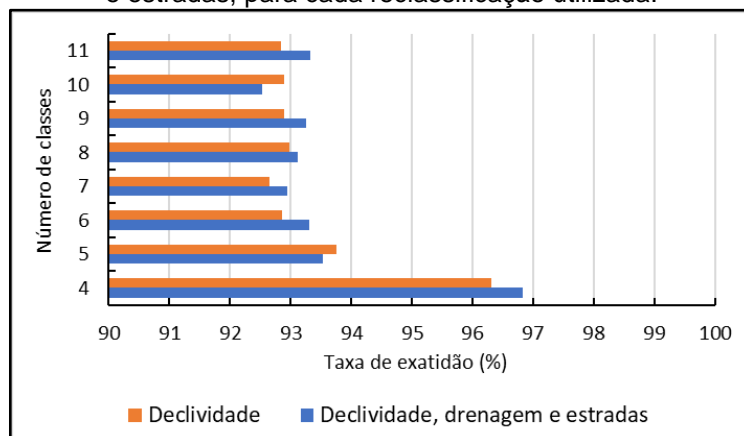
Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Os gráficos são semelhantes, mas é possível reparar nas tabelas produzidas que a maioria das classes na Figura 10.2 não sofreram alterações nas simulações

feitas a partir de 2022, exceto as de Afloramento Rochoso, de Praia, Duna e Areal e de Outras Áreas não Vegetadas. A classe de Floresta, por exemplo, permaneceu em 20,56 km² e a Área Urbana permaneceu com 2,16 km², durante 50 anos de simulações, algo pouco provável de acontecer. Por outro lado, na Figura 10.1, somente as classes de Floresta e de Campo Alagado e Área Pantanosa não sofreram alteração. A classe de Área Urbana, por exemplo, foi a que mais teve diferença na taxa e, segundo o gráfico, de 2012 para 2022, a área da classe diminuiu 12%, enquanto de 2062 para 2072 ela diminuiu quase 3%. Isso demonstra que os cálculos e previsões feitos somente com a variável de declividade foram mais sensíveis e mostraram mais resultados do que os feitos com as três variáveis (de declividade, distância de drenagem e distância de estradas).

A partir dos resultados das demais reclassificações, nota-se que não houve uma padronização das variáveis mais sensíveis. Com o uso das variáveis de declividade, distância de drenagem e distância de estradas, as simulações que apresentaram mudanças em mais classes foram as de 5, 6, 7 e 10 classes. As simulações que levaram somente a variável de declividade em consideração apresentaram mudanças em mais classes nas reclassificações de 4, 7, 8 e 9 classes. Em ambos os usos das variáveis, o kappa permaneceu acima de 90%, inclusive para todas as reclassificações, como é mostrado na Figura 11. Em todas as reclassificações e variáveis, a estatística fica entre 92 e 94%, com exceção da reclassificação de 4 classes, que sobe para 96%. Percebe-se que à medida que se inserem classes nas reclassificações, o kappa segue a tendência das anteriores. Isso demonstra que as simulações de 2022, comparadas com os usos da terra do MapBiomias de 2021, possuem uma boa taxa de exatidão.

