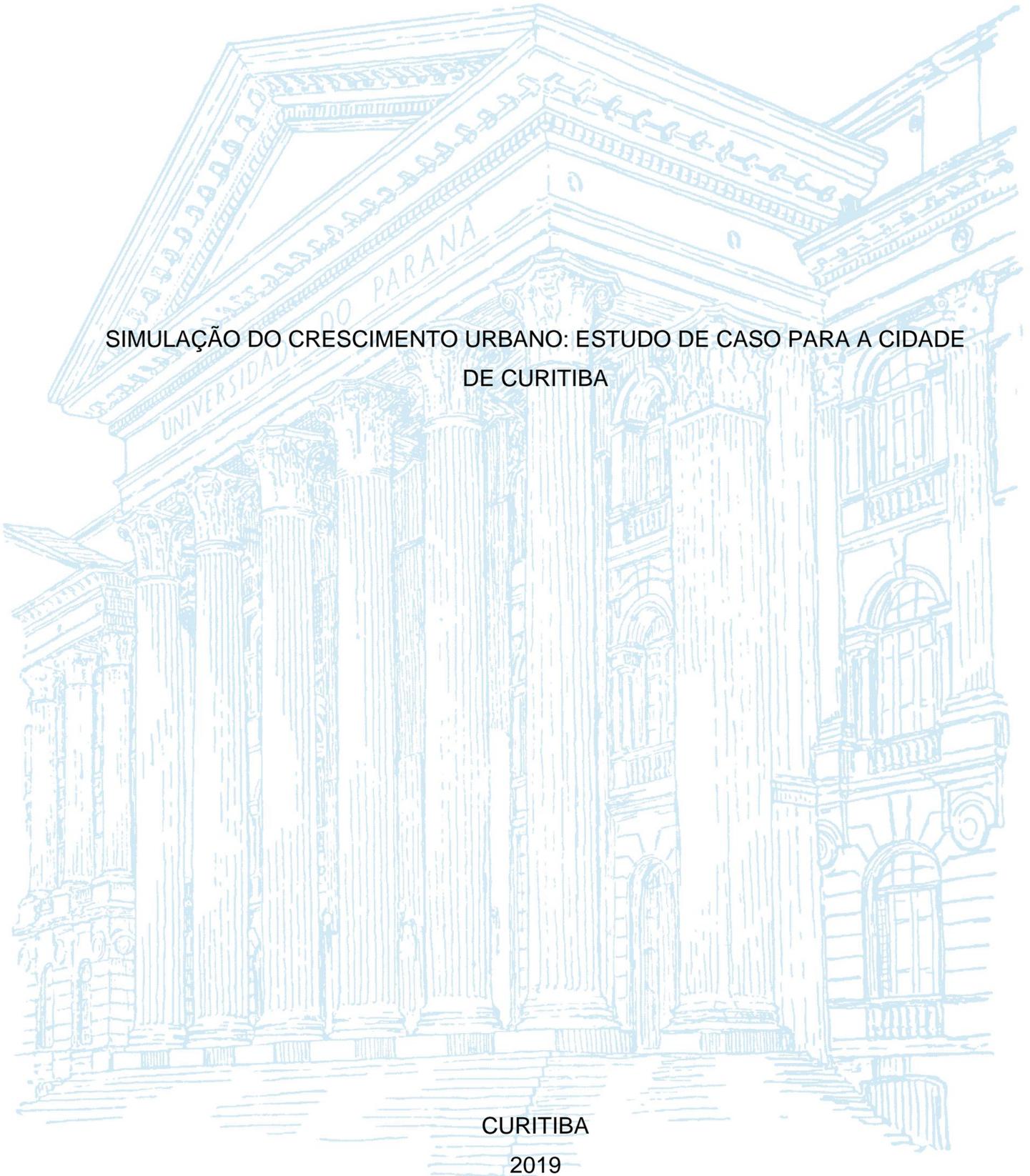


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ELIANA VEIRA DE FREITAS

SIMULAÇÃO DO CRESCIMENTO URBANO: ESTUDO DE CASO PARA A CIDADE
DE CURITIBA



CURITIBA

2019

ELIANA VIEIRA DE FREITAS

SIMULAÇÃO DO CRESCIMENTO URBANO: ESTUDO DE CASO PARA A CIDADE
DE CURITIBA

Projeto Final apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura.

Orientador: Prof. Dr. Hideo Araki

CURITIBA

2019

TERMO DE APROVAÇÃO

ELIANA VIEIRA DE FREITAS

SIMULAÇÃO DO CRESCIMENTO URBANO: ESTUDO DE CASO PARA A CIDADE DE CURITIBA

Projeto Final apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura.

Prof. Dr. Hideo Araki

Orientador – Departamento de Ciências da Terra, UFPR

Dra. Mayssa Mascarenhas Grise Monteiro

Dra. em Ciências Florestais, UFPR

Curitiba, 05 de dezembro de 2019.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Roseli e Adalto, por todo cuidado, suporte e amor que sempre me proporcionaram, em especial nestes anos da graduação. Também sou grata pelos valores singelos e amáveis que deles recebi.

Devo agradecimentos ao professor Hideo Araki, que me orientou neste trabalho com muita paciência, inteligência e compreensão.

Agradeço a minha querida irmã Rafaela e ao Akio que me ajudaram na revisão do texto deste trabalho, me dando dicas de como deixá-lo mais claro e objetivo.

Sinto-me grata pelas pessoas incríveis com as quais tive o privilégio de conviver, durante a graduação, e que se tornaram meus amigos. Em especial meus queridos amigos, Larissa, Juliana, Isabela, Kelvin, João e Lucas que proporcionaram momentos divertidos e me ajudaram muito com as intempéries da graduação.

Agradeço a todas as pessoas que de alguma forma me ajudaram durante estes cinco anos. Sendo eles: colegas de graduação, de estágios, professores e minha querida família.

Por fim agradeço a Universidade Federal do Paraná, pelo ensino gratuito de altíssima qualidade e por todo conhecimento, experiência e oportunidades que ela proporciona.

“[...] voltaremos à normalidade assim que tivermos a certeza do que é de fato normal”.

(Douglas Adams, em O Guia do Mochileiro das Galáxias).

RESUMO

A paisagem urbana apresenta características dinâmicas, portanto, algumas vezes, é necessário aliar as ferramentas dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e do Sensoriamento Remoto com outros instrumentos para que seja possível representar a natureza dinâmica da paisagem. Tendo isso em vista, o presente trabalho busca realizar a modelagem da simulação da paisagem da cidade de Curitiba, através do emprego de algoritmos de autômatos celulares, em conjunto com as ferramentas do SIG e do Sensoriamento Remoto. Foram elaborados quatro modelos, tendo como dados de entrada imagens classificadas dos anos de 2006, 2009, 2011 e 2014; e diferentes intervalos de tempo entre a paisagem inicial e final dos modelos. Além disso, foram utilizados dados geográficos da cidade de Curitiba, que contribuíram para a robustez da modelagem. Também foram aplicados dois testes de validação para verificar a adequação do modelo simulado em relação à realidade observada. Tais testes mostraram que o modelo estava adequado, de acordo com os critérios estabelecidos, sendo possível realizar as simulações futuras. Estas simulações foram realizadas entre os anos de 2020 e 2050, com intervalos de 5 anos.

Palavras-chave: Paisagem. Modelagem. Autômatos Celulares. Geossimulações.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO	17
FIGURA 2 – GRÁFICO DO COMPRIMENTO DE ONDA PELA PORCENTAGEM DE REFLECTÂNCIA DE ALGUNS ALVOS	19
FIGURA 3 – CARACTERÍSTICAS DO LANDSAT 5	23
FIGURA 4 – CARACTERÍSTICAS DO LANDSAT 8	23
FIGURA 5 – TIPOS DE MODELO.....	29
FIGURA 6 – REPRESENTAÇÃO DE CÉLULAS EM AUTÔMATOS CELULARES ..	31
FIGURA 7 – EXEMPLO DE AUTÔMATO CELULAR.....	32
FIGURA 8 – EXEMPLO DE UM MÉTODO DE RESOLUÇÃO MÚLTIPLA PARA UMA CENA 10 X 10 E COM QUATRO CLASSES. NESTE CASO, $k = 0,1$ E $F_t = 0,8$	35
FIGURA 9 – INTERFACE GRÁFICA DO DINAMICA EGO.....	37
FIGURA 10 – LOCALIZAÇÃO DA CIDADE DE CURITIBA.....	38
FIGURA 11 – ÁRVORE DE DECISÃO APLICADA	43
FIGURA 12 – FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE MODELAGEM.....	48
FIGURA 13 – IMAGENS DE CURITIBA CLASSIFICADAS	50
FIGURA 14 – PAISAGEM INICIAL E FINAL	54
FIGURA 15 – ALGUMAS DAS VARIÁVEIS ESTÁTICAS UTILIZADAS.....	60
FIGURA 16 – PROBABILIDADE DE TRANSIÇÃO DE “VEGETAÇÃO” PARA “URBANO” E AS TRANSIÇÕES QUE REALMENTE OCORRERAM.....	67
FIGURA 17 – PROBABILIDADE DE TRANSIÇÃO DE “ÁGUA” PARA “URBANO” E AS TRANSIÇÕES QUE REALMENTE OCORRERAM.....	68
FIGURA 18 – MODELAGEM DA SIMULAÇÃO DA PAISAGEM	69
FIGURA 19 – VALIDAÇÃO PELA SIMILARIDADE FUZZY	70
FIGURA 20 – SIMULAÇÕES FUTURAS (GEOSSIMULAÇÕES)	73
FIGURA 21 – ZONEAMENTO DE CURITIBA	74

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – TAXA DE URBANIZAÇÃO DE CURITIBA E RMC.....	39
GRÁFICO 2 – SIMILARIDADE DOS MODELOS ELABORADOS	52
GRÁFICO 3 – VALIDAÇÃO PELO AJUSTE POR MÚLTIPLAS RESOLUÇÕES	71

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – ARQUIVOS VETORIAIS UTILIZADOS.....	40
TABELA 2 – SIMILARIDADE DOS MODELOS ELABORADOS	51
TABELA 3 – ÁREA DAS CLASSES DA PAISAGEM INICIAL E FINAL	54
TABELA 4 – TRANSIÇÃO ÚNICA.....	55
TABELA 5 – TRANSIÇÃO MÚLTIPLA	56
TABELA 6 – NOTAÇÃO DAS VARIÁVEIS.....	57
TABELA 7 – VARIÁVEIS EMPREGADAS EM CADA TRANSIÇÃO	58
TABELA 8 – VARIÁVEL “DISTÂNCIA PARA ÁREA URBANA” PARA A TRANSIÇÃO DE “VEGETAÇÃO” PARA “URBANO”	61
TABELA 9 – VARIÁVEL “DISTÂNCIA PARA AS RUAS PRINCIPAIS” PARA A TRANSIÇÃO DE “VEGETAÇÃO” PARA “URBANO”	62
TABELA 10 – VARIÁVEL “ZONEAMENTO APA DO PASSAÚNA” PARA A TRANSIÇÃO DE “VEGETAÇÃO” PARA “URBANO”	62
TABELA 11 – CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS	63
TABELA 12 – COMPARAÇÃO ENTRE A ÁREA DA IMAGEM SIMULADA E DA IMAGEM CLASSIFICADA.....	70
TABELA 13 – VALIDAÇÃO PELO AJUSTE POR MÚLTIPLAS RESOLUÇÕES.....	71
TABELA 14 – ÁREA DAS CLASSES DAS GEOSSIMULAÇÕES	75

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 OBJETIVOS	13
1.1.1 Objetivo geral	13
1.1.2 Objetivos específicos.....	14
2 REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1 PAISAGEM.....	15
2.1.1 Paisagem Urbana.....	16
2.2 SENSORIAMENTO REMOTO E SUAS APLICAÇÕES NA DINÂMICA DA PAISAGEM.....	16
2.2.1 Sensoriamento Remoto.....	16
2.2.2 Comportamento Espectral dos Alvos	18
2.2.3 Satélites e Sensores	20
2.2.3.1 Programa <i>Landsat</i>	21
2.2.4 Sensoriamento Remoto na Dinâmica de Paisagem	24
2.2.5 Classificação de Imagens.....	24
2.2.6 Índices Espectrais	25
2.3 SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS E SUAS APLICAÇÕES NA DINÂMICA DA PAISAGEM	26
2.3.1 Sistema de Informações Geográficas (SIG)	26
2.3.2 SIG na Dinâmica de Paisagem	27
2.4 MODELAGEM.....	28
2.4.1 Modelos.....	28
2.4.2 Modelos de Simulação Dinâmica Espacial.....	29
2.4.2.1 Autômatos Celulares	30
2.4.2.2 Pesos de Evidência	32
2.4.2.3 Calibração e Validação do Modelo	34
2.5 O SOFTWARE DINAMICA EGO.....	36
2.6 A CIDADE DE CURITIBA.....	37
3 MATERIAL E MÉTODOS	40
3.1 MATERIAIS	40
3.2 METODOLOGIA.....	41
3.2.1 Aquisição das Imagens	41

3.2.2 Classificação das Imagens.....	42
3.2.3 Definição das Variáveis Estáticas	43
3.2.4 Modelagem da Simulação da Paisagem	45
4 RESULTADOS E ANÁLISES	49
4.1 MAPAS DE COBERTURA DO SOLO	49
4.2 MODELAGENS REALIZADAS.....	51
4.3 MODELAGEM ELABORADA COM DADOS DE 2009 E 2011	53
4.3.1 Taxas de transição	55
4.3.2 Pesos de evidência	57
4.3.3 Correlação das variáveis	63
4.3.4 Modelagem da simulação da paisagem	66
4.4 GEOSSIMULAÇÕES (SIMULAÇÕES FUTURAS).....	72
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	76
5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	77
REFERÊNCIAS.....	78
ANEXO 1 – PESOS DE EVIDÊNCIA.....	82
ANEXO 2 – MAPAS DE SIMULAÇÃO DA PAISAGEM.....	99

1 INTRODUÇÃO

O planeta passou por um processo de urbanização rápido nas últimas décadas: em 1950, mais de dois terços da população do mundo vivia em área rural; foi em 2007 que a população urbana mundial ultrapassou a população rural, mantendo-se predominante desde então, segundo o relatório *World Urbanization Prospects*, produzido pela Divisão das Nações Unidas para a População do Departamento para Assuntos Econômicos e Sociais, no ano de 2015. Ainda de acordo com o relatório, atualmente 54% da população mundial vive em áreas urbanas, em 2050 essa proporção deve chegar a 66%. O crescimento urbano em associação com o crescimento populacional pode levar a uma população urbana composta por mais de 6 bilhões de pessoas em 2045 (WEBBER, 2015).

O aumento da população urbana também ocorre no território brasileiro. De acordo com dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios de 2015, a maior parte da população brasileira, 84,72%, vive em áreas urbanas. Enquanto que 15,28% dos brasileiros vivem em áreas rurais. A Grande Região com maior percentual de população urbana é o Sudeste, com 93,14% das pessoas vivendo em áreas urbanas. A Região Nordeste é a que conta com o maior percentual de habitantes vivendo em áreas rurais, 26,88% (WEBBER, 2015).

No âmbito municipal, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de 2019, Curitiba ganhou 15,9 mil habitantes em um ano, o aumento em relação ao ano anterior foi de 0,83%, maior que a média nacional, que ficou em 0,79%, a cidade é a oitava mais populosa do país, com 1.933.105 habitantes. De acordo com estimativas do IBGE elaboradas no ano de 2010, em 2040, Curitiba deve contar com uma população de 2.151.040 habitantes.

Estes dados mostram que a paisagem não é a simples adição de elementos geográficos disparatados. É, em uma determinada porção do espaço, o resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução (BERTRAND, 2004).

O planejamento urbano lida com o crescimento e funcionamento das cidades, buscando controlar o desenvolvimento das cidades da melhor maneira possível. Além disso, o planejamento busca antecipar as possíveis transformações nas cidades.

Sabendo dessa natureza mutável da paisagem e da necessidade do planejamento em prever futuras mudanças que ocorrerão no território, é possível concluir que existe a necessidade de aliar as ferramentas dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e do Sensoriamento Remoto com outros instrumentos para que seja possível representar a natureza dinâmica da paisagem e estabelecer previsões sobre o futuro. Um destes instrumentos são os modelos.

Dentre os diversos tipos de modelos desenvolvidos ao longo do tempo, se destaca os modelos que empregam autômatos celulares (CA). Modelos de CA tornaram-se populares em grande parte devido ao fato de serem tratáveis, apresentarem uma incrível simplicidade operacional, gerarem uma dinâmica que pode reproduzir processos tradicionais de mudanças por difusão e conterem complexidade suficiente para simular mudanças inesperadas e surpreendentes como as observadas na paisagem urbana. Esses modelos são flexíveis, no sentido de que fornecem uma estrutura não sobrecarregada com suposições teóricas, sendo aplicável a um espaço representado por uma grade. Estes modelos podem, portanto, articularem-se com dados matriciais, comumente usados em SIG (ALMEIDA, 2003).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo desse trabalho consistiu em desenvolver um modelo que represente a dinâmica espacial da cidade de Curitiba capaz de realizar simulações, também denominado de geossimulações, de como será a paisagem futura de Curitiba para os anos de 2020, 2025, 2030, 2035, 2040, 2045 e 2050.

Para isto foram utilizadas imagens Landsat classificadas dos anos de 2006, 2009, 2011 e 2014, que geraram modelos com diferentes intervalos de tempo entre a paisagem inicial e final. Isto foi realizado com intuito de se chegar ao melhor conjunto de dados de entrada e o intervalo de tempo mais adequado para a representação da dinâmica espacial de Curitiba. Também fez parte da modelagem o emprego de variáveis estáticas que serviram como evidências para justificar as alterações ocorridas na paisagem.

1.1.2 Objetivos específicos

Tendo em vista o objetivo geral, a seguir, são apresentados os objetivos específicos:

- Selecionar e utilizar imagens Landsat aproximadamente da mesma época do ano e corrigidas dos erros atmosféricos;
- Definir variáveis estáticas que melhor modelem as mudanças ocorridas na paisagem de Curitiba;
- Analisar a dependência entre estas variáveis, para que o método pesos de evidência possa ser aplicado;
- Realizar testes com diferentes dados de entrada, a fim de chegar ao melhor modelo de simulação da paisagem;
- Realizar a validação do modelo através de dois métodos diferentes, a similaridade fuzzy e o ajuste por múltiplas resoluções, com o objetivo de analisar a veracidade do modelo;
- Executar simulações da paisagem da cidade de Curitiba para os anos de 2020, 2025, 2030, 2035, 2040, 2045 e 2050.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Para auxiliar a compreensão da metodologia e dos resultados obtidos neste trabalho, esta seção apresenta alguns conhecimentos teóricos essenciais para o estudo.

2.1 PAISAGEM

O termo paisagem possui diversos conceitos, passando por definições populares até científicas. Carol (1956) destaca que o conceito de paisagem tem origem popular, sendo utilizada no dia a dia, muito antes do termo ser empregado como objeto de estudo da Geografia.

De acordo com Soares Filho (1998), o termo “paisagem” foi introduzido como conceito científico no início do século XIX por Alexander Von Humboldt, este definiu como o caráter total de uma área geográfica. Procurando conhecer as inter-relações entre os componentes da paisagem, Humboldt tinha como preocupação principal as características físicas do meio-ambiente sem, todavia, negligenciar os aspectos humanos (SOARES FILHO, 1998).

Segundo Bertrand (2004), a paisagem não é a simples adição de elementos geográficos disparatados. É, em uma determinada porção do espaço, o resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução.

Ainda que existam várias definições para o termo “paisagem”, muitos autores concordam que a paisagem é dinâmica, passando por transformações ao longo do tempo. Entre os geógrafos há um consenso de que a paisagem, embora tenha sido estudada sob ênfases diferenciadas, resulta da relação dinâmica de elementos físicos, biológicos e antrópicos. E que ela não é apenas um fato natural, mas inclui a existência humana (MAXIMIANO, 2004). Uma paisagem é, então, a expressão de processos compostos de uma sequência de mudanças que ocorreu em uma determinada fração de tempo (SANTOS, 2007).

2.1.1 Paisagem Urbana

Segundo Carlos (1992), a paisagem urbana compreende dois elementos fundamentais: o primeiro diz respeito ao “espaço construído”, imobilizado nas construções; o segundo diz respeito ao movimento da vida.

O primeiro aspecto que chama atenção quando se observa a paisagem urbana é o choque de contrastes, das diferenças. Contraste de tipo e diversidade de utilização da cidade: usos do solo (CARLOS, 1992).

Estas diferenciações possuem como base o fato da cidade ser uma concentração de pessoas exercendo, em função da divisão social do trabalho, uma série de atividades concorrentes ou complementares, desencadeando uma disputa de usos. Por outro lado, a produção do espaço urbano está fundamentada num processo desigual, portanto o espaço deverá refletir essa contradição (CARLOS, 1992).

2.2 SENSORIAMENTO REMOTO E SUAS APLICAÇÕES NA DINÂMICA DA PAISAGEM

Este capítulo irá abordar alguns conceitos do sensoriamento remoto, importantes para a compreensão deste estudo, bem como suas aplicações na dinâmica da paisagem.

2.2.1 Sensoriamento Remoto

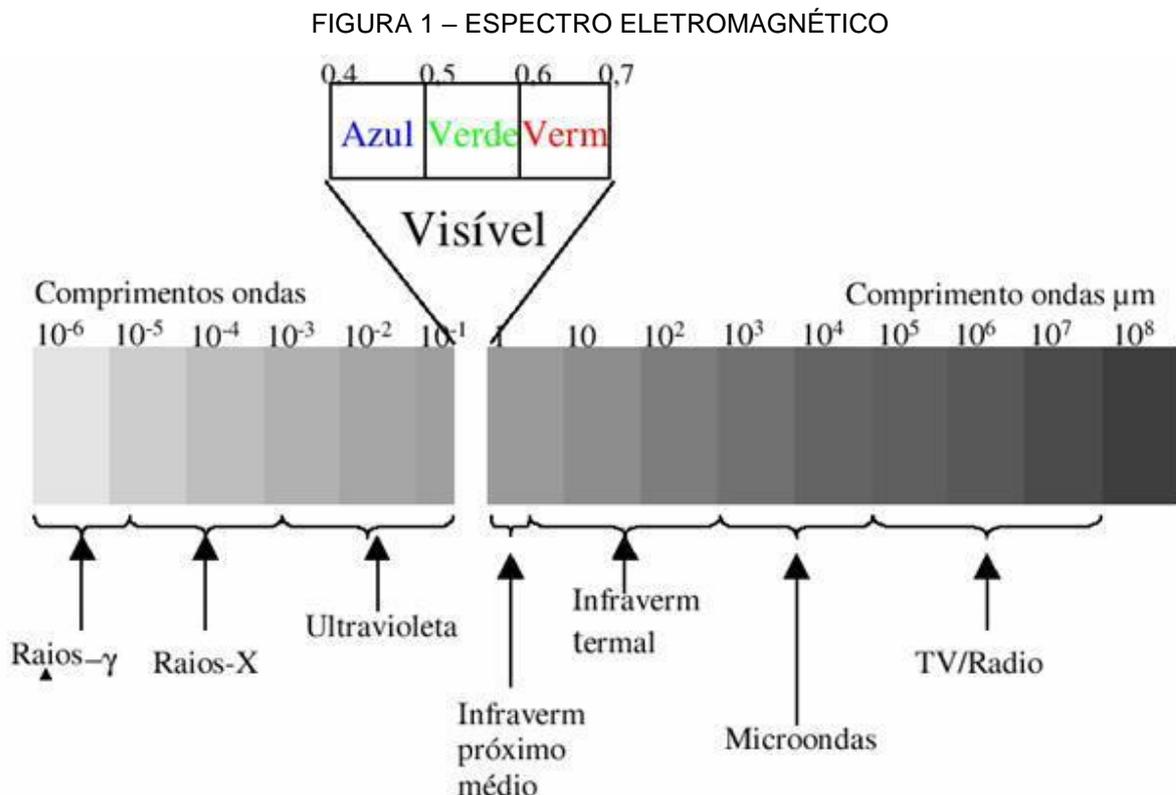
Em sua definição mais literal, sensoriamento remoto significa obtenção de dados à distância, entretanto esta é uma definição ampla e simplista. Novo (2010) define sensoriamento remoto como sendo a utilização conjunta de sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados colocados a bordo de aeronaves, espaçonaves, ou outras plataformas, com o objetivo de estudar eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície do planeta Terra a partir do registro e da análise das interações entre radiação eletromagnética e as substâncias que o compõem em suas mais diversas manifestações.

De acordo com Novo (2010), no período entre 1860 e 1960, o sensoriamento remoto foi baseado apenas na utilização de fotografias aéreas, a partir dos anos 1960, até os dias de hoje é caracterizado pela multiplicidade de sistemas sensores. Desde os anos 1990 houve algumas mudanças de paradigma na aquisição de dados de sensoriamento, envolvendo novas tecnologias de construção de sensores, avanços na capacidade de transmissão, armazenamento e processamento.

A respeito dos princípios físicos do sensoriamento remoto, Novo (2010) afirma que a radiação eletromagnética (REM) é o meio pelo qual a informação é transferida do objeto ao sensor. A REM pode ser definida como uma forma dinâmica de energia que se manifesta a partir de sua interação com a matéria.

Ainda de acordo com Novo (2010), o Sol é a principal fonte de radiação eletromagnética para o sensoriamento remoto da superfície da Terra. A radiação gerada pelas reações no interior do sol se propaga na forma de ondas ou partículas em todas as direções.

Ao conjunto de ondas eletromagnéticas que compõem o campo de radiação de um determinado objeto dá-se o nome de espectro. O espectro eletromagnético representa todo o conjunto de comprimentos de onda conhecidos, que vão desde os raios gama até as ondas de rádio (NOVO, 2010), conforme mostra a FIGURA 1.



FONTE: Figueiredo (2005).

