

**MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO PARA O PLANEJAMENTO  
URBANO ECOLÓGICO COM O USO DO SENSORIAMENTO  
REMOTO E DOS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA**

**Jessica Carla da Silva**

**Dissertação de Mestrado em Urbanismo Sustentável e Ordenamento  
do Território**

**17 Maio de 2023**

Dissertação apresentada para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Urbanismo Sustentável e Ordenamento do Território, realizada sob a orientação científica da Professora Doutora Rossana Estanqueiro Leal da Silva e coorientação do Professor Doutor José António Tenedório.

## DECLARAÇÕES

Declaro que esta Dissertação é o resultado da minha investigação pessoal e independente. O seu conteúdo é original e todas as fontes consultadas estão devidamente mencionadas no texto, nas notas e na bibliografia.

A candidata,

---

Lisboa, 17 de maio de 2023

Declaro que esta Dissertação se encontra em condições de ser apreciada pelo júri designado.

A orientadora,

Assinado por: **Rossana Estanqueiro Leal da Silva**  
Num. de Identificação: 11709415  
Data: 2023.05.16 11:28:48+01'00'



O co-orientador,

Assinado por: **José António Pereira Tenedório**  
Num. de Identificação: 05719086  
Data: 2023.05.16 12:29:33+01'00'



Lisboa, 17 de maio de 2023

Este trabalho foi escrito em português do Brasil por opção do autor e seguiu à formatação designada pela American Psychological Association/APA, conforme a 6ª edição.

*à minha Mãe, Alzira*

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho é resultado de um sonho, gerado em meio a mudanças e desafios pessoais. Este estudo não é só meu. Acho que muita gente fala isso nessas horas, mas eu não me importo em ser clichê, pois tenho como princípio ser verdadeira comigo mesma acima de tudo.

Neste espaço me darei a liberdade de falar de forma pessoal e nada tradicional, aqui ponho uma carta de agradecimentos.

Agradeço a Deus por manter a minha fé forte, este é o único pedido que eu sempre fiz. Eu me políco para manter o princípio de agradecer ao invés de pedir. Deus me guiou em tempos difíceis, em muitas situações só me restava Deus e mais nada.

Alguém que eu não posso e jamais vou deixar de agradecer é a mulher mais guerreira que eu já conheci na vida, a minha mãe Alzira. Ela pode não saber ler e escrever, e por isso não terá acesso a esta carta, mas eu me comunico com o coração, a amo muito e tudo o que faço é por ela.

Agradeço aos meus familiares e amigos, que não vou dar a audácia de nomear todos, eu sou péssima de memória, seria horrível. De qualquer forma, alguém que não posso esquecer de agradecer é a minha amiga de curso, a Marina. Querida, você me deu forças quando eu mais precisei. Você é alguém especial e isso não é mais um clichê barato.

Agradeço à figura da dona Antônia, que me abrigou e me deu um carinho fraternal em Portugal, uma senhora de 90 anos que me ensinou muito sobre a vida. Aproveito aqui para agradecer ao povo português e a este país tão lindo que me acolheu, o azul do céu de vocês me lembra a minha terra, me dá energia. Aqui eu pude viver este sonho e muitas outras coisas que jamais imaginei, se não obtive sucesso em tudo, ao menos tive desafios para evoluir como pessoa e aos poucos as vitórias vão acontecendo, a fé não falha jamais. Agradeço à Universidade Nova de Lisboa pela receptividade e qualidade na educação, pude ver de perto o quanto essa instituição é respeitada. Uma pena eu não ter aproveitado tanto os espaços físicos, a pandemia do Covid 19 mudou totalmente nossas rotinas.

Por fim, não menos importante, agradeço à minha equipe de orientadores, a professora Rossana e o professor Tenedório. Essas duas figuras parecem que nem existem, de tão compreensivos e atenciosos. São também muito competentes. Não sei o que seria de mim sem vocês dois. Muito obrigada, de coração.

# MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO PARA O PLANEJAMENTO URBANO ECOLÓGICO COM O USO DO SENSORIAMENTO REMOTO E DOS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

## **Dissertação de Mestrado em Urbanismo Sustentável e Ordenamento do Território**

**Jessica Carla da Silva**

### **RESUMO**

**PALAVRAS-CHAVE:** Ordenamento do Território, Planejamento Urbano, Ecologia, Detecção Remota, Sistemas de Informação Geográfica, *Open Source*.

O estudo do Ordenamento do Território nas cidades se apresenta como um desafio e ao mesmo tempo uma necessidade para os tempos atuais, em que a sustentabilidade busca minimizar os efeitos das mudanças climáticas e os problemas decorrentes da aglomeração de pessoas. Assim, esta dissertação apresenta uma investigação de base teórico-prática para a aplicação de geotecnologias *Open Source* (Detecção Remota/ Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica) no planejamento urbano com orientação ecológica. Para isso, foram apresentados conceitos de Ordenamento do Território e outras matérias correlatas e necessárias para o embasamento teórico que dão suporte à proposta, o plano de fundo é a integração entre conhecimento de ecologia, planejamento e geotecnologias no contexto das cidades. Em seguida, é apresentada a metodologia proposta para a classificação e a validação de dados de imagens de satélite com fins de obtenção de informações sobre a cobertura/ocupação do solo, a área de estudo é a cidade de Vitória, localizada no estado brasileiro do Espírito Santo. A ideia é que este tipo de informação é um fator determinante na implementação de programas de Ordenamento do Território nas diferentes escalas (local, regional, municipal, nacional, transnacional, global) podendo também fazer parte de indicadores utilizados na monitorização e avaliação. Assim, os objetivos centrais do presente estudo são a classificação (etapa de processamento) e a validação da acurácia temática (etapa de pós processamento) de uma imagem do satélite Sentinel 2 a partir da aplicação dos algoritmos *Semi-Automatic Classification Plugin* - SCP e AcATaMa, ambos do QGIS. O principal resultado do

processamento da imagem é o mapa de ocupação do solo a partir de 10 classes (mata nativa, floresta plantada, restinga, pastagem, manguezal, alagado, água, afloramento rochoso, urbano e praia) e 4 macro classes (vegetação, água, solo, área urbanizada). Em relação ao pós processamento, que corresponde à validação temática, foram avaliados a tabela de confusão, ou tabela de erros, e os indicadores de precisão derivados (Exatidão global, coeficiente Kappa, Precisão de classe individual, de produtor e de usuário). De forma geral, a avaliação da acurácia temática foi satisfatória para a classificação executada. A exatidão global no SCP foi de 86,08%, enquanto no AcATaMa foi de 75,61%. Finalmente, é possível afirmar que as informações conceituais, a metodologia, os resultados e as discussões desta investigação fornecem suporte para os processos de monitoramento e avaliação. Os dados de uso e ocupação do solo obtidos com tecnologia *Open Source* a partir da aplicação combinada do Sensoriamento Remoto e dos Sistemas de Informação Geográfica podem contribuir para o planejamento urbano com orientação ecológica.

## ABSTRACT

**KEYWORDS:** Spatial Planning, Urban Planning, Ecology, Remote Sensing, Geographic Information Systems, Open Source.

The study of Spatial Planning in cities presents itself as a challenge and at the same time a necessity for current times, in which sustainability seeks to minimize the effects of climate change and the problems arising from the agglomeration of people. Thus, this dissertation presents a theoretical-practical base investigation for the application of Open Source geotechnologies (Remote Sensing and Geographic Information Systems) in ecologically oriented urban planning. For this, concepts of Spatial Planning and other related and necessary matters for the theoretical basis that support the proposal were presented, the background is the integration between knowledge of ecology, planning and geotechnologies in the context of cities. Next, the proposed methodology for classifying and validating data from satellite images is presented in order to obtain information on land cover/occupation, the study area is the city of Vitória, located in the Brazilian state of Espírito Santo. Holy. The idea is that this type of information is a determining factor in the implementation of Spatial Planning programs at different scales (local, regional, municipal, national, transnational, global) and may also form part of indicators used in monitoring and evaluation. Thus, the main objectives of the present study are the classification (processing step) and the validation of the thematic accuracy (post processing step) of a Sentinel 2 satellite image from the application of the Semi-Automatic Classification Plugin - SCP and AcATaMa algorithms, both from QGIS. The main result of image processing is the map of land occupation from 10 classes (native forest, planted forest, restinga, pasture, mangrove, flooded, water, rocky outcrop, urban and beach) and 4 macro classes (vegetation, water, soil, urbanized area). Regarding post-processing, which corresponds to thematic validation, the confusion table, or error table, and the derived precision indicators (global accuracy, Kappa coefficient, individual class, producer and user precision) were evaluated. In general, the evaluation of thematic accuracy was satisfactory for the classification performed. The overall accuracy in SCP was 86.08%, while in AcATaMa it was 75.61%. Finally, it is possible to affirm that the conceptual information, the methodology, the results and the discussions of this investigation provide support for the monitoring and evaluation processes. Land use and occupation data obtained with Open Source technology from the combined application of Remote Sensing and Geographic Information Systems can contribute to urban planning with an ecological orientation.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>AAE</b>	Avaliações Ambientais Estratégicas
<b>APPs</b>	Áreas de Preservação Permanente
<b>AU</b>	Aglomeração urbana
<b>CEMAT</b>	Conferência Europeia dos Ministros responsáveis pelo Ordenamento do Território do Conselho da Europa
<b>CF</b>	Constituição Federal
<b>DGT</b>	Direção Geral do Território
<b>DN</b>	<i>Digital Number</i>
<b>EIA</b>	Avaliações de Impacto Ambiental
<b>FAO</b>	Food and Agriculture Organization of the United Nations
<b>FPIC</b>	Função Pública De Interesse Comum
<b>IBGE</b>	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
<b>IDHM</b>	Desenvolvimento Humano Muito Alto
<b>INDE</b>	Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais
<b>INPE</b>	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
<b>ISA</b>	Área De Superfície Impermeável
<b>ME</b>	Matrizes de Erro
<b>NCGIA</b>	<i>National Centre for Geographical Information and Analysis</i>
<b>NDVI</b>	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
<b>MAXVER</b>	Classificador de Máxima Verossimilhança
<b>ODS</b>	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
<b>ONU</b>	Organização das Nações Unidas
<b>OT</b>	Ordenamento do Território
<b>PDM</b>	Plano Diretor Municipal
<b>PDUI</b>	Plano De Desenvolvimento Urbano Integrado
<b>PGIS</b>	Sistemas Participativos de Informação Geográfica
<b>PGU</b>	Planejamento e Gestão Urbana
<b>PIB</b>	Produto Interno Bruto per capto
<b>PNPOT</b>	Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território
<b>PRISMA</b>	Metodologia de revisão sistemática
<b>PUE</b>	Planejamento Urbano Ecológico

<b>QGIS</b>	software livre com código-fonte aberto, multiplataforma de sistema de informação geográfica
<b>REM</b>	Radiação Eletromagnética
<b>RM</b>	Região Metropolitana
<b>SAGA</b>	Sistema de Análise Geo-Ambiental
<b>SAGRE</b>	Sistema Automatizado de Gerência da Rede Externa
<b>SEAMA</b>	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
<b>SCOPUS</b>	Banco de dados de resumos e citações de artigos para jornais/revistas acadêmicos.
<b>SCP</b>	<i>Semi-Automatic Classification Plugin</i>
<b>SITIM</b>	Sistema de Tratamento de Imagens
<b>SIG</b>	Sistemas de Informação Geográfica
<b>SR</b>	Sensoriamento Remoto
<b>TOA</b>	<i>Top Of Atmosphere</i>

# ÍNDICE GERAL

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<i>Tema e Contextualização.....</i>	9
<i>Questões Centrais.....</i>	10
<i>Objetivos e Hipóteses.....</i>	10
Objetivo Geral .....	11
Objetivos Específicos.....	11
Hipóteses.....	11
<i>Metodologia geral e estrutura do trabalho.....</i>	12
<b>CAPÍTULO I - ENQUADRAMENTO CONCEITUAL .....</b>	<b>14</b>
1.1. POR QUE ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO? .....	14
1.2. ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO .....	17
1.3. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO .....	24
1.4. PLANEJAMENTO E GESTÃO URBANA - PGU .....	26
1.5. PLANEJAMENTO URBANO ECOLÓGICO - PUE .....	29
1.6. MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO .....	32
1.7. GEOTECNOLOGIAS.....	35
1.8. SENSORIAMENTO REMOTO - SR.....	36
1.8.1. Breve histórico .....	37
1.8.2. Conceito.....	38
1.8.3. Sensores Remotos e assinatura espectral.....	39
1.8.4. Estrutura e Resolução de imagens de satélite .....	42
1.8.5. Aplicações de SR.....	47
1.9. SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA – SIG .....	49
1.9.1. Breve histórico.....	49
1.9.2. Conceito.....	52
1.9.3. Estrutura e aplicações .....	54
1.10. SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA EM ÁREAS URBANAS .....	58
<b>CAPÍTULO II - ABORDAGEM METODOLÓGICA.....</b>	<b>63</b>
2.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	64
2.1.1. Localização e demografia.....	64
2.1.2. Ordenamento do Território em Vitória .....	66
2.1.3. Economia .....	67
2.1.4. Ambiente.....	67
2.1.5. Social .....	68
2.2. CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS DE SATÉLITE .....	69
2.2.1. Coleta e Pré processamento de dados .....	70
2.2.2. Processamento .....	73
2.2.3. Pós processamento .....	77
2.2.3.1. Matriz de confusão ou matriz de erros .....	78
2.2.3.2. Exatidão Global.....	80
2.2.3.3. Precisão de classe individual, de produtor e de usuário.....	81
2.2.3.4. Coeficiente Kappa.....	81
<b>CAPÍTULO III - RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>83</b>
3.1. PROCESSAMENTO.....	83
2.3.1. Assinatura espectral dos alvos.....	84
2.3.2. Classificação de amostras de treino e de validação.....	87
2.3.3. Mapa de ocupação do solo.....	89
3.2. PÓS PROCESSAMENTO SCP .....	95
3.2.1. Distribuição de pixels das classes.....	95

3.2.2.	Matriz de confusão das classes .....	96
3.2.3.	Distribuição de pixels nas macro classes .....	99
3.2.4.	Matriz de confusão das macro classes .....	99
3.3.	PÓS PROCESSAMENTO ACATAMA .....	100
3.3.1.	Distribuição de pixels nas classes e Matrizes de confusão .....	100
3.4.	ANÁLISE GERAL DA ACURÁCIA TEMÁTICA .....	104
<b>CAPÍTULO IV - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>		<b>107</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>		<b>109</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Esquema síntese da estrutura da dissertação. Fonte: Elaboração da autora. ....	12
<b>Figura 2.</b> Geotecnologias. Fonte: Elaboração da autora. ....	36
<b>Figura 3.</b> Elementos do Sensoriamento Remoto. A (fonte de energia ou iluminação), B (radiação e atmosfera), C (objeto de estudo), D (sensor ativo), E (transmissão, recepção e processamento de dados), F (interpretação e análise de dados), G (aplicação). Fonte: <a href="http://geosusblog.blogspot.com.br/">http://geosusblog.blogspot.com.br/</a> . Adaptado por Silva (2016). ....	39
<b>Figura 4.</b> Espectro eletromagnético Fonte: Caçador e Dansa, 2011. Disponível em: <a href="https://canal.cecierj.edu.br/recurso/7620">https://canal.cecierj.edu.br/recurso/7620</a> . Acesso em 20 de jan. de 2023. ....	41
<b>Figura 5.</b> Curva espectral da vegetação, água e do solo. Adaptado de Florezano 2002, p. 12. ....	42
<b>Figura 6.</b> Representação de uma imagem simples a ser processada Fonte: Crósta, 1993, p.23. ....	44
<b>Figura 7.</b> Imagens de diferentes sensores e resoluções espaciais para discriminar áreas urbanas: região Leste de São Paulo. Melo 2002, p.31. ....	45
<b>Figura 8.</b> Diferença de resolução radiométrica em área urbana. Fonte: Melo, 2002, p.34. ....	46
<b>Figura 9.</b> Mapa de Londres com casos de cólera (pontos) e poços de água (cruzes). Fonte: adaptado de E. Tufte, 1983, citado por INPE, 2006. ....	50
<b>Figura 10.</b> Estrutura Geral de Sistemas de Informação Geográfica. Fonte: Câmara e Davis, 2001, p.44. ....	55
<b>Figura 11.</b> Classificação Digital de Imagens de Satélite. Fonte: Elaboração da autora. ....	63
<b>Figura 12.</b> Vitória. Foto: Arquivo Companhia de Desenvolvimento Turismo e Inovação de Vitória /Tadeu Bianconi, 2013. ....	65
<b>Figura 13.</b> Mapa de localização da cidade de Vitória - Brasil. Fonte: Geobases (2023). Fonte: Elaboração da autora. ....	65
<b>Figura 14.</b> PIB per capita de Vitória entre 2010 e 2020. Fonte: IBGE (2020). ....	67
<b>Figura 15.</b> IDHM de Vitória entre 1991 e 2010. Fonte: IBGE (2010). Acesso em 21 de fev. de 2023. ....	69
<b>Figura 16.</b> Coleta de imagem do satélite Sentinel 2 para processamento. Fonte: Copernicus, 2022. .	71
<b>Figura 17.</b> Pré processamento de imagem no SCP. ....	73
<b>Figura 18.</b> Classes e Macro Classes analisadas no SCP. ....	76
<b>Figura 19.</b> Pós processamento de classes no SCP. ....	79
<b>Figura 20.</b> Pós processamento de macro classes no SCP. ....	79
<b>Figura 21.</b> Obtenção de amostras no AcATaMa. ....	80
<b>Figura 22.</b> Assinatura espectral dos objetos analisados no SCP. ....	84
<b>Figura 23.</b> Distribuição dos pixels nas bandas 2 e 8 das amostras de treino no SCP. ....	86
<b>Figura 24.</b> Mapa de cobertura da terra em Vitória a partir de amostras de treino, com classes de ocupação do solo. Fonte: Elaboração da autora. ....	90
<b>Figura 25.</b> Mapa de cobertura da terra em Vitória a partir de amostras de validação, com classes de ocupação do solo. Fonte: Elaboração da autora. ....	91
<b>Figura 26.</b> Percentagem de atribuição de classes de cobertura do solo a partir do pós processamento entre amostras de treino e de validação no SCP. Fonte: Elaboração da autora. ....	91
<b>Figura 27.</b> Mapa de cobertura da terra em Vitória. Fonte: Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEAMA), 2018. ....	92
<b>Figura 28.</b> Mapa de cobertura da terra em Vitória a partir de amostras de treino, com macro classes de ocupação do solo. Fonte: Elaboração da autora. ....	93
<b>Figura 29.</b> Mapa de cobertura da terra em Vitória a partir de amostras de validação, com macro classes de ocupação do solo. Fonte: Elaboração da autora. ....	94
<b>Figura 30.</b> Percentagem de atribuição de macro classes de cobertura do solo a partir do pós processamento entre amostras de treino e de validação no SCP. Fonte: Elaboração da autora. ....	94
<b>Figura 31.</b> Acurácia do produtor gerada no SCP e AcATaMa. Fonte: Elaboração da autora. ....	106

## ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Conceitos fundamentais para a compreensão e a gestão das unidades territoriais brasileira. Estatuto da Metrópole (2015). Fonte: Elaboração da autora. ....	24
<b>Tabela 2.</b> Finalidade, objetivo e áreas de aplicação dos SIG. Fonte: < <a href="https://www.professores.uff.br/cristiane/sistemas-de-informacao-geografica-e-geoprocessamento/">https://www.professores.uff.br/cristiane/sistemas-de-informacao-geografica-e-geoprocessamento/</a> > Acesso em: 12 de fev. de 2023 .....	57
<b>Tabela 3.</b> Vídeos de apoio para a aplicação do SCP e AcATaMa. Fonte: Elaboração da autora. ....	64
<b>Tabela 4.</b> Classes de referência nas escalas municipal, estadual, nacional e global. Fonte: elaboração da autora. ....	75
<b>Tabela 5.</b> Classes, amostras e cores RGB selecionadas para o estudo. Fonte: elaboração da autora. .	76
<b>Tabela 6.</b> Macroclasses, amostras e cores RGB selecionadas para o estudo. Fonte: elaboração da autora. ....	76
<b>Tabela 7.</b> Matriz de erros com “Dados de Referência” (colunas), “Dados Classificados” (linhas), diagonal principal com as amostras classificadas corretamente ( <b>negrito</b> ), exatidão global dos dados, acurácia dos dados do produtor e dados do usuário. Fonte: adaptado de Mastella & Vieira (2018, p.1625). ....	78
<b>Tabela 8.</b> Amostras para verificação de acurácia no AcATaMa. Fonte: elaboração da autora. ....	79
<b>Tabela 9.</b> Qualidade da classificação associada aos valores da estatística Kappa. Fonte: Adaptada de Landis & Garry (1977, p.165) por Ipolliti-Ramilo (1999). ....	82
<b>Tabela 10.</b> Exemplo de matriz de erros e cálculo de k. Fonte: Jensen, 2015, p. 568. ....	83
<b>Tabela 11.</b> Detalhamento da assinatura espectral das amostras de treino no SCP. ....	85
<b>Tabela 12.</b> Visualização de amostras de treino e respectivos resultados de classificação no SCP. Fonte: elaboração da autora. ....	89
<b>Tabela 13.</b> Distribuição dos pixels das classes gerada a partir do complemento SCP. Fonte: Elaboração da autora. ....	96
<b>Tabela 14.</b> Matriz de confusão (matriz de erros) das classes gerada a partir do complemento SCP. Fonte: Elaboração da autora. ....	97
<b>Tabela 15.</b> Matriz de confusão (matriz de erros) da proporção de área estimada das classes gerada a partir do complemento SCP. Fonte: Elaboração da autora. ....	98
<b>Tabela 16.</b> Distribuição de pixels nas macro classes gerada a partir do complemento SCP. Fonte: Elaboração da autora. ....	99
<b>Tabela 17.</b> Matriz de confusão (matriz de erros) das macro classes gerada a partir do complemento SCP. Fonte: Elaboração da autora. ....	99
<b>Tabela 18.</b> Matriz de erros da proporção de área estimada das classes gerada a partir do complemento SCP. Fonte: Elaboração da autora. ....	100
<b>Tabela 19.</b> Matriz de confusão (matriz de erros) das classes gerada a partir do complemento AcATaMa. Fonte: Elaboração da autora. ....	102
<b>Tabela 20.</b> Matriz de erros da proporção de área estimada das classes gerada a partir do complemento AcATaMa. Fonte: Elaboração da autora. ....	102
<b>Tabela 21.</b> Matriz de erros quadráticos da proporção de área estimada das classes gerada a partir do complemento AcATaMa. Fonte: Elaboração da autora. ....	103
<b>Tabela 22.</b> Matrizes de precisão do usuário e do produtor geradas a partir do complemento AcATaMa. Fonte: Elaboração da autora. ....	103
<b>Tabela 23.</b> Tabela de ajuste das área estimada para a classe gerada a partir do complemento AcATaMa. Fonte: Elaboração da autora. ....	104
<b>Tabela 24.</b> Qualidade do mapa temático conforme adaptação de Landis & Garry (1977, p.165) por Ipolliti-Ramilo (1999). ....	104

<b>Tabela 25.</b> Comparação SCP x AcATaMa para classes. Fonte: Elaboração da autora. ....	105
<b>Tabela 26.</b> Acurácia do produtor e do usuário geradas no SCP e AcATaMa. Fonte: Elaboração da autora. ....	105

## **Introdução**

Esta dissertação busca demonstrar a relevância de tecnologias geoespaciais como o Sensoriamento Remoto e os Sistemas de Informação Geográfica para suporte aos processos de monitoramento e avaliação no planejamento urbano ecológico, contribuindo para a melhor gestão e coesão territorial.

Os tópicos desta introdução apresentam uma contextualização do tema a ser investigado, a questão central abordada no trabalho, os objetivos e hipóteses levantados, um resumo das metodologias utilizadas e a estrutura desta dissertação.

### **Tema e Contextualização**

As cidades hoje estão se espalhando em suas paisagens circundantes, sem levar em consideração as consequências sociais, econômicas e ambientais geradas por suas 'pegadas urbanas' (Netzband & Jürgens, 2010, p.3). Para estes autores, o fenômeno da redução dos espaços verdes e abertos que levam ao aumento da impermeabilidade deve ser documentado de escala local à global, e é de suma que o conhecimento seja integrado em investigações de mudanças climáticas e outras questões de alteração global.

Porém, como o espaço urbano tem o caráter naturalmente dinâmico, as análises ambientais são relevantes para o fornecimento de dados espacialmente claros, com viabilidade econômica para a disponibilização constante e segura dos mesmos. Dessa forma, as decisões em planejamento urbano e o urbanismo podem ser subsidiados por técnicas de análise espacial baseadas em informações geográficas (como o Sensoriamento Remoto - SR aliado aos Sistemas de Informação Geográfica - SIG), para mapear, medir, simular e visualizar a realidade. Netzband and Jürgens (2010, p. 3) afirmam que essas técnicas de análise espacial são necessárias, pois, o aumento da disponibilidade de dados geográficos dos últimos anos não foi acompanhado por um crescimento de conhecimento para apoiar as decisões espaciais.

Nos últimos anos técnicas de SR suportadas pelo processamento das informações em SIG têm sido utilizadas para o planejamento urbano e para pesquisa ecológica urbana se tornando uma ferramenta fundamental para vários campos da análise ambiental, informando ativamente a política em todas as áreas e domínios (Netzband & Jürgens, 2010; Wellmann et al., 2020). Todavia, em uma vasta análise bibliográfica, Wellmann et

al. (2020, pp.01-13) investigaram como o Sensoriamento Remoto está contribuindo para a ciência do planejamento urbano com orientação ecológica. Para isso, revisaram 186 artigos em uma pesquisa sistemática utilizando a base de dados SCOPUS a partir de diretrizes PRISMA, analisando o nível de integração entre as disciplinas de Planejamento Urbano, Sensoriamento Remoto e Ecologia. Em seus principais resultados, os autores relatam um potencial ocioso do SR para a contribuição efetiva no embasamento de políticas de uso do solo urbano, com informações públicas e agendas de planejamento.

Como forma de estender a aplicabilidade do SR nos sistemas urbanos, Wellmann et al. (2020, pp.10-11) apostam em três etapas básicas:

- I - Acessibilidade da informação;
- II - Integração entre o espaço e o planejamento urbano, o espaço e o Sensoriamento Remoto e o espaço e a ecologia;
- III - Orientação para a política e o planejamento.

### **Questões Centrais**

O presente estudo busca executar uma técnica, com suporte em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica para a classificação e validação de dados de imagens de satélite com fins de obtenção de informações sobre a cobertura/ocupação do solo em uma cidade. A ideia é que este tipo de informação é um fator determinante na implementação de programas de Ordenamento do Território nas diferentes escalas (local, regional, municipal, nacional, transnacional, global). O conhecimento sobre a cobertura do solo pode integrar indicadores a serem utilizados em diferentes dimensões de análises durante o planejamento urbano como, por exemplo, para dar suporte aos processos de monitorização e avaliação, sendo dados técnicos essenciais para a tomada de decisão.

### **Objetivos e Hipóteses**

A partir da contextualização da problemática e dos questionamentos relacionados ao tema, são apresentados a seguir os objetivos que nortearam e motivaram a investigação no presente trabalho. Para atingir tais objetivos e/ou se chegar a reflexões relevantes, o desenvolvimento e aprofundamento no tema de estudo também se baseia em hipóteses a serem avaliadas.

## **Objetivo Geral**

Fornecer suporte para a avaliação do uso e ocupação do solo no planejamento urbano com orientação ecológica a partir da aplicação do Sensoriamento Remoto e dos Sistemas de Informação Geográfica.

## **Objetivos Específicos**

- Verificar se é possível o uso de uma tecnologia *Open Source* na classificação de imagem Sentinel 2 para obtenção de mapa ocupação do solo em uma cidade;
- Verificar a validação do resultado da classificação por acurácia temática.

## **Hipóteses**

A proposta de desenvolvimento da temática deste trabalho considera um conjunto de hipóteses de partida sistematizados nos pontos seguintes:

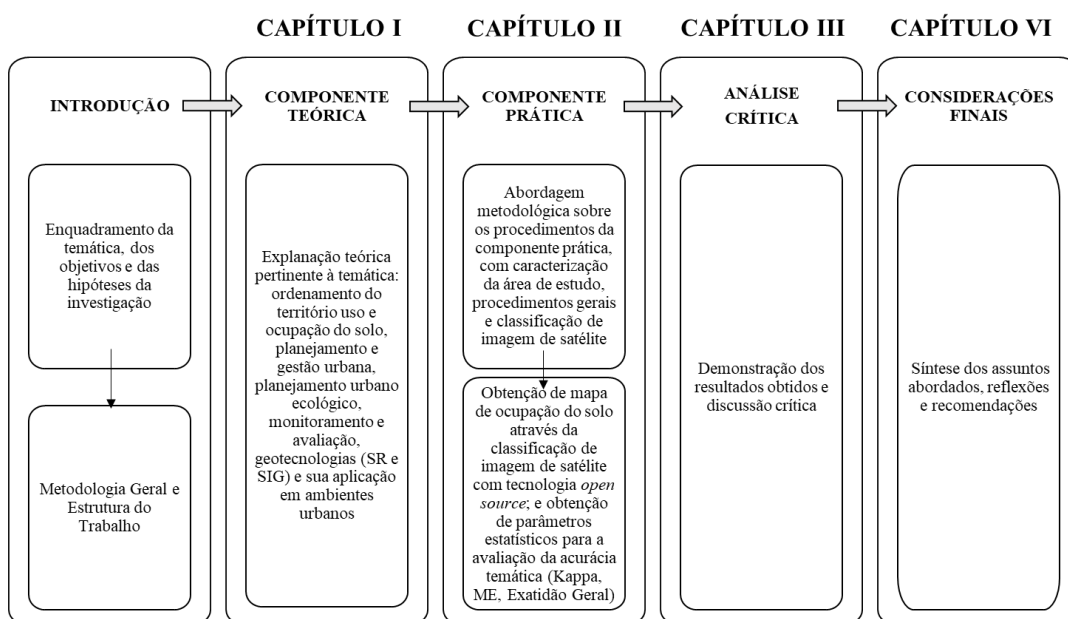
- a. Existe um potencial a ser explorado para o planejamento urbano ecológico através do uso combinado do Sensoriamento Remoto e dos Sistemas de Informação Geográfica. Esta é a principal hipótese levada em consideração no presente estudo.
- b. A resolução de um dos grandes problemas do século XXI, a necessidade de implantação de um urbanismo mais sustentável para a sobrevivência e desenvolvimento das cidades é possível através da integração dos fatores defendidos por Wellmann et al. (2020, p.10):
  - i. O desenvolvimento de estudos e metodologias que permitam o conhecimento sobre dados e aplicação de métodos computacionais de Sensoriamento Remoto nas cidades;
  - ii. O entendimento sistemático de processos ecológicos, de problemas urbanos e de soluções.
- c. A partir de reflexões de Netzband & Jürgens (2010, pp. 01-12) e Wellmann et al. (2020, pp. 01-13), também se pode inferir que a medição, a modelização, o mapeamento e a visualização de dados geográficos e de Sensoriamento Remoto através de Sistemas de Informação Geográfica potencializam não só

o processo de avaliação e monitoramento, mas também da tomada de decisão, sendo importante destacar:

- i. Acessibilidade de dados;
- ii. Transparência de processos decisórios;
- iii. Integração da sociedade nos processos decisórios;
- iv. Construção colaborativa do conhecimento;
- v. Cultura de avaliação colaborativa e permanente;
- vi. Pesquisa aplicada e sua interferência na nova agenda urbana, a qual está ancorada nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

### Metodologia geral e estrutura do trabalho

A partir dos objetivos destacados e das hipóteses levantadas sobre o tema abordado, a metodologia geral do presente estudo é esquematizada a seguir:



**Figura 1.** Esquema síntese da estrutura da dissertação. Fonte: Elaboração da autora.

Conforme o esquema síntese da estrutura ilustrado anteriormente, são relacionados os capítulos com compõem a estrutura desta dissertação:

- A componente teórica corresponde ao Capítulo I;
- A componente prática corresponde ao Capítulo II;
- Os resultados e as discussões, que fazem parte da análise crítica correspondem ao Capítulo III;
- As conclusões e recomendações, que fazem parte das considerações finais, correspondem ao Capítulo IV.

A componente teórica foi realizada tendo por base em uma revisão bibliográfica em parte através do banco de dados SCOPUS, com a consulta de artigos científicos indexados. Também foram utilizados livros, endereços eletrônicos oficiais e não oficiais, legislações, trabalhos acadêmicos (a exemplo de dissertações de mestrado, teses de doutoramento), além de tutoriais e outros documentos.

A partir dos objetivos propostos, a componente prática se propõe a demonstrar a metodologia e as aplicações práticas necessárias para a obtenção dos resultados. Tais resultados são apresentados na etapa seguinte, quando é realizada uma análise crítica. Por fim são apresentados alguns apontamentos conclusivos e recomendações para investigações futuras.

## **Capítulo I - Enquadramento Conceitual**

Este capítulo apresenta tópicos que descrevem conceitos primordiais para o melhor entendimento do estudo a ser realizado. O desenvolvimento das ideias aqui apresentadas vai desde os motivos que sustentam a necessidade de se realizar Ordenamento do Território e Planeamento Urbano Ecológico aos conceitos clássicos de Detecção Remota/Sensoriamento Remoto e de Sistemas de Informação Geográfica. Tais ideias são necessárias serem discutidas para que seja possível visualizar quais as principais dificuldades no uso de ferramentas geotecnológicas no ambiente das cidades, num contexto de planeamento urbano ecológico.