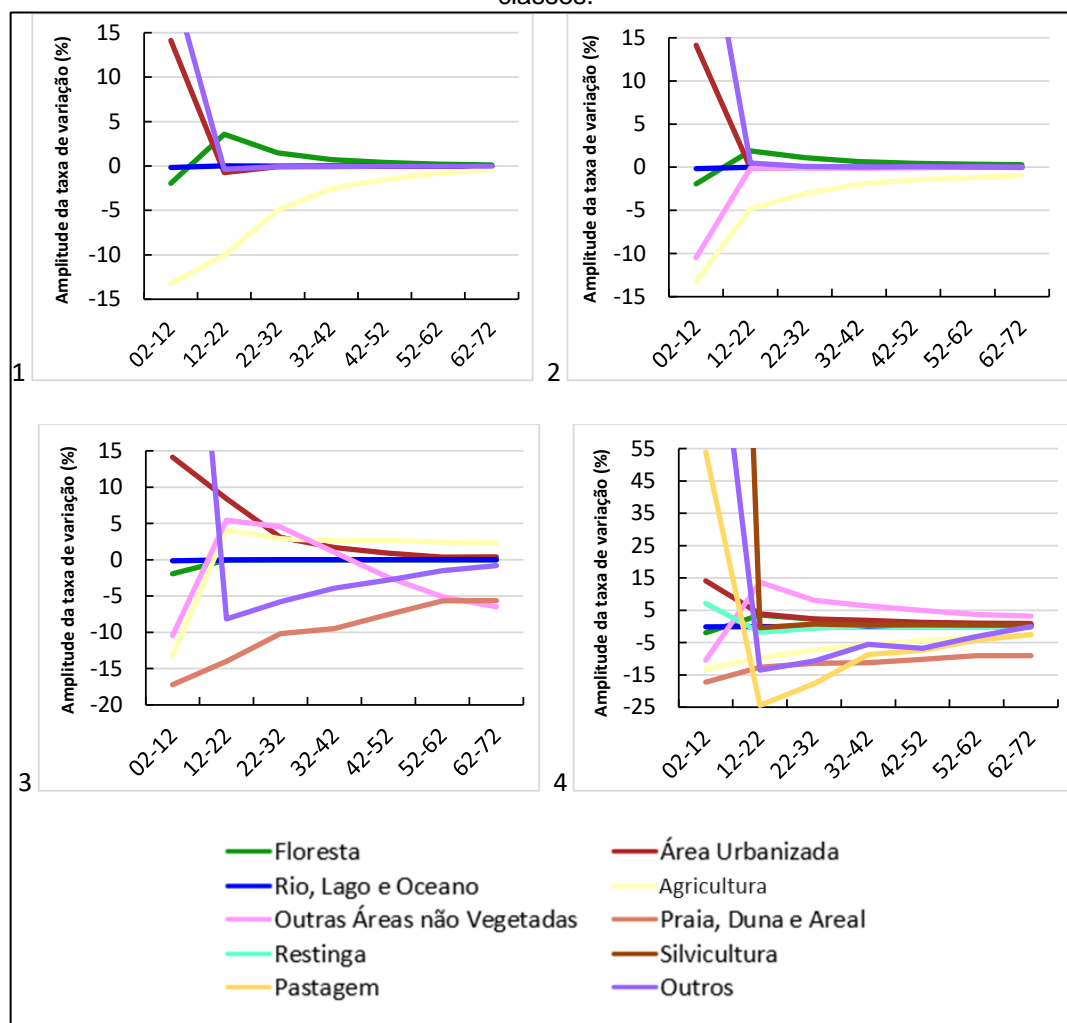
Figura 11 - Índices Kappa, em porcentagem, das variáveis de declividade e de declividade, drenagem e estradas, para cada reclassificação utilizada.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Na Figura 12, podemos ver os gráficos gerados a partir das simulações rodadas com as variáveis de declividade, distância de drenagem e distância de estradas. Neles também foram adequadas a escala do eixo da taxa de crescimento para melhor visualização, como a classe de Outros nas Figuras 12.1, 12.2 e 12.3, e as classes de Outros e de Silvicultura na Figura 12.4.

Figura 12 - Gráficos da taxa de crescimento da área de cada classe comparada ao ano anterior analisado, a partir das variáveis de declividade, distância de drenagem e distância das estradas. Figura 12.1: taxa da reclassificação de 5 classes; Figura 12.2: taxa da reclassificação de 6 classes; Figura 12.3: taxa da reclassificação de 7 classes; Figura 12.4: a taxa da reclassificação de 10 classes.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Um aspecto que chama a atenção nos gráficos da Figura 12 e nas tabelas com as informações base desses gráficos, foi a perda de área da classe de Área Urbanizada, ocorrida em duas das quatro reclassificações utilizadas. Entre 2002 e 2012 ela cresceu quase 15% para as quatro reclassificações, porém, para as simulações com 5 e 6 classes (Figuras 12.1 e 12.2, respectivamente), a porcentagem fica negativa. Isso indica que a área decresceu entre os anos de 2012 e 2022 (de 2,17 foi para 2,15 km² na Figura 12.1; e de 2,17 foi para 2,16 km² na Figura 12.2) e permanece decrescendo até estabilizar.

Outra observação importante foi que a área da classe de Floresta aumentou nas reclassificações de 5 e 6 e também na de 10 classes, a partir de 2022. Segundo