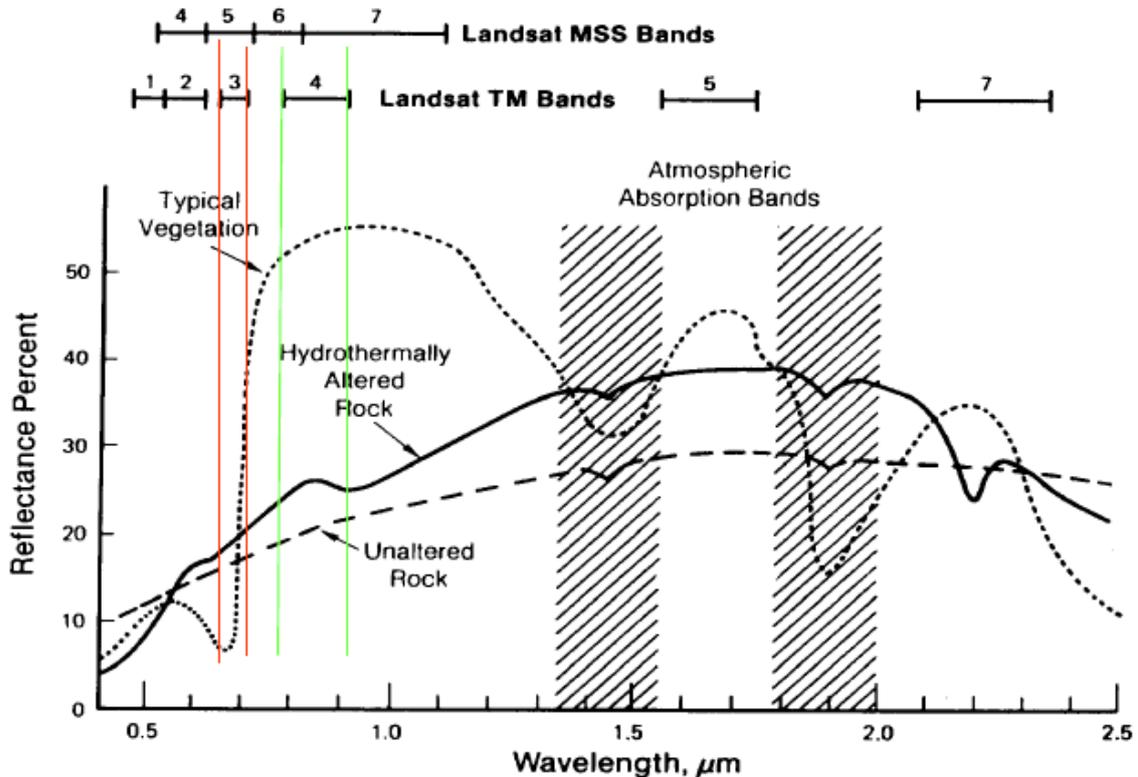
A radiação eletromagnética interage com os alvos da superfície terrestre podendo ser absorvida, refletida, transmitida e emitida por eles seletivamente (MOREIRA, 2001). O comportamento dos alvos depende das características dos mesmos. Os sensores possuem capacidade de detectar a radiação solar refletida ou a emitida pelos objetos da superfície (NOVO, 2010).

Os sistemas sensores possuem diversas classificações, mas a principal forma é em relação à fonte de energia. Neste sentido eles podem ser classificados em sensores passivos e sensores ativos. Os sensores passivos detectam radiação, seja ela emitida ou refletida, dependem de uma fonte da radiação externa para que possam gerar informações sobre os alvos de interesse. Já os sensores ativos produzem sua própria radiação, como o caso dos radares e lasers, que produzem a energia radiante que irá interagir com os objetos da superfície (NOVO, 2010).

2.2.2 Comportamento Espectral dos Alvos

A radiação solar incidente na superfície terrestre interage de modo diferente com cada tipo de alvo. Esta diferença é determinada principalmente pelas diferentes composições físico-químicas dos objetos ou feições terrestres. Estes fatores fazem com que cada alvo terrestre tenha sua própria assinatura espectral. Em outras palavras, cada alvo absorve ou reflete de modo diferente cada uma das faixas do espectro da luz incidente (FIGURA 12). Outros fatores que também influenciam no processo de interação dos alvos são: textura, densidade e posição relativa das feições em relação ao ângulo de incidência solar e à geometria de imageamento (FIGUEIREDO, 2005).

FIGURA 2 – GRÁFICO DO COMPRIMENTO DE ONDA PELA PORCENTAGEM DE REFLECTÂNCIA DE ALGUNS ALVOS



FONTE: Figueiredo (2005).

De acordo com Figueiredo (2005), a medida da reflectância espectral da vegetação é um pouco complexa, pois ela é afetada por diversos fatores, tais como: condições atmosféricas, características das parcelas de solo, características físicas e biológicas da vegetação, entre outros. A vegetação possui picos de absorção na região do visível, nos comprimentos de onda 0,48 µm e 0,68 µm, e picos de reflectância nos comprimentos de onda 0,5 µm, 1,4 µm, 1,9 µm e no intervalo de 0,7 µm à 1,3 µm.

A água limpa absorve mais luz que a água suja. Ao longo do espectro, a água vai diminuindo a reflectância na medida em que se desloca para comprimentos de ondas maiores. Na região do visível, mais especificamente nas faixas do azul e verde, observa-se significativa reflectância da água, diminuindo-se gradualmente na direção do infravermelho (FIGUEIREDO, 2005).

Diferente de outros tipos de coberturas ou alvos, as áreas urbanas não podem ser caracterizadas por um comportamento espectral padrão. As áreas urbanas são fisicamente formadas por uma grande diversidade de materiais (superfícies de concreto, asfalto, telhados de vários materiais, solo, vegetação,

arbórea, grama, água entre outros), com formas, alturas e arranjos, também variados. O menor elemento numa imagem orbital (o pixel) pode representar várias coberturas, o que torna as áreas urbanas complexas. A similaridade espectral com outras coberturas pode ser um problema para o mapeamento das áreas urbanas. Deste modo, o potencial de uso dos dados de sensoriamento remoto para estudos urbanos depende, principalmente, da resolução espacial. Em imagens com resolução espacial média (10-50 m), a mancha urbana se distingue por apresentar altos valores de reflectância na faixa do visível, sendo relativamente mais fácil separá-la das principais coberturas encontradas na superfície terrestre (SOUZA, 2012).

2.2.3 Satélites e Sensores

Os satélites são corpos celestes que giram em torno de planetas pela força da gravidade. Podem ser naturais como a Lua que gravita em torno da Terra ou artificiais que são veículos espaciais colocados na órbita de um planeta, de outro satélite ou do Sol. Os satélites que acoplam sensores do sensoriamento remoto são artificiais (CABRAL, 2019?).

Os sensores acoplados nos satélites possuem algumas características específicas quanto à resolução, sendo elas:

- Resolução espacial. A dimensão do pixel é denominada resolução espacial. O pixel é indivisível. É impossível identificar qualquer alvo dentro de um pixel, pois seu valor integra todo o feixe de luz proveniente da área do solo correspondente ao mesmo. Quanto menor a dimensão do pixel, melhor é a resolução espacial da imagem (FIGUEIREDO, 2005).
- Resolução espectral. É uma medida da largura das faixas espectrais e da sensibilidade do sistema sensor em distinguir entre dois níveis de intensidade do sinal de retorno. Por exemplo, um sistema sensor que opera na faixa de 0,4 a 0,5 μm tem uma resolução espectral maior que um sensor que opera na faixa de 0,4 a 0,6 μm . Este sensor será capaz de registrar pequenas variações no comportamento espectral em regiões mais estreitas do espectro eletromagnético (NOVO, 2010).
- Resolução radiométrica. Descreve a habilidade de um sensor em distinguir variações no nível de energia refletida, emitida ou retroespalhada que deixa a

superfície do alvo. Quanto maior a capacidade do sensor de distinguir as diferenças na intensidade do sinal, maior será sua resolução radiométrica (NOVO, 2010).

- Resolução temporal. Diz respeito ao tempo de revisita de um satélite em um mesmo local da superfície terrestre. Por exemplo, uma resolução temporal de cinco dias, significa que a cada cinco dias um determinado local é imageado pelo sensor (NOVO, 2010).

Dentre os sistemas de satélites existentes, o programa *Landsat* se destaca por seus diversos atributos, descritos a seguir.

2.2.3.1 Programa *Landsat*

O Programa *Landsat* constitui-se de uma série de oito satélites desenvolvidos e lançados pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). Embora os satélites da série *Landsat* tenham sido concebidos para terem uma vida média útil de dois anos, eles se mantiveram em operação durante muito tempo, como é o caso do *Landsat 5*, que foi lançado em 1984 e se manteve ativo até 2007 (NOVO, 2010).

Os dados *Landsat* são o mais longo (desde 1972) e completo registro das superfícies continentais do planeta Terra a partir do espaço, de grande valor para estudos sobre mudanças globais do planeta (NOVO, 2010).

Os satélites *Landsat* realizam uma volta completa em torno da Terra, entre 100 e 103 minutos a Terra gira, sob o satélite, um arco ao longo do equador, de aproximadamente 3000 km. Portanto, órbitas sucessivas destes satélites têm uma distância de aproximadamente 3000 km uma da outra (FIGUEIREDO, 2005).

As faixas imageadas pelos satélites têm largura inferior a estes 3000 km (a faixa imageada do *Landsat* é de 185 km), por isto, entre passagens sucessivas do satélite, uma grande faixa fica sem imageamento. As passagens em dias sucessivos não são coincidentes, assim, o satélite passa a imagear outras faixas e só voltam a visitar uma mesma área após 16 dias. Com períodos orbitais de aproximadamente 100 a 103 minutos, os satélites realizam 14 voltas inteiras mais uma fração de volta em torno da Terra em um período de 24 horas. Isto significa que, na órbita de número 15, o satélite passa um pouco depois da primeira órbita do dia anterior. Esta

defasagem das órbitas faz com que o satélite capte imagem de todo o globo terrestre (FIGUEIREDO, 2005).

As imagens *Landsat* possuem diferentes níveis de processamento. Os dados de Nível 1 são criados usando o melhor nível de processamento disponível para cada cena. O nível de processamento utilizado é determinado pela existência de pontos de controle no solo, de dados fornecidos por um Modelo Digital de Elevação (DEM) e/ou dados coletados pela sonda do sensor *Payload Correction Data* (PCD) (USGS, 200-?a). De acordo com a USGS (200-?a), os níveis de processamento dos dados Nível 1, são os seguintes:

- Correção de precisão do terreno (L1TP). Os dados são submetidos a uma calibração radiométrica e são ortorretificados através de pontos de controle no terreno e dados do modelo digital de elevação;
- Correção sistemática do terreno (L1GT). Os dados são calibrados radiometricamente e sofrem correções geométricas sistemáticas aplicadas a partir de dados de efemérides do satélite e dos dados do DEM para a correção do deslocamento do terreno.
- Correção sistemática geométrica (L1GS). Os dados são submetidos a uma calibração radiométrica e corrigidos geometricamente apenas com dados de efemérides do satélite.

Além dos diferentes níveis de processamento, ainda existe a possibilidade de solicitar imagens *Landsat* com informações da reflectância da superfície (SR). A reflectância da superfície melhora a comparação entre imagens de uma mesma região, pois ela considera os efeitos atmosféricos como o espalhamento, absorção e refração da energia eletromagnética. Tais efeitos afetam a radiância refletida pela superfície e captada pelo sensor (USGS, 200-?b).

Para a obtenção da reflectância da superfície, é necessário realizar a correção atmosférica. Para tal procedimento existem diversos métodos. As imagens *Landsat* 4, 5 e 7 com informações da reflectância da superfície são geradas através do algoritmo Sistema de Processamento Adaptativo a Distúrbios do Ecossistema *Landsat* (LEDAPS), um software especializado desenvolvido pela NASA. O software aplica rotinas de correção atmosférica aos produtos de Nível 1, considerando dados de vapor d'água, ozônio, elevação digital do terreno, entre outros, gerando assim os dados de reflectância da superfície, reflectância no topo da atmosfera, máscaras para nuvens, etc. (USGS, 200-?b).

A FIGURA 3 e a FIGURA 4 apresentam, respectivamente, as características de cada uma das bandas espectrais dos satélites *Landsat 5* e *Landsat 8*.

FIGURA 3 – CARACTERÍSTICAS DO LANDSAT 5

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial
TM (Thematic Mapper)	(B1) AZUL	0.45 - 0.52 μm	30 m
	(B2) VERDE	0.52 - 0.60 μm	
	(B3) VERMELHO	0.63 - 0.69 μm	
	(B4) INFRAVERMELHO PRÓXIMO	0.76 - 0.90 μm	
	(B5) INFRAVERMELHO MÉDIO	1.55 - 1.75 μm	
	(B6) INFRAVERMELHO TERMAL	10.4 - 12.5 μm	120 m
	(B7) INFRAVERMELHO MÉDIO	2.08 - 2.35 μm	30 m

FONTE: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) (2013).

FIGURA 4 – CARACTERÍSTICAS DO LANDSAT 8

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial
OLI (Operational Land Imager)	(B1) COSTAL	0.433 - 0.453 μm	30 m
	(B2) AZUL	0.450 - 0.515 μm	
	(B3) VERDE	0.525 - 0.600 μm	
	(B4) VERMELHO	0.630 - 0.680 μm	
	(B5) INFRAVERMELHO PRÓXIMO	0.845 - 0.885 μm	
	(B6) INFRAVERMELHO MÉDIO	1.560 - 1.660 μm	
	(B7) INFRAVERMELHO MÉDIO	2.100 - 2.300 μm	
	(B8) PANCRÔMÁTICO	0.500 - 0.680 μm	15 m
	(B9) Cirrus	1.360 - 1.390 μm	30 m

FONTE: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) (2013).

2.2.4 Sensoriamento Remoto na Dinâmica de Paisagem

O primeiro passo na construção de um modelo de dinâmica de paisagem consiste no mapeamento de padrões mutáveis de uso e cobertura de solo da região escolhida para o estudo. Para tal finalidade são necessários dados que possibilitem a identificação das mudanças que ocorreram na paisagem. Estes dados podem vir de diversas fontes, como levantamentos de campo, mapas previamente existentes, fotografias aéreas, entre outros. Dentre estes métodos de obtenção de dados existe, o sensoriamento remoto (SOARES FILHO, 1998).

Quanto as vantagens do sensoriamento remoto, pode-se destacar a coleta repetitiva de dados multiespectrais que oferece a oportunidade de analisar a dinâmica de vários fenômenos espaciais, tanto em escala global quanto local. Outra vantagem do sensoriamento remoto é sua natureza digital, que permite o emprego de algoritmos computacionais para o realce e classificação de padrões, facilitando o mapeamento de grandes extensões de um modo rápido e objetivo. Isso torna esta tecnologia uma fonte de dados para o desenvolvimento, refinamento e calibração de modelos de dinâmica de paisagem (SOARES FILHO, 1998).

Neste sentido, o sensoriamento remoto permite documentar a taxa e expansão da área urbana na cidade de Curitiba. Soares Filho (1998) também afirma que os índices de estrutura de paisagem, obtidos de imagens advindas do sensoriamento remoto, poderão ser utilizadas não apenas para monitorar grandes mudanças na paisagem, como também para prever evolução do padrão da paisagem.

2.2.5 Classificação de Imagens

Uma das melhores formas de modelar a paisagem, a partir de imagens, é através da classificação dos padrões presentes na superfície. Para tal, existem diversos métodos e um deles é a árvore de decisão.

Árvore de decisão é um dos algoritmos utilizados na mineração de dados. Mineração de dados é o processo de encontrar anomalias, padrões e correlações em grandes conjuntos de dados para prever resultados (SAS INSIGHTS, 200-?).

Tan (2009, citado por BENTO, 2017) diz que a estrutura da árvore de decisão é composta por nós e arestas direcionadas. Ainda que algumas árvores sejam mais

precisas que outras, desenvolver árvores ótimas é computacionalmente inviável devido ao tamanho exponencial do espaço de pesquisa.

A abordagem geral para construção de um modelo de classificação por árvore de decisão consiste no fornecimento de um conjunto de treinamentos cujos rótulos são conhecidos. A partir deste conjunto de treinamento é construído um modelo de classificação, que é posteriormente aplicado aos dados de entrada TAN (2009, citado por BENTO, 2017), que no caso deste trabalho são índices espectrais.

2.2.6 Índices Espectrais

Os índices espectrais são resultados da aplicação de operações matemáticas sobre as bandas de uma imagem. A escolha de qual banda e qual expressão matemática que será utilizada é feita a partir do conhecimento do comportamento espectral do alvo de interesse, determinando em quais comprimentos de onda do espectro eletromagnético este alvo apresenta maior contraste relacionado ao seu valor de reflectância (ARAKI, 2019).

Desta forma, os objetos presentes na imagem podem ser identificados com maior facilidade, diferenciando-os e classificando-os na imagem. Por este motivo, estes índices são comumente aplicados a técnicas de classificação do uso do solo com base na interpretação de imagens de satélite (ARAKI, 2019).

Dentre os índices espectrais aplicados em sensoriamento remoto, existem três índices principais que enquadram no objetivo de identificar o uso do solo em ambientes urbanos, são eles: o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), o Índice por Diferença Normalizada para Áreas Construídas (NDBI) e o Índice de Áreas Inundáveis Modificado por Diferença Normalizada (MNDWI) (ARAKI, 2019).

O NDVI permite identificar facilmente áreas de vegetação presentes na imagem, pois aplica-se em sua expressão as bandas correspondentes ao espectro do vermelho (Red) e do infravermelho próximo (NIR), pois é nesse intervalo de valores que a vegetação apresenta o maior índice de reflectância. A equação utilizada para chegar ao NDVI está apresentada a seguir (ARAKI, 2019).

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

Já o NDBI, permite identificar as áreas urbanas presentes na imagem pois são aplicadas em sua expressão as bandas correspondentes ao espectro do infravermelho próximo (NIR) e do infravermelho médio (MIR), altamente refletidos pelos materiais que compõem estas áreas (telhados de edificações, asfalto, etc). A seguir está a expressão matemática utilizada para chegar ao NDBI (ARAKI, 2019).

$$NDBI = \frac{MIR - NIR}{MIR + NIR}$$

O MNDWI permite identificar os corpos d'água presentes na imagem, pois em sua composição são aplicadas as bandas de maior índice de reflectância no espectro destes objetos imageados, sendo elas as bandas do verde (Green) e a do infravermelho próximo (NIR). A expressão a seguir mostra como chegar ao MNDWI (ARAKI, 2019).

$$MNDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR}$$

2.3 SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS E SUAS APLICAÇÕES NA DINÂMICA DA PAISAGEM

O Sistema de Informações Geográficas (SIG) possui uma gama de ferramentas que auxiliam o estudo da paisagem, bem como a construção de modelos dinâmicos. Este capítulo se dedica ao entendimento dos conceitos de SIG e de suas aplicações na dinâmica de paisagem.

2.3.1 Sistema de Informações Geográficas (SIG)

Para entender o que é SIG, é necessário definir o que é IG (Informação Geográfica). Podemos pensá-la como a informação sobre locais na superfície da Terra; conhecimento sobre “onde” ocorre determinado fenômeno e “o que” está em uma determinada localização, podendo ser muito detalhada (informação sobre as

localizações de todas as edificações em uma cidade) ou superficial (o clima de uma grande região) (FERREIRA, 2006).

Conforme Ferreira (2006) existe diversas tecnologias, técnicas e ciência utilizadas na coleta e manipulação de dados, como a topografia, geodésia, fotogrametria e os sistemas de informações geográficas.

De acordo com Moreira (2001), qualquer sistema de informação geográfica apresenta duas características principais:

- Permite inserir e integrar numa única base de dados (banco de dados) informações espaciais provenientes de diversas fontes, tais como as citadas anteriormente;
- Oferece mecanismo para combinar várias informações através de algoritmos de manipulação e análise, bem como de consulta, recuperação, visualização e plotagem do conteúdo dessa base de dados georreferenciados.

2.3.2 SIG na Dinâmica de Paisagem

Anteriormente destacou-se a importância do sensoriamento remoto para a dinâmica de paisagem. Entretanto, de acordo com Soares Filho (1998), não basta apenas obter uma grande massa de dados, é preciso analisá-los dentro de um contexto espacialmente explícito. Neste sentido, o SIG tem sido utilizado como instrumento de análise dos dados utilizados na modelagem.

Uma das ferramentas do SIG utilizadas na modelagem de paisagem é a álgebra de mapas. A álgebra de mapas utiliza os mesmos operadores da álgebra tradicional (adição, subtração, exponenciação), entretanto na álgebra de mapas as variáveis são mapas inteiros. Além dos operadores matemáticos tradicionais, a álgebra de mapas permite a transformação e combinação de camadas, entre outros processos (SOARES FILHO, 1998).

Neste sentido, a álgebra de mapas pode ser muito útil na exploração da distribuição espacial das variáveis que podem ter um papel importante na dinâmica de paisagem (SOARES FILHO, 1998).

2.4 MODELAGEM

Neste tópico será descrita a base conceitual necessária para a elaboração do modelo de simulação da paisagem.

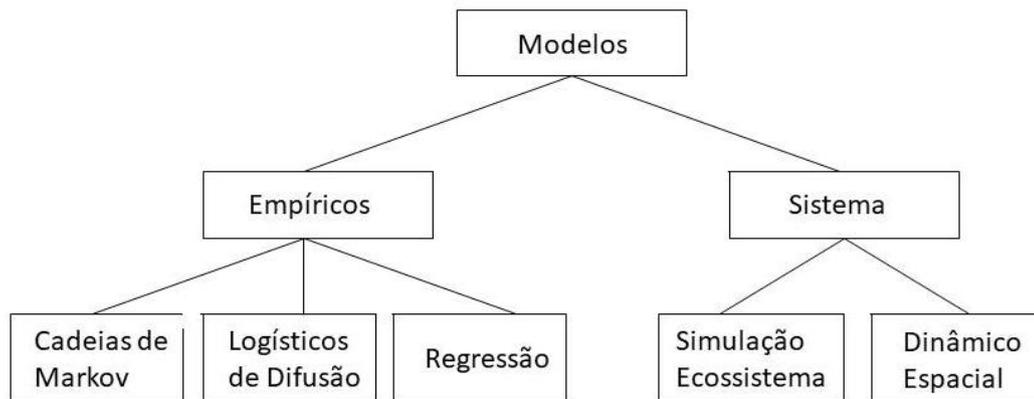
2.4.1 Modelos

Os modelos são formas simplificadas de representar a realidade. Por meio deles, tenta-se imitar ou reproduzir as ocorrências do mundo real. Desta forma, pode-se trabalhar a informação existente, fazer simulações e extrair novas informações que servirão na tomada de decisão (MEIRELLES, 2007).

Novaes (1981) ressalta a importância de construir um modelo com uma função (objetivo). Existem quatro categorias de objetivos para os modelos: descritivos, explorativos, preditivos e operacionais. Outra forma de classificar modelos é quanto ao fator tempo. Neste sentido, os modelos podem ser divididos em estáticos, que representam apenas um determinado instante, e dinâmicos que descrevem um processo, ou seja, a evolução do sistema no tempo.

Lambim (1994 citado por MEIRELLES, 2007) diz que um modelo é constituído de pelo menos três elementos: variáveis, relacionamentos e processos. Ao construir um modelo, dependendo do objetivo, pode-se dar ênfase a um ou outro desses elementos. Nesta visão, os modelos podem ser classificados em empíricos e de sistemas. Modelos empíricos focalizam os relacionamentos entre as variáveis do modelo a partir de suposição de que os relacionamentos observados no passado continuarão no futuro. Modelos de sistemas são descrições matemáticas de processos complexos que interagem entre si, enfatizando as interações entre todos os componentes de um sistema. A FIGURA 5 mostra um esquema com os tipos de modelos.

FIGURA 5 – TIPOS DE MODELO



FONTE: Meirelles (2007).

Tendo em vista que modelos dinâmicos buscam descrever mudanças ao longo do tempo, MEIRELLES (2007) citando LAMBIN (1994) afirma que um modelo deve responder as clássicas questões “por quê?”, “quando?” e “onde?”:

- Quais variáveis contribuem para explicar o fenômeno e quais processos existem por trás do fenômeno?
- Como se dá a evolução do processo?
- Onde ocorrem os fenômenos?

Neste trabalho foi realizado um modelo dinâmico espacial, portanto é a respeito dele que os próximos tópicos irão abordar.

2.4.2 Modelos de Simulação Dinâmica Espacial

Modelos de simulação dinâmica espacial é uma categoria de modelo sistêmico. Um modelo sistêmico procura descrever o sistema como um todo, buscando representar as interações entre todos seus componentes. Uma característica fundamental desse tipo de modelo é a capacidade de lidar com a dimensão espacial, implementando relações de vizinhança e suportando o uso combinado de múltiplas escalas (MEIRELLES, 2007).

Além de representar o sistema como um todo, os modelos de simulação dinâmica espacial fazem uso de ferramentas com a capacidade de acomodar a heterogeneidade espacial e processos humanos de tomada de decisão. Uma forma de elaborar modelos de simulação dinâmica espacial é através da representação da paisagem em uma matriz de células e aplicar equações matemáticas sobre cada uma das células simultaneamente. Isto simplifica o mecanismo de predição, pois cada célula do modelo está conectada com suas células vizinhas. Desta forma, se uma célula tem três vizinhos em um estado “x”, é provável que o estado dessa célula venha a ser “x” também. No entanto, esse raciocínio pode ficar mais robusto utilizando-se de regras de transição e da inclusão de processos de tomada de decisões. Quando um modelo incorpora processos de tomada de decisão, este é chamado de modelo baseado em regras. Estas regras são abstrações muito similares àquelas que ocorrem na mente humana (MEIRELLES, 2007).

MEIRELLES (2007) apresenta características do modelo de simulação dinâmica espacial que responde às perguntas feitas anteriormente (“por quê?”, “quando?” e “onde?”):

- Por quê: requer amplo e profundo entendimento do sistema antes da sua construção;
- Quando: pode prever a evolução de processos não estacionários baseados nos parâmetros do modelo;
- Onde: pode prever a evolução de padrões espaciais em processos determinísticos.

2.4.2.1 Autômatos Celulares

Em 1982, John Conway apresentou o Jogo da Vida (*The Game of Life*), este jogo mostrou que regras simples, quando aplicadas repetidamente sobre estados aleatórios, produzem resultados semelhantes à forma como certos sistemas evoluem no mundo real. No Jogo da Vida, o espaço é representado como uma grade de células, onde algumas estão vivas e outras mortas. A partir de um estado inicial aleatório, a cada nova geração, algumas células nascem e outras morrem (MEIRELLES, 2007).