### **1.1. Por que Ordenamento do Território?**

Antes de apresentar o conceito de Ordenamento do Território - OT ou de planeamento urbano, é necessário perceber o motivo da existência do OT e quem seria o (s) responsável(is) por criá-lo. Sob uma perspectiva política ou jurídica, o principal responsável seria o Estado.

De acordo com Augusto (2013):

O Estado é a fórmula política da sociedade e sempre foi alvo de estudos científicos e filosóficos. Platão estudou o Estado ideal, como deveria ser; Aristóteles descreveu o Estado real, tal qual existia em sua época; Cícero fez uma análise jurídica e moral do Estado romano: e Maquiavel chocou o mundo, quando apresentou fatos que presenciou e suas conclusões práticas sobre eles (p.8).

Augusto (2013) fez um estudo aprofundado de conceitos inerentes a este assunto, para ele, “o Estado é formado por governo, povo e território.” (p.31). “O governo é o órgão político dirigente, gestor da soberania estatal, que tem por obrigação conduzir o Estado mantendo a ordem jurídica em busca do bem comum.” (p.11). “Compete, portanto, ao governo dirigir o Estado, estabelecendo normas de conduta (legislativo), definindo as políticas públicas (executivo) e solucionando os conflitos existentes (judiciário), de forma a proporcionar progresso e a garantir ao povo a tão desejada paz social nos limites de seu território.” (p.31).

Conforme Augusto (2013), “O povo<sup>1</sup> é o segundo elemento constitutivo do Estado, e por lógica, o único motivo de sua existência.” (p.38). O último elemento essencial do Estado é o território, o qual pode ser descrito como “a base física, a porção do globo por ele ocupada, que serve de limite à sua jurisdição e lhe fornece recursos naturais” (p.24). Para o autor, o território “é o elemento mais sensível de todos, pois é o único elemento que em tese, não pode ser renovado, produzido ou multiplicado” (p.39), “é o único recurso que não há como expandir, sem prejudicar direito alheio” (p.1). “Além disso, o território já está bastante degradado, vítima do descaso tanto do governo como do próprio povo, que dele dependem” (p.39). “Sem um perfeito controle territorial, não há como solucionar as questões do governo, que vai continuar impotente diante da falta de corretas informações, nem como solucionar os problemas do povo, que vai continuar crescendo de forma desordenada e sem a necessária sustentabilidade.” (p.40).

As afirmações de Augusto (2013) apresentadas anteriormente, se forem analisadas sob a ótica meramente jurídica nos leva a concluir que o Ordenamento do Território é uma tarefa exclusiva do Estado, porém, esta temática é tão complexa quanto importante, pois o pleno funcionamento de qualquer política pública não se faz apenas com leis e regulamentações, elas dependem da eficiência e da aplicabilidade de tais instrumentos. Dessa forma, o Ordenamento do Território é um desafio de todos e para todos.

Ferrão (2011) traz algumas reflexões necessárias para a busca de soluções, e mesmo que esteja a visualizar o contexto europeu, estas reflexões podem ajudar no melhor entendimento da aplicação do Ordenamento do Território em outros contextos territoriais. O autor questiona: “como transformar o Ordenamento do Território numa política pública mais eficiente porque politicamente relevante, socialmente reconhecida, profissionalmente qualificada e operacionalmente eficaz?” (p.132).

Ferrão (2011) esclarece que esta e outras questões colocadas são complexas e não têm respostas fáceis, particularmente em contextos de imprevisibilidade, como em crises e transições. Desta forma, “não é possível responder às questões formuladas sem sabermos mais sobre as crenças, os valores, as atitudes e os comportamentos dos que – indivíduos,

---

<sup>1</sup> po-vo |ô| (latim *populus*, -i) nome masculino

1. Conjunto dos habitantes de uma nação ou de uma localidade. = POPULAÇÃO "povo", in Dicionário Priberam da Língua Portuguesa [em linha], 2008-2021, <https://dicionario.priberam.org/povo> [consultado em 30-01-2023].

comunidades profissionais, entidades públicas e privadas – quotidianamente fazem e desfazem territórios” (p.133).

Ou seja, Ferrão (2011) entende que a questão principal para a aplicabilidade e eficiência do Ordenamento do Território está relacionada à “cultura de território, de cultura de Ordenamento de Território, de cultura de aprendizagem” (p.133). Em uma reflexão sob a ótica social, o autor destaca que esta aplicabilidade e eficiência também está relacionada à “cultura de mudança e de inovação social, dos seus contextos e actores, e das relações de poder e interesse que inevitavelmente pressupõem e desencadeiam” (p.133). Desta forma, o Ordenamento do Território ganha destaque como uma política pública “É neste âmbito que o entendimento das condições sociais de funcionamento do Ordenamento do Território enquanto política pública ganha particular relevância” (p.133).

Ferrão (2011) acredita que a responsabilidade por um Ordenamento do Território mais eficiente e resiliente parte de um debate aprofundado, com responsabilidades partilhadas, com uma política de Ordenamento do Território mais justa e democrática (p.133). O autor aponta algumas destas responsabilidades para os principais atores envolvidos, sejam eles: 1 - a comunidade profissional de Ordenamento do Território; 2 - os decisores e gestores políticos de nível nacional, regional ou local e; 3 - os cidadãos, individualmente ou organizados em movimentos cívicos (p.133).

Com relação aos membros e as associações que representam a comunidade profissional “espera-se maior iniciativa na discussão de temas e na proposta de acções que permitam introduzir as dimensões esquecidas da política de Ordenamento do Território” (p.133). Aos decisores e gestores políticos cabe “a responsabilidade de integrar o Ordenamento do Território no rol das suas prioridades, promover a formação avançada de técnicos neste domínio, suscitar a cooperação e concertação entre instituições e actores com intervenção num mesmo território, estimular formas de participação e de avaliação de políticas e programas numa óptica de aprendizagem institucional e inovação social (p.133-134). Já os cidadãos têm a responsabilidade de defesa e salvaguarda do território que lhes é de comum “mobilizando-se para este efeito, participando de iniciativas que visem o bom uso dessa casa comum, propondo acções adequadas e exequíveis, assumindo comportamentos que, pelo seu efeito directo e pelo exemplo que representam, contribuam para uma consciência territorial mais exigente

(p.134). Ferrão (2011) ainda enfatiza mais uma vez que a questão principal em Ordenamento do Território não é de natureza legal, mas sim de natureza cultural, havendo a necessidade de mudanças profundas por parte destes atores (p.134).

## **1.2. Ordenamento do Território**

Para Ferrão (2011):

A comparação dos conceitos de território e, por maioria de razão, de Ordenamento do Território utilizados em diferentes países confronta-se, no entanto, com dificuldades de natureza linguística e cultural que impõem prudência quanto às ilações a retirar de estudos efectuados noutros contextos. Ordenamento do Território, *aménagement du territoire* (França), *Raumordnung* (Alemanha), *ruimtelijke ordening* (Holanda), *planificazione territoriale* (Itália) ou *land use planiing/ spatial planning* (Reino Unido), para dar apenas alguns exemplos, não tem o mesmo significado, como Friedmann (2005) e Faludi (2005) bem nos recordam (p.28).

Porém, Ferrão (2011) reconhece que apesar de haver “a ausência de conceitos harmonizados de Ordenamento do Território e a existência de fronteiras pouco nítidas e em mutação entre políticas de Ordenamento do Território e outras políticas públicas” (p.29), o intercâmbio de experiências entre os países é benéfico para a evolução, tanto do conceito quanto da implementação do Ordenamento do Território, ou seja, essas limitações “não impedem, contudo, que procuremos retirar ensinamentos do que se verifica noutros países e noutros domínios da acção pública” (p.29).

Ferrão (2011) afirma que “verifica-se actualmente, sobretudo no contexto europeu, uma significativa convergência transnacional das políticas de Ordenamento do Território em torno de uma perspectiva mais estratégica e proactiva” (p.26). Vamos que passada mais de uma década esta afirmação ainda se mostra vigente.

Na conjuntura europeia, o conceito de Ordenamento do Território é apresentado no Glossário do Desenvolvimento Territorial desenvolvido pela *European Conference of*

*Ministers responsible for Regional / Spatial Planning* (CEMAT, 2021) - Conferência Europeia dos Ministros responsáveis pelo Ordenamento do Território do Conselho da Europa e traduzido para a língua portuguesa sob responsabilidade da Direção Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano portuguesa (DGT), e consiste em: “um conjunto de instrumentos utilizados pelo sector público para influenciar a distribuição de pessoas e actividades nos territórios a várias escalas, assim como a localização de infra-estruturas, áreas naturais e de lazer” (p.18).

O documento em apreço (CEMAT, 2021) também descreve as atividades de Ordenamento do Território e as atividades de cooperação. No primeiro caso, são tratadas em diferentes escalas administrativas ou governamentais, podendo ser locais, regionais ou nacionais. Já no âmbito da cooperação europeia, podem ser desenvolvidas atividades em escalas transfronteiriças e transnacionais.

Em Portugal, a Direção Geral do Território é a responsável por gerir o Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território (PNPOT), o qual é composto pelas fases de elaboração, implementação, monitorização (em português do Brasil: monitoramento) e avaliação. Tal programa foi instituído inicialmente pela Lei n.º 58/2007 tendo sido revisto pela Lei n.º 99/2019. De acordo com o Art. 1º da Lei de 2019, “O PNPOT constitui-se como o quadro de referência para os demais programas e planos territoriais e como um instrumento orientador das estratégias com incidência territorial.” (Portugal, 2019, p.9). “A figura do PNPOT foi criada pela Lei de Bases da Política de Ordenamento do Território e de Urbanismo de 1998, com o objetivo de dotar o país de um instrumento competente para a definição de uma visão prospetiva, completa e integrada da organização e desenvolvimento do território e pela promoção da coordenação e articulação de políticas públicas numa base territorializada (Portugal, 2019, p.9). A DGT destaca que em todas as fases do ciclo do PNPOT, sejam elas a elaboração, a implementação, a monitorização e a avaliação “é fundamental incentivar a participação cívica e institucional, fomentando o acompanhamento e a cooperação ativa das entidades públicas que representam diferentes interesses públicos, assim como dos demais agentes territoriais e cidadãos interessados” (DGT, para.1).

Como refere Ulkowski (2021) ao debruçar-se sobre a temática do georreferenciamento de imóveis do território no Brasil, com um estudo de caso no estado do Paraná, é “explícita a variação dos sistemas de Ordenamento do Território entre os

países devido as diferenças políticas, culturais e sociais” (p.15). Isso faz com que seja necessária uma análise cuidadosa sobre o território a ser estudado e sobre o conceito de Ordenamento do Território, o qual está naturalmente relacionado a políticas e estratégias para a organização do solo em um determinado território nas suas diferentes escalas.

Augusto (2013) esclarece que “o Brasil convive hoje com inúmeros problemas ligados diretamente ao mau uso do território: crescimento desordenado das cidades, falta de moradia, desmatamento, conflitos agrários, favelização, poluição, especulação imobiliária etc” (p.40). Porém, tais problemas não devem ser analisados de forma indissociada do histórico de ocupação do território, tanto do próprio Brasil como da América Latina.

É fato que apesar de ser uma das nações mais ricas do mundo, de ter dimensões continentais com a 5ª maior extensão territorial<sup>2</sup> (8.510.345,540 km<sup>2</sup>), e de ter uma grande riqueza de biodiversidade e de recursos naturais, o Brasil enfrenta problemas crônicos relacionados a questões sociais, que tem origem ainda no processo de colonização e no longo período de escravidão. A desigualdade social, o racismo estrutural, a presença e crescimento de movimentos reacionários e a forma como se constituiu a cultura de território brasileira são alguns dos principais desafios a serem confrontados e solucionados, para que o país consiga finalmente ultrapassar barreiras e se tornar uma nação com ordem, progresso e bem-estar social.

No âmbito das políticas existentes para Ordenamento do Território, Ulkowski (2021) aponta que “há uma integração de políticas nacionais de ordenamento com as desenvolvidas no âmbito regional” (p.3), e que no Brasil o Ordenamento do Território “é executado na escala municipal por força do Estatuto da Cidade, sendo assim ocorre mais na área urbana. Na área rural existem alguns programas normativos e de financiamentos, mas menos planejamento do território” (p.iv).

A Lei nº 10.257/2001, denominada Estatuto da Cidade regulamentou os Art. 182 e 183 da Constituição Federal - CF brasileira de 1988, estabelecendo diretrizes gerais da

---

<sup>2</sup> Para a superfície do Brasil foi calculado o valor de 8.510.345,540 km<sup>2</sup>, publicado no Diário Oficial da União - DOU nº 38, de 23/02/2022, conforme Portaria Nº PR-73, de 21 de fevereiro de 2022 (IBGE, 2023).

política urbana. O Art. 182 da CF institui o Plano Diretor Municipal - PDM<sup>3</sup> como o instrumento básico de desenvolvimento e expansão da cidade:

A política de desenvolvimento urbano, executada pelo poder público municipal, conforme diretrizes gerais fixadas em lei, tem por objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e garantir o bem-estar de seus habitantes.

§ 1º O plano diretor, aprovado pela Câmara Municipal, obrigatório para cidades com mais de vinte mil habitantes, é o instrumento básico da política de desenvolvimento e de expansão urbana.

No Estatuto da Cidade, o Art. 1 “estabelece normas de ordem pública e interesse social que regulam o uso da propriedade urbana em prol do bem coletivo, da segurança e do bem-estar dos cidadãos, bem como do equilíbrio ambiental”. O Art. 2 enumera diretrizes gerais para o seu funcionamento e há um destaque para a ordenação e o controle do uso do solo, objeto de estudo da presente investigação:

VI - ordenação e controle do uso do solo, de forma a evitar:

- a) a utilização inadequada dos imóveis urbanos;
- b) a proximidade de usos incompatíveis ou inconvenientes;
- c) o parcelamento do solo, a edificação ou o uso excessivos ou inadequados em relação à infra-estrutura urbana;
- d) a instalação de empreendimentos ou atividades que possam funcionar como pólos geradores de tráfego, sem a previsão da infra-estrutura correspondente;
- e) a retenção especulativa de imóvel urbano, que resulte na sua subutilização ou não utilização;
- f) a deterioração das áreas urbanizadas;
- g) a poluição e a degradação ambiental;

---

<sup>3</sup> Em algumas cidades, o termo legal utilizado é Plano de Diretor Urbano – PDU, como é o caso de Vitória/ES.

Além do Estatuto da Cidade, utilizado como base jurídica para o direcionamento do Ordenamento do Território nas cidades brasileiras, em 2015 o Congresso Nacional aprovou Lei nº 13.089/2015, denominada Estatuto da MetrÓpole.

Art. 1º Esta Lei, denominada Estatuto da MetrÓpole, estabelece diretrizes gerais para o planejamento, a gestão e a execução das funções públicas de interesse comum em regiões metropolitanas e em aglomerações urbanas instituídas pelos Estados, normas gerais sobre o plano de desenvolvimento urbano integrado e outros instrumentos de governança interfederativa, e critérios para o apoio da União a ações que envolvam governança interfederativa no campo do desenvolvimento urbano, com base nos incisos XX do art. 21 , IX do art. 23 e I do art. 24 , no § 3º do art. 25 e no art. 182 da Constituição Federal (Brasil, 2015).

Marrara (2021) explica que no Estatuto da MetrÓpole “se encontram as regras de estruturação de unidades regionais, sobretudo Regiões Metropolitanas e Aglomerações Urbanas, bem como as diretrizes de governança e os instrumentos urbanísticos” (p.11). Tal instrumento alterou a Lei nº 10.257/2001, buscando instrumentalizar o Estado para enfrentar o desafio da regionalização das cidades. Marrara (2021) afirma que “a regionalização dos municípios brasileiros é uma tendência sem volta” (p.11) e aponta quatro fatores que impõem o processo de regionalização das cidades, são eles:

1 – O crescimento demográfico e a expansão dos tecidos urbanos: “O primeiro é o crescimento demográfico e a expansão dos tecidos urbanos, levando a cidades a se conurbarem” (p.11).

2 – O compartilhamento de recursos naturais escassos, mas necessários: “O segundo fator reside no compartilhamento de recursos naturais escassos, mas necessários para o desempenho de variados serviços públicos urbanos e para a garantia de direitos fundamentais” (p.11).

3 – A necessidade de serviços públicos: “O terceiro consiste na necessidade de se articular atores e políticas públicas, de modo a mitigar os impactos nocivos do comportamento de um ente federativo sobre outro” (p.11).

4 – A oportunidade de somar investimentos e compartilhar recursos financeiros: “O quarto está na oportunidade de se somar investimentos e de se compartilhar recursos financeiros, fazendo-se mais com menos, em favor do princípio da eficiência administrativa” (p.11).