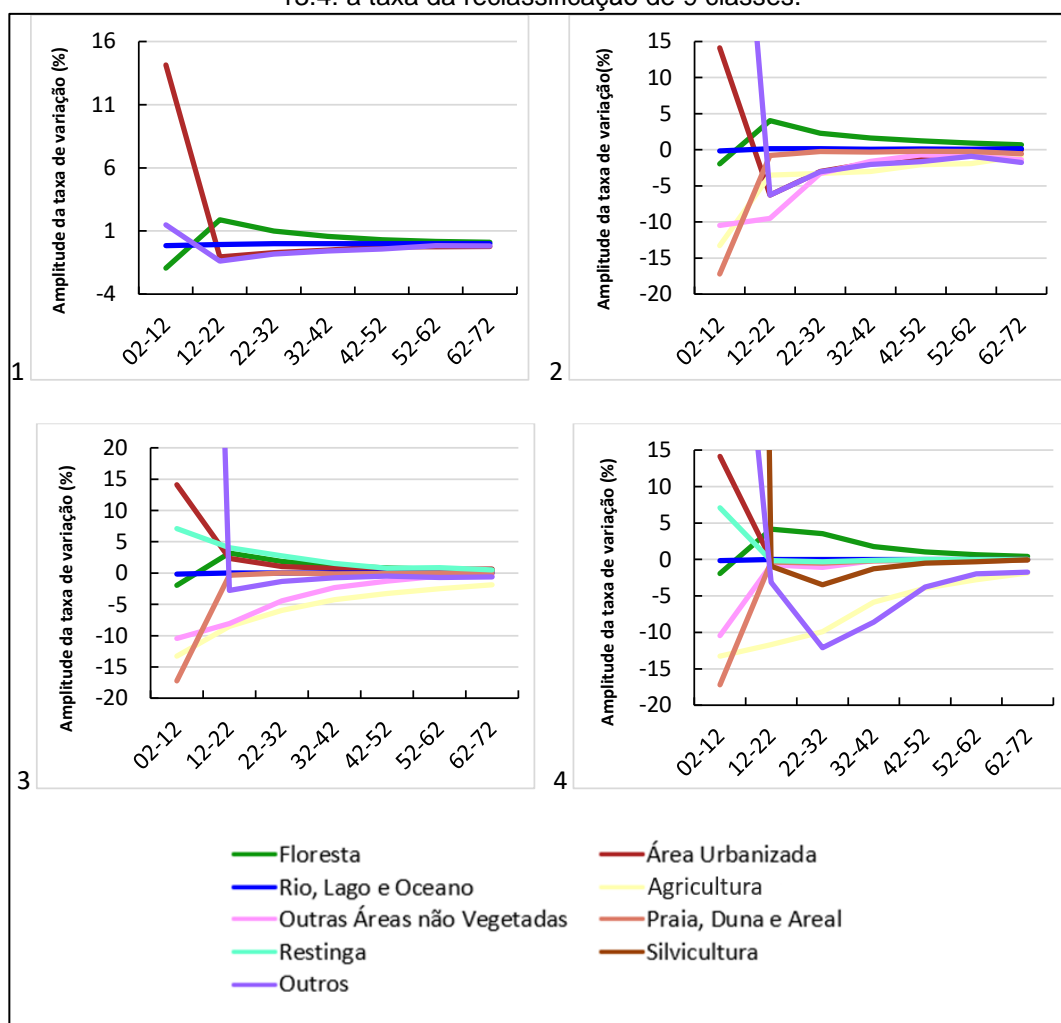
os dados do MapBiomas, em 2012, ela diminuiu 2% comparado com 2002, e comparando 2022 com 2012, por meio das simulações feitas pelo MOLUSCE, sua área cresceu 3,6%, 1,9% e 3,5% nas reclassificações das Figuras 12.1, 12.2 e 12.4, respectivamente. Esses resultados podem ser incomuns quando se trata de crescimento de cidades e o meio urbano, e acabaram gerando dúvidas em relação ao funcionamento do plugin utilizado, pois na maioria das vezes a área urbana cresce em detrimento das áreas verdes.

A única reclassificação que utilizou as três variáveis e não apresentou os aspectos citados nos dois últimos parágrafos foi a da Figura 12.3, de 7 classes, que resultou em um cenário mais parecido com a provável realidade. Nele, a área urbanizada se expande desde 2002 (com os dados do MapBiomas) até 2072 (com as simulações do MOLUSCE) e, apesar de haver uma diminuição desta expansão ao longo do tempo, em nenhum momento houve um decréscimo, caracterizado pelo aparecimento de uma porcentagem negativa.

O contrário acontece com a classe de Floresta, como observado na Figura 12.3, na qual a área de Floresta não aumenta em nenhum dos anos, apenas diminui, e por mais que diminua cada vez menos, assim como a classe de Área Urbanizada, permanece sem crescimento. Além disso, outra característica perceptível é que a classe de Praia, Duna e Areal, nas Figuras 12.3 e 12.4, na simulação de 2022 também tem sua área diminuída em relação ao ano anterior, em 14% e em 12,6%, respectivamente, e nas simulações seguintes segue perdendo área. Nas Figuras 12.1, 12.2 e 12.4, a área da classe de Agricultura apenas diminuiu, enquanto que na Figura 12.3 essa e as demais classes, bem como todas as outras classes nos outros gráficos, apresentaram crescimentos e decréscimos ao longo dos anos, sem um certo padrão.

Na Figura 13, estão representados os gráficos produzidos pelas simulações em que somente a variável de declividade foi utilizada. Nestes houve também um pequeno corte da classe de Outros nas Figuras 13.2 e 13.3 e das classes de Outros e de Silvicultura na Figura 13.4.