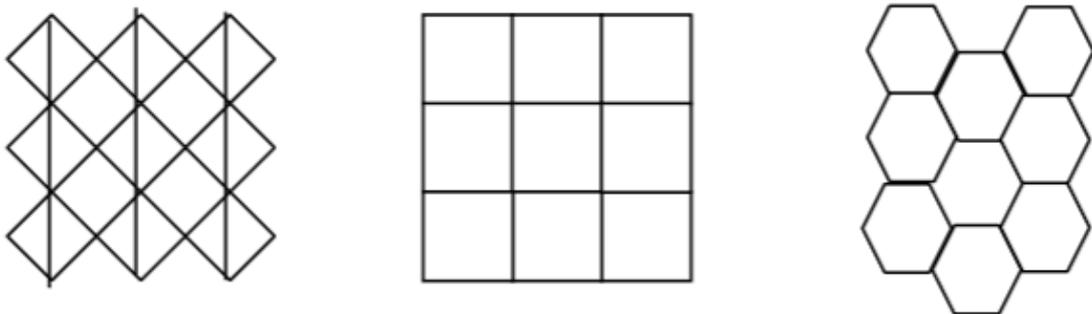
O fato de uma célula viver ou morrer depende da sua vizinhança e de algumas regras descritas por Gomes (200-?):

- Qualquer célula viva com menos de dois vizinhos vivos morre de solidão;
- Qualquer célula viva com mais de três vizinhos vivos morre de superpopulação;
- Qualquer célula com exatamente três vizinhos vivos se torna uma célula viva;
- Qualquer célula com dois vizinhos vivos continua no mesmo estado para a próxima geração.

Foi a partir desse sistema que se deu início ao conceito de autômatos celulares, inicialmente apresentados por Jonh Von Newmann (MEIRELLES, 2007).

Meirelles (2007) discorre a respeito das aplicações dos autômatos celulares, dizendo que ultimamente o conceito tem sido utilizado para modelar fenômenos físicos e urbanos. Neste sentido, o espaço é representado por um mosaico de células de tamanho e forma semelhantes, como mostra a FIGURA 6.

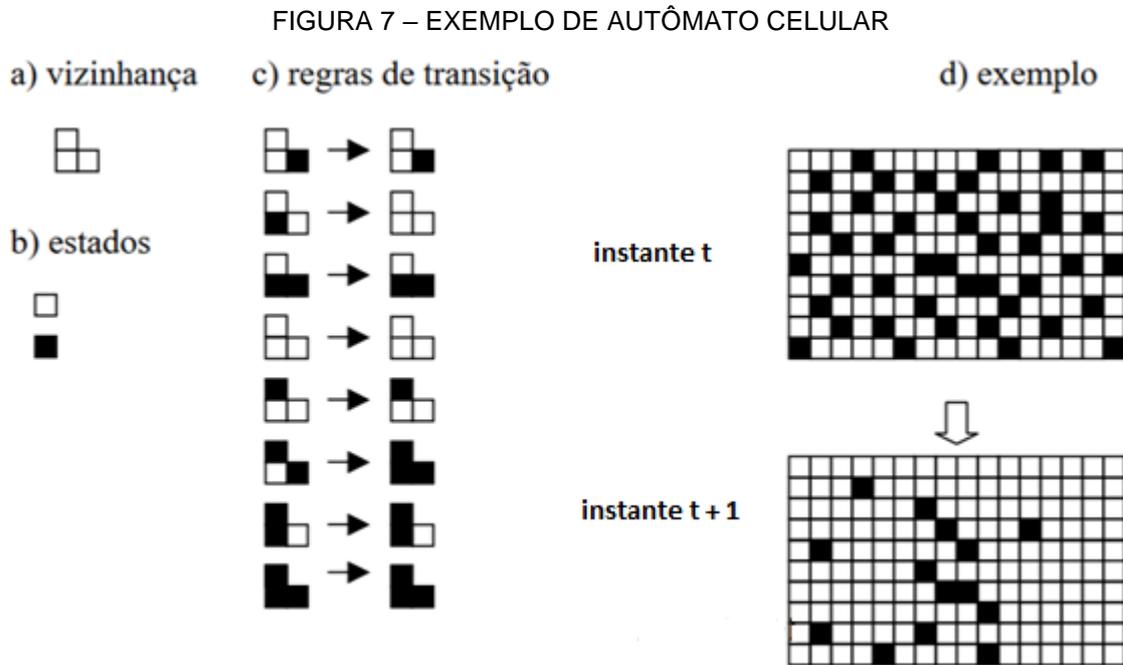
FIGURA 6 – REPRESENTAÇÃO DE CÉLULAS EM AUTÔMATOS CELULARES



FONTE: Câmara (1996).

Sobre cada uma destas células são aplicadas regras de transição, que determinam quando e porque o estado de uma célula se altera, além disso, as regras de transição podem ser qualitativas ou quantitativas. A FIGURA 7 mostra um

exemplo de como as alterações ocorrem em um autômato celular (MEIRELLES, 2007).



FONTE: Câmara (1996).

Como foi dito anteriormente, modelos dinâmicos podem incluir processos de tomada de decisão, fazendo com que o modelo baseado em autômatos celulares fique mais robusto. Em termos práticos isso significa a inclusão de variáveis que podem explicar as alterações ocorridas na paisagem ao longo do tempo. Dentre as formas utilizadas para seleção de variáveis existe uma denominada pesos de evidência. É a respeito dela que o próximo tópico irá abordar.

2.4.2.2 Pesos de Evidência

De acordo com Bonham-Carter (1994) o método de pesos de evidência é baseado na probabilidade condicional de Bayes. Um dos principais conceitos envolvidos no método bayesiano é a ideia de probabilidade *a priori* $P(D)$ e da probabilidade *a posteriori* $P(D|B)$:

- Probabilidade *a priori* $P(D)$;
- Probabilidade *a posteriori* $P(D|B) = P(D) * \frac{P(B|D)}{P(B)}$.

Lembrando que probabilidade *a priori* é a probabilidade de um fato ter ocorrido ou não, enquanto que a probabilidade *a posteriori* representa a probabilidade de a ocorrência de um fato “x” confirmar a ocorrência de um fato “y”.

Bonham-Carter (1994) ainda apresenta um exemplo para demonstrar como funciona o método bayesiano. Um indivíduo deseja estimar a probabilidade de chover no dia seguinte. Em média chove cerca de 80 dias por ano. Sabendo disso é razoável considerar que a probabilidade a priori de que vai chover no dia seguinte é 80/365. Essa estimativa inicial pode ser aprimorada a partir de mais informações, como por exemplo, as estações do ano, que interferem na probabilidade de chover. A partir desta nova informação, o resultado seria a probabilidade de chuva, dado a estação do ano vigente. Sendo assim, a probabilidade a priori de chuva pode ser atualizada, multiplicando por um fator que varia com a época do ano.

$$P(\text{chuva} | \text{estação do ano}) = P(\text{chuva}) * \text{Fator}_{(\text{estação do ano})}$$

No caso da modelagem da paisagem urbana, a expansão urbana seria um evento enquanto que, por exemplo, a distância para as principais ruas do município seria uma evidência (variável explicativa).

Valores altos e positivos de pesos de evidência indicam uma associação positiva entre a alteração e a variável, valores altos e negativos indicam baixa associação e repelem a alteração. Coeficientes de pesos de evidência com valores zero ou próximos de zero não exercem nenhum efeito sobre a alteração analisada (CENTRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (UFMG), 2017).

Como o método pesos de evidência é inteiramente baseado no teorema de Bayes, os fatores variáveis envolvidos na modelagem devem ser independentes entre si. Portanto a dependência dos mapas de variáveis explicativas deve ser verificada (ALMEIDA, 2004).

Tal análise é feita a partir do Índice de Cramer (V) e da Incerteza da Informação Conjunta (U), os quais operam, respectivamente, com valores reais e percentuais de áreas de sobreposição entre dois mapas de variáveis, destinando-se a avaliar a existência de dependência ou associação espacial entre ambos (BONHAM-CARTER, 1994).

Bonham-Carter (1994) apresenta algumas vantagens do método pesos de evidência: o método é objetivo, evitando assim a escolha de evidências subjetivas; possibilita a combinação de vários mapas de evidência; entre outras.

Também faz parte da modelagem o processo de calibração e validação, que será abordado a seguir.

2.4.2.3 Calibração e Validação do Modelo

A calibração do modelo visa à seleção do melhor conjunto de variáveis de entrada e parâmetros internos do programa, de forma a produzir o melhor ajuste entre os dados empíricos e a realidade observada (ALMEIDA, 2004).

Em termos práticos, a calibração é realizada a partir da análise dos pesos de evidência, da correlação entre as variáveis, análise visual do modelo de simulação do uso do solo e dos critérios de validação. Desta forma chega-se ao melhor modelo de simulação da dinâmica espacial.

De acordo com Batty (1976), testes de validação podem ser entendidos como procedimentos para verificar se os modelos refletem ou não a realidade no grau desejado.

Uma validação grosseira pode ser realizada de maneira visual, comparando uma simulação para determinado período com uma informação real do mesmo período.

Matematicamente, a validação neste trabalho foi realizada por dois métodos. O primeiro é o método apresentado por Contanza (1989) chamado de Ajuste por Múltiplas Resoluções (F), o qual pode ser aplicado a uma variedade de resoluções espaciais através da mudança de tamanho de uma janela de amostragem.

Esta janela de amostragem varre as imagens (FIGURA 8) e o ajuste médio entre as duas cenas (real e simulada) para um tamanho de janela em particular é calculado pela seguinte expressão (ALMEIDA, 2004):

$$F_w = \frac{\sum_{s=1}^{tw} \left[1 - \sum_{i=1}^p \frac{|a_{i1} - a_{i2}|}{2w^2} \right]_s}{tw}$$

Onde:

F_w é o ajuste para a janela de tamanho $w \times w$;

a_{i1} é o número de células pertencentes à classe i na imagem simulada dentro da janela de amostragem;

a_{i2} é o número de células pertencentes à classe i na imagem real dentro da janela de amostragem;

p refere-se ao número de diferentes classes encontradas na janela de amostragem ;

tw é o número total de janelas amostradas em uma cena para uma janela de tamanho $w \times w$.

Para duas cenas idênticas, um gráfico relacionando F_w e w irá fornecer uma linha reta. Entretanto, se as cenas apresentam a mesma proporção de classes de uso do solo com diferentes padrões espaciais, esta linha irá aumentar gradualmente até que F_w alcance o valor 1. Se um ajuste razoável de padrões espaciais existir, esta curva crescerá rapidamente de forma assintótica (ALMEIDA, 2004).

A qualidade total do ajuste é dada pela equação abaixo:

$$F_t = \frac{\sum_{w=1}^n F_w e^{-k(w-1)}}{\sum_{w=1}^n e^{-k(w-1)}}$$

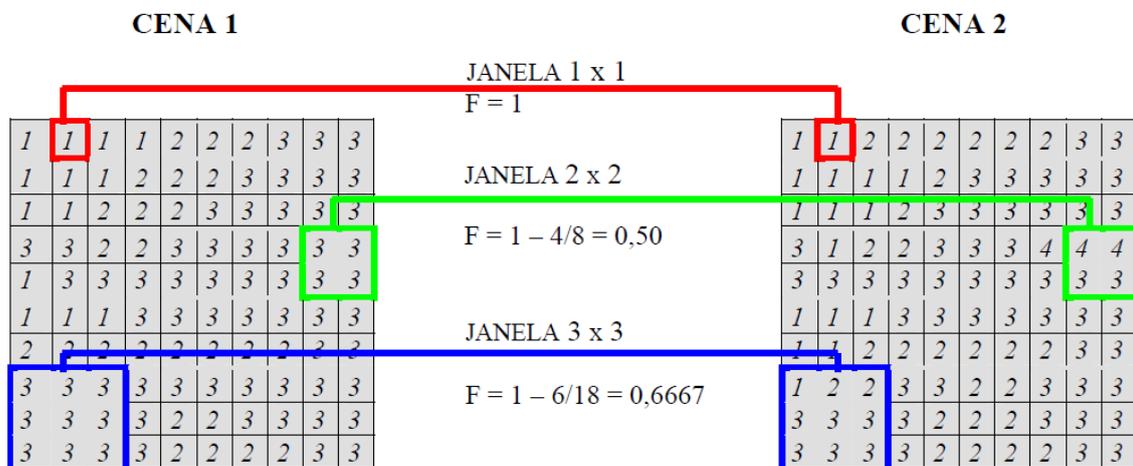
Onde:

F_t é a média de todas as medidas de ajuste obtidas pelos diferentes tamanhos de janela empregados na análise;

F_w é o ajuste para janelas de amostragem de dimensão linear w ;

k é uma constante.

FIGURA 8 – EXEMPLO DE UM MÉTODO DE RESOLUÇÃO MÚLTIPLA PARA UMA CENA 10 X 10 E COM QUATRO CLASSES. NESTE CASO, $k = 0,1$ E $F_t = 0,8$



O segundo método utilizado para avaliar o desempenho do modelo foi baseado no conceito de *fuzziness of location*, no qual a representação de uma célula é influenciada por ela mesma, e, em menor magnitude, pelas células na sua vizinhança (HAGEN, 2003).

Trata-se de um teste de comparação de similaridade *fuzzy* entre o mapa simulado e o mapa real. O índice de similaridade *fuzzy* empregado neste trabalho foi criado pelo Centro de Sensoriamento Remoto da Universidade Federal de Minas Gerais (CSR/UFMG) e representa uma adaptação do índice de similaridade *fuzzy* criado por Hagen (2003).

No caso particular deste trabalho, a comparação foi feita relacionando um mapa de diferença entre as paisagens inicial e final com um mapa de diferença entre a paisagem final e a simulada, conforme implementado na plataforma *Dinamica EGO*. Adotou-se uma função de decaimento constante, calculada com os seguintes tamanhos de janelas: 1x1, 3x3, 5x5, 7x7, 9x9 e 11x11 (CEMIN, 2015).

2.5 O SOFTWARE DINAMICA EGO

Toda a modelagem realizada neste trabalho foi implementada com o uso do *Software Dinamica EGO* – acrônimo para Environment for Geoprocessing Objects (ambiente para objetos de geoprocessamento).

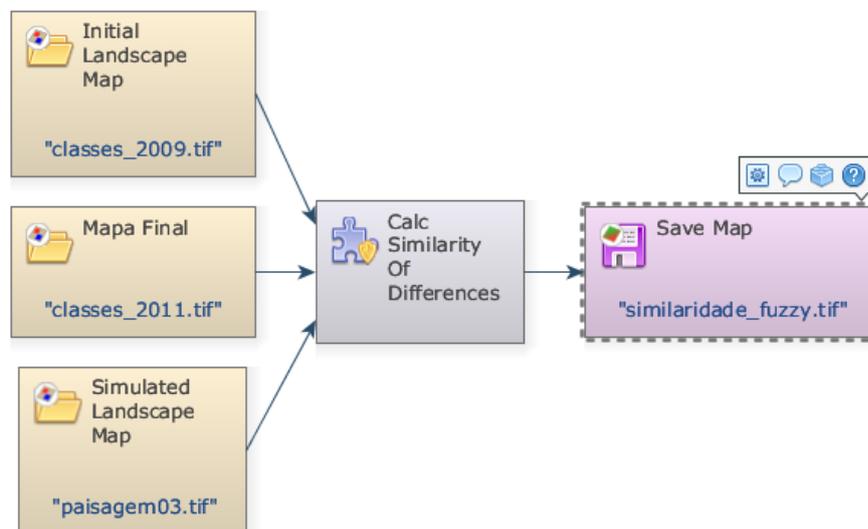
O ambiente de modelagem do *Dinamica EGO* envolve uma série de operadores chamados de funtores (*functors*). Um *functor* pode ser entendido como um processo que atua sobre um conjunto de dados de entrada sobre o qual é aplicado um número finito de operações, produzindo como saída um novo conjunto de dados. Cada *functor* é responsável pela execução de uma tarefa específica, incluindo todos os operadores da álgebra de mapas, operadores da análise espacial mais comum no SIG, mais uma série de operadores desenhados para simulação espacial, incluindo métodos de calibração e validação (RODRIGUES, 2007).

Além dos *functors*, que são operadores convencionais, existem os operadores de grupo, chamados de *containers*. Os *containers* agrupam e determinam um comportamento para o conjunto de operadores presentes nele. Os *funtores* e *containers* recebem e enviam dados para outros *funtores* e *containers* através de um conjunto de entradas e saídas denominados portos. Cada porto

possui um tipo de dado associado, como tabelas, mapas, valor, etc. (RODRIGUES, 2007).

Para a criação de modelos, os *functores* e *containers* são sequenciados em um fluxo de dados através da interface gráfica (FIGURA 9). Nesta interface os modelos são criados arrastando e conectando *functores* através de portos com tipos equivalentes. Os modelos são assim desenhados na forma de um diagrama e a execução segue a cadeia de fluxo de dados (RODRIGUES, 2007).

FIGURA 9 – INTERFACE GRÁFICA DO DINAMICA EGO



FONTE: A Autora (2019).

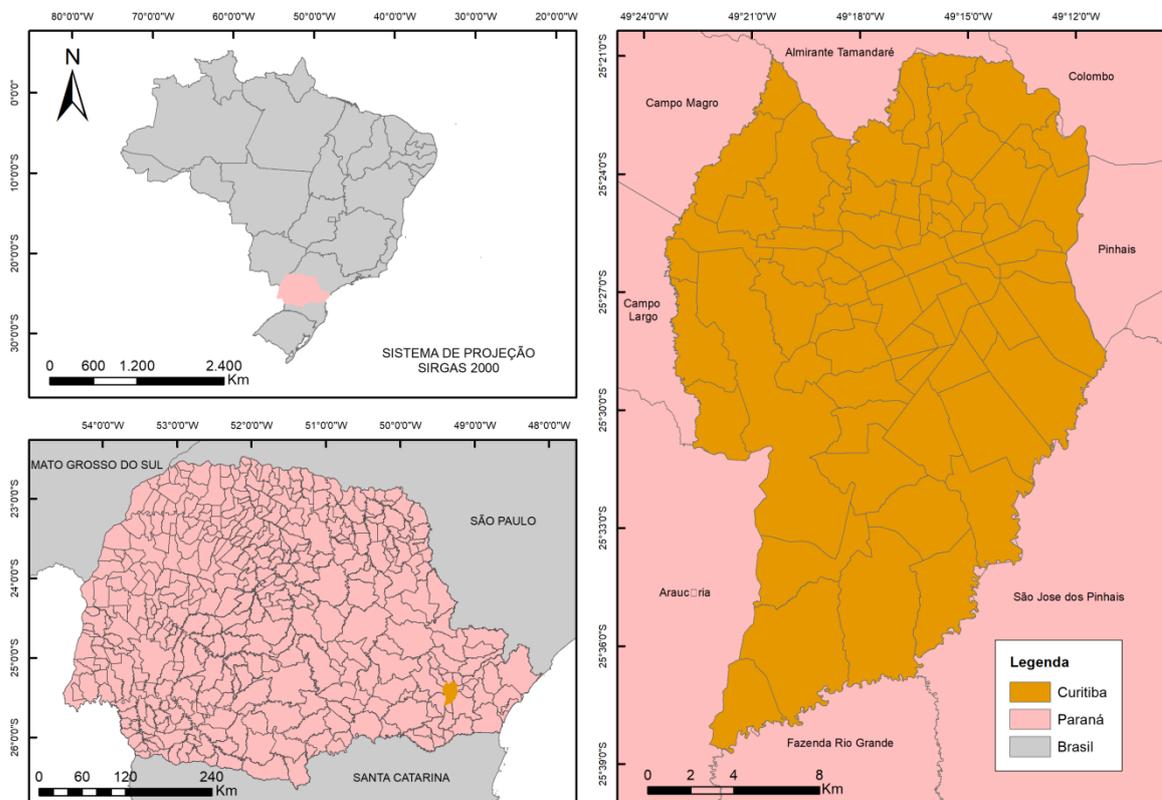
Abordando de forma mais específica a criação de modelos de simulação da dinâmica espacial, o software *Dinamica EGO* possui dois *functores* essenciais para processo de modelagem através de autômatos celulares. Esses *functores* são o *Expander* e o *Patcher*, enquanto o primeiro é responsável pela expansão de manchas prévias, o segundo tem a função de criar novas manchas (RODRIGUES, 2007).

2.6 A CIDADE DE CURITIBA

A área de estudo neste trabalho foi a cidade Curitiba. A cidade de Curitiba foi fundada no dia 29 de março de 1693 com o nome de Vila Nossa Senhora da Luz dos Pinhais. A mudança do nome da vila e da rotina do povoado veio em 1721, com a visita do ouvidor Raphael Pires Pardini. Ele foi, provavelmente, a primeira pessoa a se preocupar com o meio ambiente da cidade. Já naquela época, o ouvidor determinou aos habitantes que tivessem determinados cuidados com a natureza, como por exemplo, a limitação ao corte de árvores e a limpeza do Ribeiro (hoje Rio Belém). O ouvidor Pardini estabeleceu também que as casas não poderiam ser construídas sem autorização da Câmara e deveriam ser cobertas com telhas. As ruas já iniciadas teriam de ser continuadas, para que a vila crescesse com uniformidade.

Curitiba está localizada na região Sul do Brasil, é a capital do Estado do Paraná, conforme mostra a FIGURA 10. Possui área de 434,863 quilômetros quadrados e altitude média de 934 metros em relação ao nível do mar. O município de Curitiba possui clima temperado.

FIGURA 10 – LOCALIZAÇÃO DA CIDADE DE CURITIBA

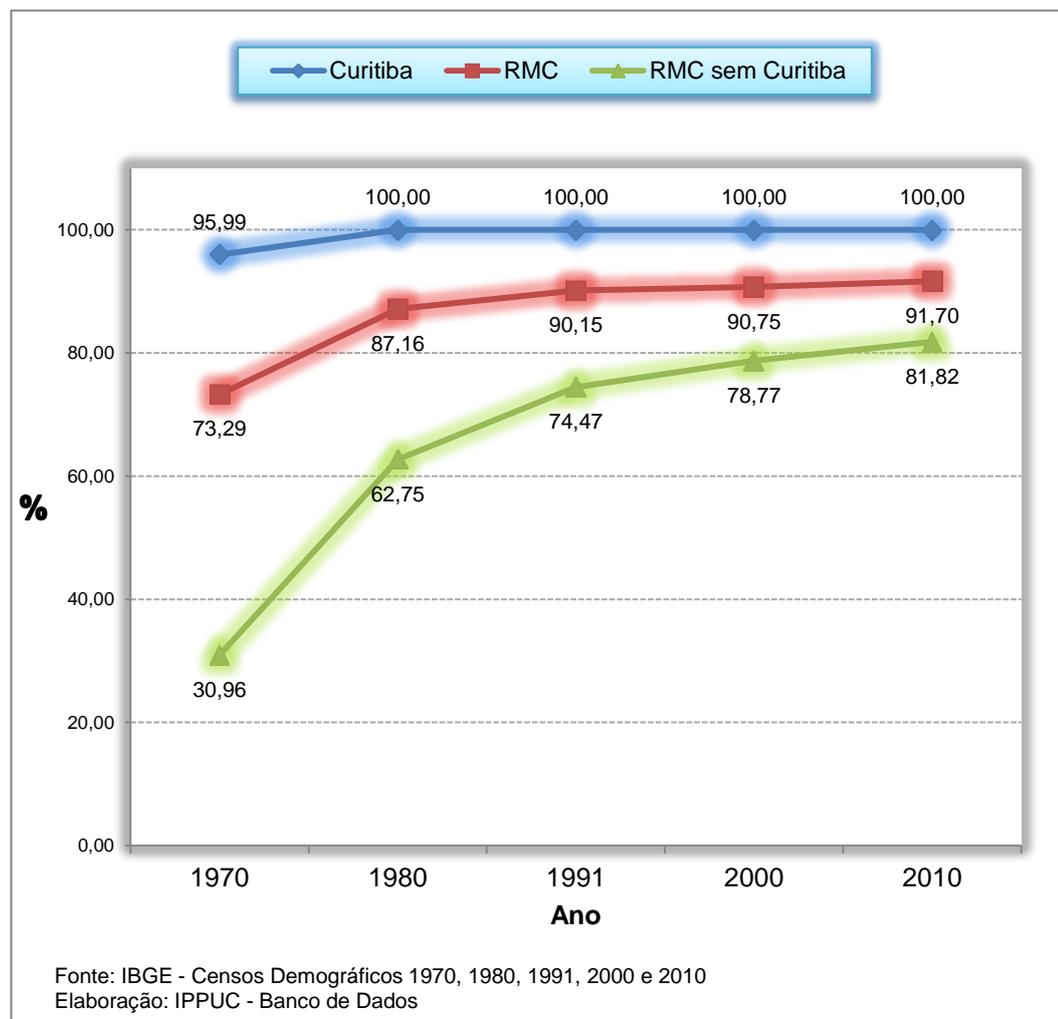


FONTE: A Autora (2019).

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a cidade possui uma população estimada de 1.933.105 habitantes (ano de 2019), com densidade demográfica de 4.027,04 habitantes por quilômetro quadrado (censo de 2010).

Desde o ano 1980, a cidade possui taxa de urbanização de 100%, conforme mostra o GRÁFICO 1. Curitiba dispõe de legislações que regulamentam a ocupação urbana da cidade, como a Lei 9800/2000 e a Lei 14771/2015. A primeira diz a respeito do zoneamento, uso e ocupação do solo de Curitiba, além de outras providências, a segunda se trata do plano diretor do município, onde são fornecidas orientações para o controle e desenvolvimento integrado da cidade.

GRÁFICO 1 – TAXA DE URBANIZAÇÃO DE CURITIBA E RMC



3 MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo serão descritos os materiais usados e a metodologia seguida para o desenvolvimento deste trabalho.