Ambos os instrumentos legais são importantes para a matéria do Ordenamento do Território no Brasil. Marguti (2018) esclarece que o Estatuto da Metrópole tem uma função complementar ao Estatuto das Cidades, principalmente em casos de centros urbanos de maior escala:

Analisando o sistema de direito urbanístico, nota-se que o Estatuto da Metrópole passa a ter papel complementar ao Estatuto da Cidade, especificamente no que concerne aos centros urbanos de maior escala. Assim, o Estatuto da Cidade disciplina o tema do direito urbanístico de maneira geral – no universo dos espaços urbanos dos milhares de municípios brasileiros; e o Estatuto da Metrópole, por sua vez, dirige-se a unidades territoriais consideradas em maior escala, reconhecendo os processos de metropolização das cidades brasileiras. As noções de complementaridade e de sistema certamente podem subsidiar a aplicação das disposições da nova lei (pp.460-461).

Para a autora, “Uma das principais contribuições do Estatuto da Metrópole é a definição legal de sete conceitos fundamentais para a compreensão e a gestão das unidades territoriais brasileiras: AU, metrópole, RM, FPIC, PDUI, gestão plena e governança interfederativa” (Marguti et al., 2018, p.462).

O Art. 2º da Lei nº 13.089/2015 descreve estes conceitos, como pode ser observado a seguir:

<b>Conceito</b>	<b>Descrição</b>
-----------------	------------------

---

---

AU	I – aglomeração urbana: unidade territorial urbana constituída pelo agrupamento de 2 (dois) ou mais Municípios limítrofes, caracterizada por complementaridade funcional e integração das dinâmicas geográficas, ambientais, políticas e socioeconômicas;
Metrópole	V – metrópole: espaço urbano com continuidade territorial que, em razão de sua população e relevância política e socioeconômica, tem influência nacional ou sobre uma região que configure, no mínimo, a área de influência de uma capital regional, conforme os critérios adotados pela Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE;
RM	VII - região metropolitana: unidade regional instituída pelos Estados, mediante lei complementar, constituída por agrupamento de Municípios limítrofes para integrar a organização, o planejamento e a execução de funções públicas de interesse comum; (Redação dada pela Lei nº 13.683, de 2018)
FPIC	II – função pública de interesse comum: política pública ou ação nela inserida cuja realização por parte de um Município, isoladamente, seja inviável ou cause impacto em Municípios limítrofes;
PDUI	VI - plano de desenvolvimento urbano integrado: instrumento que estabelece, com base em processo permanente de planejamento, viabilização econômico-financeira e gestão, as diretrizes para o desenvolvimento territorial estratégico e os projetos estruturantes da região metropolitana e aglomeração urbana; (Redação dada pela Lei nº 13.683, de 2018);
Gestão Plena	III – gestão plena: condição de região metropolitana ou de aglomeração urbana que possui:

- a) formalização e delimitação mediante lei complementar estadual;
- b) estrutura de governança interfederativa própria, nos termos do art. 8º desta Lei; e
- c) plano de desenvolvimento urbano integrado aprovado mediante lei estadual;

Governança IV – governança interfederativa: compartilhamento de responsabilidades e ações entre entes da Federação em termos de organização, planejamento e execução de funções públicas de interesse comum.

**Tabela 1.** Conceitos fundamentais para a compreensão e a gestão das unidades territoriais brasileira. Estatuto da Metrópole (2015). Fonte: Elaboração da autora.

Contudo, Marrara (2021) aponta que “Apesar de sua redação concisa e objetiva, aplicar o Estatuto nem sempre é tarefa simples” (p.11), um dos grandes obstáculos para a aplicação do Estatuto da Metrópole está diretamente relacionado à complexidade das normativas legais no Brasil. Marrara (2021) também afirma que tais normas precisam ser compreendidas e estar de acordo com legislações federais como a Constituição da República e as leis nacionais de política urbana, como o Estatuto da Cidade e a Lei de Parcelamento do Solo, além de legislações estaduais e setoriais, “como as leis de saneamento e de mobilidade, e de um incontável número de planos e normativas municipais” (p.11).

### **1.3. Uso e Ocupação do Solo**

A história mostra uma forte dependência do ser humano em relação aos recursos naturais disponíveis na terra, que incluem o solo. Por exemplo, o surgimento, crescimento e manutenção de núcleos urbanos se estabeleceu a partir de sua proximidade com os rios e os corpos d’água como também da capacidade de uso da terra para o plantio. Estas cidades se desenvolveram de tal forma e com tal velocidade que os rios que inicialmente tinham função de abastecimento, transporte e comunicação passaram, agora, a sofrer com os impactos das dinâmicas urbanas que surgiam. Estes impactos derivados do ambiente urbano trouxeram mudanças ambientais profundas no ecossistema global, na paisagem,

no quantitativo e qualitativo dos recursos naturais, bem como na flora e na fauna presentes na natureza. Netzband & Jürgens (2010) argumentam que “o padrão urbano causa deterioração na qualidade do ar, nos processos do ecossistema urbano e na biodiversidade” (p.3). Breadsell (2020) também relata que apesar de a urbanização ser “uma característica definidora da era moderna” (p.1), o modelo atual de desenvolvimento urbano “altera profundamente o ambiente natural, geralmente reduzindo a biodiversidade” (p.1). A aplicação de tal modelo “é insustentável, ameaçando a saúde e o bem-estar humano e, finalmente, impactando os limites dos ecossistemas planetários” (p.1).

Assim, fica evidente a escalada na demanda pelo uso do solo nas cidades, tornando este recurso cada vez mais pressionado pelas atividades humanas, desde a necessidade de moradia às atividades econômicas desenvolvidas. Netzband and Jürgens (2010) esclarecem que estas mudanças no uso da terra podem expressar tanto as mudanças ambientais ocasionadas pela presença de cidades como as tendências sociais, econômicas ou políticas relacionadas a estes ambientes. Porém, os autores destacam que o mais relevante não se trata apenas de caracterizar e monitorar o uso e cobertura do solo, mas sim a descrição, monitoramento e até a simulação em diferentes escalas do processo de urbanização. Afirmam ainda que “os efeitos ambientais locais e regionais devem ser documentados, analisados, avaliados e, se possível, previstos. Sem pesquisadores e partes interessadas trocando e colaborando, o objetivo não pode ser alcançado” (p.3).

O início histórico do mapeamento da cobertura da terra se inicia com a fotografia aérea e aplicações que abrangem florestas, agricultura, planejamento urbano e manejo de recursos de água. Na prática, ferramentas como o Sensoriamento Remoto usualmente são empregadas para o monitoramento e a avaliação do uso e ocupação do solo "tradicionalmente na extração de dados urbanos. Os aplicativos de Sensoriamento Remoto têm se concentrado na classificação de áreas de cobertura homogênea do solo (material de superfície) ou uso do solo (função)” (Sliuzas et al., 2010, p.72).

Os termos “uso do solo” e a “cobertura ou ocupação do solo” são frequentemente utilizados de forma equivocada na literatura científica e na prática diária. Portanto, tais termos devem ser esclarecidos, para que eles possam ser usados corretamente e para que as análises ocorram de forma potencializar as vantagens das ferramentas disponíveis.

Giri (2012) define que “o uso da terra é definido como a maneira pela qual a terra é usada ou ocupada por seres humanos.” (p.9). Por exemplo, uma terra coberta por vegetação pode ser identificada e visualizada como floresta através de observações com geotecnologias como o Sensoriamento Remoto “no entanto, o mesmo trato da floresta pode ser usado para fins de produção, recreação, conservação e religiosos” (p.9). “Em outras palavras, a cobertura do solo é a cobertura física observada, enquanto o uso da terra é baseado na função ou no objetivo socioeconômico para o qual a terra está sendo usada” (p.9).

Giri (2019) esclarece que a mudança do uso da terra é uma “mudança no uso ou gerenciamento de terras por seres humanos” (p.9). Afirma também que “A mudança de uso da terra pode mudar sem conversão ou modificação da cobertura da terra” (p.9). Por exemplo, “uma floresta de produção pode ser declarada uma área protegida, e o número de visitantes em uma floresta recreativa pode mudar sem a modificação da cobertura da terra” (p.9).

#### **1.4. Planejamento e Gestão Urbana - PGU**

Gestão<sup>4</sup> remete ao ato de gerenciar ou administrar. A gestão urbana, no campo das políticas de desenvolvimento territorial é abordada pelo CEMAT (2021) de forma que:

No contexto geral das políticas de desenvolvimento territorial, a gestão urbana engloba um conjunto de políticas públicas, concebidas e aplicadas ao nível local e metropolitano, que abordam um amplo espectro de aspectos como planejamento do uso do solo, transportes, habitação, renovação urbana, reconversão de terrenos abandonados e lotes industriais, proteção ambiental, gestão de resíduos, abastecimento de água e energia, oferta de serviços e equipamentos, desenvolvimento económico, coesão e integração social, proteção e valorização do património cultural, promoção e desenvolvimento cultural, etc (p.16).

---

<sup>4</sup> **gestão**", in Dicionário Priberam da Língua Portuguesa [em linha], 2008-2021, <https://dicionario.priberam.org/gestão> [consultado em 05-07-2022]

O planejamento<sup>5</sup> pode se referir ao ato ou efeito de planejar ou a um plano de trabalho pormenorizado. Planejar tem como sinônimos projetar ou programar, no primeiro caso, quando se realiza um plano, no segundo caso, quando se define antecipadamente um conjunto de ações ou intenções. A combinação dos termos “planejamento e gestão”, no contexto urbano é abordado por Sliuzas et al. (2010) como "o Planejamento e Gestão Urbana - PGU é uma área profissional que busca orientar, coordenar e regular os processos de desenvolvimento urbano. Implica atividades nas quais os dados espaciais desempenham um papel vital” (p.67). Os autores ainda afirmam que “o planejamento e gestão urbana visa criar marcos institucionais e processos regulatórios que podem levar à criação e a manutenção de produtos sustentáveis em ambientes urbanos de alta qualidade” (p.67).

De forma prática, são “os processos essenciais do planejamento e gestão urbana que se preocupam com as mudanças no ambiente físico ou construído” (Sliuzas et al., 2010, p.67), tais processos “facilitam o fornecimento e manutenção de infraestrutura urbana básica (por exemplo, estradas e redes de energia, comunicação, abastecimento de água e saneamento), e regulamentam a construção e o uso de edifícios e terrenos” Sliuzas et al., 2010, p.67).

Os processos de planejamento e gestão urbana normalmente operam em dois níveis espaciais diferentes, conforme citado por Sliuzas et al. (2010): “Planejamento urbano estratégico e o planejamento detalhado da área local, também conhecido como planejamento de bairro, onde o desenvolvimento e controle das funções do local são executadas” (pp.67-68).

Para cada um destes níveis espaciais de operação há uma demanda diferenciada de dados espaciais, seja em relação à resolução espacial ou temporal. “O nível de planejamento estratégico requer dados espaciais com resoluções espaciais e temporais mais baixas do que o nível de planejamento e controle de desenvolvimento da área local” (Sliuzas et al., 2010, p.68). Porém, Sliuzas et al., (2010) também afirmam que “um exame detalhado das atividades específicas é necessário para determinar os requisitos espaciais e temporais ideais para uma dada situação (p.68).

Todo o processo de planejamento urbano é geralmente dividido em duas fases (Baross 1987, citado por Sliuzas et al., 2010):

---

<sup>5</sup> **planejamento**", in Dicionário Priberam da Língua Portuguesa [em linha], 2008-2021, <https://dicionario.priberam.org/planejamento> [consultado em 05-07-2022]

- Fase 1 - Desenvolvimento da cidade: Autoridades públicas realizam amplo zoneamento de terras (planejamento do uso da terra) e fornecem infraestrutura básica. Desenvolvedores públicos e privados consolidam a terra em preparação para o desenvolvimento real do local.
- Fase 2 - Desenvolvimento do local: Detalhado planejamento de layouts de loteamento e de uso terreno alocado; fornecimento de infra-estrutura menor para atender lotes individuais; construção de edifícios necessários; e ocupação pelos usuários.

Assim como para os níveis de operação (planejamento urbano estratégico e o planejamento de bairro), cada fase do processo de planejamento urbano (desenvolvimento da cidade e o desenvolvimento do local) apresenta demandas diferentes quanto aos dados espaciais.

Na fase de desenvolvimento da cidade, que é de natureza mais estratégica e preocupada em estabelecer a estrutura espacial principal para o desenvolvimento futuro, o foco está nas descrições gerais do uso do solo, condições ambientais e principais elementos de infraestrutura. A fase de desenvolvimento da cidade, portanto, requer dados que descrevam as condições existentes e também projetem as demandas de futuros residentes e organizações por terras, serviços e empregos. Esses dados estão normalmente em uma escala relativamente pequena (1: 10.000-1: 25.000), dependendo do tamanho e da complexidade da cidade, e geralmente incluem as condições ambientais, a localização e a natureza das estradas e outras redes de infraestrutura principais, anteriores e atual uso da terra, bem como planos existentes e áreas de política.

Em contraste, a fase de desenvolvimento do local requer dados mais detalhados, pois esta fase está relacionada ao planejamento detalhado e à realização de projetos que fornecem terrenos com serviços para o desenvolvimento. Esses dados são normalmente coletados em grande escala (1: 500-1: 1.000) e incluem limites de parcelas, edifícios, ônus no uso da terra,

zoneamento detalhado ou ordenanças de planejamento etc (Sliuzas et al., 2010, pp.69-70).

A tomada de decisões que ocorre durante o processo de planejamento urbano é baseada em regulamentações e normas previamente definidas, que norteiam o desenvolvimento na cidade “as decisões tomadas durante cada fase são baseadas em um conjunto de normas e regulamentos que, juntos, definem os padrões mínimos aceitáveis que um novo desenvolvimento deve cumprir antes que a atividade aprovada possa iniciar formalmente” (Sliuzas et al., 2010, p.69).

Neste sentido, diferentemente do Ordenamento do Território, que prioritariamente está em um nível político e estratégico, o planejamento urbano contempla o desenho urbano e necessariamente obedece à política pré-estabelecida.

### **1.5. Planejamento Urbano Ecológico - PUE**

Em seu trabalho, Grimm et al. (2020, p.1) destacaram o uso do termo “ecologia urbana” por sociólogos urbanos nos Estados Unidos na década de 1920, ao analisarem o comportamento humano no meio das cidades (como citado por Park et al., 1925). Relatam também a vanguarda europeia no estabelecimento de bases conceituais importantes sobre ecologia urbana, enquanto buscavam o entendimento dos efeitos da urbanização na biodiversidade (como citado por Breuse et al., 1998; como citado por Seidling 1990; como citado por Sukopp 1998). “Esta avenida frutífera para a pesquisa continua hoje com abordagens muito interessantes para a interação humano-ambiente nos campos da ecologia política, sociologia urbana e geografia urbana” (Grimm et al., 2020, p.1).

Pellegrino (2000) discutiu a aplicação dos princípios da ecologia da paisagem no planejamento e projeto paisagístico (p.2). O autor afirma que a visão comum estabelece que “a natureza começa onde a cidade acaba, como se houvesse um limite intransponível entre a paisagem cultural e a natural, como entre as manchas pintadas de vermelho e de verde nos mapas” (p.4). Ou seja, nesta visão, haveria um conflito entre a existência harmônica da cidade e da natureza (entre o ambiente construído e a paisagem intocada) num mesmo espaço.

Mais de 20 anos após esta publicação ser lançada, tal afirmação ainda é um argumento que precisa ser discutido e desmistificado.

Apesar de a separação entre o que é “cidade” e o que é “natureza” ser aparentemente vantajosa do ponto de vista administrativo operacional, Pellegrino (2000) explica que essa não é uma realidade e tão pouco é uma ideia sustentável, declara que tal visão “não corresponde à realidade da interdependência existente entre os diversos elementos que compõem o ambiente: proteger “ilhas” de natureza em uma paisagem altamente transformada não é um enfoque sustentável” (p.4). Neste sentido, Pellegrino argumenta que “não há cercas contra a poluição do ar ou dos lençóis freáticos, como alguns de inúmeros exemplos” (p.4).

Pellegrino (2000) também aponta o papel do planejador nessa discussão, como o responsável por encontrar alternativas que permitam que a “paisagem venha a participar para o auto-reconhecimento de seus usuários, e destes, para com o meio ambiente com o qual interagem, incorporando diretrizes ambientalmente desejáveis para a melhoria da habitabilidade da cidade, sua sustentabilidade e da significação de sua imagem” (p.4).

Ao relatar a problemática do modelo atual de urbanização e os efeitos deteriorantes no ambiente natural, na biodiversidade e no bem-estar humano, Breadsell (2020) afirma que “um paradigma de planejamento e design urbano baseado em ecologia deve considerar um relacionamento mais harmonioso” (p.1) entre estes elementos. “O paradigma é necessário com base em uma relação humana-ambiente mais harmoniosa, reconhecendo a importância de paisagem e compreensão das cidades como sistemas socioecológicos complexos e dinâmicos” (p.16). Ou seja, um relacionamento sustentável<sup>6</sup>.