Figura 13 - Gráficos da taxa de crescimento da área de cada classe comparada ao ano anterior analisado, a partir da variável de declividade. Figura 13.1: taxa da reclassificação de 4 classes; Figura 13.2: taxa da reclassificação de 7 classes; Figura 13.3: taxa da reclassificação de 8 classes; Figura 13.4: a taxa da reclassificação de 9 classes.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Nas análises desse teste também foram observados os padrões incomuns das classes de Floresta e de Área Urbanizada, muito parecidos com os casos da Figura 12. Porém agora, todas as reclassificações usadas com a variável de declividade apresentaram um aumento da área de Floresta em todos os anos. Somente a reclassificação de 8 classes (da Figura 13.3) apresentou um aumento da área de Área Urbanizada, enquanto as outras 3 reclassificações apresentaram uma diminuição.

Assim como nas simulações com três variáveis, nas simulações somente com a de declividade, a classe de Praia, Duna e Areal também apresentou uma diminuição de sua área, como também demonstrado pela taxa de crescimento negativa, em todos as reclassificações em que ela estava como uma classe separada, ou seja, nas

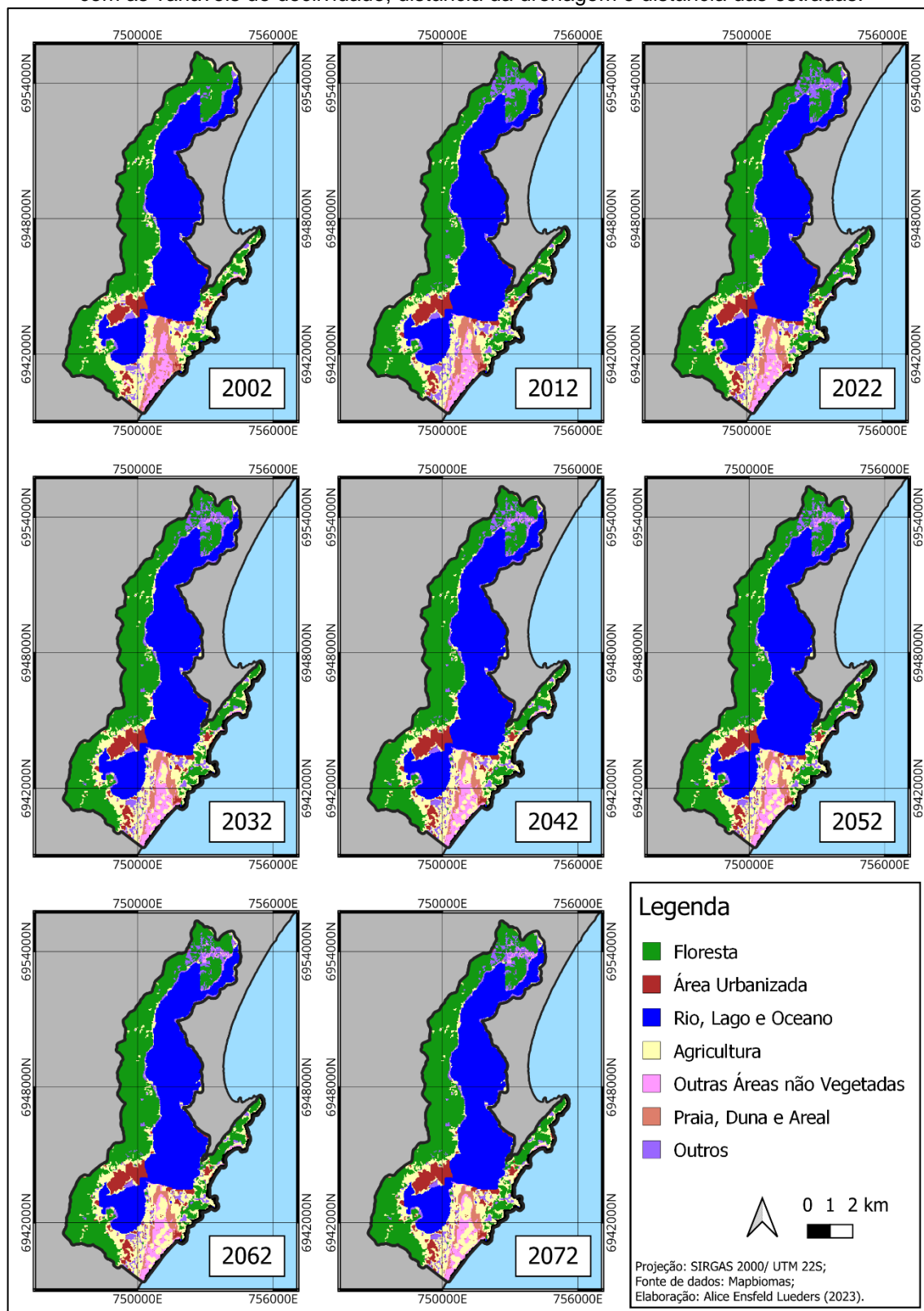
Figuras 13.2, 13.3 e 13.4. Ela parte de 0,8% na Figura 13.2 e segue diminuindo até chegar perto de zero. Isso aconteceu também com a classe de Agricultura, enquanto que as outras classes não apresentaram mudanças ou padrões muito relevantes e sofreram alterações de aumento e diminuição de área ao longo dos anos.