3.1 MATERIAIS

Os materiais utilizados nesta pesquisa foram os seguintes:

- Imagens *Landsat 5* e *8* da cidade de Curitiba, onde foram utilizados as bandas correspondentes as faixas do azul, verde, vermelho, infravermelho próximo e infravermelho médio, todas com resolução espacial de 30 metros (ver seção 2.2.3.1);
- Arquivos vetoriais da cidade de Curitiba, obtidos através do site do Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano (IPPUC) de Curitiba, listados na TABELA 1;

TABELA 1 – ARQUIVOS VETORIAIS UTILIZADOS

Arquivos vetoriais	Ano
Praças e jardins	2019
Parques e bosques	2019
Eixos de rua	2019
Curvas de nível	2013
Hidrografia	2019
Bosque da Conservação da Biodiversidade Urbana - BCBU	2019
Estação Ecológica	2019
Refúgio da Vida Silvestre	2019
Reserva Particular do Patrimônio Natural Municipal - RPPNM	2019
Zoneamento - polígonos	2018
Divisa de Bairros	2019
Zoneamento - APA do Iguaçu	2018
Zoneamento - APA do Passauna	2018

FONTE: A autora (2019).

- Legislação municipal da cidade de Curitiba.

Também foram utilizados os seguintes softwares:

- *ArcGIS* para a manipulação dos dados geográficos e produção de mapas finais;
- *ENVI* para a manipulação das imagens Landsat, geração de índices espectrais e classificação das imagens;
- *Dinamica EGO* para a geração do modelo de simulação da paisagem.

3.2 METODOLOGIA

A metodologia desenvolvida e seguida neste trabalho será descrita em tópicos que explicam cada etapa do processo.

3.2.1 Aquisição das Imagens

As imagens utilizadas para a geração dos mapas de uso do solo foram obtidas através do *site* do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS). A USGS permite que se faça *download* de forma gratuita das imagens *Landsat* do nível 1 e nível 2 (ver seção 2.2.3.1).

Portanto foram realizados *downloads* de quatro cenas, contendo a cidade de Curitiba, referente às seguintes datas:

- 24 de novembro de 2006 (*Landsat 5*);
- 31 de outubro de 2009 (*Landsat 5*);
- 28 de outubro de 2011(*Landsat 5*);
- 29 de outubro de 2014 (*Landsat 8*).

Todas as imagens são aproximadamente da mesma época do ano (entre outubro e novembro), e possuem o mesmo nível de correção, que no caso é o L1TP (ver seção 2.2.3.1). Como foi dito anteriormente, a USGS disponibiliza, sob demanda, imagens *Landsat* corrigidas do erro atmosférico, ou seja, são dados que contém informações de reflectância da superfície, portanto são estes dados que foram utilizados (ver seção 2.2.3.1).

Foi tomado o cuidado de utilizar imagens aproximadamente da mesma época do ano e com o mesmo nível de correção e submetidos à correção atmosférica para que a sazonalidade da vegetação não influenciasse nos resultado da modelagem.

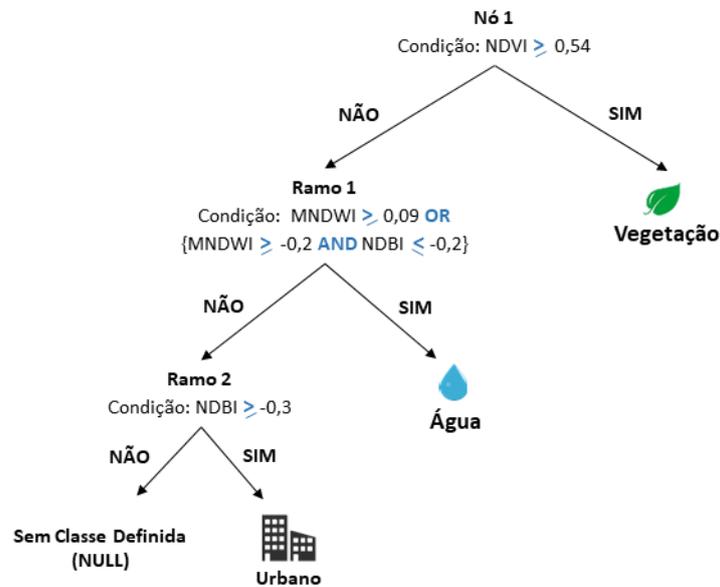
Existem alguns motivos para a escolha de dados destes anos para a execução da modelagem. O primeiro critério teve como base a Lei 9800/2000 que dispõe sobre o Zoneamento, Uso e Ocupação do Solo no Município de Curitiba. Esta lei, além de estabelecer os parâmetros de uso e ocupação do solo, orienta e ordena o crescimento da cidade. Por estes motivos foram escolhidas imagens de anos posteriores à criação da Lei que ainda está em vigor e dita o crescimento da cidade. Outro fator que influenciou na escolha foi a disponibilidade de dados *Landsat* que estivessem livre da cobertura de nuvens e fossem aproximadamente da mesma época do ano.

3.2.2 Classificação das Imagens

A classificação das imagens foi realizada por meio do método árvore de decisão. Devido o fato das imagens possuírem o mesmo nível de correção, conter valores de reflectância da superfície e serem aproximadamente da mesma época, foi possível utilizar uma mesma árvore de decisão para a classificação de todas as imagens.

Os dados de entrada para a elaboração da árvore de decisão foram três índices espectrais: NDVI, NDBI e MNDWI. Os intervalos utilizados para a definição das classes, em todas as imagens, foram determinados a partir da observação dos valores dos índices espectrais em cada uma das coberturas de solo de interesse (urbano, vegetação e água). Foram realizados testes até que todas as classes de interesse estivessem contempladas por um intervalo de valores na árvore de decisão. A validação da classificação foi realizada de forma visual. A FIGURA 11 apresenta um esquema da árvore de decisão elaborada.

FIGURA 11 – ÁRVORE DE DECISÃO APLICADA



FONTE: A Autora (2019).

3.2.3 Definição das Variáveis Estáticas

Como já foi dito anteriormente (ver seção 2.4.2.2), as variáveis estáticas, também chamadas de evidências, são parte importante da modelagem. É por meio delas que a modelagem fica robusta e tende se aproximar mais da realidade.

Em seguida está explicado como foram obtidas as variáveis estáticas para este trabalho:

- Áreas onde a expansão urbana não deve atingir. Essa variável conta com todos os corpos d'água de Curitiba, com as áreas de proteção ambiental das margens dos rios, as áreas de proteção de nascentes, de recuperação ambiental, áreas de preservação da vida silvestre, parques e bosques, etc. Com exceção dos corpos d'água, parques e bosques, os demais elementos presentes nessa evidência foram determinados com base nas seguintes leis da cidade de Curitiba: Lei 9800/2000; Lei 13027/2000; Decreto 193/2000; Decreto 1547/2009, Decreto 250/2004, Decreto 192/2000, Decreto 26/2015, Decreto 839/2015, Decreto 430/2018. Mesmo que esteja na legislação, algumas áreas que deveriam conter apenas vegetação, como as margens dos rios, possuem ocupações urbanas. Ainda assim, elas foram incluídas

como um local onde a expansão urbana não deve atingir, pois esta variável foi definida a partir da legislação vigente.

- Área Militar. As áreas militares de Curitiba também foram consideradas como locais onde a expansão urbana não deve atingir, elas foram delimitadas através do arquivo vetorial do zoneamento de Curitiba (TABELA 1).
- Distância para as ruas principais. Aqui foi calculada a distância para as seguintes ruas: Avenida Anita Garibaldi; Avenida Brasília; Avenida Comendador Franco; Avenida Juscelino Kubitschek de Oliveira; Avenida Marechal Floriano Peixoto; Avenida Manoel Ribas; Avenida Munhoz da Rocha; Avenida Silva Jardim; Avenida Victor Ferreira do Amaral; Avenida Visconde Guarapuava; Estrada da Ribeira - BR 476, entre outras. Estas ruas foram escolhidas com base na ordem hierárquica presente no arquivo vetorial “eixos de ruas”, foram consideradas as ruas de nível 1 e 2 na hierarquia. Espera-se que o crescimento urbano ocorra próximo às principais ruas.
- Distância para a classe “urbano” da paisagem inicial. Essa variável foi utilizada, pois espera-se que o avanço da área urbana se dê próximo às regiões já urbanizadas.
- Distância para a classe “água” da paisagem inicial. Esta variável foi empregada na modelagem das alterações que envolvem a classe “água”.
- Modelo Digital do Terreno (MDT). O MDT foi elaborado a partir das curvas de níveis disponibilizadas pelo IPPUC (TABELA 1). Este dado foi incluído como parte das variáveis estáticas para analisar a relação da altitude com as mudanças que envolvem a vegetação.
- Declividade. A partir do MDT foi gerado o modelo de declividade de Curitiba. Uma vez que se espera que as regiões com maior declive tenham uma quantidade menor de ocupação urbana.

- Zonas de Curitiba. O arquivo vetorial do zoneamento de Curitiba foi considerado uma evidência, pois o zoneamento estabelece o ordenamento do território, dividindo o município em zonas residenciais, industriais, de proteção ambiental, entre outros. E isto está intimamente ligado com o comportamento das mudanças que ocorrem na paisagem urbana.
- Zonas da Área de Proteção Ambiental (APA) do Iguaçu e da APA do Passaúna. Estas duas variáveis foram consideradas como complementares as Zonas de Curitiba. No zoneamento de Curitiba foram considerados apenas os limites destas duas áreas de preservação. No entanto, apesar de serem áreas de preservação ambiental, existem áreas de ocupação urbana dentro delas, que são orientadas por legislações do município.

Todas estas variáveis foram obtidas a partir de dados vetoriais (TABELA 1) fornecidos pelo IPPUC. Para serem utilizadas na modelagem, foram convertidos para *raster* com células de 30 metros, compatível com a resolução espacial das imagens *Landsat*.

3.2.4 Modelagem da Simulação da Paisagem

De posse das imagens classificadas e das variáveis estáticas foi possível dar início ao processo de modelagem da simulação da paisagem. Foram elaboradas quatro modelagens com dados de diferentes épocas, a fim de se chegar ao melhor conjunto de dados de entrada para a simulação da paisagem futura.

O primeiro modelo de simulação teve como paisagem inicial a imagem classificada do ano de 2006 e paisagem final a imagem de 2009. O segundo teve como paisagem inicial a imagem de 2009 e final a imagem de 2011. O terceiro modelo contou com a imagem de 2009 como paisagem inicial e a imagem de 2014 como paisagem final. O último modelo foi gerado a partir da imagem de 2011 como paisagem inicial e a imagem de 2014 como paisagem final.

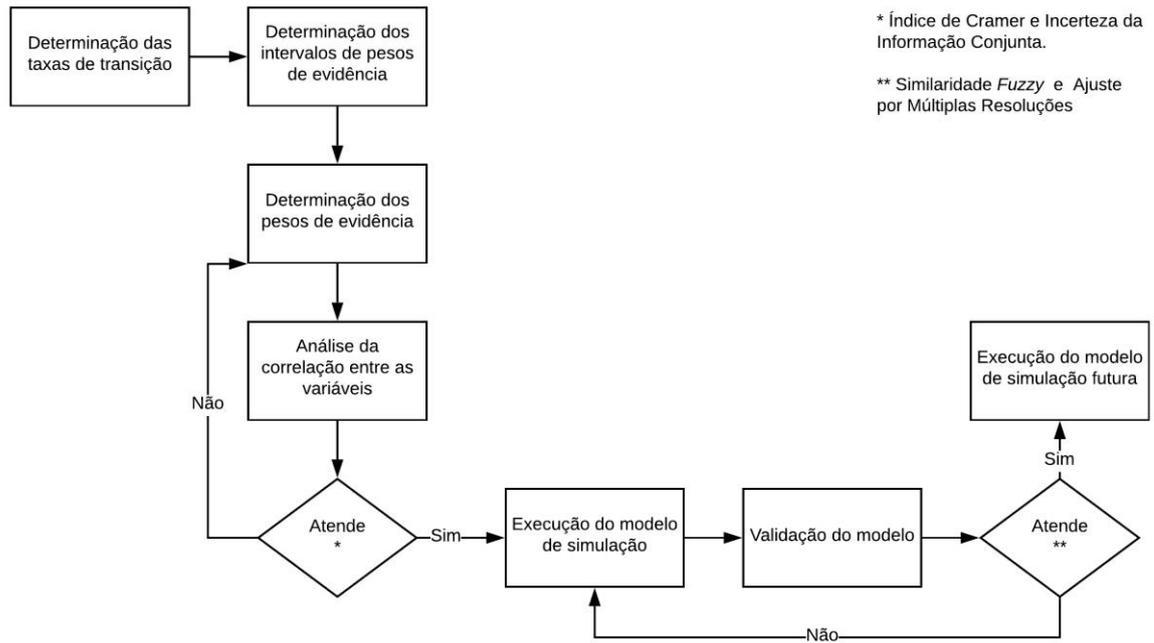
A modelagem, realizada no *software Dinamica EGO*, se deu através dos seguintes passos:

- Determinação das taxas de transição. As taxas de transição são obtidas através do cálculo da matriz de transição que descreve um sistema que muda em incrementos de tempos discretos, nos quais o valor de qualquer variável em um determinado período é a soma das porcentagens fixas de valores de todas as variáveis na etapa anterior. O *Dinamica EGO* calcula duas matrizes de transição, a primeira corresponde a um período de tempo representado como uma única etapa de tempo, a matriz de etapa única. A segunda matriz é a de etapa múltipla e ela corresponde a uma unidade de etapa do tempo (ano, mês, etc);
- Definição dos intervalos para os pesos de evidência. O segundo passo é o cálculo de intervalos para categorizar variáveis e posteriormente calcular os pesos de evidência. O método dos pesos de evidência só é aplicado à dados categorizados, como as classes do zoneamento, dados como a distância para as principais ruas, são contínuos, portanto devem ser definidos intervalos de distâncias para que estes dados se transformem em categóricos e seja possível calcular os pesos de evidência;
- Determinação dos pesos de evidência. Após a categorização dos dados contínuos, é possível calcular os pesos de evidência para as variáveis estáticas que estão relacionadas com as alterações que ocorreram nas paisagens;
- Análise da correlação entre as variáveis estáticas. Depois da determinação dos pesos de evidência, é necessário analisar a correlação entre as variáveis estáticas empregadas na modelagem. O *Dinamica EGO* realiza a análise entre as correlações através do de dois métodos, o índice de Cramer (V) e a Incerteza da Informação Conjunta (U). Segundo Bonham-Carter (1994) valores abaixo de 0,5, tanto para o índice de Cramer quanto para a Incerteza da Informação Conjunta indicam que as variáveis não possuem dependência, portanto podem ser utilizadas na modelagem. Caso os valores de V e U sejam superiores a 0,5, uma das variáveis dependentes deve ser eliminada;

- Execução do modelo de simulação da paisagem. Em seguida, o modelo de simulação da paisagem pode ser executado, aqui foram definidos os parâmetros dos *functores Expander* e *Patcher*. Os resultados desta etapa foram os mapas de simulação da paisagem e os mapas de probabilidade de transição. Foram utilizados os seguintes dados de entrada para o processo de modelagem: paisagem inicial; variáveis estáticas; pesos de evidência e as taxas de transição múltipla;
- Validação pelo método de similaridade *Fuzzy* (S). Após a execução do modelo é realizada a validação do modelo pelo método de similaridade *Fuzzy*. De acordo com Oliveira (2015), valores de S acima de 0,5 são aceitáveis indicando que o modelo possui uma boa adequação. A validação é realizada utilizando a paisagem final e a simulação para o período que a paisagem final representa;
- Validação pelo método de similaridade Ajuste por Múltiplas Resoluções (F). A seguir é executado o segundo método de validação, aqui a validação também é realizada utilizando a paisagem final e a simulação para o período que a paisagem final representa. De acordo com Oliveira (2015), valores de F acima de 0,8 indicam uma boa adequação do modelo;
- Execução da simulação da paisagem futura. Se o modelo não atender os critérios de validação ele deve ser ajustado, caso contrário é possível realizar as simulações futuras e se as tendências do passado se mantiverem no futuro a simulação da dinâmica da paisagem tenderá ser fidedigna a realidade que está por vir.

A FIGURA 12 apresenta um fluxograma simplificado de como se deu o processo de modelagem de simulação da paisagem.

FIGURA 12 – FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE MODELAGEM



FONTE: A Autora (2019).

4 RESULTADOS E ANÁLISES

Este capítulo irá tratar dos resultados obtidos, bem como da análise dos mesmos.

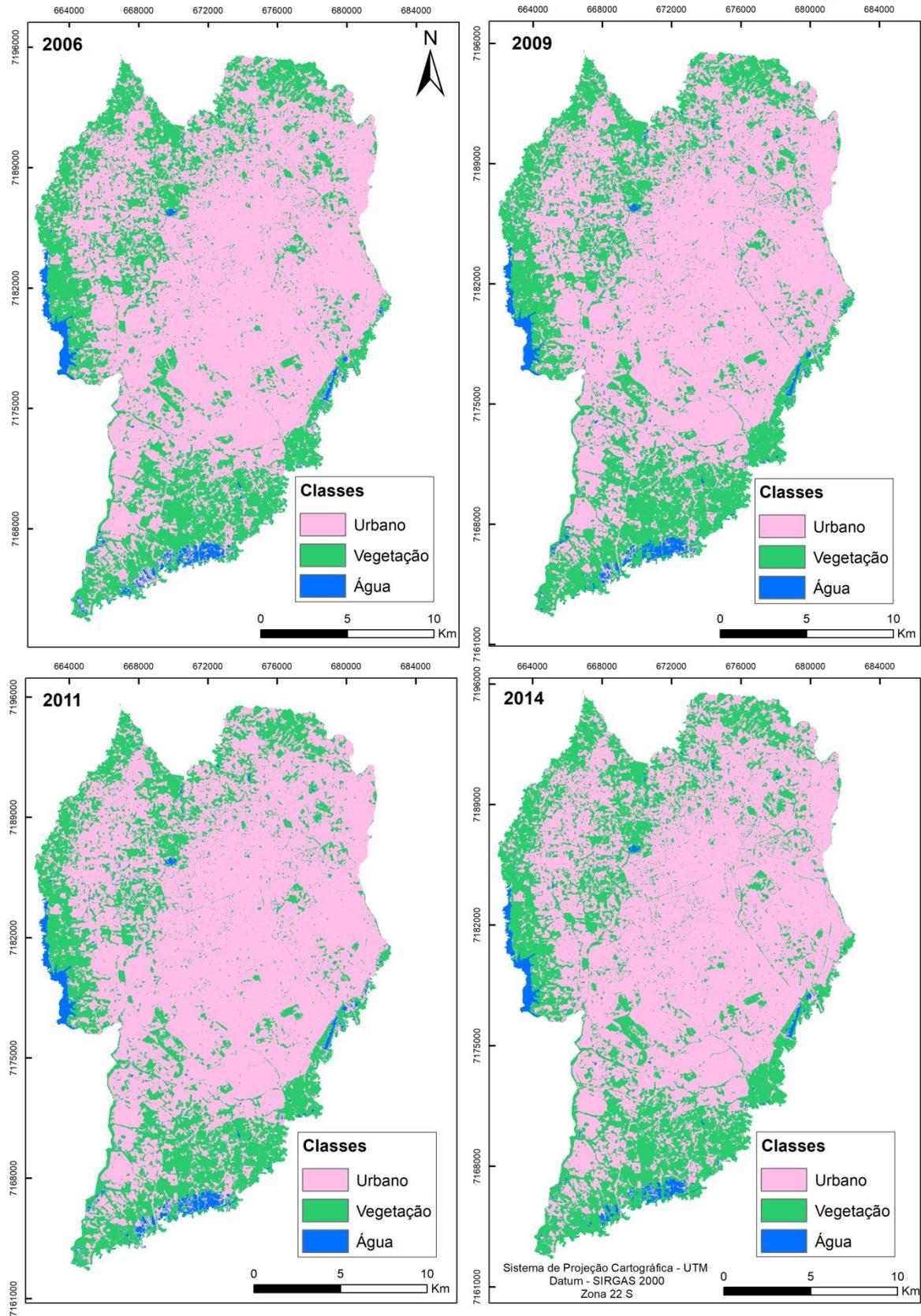
4.1 MAPAS DE COBERTURA DO SOLO

Foram classificadas quatro imagens da cidade de Curitiba, pelo método de árvore de decisão, estas imagens classificadas foram empregadas nos modelos de simulação da paisagem. A FIGURA 13 apresenta os quatro mapas de cobertura do solo elaborados.

A classe denominada “urbano” engloba todos os tipos de construção urbana, asfalto e solo exposto. A classe “vegetação” conta com todas as coberturas vegetais da cidade, sejam elas maciços florestais ou grama. Já a classe “água” representa todos os tipos de corpos d’água do município.

Ocorreram algumas confusões durante a classificação por árvore de decisão, principalmente entre as classes “água” e “urbano”. O índice NDBI, empregado na classificação das áreas urbanas, possui valores similares ao índice MNDWI, utilizado para classificar os corpos d’água, em algumas regiões específicas, como em superfícies de água rasa e regiões densamente urbanizadas. Por isso, estes dois elementos da paisagem foram classificados de forma errônea em alguns pontos.

FIGURA 13 – IMAGENS DE CURITIBA CLASSIFICADAS



FONTE: A Autora (2019).

4.2 MODELAGENS REALIZADAS

Como foi dito anteriormente, foram realizadas quatro modelagens, com diferentes dados de entrada. Estas quatro modelagens foram elaboradas com a finalidade de se chegar ao conjunto de dados que produzisse a melhor modelagem da simulação da paisagem. A escolha do melhor modelo se deu a partir da análise da similaridade calculada através do método de Ajuste por Múltiplas Resoluções. A TABELA 2 e o GRÁFICO 2 apresentam os resultados obtidos através do cálculo da similaridade pelo método de Ajuste por Múltiplas Resoluções (F).

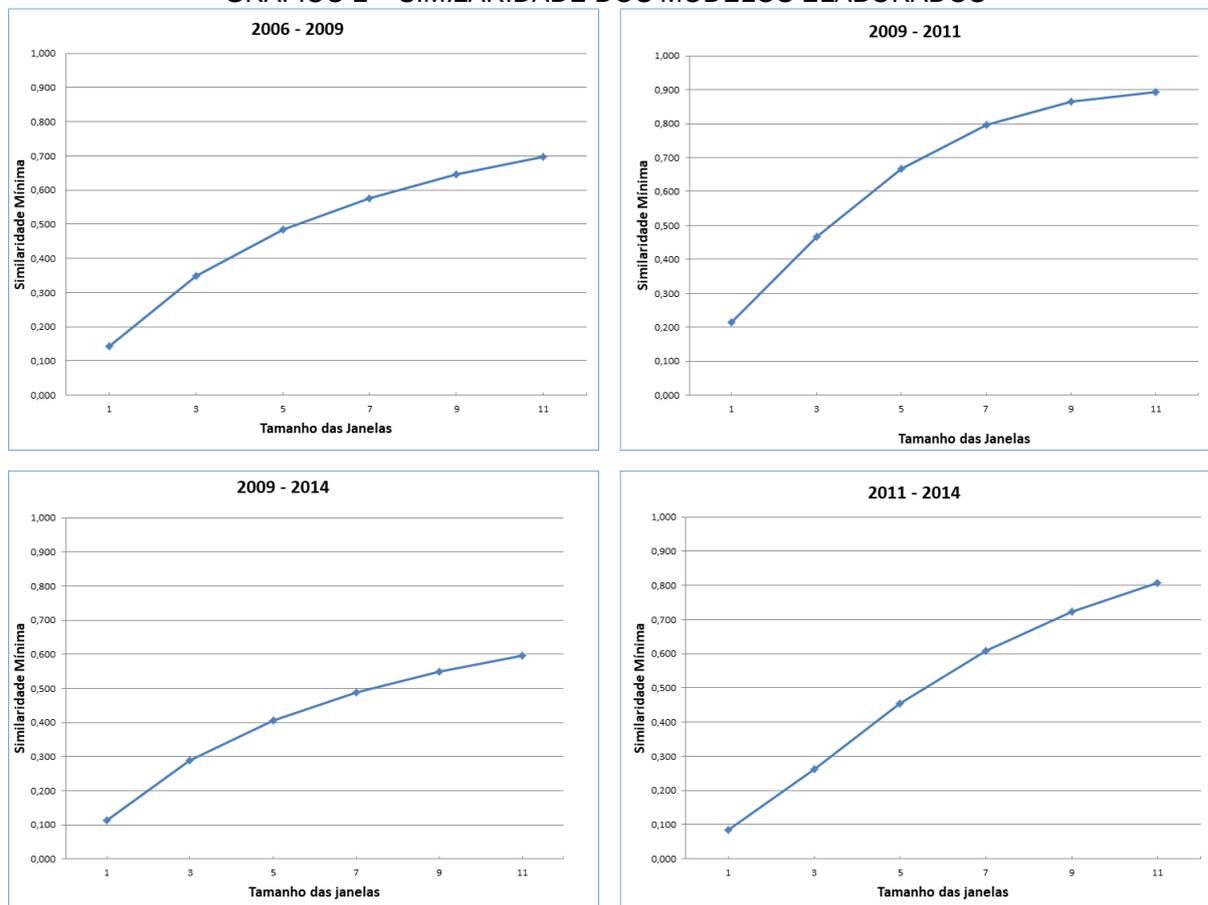
TABELA 2 – SIMILARIDADE DOS MODELOS ELABORADOS

2006 - 2009		
Tamanho das janelas	Similaridade Mínima	Similaridade Máxima
1	0,143	0,156
3	0,349	0,350
5	0,485	0,532
7	0,577	0,674
9	0,645	0,777
11	0,698	0,845
2009 - 2011		
Tamanho das janelas	Similaridade Mínima	Similaridade Máxima
1	0,219	0,231
3	0,486	0,556
5	0,682	0,722
7	0,805	0,809
9	0,855	0,884
11	0,888	0,928
2009 - 2014		
Tamanho das janelas	Similaridade Mínima	Similaridade Máxima
1	0,113	0,185
3	0,288	0,425
5	0,405	0,634
7	0,489	0,780
9	0,549	0,866
11	0,596	0,917

2011 – 2014		
Tamanho das janelas	Similaridade Mínima	Similaridade Máxima
1	0,086	0,087
3	0,263	0,401
5	0,453	0,701
7	0,608	0,856
9	0,724	0,919
11	0,806	0,946

FONTE: A autora (2019).

GRÁFICO 2 – SIMILARIDADE DOS MODELOS ELABORADOS



FONTE: A Autora (2019).

