

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC
CENTRO DE ENGENHARIA, MODELAGEM E CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL

Hedlla Mendonça Andrade

**MODELAGEM ESPACIAL DA EXPANSÃO URBANA NO MUNICÍPIO
DE ILHA COMPRIDA – SP:**

Contribuição à gestão territorial de uma unidade de conservação

Santo André, SP

2020

HEDLLA MENDONÇA ANDRADE

MODELAGEM ESPACIAL DA EXPANSÃO URBANA NO MUNICÍPIO
DE ILHA COMPRIDA – SP:

Contribuição à gestão territorial de uma unidade de conservação

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Federal do ABC como requisito para obtenção de grau de Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Vitor Vieira Vasconcelos

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Angela Terumi Fushita

Santo André, SP

2020

Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do ABC
Elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da UFABC
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Andrade, Hedlla Mendonça

MODELAGEM ESPACIAL DA EXPANSÃO URBANA NO MUNICÍPIO DE
ILHA COMPRIDA - SP: Contribuição à gestão territorial de uma unidade de
conservação / Hedlla Mendonça Andrade. — 2020.

143 fls.: il.

Orientador: Vitor Vieira Vasconcelos

Coorientadora: Angela Terumi Fushita

Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do ABC, Programa de Pós-
Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Santo André, 2020.

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, de acordo com as observações levantadas pela banca examinadora no dia da defesa, sob responsabilidade única do(a) autor(a) e com a anuência do(a) (co)orientador(a).

Santo André , 18 de novembro de 2020 .

Hedilla Mendonça Andrade Hedilla Mendonça Andrade

Nome completo e Assinatura do(a) autor(a)

Vitor Vieira Vasconcelos

Vitor Vieira Vasconcelos

Nome completo e Assinatura do(a) (co)orientador(a)



SIGAA - Sistema Integrado de Gestão de Atividades Acadêmicas
UFABC - Fundação Universidade Federal do ABC
Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental
CNPJ nº 07.722.779/0001-06
Av. dos Estados, 5001 - Bairro Santa Terezinha - Santo André - SP - Brasil
pgcta@ufabc.edu.br



FOLHA DE ASSINATURAS

Assinaturas dos membros da Banca Examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado da candidata HEDLLA MENDONÇA ANDRADE, realizada em 3 de Setembro de 2020:

Vitor Vieira Vasconcelos

Dr. VITOR VIEIRA VASCONCELOS, UFABC

Presidente - Interno ao Programa

P/ Vitor Vieira Vasconcelos

Dr. EDSON MONTILHA DE OLIVEIRA

Membro Titular - Examinador(a) Externo à Instituição

P/ Vitor Vieira Vasconcelos

Dr. DIEGO RODRIGUES MACEDO, UFMG

Membro Titular - Examinador(a) Externo à Instituição

Dr. LEANDRO REVERBERI TAMBOSI, UFABC

Membro Suplente - Examinador(a) Interno ao Programa

Dra. FLAVIA DA FONSECA FEITOSA, UFABC

Membro Suplente - Examinador(a) Externo ao Programa

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Este trabalho foi realizado com aprovação da Comissão Técnico Científica do Instituto Florestal (COTEC) - processo SMA nº: 260108 – 009.983/2018.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Federal do ABC – UFABC, pela infraestrutura contanto com laboratórios e técnicos qualificados que deram total suporte ao aprendizado, desde os tempos de graduação.

À capes pelo financiamento desta pesquisa.

Ao programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental – PPGCTA e a todo corpo de docentes que contribuíram com a formação científica.

À Santiago e Cintra consultoria pelo fornecimento das imagens de satélite RapidEye e à Tissiana de Almeida Souza, por compartilhar as bases cartográficas utilizadas e os resultados produzidos em seu trabalho.

Ao meu orientador Prof. Dr. Vitor Vieira Vasconcelos e à minha coorientadora Prof^a Dr^a Angela Terumi Fushita, pela oportunidade em realizar o trabalho, sempre fornecendo todo o suporte necessário para o desenvolvimento do trabalho.

Aos gestores e técnicos da Fundação Florestal, em especial à Maila, sempre solícitos à ajudar e contribuir com o trabalho, assim como o Prof^o Dr^o Edson Montilha de Oliveira, gerente de Unidades de Conservação do Vale do Ribeira e do Litoral Sul, pelo suporte para a viabilização das atividades de campo e oficinas, além das contribuições na banca de qualificação em conjunto com a Prof^a Dr^a Diana Sarita Hamburger.

À Prof^a Dr^a Flávia Feitosa e aos colaboradores do GATE – Geotecnologias para Análise do Território, pelas contribuições e sugestões oferecidas durante o desenvolvimento deste trabalho.

À minha colega especial Isabella Borges, que participou desta pesquisa como aluna de iniciação científica permitindo ótimas trocas de experiência.

Aos meus colegas da pós-graduação, que permitiram formar uma rede de colaboração e apoio durante todo o mestrado, em especial a Mariana, Ananda e Adriane, com as quais criei um vínculo de amizade que levarei daqui para a frente.

Ao meu companheiro Paulo Silva, que está presente neste momento de transformação e abertura de novos horizontes, sempre com total apoio e incentivo.

Aos meus pais Mendonça e Cleide e aos meus irmãos Helder e Heider, por sempre apoiarem as minhas decisões.

À minha família, em especial ao meu tio Wesley Góis, que sempre foi como um irmão mais velho, sempre sendo a referência acadêmica que inspira a todos, com sua paixão em especial pela docência.

“O problema das pessoas é achar que o mundo foi feito para elas usufruírem e degradá-lo, porém eu digo que o homem foi feito para cuidar do mundo.”

(Ozeias Pacheco)

RESUMO

O presente estudo analisa a expansão urbana no município de Ilha Comprida (litoral Sul do Estado de São Paulo), por meio da modelagem do uso em ocupação do solo com o objetivo de avaliar como e quais as variáveis, incluindo as delimitações/zoneamentos na Área de Proteção Ambiental Ilha Comprida (APAIC) estipulados no Decreto Estadual nº 30.817, de 1989, influenciaram o uso e ocupação do solo. Uma simulação de cenários futuros permitiu avaliar como a legislação trouxe e ainda poderá trazer impactos diretos nos padrões de uso e ocupação do solo, sob a hipótese de que apesar dos conflitos, o zoneamento tem importante papel na conservação. Para a modelagem foi aplicado o método bayesiano de pesos de evidências no *software* Dinamica EGO, com a avaliação das variáveis envolvidas na transição de uso do solo não urbano para o uso urbano. Foram utilizadas as variáveis categóricas de vegetação, solo e zoneamento urbano, e as variáveis contínuas de Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) e distâncias à borda da ilha, à linha de costa, ao sistema viário, às linhas de drenagem, aos pontos de interesse fotográfico e às linhas de erosão costeira. Essas variáveis foram analisadas e utilizadas para gerar o mapa de probabilidade de mudança para a transição de uso e ocupação do solo estudada. O processo de modelagem envolveu os gestores e técnicos da Fundação Florestal nas etapas de calibração e inclusão da nova proposta de zoneamento que está em discussão para elaboração dos diferentes cenários e abrange análises com a presença e ausência dos zoneamentos. Por meio da modelagem foi possível constatar que, apesar das pressões de expansão urbana sobre áreas protegidas e de interesses para conservação evidenciadas nos mapas de probabilidade, considerar as diretrizes dos zoneamentos é fundamental para o controle das ocupações e preservação ambiental.

Palavras-chave: Dinamica EGO. Pesos de evidência. Uso do Solo. Zoneamento. Cenários.

ABSTRACT

This dissertation studies the urban expansion in the municipality of Ilha Comprida, located on the south coast of the State of São Paulo, through the modeling of land use to evaluate how and which variables, including zoning of the Ilha Comprida Environmental Protection Area (APA) stipulated in Decree nº 30.817/ 1989, influenced the land use and occupation. The model development assessed how the legislation brought and can still bring direct impacts on land use and occupation patterns, under the hypothesis that despite conflicts, zoning plays an important role in conservation. For the modeling, the Bayesian method of weights of evidence was applied using the Dinamica EGO software, evaluating the variables involved in the transition from non-urban land use to urban use. The categorical variables of vegetation, soil and urban zoning were used, together with the continuous variables of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and distance to the edge of the island, the coast line, the road system, the drainage lines, the photographic points of interest and the coast erosion lines, which were used to generate the map of probability of change for the studied transitions of land use and occupation. The modeling process involved APA managers in the steps of calibration and inclusion of the new zoning proposal that is under discussion for the elaboration of different scenarios involving analyzes with the presence and absence of zoning. The modeling shows that despite the pressures of urban expansion on protected areas and interests for conservation evidenced in the probability maps, considering the zoning guidelines is fundamental for the control of occupations and environmental preservation.

Keywords: *Dinamica EGO. Weights of evidence. Land Use. Zoning. Scenarios.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Unidades de Conservação no Vale do Ribeira.....	21
Figura 2. Zoneamento atual da APA Ilha Comprida	22
Figura 3. Proposta para o novo zoneamento para APAIC	23
Figura 4. Sobreposição de Unidades de Conservação na Ilha Comprida - SP	25
Figura 5. Evolução no extremo sul de Ilha Comprida entre 1952 e 1981	28
Figura 6. Evolução na ponta nordeste da Ilha sobre a Barra de Icapara entre 1953 e 1882	28
Figura 7. A - Foz do Ribeira de Iguape antes do Valo Grande. B - Ilha de Iguape originada a partir da abertura do Valo Grande.	29
Figura 8. Localização da área de estudo	35
Figura 9. Principais acessos ao município de Ilha Comprida - SP	36
Figura 10. Distribuição da população por setor censitário.....	36
Figura 11. Zoneamento municipal em Ilha Comprida - SP	37
Figura 12. Classes de vegetação encontradas em Ilha Comprida - SP	38
Figura 13. Unidades de Solo em Ilha Comprida - SP	40
Figura 14. Localização do Morrete em Ilha Comprida - SP.....	41
Figura 15. Esquema da disposição das variáveis do método de pesos de evidência	42
Figura 16. Esquema matricial da disposição das variáveis no método de peso de evidências	42
Figura 17. Diagrama de Venn para representação das relações entre as variáveis .	43
Figura 18. Participação dos gestores e técnicos da Fundação Florestal na modelagem representada pelos quadros na cor vermelha	48
Figura 19. Casas erodidas em Ilha Comprida – SP. Os polígonos de bordas vermelha mostram a localização das edificações em 2010.	54
Figura 20. Áreas construídas na Ilha Comprida em 2010 e 2018	55
Figura 21. Áreas construídas na região norte do município	56
Figura 22. Áreas construídas na região centro norte do município	56
Figura 23. Áreas construídas na região centro sul do município.....	57
Figura 24. Áreas construídas na região sul do município.....	57
Figura 25. Área construída por zona em 2010 e 2018	58
Figura 26. Vegetação e cobertura da terra em Ilha Comprida - SP.....	59
Figura 27. Vegetação e cobertura da terra na região sul do município	60

Figura 28. Vegetação e cobertura da terra na região centro sul do município	61
Figura 29. Vegetação e cobertura da terra na região norte do município	62
Figura 30. Vegetação e cobertura da terra na região nordeste do município.....	63
Figura 31. Porcentagem de cobertura da terra em Ilha Comprida - SP	64
Figura 32. Porcentagem de área construída por classe para os anos de 2010 e 2018	66
Figura 33. Variáveis de distância e NDVI.....	68
Figura 34. Pesos de evidência para vegetação e cobertura da terra	72
Figura 35. Pesos de evidência para o zoneamento vigente	73
Figura 36. Pesos de evidência para as classes de solo.....	74
Figura 37. Solos úmidos e não úmidos	74
Figura 38. Pesos de evidência - distância à mancha urbana	75
Figura 39. Pesos de evidência - distância à linha de costa.....	75
Figura 40. Pesos de evidência - distância às bordas	76
Figura 41. Pesos de evidência - distância às vias pavimentadas.....	76
Figura 42. Pesos de evidência - distância às vias não pavimentadas.....	77
Figura 43. Pesos de evidência - distância à rede de drenagem.....	77
Figura 44. Pesos de evidência - distância aos pontos de interesse fotográfico	78
Figura 45. Pesos de evidência - distância às linhas de erosão lenta	78
Figura 46. Pesos de evidência - distância às linhas de erosão rápida	79
Figura 47. Pesos de evidência - NDVI	79
Figura 48. Mapa de similaridade para o modelo	82
Figura 49. Mapa de similaridade para o modelo nulo.....	83
Figura 50. Avaliação dos modelos pelo método de janela múltipla	84
Figura 51. Zonas consideradas para definição dos pesos para o zoneamento proposto com destaque para localização das áreas sem novas edificações	85
Figura 52. Probabilidade de expansão na região sul	89
Figura 53. Probabilidade de expansão na região centro-sul (próximo à Pedrinhas) .	90
Figura 54. Probabilidade de expansão na região centro-norte.....	91
Figura 55. Probabilidade de expansão na região nordeste	92
Figura 56. Cenário sem zoneamento	95
Figura 57. Cenário com zoneamento vigente.....	96
Figura 58. Cenário com zoneamento municipal	97
Figura 59. Cenário com zoneamento proposto	98

Figura 60. Área construída por zona – cenário com o zoneamento vigente	99
Figura 61. Área construída por zona – cenário com o zoneamento municipal	99
Figura 62. Área construída por zona – cenário com a nova proposta de zoneamento	100
Figura 63. Crescimento urbano sobre vegetação de várzea nos cenários.....	101
Figura 64. Crescimento urbano sobre gramíneas nos cenários.....	101
Figura 65. Cenários - vegetação e cobertura da terra - sem zoneamento	103
Figura 66. Cenários - vegetação e cobertura da terra - zoneamento vigente	104
Figura 67. Cenários - vegetação e cobertura da terra - zoneamento municipal.....	105
Figura 68. Cenários - vegetação e cobertura da terra - zoneamento proposto	106

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Principais variáveis em modelos de expansão urbana.....	32
Tabela 2. Justificativa das variáveis utilizadas no modelo	51
Tabela 4. Área de transição entre os usos em km ²	71
Tabela 5. Matriz de transição de passos único e múltiplos	71
Tabela 6. Correlação entre as variáveis.....	80
Tabela 7. Parâmetros para <i>patcher</i>	81
Tabela 8. Definição dos pesos de evidência para o zoneamento proposto	86
Tabela 9. Adaptação dos pesos de evidência para o zoneamento municipal	88

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC	Autômatos Celulares
APA	Área de Proteção Ambiental
APAIC	Área de Proteção Ambiental Ilha Comprida
ARIE	Área de Relevante Interesse Ecológico
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
Fundação Florestal	Fundação para a Conservação e Produção Florestal do Estado de São Paulo
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
LUCC	Land Use and Cover Change
NDVI	Índice de Vegetação da Diferença Normalizada
ONG	Organização não governamental
SIGAP	Sistema de Informação e Gestão de Áreas Protegidas e de Interesse Ambiental do Estado de São Paulo
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação
UC	Unidade de Conservação
ZEU	Zona de Expansão Urbana
ZOC	Zona de Ocupação Controlada
ZPA	Zona de Proteção dos Atributos
ZPE	Zona de Proteção Especial
ZR	Zona Rural
ZU	Zona Urbanizada
ZUE	Zona de Uso Especial
ZUS	Zona de Uso Sustentável
ZVS	Zona de Vida Silvestre

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
2	OBJETIVOS.....	19
2.1	Objetivo Geral.....	19
2.2	Objetivos Específicos	19
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
3.1	Unidades de Conservação.....	20
3.2	Unidades de Conservação e o caso de Ilha Comprida	22
3.3	Conflitos na região do Vale do Ribeira e Ilha Comprida	25
3.4	Modelos de mudança de uso e cobertura da terra	29
4	METODOLOGIA	35
4.1	Área de estudo.....	35
4.2	O método bayesiano de peso de evidências	41
4.3	Dados utilizados	48
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
6	CONCLUSÕES.....	108
	REFERÊNCIAS.....	110
	APÊNDICE A – Scripts de preparação e organização dos dados em R.....	118
	APÊNDICE B – Mapas utilizados como base para os mapas de distância...	127
	APÊNDICE C – Modelagem no Dinamica EGO.....	132
	APÊNDICE D – Tabela de correlação entre as variáveis	135

1 INTRODUÇÃO

O Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) foi criado no Brasil a partir da publicação da Lei Federal nº 9.985, de 18 de julho de 2000, que dispõe sobre as normas e os critérios para criação, implementação e gestão das Unidades de Conservação (UCs), destacando-se dentre seus objetivos a promoção do desenvolvimento sustentável e a proteção de recursos necessários à subsistência de populações tradicionais, com promoção social e econômica, seja o enfoque em ecossistemas terrestres, costeiros ou marinhos (BRASIL, 2000).

A gestão das UCs deve estar detalhada no principal instrumento de gestão que é o Plano de Manejo. Devemos levar em consideração que a delimitação destes territórios pode interferir diretamente nas condições sociais, culturais e ecológicas, visto que impõe diretrizes e regras de ocupação e exploração. Desta forma, torna-se de extrema importância avaliar como as mudanças decorrentes da criação destas áreas ocorrem, de modo que seja possível estabelecer melhores padrões para a conservação da biodiversidade, e evitar conflitos fundiários e sociais, na medida em que estas áreas normalmente apresentam ocupação humana. Assim posto, o Plano de Manejo constitui o principal instrumento de planejamento e gestão das Unidades de Conservação e tem como objetivo orientar a gestão e promover o manejo dos recursos naturais da Unidade de Conservação, para garantir a conservação da biodiversidade e a sustentabilidade (BRASIL, 2000).

O município de Ilha Comprida (SP) possui um cenário interessante de estudo, tendo em seu território cinco UCs, abrangendo 100% da sua área, sendo três destas anteriores ao SNUC. Destaca-se, ainda, o fato das quatro UCs estaduais não possuírem o Plano de Manejo (ARARIPE, 2008; COSTA *et al.*, 2016). A criação da Área de Proteção Ambiental Ilha Comprida através do Decreto Estadual nº 26.881, de 1987, teve como justificativa a ocorrência de grande diversidade biológica em um ambiente de fragilidade ambiental com dinâmicas intensas de erosão e sedimentação. Existem alguns estudos (CARVALHO, 1999; RITA, 2002; SOUZA, 2014; DIAS, 2015) que avaliaram as modificações ocorridas no território de Ilha Comprida (SP), de ordens natural e antrópica, ressaltando a fragilidade ambiental que a ocupação do território e a especulação imobiliária têm intensificado e a necessidade de estudos e planejamento integrados (RAMIRES *et al.*, 2011). Dentre os impactos ambientais que ocorrem na região, destaca-se os decorrentes da construção do Valo Grande no final

do século XIX, com problemas de erosão e sedimentação que continuam influenciando alterações na paisagem até hoje (LIMA E OLIVEIRA, 2012).

A modelagem de uso e ocupação do solo tem se mostrado uma importante ferramenta que permite entender a dinâmica de transformação de um território com suas características particulares locais (SHAFIZADEH-MOGHADAM *et al.*, 2017). As modelagens dinâmicas de uso do solo urbano em especial têm se mostrado de extrema relevância para identificação dos principais vetores de expansão urbana e suas tendências de uso (ALMEIDA *et al.*, 2003), sendo importante como aprimoramento nesses estudos a compreensão da influência do planejamento (HESPERGER *et al.*, 2018), além do melhor aproveitamento dos modelos no planejamento espacial (COUCLELIS, 2005).

Assim, o presente trabalho analisa como e quais as variáveis, incluindo as delimitações/zonamentos na APA Ilha Comprida estipulados no Decreto Estadual nº 30.817, de 1989, influenciaram o uso e ocupação do meio físico, embasando a modelagem e a análise de cenários futuros, contando com a participação dos gestores e técnicos da Fundação Florestal. Dessa forma, permitiu-se entender como a legislação trouxe e ainda poderá trazer impactos diretos nos padrões de uso e ocupação do solo, sob a hipótese de que apesar dos conflitos, o zoneamento tem importante papel na conservação. A projeção de usos futuros no território poderá fornecer mais um instrumento para direcionar esforços e recursos no planejamento ambiental e urbano da área de estudo, avaliando quais os fatores influenciam a ocupação do território e auxiliando no entendimento desta dinâmica.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Este trabalho propõe a utilização do modelo de peso de evidências para avaliação das influências nos padrões de uso e ocupação do solo no município de Ilha Comprida - SP, de modo a auxiliar o planejamento do território.

2.2 Objetivos Específicos

- Entender as dinâmicas e conflitos entre uso e ocupação do solo e conservação;
- Simular cenários futuros de uso e ocupação do solo para verificar a expansão urbana sobre áreas restritivas; e
- Contextualizar os resultados frente a demarcações, planos e zoneamentos incidentes e proposto no município.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Unidades de Conservação

As Unidades de Conservação (UCs) consistem em espaços territoriais incluindo seus recursos naturais, possuindo como objetivo a sua conservação. O Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC (Lei Federal 9.985, de 18 de julho de 2000), é constituído por UCs federais, estaduais e municipais.

A gestão de Unidades de Conservação se dá a partir do instrumento definido no SNUC como Plano de Manejo, que consiste em um Instrumento de Uso e Zoneamento que norteia todas as atividades e programas de gestão. Sendo o zoneamento uma das etapas essenciais na construção do Plano de Manejo, sua elaboração deve ser realizada respeitando as diretrizes estabelecidas no SNUC, com amplo envolvimento das comunidades de interesse, levando em consideração aspectos socioambientais e econômicos.

As UCs são classificadas em dois grupos: (I) Unidades de Proteção Integral e (II) Unidades de Uso Sustentável. Cada um destes grupos se divide em diversas categorias que impõem diretrizes de conservação, dentre as quais destacamos as categorias de Unidades de Uso sustentável, nas quais se enquadram as UCs incidentes no município de Ilha Comprida:

I - Área de Proteção Ambiental - APA, considerada uma área em geral extensa, com um certo grau de ocupação humana, dotada de atributos abióticos, bióticos, estéticos ou culturais especialmente importantes para a qualidade de vida e o bem-estar das populações humanas, e tem como objetivos básicos proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais.

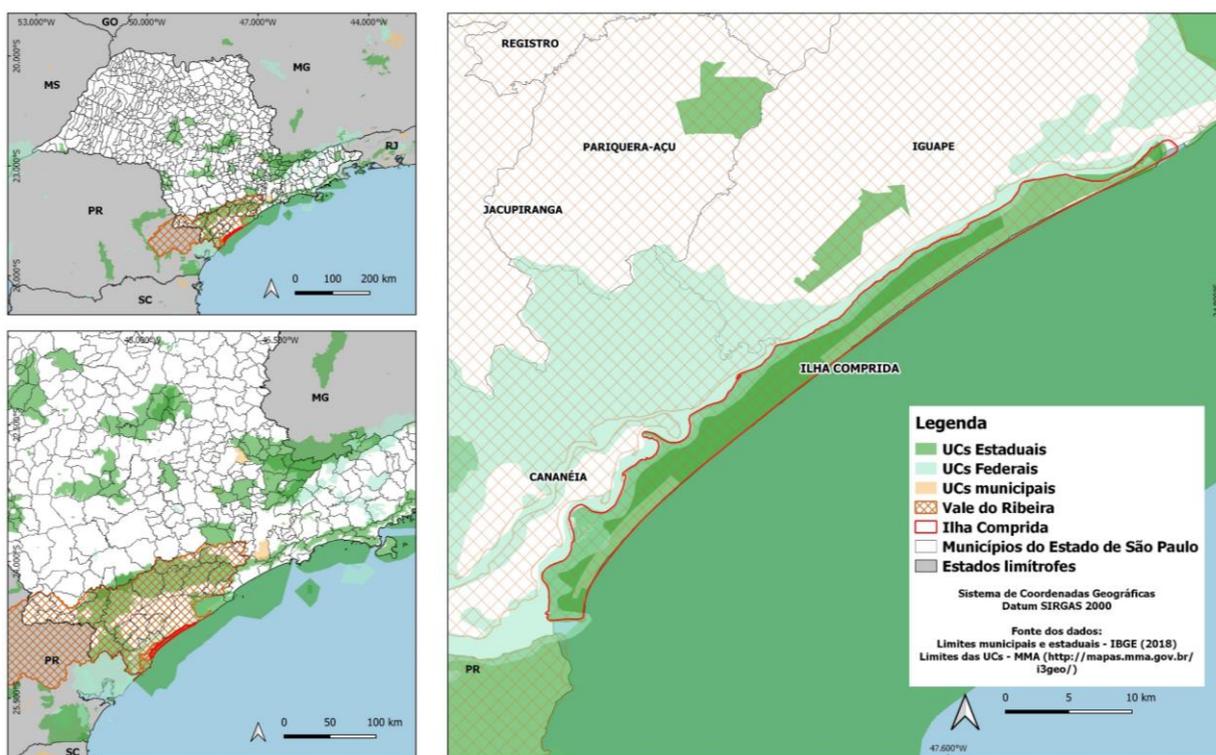
II - Área de Relevante Interesse Ecológico - ARIE, é uma área em geral de pequena extensão, com pouca ou nenhuma ocupação humana, com características naturais extraordinárias ou que abriga exemplares raros da biota regional, e tem como objetivo manter os ecossistemas naturais de importância regional ou local e regular o uso admissível dessas áreas, de modo a compatibilizá-lo com os objetivos de conservação da natureza (Lei Federal nº 9.985, de 18 de julho de 2000).

Cabe ressaltar que todas as atividades, usos e visitas devem estar reguladas por meio do Plano de Manejo, que de acordo com o SNUC deve ser elaborado em até cinco anos da criação da Unidade de Conservação.

No Estado de São Paulo, o Decreto nº 60.302, de 27 de março de 2014, instituiu o Sistema de Informação e Gestão de Áreas Protegidas e de Interesse Ambiental do Estado de São Paulo – SIGAP, visando a conservação da biodiversidade do estado de São Paulo, consistindo em um instrumento de planejamento, integração e publicidade das ações do poder público, integrando dentro de seus objetivos e diretrizes a promoção, o desenvolvimento sustentável e a conservação das áreas integradas ao sistema. O decreto estipula que o gerenciamento das unidades de conservação identifique conflitos de uso dos recursos naturais e ocupações irregulares nas áreas protegidas, de modo a contribuir para possíveis soluções.

O Estado de São Paulo abriga diversas áreas de interesse para conservação, destacando-se a região do Vale do Ribeira, que abriga municípios no sul do estado de São Paulo e norte do Paraná (Figura 1), com a incidência e sobreposição de várias UCs.

Figura 1. Unidades de Conservação no Vale do Ribeira



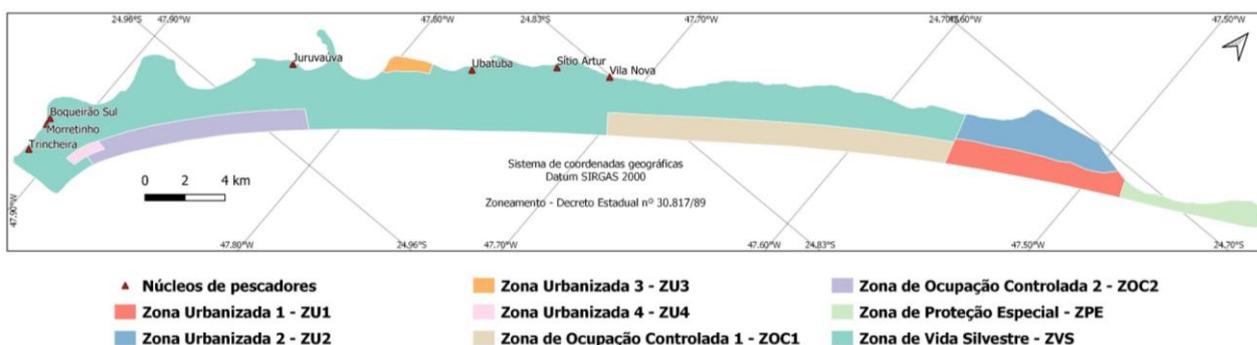
Fonte: Elaboração Própria

3.2 Unidades de Conservação e o caso de Ilha Comprida

A primeira UC que incide parcialmente no município de Ilha Comprida foi criada pelo Decreto Federal nº 90.347, de 1984, na categoria de APA, sob a denominação APA Cananéia-Iguape-Peruíbe, na época abrangendo os municípios de Cananéia, Iguape, Peruíbe, Itariri e Miracatu (BRASIL, 1984). Até o momento, é a única UC com Plano de Manejo, com gestão do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio).

As demais UCs foram criadas por decretos estaduais. A APA Ilha Comprida (APAIC) foi criada por meio do Decreto Estadual nº 26.881, de 1987, e posteriormente, o Decreto Estadual nº 30.817, de 1.989, regulamentou a mesma como Área de Interesse Especial, com a criação de Reservas Ecológicas e Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE), esta última denominada como ARIE Zona de Vida Silvestre. Este último decreto ainda determina o Zoneamento da APA Ilha Comprida, delimitando quatro Zonas Urbanizadas e duas Zonas de Ocupação Controlada (Figura 2), definindo ainda diretrizes para loteamento e parcelamento do solo (SÃO PAULO, 1987, 1989).

Figura 2. Zoneamento atual da APA Ilha Comprida



Fonte: Elaboração própria

As zonas mais restritivas do zoneamento são a Zona de Proteção Especial (ZPE) e a Zona de Vida Silvestre (ZVS), onde não é permitido o parcelamento do solo, seguindo-se para as Zonas de Ocupação Controlada (ZOCs) ZOC 1 e ZOC 2, com parcelamento mínimo de 1000 m² caso exista sistema de abastecimento de água e coleta de esgoto e 2500 m² se o sistema de esgotamento for individual. Por fim, o decreto ainda institui as Zonas Urbanizadas (ZU) ZU1, ZU3 e ZU4, menos restritivas, com parcelamento mínimo de 500 m²; e ZU 2 com parcelamento mínimo de 1000 m², quando existir a

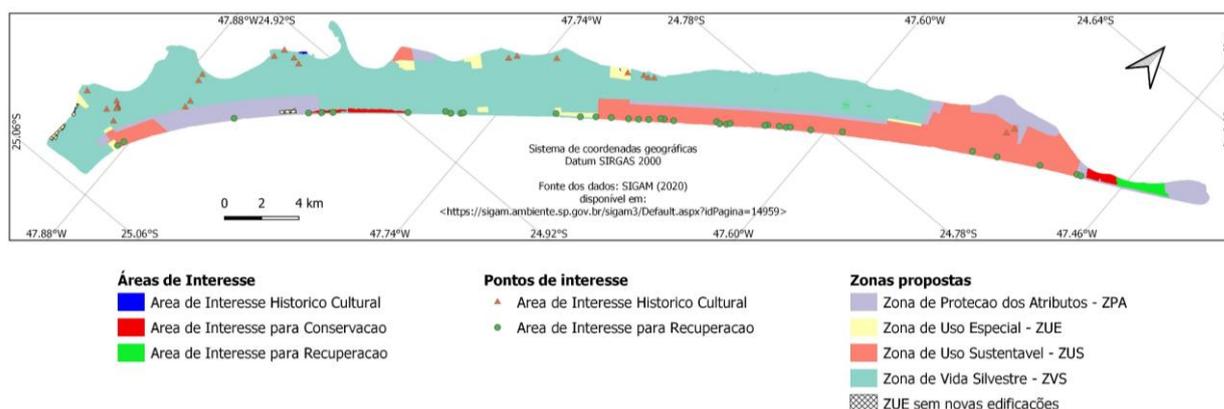
rede de abastecimento de água e coleta de esgoto, caso contrário, deve respeitar as condições das Zonas de Ocupação Controlada (ZOCs). Destaca-se a restrição de lote em algumas zonas de até 3500 m², devido à capacidade de sustentação do solo. O parcelamento também é proibido nos Núcleos de Pescadores.

O decreto ainda proíbe o parcelamento do solo em terrenos alagadiços e sujeitos a inundações e reprime atividades que comprometam a dinâmica natural das dunas. Fica estipulado também que as áreas dos sambaquis devem ser protegidas e delimitadas, não sendo permitidas quaisquer alterações ou retiradas de material.

O gerenciamento da APAIC é realizado pela Fundação para a Conservação e Produção Florestal do Estado de São Paulo (Fundação Florestal), sendo o primeiro conselho gestor da APA definido em 2009, através da Portaria FF nº 46, de 30 abril, momento em que também foi realizado o cadastramento da sociedade civil (SOUZA, 2014).

Concomitante com a discussão do plano diretor do município (SOUZA, 2014), o Plano de Manejo referente a APAIC está em fase de elaboração, com revisão do zoneamento proposto pelo Decreto Estadual nº 26.881 de 1987 (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2019a, 2019b). A proposta para a atualização do zoneamento para a APAIC, que ainda não foi aprovada e está em discussão, encontra-se na Figura 3.

Figura 3. Proposta para o novo zoneamento para APAIC



Fonte: Elaboração própria

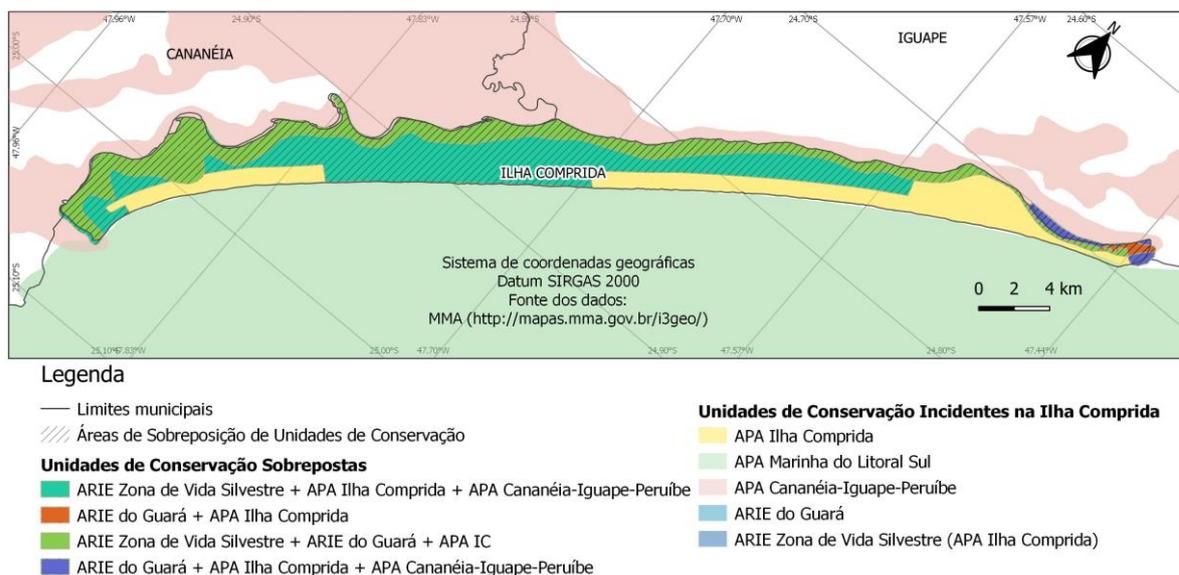
A proposta do novo zoneamento da APAIC propõe 4 (quatro) zonas e 3 (três) áreas sobrepostas de interesse para conservação e recuperação, sendo a Zona de Vida Silvestre (ZVS), Zona de Proteção dos Atributos (ZPA), Zona de Uso Especial (ZUE) e Zona de Uso Sustentável (ZUS). De acordo com a minuta de zoneamento, a ZVS

segue as determinações do Decreto Estadual nº 30.817, de 1989. A ZPA representa áreas com elementos sociais e/ou ambientais relevantes para proteção dos atributos, compreendendo remanescentes de restinga, banhados, dunas e manguezais ainda não protegidos. A proposta é que as ocupações existentes nesta zona possam ter o seu potencial construtivo transferido para lotes em ZUE ou ZUS. A ZUE é definida como áreas em que os atributos naturais sofrem determinados efeitos de intervenção humana, possuindo concentração ou potencial de ocupação. As ocupações pendentes de regularização localizadas em ZUE estarão submetidas às normas da ZVS. Esta zona compreende os perímetros do Morretinho, Trincheira e Juruvaúva, onde não serão permitidas novas edificações. Por fim, a ZUS consiste nas áreas urbanizadas ou com potencial de urbanização. Os parâmetros referentes aos tamanhos de lote e potencial construtivo serão definidos posteriormente, a partir do Plano Diretor do Município.

Outro aspecto importante da nova proposta do zoneamento é a delimitação dos pontos com as Áreas de Interesse para Recuperação e Interesse Histórico-Cultural, indicando os pontos mapeados com sambaquis, que são áreas que devem ser preservadas, mas que até então possuíam mapeamentos imprecisos.

Quanto às UCs posteriores ao SNUC, a APA Marinha do Litoral Sul e a ARIE do Guará foram criadas pelo Decreto Estadual nº 53.526, de 2008 (SÃO PAULO, 2008), e estão com o Plano de Manejo em fase elaboração (Fundação Florestal, 2018). Como determinado pela Lei Federal nº 9.985, de 2000, estes Planos envolvem participação de uma gama de interessados. O histórico da criação de UCs com atuação de diversas esferas governamentais têm gerado diversos conflitos envolvendo as partes interessadas, o que tem dificultado a elaboração dos planos. A Figura 4 ilustra a delimitação e sobreposição das UCs na Ilha Comprida.

Figura 4. Sobreposição de Unidades de Conservação na Ilha Comprida - SP



Fonte: Elaboração própria

3.3 Conflitos na região do Vale do Ribeira e Ilha Comprida

A região do Vale do Ribeira, com forte produção agrícola, começa a ter facilidade de acesso pela inauguração da ferrovia interligando-a com o porto de Santos, em 1915, ampliada com a expansão de rodovias em 1920. Na década de 60, época da construção da Rodovia Regis Bittencourt (BR-116), o litoral sul começa a acelerar seu processo de urbanização. A maior facilidade de acesso também facilitou o maior fluxo de pessoas, trazendo o desenvolvimento de atividades turísticas, em especial na região de Ilha Comprida (ARAÚJO, 2015). Essas atividades geraram grande especulação imobiliária no começo da década de 1950 em praticamente todo o parcelamento do solo, situação agravada em 1970 com autorização de centenas de loteamentos, gerando uma ocupação desordenada (ARARIPE, 2008).

O zoneamento instituído pelo Decreto Estadual nº 26.881, de 1987, ocorre enquanto a Ilha Comprida estava dividida entre os municípios de Iguape e Cananéia, situação que gerou dificuldade de fiscalização dos novos loteamentos, afetando o controle da degradação ambiental. Desta forma, a Secretaria do Meio Ambiente viabilizou a criação da APA de Ilha Comprida, para ter uma gestão centralizada do território. A complexidade de gestão fundiária, porém, se altera quando o município de Ilha

Comprida foi emancipado em 1992, sendo denominado Estância Balneária de Ilha Comprida (ARARIPE, 2008).

A situação fundiária de Ilha Comprida tornou-se bastante complexa ao longo de sua história, com a delimitação das UCs, criadas em diferentes contextos e regidas sobre legislações diversas e, algumas vezes, conflitantes, com sobreposição de leis federais, estaduais, e municipais específicas, burocratizando a colocação de normas de uso e ocupação do solo em prática. Os autores Santos, Junior e Souza (2015) mencionam esta justaposição de esferas de poder como o “Princípio da Subsidiariedade”, sendo o que ocorre na Ilha caso típico conflituoso com a atuação de lideranças caiçaras locais, Prefeitura e o Conselho Gestor da APA Ilha Comprida formado por representantes da sociedade civil e das esferas municipal, estadual e federal. Os autores mencionam ainda a discussão quanto às interpretações diversas que esses atores possuem do contexto social, ecológico e econômico locais, levando a conflitos nas tomadas de decisão e trazendo limitações às práticas tradicionais da população caiçara.

Os conflitos iniciados em 1980 com a demarcação das áreas protegidas se estenderam por todo o Vale do Ribeira, reforçadas por ações da Polícia Federal. Tal fato, causou embates entre órgãos governamentais e moradores, que somados à falta de informação sobre a situação legal de suas antigas posses, acarretou uma situação de clandestinidade da comunidade local, mostrando sua marginalização às políticas públicas (FERREIRA, 2004).

Em 1990, ações de instituições governamentais incentivadas por investimentos internacionais para trazer a participação popular nas decisões sobre UCs implantadas começam a tentativa de estabelecer acordos entre ONGs (Organizações não governamentais), especialistas e moradores. No final da década de 1990 e começo de 2000 ocorrem as negociações pela elaboração dos Planos de Manejo, instituídos pelo SNUC, que preveem o estabelecimento de normas para incorporar os moradores nas discussões para atingir os objetivos de conservação. Neste período, há uma demanda por mudanças, tendo-se como exemplo o caso da Estação Ecológica Juréia Itatins, categorizada como uma UC de Proteção Integral que restringe a presença de moradores, que foi implantada sem levar em consideração a presença dos habitantes tradicionais anteriores à sua criação (NUNES, 2003). Tal situação resultou em pressões para alteração para a categoria de reserva de desenvolvimento sustentável,

incluindo a revisão de seus limites. Nesse período também ocorrem avanços resultantes da organização da sociedade local, como a regulação em torno de cultivos tradicionais na Ilha Comprida como a roça de mandioca e o manejo de samambaia e musgo (FERREIRA, 2004).