Dos 10 gráficos apresentados (nas Figuras 10, 12 e 13), alguns foram descartados das análises e discussões mais profundas sobre os resultados. Essa decisão foi tomada pois esses gráficos apresentaram muitas classes sem mudanças ao longo dos anos simulados. Além disso, as poucas mudanças ocorridas geralmente não seguiram algum padrão, em vez disso aumentaram e diminuíram a área ao longo dos anos.

Com a reclassificação inicial, a mesma dos mapas de uso da terra, com 11 classes, o melhor resultado foi o produzido somente com a variável de declividade. Com as reclassificações posteriores, separando e aglutinando classes, a simulação com 7 classes e três variáveis foi a única que apresentou a diminuição da Floresta e o aumento da Área Urbanizada, o que condiz mais com os mapas de uso e cobertura da terra para os anos de 2002, 2007, 2012, 2017 e 2021, apresentados na Figura 4. Além disso, também condiz com os gráficos da Figura 5, produzidos a partir dos mapas da Figura 4, e com o que já foi colocado anteriormente sobre as políticas de ordenação territorial, como os Planos Diretores.

Com isso, pode-se presumir que esse número de classes, combinado com as variáveis usadas, apresenta maior sensibilidade no plugin. A Figura 14 mostra a série de mapas da reclassificação com 7 classes, feitos com os resultados gerados a partir do MapBiomas para os anos de 2002 e 2012, e pelo MOLUSCE para os anos de 2022, 2032, 2042, 2052, 2062 e 2072.

Figura 14 - Mapas de uso do solo de 2002 e 2012 e previsão de uso do solo futuro do distrito da Lagoa da Conceição, nos anos de 2022, 2032, 2042, 2052, 2062 e 2072, feito a partir de 7 classes e com as variáveis de declividade, distância da drenagem e distância das estradas.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Uma análise marcante presente nos mapas da Figura 14 é o avanço da Agricultura sobre a classe de Outras Áreas não Vegetadas e de Praia, Duna e Areal, que nos dias atuais é onde se encontra o Parque Natural Municipal das Dunas da Lagoa da Conceição. O plugin pode simular essa ocupação por causa da dinâmica comum entre essas três classes, na qual as áreas agrícolas e de pastagens avançam sobre terrenos sem ocupação urbana, que são comumente áreas de restingas e dunas. Além disso, as diferenças de outras classes não são muito visíveis pelos mapas, por apresentarem mudanças de menos de 1 km².

A expansão urbana da Lagoa da Conceição é algo que vem acontecendo ao longo dos anos. Uma das hipóteses é que ela esteja avançando para áreas de Floresta, Restinga, Dunas, e outras áreas supostamente preservadas e protegidas. Enquanto estas áreas diminuem de tamanho e somem do mapa, a urbanização e as áreas construídas avançam e conquistam cada vez mais espaço.

Porém, apesar de esse ter sido o único resultado que apresentou tal concordância com aqueles gerados a partir dos dados do MapBiomas, os demais não podem ser descartados de análises. Uma possibilidade para o plugin do MOLUSCE ter gerado tantas vezes uma diminuição na classe de Área Urbanizada, é ele ter interpretado que as áreas mais possíveis e prováveis para se construir já houvessem sido ocupadas. Sendo assim, não sobraram muitos outros espaços para onde expandir a malha urbana, fazendo com que haja uma tendência a sua diminuição.

A Lagoa da Conceição apresenta muitas APPs nos morros, e pode ser que o plugin tenha considerado essas áreas a partir principalmente da declividade, e não tenha simulado o avanço da urbanização em direção a elas. Outra possível explicação para esse comportamento incomum do plugin é a de que ele tenha sido afetado pela complexidade do local, visto que Lagoa da Conceição é uma região com muita mescla de usos do solo, com um grande corpo lagunar, áreas de APPs, encostas declivosas e dunas em uma mesma área de quase 54 km².