OLIVEIRA (2015) afirma que valores de F mínimo acima de 0,8 são considerados aceitáveis, o que significa que a simulação ficou similar à realidade. Observando o GRÁFICO 2 e a TABELA 2 é possível notar que existem diferentes graus de similaridades entre a paisagem real e a paisagem simulada. Dentre os

diferentes modelos elaborados, dois atenderam o critério de F acima de 0,8, sendo eles o modelo elaborado com dados de 2009 e 2011, e o modelo elaborado com dados de 2011 e 2014. Entretanto o modelo que utilizou as imagens de 2009 e 2011 teve um valor de F superior.

O modelo com a menor adequação foi aquele gerado com imagens de 2009 e 2014, enquanto que o segundo menos adequado foi modelo que utilizou os dados de 2006 e 2009.

Essas diferenças na qualidade das modelagens podem ser explicadas por Forrester (1969 citado por ALMEIDA, 2004), o autor diz que o período de simulação deve ser curto o suficiente para não influenciar o comportamento do modelo e que se for considerar a Teoria da Bifurcação, segundo a qual pequenas mudanças no conjunto de variáveis do sistema podem levar a trajetórias significativamente distintas de comportamento do mesmo. A maior parte dos modelos urbanos dinâmicos com cinco anos ou mais, são inadequados para modelar a dinâmica urbana.

Tendo isso em vista, é possível associar o resultado da pior modelagem (2009 – 2014), com o fato de ela possuir um intervalo de cinco anos entre a paisagem inicial e a final. Sendo este o maior intervalo de anos dentre as quatro modelagens. Relacionando o intervalo de anos utilizados nos modelos com sua qualidade, é compreensível que o melhor modelo tenha sido aquele que faz uso dos dados de 2009 e 2011.

Vale ressaltar que as análises foram realizadas tendo como base a similaridade mínima, ainda que a diferença entre as duas seja pequena, é mais seguro se basear na similaridade mínima em vez da máxima.

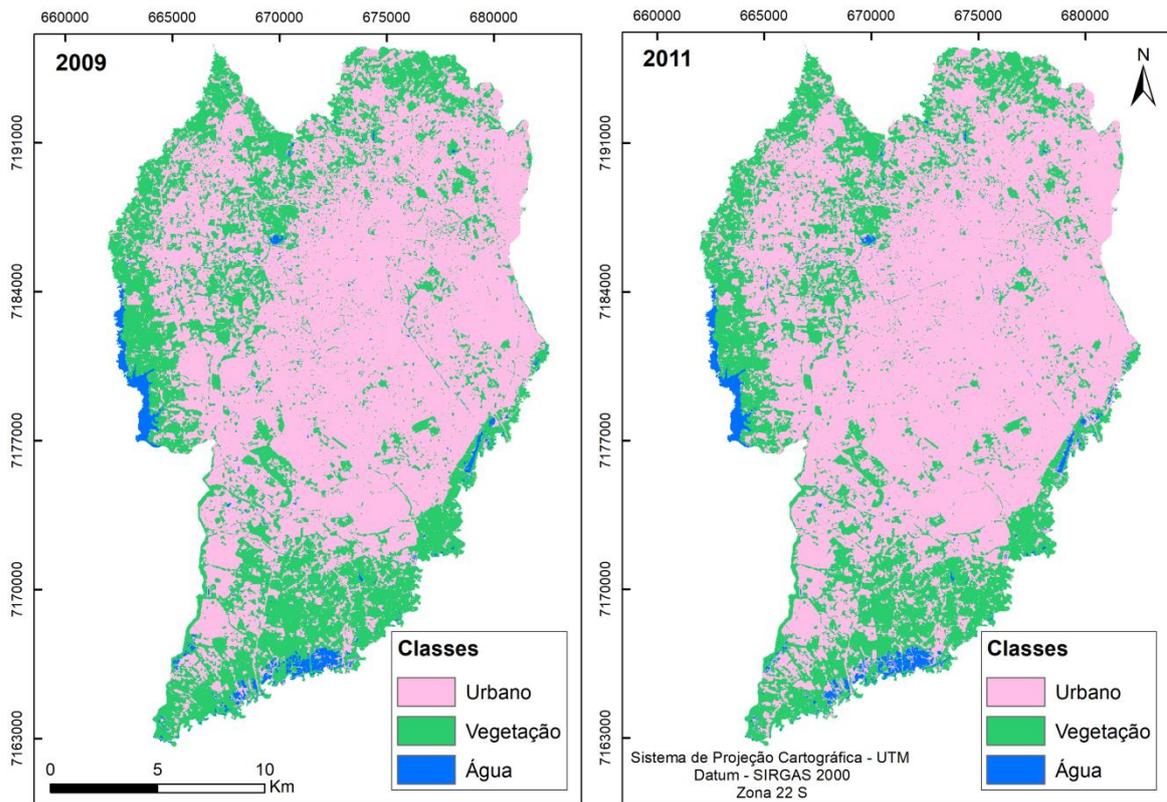
Com base na análise da similaridade pelo método de Ajuste por Múltiplas Resoluções concluiu-se que o modelo utilizando as imagens de 2009 e 2011 foi o mais adequado, portanto este foi empregado no processo de simulação da paisagem futura. É a respeito dele que os próximos tópicos irão abordar.

4.3 MODELAGEM ELABORADA COM DADOS DE 2009 E 2011

A análise da similaridade pelo método de Ajuste por Múltiplas Resoluções mostrou que o modelo elaborado com as imagens classificadas do ano de 2009 e 2011 produziu o melhor resultado.

A FIGURA 14 apresenta as imagens classificadas utilizadas como dados de entrada, sendo 2009 a paisagem inicial e 2011 a paisagem final. A TABELA 3 exibe uma comparação entre os valores de área das classes de ambas as imagens.

FIGURA 14 – PAISAGEM INICIAL E FINAL



FONTE: A Autora (2019).

TABELA 3 – ÁREA DAS CLASSES DA PAISAGEM INICIAL E FINAL

Classe	Área (ha)	
	2009	2011
Urbano	28292,49	29959,20
Vegetação	14340,78	12712,05
Água	847,44	808,38

FONTE: A autora (2019).

As alterações ocorridas entre estes dois períodos é mais perceptível através da comparação de áreas presente na TABELA 3. Nela é possível notar que a área

urbana de Curitiba era menor em 2009, quando comparada com a área de 2011. Enquanto que a área de “vegetação” era maior em 2009, se comparado com a “vegetação” de 2011.

A diferença entre os valores de área da classe “água” nos dois períodos analisados se devem, muito provavelmente, pelos problemas de classificação citados na seção 4.1 e por processos de seca e cheia que ocorre em uma porção específica do território de Curitiba. Mas isto está descrito com mais detalhes no próximo tópico.

4.3.1 Taxas de transição

Foram calculadas dois tipos de taxa de transição, a única e a múltipla. A TABELA 4 apresenta os resultados da transição única enquanto que a TABELA 5 exhibe os resultados da transição múltipla.

TABELA 4 – TRANSIÇÃO ÚNICA

De	Para	Taxa (%)
Urbano	Vegetação	2,67
Urbano	Água	0,31
Vegetação	Urbano	16,56
Vegetação	Água	0,49
Água	Urbano	15,82
Água	Vegetação	7,34

FONTE: A autora (2019).

TABELA 5 – TRANSIÇÃO MÚLTIPLA

De	Para	Taxa (%)
Urbano	Vegetação	1,40
Urbano	Água	0,16
Vegetação	Urbano	8,73
Vegetação	Água	0,27
Água	Urbano	8,31
Água	Vegetação	4,04

FONTE: A autora (2019).

A transição única considera todas as alterações que ocorreram no período de simulação (2009 a 2011). A transição múltipla considera as alterações que ocorreram no período de um ano. Esta última que fez parte do processo de modelagem.

Observando a TABELA 5, nota-se que a maior alteração foi a transição de “vegetação” para “urbano”. Intuitivamente falando, esta parece ser a alteração mais razoável de ocorrer em uma cidade que está crescendo.

A segunda maior taxa de transição foi a mudança de “água” para “urbano”, esta alteração ocorre devido a dois principais fatores. O primeiro é a confusão que ocorre entre corpos d’água e áreas urbanas na classificação de imagens, como já foi dito anteriormente. A segunda causa está relacionada com uma porção específica do território de Curitiba, localizado na região sudeste onde alguns corpos d’água passam por diversas modificações ao longo do tempo, tendo períodos de seca e de cheia, quando estas massas d’água passam por períodos de seca, o solo exposto é então classificado como “urbano”. Mas esta é uma alteração que pode ser modelada, não causando grandes prejuízos à modelagem final.

As demais alterações são causadas principalmente pelas dificuldades envolvidas na classificação de imagens de paisagens urbanas, como a transição de “urbano” para “vegetação” que muito provavelmente é causada pelo fato de solo exposto estar classificado como “urbano”. Se em uma determinada época em numa porção de território possuir solo exposto, este será classificado como “urbano”, mas se no próximo período esta porção de solo exposto possuir algum tipo de cobertura vegetal, então será classificado como “vegetação”. Esta é uma mudança que ocorre

naturalmente na paisagem, no entanto ela não possui uma natureza previsível como no caso da alteração que ocorre de “vegetação” para “urbano”.

4.3.2 Pesos de evidência

Após a determinação das taxas de transição, é realizada a categorização de dados contínuos. Esta etapa se caracteriza pela atribuição de intervalos de valores aos dados contínuos, que serão analisados em conjunto com os coeficientes de pesos de evidência.

A TABELA 6 mostra a notação para cada uma das variáveis empregadas na modelagem.

TABELA 6 – NOTAÇÃO DAS VARIÁVEIS

Notação	Variáveis de Mudança Física
distance_to_1	Distância para classe urbano da paisagem inicial (2009)
distance_to_3	Distância para classe água da paisagem inicial (2009)
dist_militar	Distância para as áreas militares de Curitiba
dist_preservacao	Distância para as áreas de preservação, corpos d’água, parques e bosques de Curitiba
dist_ruas_principais	Distância para as principais ruas de Curitiba
mdt	Modelo Digital do Terreno de Curitiba
slope	Declividade de Curitiba
zoneamento	Zonas advindas do zoneamento de Curitiba
zonas_iguacu	Zonas da APA do Iguaçu
zonas_passauna	Zonas da APA do Passaúna

FONTE: A autora (2019).

A TABELA 7 exhibe quais variáveis foram utilizadas para modelar cada transição.

TABELA 7 – VARIÁVEIS EMPREGADAS EM CADA TRANSIÇÃO

Transições	Variáveis
Urbano para Vegetação	dist_militar dist_preservacao mdt slope zonas_iguacu zonas_passauna
Urbano para Água	distance_to_3 dist_ruas_principais zonas_iguacu zonas_passauna zoneamento
Vegetação para Urbano	distance_to_1 dist_preservacao dist_ruas_principais slope zoneamento zonas_iguacu zonas_passauna
Vegetação para Água	slope zoneamento zonas_iguacu zonas_passauna
Água para Urbano	zoneamento zonas_iguacu zonas_passauna
Água para Vegetação	dist_militar zonas_iguacu zoneamento

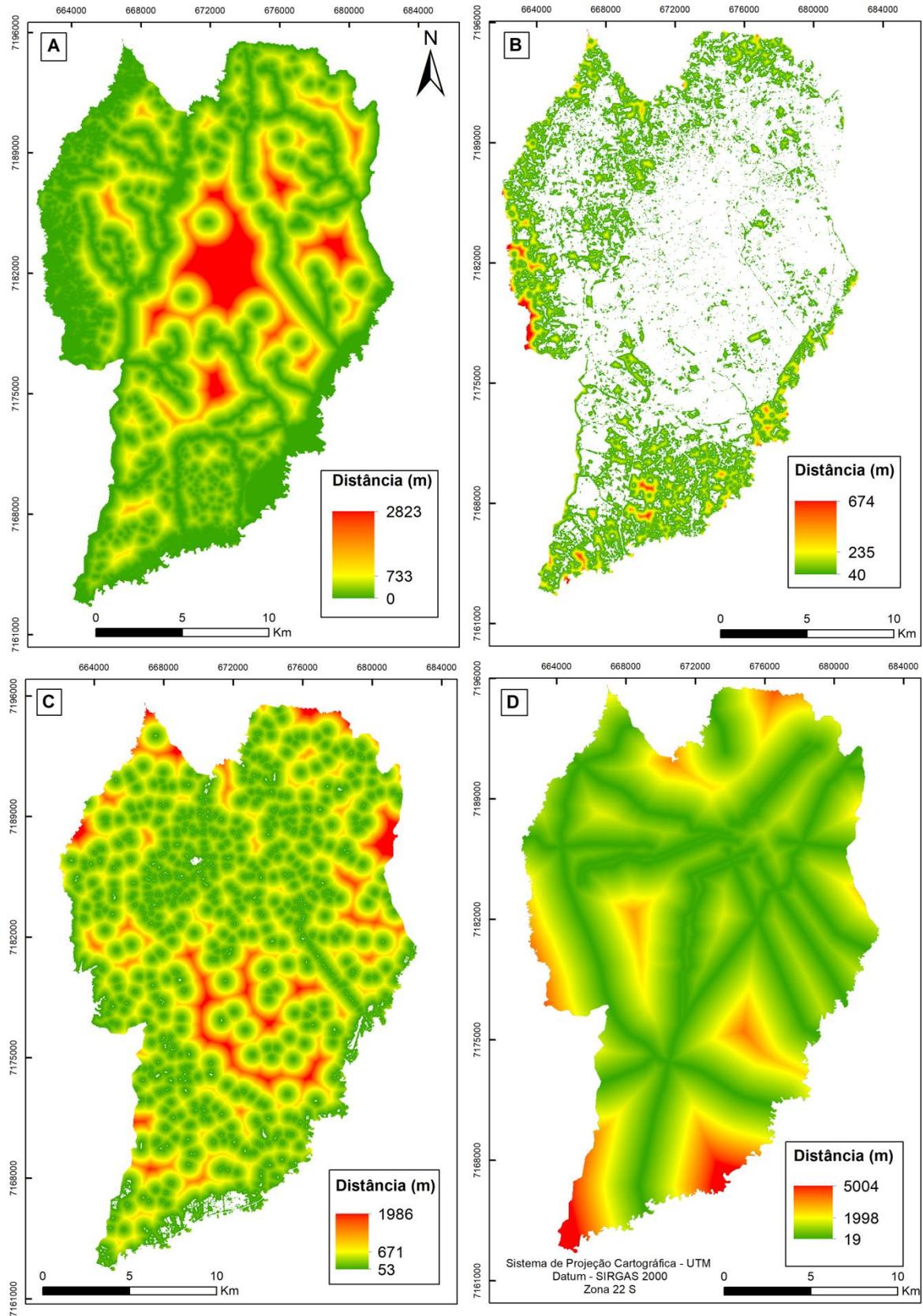
FONTE: A autora (2019).

As escolhas das variáveis para explicar cada alteração foram em parte intuitivas, existem algumas bases teóricas para a escolha das variáveis (seção 3.2.3), mas na prática são empregadas aquelas variáveis que melhor se adequam

para modelar cada tipo de transição e isto está relacionado com os valores dos pesos de evidência.

A FIGURA 15 mostra algumas das variáveis estáticas utilizadas na modelagem. A figura A representa a variável “dist_preservacao”, a figura B corresponde a variável “distance_to_1”, a figura C representa a variável “distance_to_3” e por último, a figura D corresponde a variável “dist_ruas_principais”.

FIGURA 15 – ALGUMAS DAS VARIÁVEIS ESTÁTICAS UTILIZADAS



FONTE: A Autora (2019).

Devido ao grande volume de variáveis e transições, os pesos de evidência de todas as variáveis e transições estão no ANEXO 1 deste trabalho, para fins de análise foram escolhidas algumas variáveis e seus pesos de evidência.

A TABELA 8 mostra como se comportou os pesos de evidência da variável “distância para a área urbana” para a transição de “vegetação” para “urbano”.

TABELA 8 – VARIÁVEL “DISTÂNCIA PARA ÁREA URBANA” PARA A TRANSIÇÃO DE “VEGETAÇÃO” PARA “URBANO”

Variável: Distância para área urbana		
Intervalo (m)	Pesos de Evidência	Contraste
0 : 60	0,728	1,889
60 : 120	-0,992	-1,305
120 : 780	-1,489	-1,709

FONTE: A autora (2019).

A primeira coluna da TABELA 8 corresponde aos intervalos utilizados para categorizar este dado contínuo, a segunda mostra os coeficientes obtidos e última mostra a medida de contraste. A primeira faixa de valores mostra uma associação positiva entre a variável “distância para a área urbana” e a alteração de “vegetação” para “urbano”, ao contrário das últimas faixas que indicam uma associação negativa, repelindo este tipo de alteração nas regiões mais distantes da área urbana da paisagem inicial (2009). O contraste mede o efeito de associação / repulsão, quanto maior o valor positivo, maior é a atração e quanto menor e negativo maior é a repulsão. Em suma, estes resultados indicam que as regiões próximas a área urbana existente são as mais propensas para que ocorra a expansão urbana, enquanto que as regiões mais afastadas da área urbana existente são as menos prováveis de ocorrerem ocupações urbanas.

Outra variável empregada para a modelagem da transição de “vegetação” para “urbano” é a “distância para as ruas principais”, como mostra a TABELA 9.

TABELA 9 – VARIÁVEL “DISTÂNCIA PARA AS RUAS PRINCIPAIS” PARA A TRANSIÇÃO DE “VEGETAÇÃO” PARA “URBANO”

Variável: Distância para as ruas principais		
Intervalo (m)	Pesos de Evidência	Contraste
0 : 60	0,792	0,821
60 : 120	0,477	0,494
120 : 360	0,277	0,319
360 : 600	0,090	0,102
600 : 2580	-0,093	-0,221
2580 : 2640	-0,462	-0,465
2640 : 5340	-0,376	-0,413

FONTE: A autora (2019).

Observando a TABELA 9, também é possível notar que as primeiras faixas mostram uma associação positiva entre a variável e a transição, enquanto que as últimas faixas mostram uma tendência de repulsão da transição em questão. A análise destes valores indica que as regiões mais próximas das ruas principais estão mais propensas à ocorrência de expansão urbana, enquanto que o contrário ocorre nas regiões mais afastadas das ruas principais.

Outra variável utilizada na modelagem foi a zoneamento da APA do Passaúna, conforme mostra a TABELA 10.

TABELA 10 – VARIÁVEL “ZONEAMENTO APA DO PASSAÚNA” PARA A TRANSIÇÃO DE “VEGETAÇÃO” PARA “URBANO”

Variável: Zoneamento APA do Passaúna		
Zonas	Pesos de Evidência	Contraste
ZONA ESPECIAL DE SERVIÇOS	0,783	0,810
ZONA DE URBANIZAÇÃO CONSOLIDADA 2	1,234	1,397
ZONA DE RECUPERAÇÃO AMBIENTAL	0,000	0,000
ZONA DE PROTEÇÃO DA REPRESA	-1,077	-1,108
ZONA DE PRESERVAÇÃO DE FUNDO DE VALE	-0,850	-1,023
ZONA DE PARQUES	-0,906	-0,923
ZONA DE OCUPÇÃO ORIENTADA	0,401	0,727
ZONA DE CONSERVAÇÃO DA VIDA SILVESTRE	-1,138	-1,289
ZONA DA REPRESA	-0,798	-0,809
ZONA ESPECIAL DE INDÚSTRIA - CIC	-0,616	-0,627

FONTE: A autora (2019).

Observando a TABELA 10 nota-se a associação positiva com as zonas de ocupação e de serviços e uma repulsão em relação às zonas de preservação ambiental, da represa e dos parques.

Os demais coeficientes de pesos de evidência estão no ANEXO 1.

4.3.3 Correlação das variáveis

A aplicação do método dos pesos de evidência exige que não exista dependência entre as variáveis empregadas na modelagem, para avaliar a correlação entre as variáveis algumas medidas podem ser aplicadas, como o índice de Cramer (V) e a Incerteza da Informação conjunta (U). De acordo com BONHAM-CARTER (1994) valores de V e U menores que 0,5 indicam pouca dependência entre as variáveis. A TABELA 11 mostra os valores de U e V para as variáveis empregadas neste trabalho.

TABELA 11 – CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS

Transição de	Transição para	Primeira variável	Segunda variável	Índice Cramer	Incerteza Conjunta
Urbano	Vegetação	distance_to_1	dist_militar	0,000	0,000
Urbano	Vegetação	distance_to_1	dist_preservacao	0,000	0,000
Urbano	Vegetação	distance_to_1	dist_ruas_principais	0,000	0,000
Urbano	Vegetação	distance_to_1	mdt	0,000	0,000
Urbano	Vegetação	distance_to_1	slope	0,000	0,000
Urbano	Vegetação	distance_to_1	zonas_iguacu	0,000	0,000
Urbano	Vegetação	distance_to_1	zonas_passauna	0,000	0,000
Urbano	Vegetação	dist_militar	dist_preservacao	0,126	0,043
Urbano	Vegetação	dist_militar	dist_ruas_principais	0,120	0,033
Urbano	Vegetação	dist_militar	mdt	0,222	0,076
Urbano	Vegetação	dist_militar	slope	0,080	0,018
Urbano	Vegetação	dist_militar	zonas_iguacu	0,411	0,405
Urbano	Vegetação	dist_militar	zonas_passauna	0,189	0,110
Urbano	Vegetação	dist_preservacao	dist_ruas_principais	0,097	0,024
Urbano	Vegetação	dist_preservacao	mdt	0,178	0,053
Urbano	Vegetação	dist_preservacao	slope	0,098	0,024
Urbano	Vegetação	dist_preservacao	zonas_iguacu	0,278	0,233

Urbano	Vegetação	dist_preservacao	zonas_passauna	0,429	0,410
Urbano	Vegetação	dist_ruas_principais	mdt	0,197	0,036
Urbano	Vegetação	dist_ruas_principais	slope	0,059	0,010
Urbano	Vegetação	dist_ruas_principais	zonas_iguacu	0,242	0,122
Urbano	Vegetação	dist_ruas_principais	zonas_passauna	0,306	0,183
Urbano	Vegetação	mdt	slope	0,201	0,080
Urbano	Vegetação	mdt	zonas_iguacu	0,388	0,223
Urbano	Vegetação	mdt	zonas_passauna	0,475	0,300
Urbano	Vegetação	slope	zonas_iguacu	0,134	0,041
Urbano	Vegetação	slope	zonas_passauna	0,311	0,148
Urbano	Vegetação	zonas_iguacu	zonas_passauna	0,000	0,000
Urbano	Água	distance_to_3	distance_to_1	0,000	0,000
Urbano	Água	distance_to_3	dist_ruas_principais	0,067	0,010
Urbano	Água	distance_to_3	zonas_iguacu	0,170	0,056
Urbano	Água	distance_to_3	zonas_passauna	0,231	0,068
Urbano	Água	distance_to_3	zoneamento	0,105	0,031
Urbano	Água	distance_to_1	dist_ruas_principais	0,000	0,000
Urbano	Água	distance_to_1	zonas_iguacu	0,000	0,000
Urbano	Água	distance_to_1	zonas_passauna	0,000	0,000
Urbano	Água	distance_to_1	zoneamento	0,000	0,000
Urbano	Água	dist_ruas_principais	zonas_iguacu	0,156	0,070
Urbano	Água	dist_ruas_principais	zonas_passauna	0,156	0,046
Urbano	Água	dist_ruas_principais	zoneamento	0,244	0,096
Urbano	Água	zonas_iguacu	zonas_passauna	0,000	0,000
Urbano	Água	zonas_iguacu	zoneamento	0,076	0,014
Urbano	Água	zonas_passauna	zoneamento	0,018	0,001
Vegetação	Urbano	distance_to_1	dist_preservacao	0,198	0,035
Vegetação	Urbano	distance_to_1	dist_ruas_principais	0,178	0,030
Vegetação	Urbano	distance_to_1	slope	0,142	0,014
Vegetação	Urbano	distance_to_1	zonas_iguacu	0,135	0,015
Vegetação	Urbano	distance_to_1	zonas_passauna	0,337	0,080
Vegetação	Urbano	distance_to_1	zoneamento	0,297	0,054
Vegetação	Urbano	dist_preservacao	dist_ruas_principais	0,093	0,023
Vegetação	Urbano	dist_preservacao	slope	0,108	0,026
Vegetação	Urbano	dist_preservacao	zonas_iguacu	0,288	0,217

Vegetação	Urbano	dist_preservacao	zonas_passauna	0,430	0,240
Vegetação	Urbano	dist_preservacao	zoneamento	0,301	0,131
Vegetação	Urbano	dist_ruas_principais	slope	0,060	0,009
Vegetação	Urbano	dist_ruas_principais	zonas_iguacu	0,221	0,133
Vegetação	Urbano	dist_ruas_principais	zonas_passauna	0,323	0,143
Vegetação	Urbano	dist_ruas_principais	zoneamento	0,281	0,126
Vegetação	Urbano	slope	zonas_iguacu	0,136	0,042
Vegetação	Urbano	slope	zonas_passauna	0,295	0,146
Vegetação	Urbano	slope	zoneamento	0,155	0,060
Vegetação	Urbano	zonas_iguacu	zonas_passauna	0,000	0,000
Vegetação	Urbano	zonas_iguacu	zoneamento	0,076	0,014
Vegetação	Urbano	zonas_passauna	zoneamento	0,018	0,001
Vegetação	Água	slope	zonas_iguacu	0,152	0,043
Vegetação	Água	slope	zonas_passauna	0,355	0,156
Vegetação	Água	slope	zoneamento	0,216	0,057
Vegetação	Água	zonas_iguacu	zonas_passauna	0,000	0,000
Vegetação	Água	zonas_iguacu	zoneamento	0,076	0,014
Vegetação	Água	zonas_passauna	zoneamento	0,018	0,001
Água	Urbano	distance_to_3	zonas_iguacu	0,000	0,000
Água	Urbano	distance_to_3	zonas_passauna	0,000	0,000
Água	Urbano	distance_to_3	zoneamento	0,000	0,000
Água	Urbano	zonas_iguacu	zonas_passauna	0,000	0,000
Água	Urbano	zonas_iguacu	zoneamento	0,076	0,014
Água	Urbano	zonas_passauna	zoneamento	0,018	0,001
Água	Vegetação	dist_militar	zonas_iguacu	0,500	0,303
Água	Vegetação	dist_militar	zoneamento	0,187	0,176
Água	Vegetação	zonas_iguacu	zoneamento	0,076	0,014

FONTE: A autora (2019).