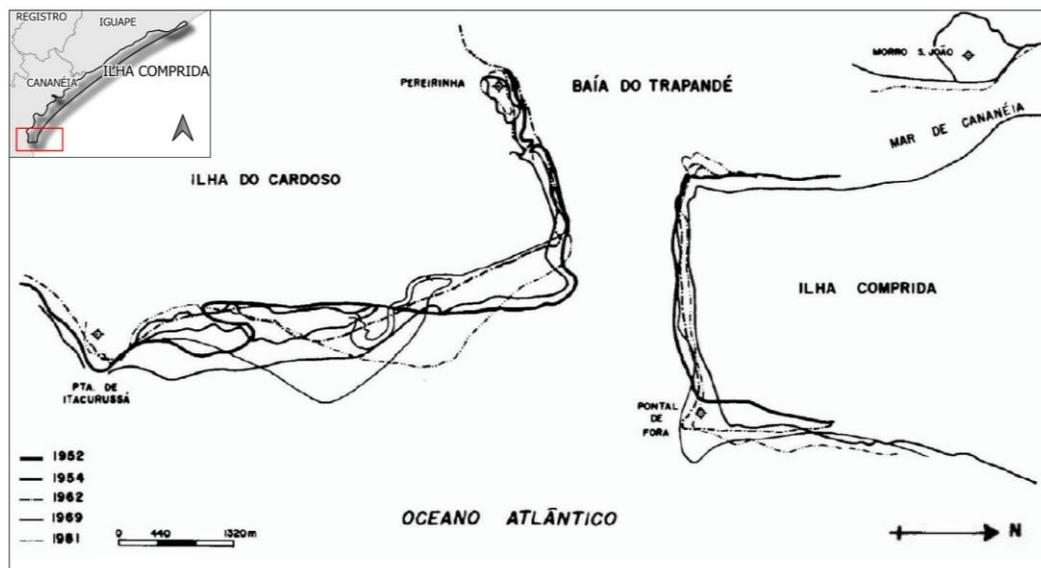
Os conflitos sociais em áreas protegidas possuem características locais que envolvem a população tradicional, devido ao manejo de recursos desenvolvido por gerações, além de demandas de outros interessados como especialistas e ONGs, que também possuem reivindicações de acesso a esses recursos. Dessa maneira, as UCs propostas nem sempre consideram os direitos que envolvem todos os interessados. Desta forma, o processo de delimitação das áreas protegidas traz conflitos de ordem institucional, legal, fundiário e de interesses diversos (FERREIRA, 2004).

As necessidades do município de Ilha Comprida ainda vão além das práticas tradicionais. Existe um conflito de difícil solução apontado por Araripe (2008), que se baseia na necessidade de compatibilizar o desenvolvimento econômico do município com a conservação ambiental. O período de implantação das restrições trazidas pelas áreas de proteção trouxe uma alteração dos costumes tradicionais de utilização dos recursos naturais, sendo observadas mudanças ou atividades duplas entre as atividades tradicionais de cultivo e o desenvolvimento de atividades voltadas ao turismo, como bares e hotéis (FERREIRA, 2004; RAMIRES *et al.*, 2011).

Apesar das diversas restrições impostas pela quantidade de APAs, Dias e Oliveira (2015) observam fortes alterações antrópicas com grande intervenção na paisagem, devido à criação de culturas e expansão de loteamentos, indicando uma tendência de transformações ambientais por usos inadequados do solo e recursos naturais. Este cenário mostra que ainda há necessidade de ações integradas e participativas, com envolvimento de todas as esferas do governo e sociedade, tornando-se evidente a urgência de um plano de gestão e planejamento integrado.

A fragilidade ambiental na Ilha Comprida, que levou à criação da APA, merece destaque especialmente no que se refere aos processos de progradação e erosão, que possuem a evolução estudada com dado desde 1952 (GEOBRÁS, 1966 *apud* LIMA; OLIVEIRA, 2012; TESSLER, 1988). Tais processos envolvem especialmente as regiões sul e nordeste do município, conforme podemos verificar nas figuras 5 e 6, em que a erosão ocorre na desembocadura dos rios no oceano e a progradação em direção as áreas de deriva de sedimentos na porção mais ao sul da Ilha.

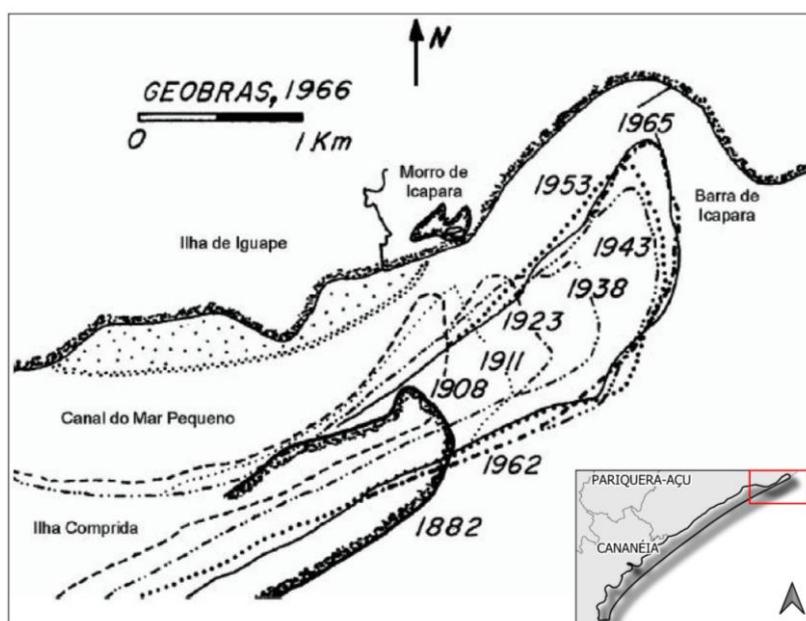
Figura 5. Evolução no extremo sul de Ilha Comprida entre 1952 e 1981



Fonte: Adaptado de Tessler (1988) *apud* Tessler *et al.* (2006)

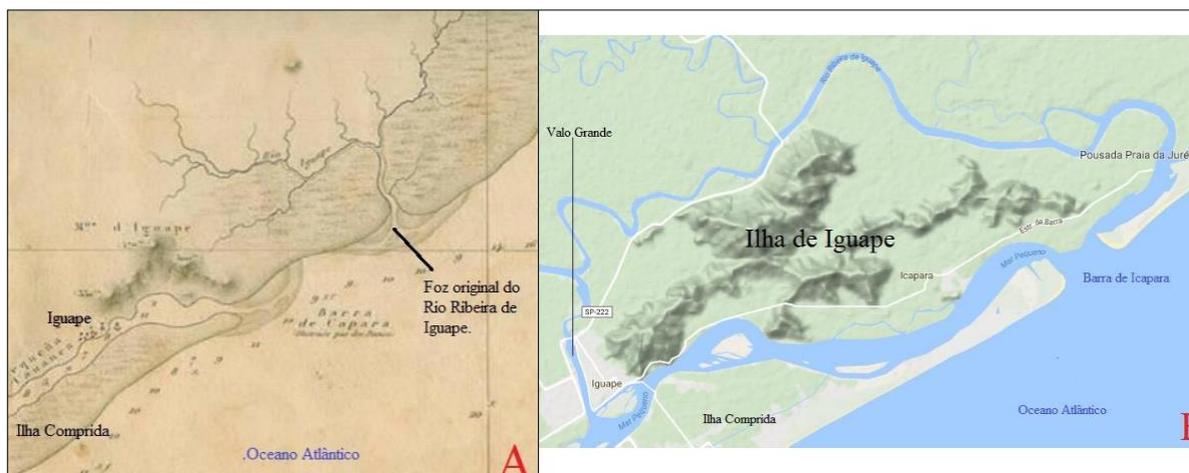
Na porção nordeste da Ilha (Figura 6) ocorre um crescimento da ordem de 35m/ano e um recuo na Ilha de Iguape de 32m/ano (GEOBRÁS *apud* TESSLER *et al.*, 2006). Lima e Oliveira ressaltam que este último processo é influenciado pela construção do canal do Valo Grande que foi concluído em 1856, em que ocorreu um desvio da calha principal do rio Ribeira de Iguape interligando com o Mar Pequeno. A Figura 7 ilustra a região antes e depois da abertura do Valo Grande.

Figura 6. Evolução na ponta nordeste da Ilha sobre a Barra de Icapara entre 1953 e 1882



Fonte: Adaptado de Tessler e Mahiques (1983) *apud* Tessler *et al.* (2006)

Figura 7. A - Foz do Ribeira de Iguape antes do Valo Grande. B - Ilha de Iguape originada a partir da abertura do Valo Grande.



Fonte: Souza e Oliveira (2016)

A construção do Valo Grande trouxe diversos conflitos e impactos ambientais, com movimentos para seu fechamento pouco após a abertura no final do século XIX. Outro impacto ocorre devido ao assoreamento do porto de Iguape impactando a economia da região (SOUZA; OLIVEIRA, 2016).

3.4 Modelos de mudança de uso e cobertura da terra

A cobertura e uso do solo representam dinâmicas essenciais entre a atividade humana e o meio ambiente. Desde o marco da era industrial, as mudanças de uso e cobertura da terra (*Land Use and Cover Change* - LUCC) têm grande contribuição nas mudanças climáticas regionais e globais. Dentre essas mudanças de uso, estão envolvidas a exploração de florestas, a intensificação de uso agrícola e a urbanização, que além das mudanças climáticas que trazem, também, perdas de diversidade biológica (LIU *et al.*, 2017).

As LUCCs têm sido recentemente estudadas por diversos autores (ALQURASHI *et al.*, 2016; HUANG *et al.*, 2018; LIU *et al.*, 2017; OLMEDO *et al.*, 2015; SOARES-FILHO *et al.*, 2004) por meio da aplicação e desenvolvimento de modelos para entender as mudanças ao longo do tempo, além de projetar futuras possibilidades de mudanças.

Dentre os estudos de modelagem da LUCC, a urbanização tem recebido atenção devido às suas graves consequências para o meio ambiente, afetando diretamente a biodiversidade, o clima e o comportamento de águas superficiais (SHAFIZADEH-MOGHADAM *et al.*, 2017). No caso de Ilha Comprida, o processo de ocupação teve

início em tempos pré-históricos neolíticos, que pode ser evidenciado devido a presença de vários sambaquis pelo território (BECEGATO; SUGUIO, 2007). As mudanças no meio físico são ainda evidenciadas em tempos mais recentes, como o impacto devido a abertura do Valo Grande em 1827, que trouxe impactos como a erosão do rio Ribeira de Iguape e consequente carreamento dos sedimentos para o Mar Pequeno (NASCIMENTO JR *et al.*, 2008; PRADO *et al.*, 2019).

A simulação de crescimento urbano e mudanças de uso da terra é uma importante ferramenta para subsidiar políticas públicas (ALQURASHI *et al.*, 2016), além da aplicação em pesquisa ambiental, auxiliando no entendimento, previsão e antecipação de evoluções futuras (CAMACHO *et al.*, 2015).

Apesar das constatações e indicações da importância dos estudos de mudança de uso da terra, pouca atenção foi dada à incorporação da política espacial e ao planejamento nos processos de modelagem (HESPERGER *et al.*, 2018). Hesperger *et al.* (2018) aponta como um dos entraves para esta integração a falta de especificidade em planos que causam dificuldades de implementação nos modelos. Couclelis (2005) já indicava também a falta de abordagem do planejamento espacial, questionando o papel que a modelagem de cenários efetivamente exerce em processos de planejamento, colocando uma visão limitada por parte dos modeladores em incluir estas esferas no estabelecimento dos cenários para análise, apontando uma clara necessidade de integração entre os planejadores e modeladores durante o processo de construção dos modelos.

Nesses modelos que são utilizados nos estudos que abrangem a expansão urbana, têm sido predominante a abordagem por Autômatos Celulares (AC), de acordo com levantamentos realizados por Triantakou & Mountrakis (2012) e Aburas *et al.* (2019). Nessa abordagem, a paisagem analisada assume diferentes estados ao longo do tempo, de modo que as células, partindo de um estado inicial, mudam em função de seu estado e de células da vizinhança, partindo de um conjunto de regras de transição. Neste contexto, são aplicadas regras de transição para cada célula, determinando quando e porque seus estados se alteram, sendo essas regras qualitativas ou quantitativas (PEDROSA & CÂMARA, 2004).

Dentro desta abordagem, os modelos estatísticos espaciais, como modelos de regressão e de pesos de evidências, que utilizam dados históricos para quantificar relações entre as transformações terrestres, têm sido bastante utilizados. Apesar de

serem aplicados para diversos casos, cada modelo é calibrado de maneira específica, de modo a compreender de modo singular as mudanças de acordo com a área e as variáveis escolhidas para o estudo (SHAFIZADEH-MOGHADAM; TAYYEBI; HELBICH, 2017). Os modelos baseados em pesos de evidência levam em consideração a combinação de influência de diversas variáveis na configuração espacial de mudanças, considerando a presença dessas variáveis explicativas como probabilidades a priori que embasam o modelo para se emitir conclusões sobre o sistema estudado 'a posteriori'. Tais variáveis podem incluir distância a estradas, ou a classes de solo, resultando em um mapa de probabilidade de mudança, pixel à pixel (ALMEIDA, 2004; SOARES-FILHO *et al.*, 2007).

O modelo bayesiano de pesos de evidência foi proposto originalmente por Bonham-Carter (1994), e apresenta como principais vantagens:

- A objetividade do método, impedindo a escolha subjetiva de fatores de ponderação;
- Possibilidade de combinar de diversos mapas de evidências;
- Fácil adaptação dos mapas de evidência a linguagens computacionais;
- Incorporação de mapas com informação incompleta;
- Aplicação de mapas multiclasse onde fatias são tratadas como razões de probabilidade;
- E a modelagem das incertezas em razão das variações nos pesos e dados incompletos.

E como desvantagens são:

- A combinação dos mapas de evidência deve assumir que estes não são correlacionados e o teste para verificar a independência é possível se aplicado de maneira orientada aos dados, que requer tabulação cruzada entre os pares dos mapas;
- A aplicação do modelo é limitada aos casos em que se conhece bem a variável resposta (transição).

A escolha das variáveis a serem estudadas na influência da expansão urbana são extremamente relevantes. Wahyudi & Liu (2016) e Aburas *et al.* (2019) realizaram

levantamentos destas variáveis incorporadas como influenciadoras nos processos de mudança em diversos modelos baseados em autômatos celulares focados na modelagem da expansão urbana. Essas variáveis foram agrupadas e classificadas em grupos e a Tabela 1 a seguir resume as variáveis identificadas nos estudos.

Tabela 1. Principais variáveis em modelos de expansão urbana

Categoria	Variável
Geomorfologia / fatores físicos	Elevação
	Inclinação
	Hill-shade (sombreamento)
Conectividade / Acessibilidade	Estradas
	Pedágios
	Rodovias
	Hidrovias
	Ferrovias
	Cruzamento rodoviário
Instalações / Proximidade	Estação
	Aeroporto
	Cidades principais
	Centro comercial
	Centro de negócios
	Área industrial
	Áreas desenvolvidas existentes
	Escolas
	Unidades de saúde
	Temáticas
	Recreativas
Meio ambiente	Vegetação

	Meio ambiente (outros)
Governo	Regulação de zoneamento
	Fatores institucional
Restrições	Corpos d'água
	Parques nacionais, florestas
	Zonas úmidas
	Áreas protegidas
Demografia	Tamanho populacional
	Taxa de crescimento anual
	Densidade populacional
	Migração
Economia	Produto Interno Bruto (PIB)
	Valor da terra
	Tendências econômicas
Terra	Adequação da terra
	Disponibilidade de terra
	Aptidão da terra
Uso e Cobertura da Terra	Agricultura
	Floresta
	Construção

Fonte: Adaptado de Wahyudi & Liu (2016) e Aburas et al. (2019)

A categorização ou classificação dessas variáveis aconteceu para melhor organização das análises realizadas nos trabalhos de Wahyudi & Liu (2016) e Aburas et al. (2019), mas dependendo do estudo elas podem ser interpretadas e aplicadas de diferentes formas de acordo com o contexto. Em alguns trabalhos a regulação por zoneamento pode ser entendida como uma restrição ou uma ação normativa exercendo papel de restrição ou impulsionamento do crescimento sendo importante definir a influência da variável escolhida dentro do contexto de estudo. Essas categorias ainda podem ser

trabalhadas como faixas de distância ou como a presença ou ausência da classe, a depender de como estes dados estão estruturados e como se quer estudar determinada influência.

Seguindo a abordagem conceitual de Couclelis (2005), tanto os zoneamentos da APA quanto o zoneamento municipal podem ser analisados como visões de futuro para o planejamento do território. Nessas visões, se misturam tendências, expectativas e desejos dos diversos envolvidos. Para buscar alcançar essas visões de futuro, planejam-se narrativas coerentes de caminhos a serem trilhados, e que podem ou não se concretizar, a depender dos esforços de cada grupo interessado, bem como de mudanças não previstas nas condições inicialmente analisadas. As atividades de modelagem de mudança e de simulação dos cenários, mesmo considerando suas simplificações e incertezas, permitem estimular essa reflexão e auxiliar a desenvolver essas estratégias narrativas.

Desta forma, tendo o presente cenário singular de conflitos, crescimento desordenado, além de longo histórico de criação de áreas de proteção com imposição de diversas restrições, a aplicação de modelos para o estudo de Mudança de Uso e Ocupação do Solo em Ilha Comprida pode trazer esclarecimentos sobre as influências do crescimento urbano na efetividade de conservação pretendida nos objetivos de criação de UCs, além de projetar cenários no momento da revisão do zoneamento do município e proposta de atualização do zoneamento para a APA, promovendo a discussão e incluindo a participação dos gestores envolvidos no processo de modelagem.

4 METODOLOGIA

4.1 Área de estudo

O município de Ilha Comprida consiste em uma estreita ilha do Litoral Sul de São Paulo, localizada entre 24°41' e 25°05' latitude sul e entre 47°27' e 47°55' de longitude oeste (Figura 8).

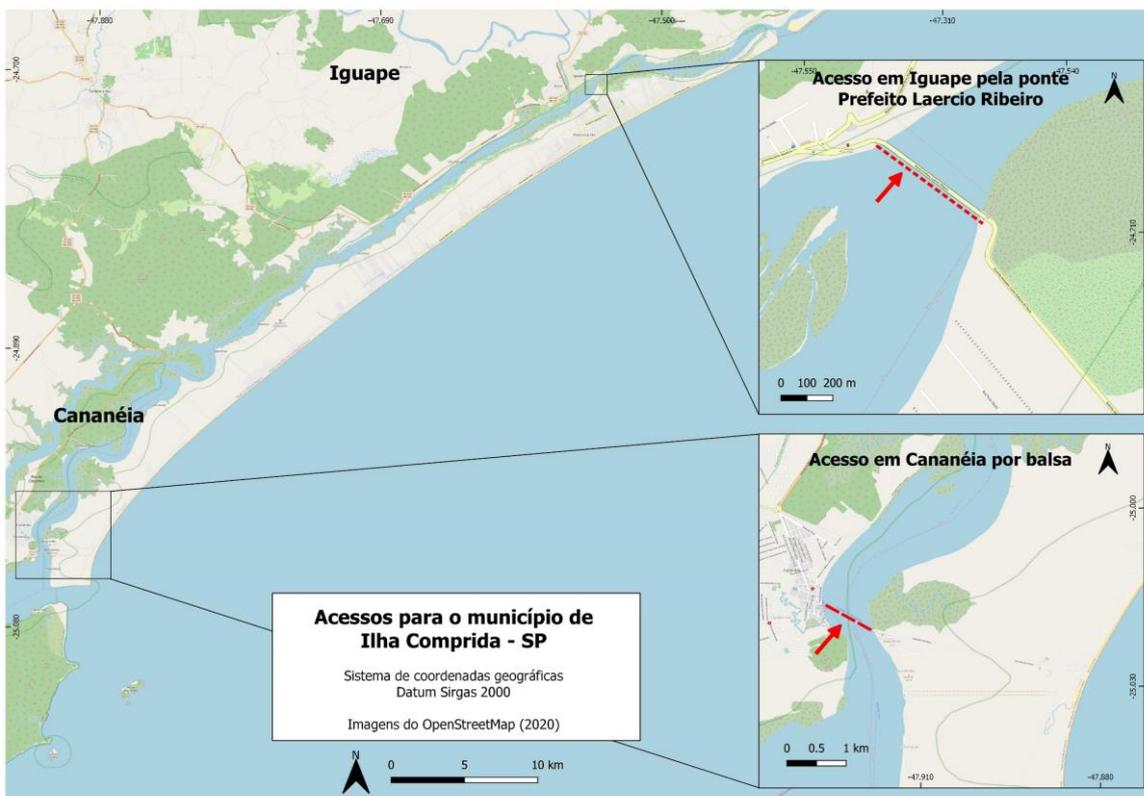
Figura 8. Localização da área de estudo



Fonte: Elaboração própria

A cidade possui dois acessos, sendo o principal realizado pela ponte Prefeito Laercio Ribeiro, que conecta a Ilha Comprida ao município de Iguape. O acesso mais antigo é realizado por balsa, através do município de Cananéia. Os acessos estão indicados na Figura 9.

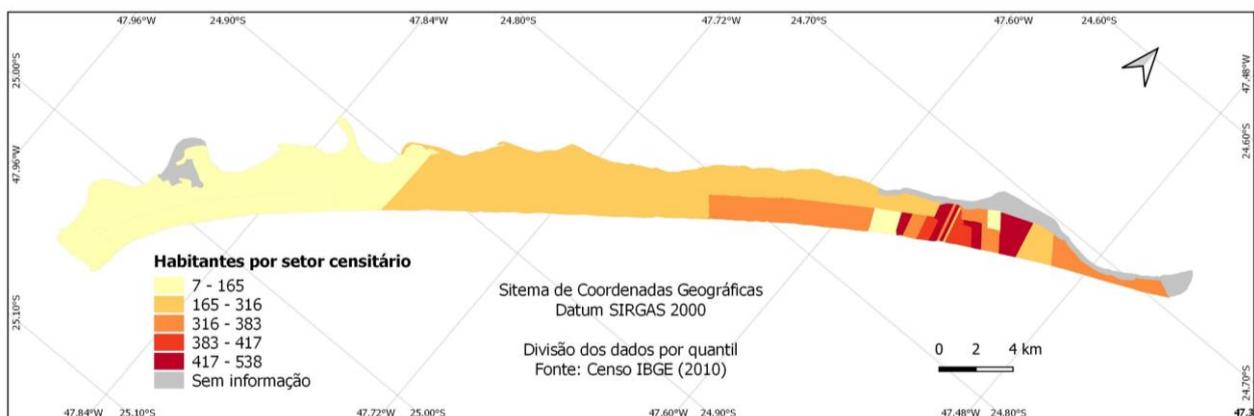
Figura 9. Principais acessos ao município de Ilha Comprida - SP



Fonte: Elaboração própria

De acordo com o censo Demográfico realizado por IBGE (2010), o município possuía uma população de 9.025 habitantes, estimando-se 10.965 para o ano de 2018, sendo a população 100% urbana (IBGE, 2018), a maior parte localizada ao norte da ilha (Figura 10). As atividades predominantes são o turismo e a pesca.

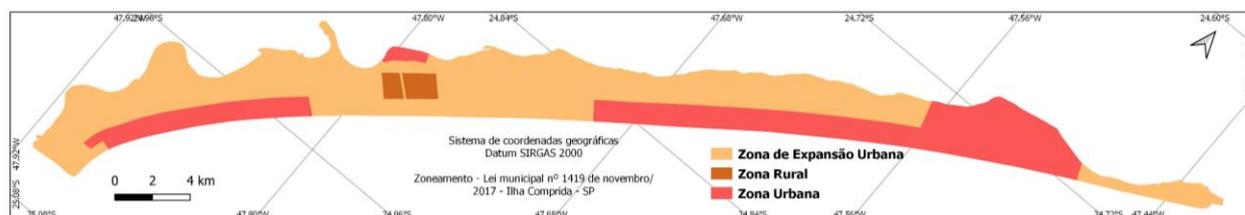
Figura 10. Distribuição da população por setor censitário



Fonte: Elaboração própria

Recentemente, por meio da Lei Municipal nº 1.419, de novembro de 2017, o município delimitou um novo zoneamento, estipulando 3 (três) zonas: Zona Urbana, Zona de Expansão Urbana e Zona Rural, como ilustrado na Figura 11.

Figura 11. Zoneamento municipal em Ilha Comprida - SP



Fonte: Elaboração própria

As zonas municipais circunscrevem áreas parceladas e não parceladas dentro do território. Segundo a lei, a definição do zoneamento tem dentre seus objetivos o de ordenar os limites e zoneamentos respeitando a situação das ocupações consolidadas e não consolidadas, garantindo áreas estratégicas para o desenvolvimento sustentável do município, sendo este que rege o controle do crescimento territorial, não sendo descritos no texto restrições para o uso do solo (ILHA COMPRIDA, 2017).

O clima predominante é o subtropical úmido, apresentando estações definidas com inverno frio e verão quente, com pluviosidade entre 1700 e 1800 mm/ano e temperatura média de 23°C (DIAS; OLIVEIRA, 2015). A vegetação da Ilha Comprida, característica da Mata Atlântica, conta com formações de restinga, áreas de campo brejoso, campo úmido de restinga, vegetação de praias e dunas e floresta de restinga (BRIZZOTTI; FARIA, 2016). Vale ressaltar que a proteção dessas formações é regida pela Lei Federal nº 11.428, de 22 de dezembro de 2016 (Lei da Mata Atlântica). Algumas destas classes de vegetação foram registradas em campo, conforme Figura 12.

Figura 12. Classes de vegetação encontradas em Ilha Comprida - SP



a) Vegetação em área de dunas



b) Floresta de restinga baixa



c) Floresta de Restinga Alta



d) Vegetação de mangues

Fonte: Acervo pessoal

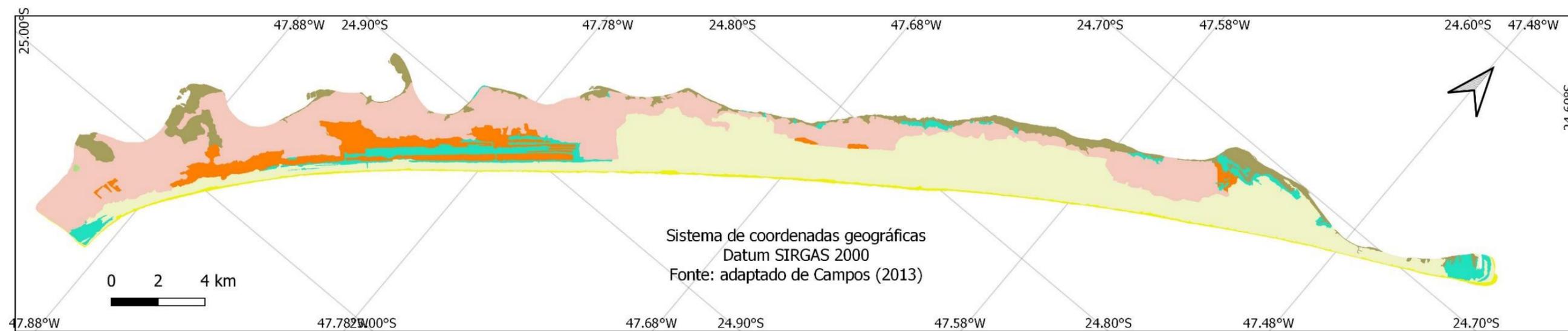
A formação de solo conta com gleissolos, espodossolos, neossolos e organossolos, além de outros elementos como praia e mangues (CAMPOS, 2013), conforme Figura 13. O Embasamento Alcalino Mesozóico consiste em um morrete (Figura 14), apontado como o ponto mais antigo do município de Ilha Comprida (GIANNINI *et al*, 2009), com predominância de Floresta de Restinga Alta e presença de matações e vertentes expostas (CAMPOS, 2013).

Os principais tipos de solo presentes na Ilha Comprida são:

- O Espodossolo é morfológicamente variado, desenvolvendo-se sobre sedimentos, com Horizonte B espódico, onde são comuns partículas de areia e silte total ou parcialmente revestidas com uma fina película de material iluvial ou o preenchimento completo ou quase completo do espaço poroso com esse material. No município de Ilha Comprida, o solo está associado à ocorrência da Floresta de Restinga Alta (CAMPOS, 2013).

- O Neossolo quartzarênico consiste em solos muito jovens e pouco evoluídos, constituídos por material mineral ou por material orgânico com menos de 20 cm de espessura, não apresentando qualquer tipo de horizonte B diagnóstico (CAMPOS, 2013).
- O Gleissolo consiste em solos saturados por água, associados a ocorrência de brejos de restinga e campos antrópicos (CAMPOS, 2013).
- O Organossolo é constituído por matéria orgânica, concentrada no horizonte hístico, ocorrendo em áreas saturadas por água nas depressões centrais da Ilha Comprida (CAMPOS, 2013).
- Os solos indiscriminados de mangue são solos sem diferenciação de horizonte com matéria-orgânica humidificada (CAMPOS, 2013).

Figura 13. Unidades de Solo em Ilha Comprida - SP

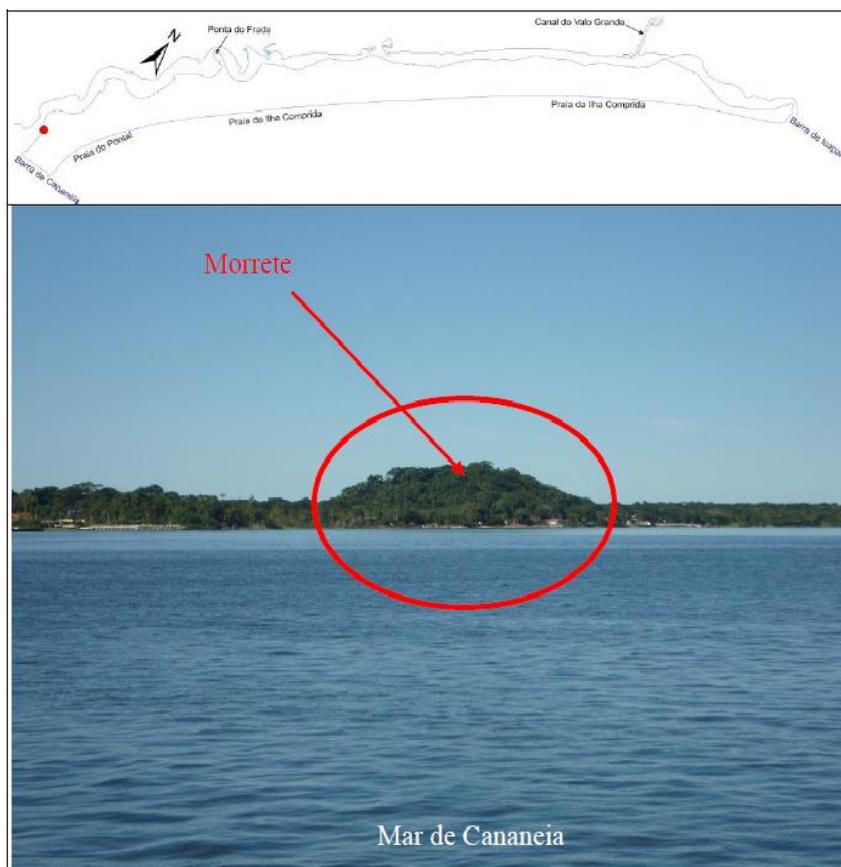


Unidades de solo e outros elementos

- | | | | |
|---|---|---|--|
| ■ Embasamento Alcalino Mesozóico | ■ Gleissolo (G) | ■ Organossolo (O) | ■ Solos Indiscriminados de Manguê (SIM) |
| ■ Espodossolo (E) | ■ Neossolo Quartzarênico (NQ) | ■ Praia | |

Fonte: Elaboração própria

Figura 14. Localização do Morrete em Ilha Comprida - SP

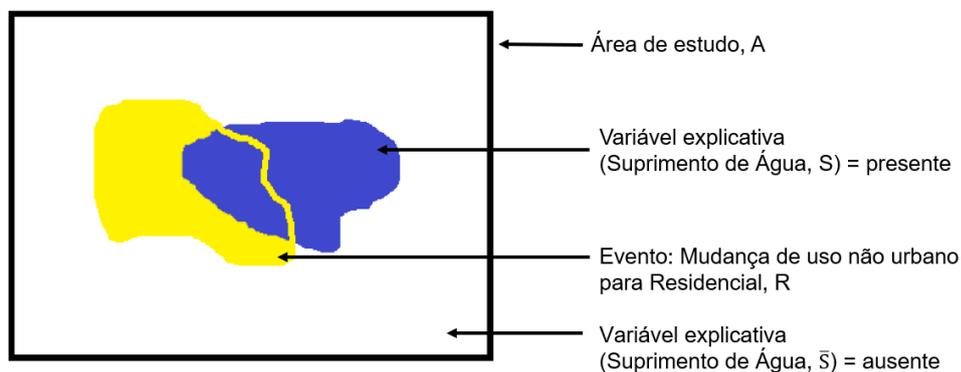


Fonte: Souza (2014)

4.20 método bayesiano de peso de evidências

O método bayesiano de pesos de evidências, no contexto dos modelos de mudança de uso do solo é utilizado para indicação de áreas favoráveis para um determinado fenômeno. Este método representa a influência de uma categoria ou faixa de valores de uma determinada variável na probabilidade espacial de uma transição, sendo calculado com base no resultado de uma tabulação cruzada entre um mapa de mudanças e os mapas das variáveis. Podemos explicar essa relação como a influência de uma categoria (ou faixa de valores) de uma variável na probabilidade espacial de uma transição, como por exemplo uso não urbano para residencial (Figura 15).

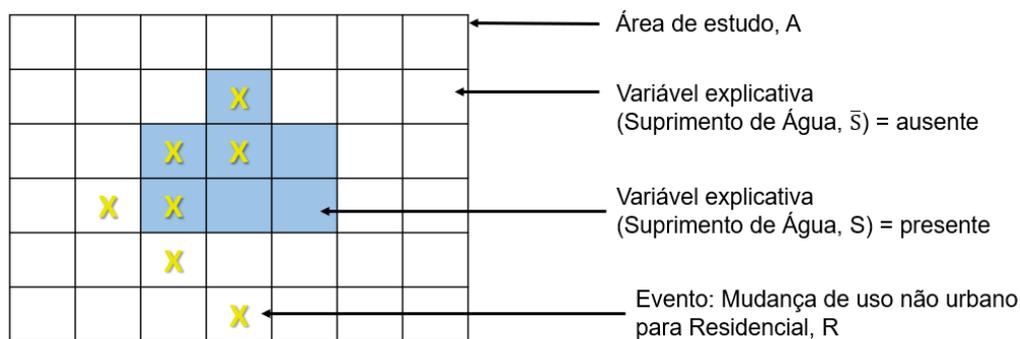
Figura 15. Esquema da disposição das variáveis do método de pesos de evidência



Fonte: Adaptado de Almeida (2004)

Podemos transferir essa estrutura da paisagem para um modelo matricial, onde conseguimos tratar essas variáveis em células ou pixels (Figura 16).

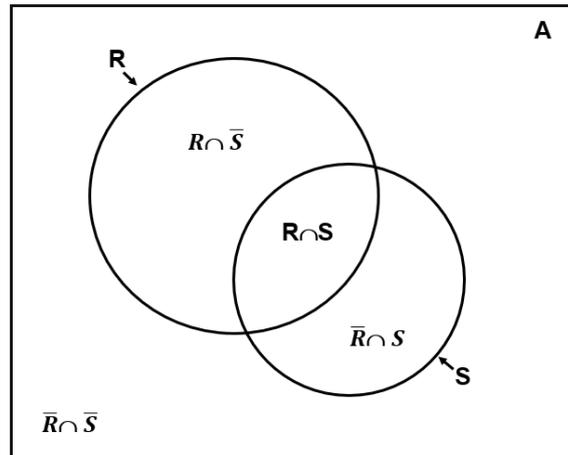
Figura 16. Esquema matricial da disposição das variáveis no método de peso de evidências



Fonte: Elaboração própria

A relação entre o evento de transição e a presença ou ausência da variável pode ser melhor entendida se observamos o Diagrama de Venn na Figura 17.

Figura 17. Diagrama de Venn para representação das relações entre as variáveis



Fonte: Adaptado de Bonham-Carter (1994)

Neste cenário, temos a probabilidade da transição $P\{R\}$ do uso não urbano para o residencial (R) ocorrer em toda a área de estudo, que pode ser obtida pela razão entre o número de células (ou pixels) de ocorrência da classe R $N\{R\}$ e da área total $N\{A\}$, conforme a Equação 1.

$$P\{R\} = \frac{N\{R\}}{N\{A\}} \quad (1)$$

A probabilidade a posteriori da transição ocorre na presença ou na ausência de uma determinada variável. Essa probabilidade dada a presença da variável pode ser calculada pela Equação 2.

$$P\{R|S\} = \frac{P\{R \cap S\}}{P\{S\}} = P\{R\} \frac{P\{S|R\}}{P\{S\}} \quad (2)$$

E na ausência da variável, o cálculo pode ser realizado pela Equação 3.

$$P\{R|\bar{S}\} = \frac{P\{R \cap \bar{S}\}}{P\{\bar{S}\}} = P\{R\} \frac{P\{\bar{S}|R\}}{P\{\bar{S}\}} \quad (3)$$

Onde S e \bar{S} representam a presença ou ausência da variável explicativa, respectivamente.

Para todas as variáveis são calculados os pesos de evidência positivos (W^+) e negativos (W^-), conforme as Equações 4 e 5.

$$W^+ = \log_e \left\{ \frac{P(S|R)}{P(S|\bar{R})} \right\} \quad (4)$$

$$W^- = \log_e \left\{ \frac{P(\bar{S}|R)}{P(\bar{S}|\bar{R})} \right\} \quad (5)$$

Onde \log_e o logaritmo natural, P é a probabilidade a priori, S e \bar{S} são a presença ou ausência (respectivamente) da evidência preditiva, e R e \bar{R} são a presença ou ausência da classe de cobertura da terra (uso residencial). A probabilidade a posteriori de uma transição $i \rightarrow j$, dado um conjunto de variáveis espaciais é expressa pela Equação 6 (SOARES-FILHO, *et al.*, 2009):

$$P\{i \rightarrow j | B \cap C \cap D \dots \cap N\} = \frac{e^{\sum W_N^+}}{1 + e^{\sum W_N^+}} \quad (6)$$

Onde B, C, D e N são os valores das variáveis espaciais medidas em determinada localização x,y e representadas por seus pesos $\sum W_N^+$.

Desta forma, quando temos um peso de evidência positivo, significa que ocorrem mais pixels de transição na presença da variável preditiva do que na tendência geral, inferindo uma maior probabilidade da transição em estudo, enquanto que no peso de evidência negativo temos menos pixels de transição na presença da variável, indicando uma menor probabilidade de transição. Quando o peso de evidência é igual a zero, temos que a variável estudada não exerce influência na transição. Desta forma, quanto maior e positivo for o peso de evidência, maior a probabilidade de uma transição ocorrer (SOARES-FILHO *et al.*, 2004).

4.2.1 Etapas da modelagem

A aplicação do método de peso de evidência deu-se a partir do *software* Dinamica EGO, seguindo as seguintes etapas:

- 1- Matriz de transição: elaboração da matriz de transição, que mostra a alteração pixel a pixel entre a paisagem inicial e a paisagem final, tendo como saídas matrizes de transição pixel a pixel e matrizes de passos único e múltiplo, que indicam a taxa de transformação dos pixels no período e ano a ano, respectivamente. Estas matrizes são elaboradas com base nos mapas de paisagem inicial (2010) e final (2018) servindo de base para o cálculo dos pesos de evidência;
- 2- Pesos de evidência: cálculo dos pesos de evidência relacionados às variáveis categóricas e de distância, inseridos no modelo no formato de cubo raster (camadas raster empilhadas). Os resultados para as variáveis categóricas (vegetação e cobertura da terra, zoneamento e solo) são calculados e

interpretados de forma direta. As variáveis que entraram como mapas de distância e NDVI passaram por ajustes para definição dos intervalos (faixas de valores), tendo em vista que o cálculo dos pesos é realizado a partir de mapas categóricos.

- 3- Correlação: após os ajustes das faixas das variáveis de distância e NDVI, foram realizados testes de correlação entre as variáveis. A suposição para o método Pesos de Evidência é que os mapas de entrada precisam ser espacialmente independentes, para evitar a multicolinearidade. A multicolinearidade, embora não atrapalhe a capacidade preditiva do modelo, impede a correta diferenciação da influência de variáveis preditoras com comportamento espacial semelhante. Para isto, são aplicados testes como o de Cramer e da Incertezas da Informação Conjunta. Bonham-Carter (1994) indica que valores menores que 0,5 indicam menor associação entre as variáveis. As variáveis altamente correlacionadas devem ser desconsideradas ou combinadas para entrada posterior no modelo.
- 4- Simulação: Após a definição dos pesos e avaliação da correlação entre as variáveis, é possível realizar uma primeira simulação do modelo, sendo utilizados como dados de entrada a matriz de transição de passos múltiplos, indicando a taxa anual de pixels que estarão na transição, a paisagem inicial para o ano de 2010, o cubo raster com as variáveis e os pesos de evidência ajustados. Nesta etapa é realizada a parametrização do modelo por meio dos algoritmos *patcher* e *expander*, que realizam a alocação das mudanças. A função *patcher* é responsável pela geração de novas manchas enquanto a função *expander* é responsável pela expansão das manchas já existentes. A quantidade de células a sofrerem a mudança pela transição é repartida entre estas funções, a critério de quem está realizando a modelagem. Tais funções irão atuar a partir do mapa de probabilidade de transição, tendo como parâmetros de entrada isometria, variância e tamanho médio das manchas. Os valores do tamanho médio das manchas e variância entram em unidade de área (ha) de acordo com o tamanho das manchas a serem criadas. O índice de isometria representa se as manchas serão mais compactas ou mais fragmentadas, variando entre 0 e 2 de modo que, quanto maior for o índice, mais compactas serão as manchas e quanto mais próximo a zero, mais

fragmentadas. Os parâmetros do modelo foram testados e foram escolhidos os que visualmente melhor representaram a dinâmica de expansão estudada apresentando também os melhores ajustes durante o processo de validação.