Existem também outros fatores que podem afetar a sensibilidade do MOLUSCE e resultar em simulações incorretas, como uma grande quantidade de classes diferentes próximas umas às outras ou algumas classes ficarem muito separadas em pequenas áreas. Pode ser que, tanto uma reclassificação com muitas classes, quanto uma com poucas, não permita que o plugin tenha um bom panorama de como

funciona a área, além de que talvez as variáveis possam não ter ajudado tanto, ocasionando a geração de muitos resultados despadronizados.

Há muitas possibilidades para o que pode ter acontecido, mas o que ficou evidente é que é necessário um maior aprimoramento com o plugin a partir da elaboração de mais testes de variáveis e de possibilidades de reclassificação. Da mesma forma, também podem ser feitos testes em outras áreas de estudo por meio da análise de sensibilidade do MOLUSCE, para só então encontrar as melhores maneiras de usá-lo na previsão da urbanização futura e no auxílio em planejamentos de cidade, por exemplo.

Por fim, uma última observação que se sobressaiu tem relação com os gráficos gerados nas Figuras 10, 12 e 13, os quais mostram uma tendência de estabilização para todas as classes. Em todos os gráficos, independentemente se as porcentagens começam negativas ou positivas, e em qualquer valor, as classes aproximam-se do zero ao longo das décadas simuladas. Em outras palavras, a mudança entre um ano e outro diminui até chegar a 0% de diferenças, ou muito próximo a isso, resultando na estabilização de todas as classes. Mas isso parece acontecer mais rápido, segundo os gráficos, com as reclassificações com menos classes, indicando que quanto mais classes se tem no estudo, e na área de estudo, mais tempo vai levar para elas se estabilizarem.

Esse fenômeno pode ter acontecido pois o MOLUSCE analisou uma possível falta de espaço para as classes se expandirem e/ou diminuírem, portanto, ao longo dos anos houve essa tendência de as classes permanecerem como estão. É algo que foge um pouco dos dados concretos de uso do solo da região, visto que todos os anos as classes mudam um pouco. No entanto, não é algo impossível de acontecer, tendo em vista que as mudanças são muito pequenas quando comparadas à área total do distrito, às vezes menos de 1 km². Por isso, todas essas análises são possibilidades, e apesar de não se encaixarem com a atual realidade, precisam ser estudadas mais a fundo para que seja possível pensar em jeitos de aprimorar as simulações, a fim de que tenham resultados mais reais e úteis para planejamentos e manejos mais avançados.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho buscou analisar a problemática da urbanização dentro de uma área de estudo, que foi o distrito da Lagoa da Conceição, que sofreu ao longo dos anos com um avanço de áreas urbanas sobre áreas verdes. A partir do mapeamento do uso da terra da região para os anos de 2002, 2007, 2012, 2017 e 2021, com os dados do MapBiomas, pôde-se perceber um aumento, apesar de pequeno, da Área Urbanizada da região, principalmente na porção sul, enquanto a área de Floresta teve um decréscimo, visível principalmente pelo avanço de Silvicultura na porção norte.

Foram testados diferentes variáveis e métodos de utilização do MOLUSCE para uma melhor previsão de ocupação, porém os resultados foram inconclusivos, visto que as simulações feitas se tornaram muito diferentes do padrão visto a partir dos dados do MapBiomas. O resultado que mais se assemelhou e trouxe características parecidas com os dados de 2002 e 2012 foi a reclassificação com 7 classes, usando as variáveis de declividade, distância de drenagens e distância de estradas, mostrando um aumento da Área Urbanizada e uma diminuição da Floresta. Também foi percebida, em suas simulações, a tendência que todos os testes tiveram de as classes se estabilizarem ao longo do tempo, chegando em um momento em que não haverá mais trocas de usos da terra, e todos permanecerão sem grandes alterações.

Há décadas, as cidades vêm se urbanizando, e uma das consequências disso é o desmatamento e ocupação de áreas preservadas, importantes para o meio ambiente e para a própria relação do indivíduo com a natureza. Junto com a urbanização, a ciência e as tecnologias também avançam de uma maneira veloz, permitindo que as ferramentas SIG e o sensoriamento remoto colaborem para desenvolver cada vez mais trabalhos e estudos sobre formas de aprimoramento e utilização de ferramentas da área para a aplicação na realidade atual.

A Lagoa da Conceição é uma área que sofreu com essa urbanização acelerada, apesar de pequena, conforme os dados gerados, e parte das consequências disso são as áreas poluídas, incluso parte do corpo lagunar, e construções onde antes eram espaços verdes. Na região da Avenida das Rendeiras, por exemplo, estão estabelecidos locais de comércio, principalmente de restaurantes e bares, sem ter seu esgoto fiscalizado. Essa e outras consequências justificam a necessidade de pesquisas sobre a área e análises a partir de ferramentas que

auxiliem no planejamento futuro e melhor gestão do distrito da Lagoa da Conceição, aplicáveis também para outros distritos que sofrem com problemas semelhantes.