A TABELA 11 indica que nenhuma das variáveis superou os limites de V e U estabelecidos, indicando que as evidencias não são dependentes entre si e que podem ser utilizadas na modelagem.

4.3.4 Modelagem da simulação da paisagem

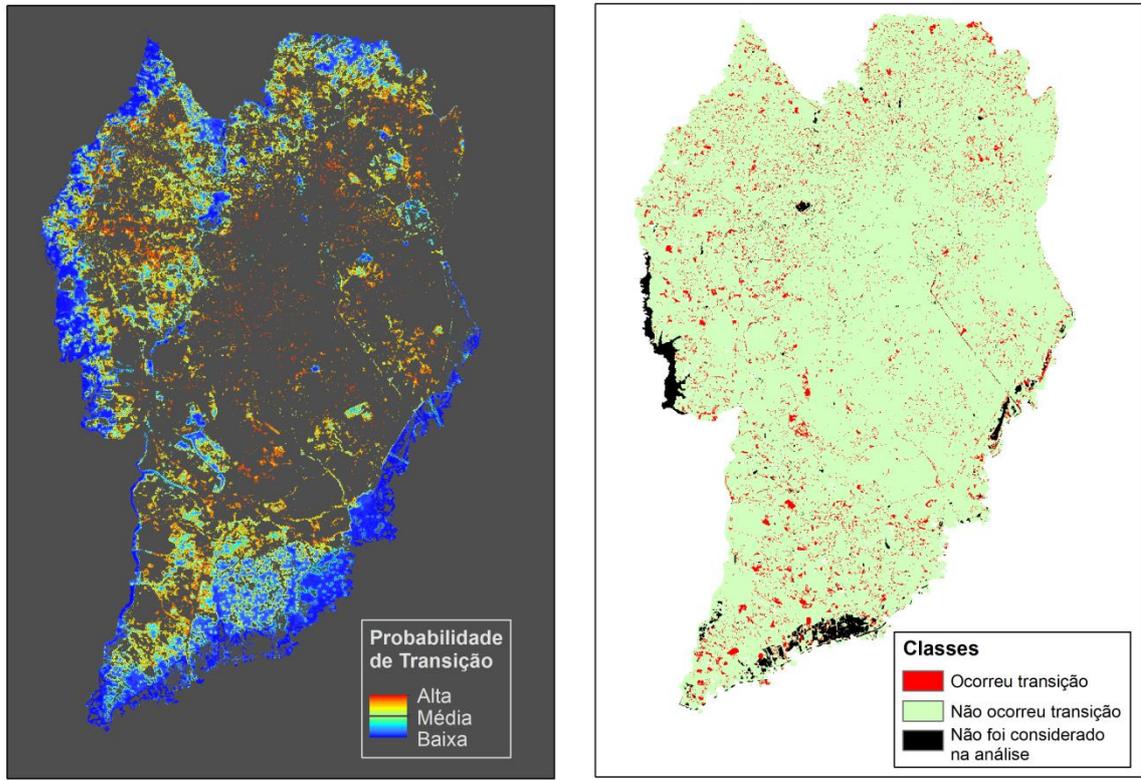
Como foi dito anteriormente, o modelo de simulação da paisagem implementado no *Dinamica EGO*, além das paisagens de simulação, gera mapas de probabilidade de transição para cada uma das transições existentes entre a paisagem final e inicial. Estes mapas de probabilidade têm como base as variáveis estáticas e indicam quais são as regiões mais propensas a sofrer mudança. Por meio deles é possível analisar a adequação das variáveis para a modelagem das alterações.

A seguir estão apresentados dois destes mapas de probabilidade de transição. A FIGURA 16 apresenta a comparação entre o mapa de probabilidade de transição de “vegetação” para “urbano” e o mapa das transições que realmente aconteceram envolvendo estas duas classes, onde a cor vermelha representa as mudanças de “vegetação” para “urbano”, em verde estão representadas as classes “urbano” e “vegetação” que não sofreram nenhum tipo de alteração e em preto está representada a classe “água” e as demais transições que não fazem parte desta análise.

Já a FIGURA 17 mostra a comparação entre o mapa de probabilidade de transição da classe “água” para a classe “urbano” e as transições que ocorreram entre estas duas classes na realidade, onde a cor vermelha representa as mudanças de “água” para “urbano”, em verde estão representadas as classes “urbano” e “água” que não sofreram nenhum tipo de alteração e em preto está representada a classe “vegetação” e as demais transições que não fazem parte desta análise.

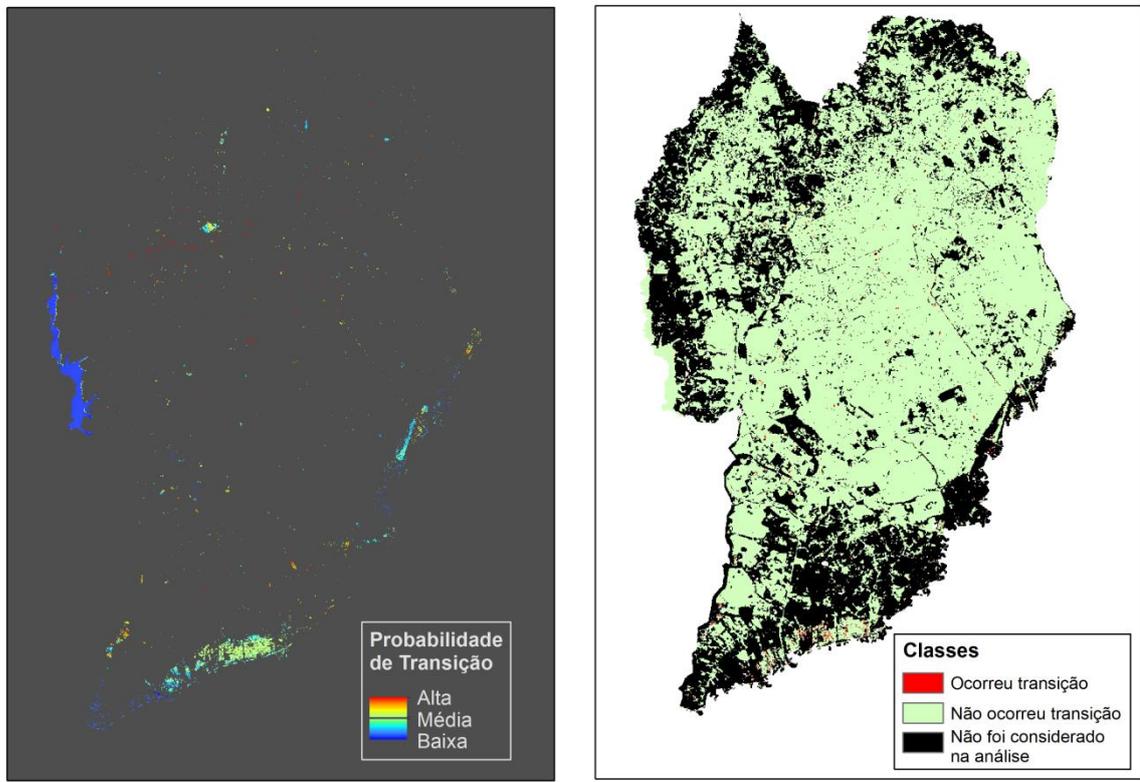
Foi escolhido apresentar estes mapas, pois estas são as duas maiores transições que ocorreram.

FIGURA 16 – PROBABILIDADE DE TRANSIÇÃO DE “VEGETAÇÃO” PARA “URBANO” E AS TRANSIÇÕES QUE REALMENTE OCORRERAM



FONTE: A Autora (2019).

FIGURA 17 – PROBABILIDADE DE TRANSIÇÃO DE “ÁGUA” PARA “URBANO” E AS TRANSIÇÕES QUE REALMENTE OCORRERAM



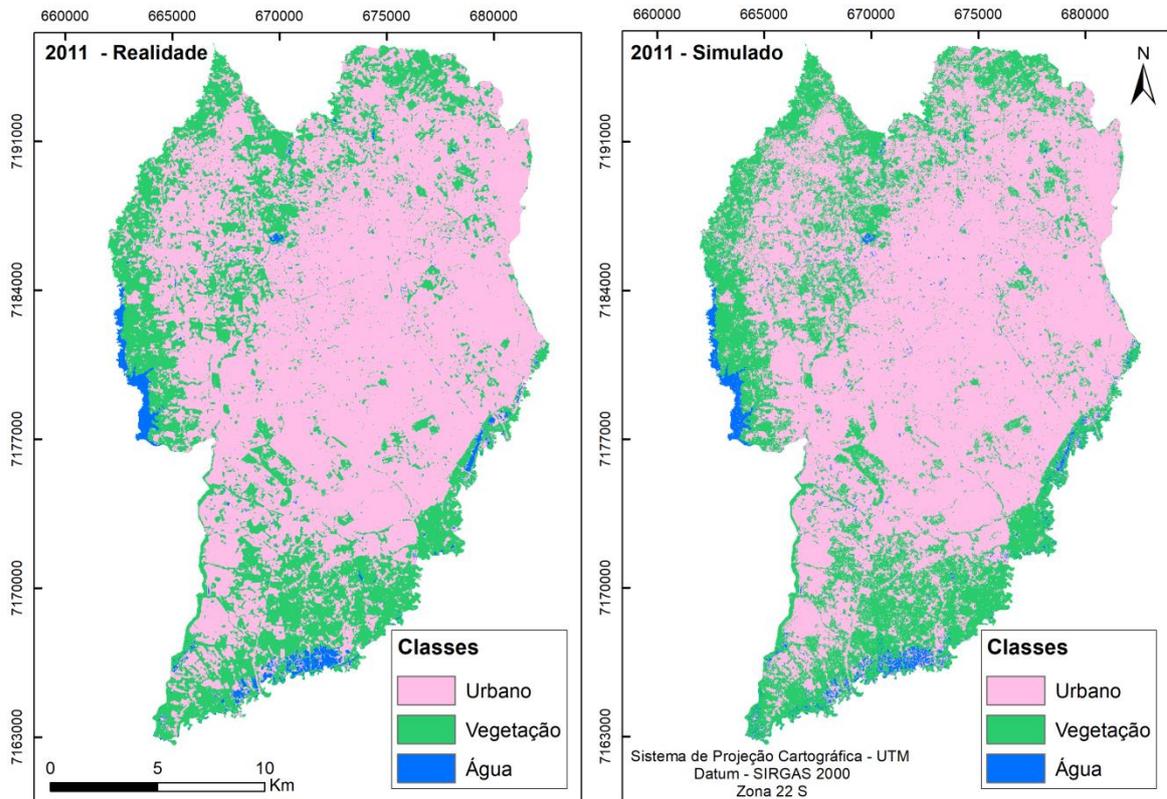
FONTE: A Autora (2019).

Ao observar a FIGURA 16 e a FIGURA 17 nota-se a habilidade da modelagem no *Dinamica EGO* em produzir mapas de probabilidade que detectam as áreas de mudança. Mesmo que a segunda maior taxa de transição seja a alteração de “água” para “urbano”, as variáveis estáticas e o ajuste dos parâmetros internos de modelagem do *Dinamica EGO* resultaram em uma modelagem satisfatória desta transição, como mostra a FIGURA 17.

Após a análise dos pesos de evidência e dos mapas de probabilidade foi necessário realizar os ajustes dos parâmetros internos do *Dinamica EGO*. Neste sentido, foram realizados testes envolvendo os *functores expander* e *patcher*, no qual o *expand* se mostrou mais adequado para modelar as mudanças da cidade de Curitiba.

A FIGURA 18 apresenta o resultado da modelagem de simulação da paisagem para o ano de 2011.

FIGURA 18 – MODELAGEM DA SIMULAÇÃO DA PAISAGEM



FONTE: A Autora (2019).

A FIGURA 18 mostra que a simulação ficou bem parecida com a realidade, no entanto ocorreram algumas confusões envolvendo a classe “água” e a classe “urbano”, o mapa de simulação mostra que foi gerado alterações de “urbano” para “água” de forma errônea. Ainda assim, são erros bem pontuais que não causam grandes prejuízos a modelagem como um todo.

A TABELA 12 mostra uma comparação entre os valores de área das classes para a imagem de simulação do ano de 2011 e a imagem classificada de 2011. Nela é possível notar que os valores são bem parecidos, um indicativo da adequação do modelo.

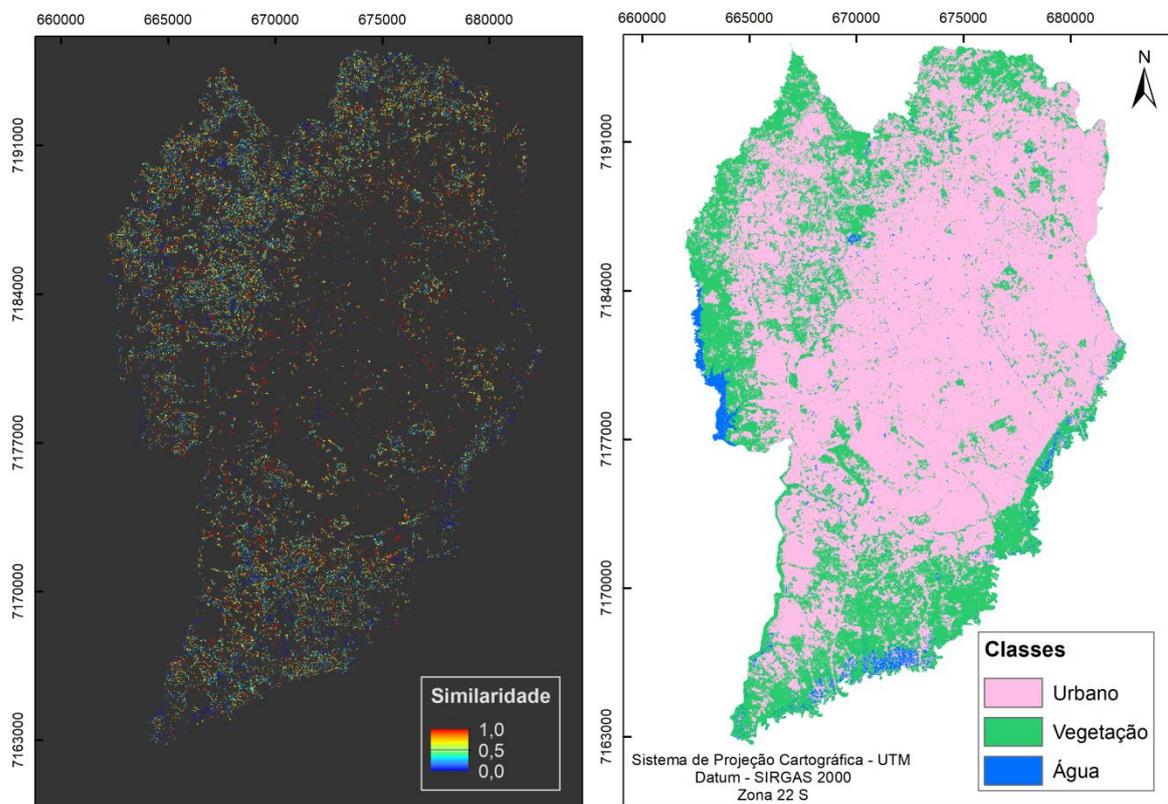
TABELA 12 – COMPARAÇÃO ENTRE A ÁREA DA IMAGEM SIMULADA E DA IMAGEM CLASSIFICADA

Classe	Área (ha)	
	2011 - Realidade	2011 - Simulado
Urbano	29959,20	29959,56
Vegetação	12712,05	12712,68
Água	808,38	808,47

FONTE: A autora (2019).

A validação matemática foi realizada através do método de *similaridade Fuzzy* (S) e pelo método de Ajuste por Múltiplas Resoluções (F). A aplicação da *similaridade Fuzzy* resulta em uma imagem com valores que variam entre 0 e 1, onde valores acima de 0,5 indicam uma maior adequação do modelo. A FIGURA 19 exibe uma comparação entre o resultado da aplicação da *similaridade Fuzzy* e o mapa simulado de 2011.

FIGURA 19 – VALIDAÇÃO PELA SIMILARIDADE FUZZY



FONTE: A Autora (2019).

A FIGURA 19 mostra que a simulação apresentou baixa adequação nas bordas da cidade de Curitiba, próximo às regiões que possuem corpos d'água e em mais algumas regiões do município, mas no geral o modelo teve uma boa adequação, com a maioria dos valores S acima de 0,5.

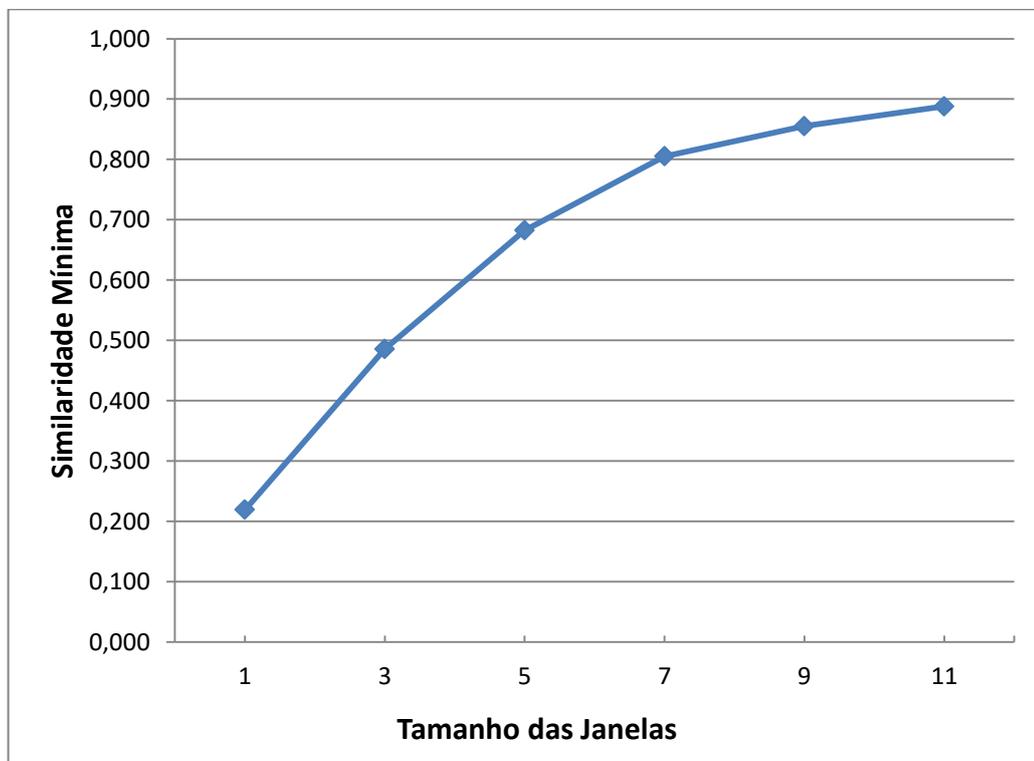
A TABELA 13 e o GRÁFICO 3 mostram os resultados da validação pelo método de Ajuste por Múltiplas Resoluções.

TABELA 13 – VALIDAÇÃO PELO AJUSTE POR MÚLTIPLAS RESOLUÇÕES

Tamanho das janelas	Similaridade Mínima	Similaridade Máxima
1	0,219	0,231
3	0,486	0,556
5	0,682	0,722
7	0,805	0,809
9	0,855	0,884
11	0,888	0,928

FONTE: A autora (2019).

GRÁFICO 3 – VALIDAÇÃO PELO AJUSTE POR MÚLTIPLAS RESOLUÇÕES



FONTE: A autora (2019).

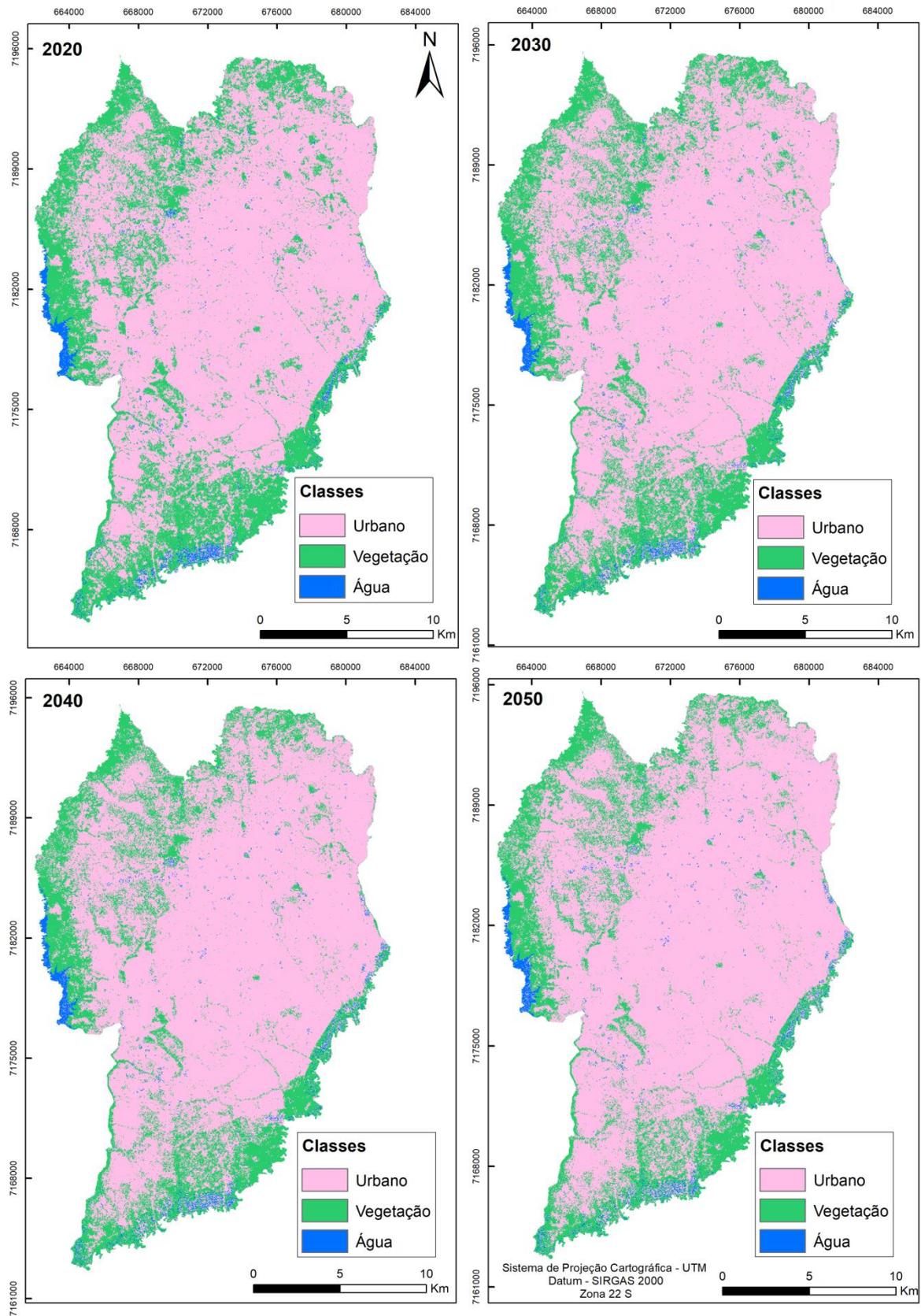
A similaridade varia de 21% em uma janela de 1 por 1, a 88% em uma janela de 11 por 11. Considerando que o tamanho das células das imagens Landsat são de 30 metros, podemos afirmar que a simulação atingiu um valor de adequação acima de 50% em uma resolução espacial de aproximadamente 120 metros.

Sabido que o modelo de simulação atende aos critérios de validação, ou seja, as variáveis estáticas utilizadas e os parâmetros internos do *Dinamica EGO* definidos são adequados para a modelagem da dinâmica da paisagem de Curitiba, foi possível realizar a modelagem de simulação futura.

4.4 GEOSSIMULAÇÕES (SIMULAÇÕES FUTURAS)

Foram geradas simulações do ano de 2020 até o ano de 2050, com intervalos de cinco anos, a FIGURA 20 apresenta algumas destas simulações, as demais geossimulações estão no ANEXO 2.