- 5- Validação: para a validação do modelo foi utilizado o método implementado no Dinamica EGO de similaridade Fuzzy (Hagen, 2003), com janelas de pixel de 1x1, 3x3, 5x5, 7x7, 9x9 e 11x11. A comparação da similaridade ocorre por meio de uma função de decaimento exponencial. Nesta etapa é verificada a similaridade entre o mapa gerado pelo modelo e o mapa de referência com a paisagem real. Esta validação também foi realizada com uma etapa adicional considerando um mapa nulo, em que todos os pixels têm igual probabilidade de transição, ou seja, a transição pode ocorrer em qualquer célula de forma aleatória. O modelo nulo foi construído em R com a utilização dos pacotes *landscapeR*, *rater* e *shar*. O modelo levou em consideração que todos os pixels teriam igual probabilidade de transição, utilizando como base o mapa de uso urbano e não-urbano para o ano inicial de 2010, sendo utilizados como parâmetros o mesmo número de pixels de transição do modelo configurado no Dinamica EGO, com o mesmo tamanho das manchas. O *script* utilizado para o procedimento de geração da paisagem através do modelo nulo, realizado no R, encontra-se no APÊNDICE A.
- 6- Ajustes e simulação dos cenários: após a validação no modelo foram realizadas as simulações, agora sendo considerada como paisagem inicial o ano de 2018, simulando diferentes cenários futuros para os anos de 2030 e 2050, de acordo com diferentes padrões de zoneamento. Como a taxa de transição possui baixos valores, foram gerados os cenários até 2050 para melhor visualização do comportamento da expansão das manchas.

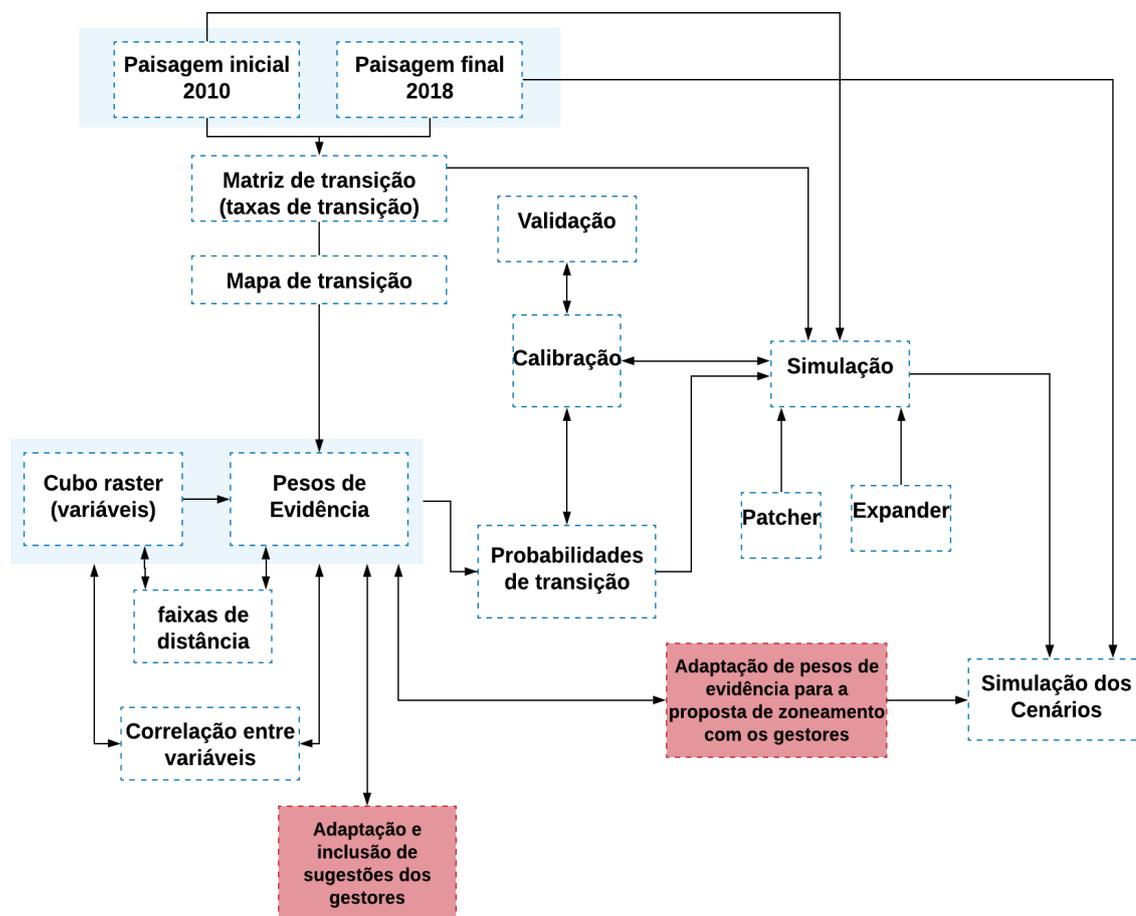
As etapas de calibração e modelagem para os cenários futuros tiveram a participação dos gestores e técnicos da Fundação Florestal, ocorrendo em três momentos. O primeiro foi realizado durante o trabalho de campo que foi acompanhado por uma gestora da APAIC, momento em que foi possível conversar sobre as dinâmicas de ocupação em relação com as políticas ambientais. Em um segundo momento, foi realizada uma reunião onde foram apresentados a metodologia dos pesos de evidência e os resultados preliminares, mostrando os pesos e o mapa de probabilidade de transição gerado. Nesta reunião foi possível

debater as influências esperadas das variáveis nas transições de uso e verificar se os intervalos (faixas) de distância faziam sentido em relação as dinâmicas locais, além de discutir adaptações ou inserção de novas variáveis.

Em um terceiro momento, foram organizadas duas oficinas, para calibração dos dados para estabelecer os cenários. Os modelos devem ser usados para suportar as necessidades do planejamento estratégico, fornecendo a possibilidade de explorar as implicações das políticas e ações alternativas do planejamento. Neste contexto, os cenários ajudam a explorar as possíveis discontinuidades e surpresas futuras em uma análise mais ampla, contribuindo para testes de estratégias e alternativas. Para o estabelecimento destes cenários deve ser realizado o exercício na modelagem do que se espera para o futuro a partir da implantação de determinadas medidas (COUCLELIS, 2005).

Desta forma as oficinas foram realizadas lembrando o funcionamento do método, mas desta vez com o foco para discussão na influência da variável referente ao zoneamento. Foi realizado um exercício para interpretar a influência do zoneamento vigente na transição com base nos pesos de evidência referentes a essa variável, para que a partir deste entendimento fossem estabelecidos os pesos para o zoneamento proposto. Para tanto, os participantes tinham que realizar um exercício de análise da dinâmica apresentada em relação ao zoneamento vigente, para então realizar uma reflexão de como eles esperam que as transições devam se dar em cada zona em um cenário futuro, de modo que esta dinâmica pudesse ser representada em valores de peso de evidência à serem incorporados às zonas da nova proposta. A Figura 18 apresenta as etapas da modelagem e a participação dos gestores no processo de modelagem.

Figura 18. Participação dos gestores e técnicos da Fundação Florestal na modelagem representada pelos quadros na cor vermelha



Fonte: Elaboração própria

4.3 Dados utilizados

Para a elaboração dos mapas de cobertura da terra, correspondentes às paisagens inicial e final de entrada no modelo na etapa de elaboração da matriz de transição, foram utilizados os dados de uso urbano (mapeamento das áreas construídas) em formato vetorial do trabalho de Souza (2014), a partir da interpretação visual de imagem aérea cedida pela Emplasa, para o ano de 2010, com resolução de um metro, disponível no portal Datageo¹, e interpretação de imagens de satélite de alta resolução da Digital Globe, disponíveis no sistema Google Maps para o ano de 2018, com resolução de 0,50 metro. Esta etapa ainda foi validada com visita de campo realizada em 11 de dezembro de 2018. A escolha do ano para a paisagem inicial levou em

¹ <http://datageo.ambiente.sp.gov.br/>

consideração a formação do conselho gestor da APAIC em 2009, com a gestão e fiscalização da Fundação Florestal.

Para as variáveis espaciais, que entraram no modelo no formato de cubo raster, foram utilizados os mapas categóricos de:

- Vegetação e cobertura da terra, obtido por meio dos dados vetoriais do trabalho de Souza (2014) e adaptado a partir do Atlas da Restinga de Brizzotti e Faria (2016) disponível através de serviço WMS². Para elaboração do mapa foram consideradas as classes presentes no trabalho de Souza (2014), mesclando-se as áreas de mangue com as de campo brejoso, e incorporando a classe de campo úmido de restinga presentes no Atlas da Restinga. Tais alterações foram validadas também com a visita de campo realizada em 11 de dezembro de 2018;
- Zoneamento instituído pelo Decreto Estadual nº 30.817, de 1989, fornecido em formato vetorial pela Fundação Florestal, e;
- Solos, vetorizado a partir do trabalho de Campos (2013) e classificados em solos úmidos e não úmidos.

Os dados do trabalho de Souza (2014) foram elaborados em escala 1:10.000. Os dados do mapeamento de solo de Campos (2013) foram elaborados em escala 1:60.000.

Ainda dentro das variáveis espaciais incluídas no cubo raster, foram utilizados mapas de distância, elaborados em R, cujo procedimento encontra-se no APÊNDICE A. Os mapas de distância foram:

- Distância à rede de drenagem, a partir dos dados vetoriais do trabalho de Souza (2014) e da rede de drenagem disponível no portal Datageo (<http://datageo.ambiente.sp.gov.br/>);
- Distância ao sistema viário (vias pavimentadas e não pavimentadas), a partir dos dados vetoriais de Souza (2014) e adaptados com o auxílio da base viária do sistema OpenStreetMap (<https://www.openstreetmap.org/>) através do serviço WMS. A

² http://143.107.246.248/lizmap-web-client/lizmap/www/index.php/view/map/?repository=ilhacomprida&project=proj4_IC

atualização do sistema viário também foi validada com base na visita técnica realizada em 11 de dezembro de 2018;

- Distância à linha de costa, para os anos de 2010 e 2018, obtidas a partir das imagens dos dois anos no Google Earth;
- Distância às bordas do município, para os anos de 2010 e 2018, obtidas das imagens dos dois anos no Google Earth;
- Distância às linhas de erosão lenta, ao sul do município, desenhadas a partir das linhas de erosão observadas no histórico de imagens do Google Earth entre 1984 e 2018;
- Distância às linhas de erosão rápida, na região nordeste do município, desenhadas a partir das linhas de erosão observadas no histórico de imagens do Google Earth entre 1984 e 2018;
- Distância aos pontos de interesse fotográfico, obtidos através da criação dos pontos vetoriais de localização de fotos no Google Earth com dados coletados até março de 2019.

Por fim, ainda foi adicionado ao cubo raster o mapa de NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada), gerado a partir de imagens multiespectrais *Rapideye* de julho de 2010, obtidas pelo sensor *Multispectral (pushbroom imager)* com 5m de resolução espacial, fornecidas pela Santiago & Cintra Consultoria.

Para gerar o índice de NDVI foram utilizadas as bandas correspondentes ao vermelho (R) e infravermelho próximo (NIR) respectivamente, e o cálculo se deu conforme a equação 4 (ROUSE *et al.*, 1974) a seguir:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{R}) / (\text{NIR} + \text{R}) \quad (4)$$

O NDVI é calculado para cada pixel da imagem, e o índice varia entre -1 e +1, de modo que, quanto mais perto de 1 o índice, maior a densidade de biomassa e/ou umidade. Valores entre -1 e 0 usualmente representam objetos que não são considerados como vegetação (MENESES, 2012). Como o *software* Dinâmica EGO só aceita a entrada de dados com números inteiros, o mapa de NDVI foi multiplicado por 10^7 .

Outra variável que entra no modelo é a de distância à mancha urbana. O mapa desta variável é gerado e atualizado pelo Dinâmica EGO durante o processo de modelagem para cada passo (ano) da transição de estudo, e também foi considerada.

Todas as variáveis foram convertidas para formato matricial (*raster*), com 10m de resolução, no R, ambiente em que foi montado o cubo raster. O script R para elaboração das variáveis (mapas de distância, variáveis categóricas e NDVI) e também a de transformação das variáveis no formato matricial encontra-se no APÊNDICE A e os mapas de base para criação das variáveis no APÊNDICE B.

As escolhas das variáveis utilizadas neste trabalho levaram em consideração não somente as já presentes em outros estudos de modelagem de expansão urbana (Tabela 1), mas também como elas representam a dinâmica da área de estudo. A justificativa da escolha das variáveis estudadas encontra-se na Tabela 2.

Tabela 2. Justificativa das variáveis utilizadas no modelo

Variável	Justificativa	Trabalhos que também utilizaram a variável na modelagem
Distância à mancha urbana	Bastante utilizada nos estudos, a variável pode representar infraestrutura já consolidada próxima as áreas já urbanizadas.	Amato <i>et al.</i> (2014), Camacho-Sanabria <i>et al.</i> (2015), Abdullahi e Pradhan (2016), Shafizadeh-Moghadam <i>et al.</i> (2017), Garcia <i>et al.</i> (2017)
Vegetação e cobertura da terra	Representam restrições ou propensão ao uso, de acordo com critérios estabelecidos pela Lei Federal nº 11.428, de 2012	Amato <i>et al.</i> (2014), Abdullahi e Pradhan (2016), Shafizadeh-Moghadam <i>et al.</i> (2017) (este último utiliza como distância às florestas)
Zoneamento	Representam áreas onde atualmente o parcelamento do solo é permitido ou não, representando o cenário de conflitos. Incluindo o zoneamento municipal e a oportunidade da inserção da proposta de zoneamento nos cenários	Almeida <i>et al.</i> (2005) e Camacho-Sanabria <i>et al.</i> (2015) utilizam como distância à zonas específicas, Delaneze <i>et al.</i> (2014) utiliza áreas protegidas,
Solos	Representam restrições (solos úmidos por exemplo) ou aptidão à construção.	Macedo <i>et al.</i> (2013), Abdullahi e Pradhan (2016)
Distância da rede de drenagem	Representam restrições como respeito às Áreas de Preservação Permanente (APPs)	Macedo <i>et al.</i> (2013), Delaneze <i>et al.</i> (2014), Shafizadeh-Moghadam <i>et al.</i> (2017), Garcia <i>et al.</i> (2017)
Sistema viário	Amplamente utilizado nos trabalhos de modelagem, representando conectividade (e também a ausência em determinados pontos do município) e consequente propensão à expansão urbana. No cenário de estudo, a presença do sistema pavimentado basicamente no centro urbano perto do acesso à ilha pode evidenciar uma dinâmica importante em relação ao padrão do sistema viário do resto do município.	Almeida <i>et al.</i> (2005), Macedo <i>et al.</i> (2013), Delaneze <i>et al.</i> (2014), Amato <i>et al.</i> (2014), Camacho-Sanabria <i>et al.</i> (2015), Shafizadeh-Moghadam <i>et al.</i> (2017), Garcia <i>et al.</i> (2017)

Linha de costa/bordas	Representam restrições relativas à proximidade da costa e ao perímetro da ilha que faz fronteira com o mar pequeno, onde encontram-se regiões protegidas de mangues e núcleos de pescadores, além de relacionarem-se a atratividade turística.	Feitosa <i>et al.</i> (2017)
Linhas de erosão	Representam restrições devido à intensa atividade erosiva registrada no município, constatada com estudos sobre a Ilha e em campo.	Não foram localizados trabalhos que utilizassem esta variável.
Pontos de interesse fotográfico	Como apontado na revisão bibliográfica, parte da atividade econômica do município é dividida com atividades ligadas ao turismo, sendo esta a variável utilizada para representar os principais pontos de interesse turístico e avaliar sua influência na transição estudada.	Não foram localizados trabalhos que já tenham utilizado pontos de interesse fotográfico como uma variável nos modelos, mas poderíamos aproximá-la a categoria temática em proximidade, de acordo com a tabulação realizada por Wahyudi & Liu (2016) e Aburas <i>et al.</i> (2019)
NDVI	Além da ampla utilização nos processos de modelagem, ajuda a complementar as áreas favoráveis ou mais restritivas à ocupação, tendo em vista a representação do estado da vegetação e de umidade do solo em um índice contínuo (não categórico).	Não foram identificados modelos com o NDVI como uma variável direta, sendo bastante comum que seja utilizado na elaboração de outras variáveis, como auxílio em classificação de imagens para determinação de cobertura do solo por exemplo.

Fonte: elaboração própria

As variáveis utilizadas foram definidas após a atividade de campo realizada em dezembro de 2018, que teve como objetivo avaliar as diferenças das classes de vegetação para determinar quais classes seriam relevantes a se manter durante a adaptação dos mapas de vegetação e cobertura da terra, além de verificar os padrões do sistema viário e os tipos de ocupação no entorno da ilha. A atividade de campo acompanhada pela técnica da Fundação Florestal também justificou a escolha da variável de NDVI para complementar as análises relacionadas a supressão de vegetação. Foi relatado que muitas áreas dentro das zonas urbanas levam um grande processo até conseguir a autorização para supressão de vegetação que envolvem a Fundação Florestal, a Prefeitura e a CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo), tendo em vista que, de acordo com a Lei nº 11.428 de 22 de dezembro de 2006 (Lei da Mata Atlântica), é permitida a supressão de restinga a depender do estágio de degradação e regeneração da vegetação mediante a autorização do órgão

ambiental. Desta forma, o NDVI pode trazer uma complementação à expansão urbana sobre as áreas de restinga.

O trabalho de campo foi extremamente importante, principalmente na atualização da base do sistema viário, pois foi possível confirmar a descontinuidade de diversas vias e identificar problemas de conectividade em algumas regiões do município, que se deram por erosões pelo avanço do mar ou por regeneração da vegetação em áreas de vias não pavimentadas e verificar as áreas impactadas por processos erosivos e ocupações irregulares. O trajeto realizado durante o campo, que contou com o acompanhamento de um gestor da APA, encontra-se no APÊNDICE B.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

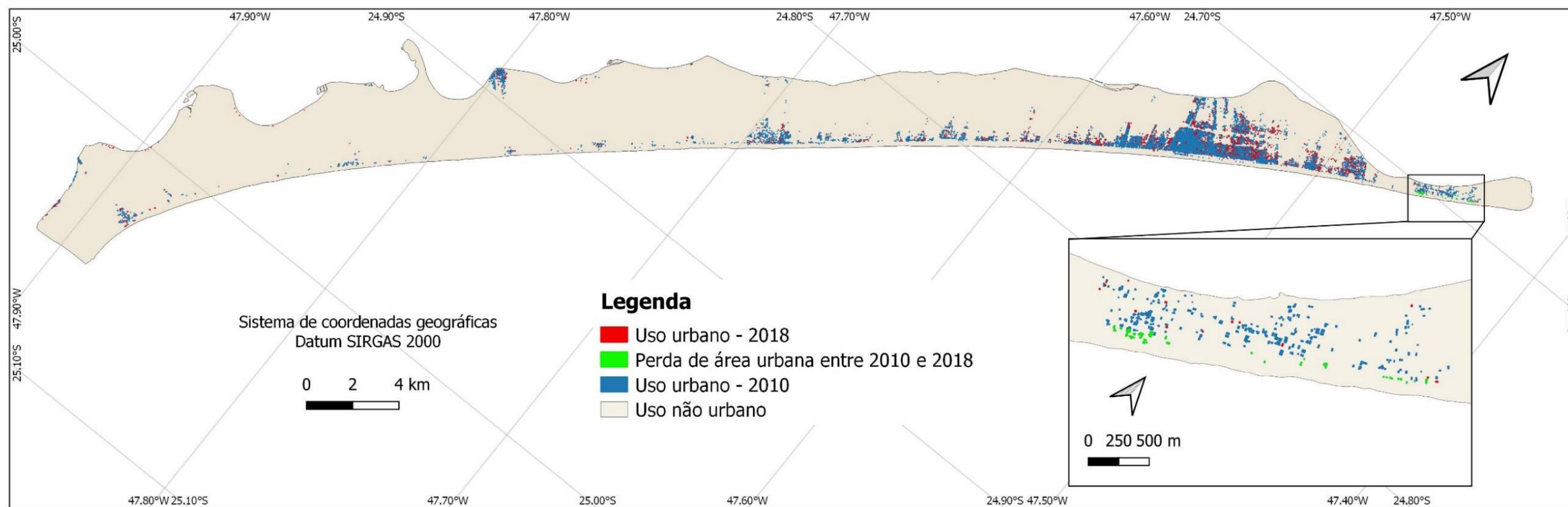
A atualização das áreas construídas para os anos de 2010 e 2018 permitiu uma avaliação espacial preliminar de onde está ocorrendo a expansão. Uma pontuação interessante ocorre na porção nordeste da ilha, região em que ocorre uma diminuição da área urbana no período de estudo, conforme podemos observar nas Figuras 20, 21, 22, 23 e 24. Tal decréscimo vem ocorrendo devido ao avanço e ação erosiva do mar, que vem destruindo as construções localizadas no extremo nordeste da ilha, conforme já observado por (NASCIMENTO JR *et al.*, 2008; MODESTO; CARMO, 2014; SOUZA, 2014). A Figura 19 apresenta as fotos tiradas em uma visita realizada em dezembro de 2018 que mostra a ação erosiva do mar na região nordeste e a visão dos cenários em 2010 e 2018 por imagem de satélite.

Figura 19. Casas erodidas em Ilha Comprida – SP. Os polígonos de bordas vermelha mostram a localização das edificações em 2010.



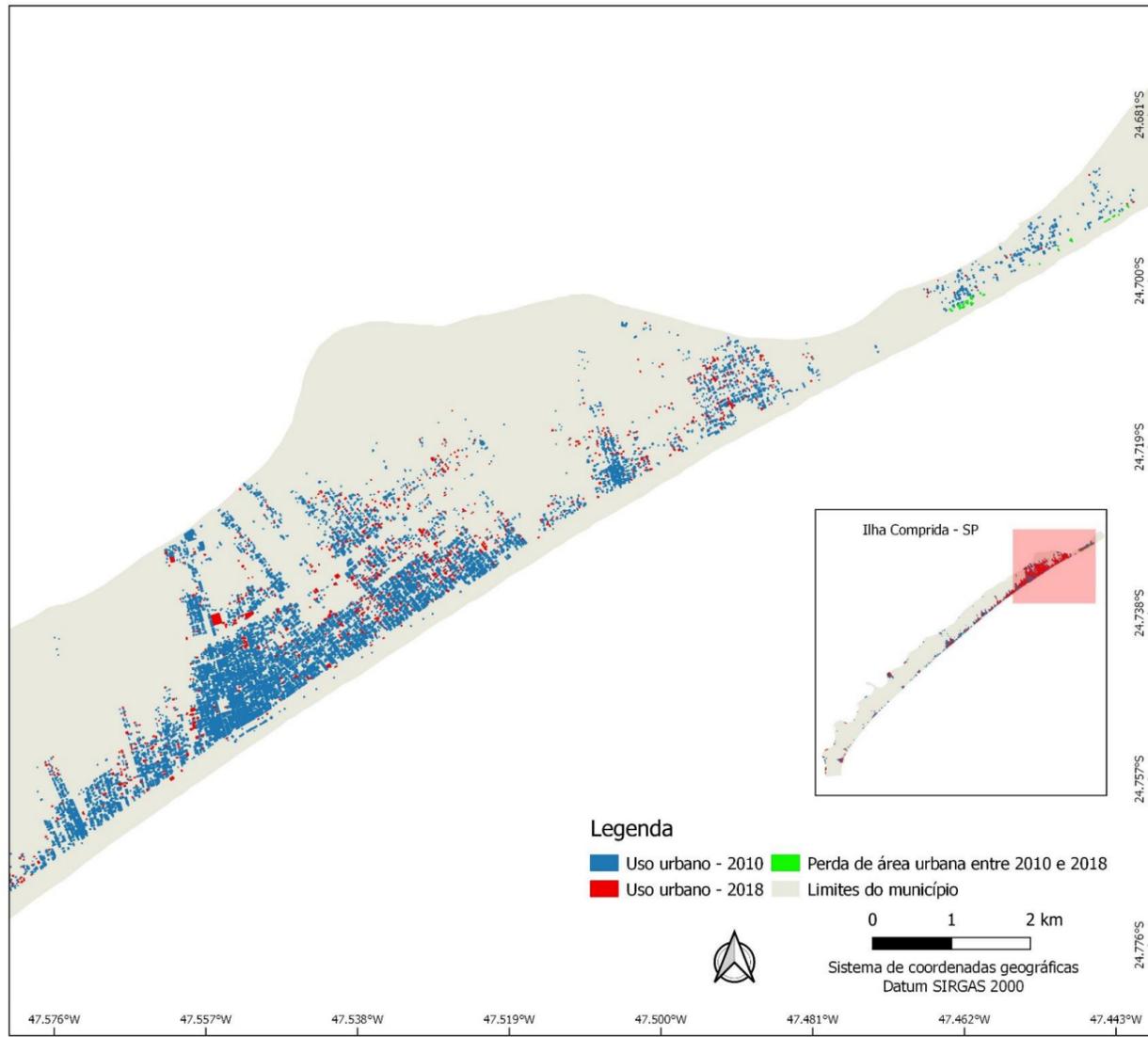
Fonte: Fotos de acervo próprio e imagens Emplasa (2010) e Digital Globe (2018)

Figura 20. Áreas construídas na Ilha Comprida em 2010 e 2018



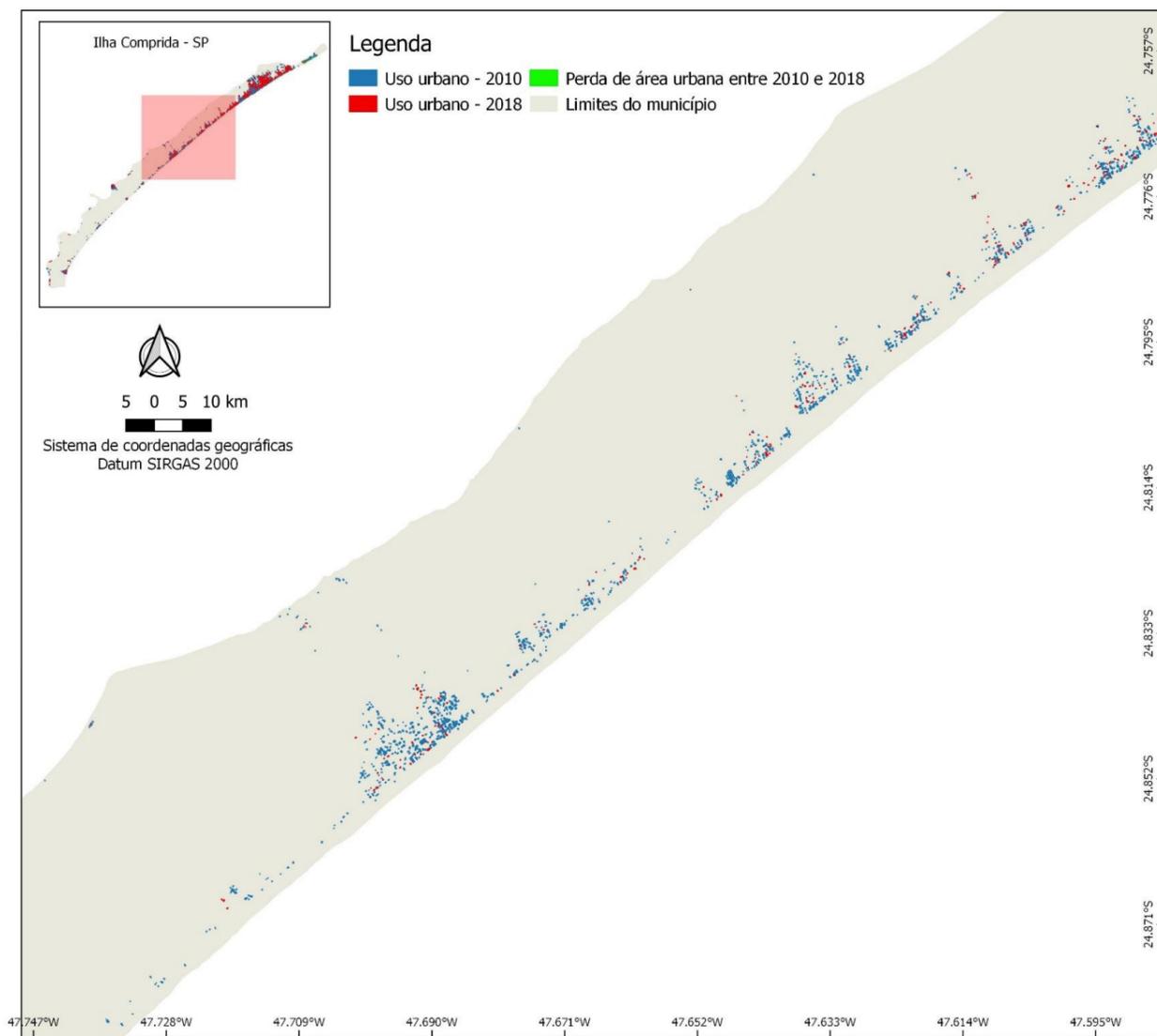
Fonte: Elaboração própria

Figura 21. Áreas construídas na região norte do município



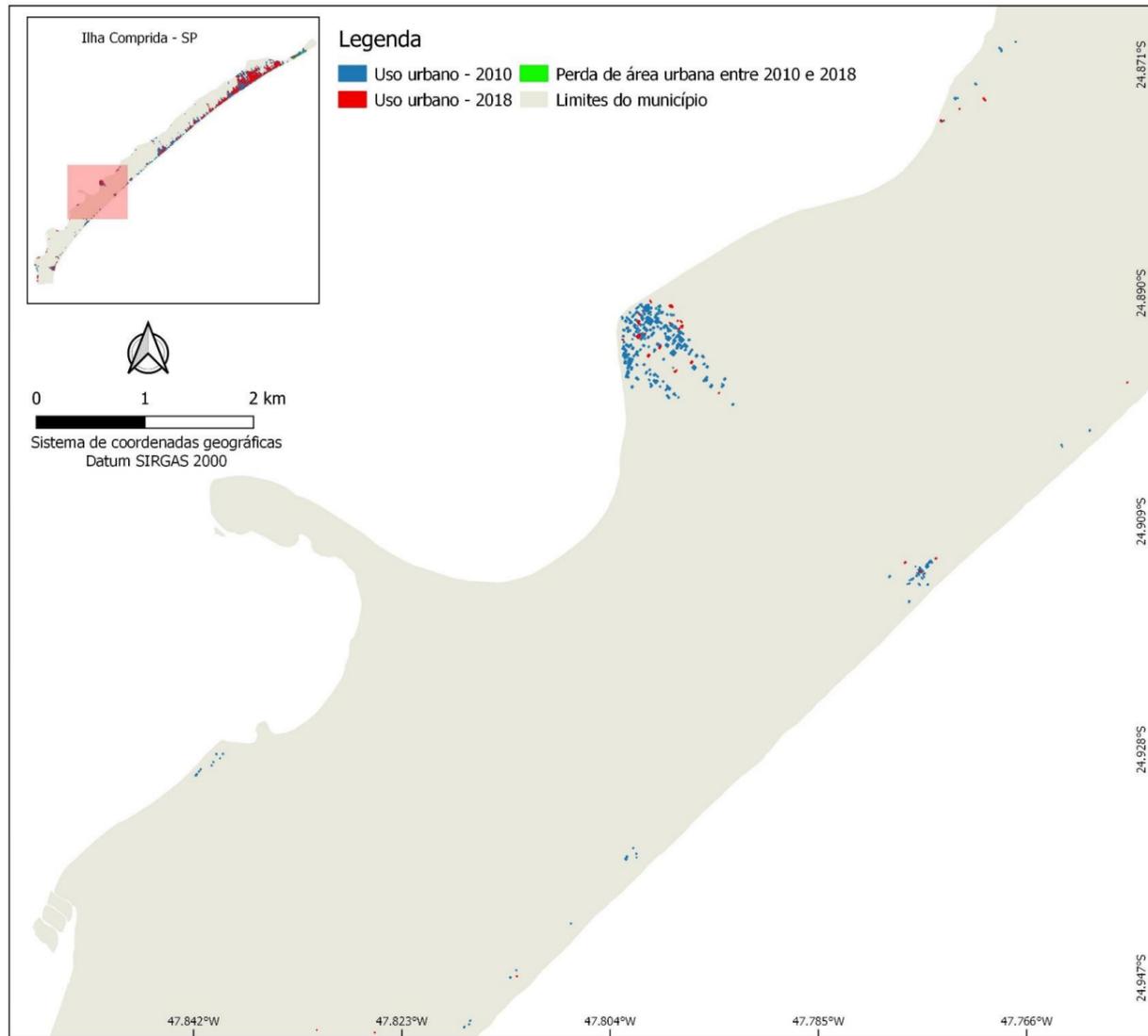
Fonte: Elaboração própria

Figura 22. Áreas construídas na região centro norte do município



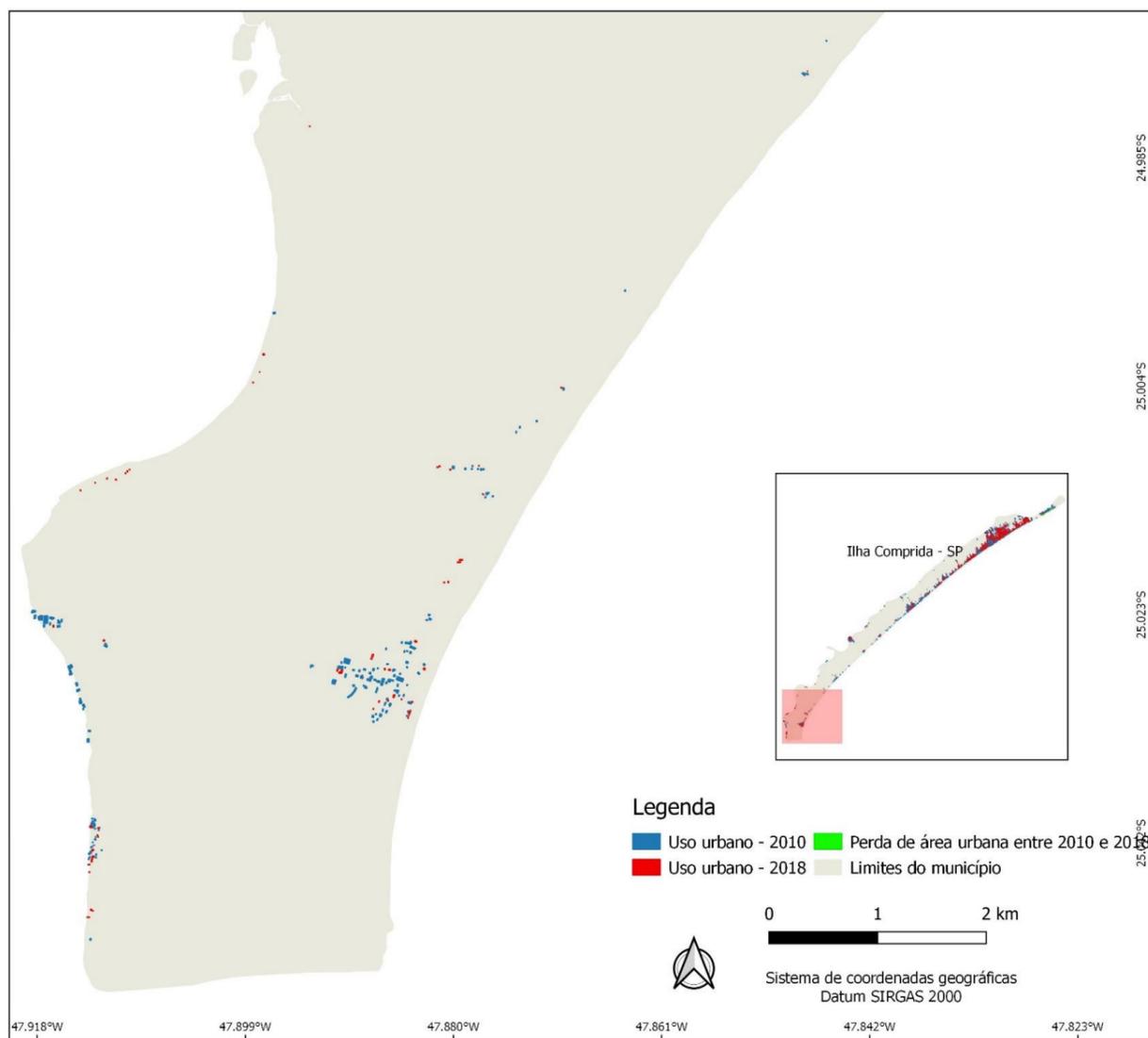
Fonte: Elaboração própria

Figura 23. Áreas construídas na região centro sul do município



Fonte: Elaboração própria

Figura 24. Áreas construídas na região sul do município

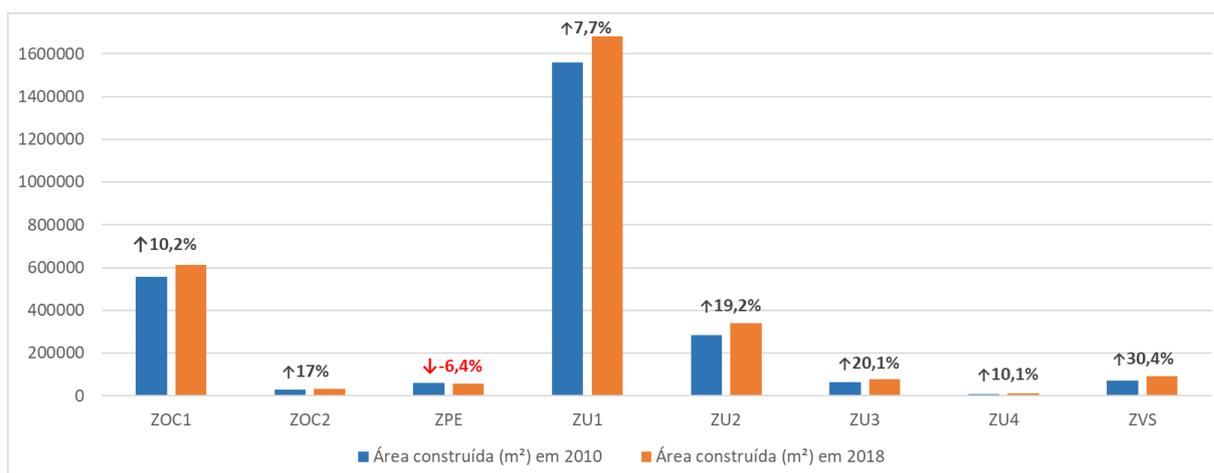


Fonte: Elaboração própria

Foi possível também notar, após a avaliação de área construída em cada zona (Figura 25), para os anos de 2010 e 2018, que houve crescimento na maioria das zonas, destacando-se a Zona Urbanizada 3 (ZU3) com a maior taxa de crescimento e a Zona Urbanizada 1 (ZU1), com a maior área construída. Por fim, a Zona de Vida Silvestre (ZVS) demonstrou uma alta taxa de crescimento, o que vai de encontro com o estipulado pelo Decreto Estadual nº 30.817, de 1989, que não permite qualquer parcelamento do solo nessa zona.

Dentre todas as zonas analisadas, a única que apresenta decréscimo de área construída, é a Zona de Proteção Especial (ZPE), cujo parcelamento do solo também é proibido. Esta zona está localizada na porção nordeste da ilha, onde há fortes ações erosivas do mar que têm destruído as construções.

Figura 25. Área construída por zona em 2010 e 2018

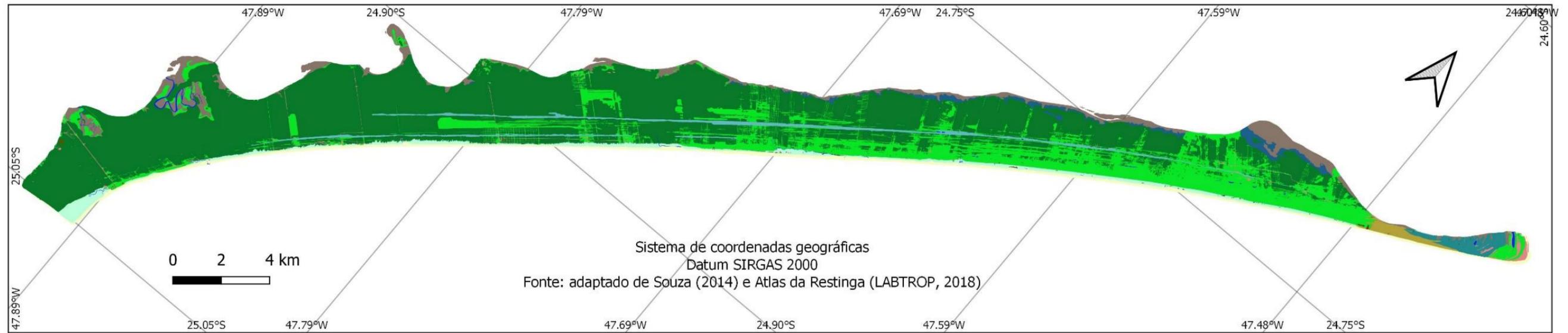


Fonte: Elaboração própria

A análise da área construída incidente sobre as classes de vegetação e cobertura da terra (Figuras 26, 27, 28, 29 e 30) foi realizada de forma diferente em relação ao zoneamento. Como podemos verificar na

Figura 31, a maior parte do município é coberta por restinga e depois por gramíneas, de forma que as demais classes ocupam menores partes da ilha.