Por conta disso, no presente estudo foi analisado o crescimento urbano da área da Lagoa da Conceição e foram executados testes de performance em um plugin que objetiva simular o futuro da ocupação da terra. Dessa forma, foi possível entender um pouco mais sobre o funcionamento do MOLUSCE e a sua sensibilidade, o que pode trazer aporte para pesquisas futuras com ele e o seu aprimoramento para se encaixar nos objetivos de simulações com usos da terra.

O MOLUSCE é uma ferramenta que pode fornecer grandes contribuições para possíveis planos de manejo e planejamento urbano futuros, daí a importância de ser testado e aprimorado para entender melhor sua funcionabilidade. Pode ser utilizado para analisar áreas de risco, com suscetibilidade à inundação, por exemplo, a fim de averiguar para onde as pessoas se deslocaram e prever deslocamentos futuros com base nas mudanças que ocorreram ao longo do tempo. É de muita utilidade em diversos locais e situações, e o seu aprimoramento é necessário para promover pesquisas que auxiliem na execução de projetos e análises sobre os usos da terra.

Nesta pesquisa foram analisadas variáveis e modos de sensibilidade do plugin que melhor se encaixaram na área e nos objetivos do estudo, porém foram também pensadas outras configurações para pesquisas futuras. Uma possibilidade é realizar pesquisas com décadas anteriores do MapBiomas ou intervalos de tempo maiores, como por exemplo usar rasters de uso da terra de 1985 e 2015 como dados iniciais para o MOLUSCE. Outra possibilidade é checar a altimetria média da mancha urbana de 2002 a 2012, com o intuito de entender se ela manteve o mesmo nível médio ou se a urbanização da Lagoa da Conceição está subindo de altitude, e entender como isso se aplicaria no modelo para ele computar essas mudanças. Também é interessante a realização de pesquisas com o MOLUSCE em outros locais, com áreas maiores e/ou menos classes, com dinâmicas mais simples, possibilitando a geração de resultados mais promissores e precisos.

Os resultados apresentados apontam avanços no estudo do MOLUSCE e na análise dos usos da terra ao longo dos anos na Lagoa da Conceição. Eles são importantes para novas pesquisas que podem contribuir para o aperfeiçoamento do plugin e melhorar as análises sobre urbanização. A tendência das cidades é crescer e se urbanizar, mas o quanto antes percebermos que é necessário um bom

planejamento prévio desses avanços, menos desmatamentos, desequilíbrios da natureza e ocupações de risco precisarão acontecer para favorecer uma única classe.

REFERÊNCIAS

AMGOTH, A.; RANI, H.P.; JAYAKUMAR, K.V. Exploring LULC changes in Pakhal Lake area, Telangana, India using QGIS MOLUSCE plugin. **Spatial Information Research**, 31, 429–438. DOI: <https://doi.org/10.1007/s41324-023-00509-1>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s41324-023-00509-1#citeas>. Acesso em: ago. 2023.

BORGO, D. *et al.* Os padrões de distribuição dos peixes de uma laguna costeira aberta no Atlântico oeste subtropical são influenciados pelas variações espaciais e sazonais? **Biotemas**, v. 28, n. 3, p. 93-105, 2015. DOI <https://doi.org/10.5007/2175-7925.2015v28n3p93>. Disponível em <https://periodicos.ufsc.br/index.php/biotemas/article/view/2175-7925.2015v28n3p93>. Acesso em: set. 2022.

CONAMA. **Perguntas Frequentes**: O que é o CONAMA e qual sua função? 2018. Disponível em: <http://conama.mma.gov.br/perguntas-frequentes>. Acesso em: 23 mai. 2023.

FIGUEIREDO FILHO, D. B.; SILVA JUNIOR, J. A.. Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r). **Política Hoje**, Recife, v. 18, n. 1, p. 115-146, jan. 2010. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/politica hoje/article/view/3852>. Acesso em: out. 2023.

FLORIANÓPOLIS. **Lei Complementar nº 1**, de 03 de outubro de 1997. Dispõe sobre o zoneamento, o uso e a ocupação do solo no distrito sede de Florianópolis e dá outras providências. Disponível em: <https://www.jusbrasil.com.br/legislacao/1021101/lei-complementar-1-97>. Acesso em: 23 mai. 2023.