Breadsell (2020) lembram que “Particularmente desde o relatório das Nações Unidas de 1987, com o conceito de desenvolvimento sustentável, houve pesquisas significativas realizadas em relação à sustentabilidade urbana” (Breadsell, 2020, p.1). O relatório Brundtland de 1987 da Comissão Mundial para o Ambiente e o Desenvolvimento define desenvolvimento sustentável como um processo que visa conciliar o desenvolvimento econômico, social e ambiental. De acordo com o documento, o desenvolvimento sustentável pode ser entendido como um processo de mudança “em que a exploração de recursos, a direção dos investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e a

---

<sup>6</sup> sus·ten·tá·vel (sustentar + -ável) adjectivo de dois géneros

1. Que se pode sustentar.

2. Que se pode defender.

3. Que tem condições para se manter ou conservar (ex.: desenvolvimento sustentável). = SUSTENTADO "sustentável", in Dicionário Priberam da Língua Portuguesa [em linha], 2008-2021, <https://dicionario.priberam.org/sustent%C3%A1vel> [consultado em 12-02-2023].

mudança institucional, tudo em harmonia e aprimoram o potencial atual e o futuro para atender às necessidades e aspirações humanas” (pp.56-57).

Sliuzas et al. (2010) apresentam um conceito abrangente de Planejamento e Gestão Urbana – PGU como uma área profissional voltada para o desenvolvimento urbano em que se pode utilizar dados espaciais. Porém, no presente estudo será considerado o Planejamento Urbano Ecológico – PUE. Isso se justifica devido às aplicações executadas e os objetivos de investigação que abrangem o nível territorial de uma cidade. Contudo, o trabalho tem um viés tecnológico com possíveis implicações e reflexões que podem atingir o contexto da PGU, buscando a integração entre a tecnologia, a ecologia<sup>7</sup> e o planejamento.

Ribeiro (2010) afirma que o PUE é um paradigma que possibilita “explorar uma base estratégica de projeto que pode aliar a melhoria da qualidade de vida urbana à recuperação dos ecossistemas locais, dada pela percepção e compreensão do espaço habitado e sua capacidade de recuperar-se, levando-o a compensações que produzam sustentabilidade” (p.35).

Conceitualmente, Ribeiro (2010) cita o PUE de diversos pontos de vista: como um método “é um método no qual os planos urbanos são definidos a partir do meio natural e das relações ecológicas estabelecidas entre si e com a cultura de cada povo” (p.35), como forma de planejamento “é uma forma de planejamento em que o ambiente natural é assumido como um componente essencial de suporte que acomoda a cidade, embora não se constitua em fator determinista do ato de projetar” (p.35), como instrumento de planejamento “um instrumento de planejamento altamente especializado, com equipes multidisciplinares e vocação integradora das distintas áreas do conhecimento” (p.35), como um “modelo de pensar e construir cidades como parte da natureza, que pretende superar as visões dualísticas de homem e natureza” (p.35). Além disso, ainda afirma que, do ponto de vista de projetual:

O planejamento urbano ecológico é também um modo de focalizar o projeto como uma ferramenta capaz de desempenhar papel preponderante na recuperação dos abusos e na reconciliação do uso humano da paisagem urbana, ao partir do

---

<sup>7</sup> e·co·lo·gi·a (francês *écologie*) nome feminino

[Biologia] Parte da biologia que tem como objectivo o estudo das relações dos seres vivos com o seu meio natural. = MESOLOGIA

"ecologia", in Dicionário Priberam da Língua Portuguesa [em linha], 2008-2021, <https://dicionario.priberam.org/ecologia> [consultado em 12-02-2023].

princípio de que a paisagem ou um ecossistema é resultante da somatória de organismos vivos que interagem entre si, sendo o homem apenas parte desses organismos vivos (p.35).

Ribeiro ainda esclarece que o PUE é caracterizado por “um conjunto de alternativas futuras de inserção humana nos processos naturais. O planejamento urbano ecológico é a definição criteriosa da acomodação das atividades humanas sobre uma base biofísica de suporte” (p.35).

### **1.6. Monitoramento e Avaliação**

Sliuzas et al. (2010) afirmam que “a função de monitoramento deve explorar, sempre que possível, oportunidades de intercâmbio de dados entre as fases de desenvolvimento da cidade e do local” (p.70). Wellmann et al. (2020) esclarecem que a abordagem regional é importante para o entendimento dos problemas nas cidades, mas é necessário um esforço para compreender este fenômeno em uma ótica globalizada:

Embora encontremos muitos estudos cobrindo longos períodos, existem poucos estudos em grande escala espacial cobrindo várias cidades em várias condições. Em geral, acreditamos que o foco específico dessa cidade é muito valioso, pois as cidades diferem muito umas das outras, mesmo no mesmo país ou ecorregião, mas é necessário mais trabalho de síntese para testar a transferibilidade de métodos e resultados. Considerando que a urbanização é um fenômeno global, as evidências em todos os continentes são valiosas para a compreensão do sistema terrestre como um todo, a fim de orientar decisões políticas de alto nível (p.10).

Principalmente em casos de crescimento desordenado nas cidades são necessárias estratégias diferenciadas de monitoramento, como o uso de informações contextuais e locais para o melhor aproveitamento do potencial de ferramentas tecnológicas que são capazes de disponibilizar dados de larga escala, como o Sensoriamento Remoto aliado aos Sistemas de Informação Geográfica. Sliuzas et al. (2010) afirmam que “o

conhecimento local, portanto, continua sendo um elemento importante na extração bem-sucedida de dados urbanos de imagens de Sensoriamento Remoto” (p.70).

Em Portugal, o Despacho n.º 9315/2019 "determina a operacionalização pela Direção-Geral do Território (DGT) do Observatório do Ordenamento do Território e Urbanismo<sup>8</sup>, através da institucionalização de uma plataforma digital para a produção, organização e disponibilização do sistema nacional de indicadores territoriais” (Portugal, 2019).

A primeira revisão do Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território foi aprovada pela Lei n.º 99/2019, de 5 de setembro, e comete à Direção-Geral do Território, no prosseguimento da missão e competências previstas no Decreto Regulamentar n.º 30/2012, de 13 de março, a responsabilidade de constituir o Observatório do Ordenamento do Território e Urbanismo com vista a desenvolver as atividades de monitorização e avaliação sistemática das dinâmicas territoriais e do sistema de gestão territorial. O efetivo acompanhamento, monitorização e avaliação dessas dinâmicas sustenta-se necessariamente num sistema de indicadores territoriais devidamente organizado, articulado e atualizado, que permita conhecer o sentido da evolução territorial, esteja disponível para as entidades públicas, empresas e cidadãos e sirva para reforçar a cultura territorial e suportar a tomada de decisões estratégicas sobre o território. Esses indicadores serão igualmente considerados na elaboração do Relatório de Estado do Ordenamento do Território que o Governo deve apresentar de dois em dois anos à Assembleia da República (p. 201).

Como visto, o referido despacho estabelece a criação e o fortalecimento de um Observatório de Ordenamento do Território e Urbanismo, com a atuação, por exemplo, na monitorização e avaliação das dinâmicas territoriais e do sistema de gestão territorial. Para isso, o documento deixa clara a necessidade de uso de indicadores territoriais devidamente organizados, o que depende de dados confiáveis e acessíveis. Dessa forma,

---

<sup>8</sup> Direção Geral do Território. Disponível em: <https://pnpot.dgterritorio.gov.pt/monitorizacao/observatorio>. Acesso em 20 de jan. de 2023.

fica evidente o potencial uso de ferramentas tecnológicas para o melhor conhecimento do território, como os Sistemas de Informação Geográfica e o Sensoriamento Remoto. Esta afirmação é corroborada por Wellmann et al. (2020), ao destacarem o potencial do Sensoriamento Remoto combinado a outros métodos de monitoramento e avaliação “tais abordagens combinadas também ajudariam a tornar a análise de Sensoriamento Remoto mais acessível para planejadores urbanos e tomadores de decisão, mas também para pesquisadores ambientais que trabalham com abordagens mais qualitativas e de ciências sociais (p.11).

Tal fato não se restringe apenas ao caso português, o monitoramento e a avaliação no Ordenamento do Território ou de forma direta, no planejamento urbano, podem ser suportados por tais ferramentas, mas é importante ressaltar que as análises e decisões também devem englobar informações sociais, econômicas e culturais de cada território.

Atualmente a Organização das Nações Unidas – ONU tem como meta a Agenda 2030, uma estratégia global para o desenvolvimento sustentável, adotada a partir de 2016 pelos 193 países membros. A Agenda 2030 é composta por 17 objetivos, chamados ODS, “os ODS definem as prioridades e aspirações globais para 2030 em áreas que afetam a qualidade de vida de todos os cidadãos do mundo e daqueles que ainda estão para vir” e “representam um apelo urgente à ação de todos os países – desenvolvidos e em desenvolvimento – para uma parceria global” (ONU<sup>9</sup>, 2023). Tais objetivos ainda “reconhecem que a erradicação da pobreza e outras privações devem ser acompanhadas de estratégias que melhorem a saúde e a educação, reduzam a desigualdade e estimulem o crescimento económico – ao mesmo tempo que combatem as alterações climáticas e preservam os ecossistemas” (ONU, 2023).

Os resultados alcançados pelos países signatários são monitorados pela ONU através da ferramenta *SDG Index & Monitoring*, de acordo com a ONU (2023), ENTRE OS ANOS DE 2015 E 2019 “o progresso mundial na concretização dos 17 ODS foi de 0,5% ao ano – um ritmo insuficiente para os atingirmos até 2030. Adicionalmente, em 2020 e 2021 não se registaram progressos, sobretudo devido à performance negativa dos países em desenvolvimento”.

---

<sup>9</sup> Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, Organização das Nações Unidas. Disponível em: <https://ods.pt/>. Acesso em 10 de mar. de 2023.

Em consulta ao endereço eletrônico “<https://dashboards.sdgindex.org/rankings>” em 13 de fevereiro de 2023 foi possível verificar que a Finlândia é o país que mais obteve resultados para concretizar os ODS. Portugal está em 20º lugar, enquanto o Brasil está em 53º lugar.

No âmbito no presente estudo, entre os 17 objetivos para o desenvolvimento sustentável, destaca-se o objetivo número 11 (Tornar as cidades e comunidades inclusivas, seguras, resilientes e sustentáveis). De acordo com a ONU (2023), tal objetivo estabelece o compromisso de:

- Construir cidades e sociedades sustentáveis em todo o mundo;
- Garantir o acesso de todos a uma habitação adequada, segura e acessível;
- Aumentar a capacidade de planejamento e gestão integrados e sustentáveis de aglomerados humanos; e
- Reduzir o impacto ambiental adverso das cidades, prestando atenção especial à qualidade do ar e à gestão de resíduos.

O objetivo 11 é uma clara demonstração do interesse e do esforço mundial em busca de cidades sustentáveis. São enumeradas 7 metas com seus respectivos indicadores de monitorização. Ao avaliar de forma concreta tais metas e indicadores é possível afirmar que os resultados esperados só serão possíveis se as cidades colocarem em prática o planejamento urbano ecológico, ou como sinônimo, o urbanismo sustentável. Também é possível afirmar que ferramentas geotecnológicas podem ser usadas para a obtenção, organização e disponibilização de dados para o suporte a este planejamento.

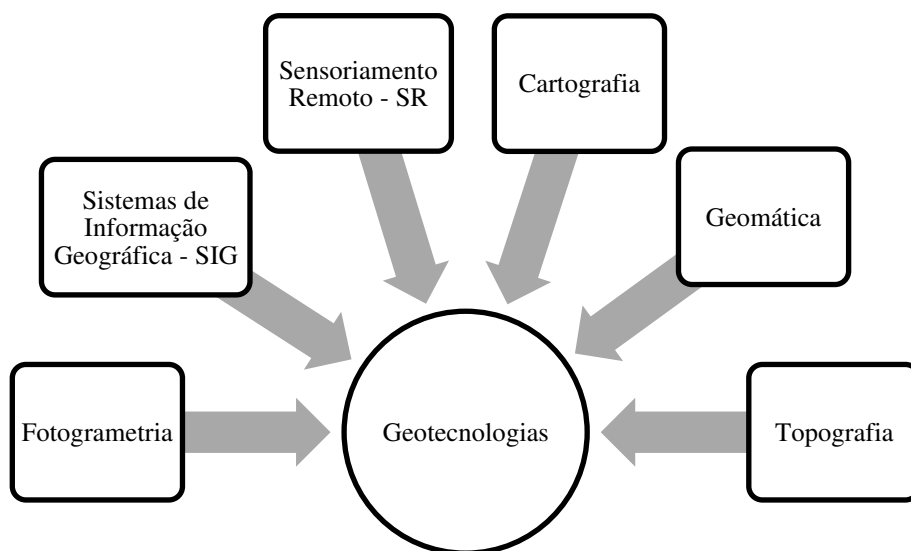
### **1.7. Geotecnologias**

De acordo com Câmara e Davis (2001, p.2), com o desenvolvimento da tecnologia informática foi possível expandir e representar em ambiente computacional informações importantes para a sociedade organizada, sobre a distribuição geográfica de recursos

minerais, propriedades, animais e plantas. Se antes a representação dos dados era feita com papel e documentos, agora, essas informações podem ser combinadas e analisadas em uma escala exponencial. Neste contexto, surge uma disciplina do conhecimento específica, no Brasil chamada Geoprocessamento.

O Geoprocessamento é uma área do conhecimento e uma tecnologia “que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica” (Camara & Davis, 2001, p.1). Os autores destacam que esta disciplina “influência de maneira crescente as áreas da Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Transportes, Comunicações, Energia e Planejamento Urbano e Regional” (p.1).

O Sensoriamento Remoto – SR e os Sistemas de Informação Geográfica - SIG podem ser consideradas tecnologias de análise geoespacial, ou, geotecnologias, pois auxiliam na coleta, processamento, análise e disponibilização de informação geográfica (**Figura 2**).



**Figura 2.** Geotecnologias. Fonte: Elaboração da autora.

### **1.8. Sensoriamento Remoto - SR**

Este tópico apresenta informações sobre o Sensoriamento Remoto, em Portugal, chamado de Detecção Remota. No contexto do Ordenamento do Território e no Planejamento Urbano do uso e ocupação do solo, esta geotecnologia pode ser uma importante ferramenta de suporte à decisão no ambiente urbano.

### **1.8.1. Breve histórico**

Para Santos (2013) "a história do Sensoriamento Remoto é assunto tão controvertido quanto à sua definição. E não poderia ser diferente, pois dependendo de como se veja o Sensoriamento Remoto, ver-se-á a história e a evolução do mesmo" (p.2). O autor também destaca que "na verdade, a evolução do Sensoriamento Remoto se deve a um esforço multidisciplinar que envolveu e envolve avanços, entre outras áreas, na Física, Físico-Química, Biociências e Geociências entre outras" (p.3).

Novo & Ponzoni (2001) relatam que "o desenvolvimento inicial do Sensoriamento Remoto é cientificamente ligado ao desenvolvimento da fotografia e à pesquisa espacial. As fotografias aéreas foram o primeiro produto de Sensoriamento Remoto a ser utilizado" (p.4). Os autores ainda lembram que a França foi precursora no uso de fotografias para análises terrestres "a primeira fotografia de que se tem notícia foi obtida por Daguerre e Niepce em 1839 e já em 1840 o seu uso estava sendo recomendado para levantamentos topográficos" (p.4).

No Brasil, Novo & Ponzoni (2001) afirmam que o desenvolvimento ocorreu após quase um século depois:

O Brasil iniciou os investimentos na capacitação de profissionais e no desenvolvimento de infraestrutura que viabilizasse a aplicação das técnicas de Sensoriamento Remoto ao final da década de 1960, com a implantação do Projeto Sensoriamento Remoto no Instituto de Pesquisas Espaciais. No início dos anos 70, todas as atividades concentraram-se na recepção e na utilização de imagens orbitais MSS dos satélites da série Landsat. Contudo, o conhecimento disponível naquela época restringia-se à viabilização da identificação de feições específicas existentes na superfície terrestre que, por sua vez, possibilitou a elaboração de mapas temáticos variados (p.4).

De acordo com Santos (2013), "a história pode ser dividida em dois períodos principais: o primeiro, que se inicia em 1860 e se estende até 1960, é totalmente dominado pelas fotografias aéreas (inicialmente em balões e posteriormente em aviões), enquanto o

segundo, que se estende até os dias de hoje, é caracterizado pela multiplicidade de sistemas sensores” (p.3).

### **1.8.2. Conceito**

Assim como os Sistemas de Informação Geográfica, o Sensoriamento Remoto é apresentado na literatura científica com diversas visões conceituais.

Campos (2005, p.2) descreve o Sensoriamento Remoto - SR como “um conjunto de técnicas destinado à obtenção de informação sobre objetos, sem que haja contato físico com eles”. Lillesand, et al. (2015, p.1) apresentam um conceito similar, ao declararem que “o Sensoriamento Remoto é a ciência e a arte de obter informações sobre um objeto, área ou fenômeno através da análise de dados adquiridos por um dispositivo que não está em contato com o objeto, área ou fenômeno sob investigação”.