Figura 26. Vegetação e cobertura da terra em Ilha Comprida - SP

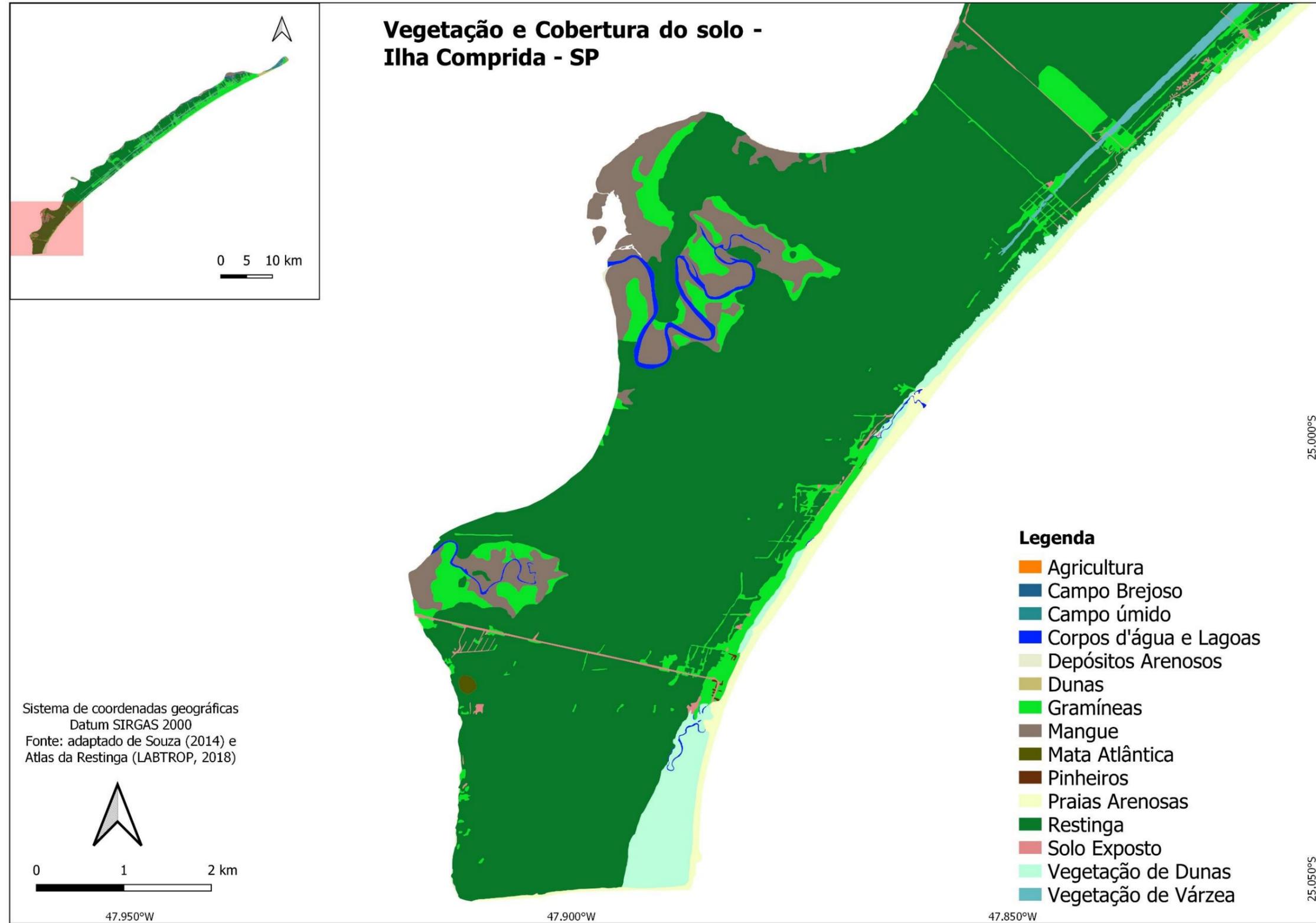


Vegetação e cobertura do solo

Fonte: Elaboração própria

Figura 27. Vegetação e cobertura da terra na região sul do município



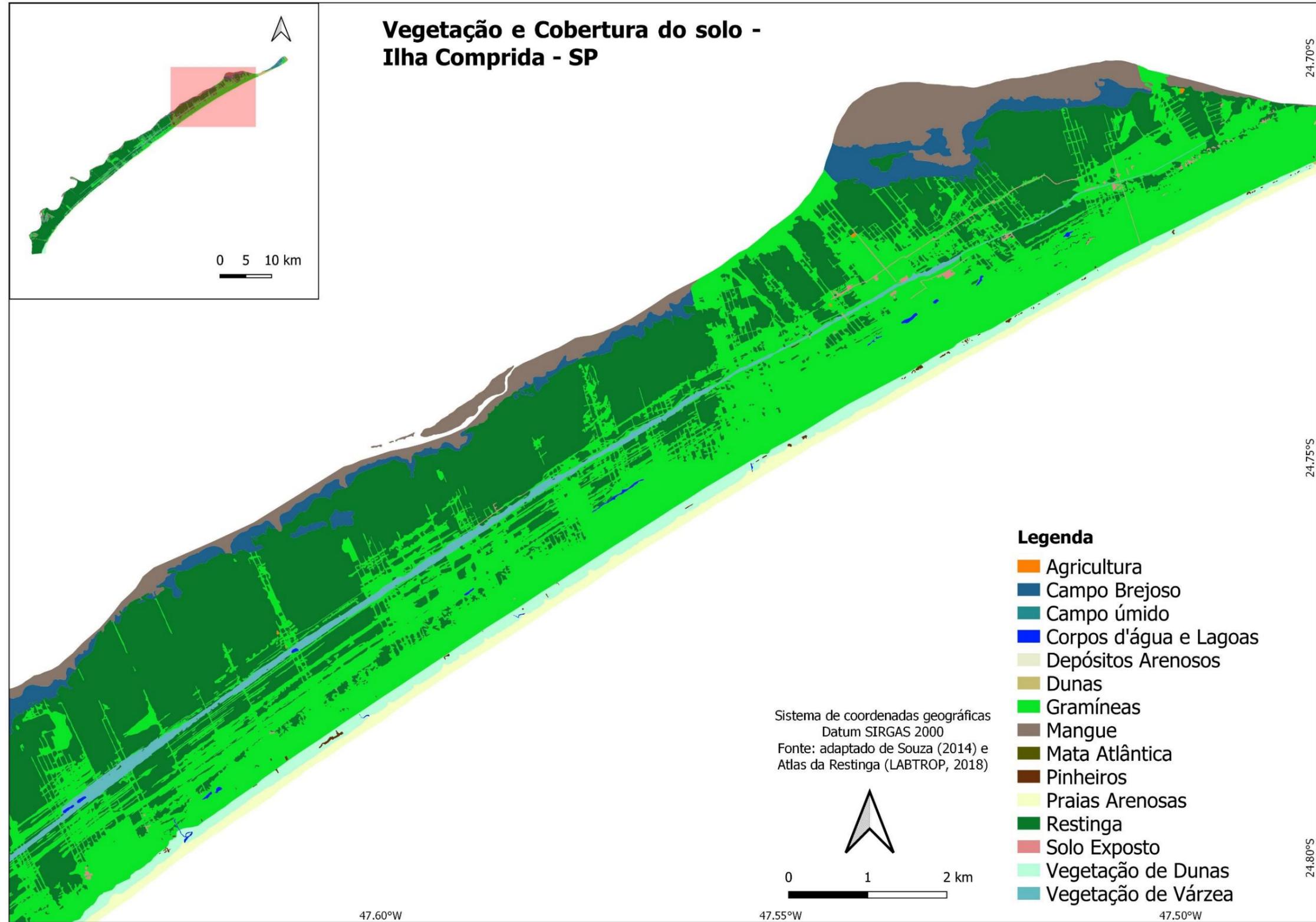
Fonte: Elaboração própria

Figura 28. Vegetação e cobertura da terra na região centro sul do município



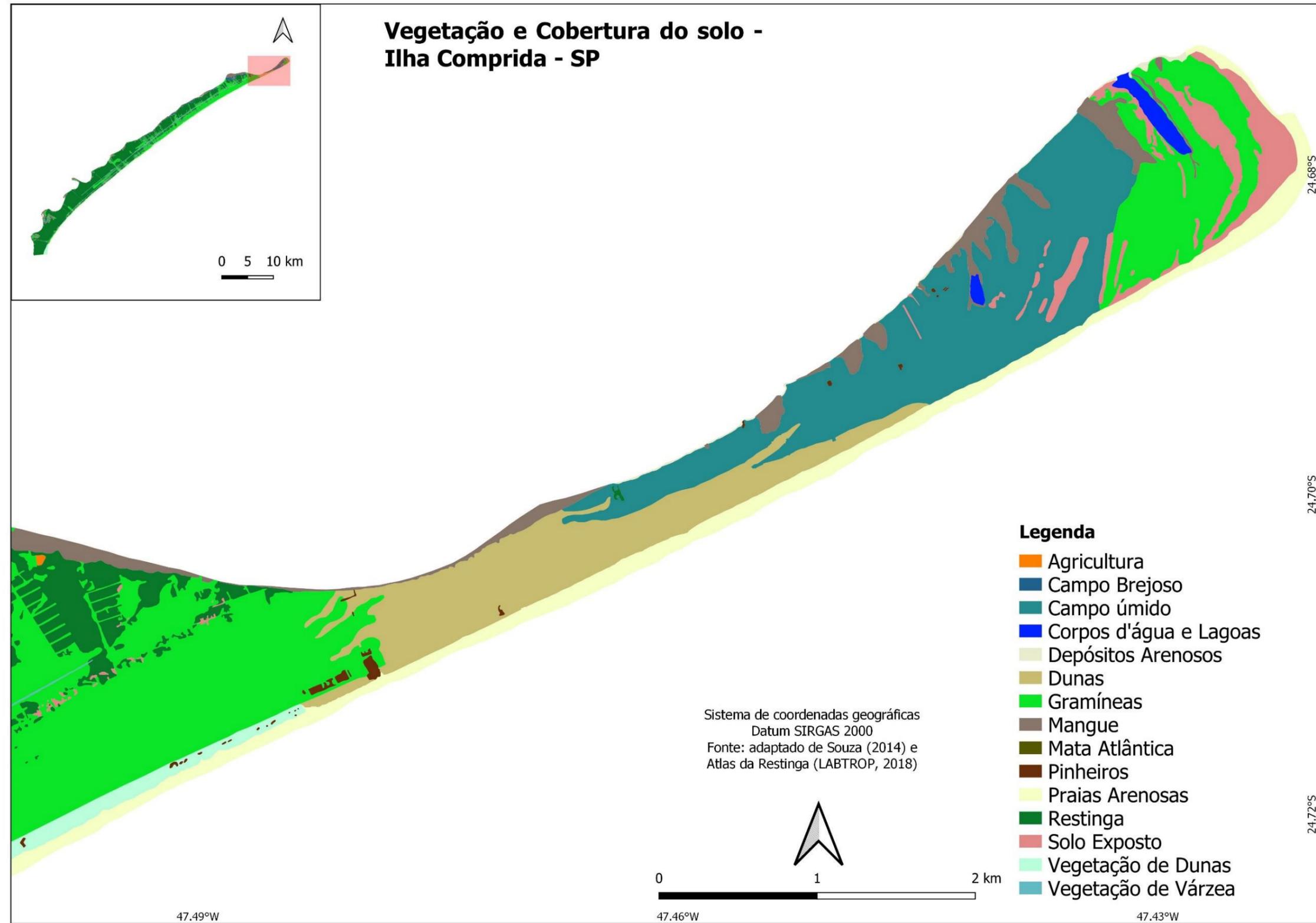
Fonte: Elaboração própria

Figura 29. Vegetação e cobertura da terra na região norte do município



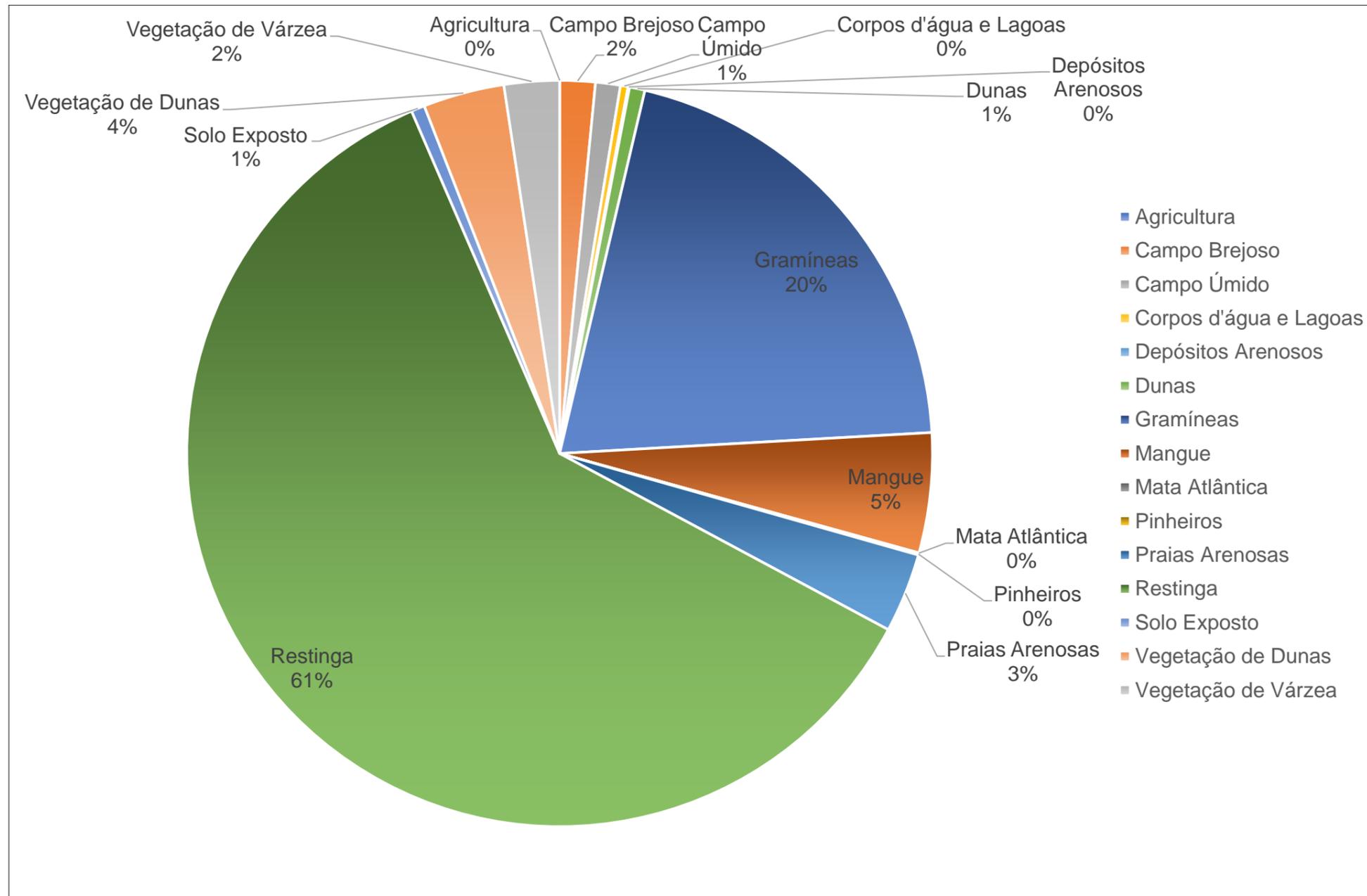
Fonte: Elaboração própria

Figura 30. Vegetação e cobertura da terra na região nordeste do município



Fonte: Elaboração própria

Figura 31. Porcentagem de cobertura da terra em Ilha Comprida - SP

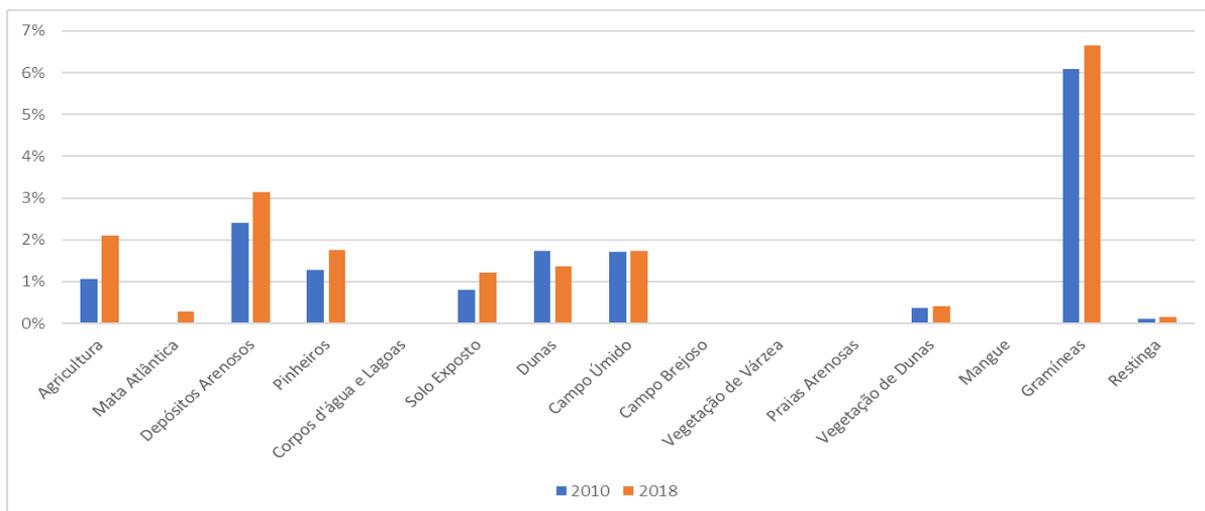


Fonte: Elaboração própria

Desta forma, a avaliação da área construída entre os anos de 2010 e 2018 foi realizada levando-se em consideração o resultado da área construída sobre a área total da classe. Os resultados apresentados na Figura 32 mostraram que as áreas ocupadas por gramíneas possuem a maior área construída em relação a sua área total, sendo também esta a classe que apresenta o maior crescimento urbano entre 2010 e 2018 (6,08% em 2010, chegando a 6,65% em 2018). Souza (2014) mostra em seu trabalho que a classe de gramíneas está associada também à abertura de arruamentos, loteamentos e à presença de edificações, e é uma classe que tem mostrado um aumento frente às demais classes de vegetação durante o período de mapeamento realizado pela autora entre 1962 e 2012. Cabe ressaltar que, sendo nativas ou exóticas, a classe de gramíneas exerce papel ecológico de prevenção à processos erosivos (AFONSO e FREITAS, 2003), sendo também passível de monitoramento para preservação tendo em vista a fragilidade ambiental na APA. Apesar de ser a classe com a maior cobertura do município, ocupando 61% do território, a classe de restinga não apontou uma grande ocupação. Vale ressaltar que a classe de restinga incide sobre a Zona de Vida Silvestre, na qual é proibido o parcelamento do solo. Aponta-se também o decréscimo na classe de dunas, localizada na porção nordeste da ilha, onde também é encontrada a Zona de Proteção Especial com parcelamento do solo proibido e local de ocorrência da ação erosiva do mar.

Apesar das baixas porcentagens de áreas construídas nas áreas úmidas, como campo brejoso, mangue e campo úmido, a presença de expansão merece atenção devido ao alto grau de fragilidade e degradação ambiental decorrentes da construção nestas áreas. Além disso, Jesus (2002) demonstra preocupação com questões de insalubridade das edificações, visto que boa parte dos loteamentos têm parcela implantada em áreas de mangue. As áreas de praias arenosas, depósitos arenosos e vegetação de dunas também merecem atenção, já que também apresentam expansão. A única classe que não apresentou aumento da porcentagem de área construída foi a de vegetação de várzea.

Figura 32. Porcentagem de área construída por classe para os anos de 2010 e 2018



Fonte: Elaboração própria

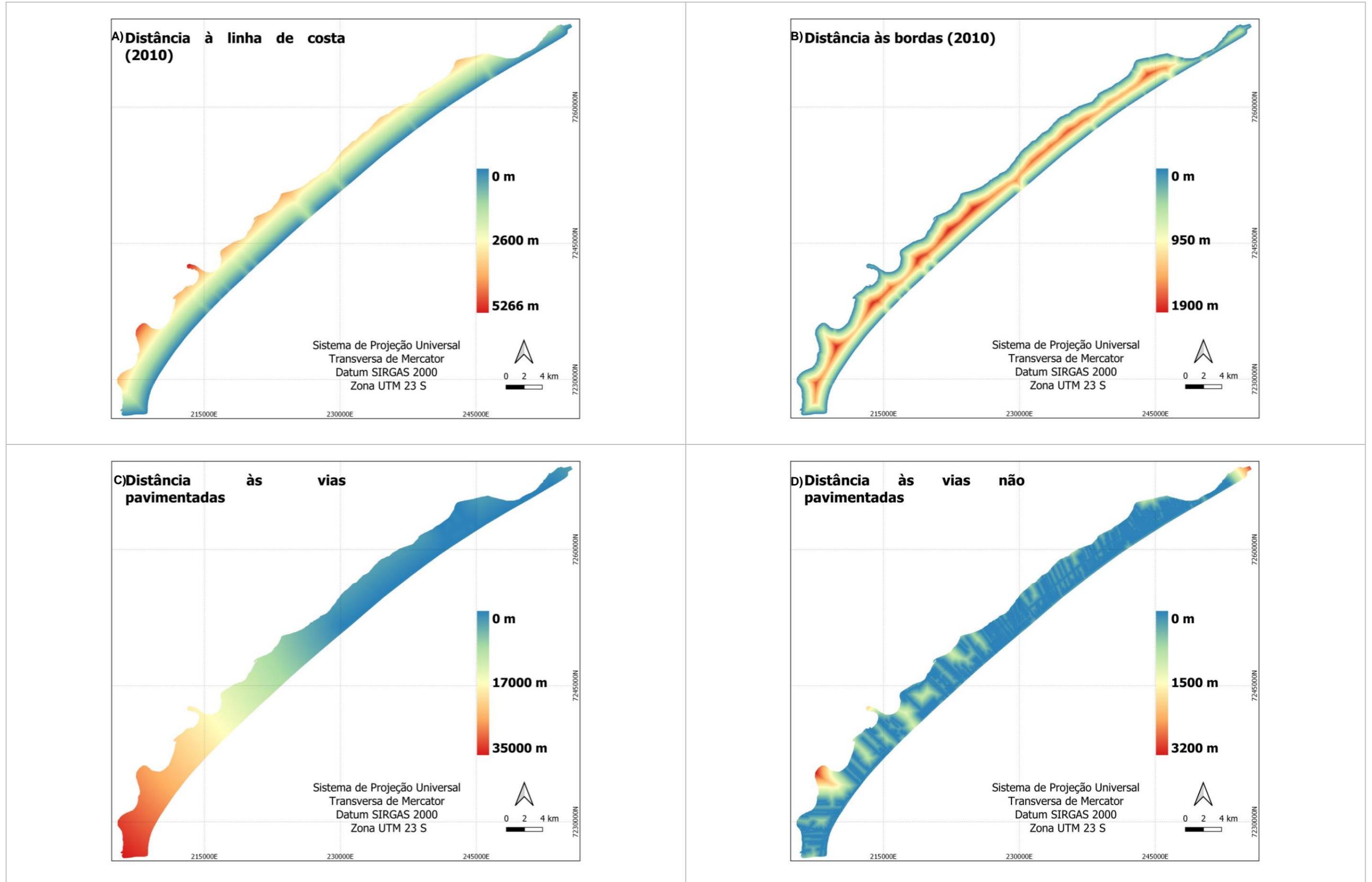
Após a análise preliminar de onde ocorreram os aumentos de área construída, foram definidas as variáveis de entrada no modelo de pesos de evidência. Os mapas de distância e NDVI encontram-se na Figura 33 **Erro! Fonte de referência não encontrada..**

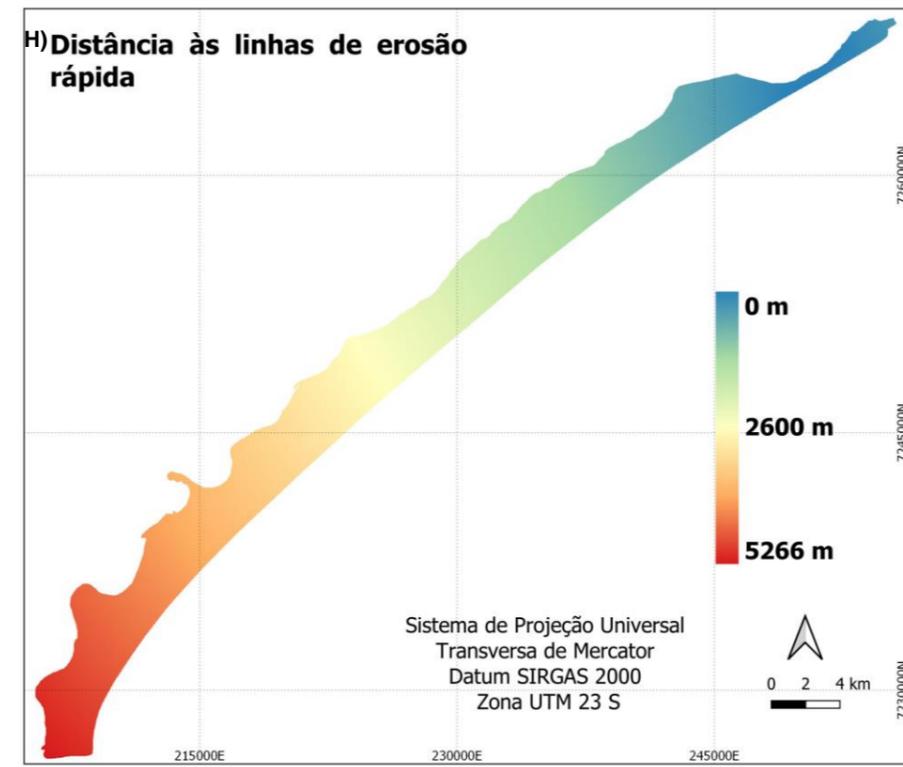
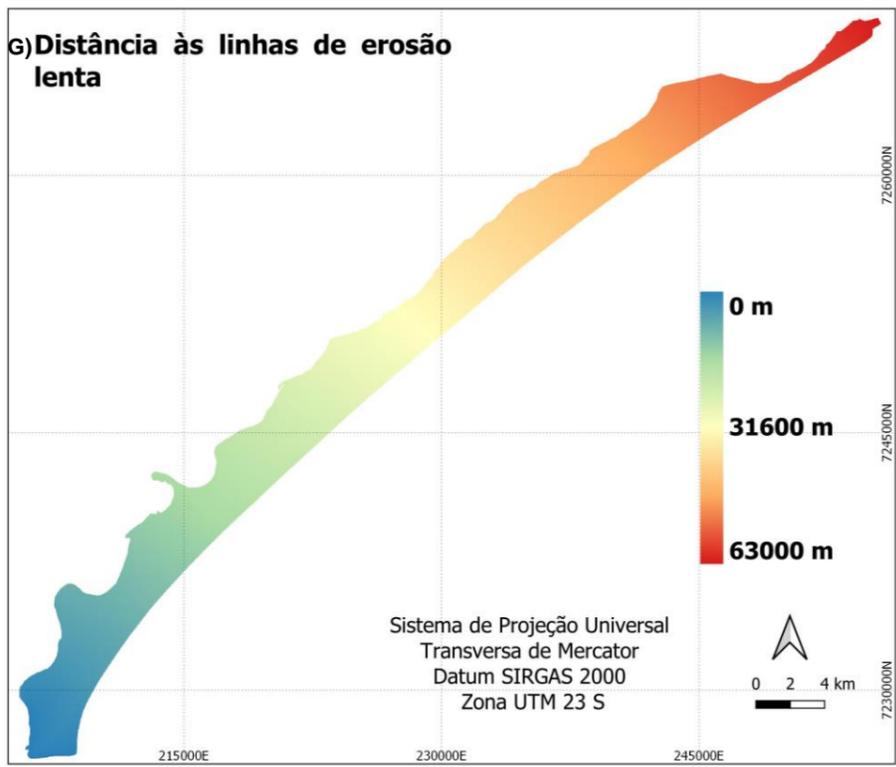
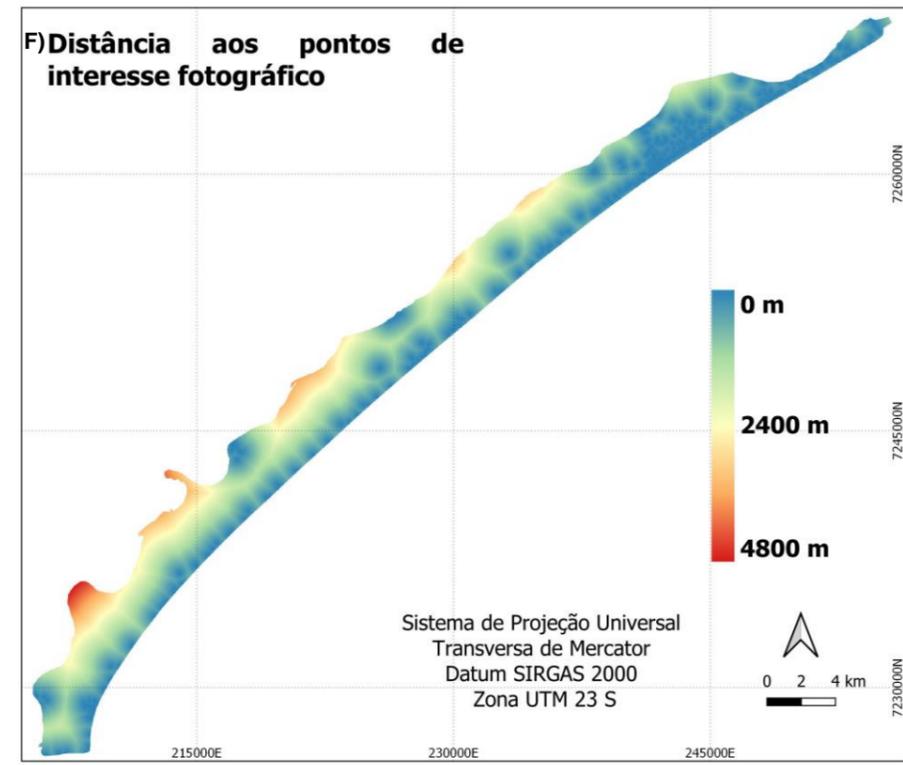
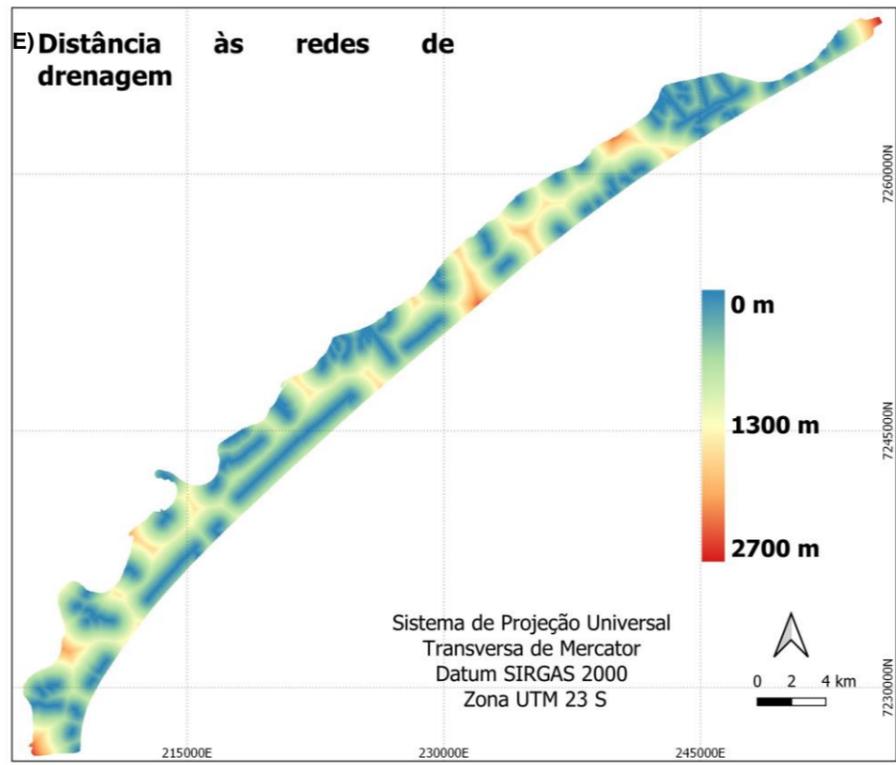
A visualização das variáveis que entram no modelo como mapas de distância permite ter uma primeira impressão espacial das variáveis, identificando pontos no município que se encontram distantes de algumas variáveis analisadas. Por exemplo, as classes de distância ao sistema viário mostram como a porção sul da ilha possui maiores distâncias em relação às ruas, principalmente quando consideramos as vias não pavimentadas.

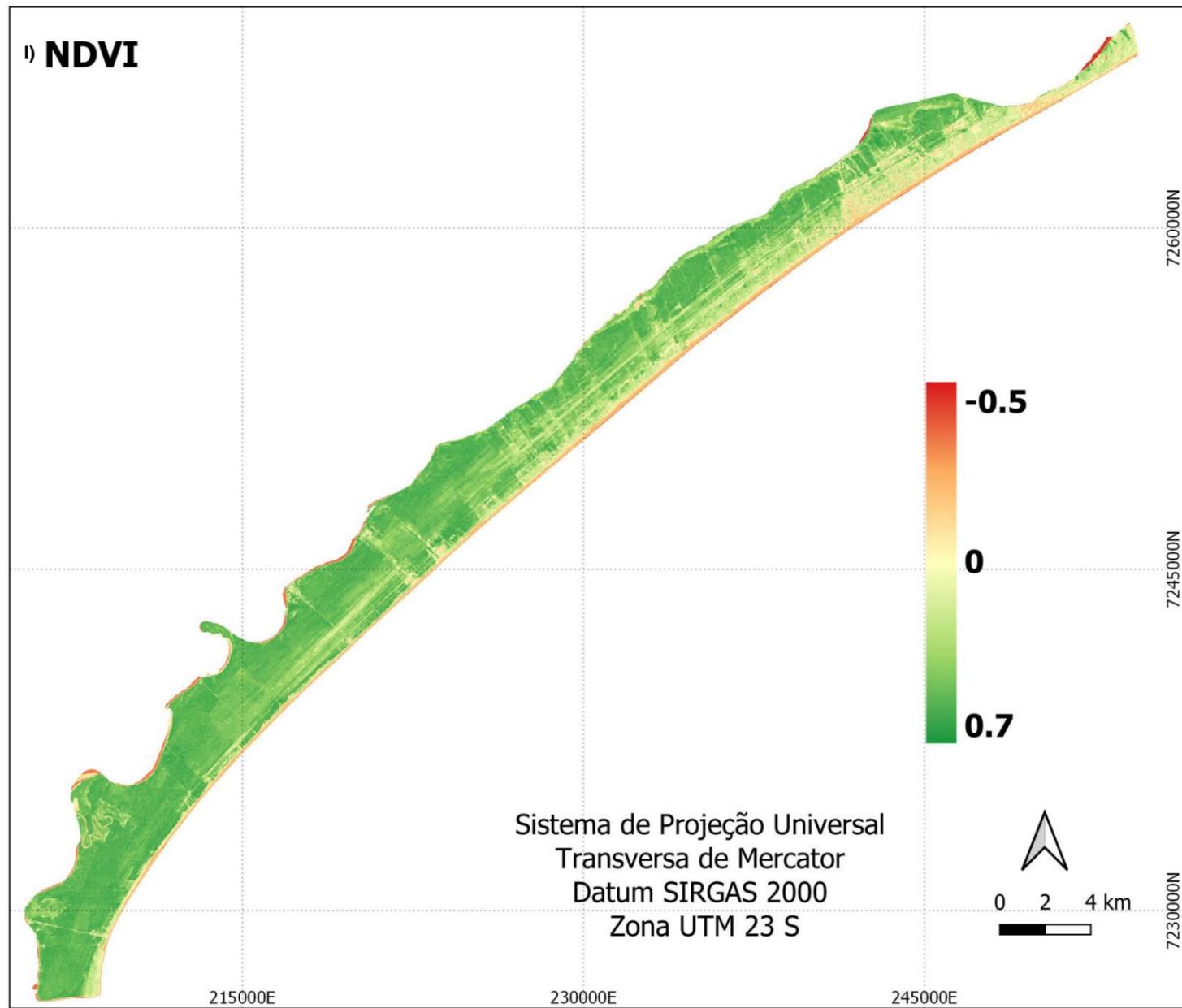
A variável de distância às bordas foi incluída devido ao fato de o município ser uma ilha, de modo que somente a análise de distância à linha de costa é insuficiente para entender o que influencia as ocupações na ilha. Apesar da orla marítima possuir uma preferência de habitação pelo aspecto turístico, o limite interno (água doce) apresenta também o histórico de ocupação por pescadores ribeirinhos e, mais recentemente, por casas de veraneio, como constatado em campo. Além da questão de legislação referente à linha de costa e também ação erosiva do mar, no lado oposto à praia, também existem restrições construtivas e ambientais com a presença de mangues e áreas úmidas.

A variável de distância aos pontos de interesse fotográfico mostra a concentração dos registros pela praia e demais áreas habitadas, aumentando a distância conforme nos aproximamos do outro extremo.

Figura 33. Variáveis de distância e NDVI







Fonte: Elaboração própria

Dentre as saídas do modelo, tem-se o total de pixels por classe de uso da paisagem inicial. Levando-se em conta que cada pixel, de acordo com os dados de entrada, tem resolução de 10m, os dados foram convertidos em área, totalizando 189.37 km² para o uso não-urbano e 2.64 km² para o uso urbano em 2010.

A Tabela 3 é resultado da matriz de transição pixel a pixel, e mostra as mudanças totais de uso em área. Além da transição do uso não-urbano para o urbano, também é possível verificar a pequena alteração de uso urbano para não-urbano, já apontado anteriormente, que ocorre na porção nordeste da ilha devido à ação do mar.

Tabela 3. Área de transição entre os usos em km²

	Não-urbano	Urbano
Não-urbano	XXXX	0,2728
Urbano	0,0085	XXXX

Fonte: Elaboração própria

Ainda como saída da primeira etapa do modelo, a Tabela 4 traz a informação da taxa de alteração para o período de transição estudado (passo único) e a taxa de transição ano a ano (passos múltiplos), mostrando que essa alteração de uso ocorre a uma taxa pequena.

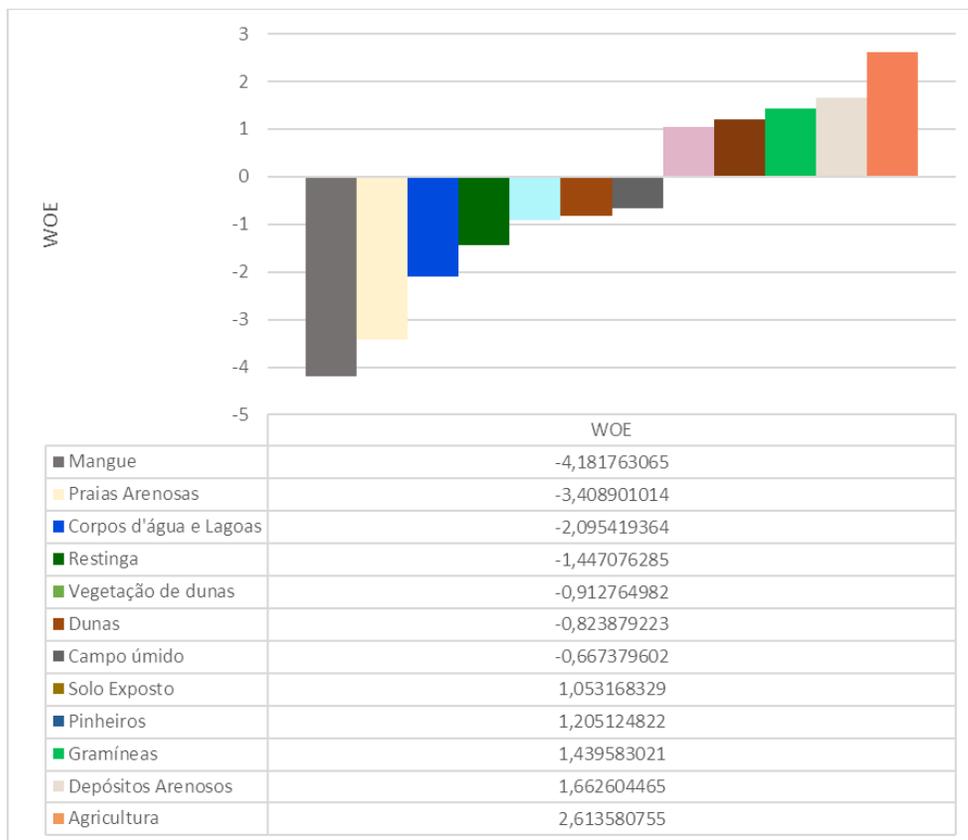
Tabela 4. Matriz de transição de passos único e múltiplos

Transição	Transição de passo único (%)	Transição de passos múltiplos (%)
Não-urbano para urbano	0,0014406	0,0001804
Urbano para não-urbano	0,0032229	0,0004097

Fonte: Elaboração própria

A seguir, são mostrados apenas os resultados para pesos de evidência significativos. Na Figura 34, podemos verificar as classes de vegetação e cobertura do solo que possuem mais influência na expansão urbana. De acordo com os pesos de evidência, as classes de praias arenosas, restinga, vegetação de dunas, campo úmido, corpos d'água e lagoas, dunas e mangues apresentam influência negativa na expansão, ou seja, existe uma tendência menor de expansão urbana próxima à essas áreas. Desta forma, a expansão tende a ocorrer próxima às áreas de solo exposto, agricultura, depósitos arenosos, gramíneas e pinheiros.