FLORIANÓPOLIS. **Lei Complementar nº 482**, de 17 de janeiro de 2014. Institui o Plano Diretor de Urbanismo do município de Florianópolis que dispõe sobre a política de desenvolvimento urbano, o plano de uso e ocupação, os instrumentos urbanísticos e o sistema de gestão. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/sc/f/florianopolis/lei-complementar/2014/49/482/lei-complementar-n-482-2014-institui-o-plano-diretor-de-urbanismo-do-municipio-de-florianopolis-que-dispoe-sobre-a-politica-de-desenvolvimento-urbano-o-plano-de-uso-e-ocupacao-os-instrumentos-urbanisticos-e-o-sistema-de-gestao>. Acesso em: 23 mai. 2023.

GEOFABRIK. **Dados do OpenStreetMap de estradas do sul do Brasil**. Disponível em: <http://download.geofabrik.de/south-america/brazil/sul.html>. Acesso em set. 2023.

IBGE. **Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/202#/n6/4205407/n10/420540725/v/allxp/p/last%20/c2/0/c1/0/l/v,p+c2,t+c1/resultado>. Acesso em: abr. 2023.

KAMARAJ, M.; RANGARAJAN, S. Predicting the future land use and land cover changes for Bhavani basin, Tamil Nadu, India, using QGIS MOLUSCE plugin. **Environmental Science and Pollution Research**, 29, 86337–86348, p. 1-12, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17904-6>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-021-17904-6#citeas>. Acesso em: out. 2022.

LIMA, V. D. **LAGOA DA CONCEIÇÃO: ANÁLISE INTEGRATIVA DA EXPANSÃO URBANA E SEUS IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS**. 2022. 84 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/237711/TCC_Vitor_Duarte_Li_ma.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: out. 2023.

MUHAMMAD, R. *et al.* Spatiotemporal Change Analysis and Prediction of Future Land Use and Land Cover Changes Using QGIS MOLUSCE Plugin and Remote Sensing Big Data: A Case Study of Linyi, China. **Land** 2022, v. 11, n. 3: 419. DOI: <https://doi.org/10.3390/land11030419>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-445X/11/3/419>. Acesso em: ago. 2023.

PANDOLFO, C. *et al.* **Atlas climatológico digital do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2002. CD-Rom.

PMF. **Geoportal**. Disponível em: <https://geoportal.pmf.sc.gov.br/map>. Acesso em set. 2023.

PMF. **Geoprocessamento**. Mapas para download. Disponível em: <https://www.pmf.sc.gov.br/entidades/geo/index.php?cms=mapas+para+download>. Acesso em set. 2023.

PROJETO MAPBIOMAS – **Coleção 7 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil**. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas/>. Acesso em set. 2022.

ROSA, M. J. **Análise comparativa entre os planos diretores do município de Florianópolis de 1985-1997 e 2014**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Gestão Ambiental em Municípios) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2015. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/22499>. Acesso em: mai. 2023.

SIGSC. **Dados de Cursos d'água**. Disponível em: <http://sigsc.sc.gov.br/mapa-publico.html>. Acesso em set. 2023.

SILVA, M. L. G. **Análise da Qualidade Ambiental Urbana da Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição**. 2002, 111f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC. Florianópolis. Disponível em: <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/84084>. Acesso em: set. 2022.

SILVA, V. E. C. **Análise hidrodinâmica e biogeoquímica de uma laguna costeira subtropical em bacia hidrográfica urbanizada**: Lagoa da Conceição, Florianópolis, Santa Catarina. 2021. 159 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/234546>. Acesso em: out. 2023.

SOUZA JÚNIOR, S. J. **Análise espaço-temporal recente da cobertura do solo na bacia da Lagoa da Conceição/Florianópolis aplicando índices de vegetação**. 2021. 76 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/223332>. Acesso em: set. 2022.

SOUZA, N. C. *et al.* Dinâmica espacial do uso e cobertura da terra e degradação do solo na bacia hidrográfica do Rio Claro (SP). In: ANAIS DO XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2019, Santos, SP. **Anais eletrônicos** [...] São José dos Campos, SP: INPE, 2019. Disponível em: <https://proceedings.science/sbsr-2019/trabalhos/dinamica-espacial-do-uso-e-cobertura-da-terra-e-degradacao-do-solo-na-bacia-hidr?lang=pt-br>. Acesso em: set. 2022.

SURVEY, Asia Air. **MOLUSCE Modules for Land Use Change Evaluation**: Guia Rápido. Disponível em: <http://ecojustus.com.br/informacao/95970/molusce+modules+for+land+use+change+evaluation>. Acesso em: ago. 2023.

WEISS, R. **A dinâmica urbana: da compreensão à construção de um modelo de identificação dos padrões de crescimento urbano por meio das métricas espaciais da paisagem**: o caso do distrito da Lagoa da Conceição. 2016. 311 f. Tese (Doutorado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/177584>. Acesso em: out. 2023.