Em ambos os conceitos se pode afirmar que a visão humana poderia ser considerada um SR, essa hipótese didática é defendida por Lillesand, et al. (2015) ao descrevem que:

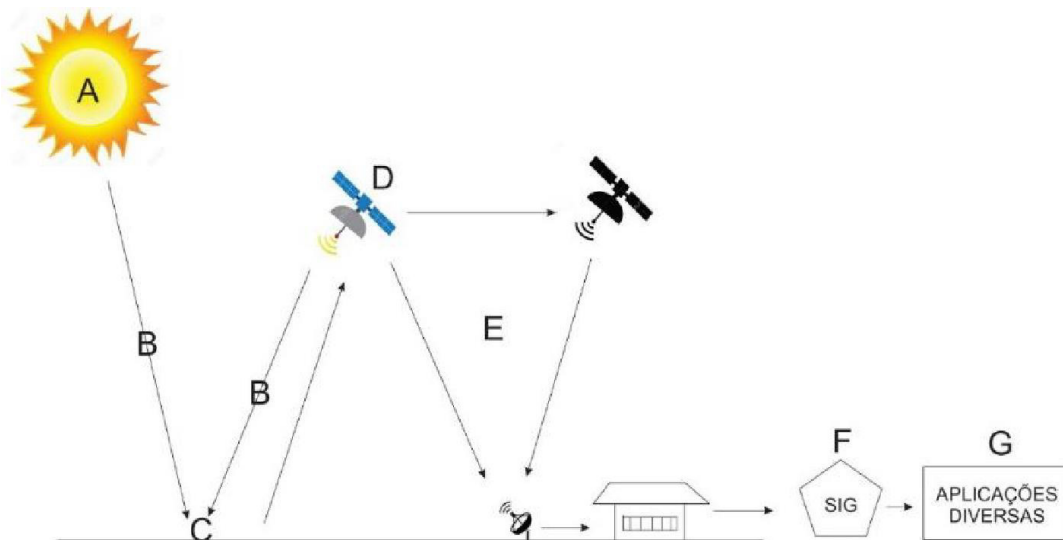
Ao ler as palavras de um livro, você está empregando Sensoriamento Remoto. Seus olhos estão agindo como sensores que respondem à luz refletida nesta página. Os "dados" que seus olhos adquirem são impulsos correspondentes à quantidade de luz refletida nas áreas escuras e claras da página. Esses dados são analisados ou interpretados em seu computador mental para permitir que você explique as áreas escuras da página como uma coleção de letras que formam palavras. Além disso, você reconhece que as palavras formam frases e interpreta as informações que as frases transmitem (p.1).

Do ponto de vista desta tecnologia, portanto, é necessário desvincular a aquisição de medidas nas quais o ser humano é parte essencial do processo de detecção e registro dos dados. Neste sentido, a definição apresentada por Novo (2014, p.28) vai além de um conceito e, portanto, seria a mais adequada neste caso, pois engloba várias visões conceituais que devem ser entendidas sobre o que é Sensoriamento Remoto, a partir concepção do usuário de imagens de satélite. A autora aponta que:

O SR consiste na utilização conjunta de sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados colocados a bordo de aeronaves, 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 a radiação eletromagnética e as substâncias que o compõem em suas mais diversas manifestações (p.28).

### 1.8.3. Sensores Remotos e assinatura espectral

Os elementos fundamentais que envolvem o Sensoriamento Remoto são mostrados na **Figura 3**.



**Figura 3.** Elementos do Sensoriamento Remoto. A (fonte de energia ou iluminação), B (radiação e atmosfera), C (objeto de estudo), D (sensor ativo), E (transmissão, recepção e processamento de dados), F (interpretação e análise de dados), G (aplicação). Fonte: <http://geosusblog.blogspot.com.br/>. Adaptado por Silva (2016).

Ou seja, os elementos fundamentais das técnicas de Sensoriamento Remoto são a energia, a fonte, o sensor e o alvo. No caso dos sensores remotos, que podem ser passivos ou ativos.

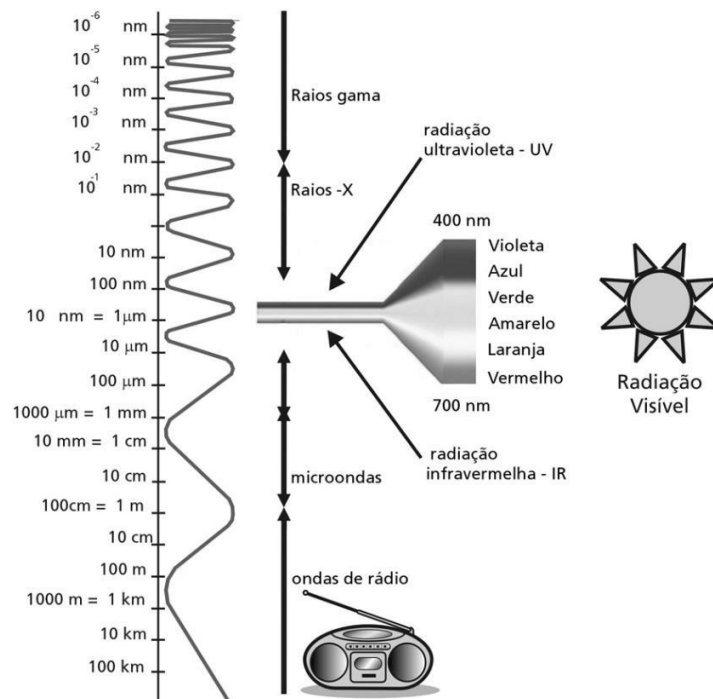
Steffen et.al. (1981) informam que um "sensor remoto é um dispositivo capaz de responder a radiação eletromagnética - REM de determinada faixa do espectro eletromagnético, registrá-la e gerar um produto numa forma adequada para a interpretação do usuário" (p.27). Os sistemas passivos utilizam uma fonte de energia externa como a luz solar e o sistema ativo fornece a energia para imagear, como o Radar.

Lillesand, et al. (2015, p.1) afirmam que “usando vários sensores, coletamos remotamente dados que podem ser analisados para obter informações sobre os objetos, áreas ou fenômenos que estão sendo investigados”.

Os sensores remotos são os equipamentos utilizados para a detecção da energia eletromagnética ou radiação eletromagnética. Sobre este assunto, Quartaroli et al. (2014) descrevem:

A radiação eletromagnética é a forma pela qual a energia é transmitida por meio de um campo eletromagnético variável, no qual os campos elétricos e magnéticos têm direções perpendiculares entre si. A energia produzida pelo Sol chega à Terra por esse modo de transmissão. A luz é a forma mais conhecida de radiação eletromagnética e corresponde à parte da radiação eletromagnética à qual o olho humano é sensível. Existem outras formas de radiação eletromagnética, de origem natural ou artificial (produzidas por humanos), como a radiação ultravioleta, a radiação infravermelha, os raios-X, as ondas de rádio e as micro-ondas (p.62).

Lillesand, et al. (2015, p.1) esclarecem que no “Sensoriamento Remoto, é mais comum categorizar ondas eletromagnéticas por sua localização no comprimento de onda dentro do espectro eletromagnético (**Figura 4**)”.



**Figura 4.** Espectro eletromagnético Fonte: Caçador e Dansa, 2011. Disponível em: <https://canal.cecierj.edu.br/recurso/7620>. Acesso em 20 de jan. de 2023.

No âmbito de análises de sensoriamento remoto, é comum se verificar o comportamento dos diferentes tipos de superfícies enquanto refletem à luz do sol. “Um ingrediente básico e essencial na análise e interpretação de dados de SR diz respeito às características espectrais dos vários tipos de vegetação, solo, água, e outras características da superfície terrestre” (Campos, 2005, p.8).

Neste sentido o conceito de assinatura espectral é abordado largamente. Conforme Schowengerdt (2007, p.13) e ESA (2023), a assinatura espectral de um material pode ser definida na região reflexiva solar por sua radiação refletida em função do comprimento de onda, medido em uma resolução espectral apropriada. Diferentes tipos de superfície, como a água, o solo descoberto ou a vegetação, refletem a radiação de forma diferente em vários canais.

“Como as respostas espectrais medidas por sensores remotos sobre vários recursos geralmente permitem uma avaliação do tipo e/ou condição dos recursos, essas respostas são frequentemente chamadas de assinaturas espectrais” (Lillesand et al., 2015, p.21).

O padrão de comportamento espectral da água, do solo e da vegetação é apresentado na **Figura 5**.

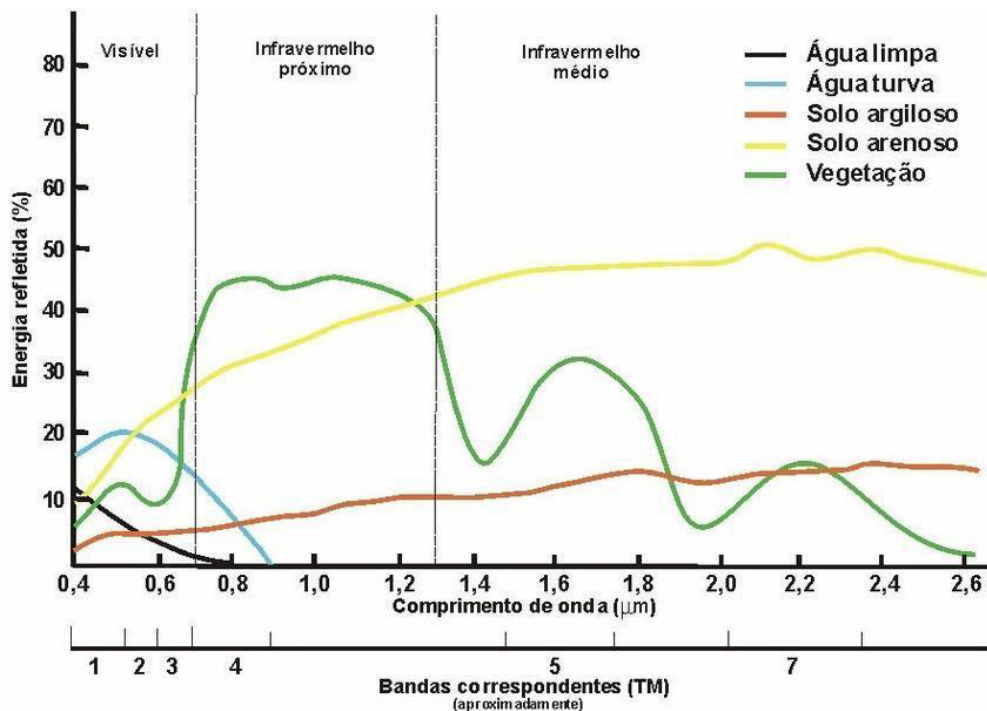


Figura 5. Curva espectral da vegetação, água e do solo. Adaptado de Florezano 2002, p. 12.

#### 1.8.4. Estrutura e Resolução de imagens de satélite

Santos (2013) esclarece que as imagens de satélite brutas passam por um processamento digital, “a função principal de processar digitalmente as imagens de Sensoriamento Remoto é a de fornecer ferramentas para facilitar a identificação e a extração da informação contidas nas imagens” (p.7). Tal processamento ocorre através de sistemas computacionais “o uso de sistemas computacionais é de fundamental importância para a análise e manipulação das imagens brutas” (p.7). O objetivo principal é que sejam geradas novas imagens, já tratadas, as quais servirão para diversos objetivos específicos de análise “o resultado deste processamento é a produção de outras imagens, estas já contendo informações específicas, extraídas e realçadas a partir das imagens brutas” (p.7).

Santos (2013, p.7) também cita que com este processamento digital de imagens serão removidas barreiras como o enorme volume de informação e os vários tipos de degradações e distorções, inerentes ao sistema visual humano, facilitando a extração de informações a partir de imagens.

Crósta (1993) esclarece que "as imagens coletadas por sensores remotos possuem algumas características que as diferenciam de outras imagens digitais e que são essenciais

para se entender os fundamentos do processamento digital. Entre essas características estão sua estrutura e sua resolução” (p.23).

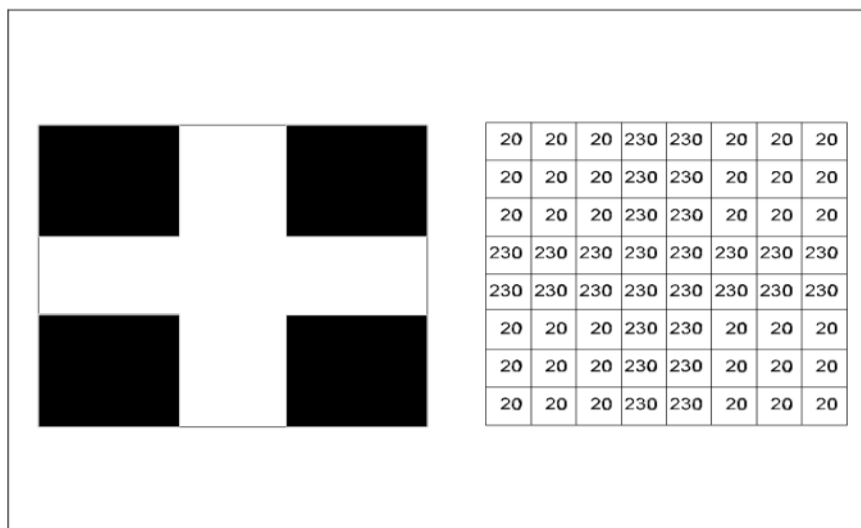
Quanto à estrutura dessas imagens, Crósta (1993) afirma que as imagens de Sensoriamento Remoto, devido à sua natureza digital ou discreta “são constituídas por um arranjo de elementos sob a forma de uma malha ou grid” (p.23). O nome dado a essas células é pixel, derivado do inglês “*picture element*” (p.23).

A origem deste grid convencionalmente é no canto superior esquerdo. Cada célula desse grid tem sua localização definida em um sistema de coordenadas do tipo "linha e coluna", representados por "x" e "y", respectivamente” (Crósta, 1993, p.23).

“Cada célula possui também um atributo numérico "z", que indica o nível de cinza dessa cela, que obviamente vai variar do preto ao branco; esse nível de cinza é conhecido em inglês por DN, de *digital number* (Crósta, 1993, p.23). “O DN de uma cela representa a intensidade da energia eletromagnética (refletida ou emitida) medida pelo sensor, para a área da superfície da Terra correspondente ao tamanho do pixel” (Crósta, 1993, p.23).

Desta forma, em relação à sua estrutura, “uma imagem digital pode então ser vista como uma matriz, de dimensões x linhas por y colunas, com cada elemento possuindo um atributo z (nível de cinza).” (Crósta, 1993, p.23). Para imagens de Sensoriamento Remoto, “essas matrizes possuem dimensões de até alguns milhares de linhas e de colunas (o Landsat gera imagens de 6.550 x 6.550 elementos, o que significa mais de 42 milhões de pixels para cada banda)” (Crósta, 1993, p.23).

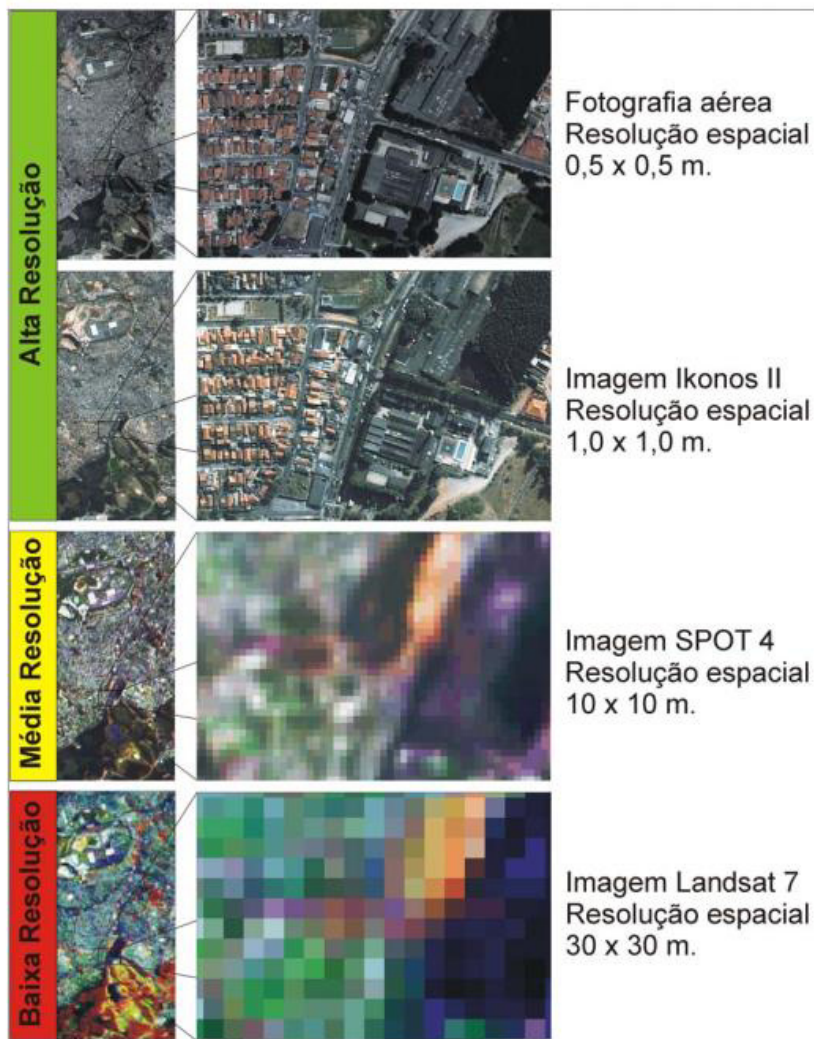
Crósta (1993) apresenta a **(Figura 6)** para a representação da estrutura de uma imagem simples a ser processada digitalmente “um exemplo de imagem digital simples composta apenas por áreas quase brancas e quase pretas, e sua respectiva matriz numérica, representando a forma pela qual essa imagem seria utilizada no processamento digital” (p.23).