Figura 34. Pesos de evidência para vegetação e cobertura da terra



Fonte: Elaboração própria

A Figura 35 permite analisar a influência do zoneamento na expansão urbana. Os pesos mostram que as zonas ZOC1, ZU1, ZU2 e ZU3 são as que influenciam positivamente a expansão, de modo que a ZU1 é a de valor mais significativo. A expansão nestas zonas não representam um problema já que são destinadas à urbanização, apesar das exigências de parcelamento do solo. As zonas ZOC2, ZPE e ZVS influenciam negativamente a expansão, ressaltando que a ZVS e ZPE são justamente as zonas de restrição à expansão urbana. Ressalta-se ainda que a ZPE está localizada onde ocorre a retração da macha urbana devido à ação erosiva do mar. A zona ZOC2 está localizada na parte sul da Ilha Comprida. A influência negativa desta zona, apesar da classificação como zona urbana, também pode ser explicada pela dificuldade de acesso à esta região da ilha, já que só é possível acessar a área pela praia devido a inexistência de viário para

conexão. Outra restrição importante também se deve pela presença de classes de vegetação como manguezais e restingas protegidas pela Lei da Mata Atlântica.

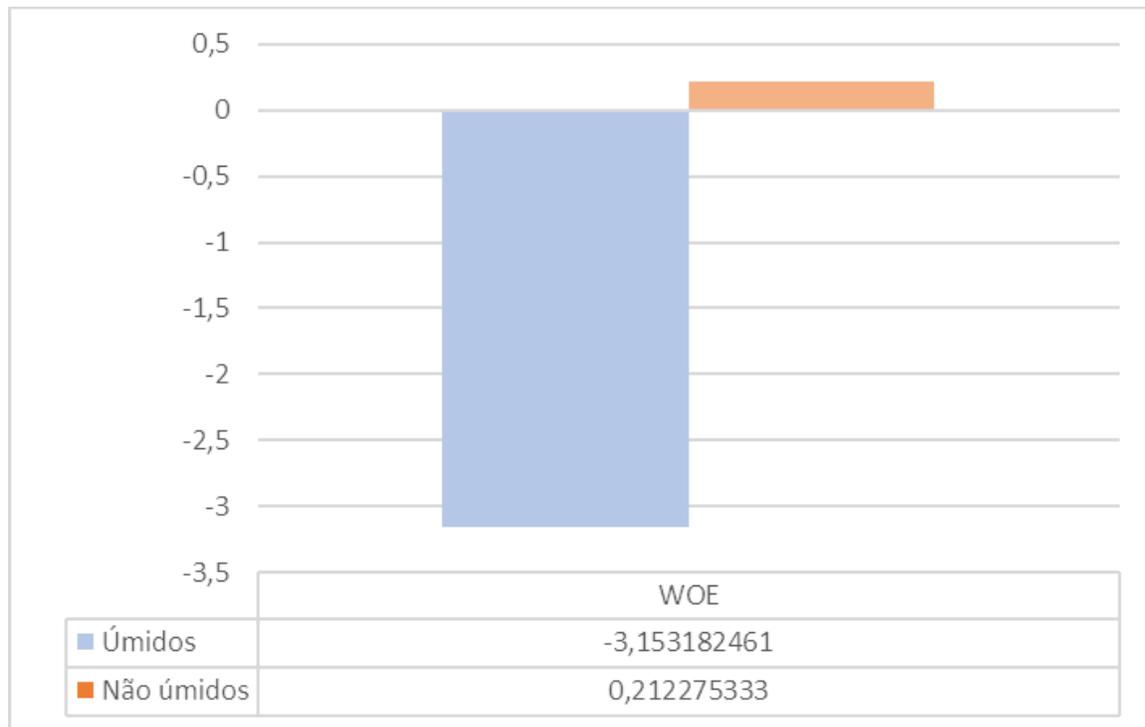
Figura 35. Pesos de evidência para o zoneamento vigente



Fonte: Elaboração própria

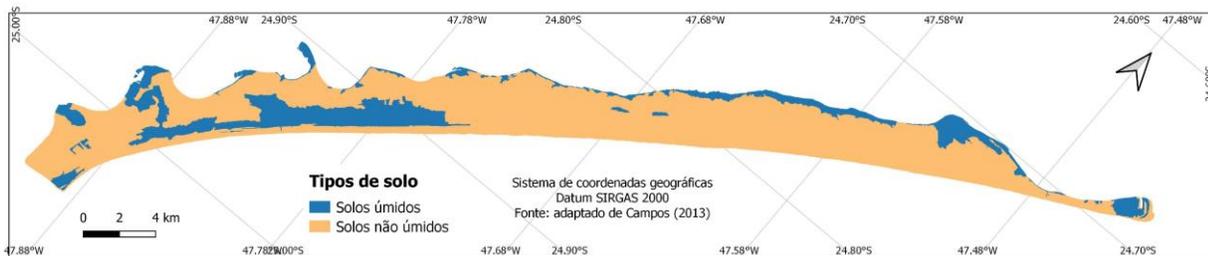
Outro fator de influência da expansão urbana é o tipo de solo, que pode ser analisado pela Figura 36. Para elaboração dos pesos de evidência os solos foram agrupados em solos úmidos e não úmidos (Figura 37). Podemos verificar por meio dos pesos a menor expansão nos solos úmidos, que representam também as restrições determinadas pelo Decreto Estadual nº 30.817/89, além da dificuldade natural de se estabelecer construções nessas áreas.

Figura 36. Pesos de evidência para as classes de solo



Fonte: Elaboração própria

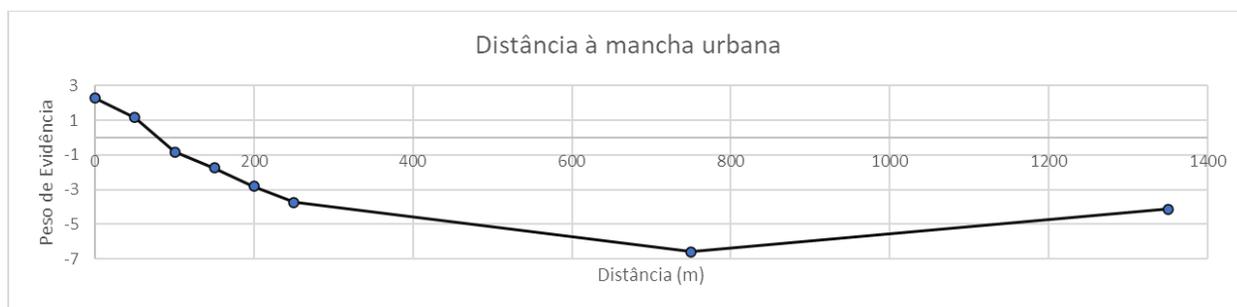
Figura 37. Solos úmidos e não úmidos



Fonte: Elaboração própria

A variável de distância à mancha urbana (Figura 38), influenciou positivamente a transição, até a faixa de 100 m, indicando que a urbanização tende a expandir perto das áreas construídas já existentes. Esta influência vai diminuindo conforme a aumenta a distância.

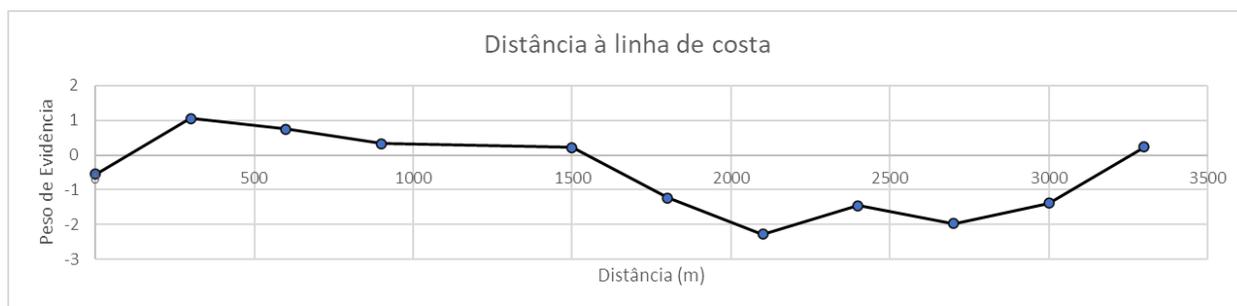
Figura 38. Pesos de evidência - distância à mancha urbana



Fonte: Elaboração própria

A distância à linha de costa (Figura 39) possui peso de evidência negativo para a faixa de 0 à 300 m, indicando uma baixa probabilidade de expansão próxima à área costeira, especialmente sobre as áreas de praia. Os pesos variam entre as faixas de 300 até 1800 m, faixa de distância onde há uma maior propensão de transição, voltando a diminuir na faixa de 1800 m até 3600 m. Esta variação se deve ao fato de a ilha ser estreita, de modo que do lado oposto existe o mar pequeno (água doce), além das áreas de mangue, que, conforme visto na Figura 26, possuem baixa probabilidade para expansão urbana. Um aumento do peso de evidência depois da faixa de 3000 pode ser explicada pelas pequenas comunidades de pescadores próximas as regiões de mangues.

Figura 39. Pesos de evidência - distância à linha de costa

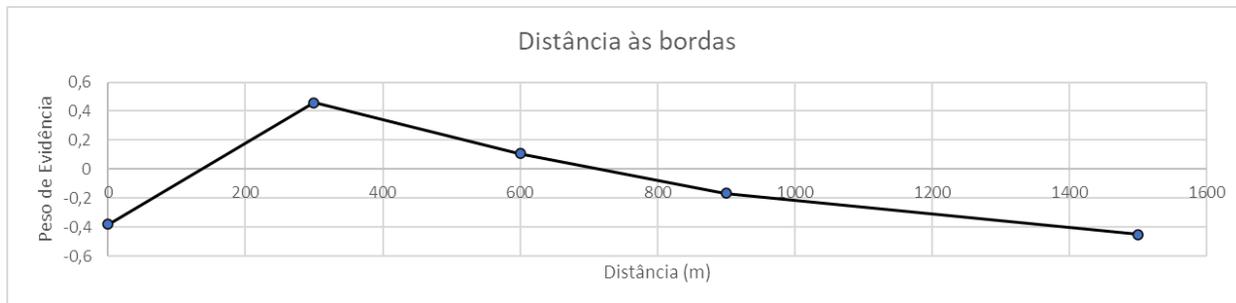


Fonte: Elaboração própria

De modo a complementar a interpretação quanto à variável de distância a linha de costa, foi adicionada outra variável de distância à toda a borda do município, conforme a Figura 40. Os resultados acabam complementando o observado pela variável de distância a

linha de costa, com influência negativa até a faixa de 300 m, e influência positiva para a transição a partir da faixa de 900m.

Figura 40. Pesos de evidência - distância às bordas



Fonte: Elaboração própria

A distância às vias pavimentadas (Figura 41) possui tendência positiva para expansão urbana até a faixa de 750 m, quando a probabilidade diminui conforme aumentamos a distância. Vale ressaltar que apenas a área da região nordeste do município possui vias pavimentadas. O mapa do sistema viário pode ser consultado no APÊNDICE B.

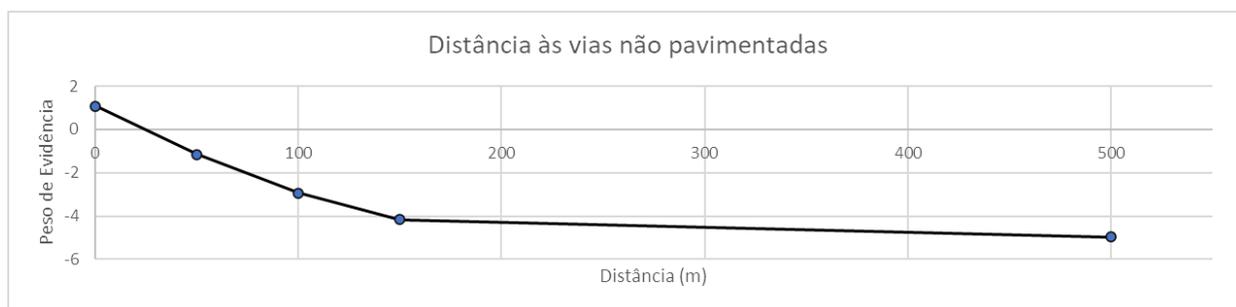
Figura 41. Pesos de evidência - distância às vias pavimentadas



Fonte: Elaboração própria

A variável de distância às vias não pavimentadas (Figura 42) mostra uma influência positiva na transição até a faixa de 50 m, diminuindo a probabilidade conforme a distância aumenta.

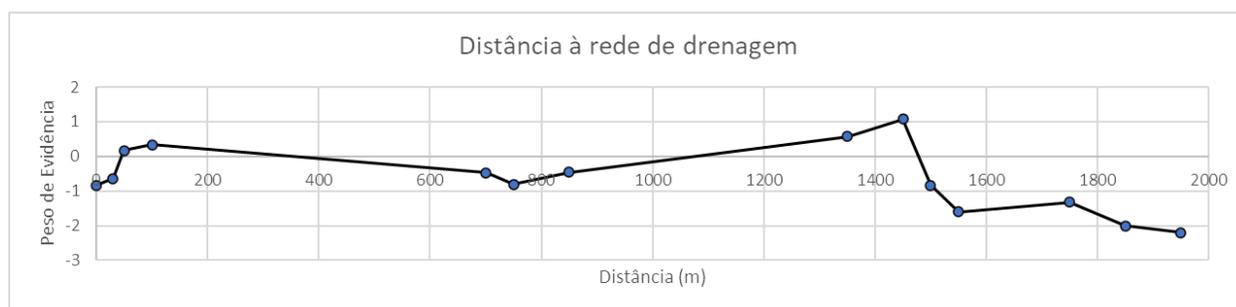
Figura 42. Pesos de evidência - distância às vias não pavimentadas



Fonte: Elaboração própria

A variável de distância à rede drenagem (Figura 43) possui influência negativa na faixa de 0 à 30 m e positiva a partir da faixa de 50 à 100m, diminuindo entre 700 e 850 m e favorecendo a transição até 1500m e, a partir dessa distância, vai diminuindo a probabilidade de transição. O peso de evidência negativo na faixa de 0 à 30m merece atenção, pois evidencia também restrições referentes a legislação relativa às Áreas de Proteção Permanente (APP) estipulada pela Lei Federal nº 12.651, de 2012, que pode estar demonstrando sua efetividade.

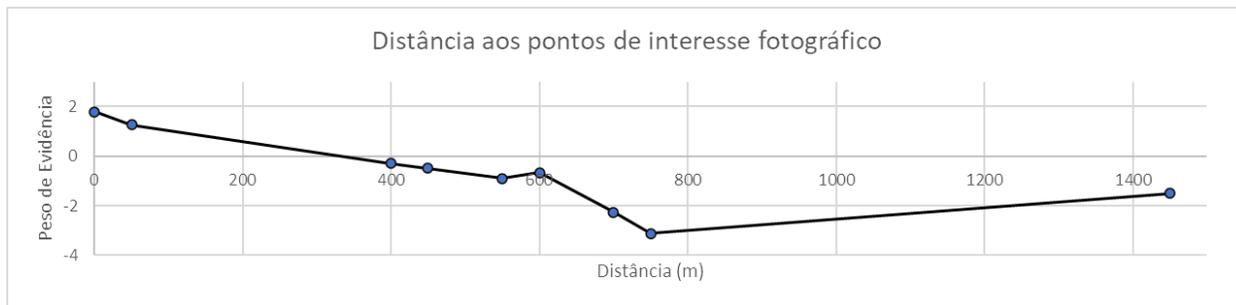
Figura 43. Pesos de evidência - distância à rede de drenagem



Fonte: Elaboração própria

Os pesos relativos à distância aos pontos de interesse fotográfico (Figura 44) mostram valores positivos até a faixa de 0 a 400 m e negativos conforme a distância vai aumentando. Esse indicador pode mostrar uma tendência de expansão urbana com comércio, pousadas e casas de veraneio próximos aos pontos de interesse turísticos.

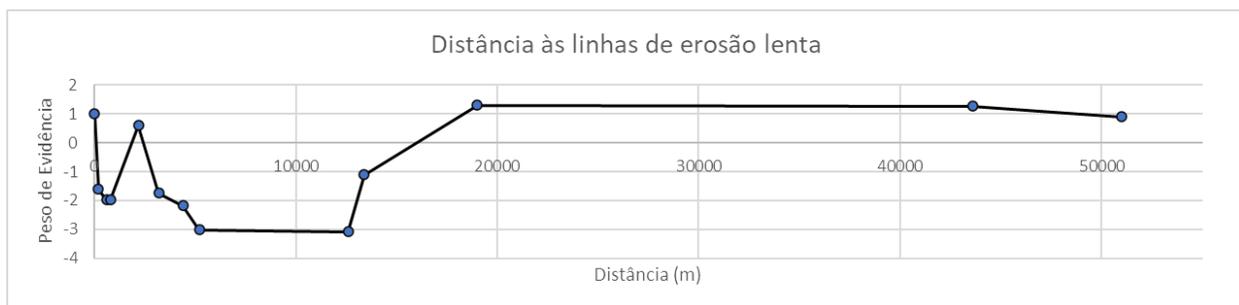
Figura 44. Pesos de evidência - distância aos pontos de interesse fotográfico



Fonte: Elaboração própria

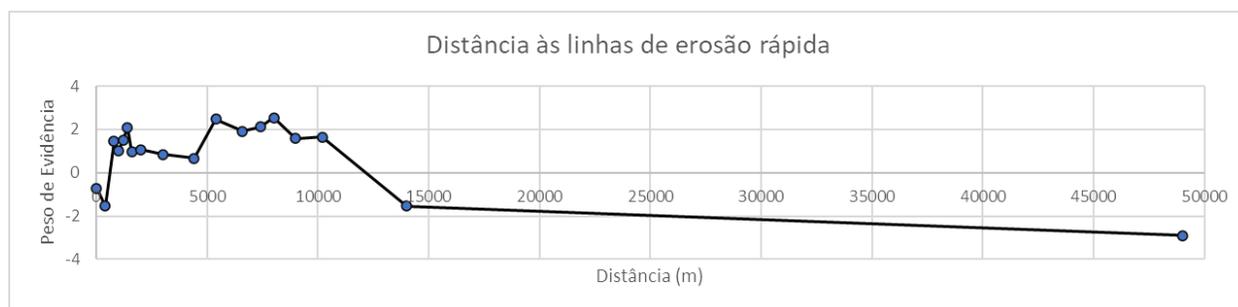
A respeito das variáveis referentes às linhas de erosão, em conversa com os gestores e técnicos da Fundação Florestal, foi discutido que seria interessante separar as linhas de erosão entre as regiões norte e sul da ilha, tendo em vista que os extremos possuem processos de ocupação distintos em relação às dinâmicas erosivas. Enquanto a região sul sofre com áreas invadidas, a região nordeste tem uma dinâmica de desocupação, pois nesta área os processos erosivos são mais intensos ocorrendo em uma velocidade maior quando comparados aos processos que ocorrem ao sul da ilha. Desta forma, se observarmos a Figura 45, referente às linhas de erosão lenta na parte sul da ilha, podemos constatar a tendência de expansão próxima as linhas de erosão até a faixa de 200m, na medida em que os proprietários reconstróem suas edificações erodidas no mesmo lote, enquanto observamos pela Figura 46 (erosão rápida) uma baixa tendência para a transição, até a faixa de 1000 m de distância das linhas de erosão.

Figura 45. Pesos de evidência - distância às linhas de erosão lenta



Fonte: Elaboração própria

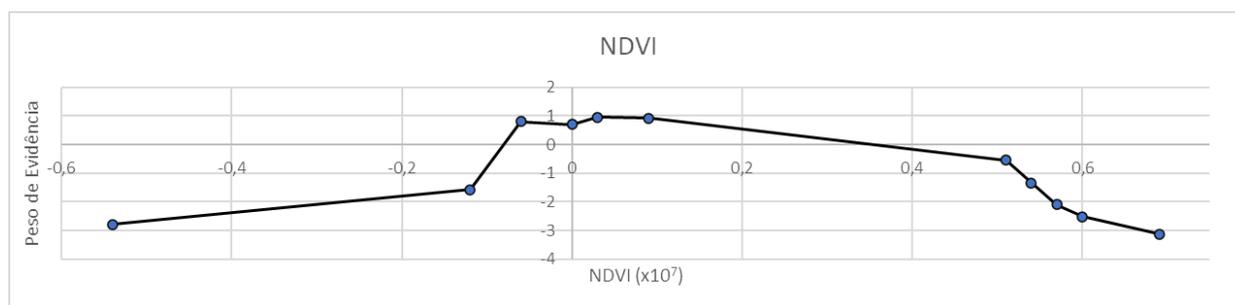
Figura 46. Pesos de evidência - distância às linhas de erosão rápida



Fonte: Elaboração própria

Quanto ao NDVI (Figura 47), cabe lembrar que valores maiores que zero representam vegetação, de modo que valores maiores indicam uma vegetação mais densa e/ou em terrenos mais úmidos e valores menores que zero indicam outros objetos, tais como solo exposto ou construções. O comportamento da variável indica que valores mais baixos de NDVI possuem influência negativa, e a influência positiva ocorre nos intervalos de NDVI mais próximos a zero (entre -0,1 e 0,1) que seriam valores correspondentes às áreas já urbanizadas, com solo exposto e com vegetação menos densa, como a classe de gramíneas.

Figura 47. Pesos de evidência - NDVI



Fonte: Elaboração própria

Durante a etapa de estudo e calibração dos pesos de evidência também foram avaliadas as correlações entre as variáveis, para garantir a validade do modelo pela independência das categorias estudadas. Na Tabela 5 são mostrados os valores de Cramer e da incerteza da informação conjunta para os pares de variáveis que apresentaram valores

mais altos. Valores acima de 0,5 indicam alta correlação entre as variáveis (BONHAM-CARTER, 1994).

Tabela 5. Correlação entre as variáveis

Variável 1	Variável 2	Cramer	Incerteza da Informação Conjunta
Distância à linha de costa	Distância às bordas	0,615	0,394
Zonas	Distância às linhas erosão rápida	0,537	0,389

Fonte: Elaboração própria

No caso das variáveis de distância à linha de costa e às bordas, apesar da indicação de correlação a partir do valor de Cramer, ambas foram mantidas no modelo, pois suas relações se mostraram complementares do ponto de vista da explicação sobre a influência da ocupação urbana. Do ponto de vista do modelo, manter estas variáveis não é prejudicial, se levarmos também em consideração o valor de incerteza da informação conjunta.

A alta correlação indicada para o valor de Cramer em relação ao par zonas e distância às linhas de erosão rápida pode ser explicada pela maior concentração urbana na região nordeste da ilha, direção em que se encontram as linhas de erosão. A concentração do uso urbano diminui conforme vamos para o sul da ilha, e conseqüentemente, aumentamos a distância às linhas de erosão. Acontece que este comportamento é semelhante em relação as zonas, visto que as mais urbanizadas concentram-se na região nordeste e as menos urbanizadas mais ao sul. Deste modo, e levando-se em consideração também o valor da incerteza da informação conjunta inferior a 0,5, ambas as variáveis foram consideradas importantes para explicar a influência da ocupação, representando dinâmicas distintas.

Cabe destacar também que não ocorre uma correlação entre o NDVI e as classes de vegetação, o que seria esperado para um índice de normalização de vegetação. Isso acontece porque o cálculo de correlação leva em consideração as categorias (faixas de valores) estabelecidos durante o processo de calibração dos pesos, justificando assim a

ausência de correlação esperada para alguns pares de variáveis que acabaram não acontecendo. A tabela com os valores de correlação entre todos os pares de variáveis encontra-se no APÊNDICE D.

A partir dos pesos já calibrados e do estudo de correlação entre as variáveis, foi possível definir os parâmetros de *patcher* e *expander*. Foram testadas diversas configurações, e os valores escolhidos foram àqueles que simularam melhor a expansão de acordo com o comportamento das manchas e apresentaram melhores valores durante a validação. Tal configuração levou em conta apenas os valores para o *patcher*, a função *expander* teve seus valores zerados. Os valores definidos encontram-se na Tabela 6.

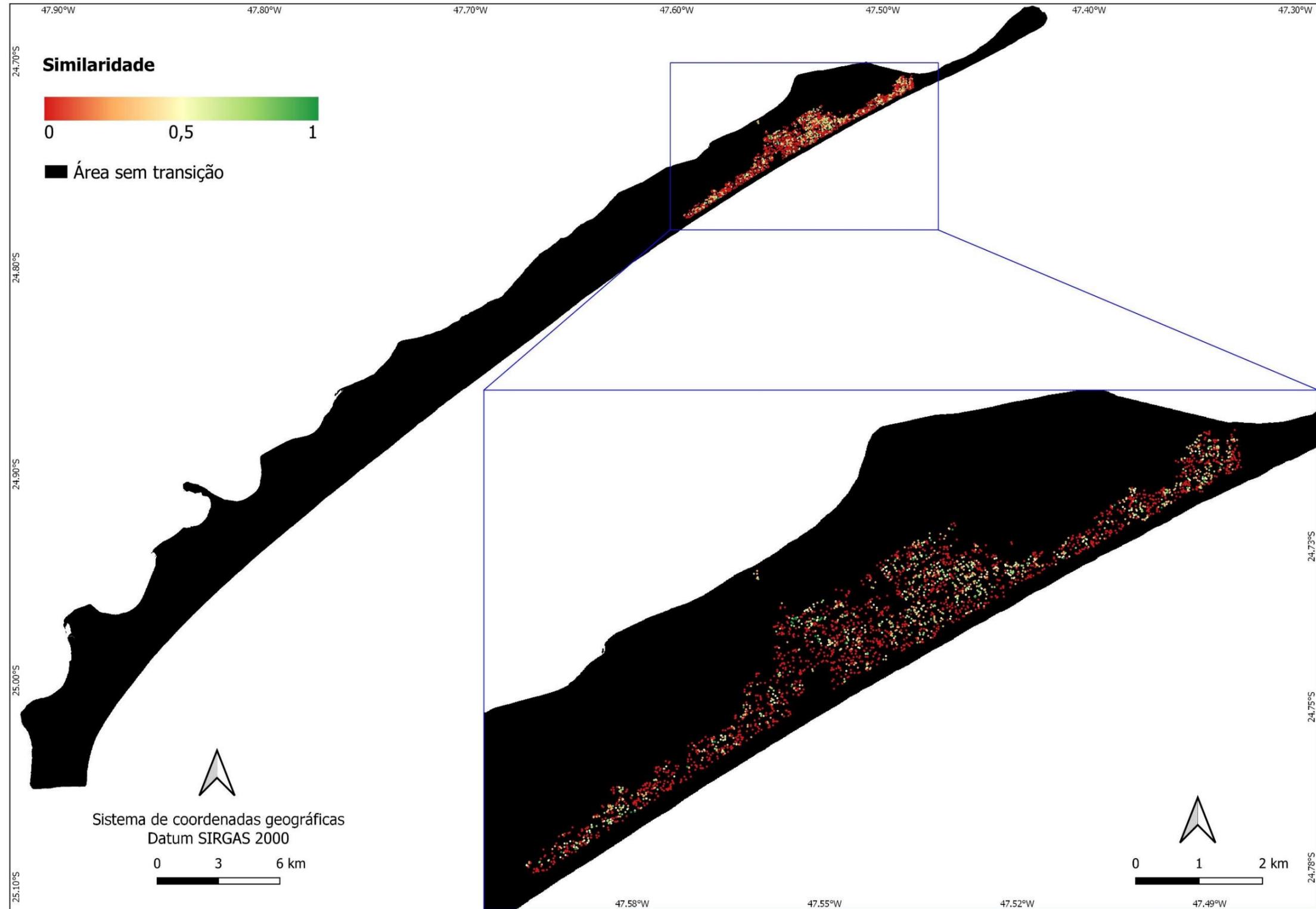
Tabela 6. Parâmetros para *patcher*

Tamanho médio da mancha (Ha)	Variância	Isometria
0,001	0	2

Fonte: Elaboração própria

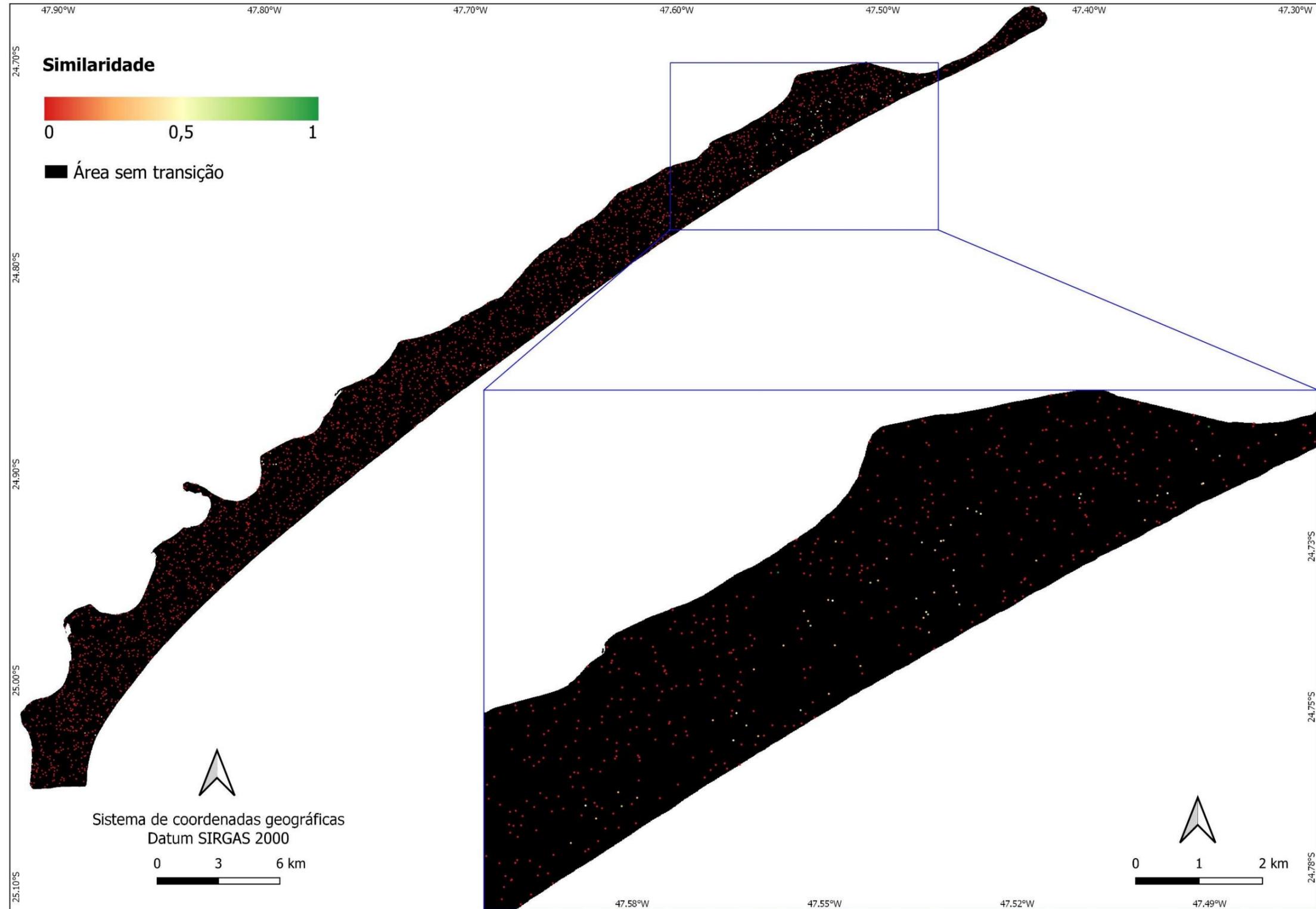
A comparação da paisagem real de 2018 com as paisagens geradas pelo modelo no Dinamica EGO, e a paisagem gerada pelo modelo nulo pode ser realizada com base nos mapas de similaridades presentes nas Figuras 48 e 49, em que os valores mais próximos a 0 (zero) (cor vermelha) representam baixa similaridade e os valores mais próximos a 1 (um) (cor verde) representam alta similaridade. Os mapas foram gerados considerando uma janela de similaridade até 11x11.

Figura 48. Mapa de similaridade para o modelo



Fonte: Elaboração própria

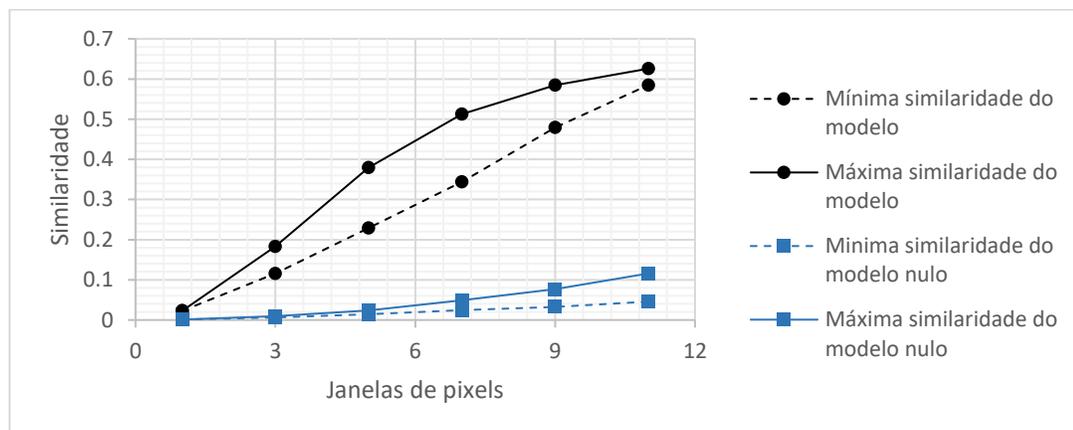
Figura 49. Mapa de similaridade para o modelo nulo



Fonte: Elaboração própria

Os valores referentes à validação por similaridade *fuzzy* realizada no Dinamica EGO avaliando os mapas gerados pelos modelos, incluindo o modelo nulo, com o mapa da paisagem real podem ser verificados na Figura 50. A comparação mostra uma diferença significativa entre a similaridade do mapa gerado pelo modelo a partir dos pesos de evidência e o mapa gerado pelo modelo nulo, sendo possível identificar que a partir da janela de tamanho 7×7 pixels a similaridade máxima ultrapassa 0,5 (0,512), e a similaridade mínima a partir da janela de 11×11 (0,585). De acordo com Hagen (2003) o valor a partir de 0,5 pode ser interpretado como consideravelmente similar.

Figura 50. Avaliação dos modelos pelo método de janela múltipla



Fonte: Elaboração própria

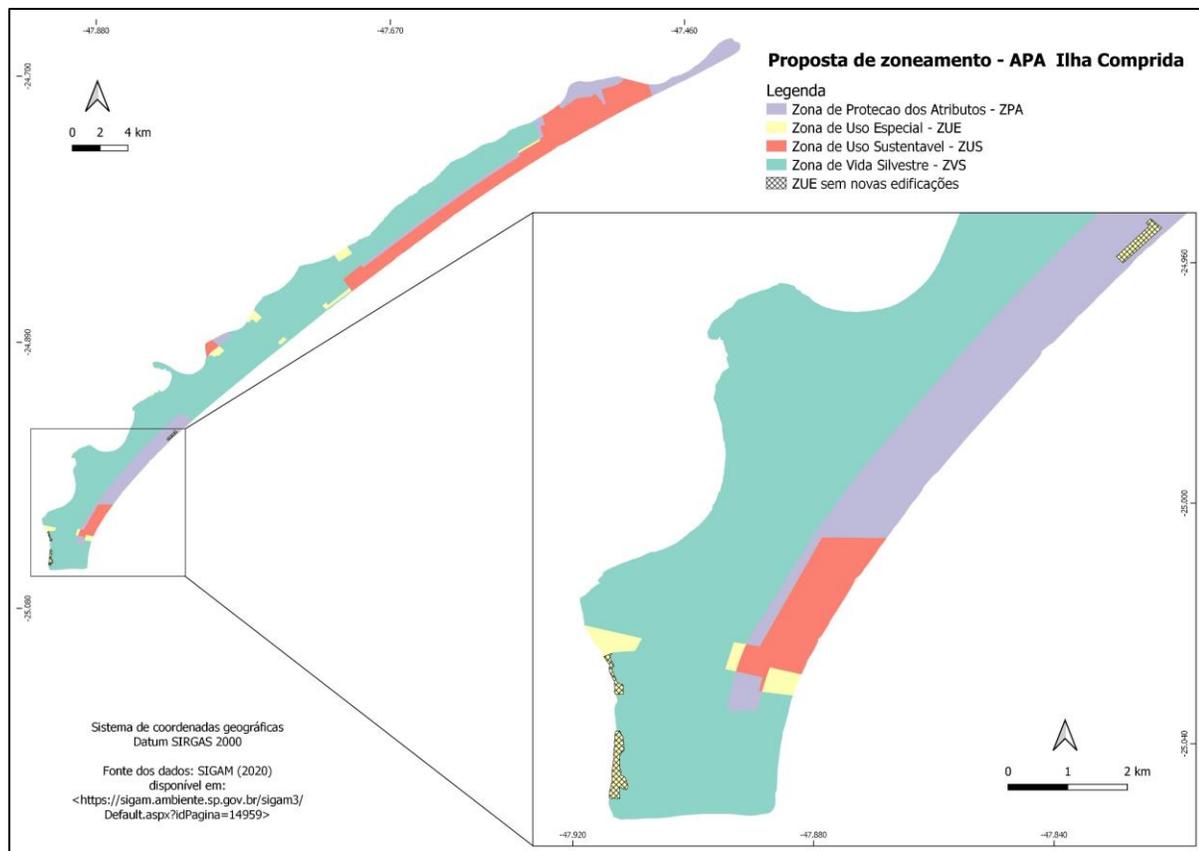
Após todas as etapas de calibração e validação do modelo, foi possível prosseguir com a modelagem, com a paisagem inicial de 2018 sendo considerada. Para a modelagem, foram atualizadas também as variáveis de distância à linha de costa e distância as bordas, a partir dos mapas de distância elaborados para o ano de 2018. A modelagem foi realizada considerando diferentes cenários, listados a seguir:

- Cenário sem zoneamento;
- Cenário com o zoneamento vigente (de acordo com o Decreto Estadual nº 30.817, de 1989);
- Cenário considerando o zoneamento proposto, com os pesos de evidência determinados em oficina realizada com os gestores e técnicos da Fundação Florestal; e

- Cenário considerando o zoneamento municipal, com o ajuste dos pesos de acordo com os pesos das zonas urbanas do zoneamento vigente

Para a determinação dos pesos de evidência utilizados no cenário com o zoneamento proposto (Figura 51) foram realizadas duas oficinas. A primeira foi realizada para explicar a metodologia aos gestores e técnicos e entender o comportamento da transição do uso não urbano para o uso urbano de acordo com o zoneamento vigente e discutir as propostas e expectativas de cada zona da nova proposta. Na segunda oficina, foi realizada uma nova discussão para, a partir das dinâmicas interpretadas a partir dos pesos de evidência do zoneamento vigente, definir os pesos para o zoneamento proposto. Após a oficina, os pesos definidos para este cenário foram conforme a Tabela 7.

Figura 51. Zonas consideradas para definição dos pesos para o zoneamento proposto com destaque para localização das áreas sem novas edificações



Fonte: Elaboração própria

Tabela 7. Definição dos pesos de evidência para o zoneamento proposto

Zona proposta	Referência do zoneamento vigente	Peso de evidência utilizado no cenário
Zona de Uso Sustentável - ZUS	Zona Urbanizada 3 (ZU3)	1,7979
Zona de Uso Especial - ZUE	Zona Urbanizada 2 (ZU2)	1,0175
Zona de Proteção Ambiental - ZPA	Zona de Ocupação Controlada 2 (ZOC 2)	-1.2679
Zona de Vida Silvestre	Zona de Vida Silvestre (ZVS)	-3
ZUE sem novas edificações	Zona de Vida Silvestre (ZVS)	-3

Fonte: Elaboração própria

Durante a oficina não houve um consenso sobre utilizar exatamente os mesmos valores de peso de evidência que foram calculados a partir do zoneamento vigente, sendo o entendimento de que a nova proposta trará dinâmicas diferentes. No caso da ZVS, por exemplo, foi apontado pelos gestores que pelas expectativas referentes as novas zonas, levando em consideração as medidas restritivas, a conservação e a capacidade institucional de controle nessa área será maior do que o que ocorreu entre 2010 e 2018, sendo alterado o valor do peso para representar uma menor probabilidade de transição do que o calculado para o período. O peso de evidência utilizado para a ZPA levou em consideração o estado de conservação da ZOC2, sendo considerado aceitável o valor pra representar a dinâmica do cenário. A ZUE e a ZUS foram as zonas em que na oficina houve maior incerteza em estabelecer os pesos para representar a dinâmica esperada. Essas incertezas se devem porque, segundo os gestores, existem dinâmicas diferentes de ocupação nos polígonos destas zonas que no novo zoneamento passam a fazer parte de uma zona única, com as mesmas regras de ocupação, o que dificulta estabelecer os novos pesos para o zoneamento proposto a partir da dinâmica modelada entre 2010 e 2018. Também foram levantadas questões referentes aos tamanhos de lote mínimo, que são estipulados no zoneamento vigente, embora historicamente não tenham sido respeitados pois muitos lotes foram estabelecidos antes do zoneamento, e que para os cenários futuros os parâmetros serão definidos pelo Plano Diretor do Município.