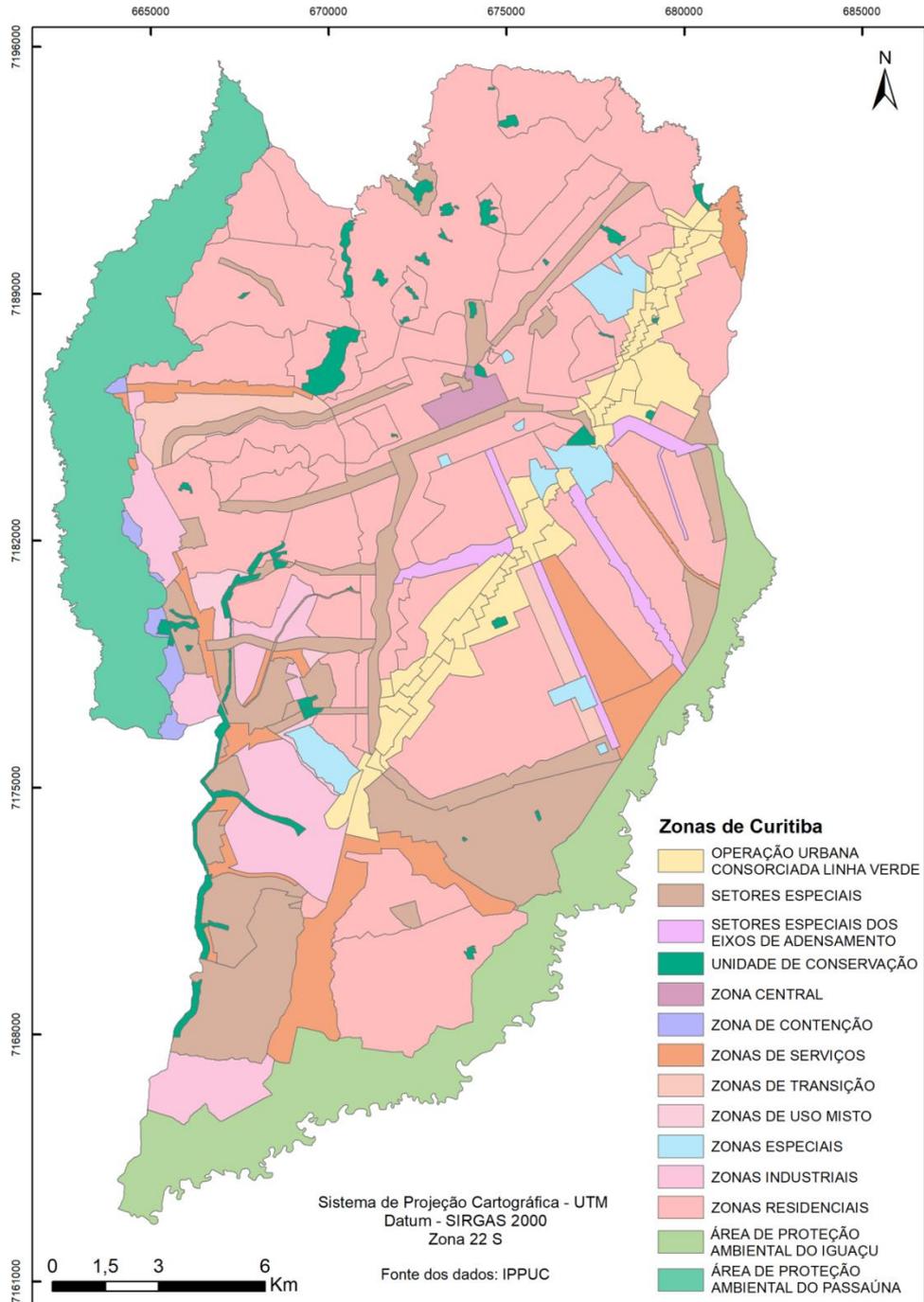
FIGURA 20 – SIMULAÇÕES FUTURAS (GEOSSIMULAÇÕES)



FONTE: A Autora (2019).

A FIGURA 20 mostra as simulações futuras da paisagem de Curitiba. É interessante observar que a expansão urbana não chegou às áreas de preservação, como a APA do Passaúna e a APA do Iguaçu, conforme mostra a FIGURA 21. Este detalhe pode indicar que as variáveis estáticas utilizadas estão modelando de forma adequada a expansão urbana da cidade.

FIGURA 21 – ZONEAMENTO DE CURITIBA



ELABORAÇÃO: A Autora (2019).

Também foi calculada a área das classes das geossimulações para os anos de 2020, 2030, 2040 e 2050, conforme mostra a TABELA 14.

TABELA 14 – ÁREA DAS CLASSES DAS GEOSSIMULAÇÕES

Classe	Área (ha)			
	2020	2030	2040	2050
Urbano	30666,87	31870,35	32839,02	33618,60
Vegetação	12022,38	10848,87	9905,04	9146,25
Água	791,46	761,49	736,65	715,86

FONTE: A autora (2019).

Observando a TABELA 14 notamos que de 2020 até 2050 houve um aumento da área da classe “urbano” de cerca de 3 mil ha, ou seja, de 2020 até 2050 houve um crescimento de aproximadamente 10% da área urbana.

Já para a classe “vegetação” houve uma diminuição do valor de área, comparando as áreas dessa classe nos anos de 2020 e 2050 notamos que houve uma diminuição de aproximadamente 3 mil ha, o que significa que em 2050 a cobertura vegetal é 30% menor do que em 2020.

Estes dados podem indicar que o aumento da área urbana se dá em detrimento da vegetação, pois o valor de área urbana que aumentou de 2020 até 2050 foi próximo ao valor de área de vegetação que diminuiu no mesmo período.

Para a classe “água” também houve uma diminuição, de 2020 até 2050 a redução foi de 75 ha. No entanto as alterações envolvendo a classe água não tiveram muita importância neste trabalho devido aos problemas relacionados com a classificação das imagens e os períodos de seca e cheia que ocorrem na cidade. Estes problemas estão descritos com maiores detalhes nas seções 4.1 e 4.3.1.

Por fim, vale lembrar que estas simulações tendem a ser fiéis a realidade que está por vir, desde que as tendências observadas no passado se mantenham no futuro.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo a modelagem de cenários futuros para a cidade de Curitiba. Neste sentido, os objetivos propostos foram atingidos com êxito, pois os métodos de validação aqui utilizados mostraram que a paisagem simulada para o ano de 2011 atingiu um nível de similaridade aceitável, de acordo com os critérios estabelecidos por Oliveira (2015), onde valores de F acima de 0,8 e de S acima de 0,5 são considerados aceitáveis.

As variáveis estáticas, que devem ser independentes entre si para que seja possível a aplicação do método dos pesos de evidência, foram submetidas às análises de correlação e atenderam aos critérios de correlação estabelecidos por Bonham-Carter (1994) que diz que valor de correlação tanto para o Índice de Cramer quanto para a Incerteza da Informação Conjunta deve ser abaixo de 0,5.

As geossimulações mostraram que as variáveis estáticas utilizadas na modelagem exerceram suas funções de associar ou repelir mudanças. Observando os mapas de simulação futura presentes no anexo deste trabalho, podemos notar que a expansão da área urbana não atingiu as áreas de preservação permanente da cidade, mesmo na paisagem simulada do ano de 2050. Vale ressaltar que estas simulações representam a realidade de forma aproximada e estão relacionadas com as tendências do passado. Isso significa que, se as tendências do passado se mantiverem, as simulações serão mais fiéis à realidade, caso contrário, as simulações não serão adequadas.

O software *Dinamica EGO* demonstrou ser uma ferramenta muito interessante para a modelagem. O algoritmo de autômato celular, presente no software, como já foi dito anteriormente, apresenta uma incrível simplicidade operacional, mas conta com uma complexidade suficiente para simular mudanças Torrens e O'Sullivan (2001 citado por ALMEIDA 2004), diz o seguinte: "Pesquisa em modelagem urbana de autômato celular é simplesmente isso: pesquisa em modelagem, e não pesquisa sobre teoria e dinâmicas urbanas."

Vale ressaltar a importância da disponibilização de dados geográficos para a modelagem de simulação da paisagem. Sem eles a autenticidade da simulação ficaria totalmente comprometida, neste ponto não houve problemas, pois a prefeitura de Curitiba conta com um banco de dados bem completo, que atendeu às necessidades deste trabalho.

Outro ponto importante que merece destaque é o fato da modelagem elaborada se aplicar somente a cidade de Curitiba, pois cada cidade possui características próprias e as modelagens da dinâmica espacial devem levar em conta os atributos de cada local de estudo.

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Seria interessante realizar testes com diferentes classificadores de imagens para encontrar o que melhor se adeque à cidade de Curitiba. Buscando, assim, evitar que os problemas enfrentados devido às dificuldades em classificar as imagens neste trabalho, como a confusão entre a classe “água” e a classe “urbano”, não prejudiquem futuros estudos envolvendo a modelagem da dinâmica espacial.

Também seria pertinente considerar a Região Metropolitana de Curitiba (RMC) na modelagem, pois ela também está em constante mudança e muitas das tendências que ocorrem em Curitiba também ocorrem na RMC. Além disso, estas alterações que ocorrem na RMC interferem na paisagem de Curitiba. Neste caso, seria necessário realizar um estudo para cada cidade separadamente e contar com uma base de dados geográficos de toda RMC.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Cláudia Maria de et al. **Stochastic cellular automata modeling of urban land use dynamics: empirical development and estimation.** Computers, Environment and Urban Systems, v. 27, n. 5, 2003.

ALMEIDA, Cláudia Maria 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.** 2004. 323 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Sensoriamento Remoto, Inpe, São José dos Campos, 2004. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/teses/tese_claudia.pdf>. Acesso em: 23 nov. 2019.

ARAKI, Hideo. **Sensoriamento remoto aplicado à análise urbana.** 09 ago. 2019, 29 nov. 2019. Notas de Aula.

BATTY, M. **Urban modelling: algorithms, calibrations, predictions.** Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1976. 381 p.

BENTO, Bruna Maria Pechini. **AVALIAÇÃO DE CLASSIFICADORES POR ÁRVORE DE DECISÃO E ÁRVORE DE REGRESSÃO EM CENAS URBANAS DO SENSOR WORLDVIEW-2.** 2017. 166 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - Inpe, São José dos Campos, 2017. Disponível em: <<http://mtc-m21b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/10.24.18.16/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 24 nov. 2019.

BERTRAND, Georges. **PAISAGEM E GEOGRAFIA FÍSICA GLOBAL. ESBOÇO METODOLÓGICO.** Tradução de: CRUZ, O. Raega, Curitiba, n. 8, p.141-152, nov. 2004. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/raega/article/download/3389/2718>>. Acesso em: 23 nov. 2019

BONHAM-CARTER, Graeme F.. **GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM FOR GEOSCIENTISTS.** Ottawa: Pergamon, 1994.

CABRAL, Gabriela. **Satélites.** 2019?. Disponível em: <<https://alunosonline.uol.com.br/geografia/satelites.html>>. Acesso em: 23 nov. 2019.

CARLOS, Ana Fani. **A Cidade.** São Paulo: Contexto, 1992.

CAROL, Hans. **Zur Diskussion um Landschaft und Geographie.** Geographica Helvetica, 11, 111-32, 1956. Disponível em: <<https://www.geogr-helv.net/11/111/1956/gh-11-111-1956.pdf>>. Acesso em: 23 nov. 2019.

CENTRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (UFMG). **Building a land-use and land-cover change simulation model.** 2017. Disponível em: <https://www.csr.ufmg.br/dinamica/dokuwiki/doku.php?id=tutorial:building_a_land-use_and_land-cover_change_simulation_model>. Acesso em: 26 dez. 2019.

COSTANZA, Robert. **Model goodness of fit: A multiple resolution procedure.** 1989. Disponível em: <<https://www.pdx.edu/sites/www.pdx.edu.sustainability/files/Costanza%20EM%201989.pdf>>. Acesso em: 23 nov. 2019.

CURITIBA. **Curitiba em Dados.** Disponível em: <<http://curitibaemdados.ippuc.org.br/>>. Acesso em: 23 nov. 2019.

CURITIBA. Decreto nº 1547, de novembro de 2009.

CURITIBA. Decreto nº 192, de janeiro de 2000.

CURITIBA. Decreto nº 193, de janeiro de 2000.

CURITIBA. Decreto nº 250, de março de 2004.

CURITIBA. Decreto nº 26, de janeiro de 2015.

CURITIBA. Decreto nº 430, de maio de 2018.

CURITIBA. Decreto nº 838, de setembro de 2015.

CURITIBA. Lei nº 9800, de 03 de janeiro de 2000.

CURITIBA. PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA. . **História - Fundação e Nome da Cidade.** Disponível em: <<https://www.curitiba.pr.gov.br/conteudo/historia-fundacao-e-nome-da-cidade/207>>. Acesso em: 23 nov. 2019.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **LANDSAT - Land Remote Sensing Satellite.** 2013. Disponível em: <https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/sat/conteudo/missao_landsat.html>. Acesso em: 26 dez. 2019.

ESTADOS UNIDOS. USGS. **Landsat Level-1 Processing Details.** 200-?a. Disponível em: <<https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-level-1-processing-details>>. Acesso em: 24 nov. 2019.

ESTADOS UNIDOS. USGS. **Landsat Surface Reflectance.** 200-?b. Disponível em: <https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-surface-reflectance?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con>. Acesso em: 24 nov. 2019.

FERREIRA, Nilson Clementino. **APOSTILA DE SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS.** Goiânia: Centro Federal de Educação Tecnológica de Goiás, 2006. 113 p.

FIGUEIREDO, Divino. **Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto.** 2005. 32 p. Disponível em: <http://www.clickgeo.com.br/wp-content/uploads/2013/04/conceitos_sm.pdf>. Acesso em: 23 nov. 2019.

GOMES, Marco. **Game of Life.** 200-? Disponível em: <<http://marcogomes.com/gameoflife/html/>>. Acesso em: 23 nov. 2019.

HAGEN, Alex. **Fuzzy set approach to assessing similarity of categorical maps.** 2003. Disponível em: <shorturl.at/iHmV1>. Acesso em: 23 nov. 2019.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Curitiba.** Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/curitiba/panorama>>. Acesso em: 23 nov. 2019.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **População rural e urbana.** Disponível em: <<https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/populacao/18313-populacao-rural-e-urbana.html>>. Acesso em: 24 nov. 2019.

LAMBIN, E. F. **Modeling deforestation process:** a review. Trees Publications Series B: Research Report, n. 1. Luxembourg: European Commission. 1994.

MACEDO, Rodrigo de Campos et al. **Modelagem dinâmica espacial das alterações de cobertura e uso da terra relacionadas à expansão canavieira.** Boletim de Ciências Geodésicas, São José dos Campos, v. 19, n. 2, maio 2013. Disponível em: <http://scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1982-21702013000200009>. Acesso em: 24 nov. 2019.

MAXIMIANO, Liz Abad. **CONSIDERAÇÕES SOBRE O CONCEITO DE PAISAGEM,** Raega, Curitiba, n. 8, p.83-91, 2004. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/raega/article/viewFile/3391/2719>>. Acesso em: 23 nov. 2019.

MEIRELLES, Margareth Simões Penello; CAMARA, Gilberto; ALMEIDA, Cláudia Maria de. **GEOMÁTICA MODELOS E APLICAÇÕES AMBIENTAIS.** Brasília: Embrapa, 2007

MOREIRA, Maurício Alves. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto.** São José dos Campos: 2001. 246 p.

NOVAES, Antonio Galvão. **MODELOS EM PLANEJAMENTO URBANO, REGIONAL E DE TRANSPORTES.** São Paulo: Edgard Blücher LTDA, 1981.

NOVO, Evlyn M. L. de Moraes. **SENSORIAMENTO REMOTO PRINCÍPIOS E APLICAÇÕES.** 4. ed. São Paulo: Blucher, 2010.

OLIVEIRA, Mauro André de. **MODELAGEM DINÂMICA ESPACIAL DAS CLASSES DE USO E COBERTURA DA TERRA DE VENÂNCIO AIRES/RS.** 2015. 80 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Centro Universitário Univates, Lajeado, 2015.

PARANÁ. Lei nº 13027, de 22 de dezembro de 2000. Curitiba: Diário Oficial, 26 dez. 2000.

RODRIGUES, Hermann Oliveira; SOARES-FILHO, Britaldo Silveira; COSTA, William Leles de Souza. **Dinamica EGO, uma plataforma para modelagem de sistemas ambientais.** 2007. Disponível em: <shorturl.at/dehpO>. Acesso em: 23 nov. 2019.

SANCHES, Ieda Del'arco et al. **Análise comparativa de três métodos de correção atmosférica de imagens Landsat 5 – TM para obtenção de reflectância de superfície e NDVI.** Xv Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba, p.7554, 05 maio 2011.

SANTOS, Rozely Ferreira dos. **VULNERABILIDADE AMBIENTAL Desastres naturais ou fenômenos induzidos?** Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2007. 196 p.

SAS INSIGHTS. **Mineração de Dados O que é e qual sua importância?** 200-?. Disponível em: <https://www.sas.com/pt_br/insights/analytics/mineracao-de-dados.html>. Acesso em: 24 nov. 2019.

SOARES FILHO, Britaldo Silveira. **MODELAGEM DA DINÂMICA DE PAISAGEM DE UMA REGIÃO DE FRONTEIRA DE COLONIZAÇÃO AMAZÔNICA.** 1998. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/cursos/tutoriais/modelagem/referencias/tese_britaldo/tese.html>. Acesso em: 23 nov. 2019.

SOUZA, Iris de Marcelhas e. **SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL APLICADO A ESTUDOS URBANOS.** 2012. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3BEFCJH>>. Acesso em: 23 nov. 2019.

WEBBER, Laís. **Em 30 anos, a população urbana mundial deve ultrapassar as 6 bilhões de pessoas.** Disponível em: <<https://urbe.me/lab/em-30-anos-a-populacao-urbana-mundial-deve-ultrapassar-as-6-mil-milhoes-de-pessoas/>>. Acesso em: 03 jul. 2015.

ANEXO 1 – PESOS DE EVIDÊNCIA

Transição: Urbano para Vegetação		
Variável: Distância para área militar		
Intervalo (m)	Pesos de Evidência	Contraste
0 : 120	0,253	0,256
120 : 240	-0,757	-0,761
240 : 360	-1,017	-1,022
360 : 480	-0,402	-0,404
480 : 600	-0,815	-0,820
600 : 1920	-0,591	-0,672
1920 : 2040	-0,245	-0,249
2040 : 2160	-0,590	-0,598
2160 : 2280	-0,875	-0,887
2280 : 2400	-0,617	-0,627
2400 : 4440	-0,407	-0,551
4440 : 4560	-0,125	-0,126
4560 : 6720	0,071	0,091
6720 : 6840	0,305	0,307
6840 : 7080	0,563	0,572
7080 : 7200	0,156	0,157
7200 : 7320	0,413	0,416
7320 : 7680	0,695	0,711
7680 : 13560	0,884	1,111
Variável: Distância para áreas de preservação ambiental		
Intervalo (m)	Pesos de Evidência	Contraste
0 : 30	1,565	1,754
30 : 60	0,942	1,012
60 : 90	0,465	0,492
90 : 240	0,229	0,285
240 : 270	-0,003	-0,003
270 : 300	-0,221	-0,228
300 : 720	-0,417	-0,591
720 : 750	-0,730	-0,739
750 : 1320	-0,978	-1,112
1320 : 1350	-1,955	-1,959

1350 : 1800	-1,443	-1,472
1800 : 2850	-1,222	-1,237
Variável: Distância para as ruas principais		
Intervalo (m)	Pesos de Evidência	Contraste
0 : 120	-0,314	-0,357
120 : 1200	-0,131	-0,298
1200 : 1680	0,051	0,058
1680 : 1800	0,273	0,280
1800 : 3360	0,474	0,553
3360 : 3480	2,356	2,363
3480 : 4080	1,495	1,507
4080 : 4680	2,138	2,148
4680 : 5400	3,500	3,502
Variável: Modelo Digital do Terreno		
Intervalo (m)	Pesos de Evidência	Contraste
0 : 870	2,651	2,710
870 : 880	0,056	0,060
880 : 890	-0,421	-0,471
890 : 900	-0,249	-0,284
900 : 950	-0,066	-0,144
950 : 960	0,418	0,439
960 : 1030	0,366	0,396
Variável: Declividade		
Intervalo (%)	Pesos de Evidência	Contraste
00:01	-0,381	-0,418
01:08	-0,183	-0,581
08:09	0,362	0,381
09:10	0,590	0,616
10:15	0,825	0,913
15:18	1,116	1,136
18:47	1,397	1,415
Variável: Zoneamento APA do Iguazu		
Zonas	Pesos de Evidência	Contraste

PARQUE	1,132	1,220
SETOR DE ALTA RESTRIÇÃO DE USO	0,463	0,533
SETOR DE MÉDIA RESTRIÇÃO DE USO	0,551	0,903
SETOR DE SERVIÇOS	-0,459	-0,474
SETOR DE TRANSIÇÃO	-1,666	-2,157
SETOR DE TRANSIÇÃO - VILA 29 DE OUTUBRO	0,624	0,635
SETOR DE TRANSIÇÃO RESILIENTE	0,000	0,000
SETOR DE USO ESPORTIVO	0,119	0,129
Variável: Zoneamento APA do Passaúna		
Zonas	Pesos de Evidência	Contraste
ZONA ESPECIAL DE SERVIÇOS	-0,530	-0,566
ZONA DE URBANIZAÇÃO CONSOLIDADA 2	-1,306	-1,752
ZONA DE RECUPERAÇÃO AMBIENTAL	0,000	0,000
ZONA DE PROTEÇÃO DA REPRESA	1,957	2,004
ZONA DE PRESERVAÇÃO DE FUNDO DE VALE	0,443	0,490
ZONA DE PARQUES	2,216	2,243
ZONA DE OCUPÇÃO ORIENTADA	0,466	0,864
ZONA DE CONSERVAÇÃO DA VIDA SILVESTRE	1,135	1,166
ZONA DA REPRESA	1,669	1,680
ZONA ESPECIAL DE INDÚSTRIA - CIC	-1,269	-1,286

Transição: Urbano para Água		
Variável: Distância para água		
Intervalo (m)	Pesos de Evidência	Contraste
0 : 60	3,38	4,00
60 : 90	1,28	1,35
90 : 120	0,70	0,73
120 : 180	0,26	0,28
180 : 210	-0,19	-0,20
210 : 270	-0,45	-0,48
270 : 420	-0,75	-0,90
420 : 450	-1,73	-1,77
450 : 480	-0,76	-0,78
480 : 570	-1,19	-1,27
570 : 600	-2,25	-2,28
600 : 630	-1,64	-1,66

630 : 660	-3,27	-3,30
660 : 1980	-2,68	-2,91
Variável: Distância para as ruas principais		
Intervalo (m)	Pesos de Evidência	Contraste
0 : 60	-0,041	-0,045
60 : 120	0,335	0,359
120 : 240	0,110	0,122
240 : 300	-0,259	-0,269
300 : 4140	-0,080	-0,262
4140 : 4200	2,867	2,871
4200 : 5340	3,711	3,743
Variável: Zoneamento APA do Iguazu		
Zonas	Pesos de Evidência	Contraste
PARQUE	1,406	1,537
SETOR DE ALTA RESTRIÇÃO DE USO	-1,330	-1,410
SETOR DE MÉDIA RESTRIÇÃO DE USO	0,908	1,819
SETOR DE SERVIÇOS	-2,026	-2,062
SETOR DE TRANSIÇÃO	0,000	0,000
SETOR DE TRANSIÇÃO - VILA 29 DE OUTUBRO	0,000	0,000
SETOR DE TRANSIÇÃO RESILIENTE	0,000	0,000
SETOR DE USO ESPORTIVO	0,248	0,271
Variável: Zoneamento APA do Passaúna		
Zonas	Pesos de Evidência	Contraste
ZONA ESPECIAL DE SERVIÇOS	-0,717	-0,762
ZONA DE URBANIZAÇÃO CONSOLIDADA 2	-1,288	-1,731
ZONA DE RECUPERAÇÃO AMBIENTAL	0,000	0,000
ZONA DE PROTEÇÃO DA REPRESA	0,000	0,000
ZONA DE PRESERVAÇÃO DE FUNDO DE VALE	0,036	0,039
ZONA DE PARQUES	4,139	4,359
ZONA DE OCUPÇÃO ORIENTADA	0,211	0,351
ZONA DE CONSERVAÇÃO DA VIDA SILVESTRE	0,000	0,000
ZONA DA REPRESA	3,859	3,984
ZONA ESPECIAL DE INDÚSTRIA - CIC	0,000	0,000

Variável: Zoneamento de Curitiba		
Zonas	Pesos de Evidência	Contraste
APA DO IGUAÇU	2,511	2,971
APA DO PASSAÚNA	-0,259	-0,268
PARQUES E BOSQUES	2,160	2,194
PÓLO DA LINHA VERDE	-1,139	-1,150
SETOR ESPECIAL COMENDADOR FRANCO	-0,675	-0,678
SETOR ESPECIAL COMERCIAL DE SANTA FELICIDADE	0,482	0,483
SETOR ESPECIAL COMERCIAL DO UMBARÁ	0,000	0,000
SETOR ESPECIAL CONECTOR	-0,996	-1,005
SETOR ESPECIAL DA LINHA VERDE	-0,726	-0,732
SETOR ESPECIAL DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL	-2,061	-2,143
SETOR ESPECIAL DE OCUPAÇÃO INTEGRADA	-0,735	-0,746
SETOR ESPECIAL DO CENTRO CÍVICO	0,982	0,987
SETOR ESPECIAL DO PARQUE TANGUÁ	0,584	0,585
SETOR ESPECIAL DO PÓLO DE SOFTWARE	0,000	0,000
SETOR ESPECIAL ENGENHEIRO COSTA BARROS	0,000	0,000
SETOR ESPECIAL ESTRUTURAL	0,710	0,736
SETOR ESPECIAL HISTÓRICO	0,000	0,000
SETOR ESPECIAL INSTITUCIONAL	0,823	0,824
SETOR ESPECIAL LINHÃO DO EMPREGO	0,000	0,000
SETOR ESPECIAL MARECHAL FLORIANO	0,000	0,000
SETOR ESPECIAL NOVA CURITIBA	2,245	2,276
SETOR ESPECIAL PRES. AFFONSO CAMARGO	0,000	0,000
SETOR ESPECIAL PRES. WENCESLAU BRAZ	-1,492	-1,495
SETOR ESPECIAL RESIDENCIAL - ÁREAS VERDES - CIC	0,000	0,000
ZONA CENTRAL	-0,543	-0,546
ZONA DE CONTENÇÃO	-0,397	-0,398
ZONA DE SERVIÇOS 1	-0,919	-0,938
ZONA DE SERVIÇOS 2	-0,111	-0,114
ZONA DE SERVIÇOS 2 - LINHA VERDE	-0,194	-0,195
ZONA DE TRANSIÇÃO DA LINHA VERDE	-1,325	-1,354
ZONA DE TRANSIÇÃO MARECHAL FLORIANO	0,000	0,000
ZONA DE TRANSIÇÃO NOVA CURITIBA	0,511	0,519
ZONA DE USO MISTO	-1,656	-1,661
ZONA ESPECIAL DE SERVIÇOS	0,599	0,599

ZONA ESPECIAL DESPORTIVA	0,000	0,000
ZONA ESPECIAL DESPORTIVA - LINHA VERDE	-0,796	-0,800
ZONA ESPECIAL EDUCACIONAL	1,101	1,110
ZONA ESPECIAL MILITAR	-1,807	-1,813
ZONA INDUSTRIAL	0,591	0,637
ZONA INDUSTRIAL - LINHA VERDE	0,000	0,000
ZONA RESIDENCIAL 1	0,468	0,482
ZONA RESIDENCIAL 2	-1,274	-1,450
ZONA RESIDENCIAL 3	-1,089	-1,188
ZONA RESIDENCIAL 4	-0,481	-0,511
ZONA RESIDENCIAL 4 - LINHA VERDE	0,816	0,818
ZONA RESIDENCIAL ALTO DA GLÓRIA	0,000	0,000
ZONA RESIDENCIAL BATEL	0,560	0,562
ZONA RESIDENCIAL DE OCUPAÇÃO CONTROLADA	-0,165	-0,167
ZONA RESIDENCIAL MERCÊS	0,000	0,000
ZONA RESIDENCIAL PASSAÚNA	0,000	0,000
ZONA RESIDENCIAL SANTA FELICIDADE	0,000	-0,906
ZONA RESIDENCIAL UMBARÁ	-2,340	-2,350