**Figura 6.** Representação de uma imagem simples a ser processada Fonte: Crósta, 1993, p.23.

Em relação à resolução dessas imagens obtidas por sensores remotos Crósta (1993) afirma que “o termo resolução em sensoriamento remoto se desdobra na verdade em três diferentes (e independentes) parâmetros: resolução espacial, resolução espectral e resolução radiométrica.” (p.25). Melo (2002, p.30) ainda destaca a dimensão temporal como um fator que interfere na qualidade e na natureza da resolução de um sistema sensor.

Para Quartaroli et al. (2014), “o tamanho da área na superfície terrestre focada num instante por um detector do sistema sensor situado a uma determinada altura é denominado de elemento ou célula de resolução do terreno” (p.68). Para os autores, “o diâmetro dessa área é livremente referido como a resolução espacial do sistema sensor” (p.68). Melo (2002) descreve que “quanto maior a resolução espacial, maior o nível de detalhes perceptível na imagem, desde que o sinal de saída de um detector esteja relacionado com a média da energia radiante dentro da área projetada” (p.30-31). De acordo com Quartaroli et al. (2014), a resolução espacial pode ser calculada a partir da “multiplicação do IFOV (campo de visada instantâneo), expresso em radianos, pela altitude do sensor em relação ao terreno, expressa em metros. O IFOV é definido como ângulo cônico dentro do qual a energia é focada para o detector do sistema sensor” (pp.68-69). Uma demonstração das diferenças de resoluções espaciais em um ambiente urbano é encontrada na **Figura 7**.



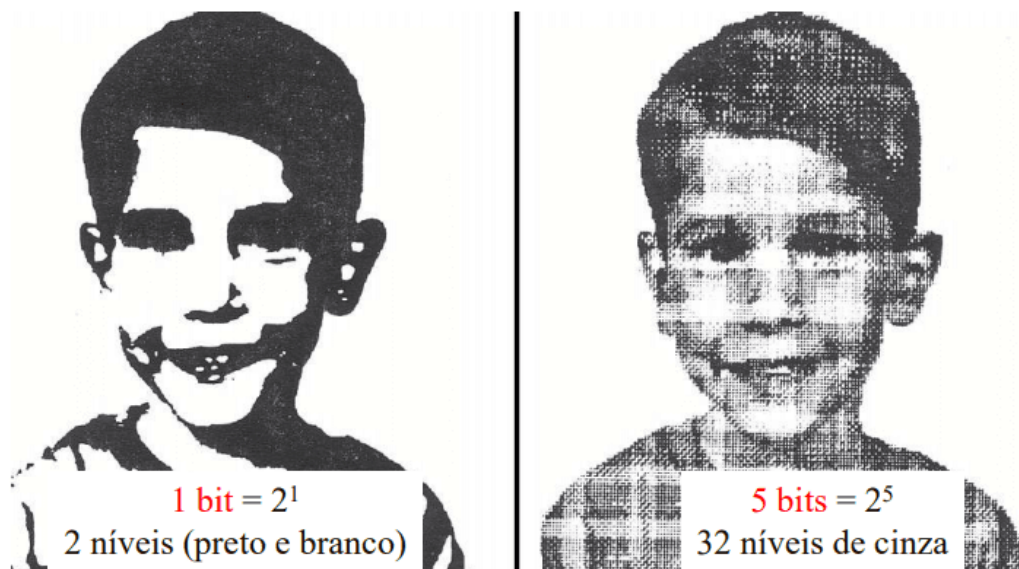
**Figura 7.** Imagens de diferentes sensores e resoluções espaciais para discriminar áreas urbanas: região Leste de São Paulo. Melo 2002, p.31.

Quanto ao conceito de resolução espectral, Quartaroli et al. (2014) afirmam que se trata da “menor porção do espectro eletromagnético que um sistema sensor é capaz de segmentar” (p.69). Crósta (1993) esclarecem que a resolução espectral é definida “pelo número de bandas espectrais de um sistema sensor e pela largura do intervalo de comprimento de onda coberto por cada banda.” (p.25). Sobre a relação entre o número de bandas e a resolução espectral, “quanto maior o número de bandas e menor a largura do intervalo, maior é a resolução espectral de um sensor” (Crósta, 1993, p.25). Assim, “quanto mais estreitas forem essas bandas - em termos de intervalo de comprimento de onda - maior será a resolução espectral do sensor e maior será também a capacidade do sistema de discriminar variações no comportamento espectral do alvo a ser estudado” (Quartaroli et al., 2014, p.69).

Ainda em relação à resolução espectral, Crósta (1993) mostram o exemplo comparativo entre uma fotografia em preto e branco e outra colorida. Segundo os autores, “a foto branco e preto representa o objeto em apenas uma banda espectral, enquanto a foto colorida representa o mesmo objeto em três bandas espectrais, vermelha, azul e verde que, quando combinadas por superposição, mostram o objeto em cores” (p.25).

Para a resolução radiométrica, Quartaroli et al. (2014) afirmam que “é definida pelo número de níveis de cinza usados para expressar as variações na intensidade da energia coletada pelo sensor. Assim, quanto maior o número de níveis, maior será a resolução e a qualidade visual da imagem” (p.68). Para melhor entendimento deste conceito Crósta (1993) mostra a comparação entre imagem com apenas 2 níveis, sendo em preto e branco e outra imagem com 32 níveis de cinza, com preto e branco “obviamente a quantidade de detalhes perceptíveis na segunda será maior do que na primeira e, portanto, a segunda imagem terá uma melhor resolução radiométrica” (p.26).

A **Figura 8** demonstra que para a resolução radiométrica, quanto mais bits, maior será a sensibilidade do sensor, sendo que o mesmo gerará imagens com maior riqueza de informação.



Landsat 5 → 8 bits =  $2^8$  ( 256 níveis de cinza)

**Figura 8.** Resolução radiométrica. Fonte: <https://adenilsongiovanini.com.br/blog/resolucao-radiometrica-o-que-e/>. Acesso em 09 de agosto de 2023.

Além da resolução espacial, da resolução espectral e da resolução radiométrica, a resolução temporal é um fator importante para a análise de informações obtidas a partir de imagens de satélite, sobretudo em estudos que visem o monitoramento e a avaliação das mudanças na superfície terrestre. Neste sentido, Melo (2002) afirma que “a resolução temporal é de grande interesse especialmente em estudos relacionados a mudanças na superfície terrestre e no seu monitoramento” (p.35).

Sobre a relação entre a resolução temporal e outros tipos de resoluções, Melo (2002) afirma que a relação entre a resolução temporal e a radiométrica “permite que um sistema de Sensoriamento Remoto apresente características particulares em função de sua finalidade” (p.35), porém, “a melhoria em qualquer uma destas resoluções significa um aumento no volume de dados a serem processados. Este aumento ocorre tanto para os usuários como para a estação de recepção em Terra e para o satélite (p.35).

Para Quartaroli et al. (2014), a resolução temporal, também conhecida como tempo de revisita corresponde “ao intervalo de tempo que um sistema sensor instalado em satélite demora em obter duas imagens consecutivas de uma mesma área da superfície terrestre” (p.69). Já para Melo (2002), a resolução temporal pode ser descrita como “a frequência de passagem do sensor num mesmo local, num determinado intervalo de tempo” (p.35).

O tempo de revisita “depende das características da órbita do satélite” (Quartaroli et al, 2014, p.69), ou seja, “está relacionado às características orbitais da plataforma (altura, velocidade, inclinação), e ao ângulo total de abertura do sensor” (Melo, 2002, p.35).

### **1.8.5. Aplicações de SR**

O Sensoriamento Remoto pode ser utilizado em diversas aplicações, entre elas, destaca-se o levantamento do uso e da cobertura da terra, da geologia, da geomorfologia, dos recursos hídricos, a detecção de queimadas e de desmatamento, a medição de áreas entre as mais diversas análises.

Uma das principais vantagens do uso do Sensoriamento Remoto é a obtenção à distância de informações sobre o estado ou composição da superfície terrestre, isso possibilita o acesso a áreas isoladas. Também é possível abranger uma grande cobertura (espacial e temporal) e variar o nível de detalhamento (diferentes resoluções), o que permite o processo de monitoramento. No entanto, segundo Moore (1979), “o Sensoriamento Remoto deve ser considerado como uma ferramenta a ser usada para esses estudos, e não como uma solução para os problemas” (p.484).

Atualmente há disponibilização gratuita de dados que podem ser utilizados por pesquisadores e gestores de todo o mundo. Neste sentido, o *Copernicus Open Access Hub*, da agência espacial europeia fornece imagens de alta resolução do satélite Sentinel e o *USGS Earth Explorer*, do Serviço Geológico dos Estados Unidos é uma plataforma que dá acesso a imagens gratuitas do satélite Landsat. No Brasil, O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) é o braço brasileiro de pesquisas espaciais, o país tem uma parceria com a China e fornece imagens do CBERS, satélite de observação da Terra lançado no dia 7 de dezembro de 2014.

Existe uma variedade de investigações científicas com resultados publicados, que utilizam e avaliam o uso destas ferramentas em ambiente urbano, Moore (1979), Gillies et al., (2003) e Imhoff et al. (2010) são alguns deles.

Moore (1979, p.484) destacou em seu trabalho que o uso do SR para aplicações hidrológicas na maioria dos países do mundo. A gama de aplicações incluía estudos de qualidade de água, água subterrânea e qualidade da água.

Gillies et al., (2003) avaliaram os efeitos da urbanização na fauna aquática da bacia hidrográfica de Line Creek, Atlanta com o uso de imagens Landsat MSS e de dados do sensor TM - *Thematic Mapper* do período entre 1979 e 1997. Neste trabalho, a mudança na área de superfície impermeável (ISA) é obtida com base em dados detectados remotamente e ela “é apresentada como um indicador ecológico para examinar impactos cumulativos na água na população de mexilhões” (p.411). Entre as principais reflexões, Gillies et al., (2003) aponta que a aplicação desta metodologia “para regiões maiores do que neste estudo podem concentrar rapidamente planejadores urbanos e ambientalistas em regiões onde as espécies aquáticas estão severamente ameaçadas - e para implementar ações corretivas que impedem a degradação futura do habitat e perdas de espécies aquáticas” (p.420).

Imhoff et al. (2010) estudaram ilhas de calor urbano entre biomas para 38 das cidades mais populosas dos Estados Unidos Continental a partir de imagens Landsat.

Os resultados sugerem que a temperatura da superfície da terra medida remotamente fornece uma caracterização adequada da magnitude e extensão espacial da ilha urbana de calor e permite comparações de efeitos urbanos da ilha de calor em torno de áreas urbanas de tamanhos diferentes em escalas continentais

sem o viés significativo encontrado em observações convencionais do solo (p.512).

## **1.9. Sistemas de Informação Geográfica – SIG**

Este tópico apresenta informações sobre os Sistemas de Informação Geográfica, uma tecnologia que aliada ao Sensoriamento Remoto podem dar suporte ao Planejamento Urbano Ecológico.

### **1.9.1. Breve histórico**

Ao se avaliar o desenvolvimento econômico das sociedades na história, é comum se verificar o uso da cartografia como uma ferramenta básica, sendo necessário o seu uso antes de qualquer outra ferramenta de expressão ou representação de objetos, elementos, fenômenos e ambientes físicos e socioeconômicos. Não apenas para o desenvolvimento, mas também para a elucidação de problemas diversos. Há exemplos que mostram a importância da representação da correlação entre dados sociais e econômicos com dados geográficos como o famoso caso é o de John Snow e a grave epidemia de cólera.

Considerado o “pai” da epidemiologia moderna, em 1854, na cidade de Londres, Snow elaborou um **Figura 9** em que localizava os doentes por cólera e os poços de água na cidade. Com esta ferramenta realizou uma análise espacial e encontrou uma relação entre as mortes por cólera e a distribuição de água contaminada.



**Figura 9.** Mapa de Londres com casos de cólera (pontos) e poços de água (cruzes). Fonte: adaptado de E. Tufte, 1983, citado por INPE, 2006.

Porém, com o crescimento das cidades e a demanda por análises mais complexas fez surgir a necessidade de trabalho com um grande volume de dados. Assim, o surgimento e o uso dos Sistemas de Informação Geográfica estão atrelados à capacidade de suporte computacional para a realização de tarefas como o armazenamento e o processamento de dados geoespaciais. “As primeiras tentativas de automatizar parte do processamento de dados com características espaciais aconteceram na Inglaterra e nos Estados Unidos, nos anos 50, com o objetivo principal de reduzir os custos de produção e manutenção de mapas.” (Câmara & Davis, 2001, p.2).

“Os primeiros Sistemas de Informação Geográfica surgiram na década de 60, no Canadá, como parte de um programa governamental para criar um inventário de recursos naturais” (Câmara & Davis, 2001, p.2). Porém, limitações tecnológicas e de mercado impediam o desenvolvimento e a popularização destes sistemas, como a existência de monitores adequados, com capacidade gráfica de alta resolução, o preço dos computadores ou o elevado custo da mão de obra especializada na época.

Durante anos 70 houve uma fase de evolução informática que possibilitou a criação da expressão *Geographic Information System*<sup>10</sup> ou Sistemas de Informação Geográfica - SIG. O motivo foi o desenvolvimento de novos recursos de hardware acessíveis, o que tornou viável o desenvolvimento de sistemas comerciais.

Câmara & Davis (2001) relatam que a década de 80 representou um momento de grande aceleração e crescimento para os Sistemas de Informação Geográfica:

A década de 80 representa o momento quando a tecnologia de sistemas de informação geográfica inicia um período de acelerado crescimento que dura até os dias de hoje. Até então limitados pelo alto custo do hardware e pela pouca quantidade de pesquisa específica sobre o tema, os GIS se beneficiaram grandemente da massificação causada pelos avanços da microinformática e do estabelecimento de centros de estudos sobre o assunto. Nos EUA, a criação dos centros de pesquisa que formam o NCGIA - National Centre for Geographical Information and Analysis (NCGIA, 1989) marca o estabelecimento do Geoprocessamento como disciplina científica independente (p.2).

Essa popularização e o barateamento de estações de trabalho gráficas ocorrida na década de 80 também impulsionaram a evolução do conjunto de funções de análise espacial disponíveis nos sistemas SIG, o que beneficia até os dias atuais o uso destas ferramentas para os mais diversos objetivos.

Câmara & Davis (2001, p.3) expõem que, no Brasil, a primeira iniciativa para divulgação e formação de pessoal nesta área ocorreu no início da década de 80 pelo professor Jorge Xavier da Silva da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. A visita do Dr. Roger Tomlinson, pesquisador responsável pela criação do primeiro SIG (o Canadian Geographical Information System), fez com que surgissem várias iniciativas para o desenvolvimento desta tecnologia em território nacional, como:

---

<sup>10</sup> Geographic Information System ou GIS é a tradução para o termo Sistemas de Informação Geográfica ou SIG.

- SAGA: o Sistema de Análise Geo-Ambiental – SAGA, desenvolvido pelo grupo do Laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Geografia da UFRJ, sob a orientação do professor Jorge Xavier;
- MaxiDATA: um sistema para automatização de processos cartográficos, desenvolvido em meados dos anos 80 pelo setor de informática da empresa de aerolevanteamento AeroSul;
- CPqD/TELEBRÁS: o Sistema Automatizado de Gerência da Rede Externa – SAGRE, desenvolvido pelo Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da TELEBRÁS, iniciado em 1990, tendo uma extensiva aplicação de Geoprocessamento no setor de telefonia;
- INPE: o Sistema de Tratamento de Imagens - SITIM e o Sistema de Informações Geográficas - SGI, para ambiente PC/DOS, desenvolvidos entre 1984 e 1990 e, o Sistema para Processamento de Informações Geográficas - SPRING, para ambientes UNIX e MS/Windows, desenvolvido a partir de 1991. Ambos os sistemas foram iniciativas do grupo de pesquisa criado no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, chamado de Divisão de Processamento de Imagens – DPI.

Já em 2001, para Câmara & Davis (2001) se observava “um grande crescimento do ritmo de penetração do GIS nas organizações, sempre alavancado pelos custos decrescentes do hardware e do software, e pelo surgimento de alternativas menos custosas para a construção de bases de dados geográficas” (p.3).