Cabe ressaltar que a proposta de zoneamento ainda está em discussão na data de defesa desta dissertação, podendo sofrer alterações, e não está no escopo deste trabalho sugerir ou questionar quaisquer delimitações, mas sim verificar alterações e influências nos padrões de uso urbano a partir de diferentes delimitações de zoneamento do espaço urbano. Este exercício auxilia no entendimento da dinâmica realizada com base na modelagem para os gestores, e poderá inclusive ser aprimorada em novas oficinas subsequentes.

Para o cenário referente ao zoneamento municipal, foram considerados os pesos referentes às zonas urbanas, pensando em um cenário sem zonas restritivas. Os valores para este cenário foram definidos somente por critérios comparativos, sem realização de oficinas ou consulta de outros interessados. Para a Zona Urbanizada, foi considerado o peso de evidência referente a ZU1, em que a transição é mais favorável, com o peso de evidência de maior valor. Para a Zona de Expansão Urbana foi escolhido o valor do peso referente a ZU3, que é favorável a transição, porém com uma probabilidade menor em relação a zona anterior. Para a Zona Rural, foi utilizado o valor referente a ZU 2, que seria o peso de evidência de menor valor, porém positivo, nas proximidades desta zona. Os pesos foram organizados conforme a Tabela 8.

Tabela 8. Adaptação dos pesos de evidência para o zoneamento municipal

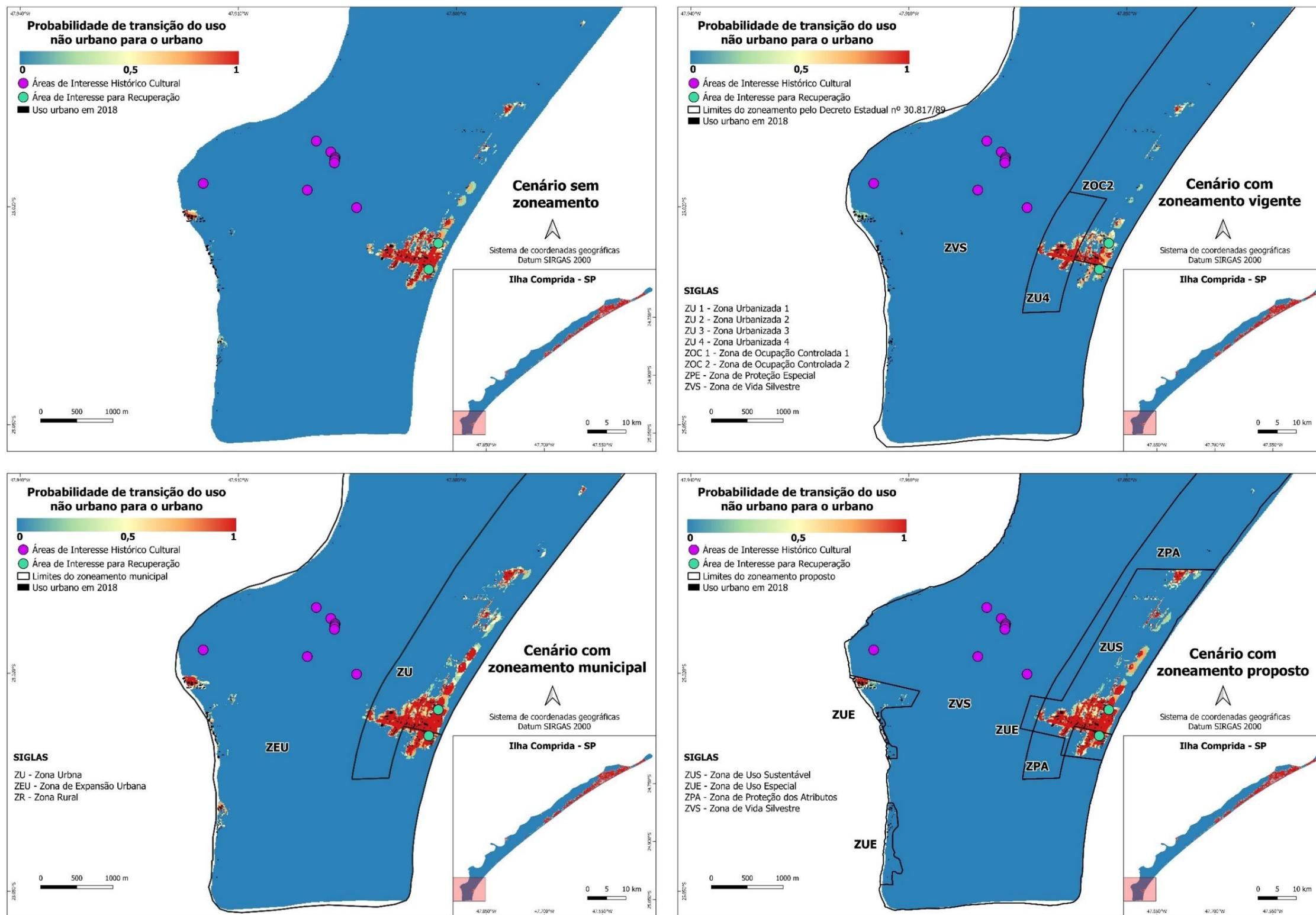
Zona municipal	Referência do zoneamento vigente	Peso de evidência utilizado no cenário
Zona Urbana	Zona Urbanizada 1 (ZU1)	2.246
Zona de Expansão Urbana	Zona Urbanizada 3 (ZU3)	1.798
Zona Rural	Zona Urbanizada 2 (ZU2)	1.017

Fonte: Elaboração própria

A adaptação dos pesos para o cenário do zoneamento urbano não leva em consideração regramentos constantes na legislação municipal ou participação de gestores municipais. Tal adaptação foi realizada para analisar um cenário em que todo o município estivesse apto para expansão urbana. A legislação municipal aponta que para edificações e loteamentos devem ser respeitadas legislações ambientais vigentes e demais especificações a serem estabelecidas em Plano Diretor, ressaltando-se que este cenário do zoneamento municipal sem o zoneamento da APA é um cenário hipotético.

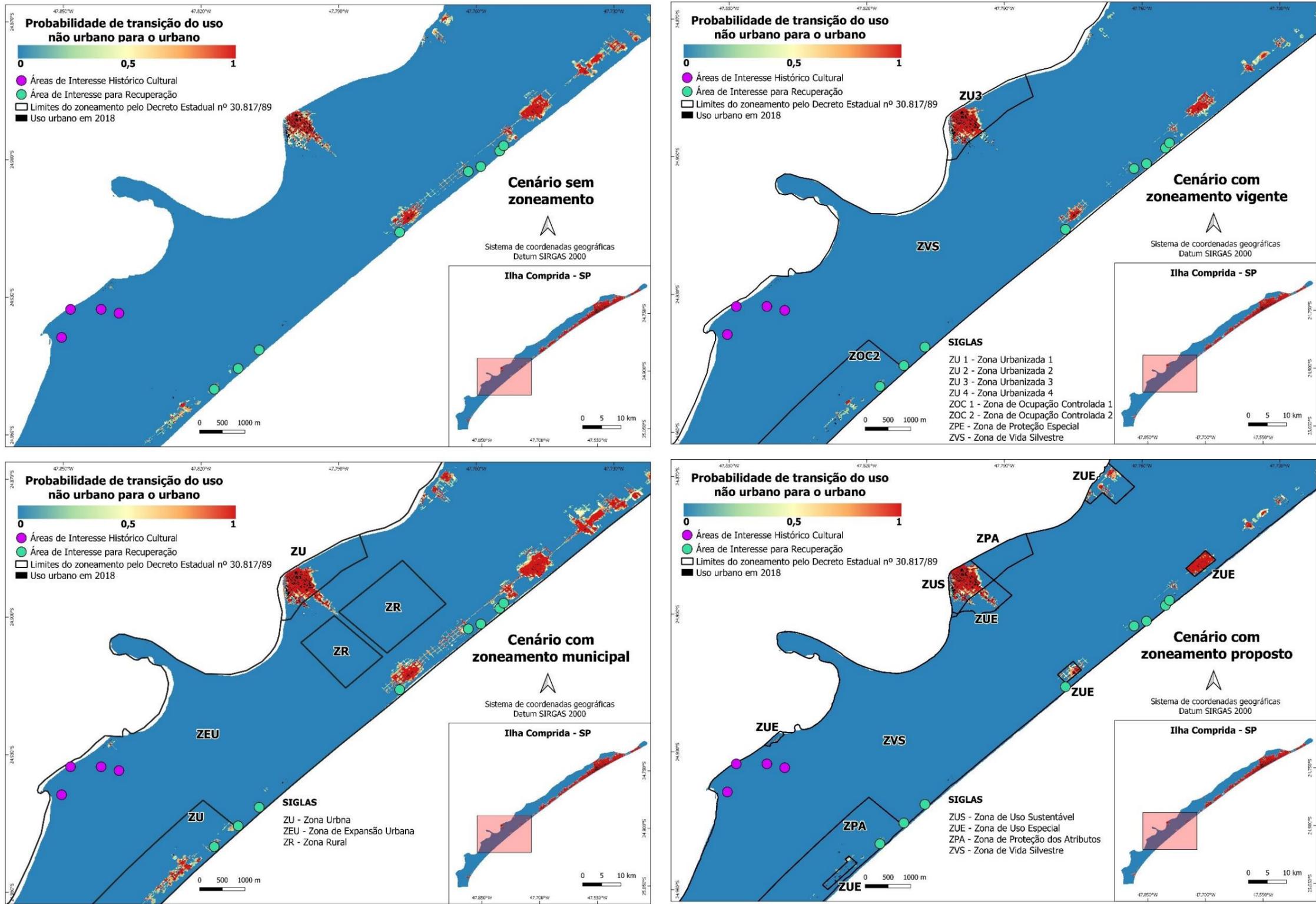
Após a organização das variáveis para modelagem, foram gerados os mapas de probabilidade de transição para os diferentes cenários. Na visualização dos mapas foram sobrepostos os pontos das áreas de interesse histórico cultural, em sua maioria indicando a presença de sambaquis que são objeto de proteção de acordo com o Decreto Estadual nº 30.817/89 (zoneamento vigente) e também com a nova proposta, e as áreas de interesse para recuperação, apontados na como objeto de proteção na nova proposta de zoneamento. A sobreposição com estes pontos teve como objetivo analisar as possíveis pressões de expansão nas proximidades destes pontos. Os mapas de probabilidade de transição do uso não urbano para o uso urbano encontram-se nas Figuras 52, 53, 54 e 55.

Figura 52. Probabilidade de expansão na região sul



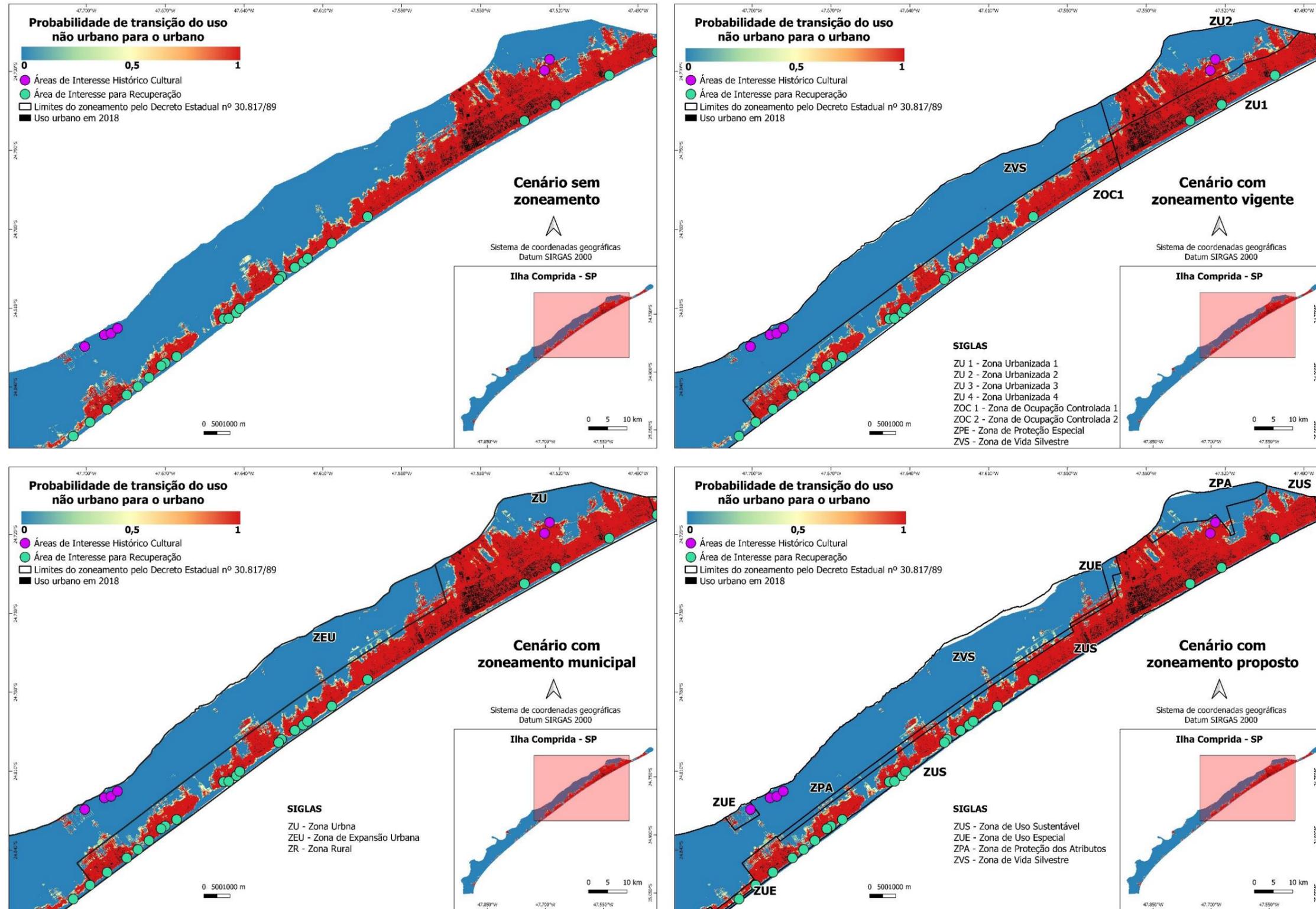
Fonte: Elaboração própria

Figura 53. Probabilidade de expansão na região centro-sul (próximo à Pedrinhas)



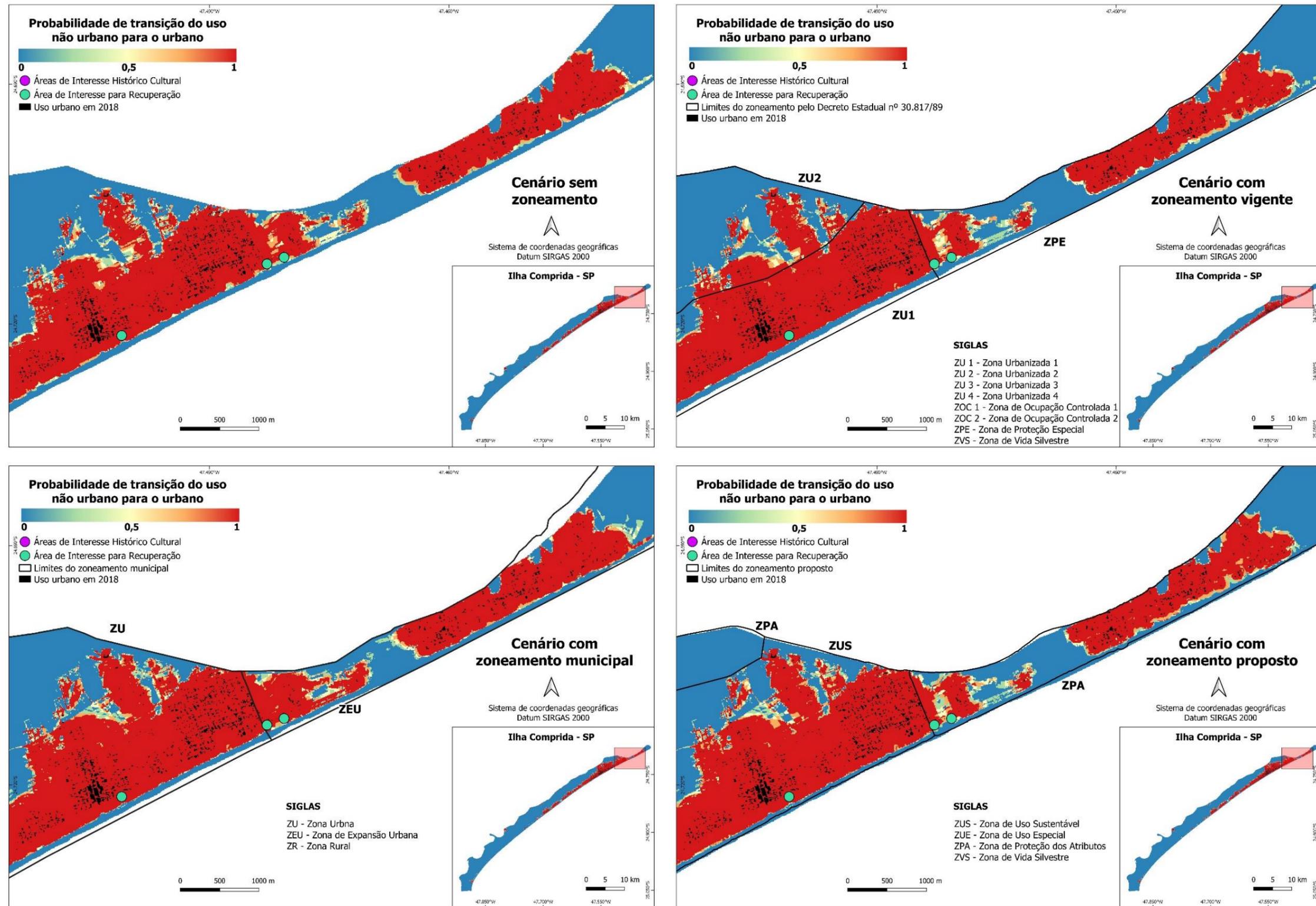
Fonte: Elaboração própria

Figura 54. Probabilidade de expansão na região centro-norte



Fonte: Elaboração própria

Figura 55. Probabilidade de expansão na região nordeste



Fonte: Elaboração própria

Os mapas de probabilidade de transição mostram que nos cenários sem zoneamento ou com o zoneamento municipal em que todas as zonas foram consideradas com pesos de evidência positivos, ocorre uma pressão de expansão na área que hoje é protegida pela ZVS e pela vegetação de restinga alta. Outro comportamento que pode ser observado é uma tendência a expansão mais espalhada, tendo em vista que não temos zonas restritivas contendo este avanço.

O cenário com o zoneamento proposto consegue evidenciar os potenciais de expansão urbana nas ZUEs, situação que foi refletida nas expectativas dos gestores durante as oficinas. Este cenário também aponta que as áreas de ZUE em que não serão permitidas novas edificações diminuiu as pressões nestas áreas, se as confrontarmos com o zoneamento vigente e os demais cenários.

A sobreposição com os pontos de áreas de interesse histórico cultural e interesse para a conservação mostra que estas áreas estão no raio de expansão, em especial na região ao norte da ilha. Se observarmos a Figura 54 podemos verificar que no cenário proposto, com a criação das ZUEs, pontos de interesse histórico cultural que antes não pareciam estar próximos às altas probabilidades de expansão no cenário com o zoneamento vigente podem ficar ameaçados com o potencial criado pela zona. Em contrapartida, observando-se a Figura 53, a criação destas mesmas zonas parecem controlar as pressões devido à ocupações já existentes, protegendo os pontos de interesse para a conservação e diminuindo a expansão sobre a ZVS.

As configurações de pesos escolhidas para o zoneamento proposto até o momento mostram uma alteração da dinâmica em relação ao zoneamento vigente, com adensamento na região ao norte partindo para a atual ZOC1.

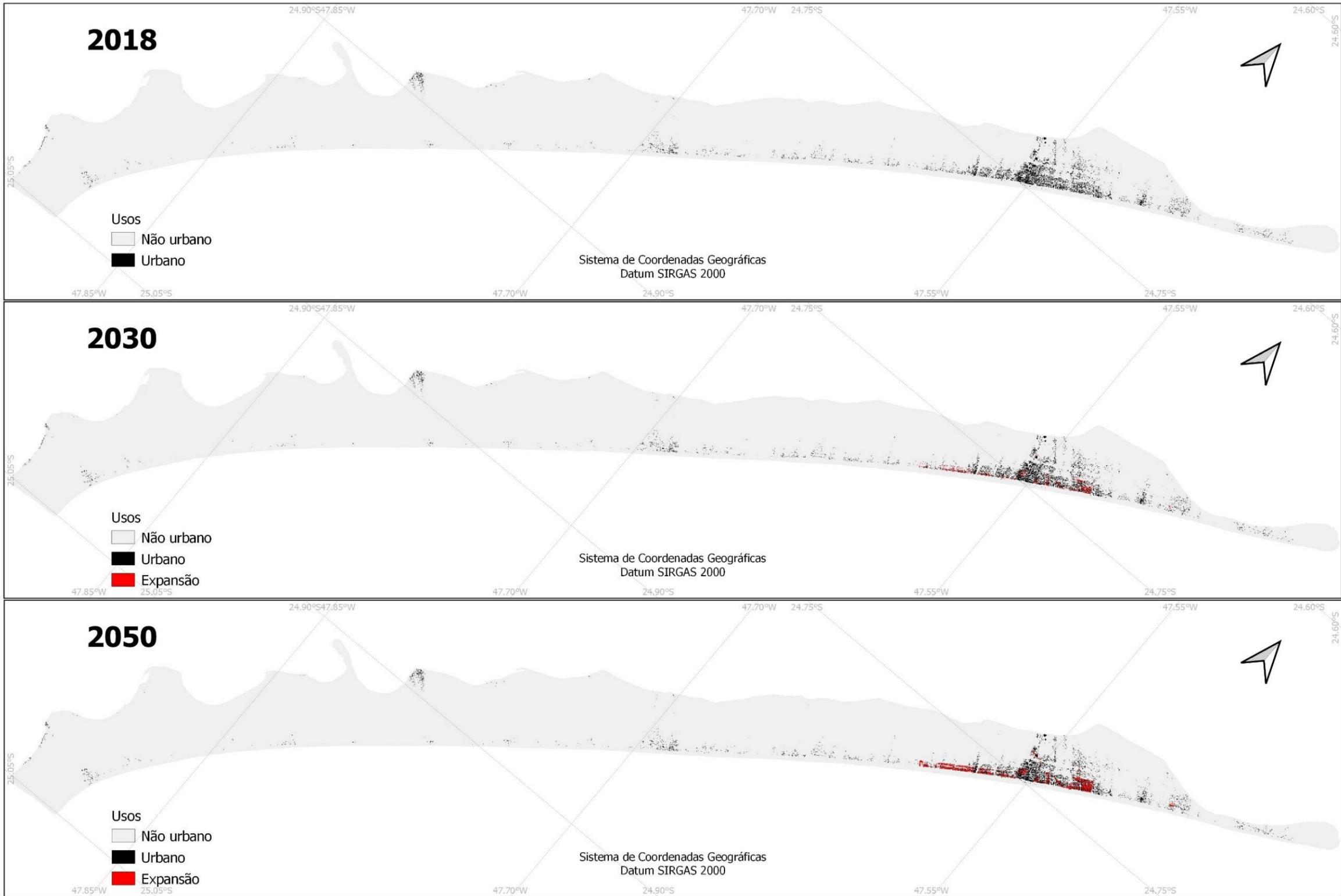
Estes cenários mostram que esses pesos ainda precisam ser mais trabalhados, de modo a diminuir o potencial de expansão na região nordeste que é acometida por processos erosivos e que não está bem representada nos cenários. Isso se deve ao fato de que existem outros elementos indutores à ocupação dessa área, tais como proximidade a eixo viário, proximidade a outras áreas urbanas, solos favoráveis a construção, distância a praia e a pontos de interesse fotográfico, entre outros. Apesar de a alta probabilidade de expansão urbana demonstrada nesta zona não se conformar com a proposta do novo

zoneamento, ela indica que os gestores devem ter uma atenção e dedicação especial para que esta região da ilha atinja adequadamente os objetivos propostos em seu zoneamento, frente a possíveis pressões futuras de ocupação.

No geral, todos os pontos de interesse para recuperação estão em áreas com alta probabilidade de transição. Os pontos de interesse histórico cultural apresentam maior risco à degradação a partir da região centro norte, aparecendo com menor risco mais ao sul e na região onde encontramos a atual ZVS.

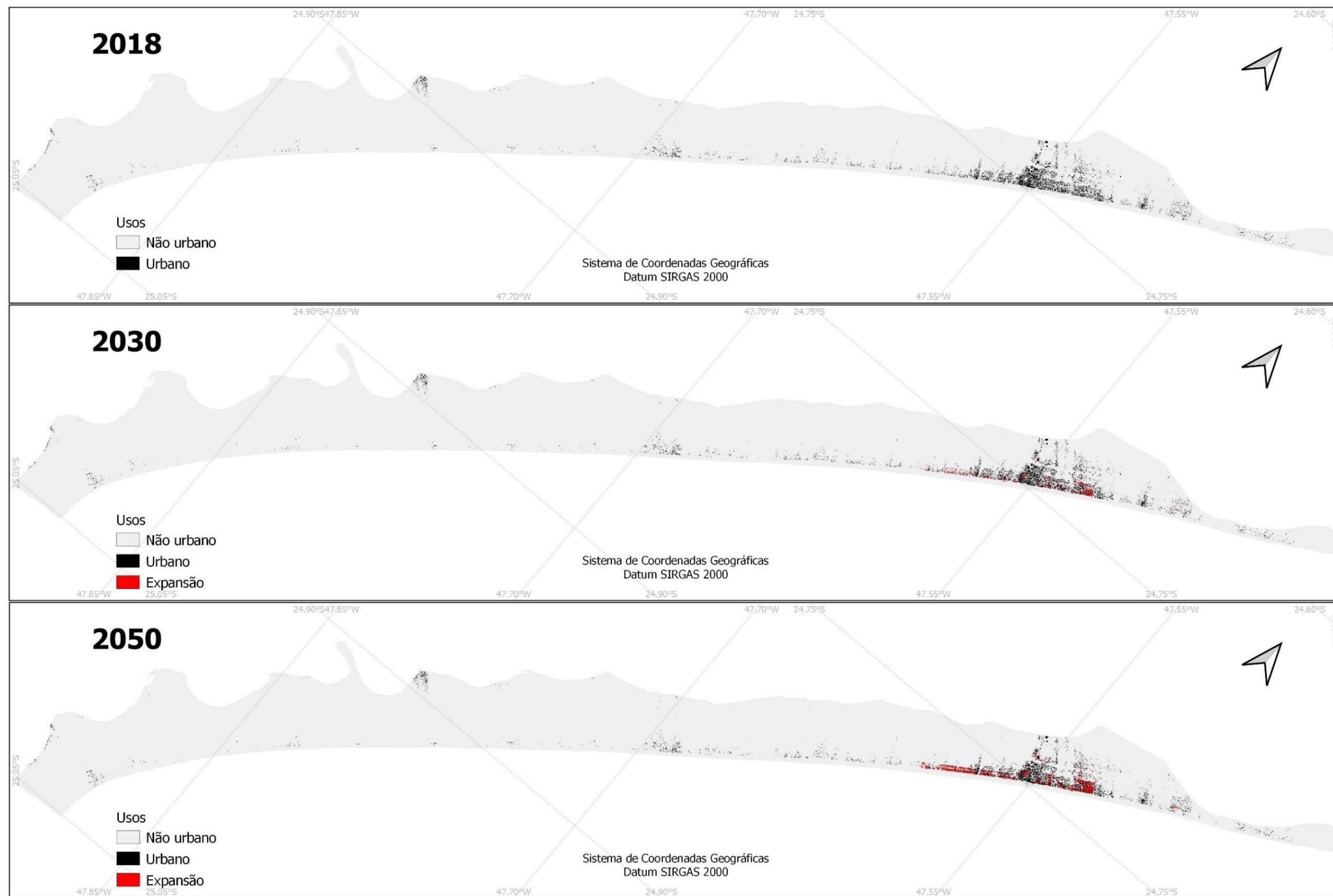
A partir dos mapas de probabilidade foram gerados os cenários para os anos de 2030 e 2050, de acordo com as diferentes configurações de zoneamento conforme Figuras 56, 57, 58 e 59.

Figura 56. Cenário sem zoneamento



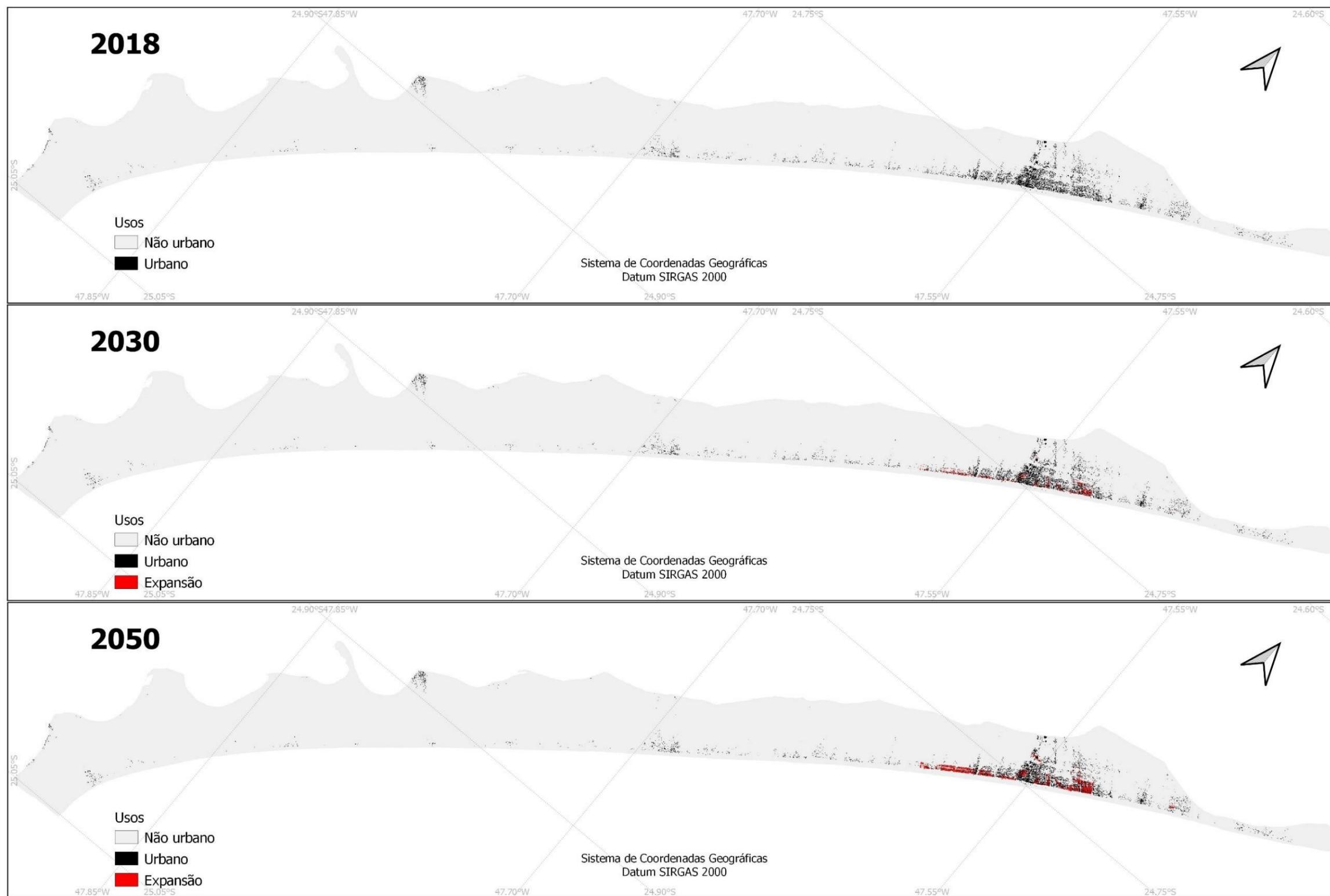
Fonte: Elaboração própria

Figura 58. Cenário com zoneamento municipal



Fonte: Elaboração própria

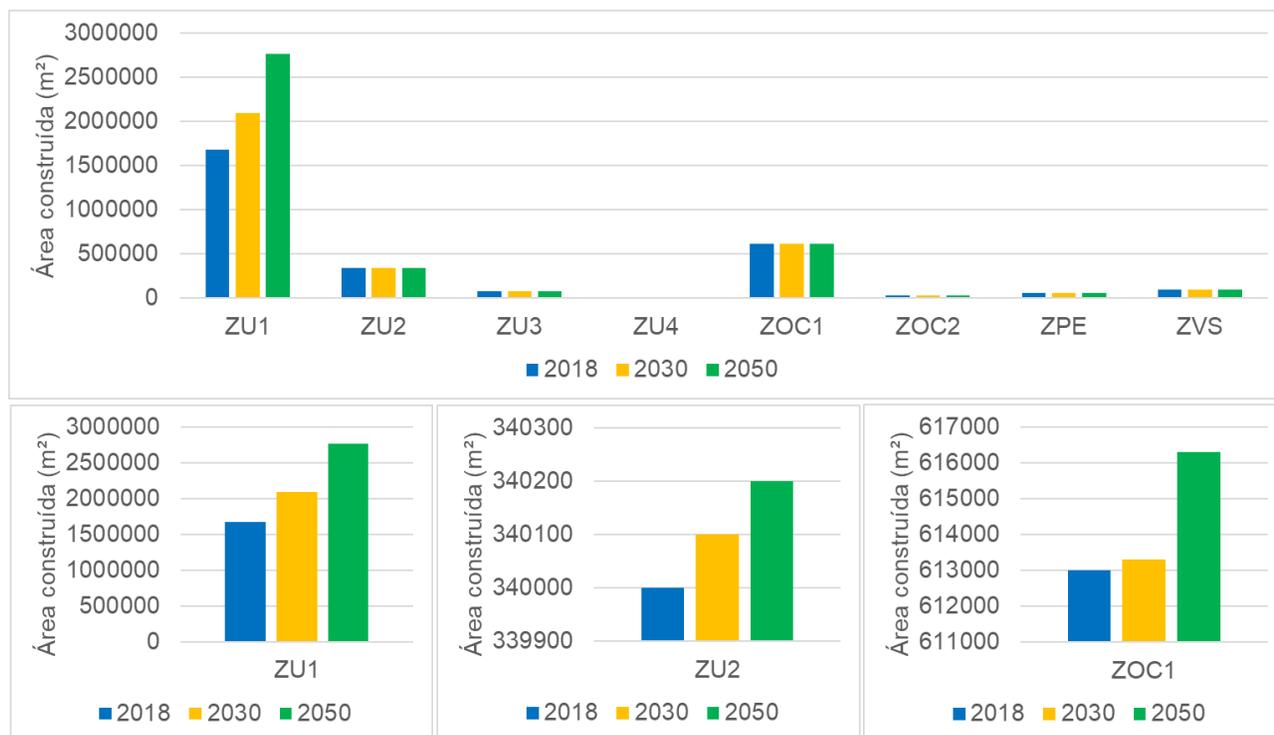
Figura 59. Cenário com zoneamento proposto



Fonte: Elaboração própria

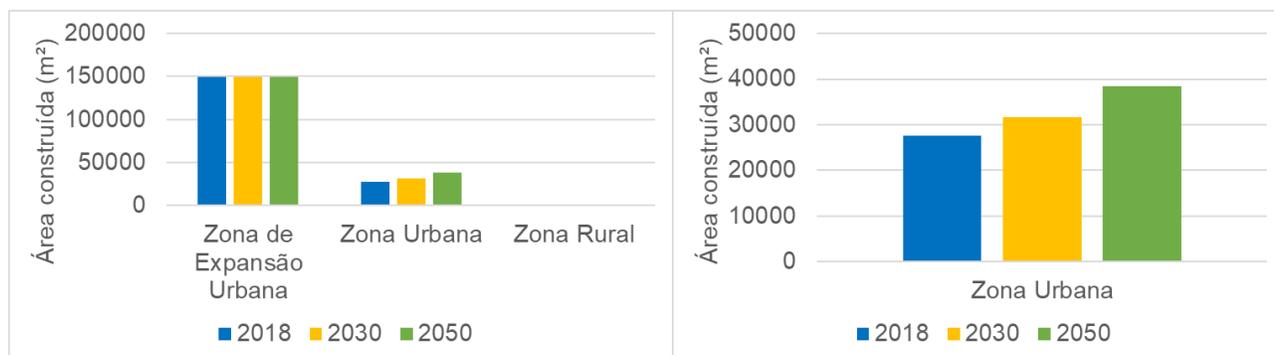
Observando-se os cenários, podemos verificar que, independente do zoneamento considerado, as manchas de crescimento se concentram na região nordeste, de forma que dependendo do zoneamento este crescimento é mais agregado (zoneamentos vigente e municipal) ou mais disperso (zoneamento proposto e cenário sem zoneamento). Para avaliar esse crescimento de forma mais objetiva, foi somada a área construída incidente em cada zona, nos diferentes cenários (Figuras 60, 61 e 62).

Figura 60. Área construída por zona – cenário com o zoneamento vigente



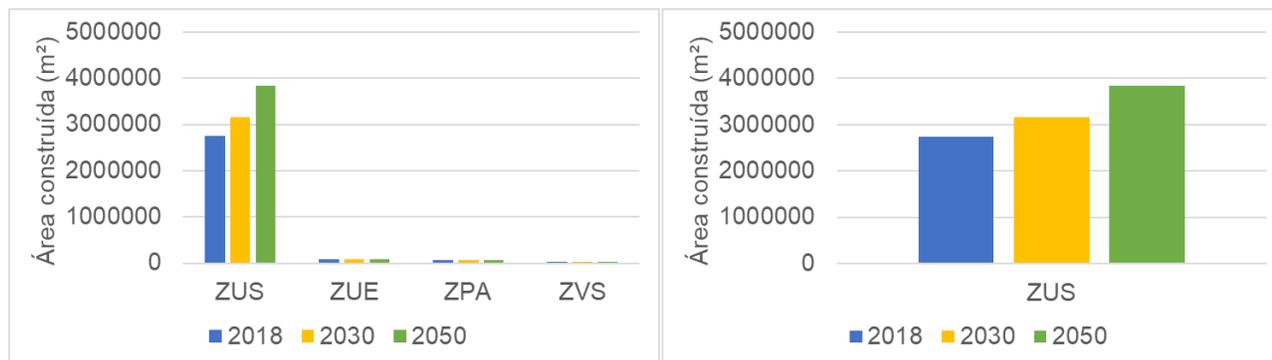
Fonte: Elaboração própria

Figura 61. Área construída por zona – cenário com o zoneamento municipal



Fonte: Elaboração própria

Figura 62. Área construída por zona – cenário com a nova proposta de zoneamento

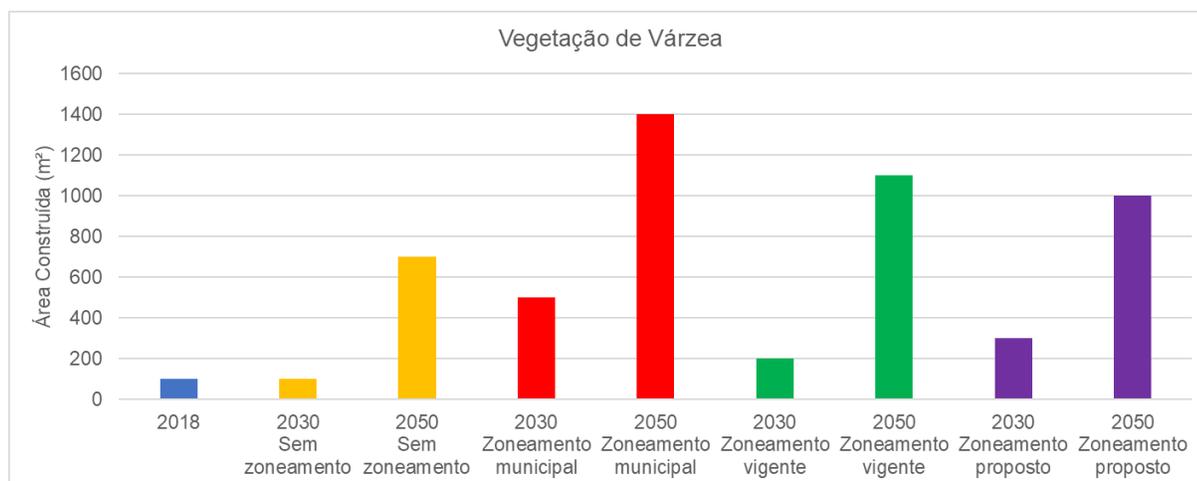


Fonte: Elaboração própria

Observando-se as áreas construídas por zona, podemos verificar que a expansão urbana ocorre nas zonas menos restritivas, ou seja, onde seria permitida a expansão urbana, de modo que no caso do zoneamento vigente este crescimento ocorre nas ZU1, ZU2 e ZOC1, que no zoneamento municipal ocorre na zona urbana e na nova proposta de zoneamento a expansão se dá na ZUS. Estes cenários permitem visualizar que delimitações dos diferentes zoneamentos influenciam a configuração espacial com a concentração ou a dispersão da expansão urbana, mas não desconsideram as outras variáveis consideradas na calibração do modelo. No caso do cenário em que foram estipulados pesos de evidência positivos para todas as zonas (zoneamento municipal), vemos que as transições ocorreram apenas na zona urbana, evidenciando o papel que as demais variáveis exercem sobre o modelo.