Transição: Vegetação para Urbano		
Variável: Distância para área urbana		
Intervalo (m)	Pesos de Evidência	Contraste
0 : 60	0,728	1,889
60 : 120	-0,992	-1,305
120 : 780	-1,489	-1,709
Variável: Distância para áreas de preservação ambiental		
Intervalo (m)	Pesos de Evidência	Contraste
0 : 60	-0,491	-0,737
60 : 120	0,005	0,005
120 : 540	0,180	0,309
540 : 780	0,430	0,466
780 : 840	0,905	0,914
840 : 2820	1,118	1,165
Variável: Distância para as ruas principais		

Intervalo (m)	Pesos de Evidência	Contraste
0 : 60	0,792	0,821
60 : 120	0,477	0,494
120 : 360	0,277	0,319
360 : 600	0,090	0,102
600 : 2580	-0,093	-0,221
2580 : 2640	-0,462	-0,465
2640 : 5340	-0,376	-0,413
Variável: Declividade		
Intervalo (%)	Pesos de Evidência	Contraste
00:01	-0,132	-0,142
01:02	0,222	0,242
02:03	0,426	0,462
03:09	0,197	0,383
09:10	-0,233	-0,247
10:15	-0,417	-0,493
15:17	-0,657	-0,675
17:21	-0,846	-0,869
21:22	-1,356	-1,360
22:23	-1,084	-1,087
23:27	-1,367	-1,374
27 : 29	-1,719	-1,721
29 : 49	-1,683	-1,686
Variável: Zoneamento APA do Iguaçu		
Zonas	Pesos de Evidência	Contraste
PARQUE	-0,336	-0,405
SETOR DE ALTA RESTRIÇÃO DE USO	-0,746	-0,879
SETOR DE MÉDIA RESTRIÇÃO DE USO	0,132	0,266
SETOR DE SERVIÇOS	-0,133	-0,135
SETOR DE TRANSIÇÃO	1,036	1,073
SETOR DE TRANSIÇÃO - VILA 29 DE OUTUBRO	0,803	0,824
SETOR DE TRANSIÇÃO RESILIENTE	0,000	0,000
SETOR DE USO ESPORTIVO	0,594	0,649

Variável: Zoneamento APA do Passaúna		
Zonas	Pesos de Evidência	Contraste
ZONA ESPECIAL DE SERVIÇOS	0,783	0,810
ZONA DE URBANIZAÇÃO CONSOLIDADA 2	1,234	1,397
ZONA DE RECUPERAÇÃO AMBIENTAL	0,000	0,000
ZONA DE PROTEÇÃO DA REPRESA	-1,077	-1,108
ZONA DE PRESERVAÇÃO DE FUNDO DE VALE	-0,850	-1,023
ZONA DE PARQUES	-0,906	-0,923
ZONA DE OCUPÇÃO ORIENTADA	0,401	0,727
ZONA DE CONSERVAÇÃO DA VIDA SILVESTRE	-1,138	-1,289
ZONA DA REPRESA	-0,798	-0,809
ZONA ESPECIAL DE INDÚSTRIA - CIC	-0,616	-0,627
Variável: Zoneamento de Curitiba		
Zonas	Pesos de Evidência	Contraste
APA DO IGUAÇU	-0,37	-0,44
APA DO PASSAÚNA	-0,59	-0,69
PARQUES E BOSQUES	-0,83	-0,86
PÓLO DA LINHA VERDE	1,74	1,75
SETOR ESPECIAL COMENDADOR FRANCO	1,11	1,12
SETOR ESPECIAL COMERCIAL DE SANTA FELICIDADE	0,86	0,86
SETOR ESPECIAL COMERCIAL DO UMBARÁ	0,98	0,98
SETOR ESPECIAL CONECTOR	1,22	1,23
SETOR ESPECIAL DA LINHA VERDE	0,74	0,74
SETOR ESPECIAL DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL	0,73	0,74
SETOR ESPECIAL DE OCUPAÇÃO INTEGRADA	0,24	0,25
SETOR ESPECIAL DO CENTRO CÍVICO	1,34	1,34
SETOR ESPECIAL DO PARQUE TANGUÁ	-0,17	-0,17
SETOR ESPECIAL DO PÓLO DE SOFTWARE	0,23	0,23
SETOR ESPECIAL ENGENHEIRO COSTA BARROS	0,00	0,00
SETOR ESPECIAL ESTRUTURAL	1,60	1,60
SETOR ESPECIAL HISTÓRICO	1,90	1,90
SETOR ESPECIAL INSTITUCIONAL	0,86	0,86
SETOR ESPECIAL LINHÃO DO EMPREGO	1,08	1,08
SETOR ESPECIAL MARECHAL FLORIANO	0,97	0,97
SETOR ESPECIAL NOVA CURITIBA	0,97	0,98

SETOR ESPECIAL PRES. AFFONSO CAMARGO	2,24	2,24
SETOR ESPECIAL PRES. WENCESLAU BRAZ	1,22	1,22
SETOR ESPECIAL RESIDENCIAL - ÁREAS VERDES - CIC	-0,25	-0,25
ZONA CENTRAL	0,58	0,58
ZONA DE CONTENÇÃO	0,49	0,50
ZONA DE SERVIÇOS 1	1,07	1,08
ZONA DE SERVIÇOS 2	0,29	0,30
ZONA DE SERVIÇOS 2 - LINHA VERDE	0,90	0,90
ZONA DE TRANSIÇÃO DA LINHA VERDE	1,22	1,23
ZONA DE TRANSIÇÃO MARECHAL FLORIANO	1,80	1,80
ZONA DE TRANSIÇÃO NOVA CURITIBA	0,33	0,33
ZONA DE USO MISTO	-0,16	-0,16
ZONA ESPECIAL DE SERVIÇOS	0,07	0,07
ZONA ESPECIAL DESPORTIVA	0,10	0,10
ZONA ESPECIAL DESPORTIVA - LINHA VERDE	0,35	0,35
ZONA ESPECIAL EDUCACIONAL	0,38	0,39
ZONA ESPECIAL MILITAR	0,35	0,36
ZONA INDUSTRIAL	0,23	0,25
ZONA INDUSTRIAL - LINHA VERDE	-0,69	-0,69
ZONA RESIDENCIAL 1	0,15	0,16
ZONA RESIDENCIAL 2	0,31	0,37
ZONA RESIDENCIAL 3	0,71	0,74
ZONA RESIDENCIAL 4	1,27	1,29
ZONA RESIDENCIAL 4 - LINHA VERDE	0,76	0,76
ZONA RESIDENCIAL ALTO DA GLÓRIA	1,77	1,77
ZONA RESIDENCIAL BATEL	1,55	1,55
ZONA RESIDENCIAL DE OCUPAÇÃO CONTROLADA	-0,60	-0,66
ZONA RESIDENCIAL MERCÊS	3,56	3,56
ZONA RESIDENCIAL PASSAÚNA	0,40	0,40
ZONA RESIDENCIAL SANTA FELICIDADE	0,15	0,15
ZONA RESIDENCIAL UMBARÁ	0,05	0,05

Transição: Vegetação para Água		
Variável: Declividade		
Intervalo (%)	Pesos de Evidência	Contraste
00:01	1,592	1,970
01:02	1,042	1,200

02:03	0,267	0,287
03:05	0,030	0,035
05:06	-0,577	-0,614
06:07	-1,057	-1,109
07:49	-1,366	-1,908
Variável: Zoneamento APA do Iguaçu		
Zonas	Pesos de Evidência	Contraste
PARQUE	0,110	0,140
SETOR DE ALTA RESTRIÇÃO DE USO	-2,893	-3,121
SETOR DE MÉDIA RESTRIÇÃO DE USO	0,258	0,559
SETOR DE SERVIÇOS	0,084	0,086
SETOR DE TRANSIÇÃO	0,000	0,000
SETOR DE TRANSIÇÃO - VILA 29 DE OUTUBRO	0,000	0,000
SETOR DE TRANSIÇÃO RESILIENTE	0,000	0,000
SETOR DE USO ESPORTIVO	0,792	0,874
Variável: Zoneamento APA do Passaúna		
Zonas	Pesos de Evidência	Contraste
ZONA ESPECIAL DE SERVIÇOS	0,095	0,097
ZONA DE URBANIZAÇÃO CONSOLIDADA 2	0,000	0,000
ZONA DE RECUPERAÇÃO AMBIENTAL	0,000	0,000
ZONA DE PROTEÇÃO DA REPRESA	-0,651	-0,673
ZONA DE PRESERVAÇÃO DE FUNDO DE VALE	0,143	0,195
ZONA DE PARQUES	2,389	2,730
ZONA DE OCUPÇÃO ORIENTADA	-2,717	-3,139
ZONA DE CONSERVAÇÃO DA VIDA SILVESTRE	-1,399	-1,565
ZONA DA REPRESA	2,628	2,912
ZONA ESPECIAL DE INDÚSTRIA - CIC	0,082	0,084
Variável: Zoneamento de Curitiba		
Zonas	Pesos de Evidência	Contraste
APA DO IGUAÇU	1,205	2,088
APA DO PASSAÚNA	-1,227	-1,376
PARQUES E BOSQUES	0,311	0,327
PÓLO DA LINHA VERDE	0,824	0,826

SETOR ESPECIAL COMENDADOR FRANCO	0,000	0,000
SETOR ESPECIAL COMERCIAL DE SANTA FELICIDADE	0,000	0,000
SETOR ESPECIAL COMERCIAL DO UMBARÁ	0,000	0,000
SETOR ESPECIAL CONECTOR	-0,121	-0,122
SETOR ESPECIAL DA LINHA VERDE	0,000	0,000
SETOR ESPECIAL DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL	-1,573	-1,583
SETOR ESPECIAL DE OCUPAÇÃO INTEGRADA	-2,010	-2,036
SETOR ESPECIAL DO CENTRO CÍVICO	2,233	2,236
SETOR ESPECIAL DO PARQUE TANGUÁ	-0,493	-0,495
SETOR ESPECIAL DO PÓLO DE SOFTWARE	-0,624	-0,625
SETOR ESPECIAL ENGENHEIRO COSTA BARROS	0,000	0,000
SETOR ESPECIAL ESTRUTURAL	1,537	1,541
SETOR ESPECIAL HISTÓRICO	0,000	0,000
SETOR ESPECIAL INSTITUCIONAL	0,000	0,000
SETOR ESPECIAL LINHÃO DO EMPREGO	0,000	0,000
SETOR ESPECIAL MARECHAL FLORIANO	0,000	0,000
SETOR ESPECIAL NOVA CURITIBA	1,713	1,726
SETOR ESPECIAL PRES. AFFONSO CAMARGO	0,000	0,000
SETOR ESPECIAL PRES. WENCESLAU BRAZ	0,000	0,000
SETOR ESPECIAL RESIDENCIAL - ÁREAS VERDES - CIC	1,200	1,202
ZONA CENTRAL	0,000	0,000
ZONA DE CONTENÇÃO	-0,988	-0,992
ZONA DE SERVIÇOS 1	-1,372	-1,376
ZONA DE SERVIÇOS 2	-1,203	-1,225
ZONA DE SERVIÇOS 2 - LINHA VERDE	1,030	1,031
ZONA DE TRANSIÇÃO DA LINHA VERDE	-0,653	-0,656
ZONA DE TRANSIÇÃO MARECHAL FLORIANO	0,000	0,000
ZONA DE TRANSIÇÃO NOVA CURITIBA	0,294	0,297
ZONA DE USO MISTO	-0,368	-0,369
ZONA ESPECIAL DE SERVIÇOS	0,000	0,000
ZONA ESPECIAL DESPORTIVA	0,000	0,000
ZONA ESPECIAL DESPORTIVA - LINHA VERDE	0,000	0,000
ZONA ESPECIAL EDUCACIONAL	0,204	0,205
ZONA ESPECIAL MILITAR	0,000	0,000
ZONA INDUSTRIAL	-0,160	-0,168
ZONA INDUSTRIAL - LINHA VERDE	0,000	0,000
ZONA RESIDENCIAL 1	-0,465	-0,473

ZONA RESIDENCIAL 2	-1,446	-1,556
ZONA RESIDENCIAL 3	-0,711	-0,725
ZONA RESIDENCIAL 4	0,434	0,438
ZONA RESIDENCIAL 4 - LINHA VERDE	0,000	0,000
ZONA RESIDENCIAL ALTO DA GLÓRIA	0,000	0,000
ZONA RESIDENCIAL BATEL	2,251	2,252
ZONA RESIDENCIAL DE OCUPAÇÃO CONTROLADA	-1,990	-2,114
ZONA RESIDENCIAL MERCÊS	0,000	0,000
ZONA RESIDENCIAL PASSAÚNA	0,000	0,000
ZONA RESIDENCIAL SANTA FELICIDADE	-1,576	-1,596
ZONA RESIDENCIAL UMBARÁ	-2,526	-2,541

Transição: Água para Urbano		
Variável: Zoneamento APA do Iguaçu		
Zonas	Pesos de Evidência	Contraste
PARQUE	-0,450	-0,505
SETOR DE ALTA RESTRIÇÃO DE USO	1,225	1,263
SETOR DE MÉDIA RESTRIÇÃO DE USO	-0,073	-0,315
SETOR DE SERVIÇOS	0,462	0,476
SETOR DE TRANSIÇÃO	0,000	0,000
SETOR DE TRANSIÇÃO - VILA 29 DE OUTUBRO	1,036	1,037
SETOR DE TRANSIÇÃO RESILIENTE	0,000	0,000
SETOR DE USO ESPORTIVO	0,992	1,044
Variável: Zoneamento APA do Passaúna		
Zonas	Pesos de Evidência	Contraste
ZONA ESPECIAL DE SERVIÇOS	0,000	0,000
ZONA DE URBANIZAÇÃO CONSOLIDADA 2	0,000	0,000
ZONA DE RECUPERAÇÃO AMBIENTAL	0,000	0,000
ZONA DE PROTEÇÃO DA REPRESA	2,864	2,874
ZONA DE PRESERVAÇÃO DE FUNDO DE VALE	0,849	0,861
ZONA DE PARQUES	1,477	1,621
ZONA DE OCUPAÇÃO ORIENTADA	4,163	4,283
ZONA DE CONSERVAÇÃO DA VIDA SILVESTRE	0,000	0,000
ZONA DA REPRESA	-0,622	-2,917
ZONA ESPECIAL DE INDÚSTRIA - CIC	0,000	0,000

Variável: Zoneamento de Curitiba		
Zonas	Pesos de Evidência	Contraste
APA DO IGUAÇU	-0,140	-0,238
APA DO PASSAÚNA	-1,978	-2,542
PARQUES E BOSQUES	-0,160	-0,167
PÓLO DA LINHA VERDE	4,626	4,640
SETOR ESPECIAL COMENDADOR FRANCO	0,000	0,000
SETOR ESPECIAL COMERCIAL DE SANTA FELICIDADE	0,000	0,000
SETOR ESPECIAL COMERCIAL DO UMBARÁ	0,000	0,000
SETOR ESPECIAL CONECTOR	3,190	3,194
SETOR ESPECIAL DA LINHA VERDE	0,000	0,000
SETOR ESPECIAL DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL	0,000	0,000
SETOR ESPECIAL DE OCUPAÇÃO INTEGRADA	1,350	1,364
SETOR ESPECIAL DO CENTRO CÍVICO	2,497	2,500
SETOR ESPECIAL DO PARQUE TANGUÁ	0,000	0,000
SETOR ESPECIAL DO PÓLO DE SOFTWARE	0,000	0,000
SETOR ESPECIAL ENGENHEIRO COSTA BARROS	0,000	0,000
SETOR ESPECIAL ESTRUTURAL	3,498	3,520
SETOR ESPECIAL HISTÓRICO	0,000	0,000
SETOR ESPECIAL INSTITUCIONAL	0,888	0,888
SETOR ESPECIAL LINHÃO DO EMPREGO	0,000	0,000
SETOR ESPECIAL MARECHAL FLORIANO	0,000	0,000
SETOR ESPECIAL NOVA CURITIBA	3,691	3,713
SETOR ESPECIAL PRES. AFFONSO CAMARGO	0,000	0,000
SETOR ESPECIAL PRES. WENCESLAU BRAZ	0,000	0,000
SETOR ESPECIAL RESIDENCIAL - ÁREAS VERDES - CIC	0,000	0,000
ZONA CENTRAL	0,000	0,000
ZONA DE CONTENÇÃO	2,274	2,277
ZONA DE SERVIÇOS 1	4,146	4,163
ZONA DE SERVIÇOS 2	2,315	2,330
ZONA DE SERVIÇOS 2 - LINHA VERDE	1,129	1,132
ZONA DE TRANSIÇÃO DA LINHA VERDE	3,660	3,676
ZONA DE TRANSIÇÃO MARECHAL FLORIANO	0,000	0,000
ZONA DE TRANSIÇÃO NOVA CURITIBA	1,313	1,319
ZONA DE USO MISTO	0,000	0,000
ZONA ESPECIAL DE SERVIÇOS	0,000	0,000

ZONA ESPECIAL DESPORTIVA	0,000	0,000
ZONA ESPECIAL DESPORTIVA - LINHA VERDE	0,000	0,000
ZONA ESPECIAL EDUCACIONAL	3,190	3,200
ZONA ESPECIAL MILITAR	0,000	0,000
ZONA INDUSTRIAL	1,717	1,810
ZONA INDUSTRIAL - LINHA VERDE	0,000	0,000
ZONA RESIDENCIAL 1	2,936	2,956
ZONA RESIDENCIAL 2	3,577	3,647
ZONA RESIDENCIAL 3	4,107	4,140
ZONA RESIDENCIAL 4	4,333	4,364
ZONA RESIDENCIAL 4 - LINHA VERDE	0,000	0,000
ZONA RESIDENCIAL ALTO DA GLÓRIA	0,000	0,000
ZONA RESIDENCIAL BATEL	0,000	0,000
ZONA RESIDENCIAL DE OCUPAÇÃO CONTROLADA	1,029	1,046
ZONA RESIDENCIAL MERCÊS	0,000	0,000
ZONA RESIDENCIAL PASSAÚNA	0,000	0,000
ZONA RESIDENCIAL SANTA FELICIDADE	3,596	3,606
ZONA RESIDENCIAL UMBARÁ	1,581	1,582

Transição: Água para Vegetação		
Variável: Distância para área militar		
Intervalo (m)	Pesos de Evidência	Contraste
0 : 480	0,0523	0,0524
480 : 840	1,5439	1,5485
840 : 960	0,7454	0,7470
960 : 1560	2,5372	2,5453
1560 : 1800	0,3689	0,3721
1800 : 1920	0,0370	0,0377
1920 : 2040	-0,6777	-0,6834
2040 : 2160	-1,2561	-1,2635
2160 : 2280	-0,2478	-0,2495
2280 : 2400	0,0931	0,0937
2400 : 2520	1,0375	1,0519
2520 : 2760	1,8159	1,8245
2760 : 2880	0,3399	0,3408
2880 : 3000	1,3993	1,4049
3000 : 3120	0,4089	0,4104

3120 : 3240	0,8350	0,8409
3240 : 3360	1,2562	1,2604
3360 : 3480	2,9145	2,9242
3480 : 4680	1,4873	1,5367
4680 : 4800	0,2965	0,3010
4800 : 4920	-0,8838	-0,8922
4920 : 5040	-2,8381	-2,8619
5040 : 5280	-2,0044	-2,0529
5280 : 5400	-1,1861	-1,2134
5400 : 5520	-0,4598	-0,4739
5520 : 5760	-0,2722	-0,2807
5760 : 6000	-0,8180	-0,8331
6000 : 6120	-1,2493	-1,2640
6120 : 6240	-0,3364	-0,3411
6240 : 6360	-0,6704	-0,6775
6360 : 6480	-0,0543	-0,0550
6480 : 6600	-0,6801	-0,6873
6600 : 6720	0,2754	0,2779
6720 : 6840	1,4386	1,4521
6840 : 6960	0,5631	0,5650
6960 : 7080	-1,3828	-1,3872
7080 : 7200	-0,4177	-0,4200
7200 : 7320	-0,0559	-0,0565
7320 : 7440	-0,9223	-0,9312
7440 : 7560	-2,4492	-2,4648
7560 : 7680	-0,1946	-0,1978
7680 : 7800	0,5457	0,5576
7800 : 7920	0,0451	0,0461
7920 : 8040	-0,1822	-0,1864
8040 : 8160	-0,8274	-0,8466
8160 : 8280	-0,4744	-0,4881
8280 : 8400	-1,2379	-1,2711
8400 : 8760	-0,7036	-0,7764
8760 : 8880	0,1151	0,1188
8880 : 9000	-0,0846	-0,0866
9000 : 9120	-0,3193	-0,3249
9120 : 9240	0,8234	0,8367

9240 : 9360	-1,0295	-1,0348
9360 : 9480	0,0276	0,0279
9480 : 9720	0,8632	0,8948
9720 : 9840	1,6617	1,6821
9840 : 9960	-0,2842	-0,2861
9960 : 10080	0,0241	0,0243
10080 : 10320	1,0903	1,1141
10320 : 10440	0,2446	0,2459
10440 : 10560	0,5631	0,5650
10560 : 10680	1,4386	1,4430
10680 : 10800	4,1466	4,1729
10800 : 12360	2,0723	2,1376
12360 : 13320	1,9982	2,0344
Variável: Zoneamento APA do Iguçu		
Zonas	Pesos de Evidência	Contraste
PARQUE	0,026	0,030
SETOR DE ALTA RESTRIÇÃO DE USO	0,949	0,974
SETOR DE MÉDIA RESTRIÇÃO DE USO	-0,101	-0,420
SETOR DE SERVIÇOS	0,000	0,000
SETOR DE TRANSIÇÃO	0,000	0,000
SETOR DE TRANSIÇÃO - VILA 29 DE OUTUBRO	1,642	1,645
SETOR DE TRANSIÇÃO RESILIENTE	0,000	0,000
SETOR DE USO ESPORTIVO	1,215	1,288
Variável: Zoneamento de Curitiba		
Zonas	Pesos de Evidência	Contraste
APA DO IGUAÇU	0,03933315	0,07172803
APA DO PASSAÚNA	-1,464642605	- 1,981287775
PARQUES E BOSQUES	0,262336514	0,275818626
PÓLO DA LINHA VERDE	2,354850137	2,356174432
SETOR ESPECIAL COMENDADOR FRANCO	0	0
SETOR ESPECIAL COMERCIAL DE SANTA FELICIDADE	0	0
SETOR ESPECIAL COMERCIAL DO UMBARÁ	0	0
SETOR ESPECIAL CONECTOR	3,047997318	3,050786814
SETOR ESPECIAL DA LINHA VERDE	0	0

SETOR ESPECIAL DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL	0	0
SETOR ESPECIAL DE OCUPAÇÃO INTEGRADA	1,824221886	1,849168856
SETOR ESPECIAL DO CENTRO CÍVICO	0	0
SETOR ESPECIAL DO PARQUE TANGUÁ	0	0
SETOR ESPECIAL DO PÓLO DE SOFTWARE	0	0
SETOR ESPECIAL ENGENHEIRO COSTA BARROS	0	0
SETOR ESPECIAL ESTRUTURAL	1,844024514	1,847726114
SETOR ESPECIAL HISTÓRICO	0	0
SETOR ESPECIAL INSTITUCIONAL	1,661702957	1,662888468
SETOR ESPECIAL LINHÃO DO EMPREGO	0	0
SETOR ESPECIAL MARECHAL FLORIANO	0	0
SETOR ESPECIAL NOVA CURITIBA	2,067168065	2,071008506
SETOR ESPECIAL PRES. AFFONSO CAMARGO	0	0
SETOR ESPECIAL PRES. WENCESLAU BRAZ	0	0
SETOR ESPECIAL RESIDENCIAL - ÁREAS VERDES - CIC	0	0
ZONA CENTRAL	0	0
ZONA DE CONTENÇÃO	1,661702957	1,662888468
ZONA DE SERVIÇOS 1	2,760315245	2,76443331
ZONA DE SERVIÇOS 2	1,4793814	1,485051754
ZONA DE SERVIÇOS 2 - LINHA VERDE	0	0
ZONA DE TRANSIÇÃO DA LINHA VERDE	2,354850137	2,3588294
ZONA DE TRANSIÇÃO MARECHAL FLORIANO	0	0
ZONA DE TRANSIÇÃO NOVA CURITIBA	0,214783974	0,215350629
ZONA DE USO MISTO	0	0
ZONA ESPECIAL DE SERVIÇOS	0	0
ZONA ESPECIAL DESPORTIVA	0	0
ZONA ESPECIAL DESPORTIVA - LINHA VERDE	0	0
ZONA ESPECIAL EDUCACIONAL	1,949385029	1,95189694
ZONA ESPECIAL MILITAR	0	0
ZONA INDUSTRIAL	1,90077733	2,017625838
ZONA INDUSTRIAL - LINHA VERDE	0	0
ZONA RESIDENCIAL 1	3,319931033	3,350003312
ZONA RESIDENCIAL 2	3,429364874	3,489233623
ZONA RESIDENCIAL 3	3,453462426	3,470606833
ZONA RESIDENCIAL 4	3,453462426	3,466291304
ZONA RESIDENCIAL 4 - LINHA VERDE	0	0
ZONA RESIDENCIAL ALTO DA GLÓRIA	0	0

ZONA RESIDENCIAL BATEL	0	0
ZONA RESIDENCIAL DE OCUPAÇÃO CONTROLADA	0,563090668	0,570103303
ZONA RESIDENCIAL MERCÊS	0	0
ZONA RESIDENCIAL PASSAÚNA	0	0
ZONA RESIDENCIAL SANTA FELICIDADE	4,226652314	4,245563548
ZONA RESIDENCIAL UMBARÁ	2,760315245	2,76443331

ANEXO 2 – MAPAS DE SIMULAÇÃO DA PAISAGEM