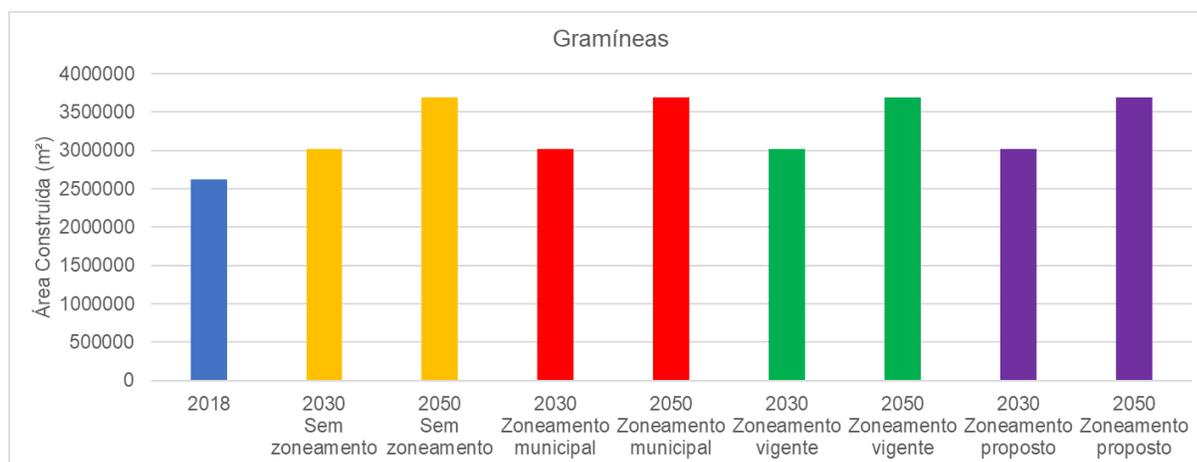
Os dados de uso urbano gerados a partir dos cenários também foram cruzados com as classes de vegetação e cobertura da terra, para todas as alternativas de zoneamento, de modo a visualizar as classes com maior pressão de acordo com as simulações. Ao analisar a expansão urbana de acordo com as classes de vegetação e cobertura da terra, verificou-se que o ocorre nas classes de vegetação de várzea e gramíneas (Figuras 63 e 64).

Figura 63. Crescimento urbano sobre vegetação de várzea nos cenários



Fonte: Elaboração própria

Figura 64. Crescimento urbano sobre gramíneas nos cenários



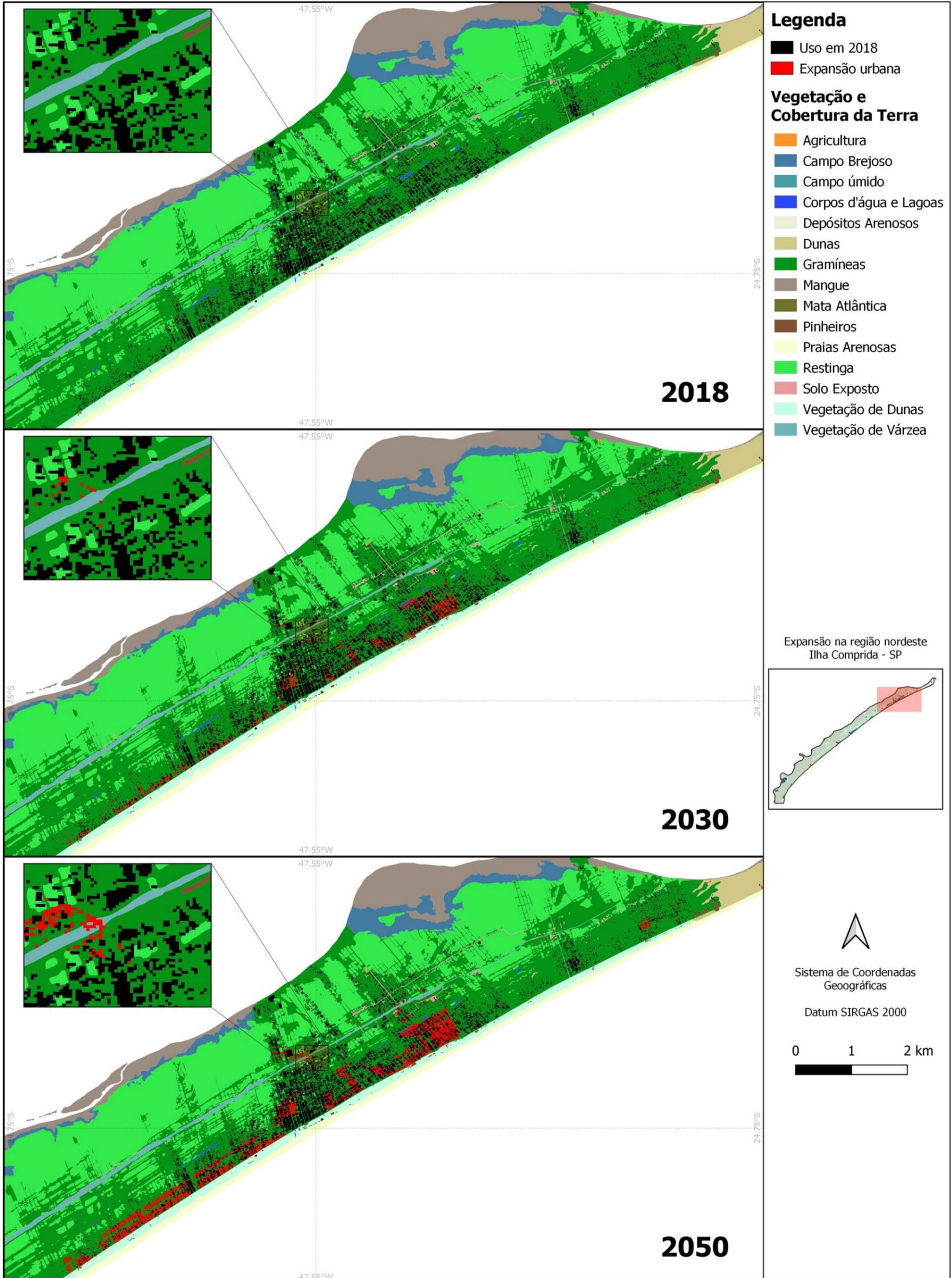
Fonte: Elaboração própria

Comparando a área construída sobre as classes de vegetação podemos observar uma pressão maior sobre as áreas de vegetação de várzea nos cenários com o zoneamento proposto e com o zoneamento municipal, sendo maior a área construída neste último. Já para a classe de gramíneas a projeção de área construída é a mesma para todos os cenários.

Vale ressaltar que o modelo pode possuir uma imprecisão espacial, lembrando que a validação leva em consideração uma similaridade de acordo com a janela de pixels até 11x11. Desta forma, destacamos que é necessária atenção ao interpretar estes

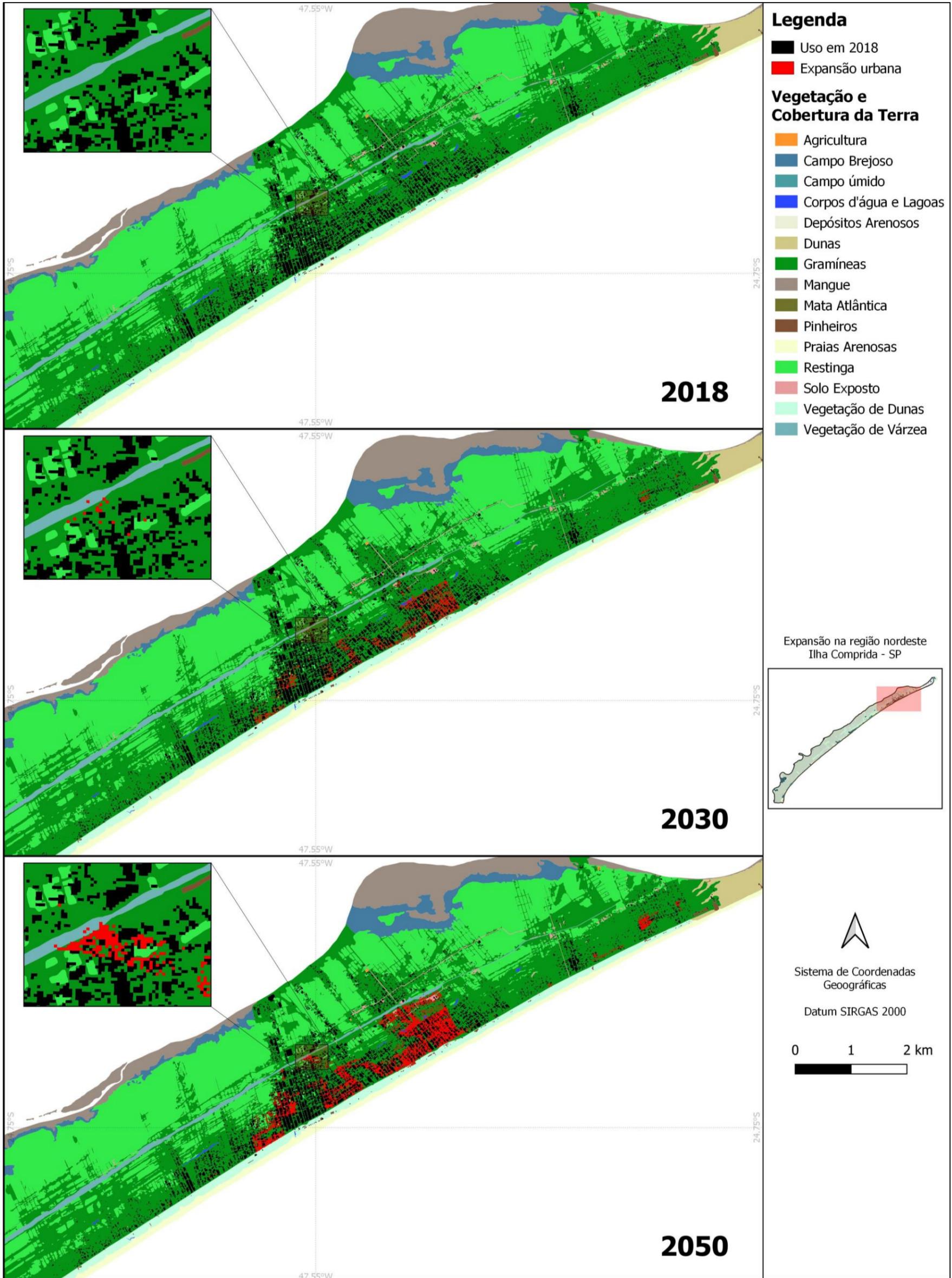
resultados. Para auxiliar no entendimento desta imprecisão, os usos gerados para os cenários foram sobrepostos às classes de vegetação e cobertura da terra (Figuras 65, 66, 67 , 68).

Figura 65. Cenários - vegetação e cobertura da terra - sem zoneamento



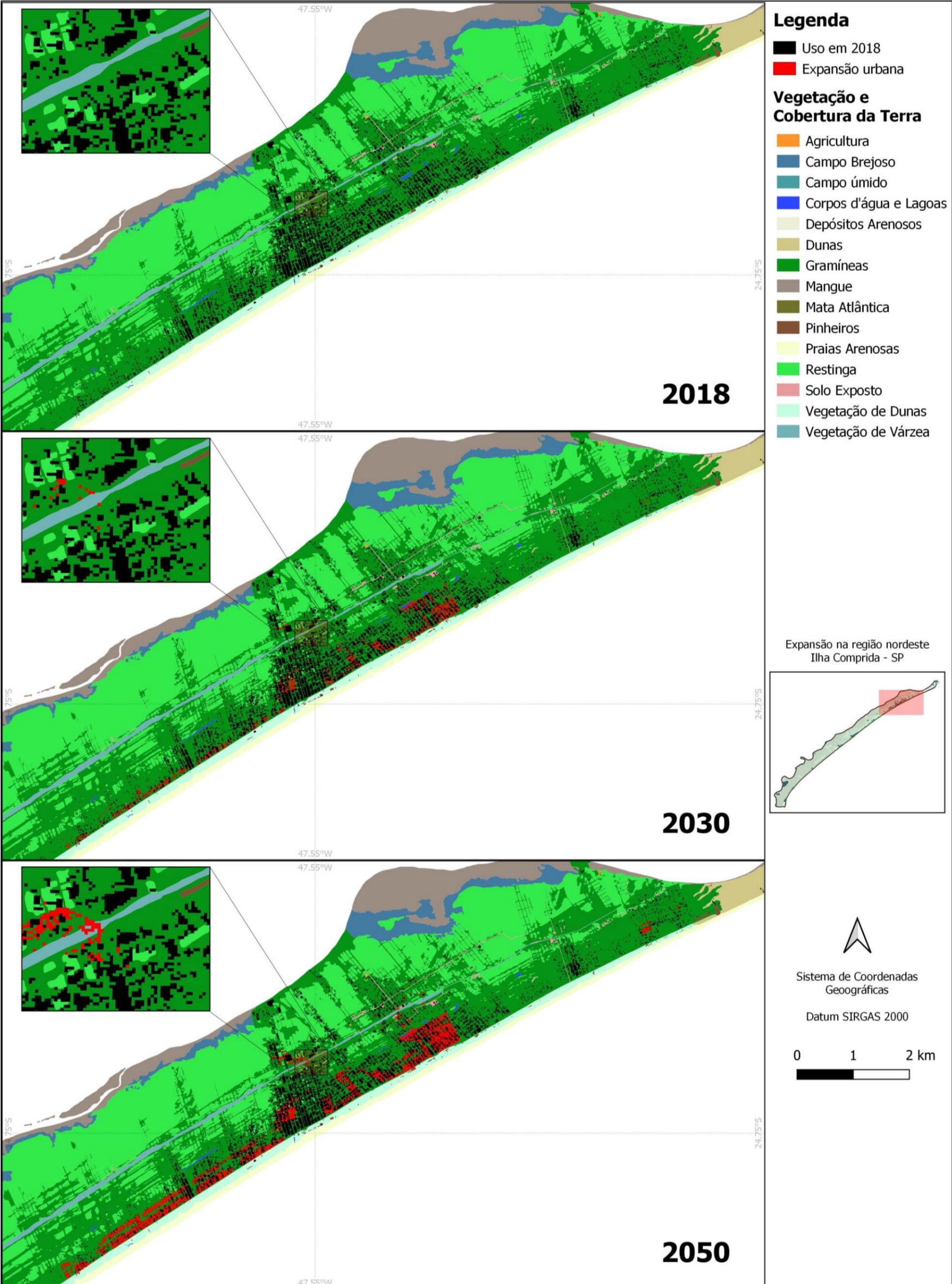
Fonte: Elaboração própria

Figura 66. Cenários - vegetação e cobertura da terra - zoneamento vigente



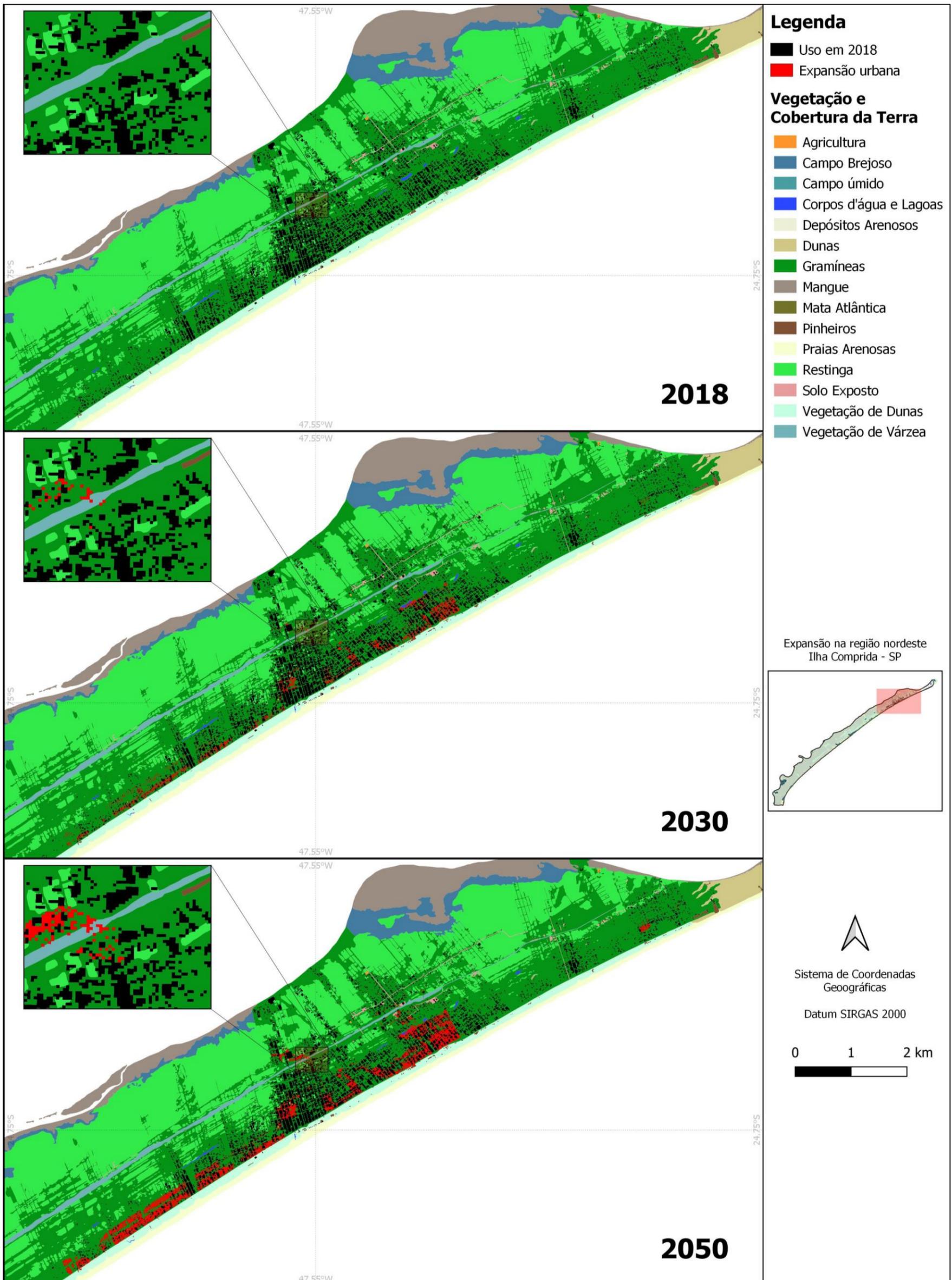
Fonte: Elaboração própria

Figura 67. Cenários - vegetação e cobertura da terra - zoneamento municipal



Fonte: Elaboração própria

Figura 68. Cenários - vegetação e cobertura da terra - zoneamento proposto



Fonte: Elaboração própria

Analisando as imagens podemos perceber a maior tendência de expansão sobre a classe de gramíneas. Se analisarmos o comportamento da expansão a partir dos valores de peso de evidência, temos pesos positivos para a classe de gramíneas (1,43) Já em relação a classe de vegetação de várzea, os valores de peso não foram significativos, e esta classe não entrou como variável na modelagem. Apesar da classe de vegetação de várzea não ter entrado como variável preditora, era esperado que o baixo valor de peso de evidência(-0,83) para a faixa de 0-30m relativo à drenagem fosse efetivo para controlar a expansão nessas áreas, mas nestas configurações, a combinação das variáveis de distância ao sistema viário, distância às manchas urbanas e distância à pontos de interesse fotográfico acabaram prevalecendo na influência da transição.

6 CONCLUSÕES

O processo de modelagem e projeção dos cenários de expansão urbana por meio dos pesos de evidência se mostrou de extrema importância para entender as dinâmicas de expansão e como e quais variáveis atuam na transição. Os pesos de evidência permitiram avaliar as variáveis preditoras do modelo individualmente, sendo a calibração destes a etapa mais elaborada deste trabalho.

Apesar das paisagens finais geradas pelo modelo na simulação de cenários serem importantes para verificar os padrões de distribuição da transição estudada em diferentes cenários de zoneamento, os mesmos se mostraram muito imprecisos se analisadas pixel a pixel, mas bastante úteis para se utilizar como base para o planejamento, se analisadas quanto padrões de paisagem mais amplos. Contudo, estes cenários podem trazer uma falsa sensação de segurança, tendo em vista que só foram registradas transições nas zonas em que o crescimento urbano é permitido de alguma forma, independente do cenário. Pelo contrário, nas perspectivas futuras não se pode ignorar as dinâmicas conflituosas que acontecem na ilha, com pressões de ocupação na atual ZVS, além de diversos loteamentos em processo de regularização que, no contexto do novo zoneamento, terão um potencial de expansão. O conhecimento da dinâmica local é essencial no estudo dos cenários, permitindo afirmar que os mapas de probabilidade, neste caso, fornecem uma base mais precisa para o controle e o planejamento, evidenciando melhor as pressões reais de expansão em todo o município. Nesse sentido é de fundamental uma conversa entre as diferentes esferas de gestão atuantes no município para que não ocorram conflitos de interesse durante a elaboração do futuro Plano Diretor do município.

Neste exercício de modelagem, com a calibração dos pesos, em especial os pesos para elaboração dos cenários, a interação com os gestores e técnicos da Fundação Florestal por meio das oficinas foi fundamental para melhor ajuste e entendimento das dinâmicas e conflitos espaciais que a expansão urbana tem e pode trazer para o município. A modelagem, através da simulação das paisagens e mapas de probabilidade permitiram evidenciar que, apesar das diversas influências que existem na expansão urbana, os zoneamentos são fundamentais no controle do uso do solo, confirmando a extrema relevância que o zoneamento teve na conservação da APA e que ainda vai ter de acordo com as projeções de cenários.

Cabe destacar também a importância de concentrar a expansão dentro das zonas urbanas, tendo em vista que isto também facilita para que o poder público possa trazer a infraestrutura urbana para essas áreas. Manter a preservação da ilha com respeito às zonas restritivas é de extrema relevância, tendo em vista que a preservação ajuda a desenvolver o ecoturismo, ainda mais se levarmos em consideração a atividade econômica relacionada ao turismo presente no município atualmente,

Por fim, este trabalho mostra a sua relevância para incorporação da modelagem no processo de planejamento urbano, ressaltando o papel que as políticas impostas pelo zoneamento trazem, evidenciando o funcionamento das zonas urbanas que trouxeram a expansão para áreas delimitadas e ilustrando a necessidade de fiscalização tanto no presente quanto no cenário futuro para zonas restritivas.

REFERÊNCIAS

- ABDULLAHI, S.; PRADHAN, B. Sustainable Brownfields Land Use Change Modeling Using GIS-based Weights-of-Evidence Approach. *Applied Spatial Analysis and Policy*, v. 9, n. 1, p. 21–38, 2016.
- ABURAS, M. M.; AHAMAD, M. S. S.; OMAR, N. Q. Spatio-temporal simulation and prediction of land-use change using conventional and machine learning models: a review. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 191, n. 4, 2019.
- AFFONSO, C. H. A.; FREITAS, L. G. B. Implantação e Manejo de Gramíneas em Estradas e Rodovias. *Simpósio Sobre Gramados - "Produção, Implantação e Manutenção"*, p. 8, 2003.
- ALMEIDA, C. M. DE; VIEIRA MONTEIRO, A. M.; CÂMARA, G.; SOARES-FILHO, B. S.; COUTINHO CERQUEIRA, G.; LOPES PENNACHIN, C.; BATTY, M. GIS and remote sensing as tools for the simulation of urban land-use change. *International Journal of Remote Sensing*, v. 26, n. 4, p. 759–774, 2005
- ALMEIDA, CM de. *Modelagem da dinâmica espacial como uma ferramenta auxiliar ao planejamento: simulação de mudanças de uso da terra em áreas urbanas para as cidades de Bauru e Piracicaba (SP)*, Brasil. São José dos Campos: INPE, 2004.
- ALMEIDA, CM de.; MONTEIRO, M. V. M.; CÂMARA, G. *Modelos de Dinâmica Urbana: Conceitos, Derivação de Relações, Calibração, Exemplos*. 2003. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/cursos/tutoriais/modelagem/Cap3_Modelos_Urbanos_Versao_Nova.pdf
- ALQURASHI, A. F.; KUMAR, L.; SINHA, P. Urban land cover change modelling using time-series satellite images: A case study of urban growth in five cities of Saudi Arabia. *Remote Sensing*, v. 8, n. 10, 2016.
- AMATO, F.; PONTRANDOLFI, P.; MURGANTE, B. Using spatiotemporal analysis in urban sprawl assessment and prediction. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, v. 8580 LNCS, n. PART 2, p. 758–773, 2014.

ARARIPE, C. A. *Zoneamento de APA . Preocupação com a Capacidade de Suporte ou garantia da Ação Antrópica Capitalista ? O caso de Ilha Comprida , Litoral Sul de São Paulo . IV Encontro Nacional da Anppas. . Brasília - DF: IV Encontro Nacional da Anppas, 2008.*

ARAÚJO, V. G. *Conflitos entre áreas de uso e ocupação das terras e áreas de conservação no município de Ilha Comprida (SP)*. 2015. 1-65 f. Departamento de Geografia. Instituto de Geociências. Universidade Estadual de Campinas, Campinas - SP, 2015.

BECEGATO, J. L.; SUGUIO, K. Impacto ambiental antrópico na APA (Área de Proteção Ambiental) da Ilha Comprida (SP): da pré-história à atualidade. *Revista UnG - Geociências*, v. 6, n. 1, p. 107–117, 2007.

BONHAM-CARTER, Graeme F. Geographic information systems for geoscientists-modeling with GIS. *Computer methods in the geoscientists*, v. 13, p. 398, 1994.

BRASIL. Decreto nº 90.347 de 23 de outubro de 1984. Dispõe sobre a implantação de área de proteção ambiental nos Municípios de Cananéia, Iguape, e Peruíbe, no Estado de São Paulo, e dá outras Providências. 1984. Disponível em: <http://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1980-1987/decreto-90347-23-outubro-1984-440574-publicacaooriginal-1-pe.html>. Acesso em 12 de novembro de 2019.

BRASIL. *Lei nº 9.985 de 18 de julho de 2000. Sistema Nacional de Unidades de Conservação*. [S.l: s.n.], 2000 Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9985.htm>. Acesso em 12 de novembro de 2019

BRASIL. Lei nº 11.428 de 22 de dezembro de 2006. *Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências*. [S.l: s.n.], 2006. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ Ato2004-2006/2006/Lei/L11428.htm>. Acesso em 12 de novembro de 2019.

BRASIL. *Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências*. Diário Oficial da União, 2012.

BRIZZOTTI, M.M.; FARIA, M.B.B.C. *Atlas da Restinga*. USP. 2016. Disponível em: <<http://labtrop.ib.usp.br/doku.php?id=projetos:restinga:restsul:divulga:atlas>>, Acesso em 30 de março de 2019.

CAMACHO-SANABRIA, J. M.; JUAN-PÉREZ, J. I.; PINEDA-JAIMES, N. B. Modelado de cambios de cobertura y uso del suelo: Escenarios prospectivos en el Estado de México. Estudio de caso Amanalco de Becerra. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, v. 21, n. 2, p. 203–220, 2015.

CAMPOS, W. W. *Análise e mapeamento da estrutura da paisagem da Ilha Comprida, no litoral sul de São Paulo*. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

CARVALHO, M. C. P. *Histórias da ilha: temporalidade e apropriação do espaço na Ilha Comprida*. 1999. 158 f. Universidade Estadual de Campinas, Campinas - SP, 1999.

COSTA, R. N. ; JANKOWSKY, M.; MOURA, C. Criação de áreas protegidas municipais como avanço na política de planejamento e conservação territorial: O caso do Município de Ilha Comprida, São Paulo, Brasil. *V Congresso de Geografia Tropical - Convención Tropico*, 2016.

COUCLELIS, Helen. “Where has the future gone?” Rethinking the role of integrated land-use models in spatial planning. *Environment and Planning A*, [s. l.], v. 37, n. 8, p. 1353–1371, 2005.

DELANEZE, M. E.; RIEDEL, P. S.; MARQUES, M. L.; FERREIRA, M. V.; ESTADUAL, U.; UNESP, P. Modelagem dinâmica espacial para o monitoramento do crescimento urbano no entorno do Duto Orbel. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 3, n. 66, p. 473–484, 2014.

DIAS, R. L.; OLIVEIRA, R. C. Caracterização socioeconômica e mapeamento do uso e ocupação da terra do litoral sul do estado de São Paulo. *Sociedade & Natureza*, v. 27, n. 1, p. 111–123, 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1982-45132015000100111&lng=pt&nrm=iso&tlng=en>. Acesso em 12 de novembro de 2019.

FEITOSA, F.; MARETTO, R. V.; VIEIRA, A. M. Struggle for Space in Coastal Cities : a Cellular Automata Model for Simulating Urban Stratification Dynamics. *Revista Brasileira de Cartografia*, n. 69/8, p. 1610–1627, 2017.

FERREIRA, L. D. C. Dimensões humanas da biodiversidade: mudanças sociais e conflitos em torno de áreas protegidas no Vale do Ribeira, SP, Brasil. *Ambiente & sociedade*, v. 7, n. 1, p. 47–66, 2004.

FUNDAÇÃO FLORESTAL. *Plano de Manejo – Área de Proteção Ambiental Ilha Comprida*. 2019a. Disponível em <<https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/fundacaoflorestal/pagina->

inicial/apas/plano-de-manejo-area-de-protecao-ambiental-ilha-comprida/>. Acesso em 18 de agosto de 2019.

FUNDAÇÃO FLORESTAL. *Planos de Manejo – Planos em Elaboração*. 2019b. Disponível em < <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/fundacaoflorestal/planos-de-manejo/planos-de-manejo-planos-em-elaboracao/>>. Acesso em 18 de agosto de 2019.

GARCIA, A. E. R.; BOWEN, J. L. R.; SOLÓRZANO, C. J. V. Escenarios de crecimiento urbano 2017 y 2022 de la ciudad de Portoviejo, Manabí-Ecuador, a partir de autómatas celulares (Urban growth scenarios 2017 and 2022 of the city of Portoviejo, Manabí-Ecuador, from cellular automaton). *Revista San Gregorio*, v. 4, n. 19, p. 20–33, 2017.

GEOBRÁS S. A. Complexo Valo Grande, mar Pequeno: Rio Ribeira de Iguape. *Relatório para o serviço do Vale do Ribeira DAEE*, 2 v., Geobrás, São Paulo, 1966.

HAGEN, A. Fuzzy set approach to assessing similarity of categorical maps. *International Journal of Geographical Science*, v.17, n.3, p. 235-249. 2003.

HELBERT MEDEIROS PRADO *et al.* O canal do Valo Grande no Complexo Estuarino Cananéia- Iguape (SP, Brasil): história ambiental, ecologia e perspectivas futuras. *Ambiente & Sociedade*, v. 22, p. 1–24, 2019.

HERSPERGER, A. M.; OLIVEIRA, E.; PAGLIARIN, S.; PALKA, G.; VERBURG, P.; BOLLIGER, J.; GRĂDINARU, S Urban land-use change: The role of strategic spatial planning. *Global Environmental Change*, [s. l.], v. 51, n. May, p. 32–42, 2018.

HUANG, Y. *et al.* Simulating urban expansion and its impact on functional connectivity in the Three Gorges Reservoir Area. *Science of the Total Environment*, v. 643, p. 1553–1561, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.332>. Acesso em 12 de novembro de 2019.

IBGE. *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*. IBGE Cidades - Panorama da Ilha Comprida. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/ilha-comprida/panorama>>. Acesso em: 18 out. 2018.

ILHA COMPRIDA. Lei municipal nº 1.419 de 08 de novembro de 2017. *Dispõe sobre a revogação da Lei nº 063/93; Delimita a zona urbana, zona de expansão urbana e zona rural do território do município de Ilha Comprida e dá outras providências*. 2017. Disponível em: <<https://sapl.ilhacomprida.sp.leg.br/media/sapl/public/normajuridica/2017/433/lei-1419-17-revoga-lei-063-93-delim-zona-urbana.pdf>>. Acesso em 10 de agosto de 2020.

JESUS, A. R. G. *Análise da sustentabilidade ambiental do uso e ocupação do solo no Município de Ilha Comprida - SP*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2002.

LIMA, C. O.; OLIVEIRA, R. C. Os Processos de erosão e progradação no município de Ilha Comprida. Re. *Revista Geonorte, Edição Especial*, v. 1, n. 4, p. 902 – 915., 2012.

LIU, X. *et al.* A future land use simulation model (FLUS) for simulating multiple land use scenarios by coupling human and natural effects. *Landscape and Urban Planning*, v. 168, n. July 2016, p. 94–116, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.09.019>>. Acesso em 12 de novembro de 2019.

MACEDO, R. D. C.; ALMEIDA, C. M. DE; SANTOS, J. R. DOS; RUDORFF, B. F. T. Spatial dynamic modeling of land cover and land use change associated with the sugarcane expansion. *Boletim de Ciencias Geodesicas*, v. 19, n. 2, p. 313–337, 2013.

MARQUES, C.; MODESTO, F. *Adaptação a mudanças ambientais em contextos urbanos: conceitos, metodologias e desafios sob a perspectiva demográfica*. XIX Encontro Nacional de Estudos Populacionais, ABEP. *Anais...São Pedro*, SP: 2014. Disponível em: <<http://www.abep.org.br/publicacoes/index.php/anais/article/view/2066/2023>>. Acesso em: 26 jun. 2019.

MENESES, Paulo Roberto et al. Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. *Universidade de Brasília, Brasília*, 2012.

MMA. Panorama da Conservação dos Ecossistemas Costeiros e Marinhos no Brasil. *Gerência de Biodiversidade Aquática e Recursos Pesqueiros*, p. 148, 2012. Disponível em: <http://bibliotecaflorestal.ufv.br/handle/123456789/12181>. Acesso em 12 de novembro de 2019

NASCIMENTO-JÚNIOR, D. R. TANAKA, A. P. B. GUEDES, C. C. F. Mudanças Morfológicas da Extremidade NE da Ilha Comprida (SP) nos Últimos Dois Séculos. *Revista do Instituto de Geociências – USP*, v.8, n.1, p.35–39, 2008.

NUNES, M. Do passado ao futuro dos moradores tradicionais da Estação Ecológica Juréia-Itatins/SP. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanasm, Universidade de São Paulo, 2003.

OLMEDO, M. T. C. *et al.* Comparison of simulation models in terms of quantity and allocation of land change. *Environmental Modelling and Software*, v. 69, p. 214–221, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2015.03.003>>. Acesso em 12 de novembro de 2019

PEDROSA, Bianca Maria; CÂMARA, Gilberto. Modelagem dinâmica e geoprocessamento. *EMBRAPA, Brasília, DF, Brasil*, 2004.

RAMIRES, M.; MOLINA, S.; HANAZAKI, N. Etnoecologia caiçara: o conhecimento dos pescadores artesanais sobre aspectos ecológicos da pesca. *Biotemas*, v. 20, n. 1, p. 101–113, 2011. Disponível em: <<http://www.journal.ufsc.br/index.php/biotemas/article/view/20785>>. Acesso em 12 de novembro de 2019.

ROUSE, J.W, HAAS, R.H., SCHEEL, J.A., DEERING, D.W. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. *Proceedings, 3rd Earth Resource Technology Satellite (ERTS) Symposium*, vol. 1, p. 48-62, 1974.

SANTOS, V. C.; JUNIOR, S. C.; SOUZA, T. A. O princípio da subsidiariedade aplicado à área de proteção ambiental de Ilha Comprida-SP. *Boletim Campineiro de Geografia*, v. 5, n. 2, p. 341–362, 2015. Disponível em: <<http://agbcampinas.com.br/bcg>>. Acesso em 12 de novembro de 2019

SÃO PAULO. *Decreto nº 26.881 de 11 de março de 1987. Declara Área de Proteção Ambiental todo território da Ilha Comprida*. [S.l: s.n.]. 1987. Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/1987/decreto-26881-11.03.1987.html>>. Acesso em 12 de novembro de 2019

SÃO PAULO. *Decreto nº 30.817 de 30 de novembro de 1989. Regulamenta a Área de Proteção Ambiental da Ilha Comprida, criada pelo Decreto nº 26.881, de 11/03/1987 declara a mesma APA como de Interesse Especial e cria, em seu território, Reservas Ecológicas e Áreas de Relevante Interesse Ecológico* [S.l: s.n.]. 1989. Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/1989/decreto-30817-30.11.1989.html>>. Acesso em 12 de novembro de 2019

SÃO PAULO. *Decreto nº 53.526 de 8 de outubro de 2008. Cria a Área de Proteção Ambiental Marinha do Litoral Centro, e dá providências correlatas*. [S.l: s.n.], 2008 Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/2008/decreto-53526-08.10.2008.html>>. Acesso em 12 de novembro de 2019

SHAFIZADEH-MOGHADAM, H.; TAYYEBI, A.; HELBICH, M. Transition index maps for urban growth simulation: application of artificial neural networks, weight of evidence and fuzzy multi-criteria evaluation. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 189, n. 6, 2017.

SOARES-FILHO, B.; ALENCAR, A.; NEPSTAD, D.; CERQUEIRA, G.; DIAZ, M.C.V.; *et al.* Simulating the response of land-cover changes to road paving and governance along a major Amazon highway: The Santarém-Cuiabá corridor. *Global Change Biology*, v. 10, n. 5, p. 745–764, 2004.

SOARES-FILHO, B. S., Cerqueira, G. C., Araújo, W. L., and Voll, E. Modelagem de dinâmica de paisagem: concepção e potencial de aplicação de modelos de simulação baseados em autômato celular. *Megadiversidade* 3, 74-86, 2007

SOARES-FILHO, B., RODRIGUES, H., COSTA, W. *Modeling Environmental Dynamics with Dinamica EGO*. Centro de Sensoriamento Remoto (IGC/UFMG) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brazil. 2009. Disponível em: http://www.csr.ufmg.br/dinamica/tutorial/Dinamica_EGO_guidebook.pdf. Acesso em 05 de novembro de 2019.

SOUZA, T. A. *Dinâmica geomorfológica e alterações antrópicas da Ilha Comprida (SP)*. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas. 2014.

SOUZA, T.A.; OLIVEIRA, R. C. Alterações Ambientais no Complexo Estuarino-Lagunar ne Cananeia-Iguape: a Influência no Canal Artificial do “Valo Grande”. *Boletim de Geografia*, v. 34, n. 3, p. 30, 2016.

TESSLER, M.G. & M. M. de MAHIQUES. Utilization of coastal geomorphic features as indicators of longshore transport: examples of the southern coastal region of the State of São Paulo, Brasil. *Journal of Coastal Research*, 9 (3): 823 – 830, 1993.

TESSLER, M., CAZZOLI Y GOYA, S., YOSHIKAWA, P. S., HURTADO, S. N. Erosão e progradação do litoral Brasileiro: São Paulo. In: *Erosão e progradação no litoral brasileiro*[S.l: s.n.], 2006.

TESSLER, M.G; K. SUGUIO; M. M. de MAHIQUES & V. V. FURTADO. Evolução temporal e espacial da desembocadura lagunar de Cananéia, São Paulo, São Paulo. *Boletim do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo*, 38 (1): 23 – 29, 1990.

TRIAKONSTANTIS, D.; MOUNTRAKIS, G. Urban Growth Prediction: A Review of Computational Models and Human Perceptions. *Journal of Geographic Information System*, v. 04, n. 06, p. 555–587, 2012.

WAHYUDI, A.; LIU, Y. Cellular automata for urban growth modelling: A review on factors defining transition rules. *International Review for Spatial Planning and Sustainable Development*, v. 4, n. 2, p. 60–75, 2016.

APÊNDICE A – *Scripts* de preparação e organização dos dados em R

```
##### Rasterizar os .shps de uso #####
#pacotes necessários
library("raster")
library("sf")
library("rgdal")
library("mapproj")
#####
setwd("D:/R_CTA/trabalho_final") #seleção do diretório
ic <- st_read("ic/ic_utm.shp") #Polígono de Ilha Comprida - SP
solos <- st_read("solos/solos.shp")
uso2010<-read_sf("uso/2010.shp") #uso do solo (urbano e não urbano) para o
ano de 2010
uso2018<-read_sf("uso/2018.shp") #uso do solo (urbano e não urbano) para o
ano de 2018
veg_cob<-read_sf("vegetacao/vegetacao.shp") #demais coberturas (vegetacao,
agricultura, solo exposto, lagoas...)
zonas<-read_sf("ic/zonas.shp")
zonas_mun<-read_sf("ic/zonas_municipio.shp")
zonas_prop<-read_sf("ic/zonas_proposta.shp")
#atribuir sistema de referência
st_crs(uso2010)<-31983 #código EPSG31989
st_crs(uso2018)<-31983
st_crs(veg_cob)<-31983
st_crs(ic)<-31983
st_crs(zonas)<-31983
st_crs(solos)<-31983
st_crs(zonas_mun)<-31983
st_crs(zonas_prop)<-31983

#conferindo as classes
unique(solos$id)
unique(uso2010$ID)#retorna os valores unicos
unique(uso2018$ID)
unique(zonas$OBJECTID)
unique(zonas_mun$ID)
unique(zonas_prop$ID)

#criar um raster virtual de mesma extensao do shape de poligonos
ras<-raster(extent(ic))
res(ras)<-10 #define a resolucao do pixel - conferir o crs
solos_ras<-rasterize(solos, ras, field="id_uni")
```

```

crs(solos_ras)<-"+proj=utm      +zone=23      +south      +ellps=GRS80
+towgs84=0,0,0,0,0,0,0 +units=m +no_defs"
plot(solos_ras)
#converter o .shp em raster
uso_2010_ras<-rasterize(uso2010, ras, field="ID")
crs(uso_2010_ras)<-"+proj=utm      +zone=23      +south      +ellps=GRS80
+towgs84=0,0,0,0,0,0,0 +units=m +no_defs"
uso_2018_ras<-rasterize(uso2018, ras, field="ID")
crs(uso_2018_ras)<-"+proj=utm      +zone=23      +south      +ellps=GRS80
+towgs84=0,0,0,0,0,0,0 +units=m +no_defs"
zonas_ras<-rasterize(zonas, ras, fiedl="ID")
zonas_ras<-"+proj=utm +zone=23 +south +ellps=GRS80 +towgs84=0,0,0,0,0,0,0
+units=m +no_defs"
zonas_mun_ras<-rasterize(zonas_mun, ras, fiedl="ID")
zonas_mun_ras<-"+proj=utm      +zone=23      +south      +ellps=GRS80
+towgs84=0,0,0,0,0,0,0 +units=m +no_defs"
zonas_prop_ras<-rasterize(zonas_prop, ras, fiedl="ID")
zonas_prop_ras<-"+proj=utm      +zone=23      +south      +ellps=GRS80
+towgs84=0,0,0,0,0,0,0 +units=m +no_defs"

#adicionando máscara do polígono da IC e reamostrando os dados
solos_mask <- mask(solos_ras, ic)
uso_2010_mask <- mask(uso_2010_ras, ic)
uso_2018_mask <- mask(uso_2018_ras, ic)
solos_resampled <- resample(solos_mask, veg_cob_ras)
uso2010_resampled <- resample(uso_2010_mask, veg_cob_ras)
uso2018_resampled <- resample(uso_2018_mask, veg_cob_ras)
zonas_mask <- mask(zonas_ras, ic)
zonas_resampled<-resample(zonas_ras, veg_cob_ras)
zonas_mun_mask <- mask(zonas_mun_ras, ic)
zonas_mun_resampled<-resample(zonas_mun_ras, veg_cob_ras)
zonas_prop_mask <- mask(zonas_prop_ras, ic)
zonas_prop_resampled<-resample(zonas_prop_ras, veg_cob_ras)

##### Mapas de distância #####
#pacotes necessários
library("raster")
library(sf)
library(rgdal)

```

```
library("sp")
library("tmap")
library("gstat")

vias <- st_read("ic/vias.shp")
vias_pav<-st_read("ic/vias_pavimentadas.shp")
vias_n_pav<-st_read("ic/vias_naopavimentadas.shp")
bordas<-st_read("ic/bordas.shp")
ic <- st_read("ic/ic_utm.shp")
fotos <- st_read("ic/fotos_utm.shp")
linha_costa<-st_read("ic/linha_costa_utm.shp")
drenagem <- st_read("drenagem/drenagem_ide.shp")
erosao_lenta <- st_read("ic/erosao_lenta.shp")
erosao_rápida <- st_read("ic/erosao_lenta.shp")

# Mapa de distancias
#mapa de distância no R a partir da linha de costa e rede viária
# os shapefiles de linhas podem ser importadas no spatstat no formato psp,
#do mesmo modo que os pontos são importados no formato ppp.
#pacotes necessários
library("spatstat")
library("maptools")

#transformando para o formato sp
vias_sp <- as(vias, "Spatial")
vias_pav_sp<- as(vias_pav, "Spatial")
vias_npav_sp<-as(vias_n_pav, "Spatial")
ic_sp <-as(ic, "Spatial")
fotos_sp <- as(fotos, "Spatial")
drenagem_sp<-as(drenagem, "Spatial")
linha_costa_sp<-as(linha_costa,"Spatial")
bordas_sp<-as(bordas,"Spatial")
er_lenta_sp<-as(erosao_lenta,"Spatial")
er_rapida_sp<-as(erosao_rapida,"Spatial")

#transformando para 'ppp' ou 'psp' e fazendo os mapas de distancia
mun_owin <- as.owin(ic_sp)
vias_psp <- as(vias_sp,"psp")
Window(vias_psp) <- mun_owin
distancia_vias <- distmap(vias_psp, eps=10)
```

```
vias_pav_psp <- as(vias_pav_sp,"psp")
Window(vias_pav_psp) <- mun_owin
distancia_vias_pav <- distmap(vias_pav_psp, eps=10)

vias_npav_psp <- as(vias_npav_sp,"psp")
Window(vias_npav_psp) <- mun_owin
distancia_vias_npav <- distmap(vias_npav_psp, eps=10)

fotos_ppp <- as(fotos_sp,"ppp")
Window(fotos_ppp) <- mun_owin
distancia_fotos <- distmap(fotos_ppp, eps=10)

drenagem_psp <- as(drenagem_sp,"psp")
Window(drenagem_psp) <- mun_owin
distancia_drenagem <- distmap(drenagem_psp, eps=10)

linha_costa_psp <- as(linha_costa_sp,"psp")
Window(linha_costa_psp) <- mun_owin
distancia_costa <- distmap(linha_costa_psp, eps=10)

bordas_psp <- as(bordas_sp,"psp")
Window(bordas_psp) <- mun_owin
distancia_bordas <- distmap(bordas_psp, eps=10)

er_lenta_psp <- as(er_lenta_sp,"psp")
Window(er_lenta_psp) <- mun_owin
distancia_er_lenta <- distmap(er_lenta_psp, eps=10)

er_rapida_psp <- as(er_rapida_sp,"psp")
Window(er_rapida_psp) <- mun_owin
distancia_er_rapida <- distmap(er_rapida_psp, eps=10)

#salvando fora do spatstats
distancia_vias_dataframe <-as(distancia_vias, "SpatialGridDataFrame")
dist_vias_raster<-raster(distancia_vias_dataframe)
crs(dist_vias_raster)<-"+proj=utm +zone=23 +south +ellps=GRS80
+towgs84=0,0,0,0,0,0,0 +units=m +no_defs"
```

```

dist_vias_mask <- mask(dist_vias_raster, ic)
dist_vias <- resample(dist_vias_mask, veg_ras)
writeRaster(dist_vias,"distancia/dist_vias.tif")

distancia_vias_pav_dataframe <-as(distancia_vias_pav,
"SpatialGridDataFrame")
distancia_vias_pav_raster<-raster(distancia_vias_pav_dataframe)
crs(distancia_vias_pav_raster)<-"+proj=utm +zone=23 +south +ellps=GRS80
+towgs84=0,0,0,0,0,0,0 +units=m +no_defs"
dist_viaspav_mask <- mask(distancia_vias_pav_raster, ic)
dist_viaspav <- resample(dist_viaspav_mask, veg_ras)
writeRaster(dist_viaspav,"distancia/dist_vias_pav.tif")

distancia_vias_npav_dataframe<-as(distancia_vias_npav,
"SpatialGridDataFrame")
distancia_vias_npav_raster<-raster(distancia_vias_npav_dataframe)
crs(distancia_vias_npav_raster)<-"+proj=utm +zone=23 +south +ellps=GRS80
+towgs84=0,0,0,0,0,0,0 +units=m +no_defs"
dist_viasnpav_mask <- mask(distancia_vias_npav_raster, ic)
dist_viasnpav<- resample(dist_viasnpav_mask, veg_ras)
writeRaster(dist_viasnpav,"distancia/dist_vias_npav.tif")

distancia_fotos_dataframe <-as(distancia_fotos, "SpatialGridDataFrame")
distancia_fotos_raster<-raster(distancia_fotos_dataframe)
crs(distancia_fotos_raster)<-"+proj=utm +zone=23 +south +ellps=GRS80
+towgs84=0,0,0,0,0,0,0 +units=m +no_defs"
dist_fotos_mask <- mask(distancia_fotos_raster, ic)
dist_fotos <- resample(dist_fotos_mask, veg_ras)
writeRaster(dist_fotos,"distancia/distancia_fotos.tif")

distancia_drenagem_dataframe <-as(distancia_drenagem,
"SpatialGridDataFrame")
distancia_drenagem_raster<-raster(distancia_drenagem_dataframe)
crs(distancia_drenagem_raster)<-"+proj=utm +zone=23 +south +ellps=GRS80
+towgs84=0,0,0,0,0,0,0 +units=m +no_defs"
dist_drenagem_mask <- mask(distancia_drenagem_raster, ic)
dist_drenagem <- resample(dist_drenagem_mask, veg_cob_ras)
writeRaster(dist_drenagem,"distancia/distancia_drenagem.tif",
overwrite=TRUE)

distancia_costa_dataframe <-as(distancia_costa, "SpatialGridDataFrame")
distancia_costa_raster<-raster(distancia_costa_dataframe)

```

```

crs(distancia_costa_raster)<-"+proj=utm +zone=23 +south +ellps=GRS80
+towgs84=0,0,0,0,0,0,0 +units=m +no_defs"
dist_costa_mask <- mask(distancia_costa_raster, ic)
dist_costa <- resample(dist_costa_mask, veg_ras)
writeRaster(dist_costa,"distancia/distancia_costa.tif")

distancia_bordas_dataframe <-as(distancia_bordas, "SpatialGridDataFrame")
distancia_bordas_raster<-raster(distancia_bordas_dataframe)
crs(distancia_bordas_raster)<-"+proj=utm +zone=23 +south +ellps=GRS80
+towgs84=0,0,0,0,0,0,0 +units=m +no_defs"
dist_bordas_mask <- mask(distancia_bordas_raster, ic)
dist_bordas <- resample(dist_bordas_mask, veg_ras)
writeRaster(dist_costa,"distancia/distancia_bordas.tif")

distancia_er_lenta_dataframe <-as(distancia_
"SpatialGridDataFrame")
distancia_er_lenta_raster<-raster(distancia_er_lenta_dataframe)
crs(distanciaer_lenta_raster)<-"+proj=utm +zone=23 +south +ellps=GRS80
+towgs84=0,0,0,0,0,0,0 +units=m +no_defs"
dist_er_lenta_mask <- mask(distancia_er_lenta_raster, ic)
dist_er_lenta <- resample(er_lenta_mask, veg_ras)
writeRaster(dist_er_lenta,"distancia/distancia_er_lenta.tif")

distancia_er_rapida_dataframe<-as(distancia_er_rapida,
"SpatialGridDataFrame")
distancia_er_rapida_raster<-raster(distancia_er_rapida_dataframe)
crs(distancia_er_rapida_raster)<-"+proj=utm +zone=23 +south +ellps=GRS80
+towgs84=0,0,0,0,0,0,0 +units=m +no_defs"
dist_er_rapida_mask <- mask(distancia_er_rapida_raster, ic)
dist_er_rapida<-resample(dist_er_rapida_mask, veg_ras)
writeRaster(dist_er_rapida,"distancia/distancia_er_rapida.tif")

#ndvi
#pacotes
library(RStoolbox)

setwd("E:/imagens/")
##importação das bancas com stack##
r1<- stack("rapideye/20100712_141229_2327704_RapidEye-4.tif")
r2<- stack("rapideye/20100712_141229_2327704_RapidEye-4-2.tif")
r3<- stack("rapideye/20100712_141229_2327704_RapidEye-4-3.tif")
r4<- stack("rapideye/20100712_141229_2327704_RapidEye-4-4.tif")

```

```

r5<- stack("rapideye/20100712_141229_2327704_RapidEye-4-5.tif")
r6<- stack("rapideye/20100712_141229_2327704_RapidEye-4-6.tif")
r7<- stack("rapideye/20100712_141229_2327704_RapidEye-4-7.tif")
r8<- stack("rapideye/20100712_141232_2327604_RapidEye-4.tif")
r9<- stack("rapideye/20100712_141232_2327604_RapidEye-4-2.tif")
r10<- stack("rapideye/20100712_141232_2327604_RapidEye-4-3.tif")
r11<- stack("rapideye/20100712_141232_2327604_RapidEye-4-4.tif")
r12<- stack("rapideye/20100712_141232_2327604_RapidEye-4-5.tif")
r13<- stack("rapideye/20100712_141232_2327604_RapidEye-4-6.tif")
r14<- stack("rapideye/20100712_141233_2327603_RapidEye-4.tif")
r15<- stack("rapideye/20100712_141233_2327603_RapidEye-4-2.tif")
r16<- stack("rapideye/20100712_141233_2327603_RapidEye-4-3.tif")
r17<- stack("rapideye/20100712_141236_2327502_RapidEye-4.tif")
r18<- stack("rapideye/20100712_141236_2327503_RapidEye-4.tif")

##juntando todas as cenas no mosaico##
reye_ic_merged<-
merge(r1,r2,r3,r4,r5,r6,r5,r7,r8,r9,r10,r11,r12,r13,r14,r15,r16,r17,r18)
##reprojetar a area de interesse##
st_crs(ic)
sirgas_utm <- as.character(crs(reye_ic_merged))
ic_re_sirgas <- st_transform(ic, sirgas_utm)
##resample para deixar com o mesmo número de linhas e colunas das demais
variáveis##
ic_mask <- mask(reye_ic_merged,ic)
ic_resample <- resample(ic_mask, veg_cob_ras)
##Calculo do ndvi
library(RStoolbox)
ndvi_re_2010 <- spectralIndices(ic_resample, red = 3, nir = 5, indices =
"NDVI")
ndvi_re_2010_int <- ((ndvi_re_2010)*(10^7)) ##transformação em número inteiro
para entrada no Dinamica EGO
writeRaster(ndvi_re_2010_int, "ndvi_re_2010_int.tif")#salvando fora do R.

#cubo raster
cubo_cen<-stack(vegetacao_resampled,
               zonas_resampled,
               solos_resampled,
               dist_costa_2010,
               dist_costa_2018,
               dist_borda_2010,

```

```
dist_borda_2018,  
dist_vias,  
dist_vias_pav,  
dist_vias_npav,  
dist_drenagem,  
dist_fotos,  
ndvi_2010_resampled,  
erosao_lenta,  
erosao_rapida,  
zonas_prop_resampled,  
zonas_mun_resampled)
```

```
crs(cubo_cen)<-"+proj=utm +zone=23 +south +ellps=GRS80  
+towgs84=0,0,0,0,0,0,0 +units=m +no_defs"
```

```
writeRaster(cubo_cen, "cubo_cen.tif", overwrite = TRUE)
```

```
#####Modelo de paisagem nula para validação#####
```

```
library("landscapeR") #makeClass
```

```
library("raster") #manipulações com dados raster
```

```
library("shar")#classify_habitats
```

```
paisagem_i<-raster("2010.tif")
```

```
landscape_classified <- classify_habitats(raster = paisagem_i, classes = 2)
```

```
make<-makeClass(landscape_classified, 2728, size=1, bgr=1, val=2)#criação de novas manchas
```

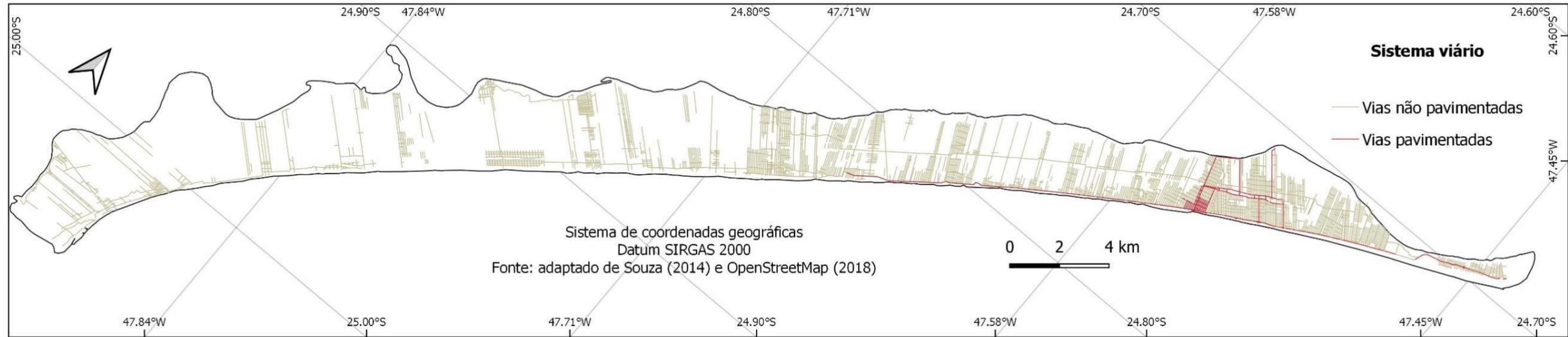
```
rc_make<-reclassify(make, c(0,1,0,1,2,1)) #reclassificação dos valores raster para os originais
```

```
crs(rc_make)<-"+proj=utm +zone=23 +south +ellps=GRS80 +towgs84=0,0,0,0,0,0,0 +units=m +no_defs"  
#sistema de projeção
```

```
writeRaster(rc_make, "make.tif", overwrite=TRUE) #salvando arquivo
```

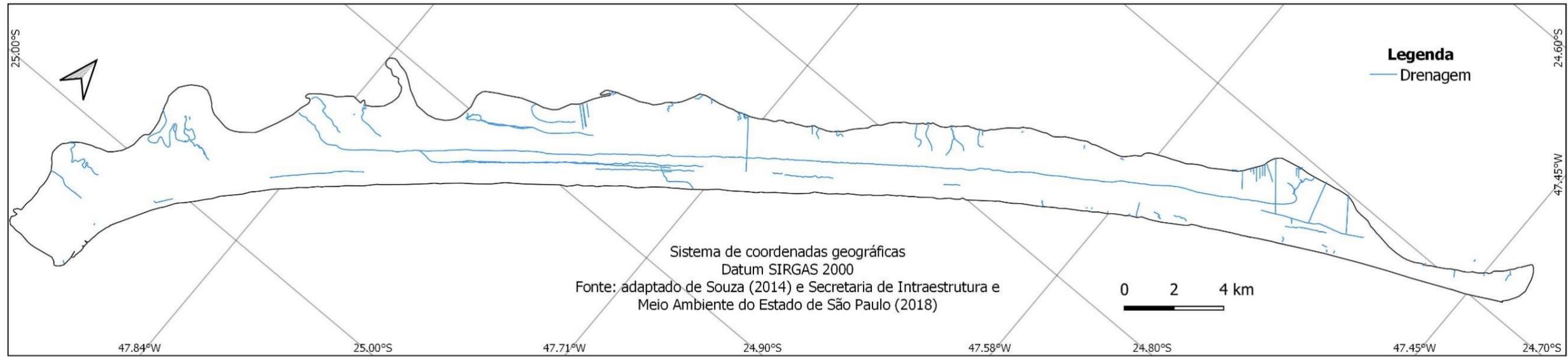
APÊNDICE B – Mapas utilizados como base para os mapas de distância

Mapa do Sistema Viário



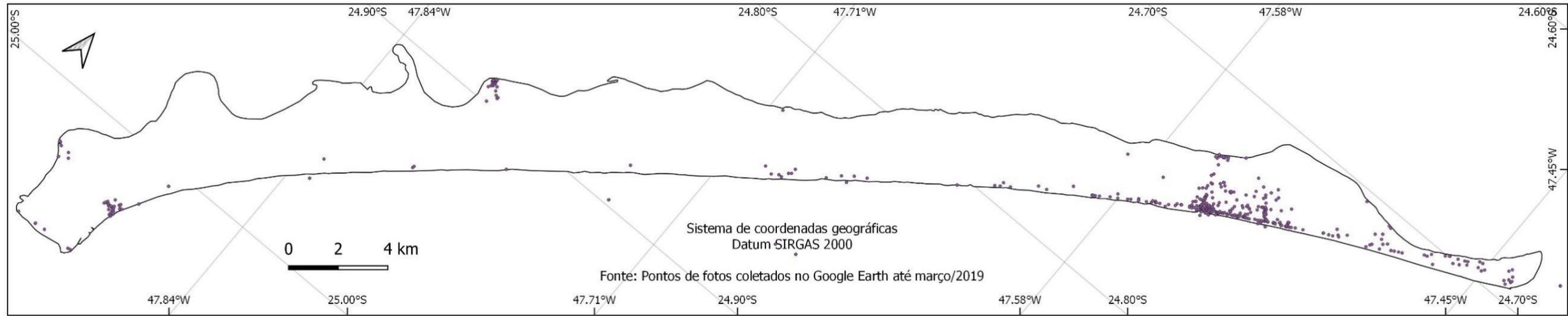
Fonte: Elaboração própria

Mapa da Rede de Drenagem



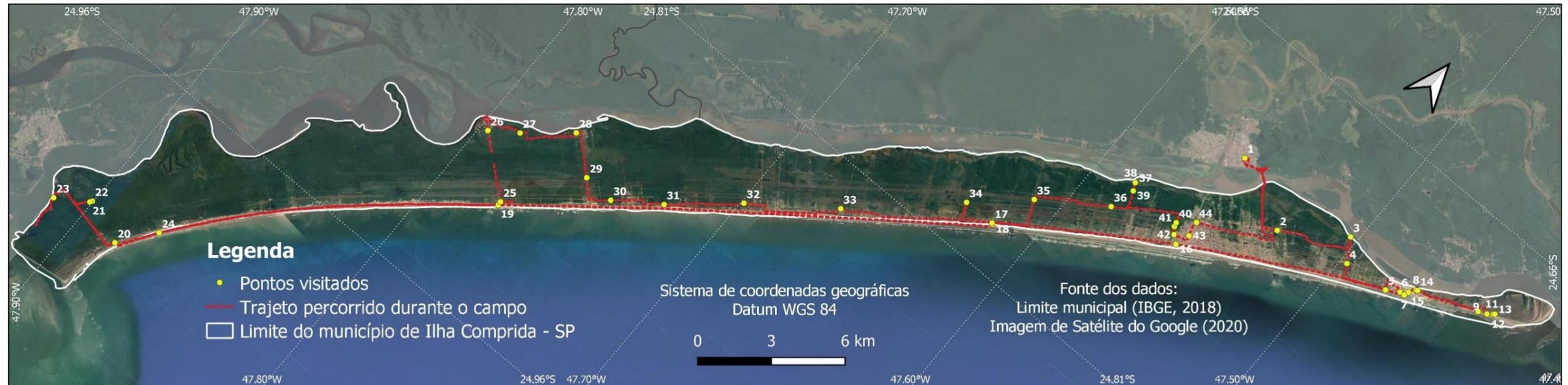
Fonte: Elaboração própria

Mapa dos Pontos de Interesse Fotográfico



Fonte: Elaboração própria

Trajeto realizado durante o campo em Ilha Comprida

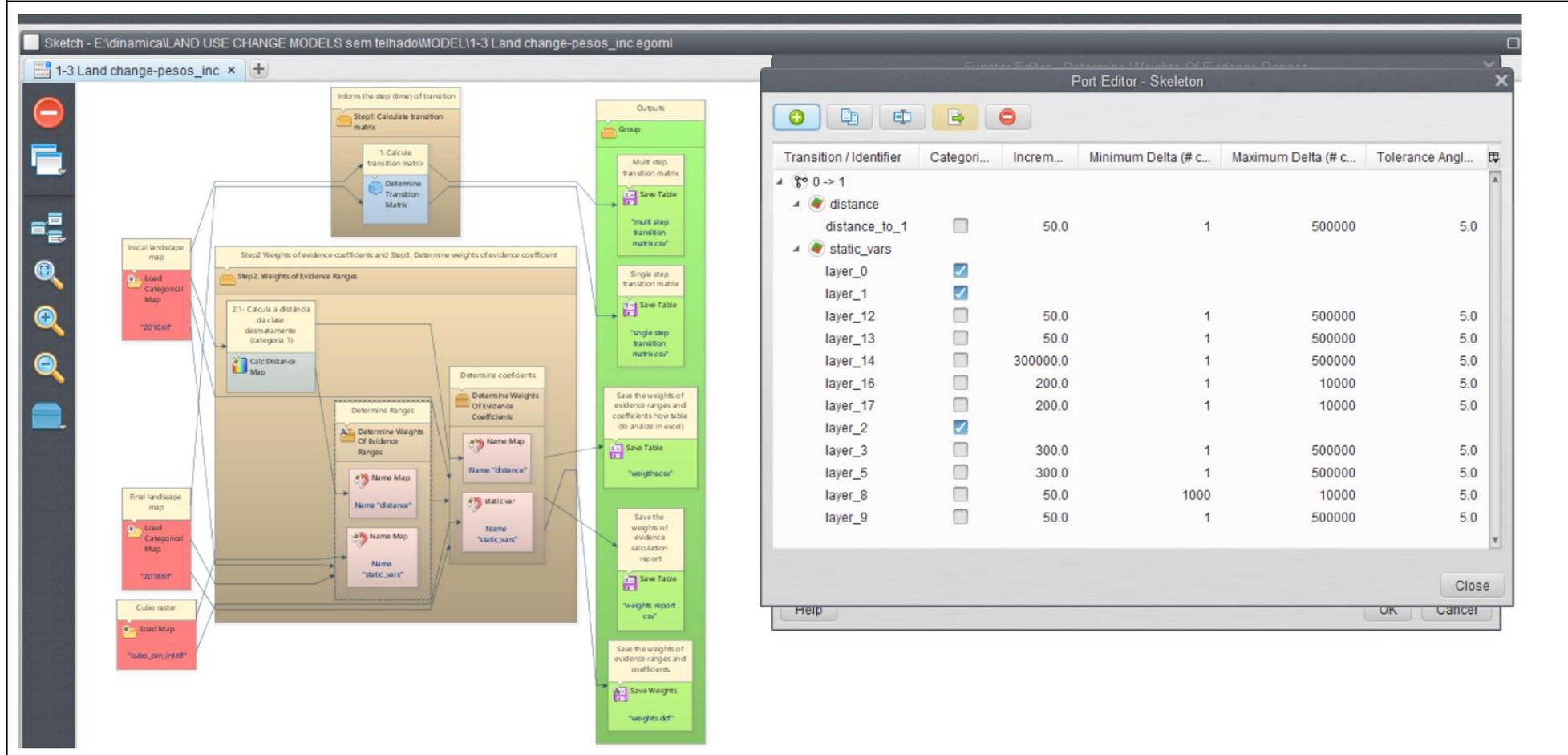


Anotações realizadas nos pontos visitados:

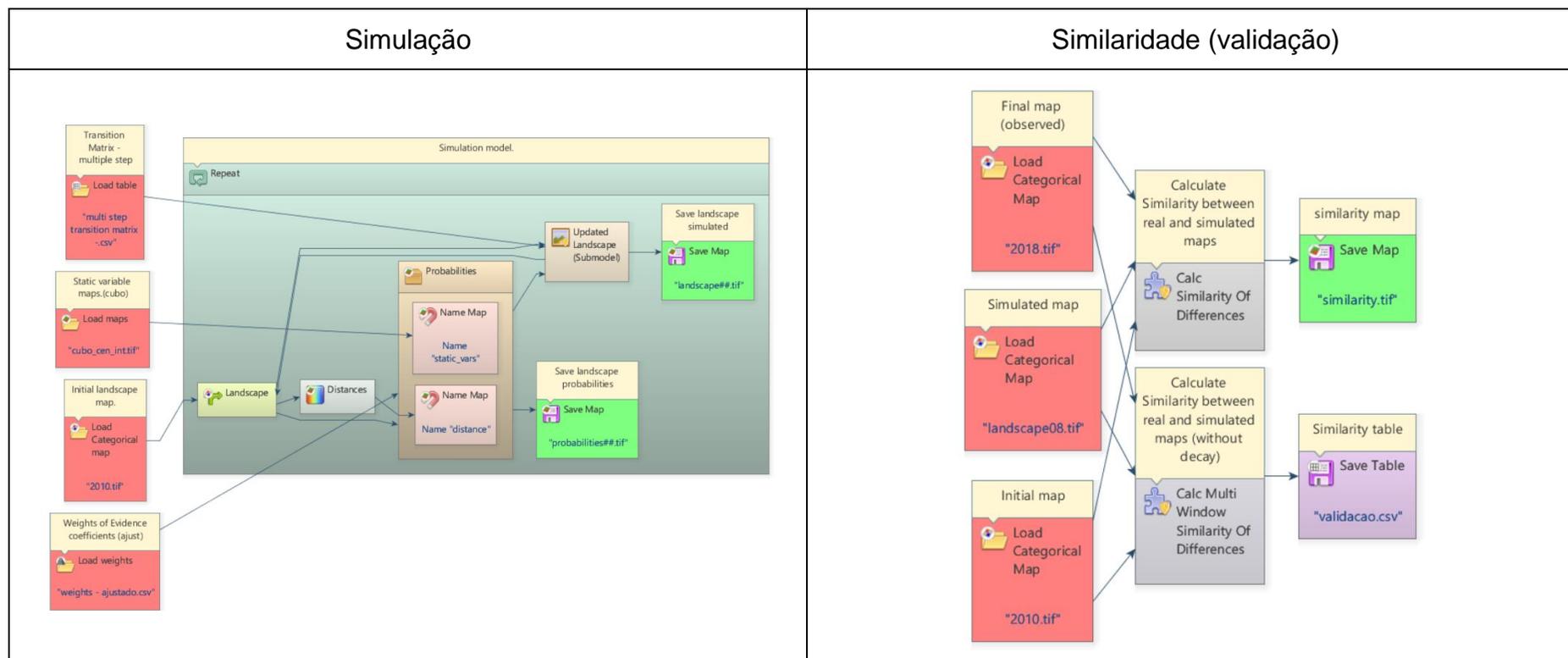
1 Fundação Florestal - Iguape	11 Casas atingidas	21 Restinga alta	31 Rio	41 Ocupação baixa renda
2 Invasões	12 Rua sem saída	22 Sambaqui	32 ZOC 1	42 Asfalto
3 Hotel abandonado	13 Fim da via	23 Ocupações irregulares - AC	33 Via asfaltada	43 Centro comercial
4 Queimada recente	14 Proximidade ao mangue	24 ZOC 2	34 Fim da estrada transitável	44 Rio candapui
5 Começo via erodida (sem asfalto)	15 Desvio pois a via foi erodida pelo mar	25 Acesso Pedrinhas	35 Rio Candapui	
6 Dunas	16 Começo pela praia	26 Pedrinhas	36 Retirada clandestina de areia	
7 Fim via erodida	17 Duna preservada	27 Estrada da vizinhança	37 Sambaqui desconhecido	
8 Rua de pedra	18 Trecho percorrido pela praia	28 Ubatuba - vila de pescadores	38 Próximo a um Sambaqui	
9 Interrupção de acesso	19 Fim de acesso por estrada	29 Extração musgo, samambaia	39 Estrada coberta, mas não abandonada	
10 Desvio pois via foi erodida pelo mar	20 Fim do trecho de praia	30 estrada beira mar	40 Ocupação irregular recente	

APÊNDICE C – Modelagem no Dinamica EGO

Determinação da matriz de transição e cálculo dos pesos de evidência no Dinamica EGO



Fonte: Elaboração própria



Fonte: Elaboração própria

APÊNDICE D – Tabela de correlação entre as variáveis

Transition From*	Transition To*	Variável 1	Variável 2	Cramer	Joint Uncertainty	Chi_2	Contingency	Joint Entropy
0	1	Dist linha de costa	Dist às bordas	0,616526578	0,394328605	4503405,229	0,833774856	3,08854721
0	1	Zonas	Dist erosão rápida	0,53750951	0,389365624	3221381,692	0,796346968	2,156721309
0	1	Vegetação e cobertura da terra	Solos	0,473601559	0,102788445	424248,8297	0,428025335	1,649668754
0	1	Dist erosão lenta	Dist erosão rápida	0,456282894	0,56038017	4933280,288	0,84507351	2,406601361
0	1	Zonas	Dist erosão lenta	0,45428886	0,343775786	2301092,389	0,743791918	2,505582378
0	1	Vegetação e cobertura da terra	Zonas	0,408765212	0,214243689	1863997,419	0,707554024	2,128671348
0	1	Zonas	Dist vias pavimentadas	0,39896805	0,282673068	1774786,509	0,698931272	3,068452581
0	1	Vegetação e cobertura da terra	NDVI	0,37163632	0,279425553	2631199,945	0,761598521	2,594681055
0	1	Distância à mancha urbana	Dist vias não pavimentadas	0,334809871	0,138471751	860724,7649	0,556397796	3,085815867
0	1	Dist erosão lenta	Solos	0,332192054	0,047089985	210015,1309	0,315252824	2,270115155
0	1	Distância à mancha urbana	Dist pontos de interesse fotográfico	0,330425022	0,209490658	1467072,898	0,658172988	3,162722942
0	1	Dist pontos de interesse fotográfico	Dist linha de costa	0,319895439	0,210186674	1616561,584	0,670929239	3,634655192
0	1	Vegetação e cobertura da terra	Dist às bordas	0,318781799	0,126294244	778627,7232	0,537595468	2,603180965

Transition From*	Transition To*	Variável 1	Variável 2	Cramer	Joint Uncertainty	Chi_2	Contingency	Joint Entropy
0	1	Vegetação e cobertura da terra	Dist linha de costa	0,318249689	0,189935166	1940076,306	0,709356554	3,26165361
0	1	Distância à mancha urbana	Zonas	0,317356302	0,201361599	1119939,363	0,613735571	2,680091988
0	1	Dist linha de costa	Dist vias pavimentadas	0,302115775	0,144857646	2162789,342	0,723006556	4,393451605
0	1	Solos	Dist vias pavimentadas	0,299800007	0,033562377	171054,8471	0,28717213	2,845312802
0	1	Zonas	Dist linha de costa	0,29916822	0,17185925	997931,6511	0,591088857	3,212828953
0	1	Vegetação e cobertura da terra	Dist erosão rápida	0,296400463	0,126110447	1851114,477	0,701036903	2,596806086
0	1	Dist erosão lenta	Dist vias pavimentadas	0,292097718	0,275280187	2021732,746	0,711261519	3,650447524
0	1	Distância à mancha urbana	Dist vias pavimentadas	0,290601706	0,133526191	1134755,141	0,609526002	3,926088164
0	1	Zonas	Dist pontos de interesse fotográfico	0,282604986	0,172984994	890490,9707	0,569171249	2,660322738
0	1	Solos	Dist linha de costa	0,280589	0,027693848	149835,0403	0,270155756	2,786892159
0	1	Solos	Dist vias não pavimentadas	0,276287216	0,036802348	145275,9371	0,266309791	1,964710936
0	1	Zonas	Solos	0,270525359	0,056215541	135330,1874	0,261138493	1,645667511
0	1	Dist pontos de interesse fotográfico	Dist vias pavimentadas	0,255699646	0,113055163	1032847,999	0,586025929	3,887312796
0	1	Dist erosão lenta	Dist vias não pavimentadas	0,24662853	0,070896414	480432,9568	0,442369221	3,22725483

Transition From*	Transition To*	Variável 1	Variável 2	Cramer	Joint Uncertainty	Chi_2	Contingency	Joint Entropy
0	1	Vegetação e cobertura da terra	Dist vias não pavimentadas	0,245206795	0,085649625	460688,9857	0,440314666	2,662506688
0	1	Distância à mancha urbana	Vegetação e cobertura da terra	0,243562584	0,117133485	795342,068	0,541678516	2,900959708
0	1	Dist erosão rápida	Dist vias pavimentadas	0,241598435	0,240095448	1959400,997	0,705736636	3,436683198
0	1	Distância à mancha urbana	Dist erosão lenta	0,240881301	0,100581301	779672,1399	0,537444617	3,45318731
0	1	Distância à mancha urbana	Solos	0,238412412	0,031899124	107670,5877	0,231912492	2,257531936
0	1	NDVI	Dist às bordas	0,235604711	0,056819932	434454,6071	0,426257029	3,207983071
0	1	Vegetação e cobertura da terra	Dist vias pavimentadas	0,23533716	0,128265229	1166961,526	0,615289105	3,438380737
0	1	Distância à mancha urbana	Dist linha de costa	0,223772399	0,083614548	672850,9571	0,509454323	3,96543104
0	1	Dist vias pavimentadas	Dist vias não pavimentadas	0,22227306	0,055980676	390229,2493	0,406216048	3,798622124
0	1	Distância à mancha urbana	Dist erosão rápida	0,220743926	0,093224071	654761,8457	0,504322081	3,151099671
0	1	Vegetação e cobertura da terra	Dist pontos de interesse fotográfico	0,21862967	0,132887671	732471,9911	0,52594287	2,800529939
0	1	Zonas	NDVI	0,216391785	0,094155222	520015,1278	0,468327752	2,719826705
0	1	NDVI	Dist linha de costa	0,212421581	0,087753258	882904,538	0,557610085	3,951331253
0	1	Zonas	Dist vias não pavimentadas	0,210937994	0,074888216	330741,1613	0,388701279	2,595672947

Transition From*	Transition To*	Variável 1	Variável 2	Cramer	Joint Uncertainty	Chi_2	Contingency	Joint Entropy
0	1	Dist às bordas	Dist vias pavimentadas	0,206947294	0,059752156	507407,552	0,452141233	3,789086411
0	1	Distância à mancha urbana	NDVI	0,200898354	0,075451397	539466,0181	0,469346031	3,426523138
0	1	Dist pontos de interesse fotográfico	Dist às bordas	0,200271729	0,075115447	475200,3121	0,440423191	3,109415122
0	1	Dist pontos de interesse fotográfico	Dist vias não pavimentadas	0,199138779	0,049642276	313226,0276	0,370010787	3,152741419
0	1	Dist pontos de interesse fotográfico	Dist erosão rápida	0,194560186	0,093476928	597976,4787	0,48212006	3,079523663
0	1	Dist erosão rápida	Solos	0,192814569	0,019485853	70754,1302	0,18932733	1,975443899
0	1	NDVI	Dist vias pavimentadas	0,190411194	0,074943358	709416,7321	0,515838775	4,028050783
0	1	NDVI	Solos	0,189320666	0,017231591	67893,0144	0,186016385	2,210037978
0	1	NDVI	Dist vias não pavimentadas	0,186776571	0,043385183	273036,8502	0,349934882	3,230840618
0	1	Dist pontos de interesse fotográfico	Solos	0,185753846	0,017239316	65667,08447	0,182629792	2,199883896
0	1	Dist erosão rápida	Dist vias não pavimentadas	0,185591501	0,048855324	272058,5205	0,347984211	2,944572598
0	1	Dist pontos de interesse fotográfico	Dist erosão lenta	0,185472758	0,0835191	543420,9976	0,464553541	3,409486355
0	1	Vegetação e cobertura da terra	Dist erosão lenta	0,183670101	0,096428239	710808,2372	0,520239268	2,952631337
0	1	Dist pontos de interesse fotográfico	NDVI	0,182992441	0,075888627	524170,7276	0,459660704	3,382973722

Transition From*	Transition To*	Variável 1	Variável 2	Cramer	Joint Uncertainty	Chi_2	Contingency	Joint Entropy
0	1	Dist linha de costa	Dist vias não pavimentadas	0,175385076	0,030022563	242958,1281	0,330997777	3,791497983
0	1	Distância à mancha urbana	Dist às bordas	0,172660187	0,035002329	228903,3799	0,326406949	3,254568551
0	1	Zonas	Dist às bordas	0,158430523	0,041789306	186576,2379	0,302060111	2,635011755
0	1	Dist drenagem	Solos	0,143183951	0,009773497	39017,62127	0,141738387	2,155925472
0	1	Dist erosão lenta	Dist às bordas	0,128099557	0,028792908	194416,3029	0,299386166	3,29549025
0	1	NDVI	Dist erosão rápida	0,124355771	0,043601125	302585,6749	0,365967038	3,213583841
0	1	Dist drenagem	Dist erosão lenta	0,120419119	0,037502731	343604,0768	0,384990776	3,454305708
0	1	NDVI	Dist erosão lenta	0,118992521	0,039055309	277048,5046	0,352179579	3,555934877
0	1	Dist erosão rápida	Dist às bordas	0,111886527	0,028412119	148317,7094	0,264317947	2,973223275
0	1	Dist drenagem	Dist erosão rápida	0,10892522	0,045243988	304569,5034	0,365554257	3,120532985
0	1	Zonas	Dist drenagem	0,107849996	0,026355721	129691,0914	0,255415086	2,824164473
0	1	Distância à mancha urbana	Dist drenagem	0,107440009	0,023321445	155109,3261	0,273427182	3,440152164
0	1	Dist drenagem	Dist às bordas	0,104685696	0,019981535	129841,0773	0,248390149	3,161101084
0	1	Dist erosão rápida	Dist linha de costa	0,101265267	0,034590108	242990,0207	0,33101712	3,780274923
0	1	Dist drenagem	Dist linha de costa	0,097280022	0,028405371	224240,8547	0,319342934	3,966589637
0	1	Solos	Dist às bordas	0,094198037	0,004262791	16887,12846	0,093782875	1,994888413
0	1	Dist drenagem	Dist pontos de interesse fotográfico	0,090609594	0,01924641	129695,3852	0,248259347	3,374654214
0	1	Dist erosão lenta	Dist linha de costa	0,090604368	0,022668368	194520,6372	0,299459286	4,127049516

Transition From*	Transition To*	Variável 1	Variável 2	Cramer	Joint Uncertainty	Chi_2	Contingency	Joint Entropy
0	1	Dist às bordas	Dist vias não pavimentadas	0,086394888	0,010103318	58955,21837	0,170266702	3,003296067
0	1	Dist drenagem	Dist vias pavimentadas	0,073824393	0,016965354	139903,7287	0,25722142	4,047835265
0	1	Dist drenagem	Dist vias não pavimentadas	0,07361666	0,006869264	42805,3829	0,14566297	3,184260101
0	1	Vegetação e cobertura da terra	Dist drenagem	0,070987519	0,0178342	106179,2156	0,229172927	2,920324356
0	1	Dist drenagem	NDVI	0,043906984	0,005021435	37721,04302	0,137526767	3,453110001

Fonte: Elaboração própria