Passados mais de 20 anos, o Brasil e o mundo avançaram no uso dos SIG como ferramentas de apoio à tomada de decisão, mas é evidente que há um longo caminho a percorrer neste sentido, e há um potencial enorme desta tecnologia a ser explorado, afinal, com o avanço tecnológico ampliam-se também as possibilidades de aplicações dos SIG.

### **1.9.2. Conceito**

Conceitualmente, os Sistemas de Informação Geográfica - SIG, em inglês *Geographic Information System* – GIS, têm um caráter dinâmico, com o decorrer do tempo a definição de SIG tem evoluído. Isso se deve especialmente ao elevado grau de interdependência com o desenvolvimento de conhecimentos tecnológicos na área das geotecnologias, a sua

multifuncionalidade e a sua popularização. Santos (2012) esclarece que “o termo SIG possui algumas definições, as quais vêm sendo discutidas no meio acadêmico há algum tempo. Pesquisadores especializados nessa temática, ou os desenvolvedores de softwares, apresentam suas definições para os SIG de acordo com sua pesquisa desenvolvida” (p.34).

Burrough e McDonnell (1998) definem os SIG como “um poderoso conjunto de recursos para coletar, armazenar, recuperar e transformar dados espaciais do mundo real para um conjunto particular de propósitos” (p.10). Em certa medida, tal definição se assemelha à apresentada por Calijuri e Lourdes (2006) “Sistemas de Informações Geográficas são ferramentas que permitem armazenar, analisar, recuperar, manipular e manejar grandes quantidades de dados espaciais” (p.3).

Calijuri e Lourdes (2006) ainda apontam que:

Sistemas de informações geográficas são ferramentas que permitem armazenar, analisar, recuperar, manipular e manejar grandes quantidades de dados espaciais. Os SIG são técnicas de manipulação de bancos de dados variáveis espacialmente. Originalmente estas ferramentas foram desenvolvidas para facilitar trabalhos cartográficos, mas estão sendo, já de algum tempo, utilizadas para inventários, estimativas, planejamento, simulação e modelagem.

Os SIG utilizam dados geograficamente referenciados ou georeferenciados e dados não espaciais, incluindo operações que dão suporte as análises espaciais (p.3).

Já para Smith et al. (1987), um Sistema de Informação Geográfica pode ser entendido como um sistema de banco de dados<sup>11</sup> “no qual a maioria dos dados é indexada espacialmente e sobre o qual um conjunto de procedimentos opera para responder a consultas sobre entidades espaciais representadas no banco de dados” (p.2).

---

<sup>11</sup> "**banco de dados**" Conjunto de dados organizados e relacionados, capaz de ser processado por um sistema informático. = BASE DE DADOS, in Dicionário Priberam da Língua Portuguesa [em linha], 2008-2021, [https://dicionario.priberam.org/banco de dados](https://dicionario.priberam.org/banco%20de%20dados) [consultado em 01-08-2022].

Para Cowen (1988) “o SIG é um sistema de suporte à decisão que integra dados referenciados espacialmente num ambiente de respostas a problemas” (p.43). Aronoff (1989) estabelece que “o SIG é um conjunto manual ou computacional de procedimentos utilizados para armazenar e manipular dados georreferenciados” (p.42).

As duas principais características dos SIG são apresentadas por Câmara e Davis (2001, p.43) como:

- Inserir e integrar, numa única base de dados, informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados censitários e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno;
- Oferecer mecanismos para combinar as várias informações, através de algoritmos de manipulação e análise, bem como para consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados georreferenciados.

### **1.9.3. Estrutura e aplicações**

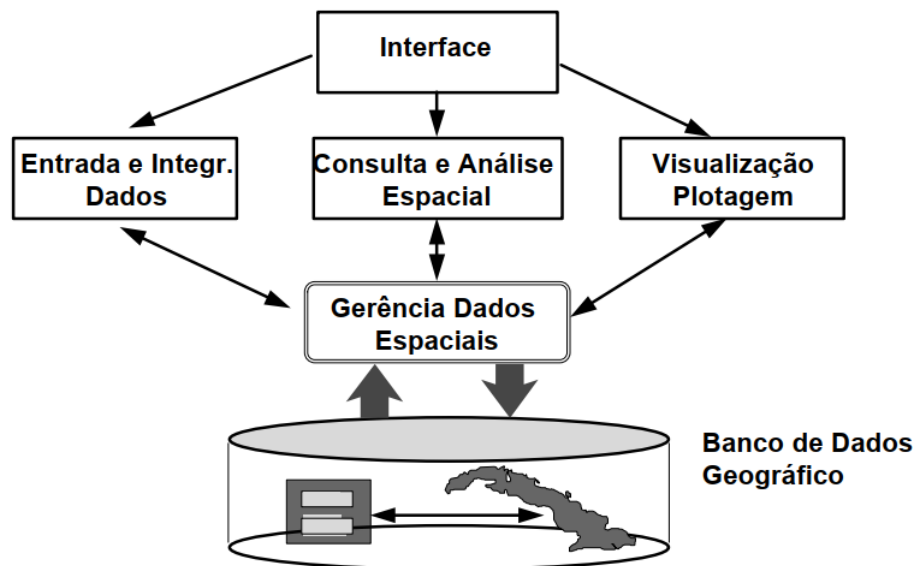
Os Sistemas de Informação Geográfica – SIG são consideradas ferramentas computacionais para Geoprocessamento, as quais “permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados. Tornam ainda possível automatizar a produção de documentos cartográficos” (Camara & Davis, 2001, p.1).

De forma prática, Calijuri e Lourdes (2006, pp. 3-4) esclarecem como funciona a visão técnica de um SIG: “um Sistema de Informação Geográfica - SIG é uma forma particular de Sistema de Informação aplicado a dados geográficos. Um Sistema de Informação é um conjunto de processos, executados no dado natural, produzindo informações úteis na tomada de decisões” (p.3). No modelo conceitual, “a conexão entre os elementos do sistema é a geografia, isto é, a localização, a proximidade e a distribuição espacial” (p.4).

A estrutura geral de um SIG (**Figura 10**) inclui as componentes (Câmara & Davis, 2001, p.43):

- Interface com usuário;

- Entrada e integração de dados;
- Funções de consulta e análise espacial;
- Visualização e plotagem;
- Armazenamento e recuperação de dados (organizados sob a forma de um banco de dados geográficos).



**Figura 10.** Estrutura Geral de Sistemas de Informação Geográfica. Fonte: Câmara e Davis, 2001, p.44.

É relevante destacar que os pesquisadores Gilberto Câmara e Clodoveu Davis são reconhecidas autoridades científicas na área das geotecnologias no Brasil. O trabalho dos autores utilizado nesta etapa conceitual, publicado em 2001 pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, é um dos vários documentos técnicos produzidos, importantes para o contexto nacional, intitulado “Introdução à ciência da geoinformação”. Neste documento, Câmara & Davis (2001) são enfáticos e didáticos em esclarecer a importância do geoprocessamento e dos SIG para o desenvolvimento do Brasil, ao afirmar que “com uma grande carência de informações adequadas para a tomada de decisões sobre os problemas urbanos, rurais e ambientais, o Geoprocessamento apresenta um enorme potencial, principalmente se baseado em tecnologias de custo relativamente baixo, em que o conhecimento seja adquirido localmente” (p.1).

Levando em consideração tais características, o potencial uso dos SIG para o desenvolvimento com orientação ecológica no Brasil também pode ser identificado ao se observar o grau de alcance das aplicações desta tecnologia para a resolução de problemas.

Câmara & Davis (2001) afirmam quem se “Se *onde* é importante para seu negócio, então Geoprocessamento é sua ferramenta de trabalho” (p.1). Para os autores, “Sempre que o *onde* aparece, dentre as questões e problemas que precisam ser resolvidos por um sistema informatizado, haverá uma oportunidade para considerar a adoção de um SIG” (p.1).

Calijuri and Lourdes (2006) descrevem que “o campo de aplicações dos SIG’s é amplo e diversificado, incluindo a engenharia urbana, geografia, agricultura, hidrologia, geologia, geotecnia, meio ambiente, computação, economia, fotogrametria, agrimensura, planejamentos urbano e regional, engenharia florestal e outros” (p.4).

Ou seja, as características e o potencial das aplicações fazem do SIG uma ferramenta necessária para cidades que buscam a gestão sustentável, pois “o principal objetivo é o suporte à tomada de decisões, para engenharia urbana, saneamento ambiental, gerenciamento de uso do solo, recursos hídricos, ecossistemas aquáticos e terrestres, ou qualquer entidade distribuída espacialmente” (Calijuri & Lourdes, 2006, p.3).

O campo de aplicações dos SIG é resumido na **Tabela 2**.

<b>FINALIDADE</b>	<b>OBJETIVO</b>	<b>ÁREA DE APLICAÇÃO</b>
Projetos	Definição das características do projeto	Projeto de loteamentos e de irrigação
Planejamento territorial	Delimitação de zoneamentos e estabelecimento de normas e diretrizes de uso	Elaboração de planos de manejo de unidades de conservação e de planos diretores municipais
Modelagem	Estudo de processo e comportamento	Modelagem de processos hidrológicos
Gerenciamento	Gestão de serviços e de recursos naturais	Gerenciamento costeiro e de serviços de utilidade pública
Banco de Dados	Armazenamento e recuperação de dados	Cadastro urbano e rural
Avaliação de riscos e potenciais	Identificação de locais susceptíveis à ocorrência de um determinado evento ou fenômeno	Elaboração de mapas de risco e mapas de potencial
Monitoramento	Acompanhamento da evolução dos fenômenos através da comparação de mapeamentos sucessivos no tempo	Monitoramento da cobertura florestal e da expansão urbana

Logístico	Identificação de pontos e rotas	Definição da melhor rota e identificação de locais para implantação de atividades econômicas
-----------	---------------------------------	--

**Tabela 2.** Finalidade, objetivo e áreas de aplicação dos SIG. Fonte: <https://www.professores.uff.br/cristiane/sistemas-de-informacao-geografica-e-geoprocessamento/>  
Acesso em: 12 de fev. de 2023

Calijuri & Lourdes (2006) apresentam um exemplo de aplicação de SIG em meio urbano: “a localização de um posto de bombeiros e as localizações onde a erosão do solo é mais severa, são considerações chaves no uso dessa informação; em cada caso, o que é e onde está, deve ser levado em conta” (p.4).

Mas, os SIG podem ser utilizados nas mais diversas áreas e escalas de aplicação, ampliando também a complexidade das soluções. O trabalho de Silva (2016) utilizou SIG para a identificação de Áreas de Preservação Permanente – APPs prioritárias para recuperação na bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória, localizada no estado do Espírito Santo, Brasil. Neste caso, é explorado o potencial de aplicação da tecnologia para um problema ambiental complexo e transversal, que envolve dados geográficos e não geográficos.

Lousada et al., (2022) estudaram as mudanças no uso da terra nos territórios urbanos insulares em uma análise retrospectiva de 1990 a 2018 para o caso da Ilha da Madeira - Ribeira Brava. “Com base em ferramentas como GIS, este estudo permite a análise de variações e padrões de uso e ocupação da terra no município de Ribeira Brava, localizado na ilha da Madeira” (p.1). “O principal objetivo do presente estudo foi avaliar a variação no uso e ocupação da terra e as implicações regionais que essas mudanças podem causar (p.15).

Como principais apontamentos de seu trabalho, Lousada et al., (2022) descrevem que:

De maneira abrangente, o estudo nos permite destacar a estagnação do tecido urbano da região e, por outro lado, a mudança na dinâmica do cultivo agrícola presente no condado. Além disso, este estudo destaca a mudança na vegetação nativa predominante no município entre os anos de 1990 e 2018. Ainda é necessário enfatizar o cenário preocupante com a perda de vegetação nativa devido à atividade humana, o que requer monitoramento mais enfático por

regional atores do governo para proteger, preservar e conservar essas paisagens, ambientes e ecossistemas (p.1).

Carvalho et al., (2021) mostraram como os SIGs podem ser utilizados na integração de informações ambientais e sociais, incluindo também um viés de planejamento urbano, com a proposta de Sistemas Participativos de Informação Geográfica (PGIS) para avaliar a disponibilidade de água, energia e alimentos (Nexus) em uma comunidade vulnerável em Guarulhos (Brasil). “Os Sistemas de Informação Geográfica participativa são poderosas ferramentas de planejamento que visa representar o conhecimento local, aplicando geotecnologias e técnicas de mapeamento colaborativo” (p.1). Os autores buscaram “explorar o potencial dos PGIs para envolver os jovens no mapeamento do Nexus<sup>12</sup> em Novo Recreio, Guarulhos, São Paulo” (p.1). “Os resultados mostraram que os jovens mapearam suas percepções socioambientais sobre os elementos do Nexus, e novas propostas foram desenvolvidas, demonstrando que o PGIS era um método adequado que contribui para melhorar a governança urbana local e regional” (p.1)

#### **1.10. Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica em Áreas Urbanas**

Netzband and Jürgens (2010) ao debruçarem-se sobre o assunto referem: “o Sensoriamento Remoto em Áreas Urbanas é, por natureza, definido como a medição da radiação da superfície e das propriedades conectadas à cobertura e uso do solo nas cidades” (p.3). Os autores descrevem ainda que “dados de SR são usados para detectar e avaliar a estrutura física e composição de áreas urbanas, como a estrutura de bairros residenciais, comerciais ou mistos, espaços verdes ou outros espaços abertos” (p.4).

O uso do Sensoriamento Remoto em ambientes urbanos é particularmente desafiador, pois estes ambientes são caracterizados por diferentes tipos de materiais e terrenos cobertos por superfícies, mais do que encontradas em paisagens naturais. Na análise de Sensoriamento Remoto os dados devem considerar essas características espectrais únicas (Sliuzas et al., p.72). Neste sentido estes autores também afirmam a dificuldade de análise em ambiente urbano:

---

<sup>12</sup>Nexus do inglês FEW - *Food Energy Water*

As cidades são tão complexas que grandes áreas de cobertura homogênea do solo muitas vezes não podem ser detectadas prontamente, mesmo quando se usam imagens de alta resolução. A maioria dos usos do solo urbano está associada a superfícies que são caracterizadas por combinações de vários tipos de cobertura do solo: edifícios, vegetação, estradas, água, solo descoberto, etc. Portanto, não é possível relacionar uma forma específica de uso do solo a uma forma específica da cobertura do solo (p.72).

Wellmann et al. (2020) reafirmam esta ideia ao dizerem que:

Os dados de Sensoriamento Remoto são indiscutivelmente uma das maiores fontes de informação ambiental do nosso tempo e a sua utilização deve ser alargada a zonas onde vive a maioria das pessoas, nomeadamente as cidades. A visão de cima oferece maneiras repetíveis, independentes e econômicas para a era digital (e inteligente) obter conhecimento relevante para processos sociais, estados ecológicos e inovações tecnológicas (p. 11).

A identificação e delineamento de usos do solo com base na interpretação visual de imagens de Sensoriamento Remoto por intérpretes humanos treinados, que complementam as informações de imagem espectral com informações contextuais, portanto, são frequentemente preferidas. Mesmo assim, a identificação e delimitação de unidades homogêneas de uso do solo é subjetiva (Sliuzas et al., 2010, pp. 72-73).

Netzband and Jürgens (2010, p. 4) afirmam que técnicas de análise espacial e métodos de modelagem e análise geográfica são necessárias, pois, o aumento da disponibilidade de dados geográficos nos últimos anos não foi acompanhado por um aumento do conhecimento para apoiar as decisões espaciais.

Porém, o desafio do uso do Sensoriamento Remoto nas cidades também passa pela dificuldade na compreensão da cidade contemporânea em territórios de quaisquer níveis de desenvolvimento. Tal compreensão vai além das teorias, de métodos analíticos tradicionais ou de tipologia de dados, é essencial a interação de conhecimentos em ciências sociais e da terra e economia urbana. Isso se torna viável através do uso de Sistemas de Informação Geográfica com os quais é possível entender os padrões e

tendências de urbanização. O resultado pode ser o fornecimento de informações para a análise espacial vinculada a indicadores sociais, que esclarecem as inter-relações entre o desenvolvimento socioespacial e as condições ecológicas.

Essa importante ideia é defendida por Bessussi, et al. (2010) ao afirmarem que:

A cidade contemporânea, tanto no mundo desenvolvido quanto no em desenvolvimento, precisa de muito mais do que apenas uma teoria ou um método de análise ou uma tipologia de dados para ser totalmente compreendida. A cidade contemporânea, da qual a expansão urbana é um dos aspectos mais evidentes, é um desafio aos métodos analíticos tradicionais e exige que as ciências sociais interajam com as ciências do solo, com a economia urbana e com o SIG para construir um quadro coerente dos padrões e tendências da urbanização (p. 29).

Wellmann et al. (2020, p.10) sugerem três pontos de entrada potenciais bem como três caminhos para a aplicação do Sensoriamento Remoto no planejamento urbano:

- i. “Abrir barreiras da informação”: é defendido o uso de softwares de código aberto e iniciativas de governos locais para a distribuição de dados geográficos abertamente. A conclusão é que tais ações são favoráveis para a difusão do Sensoriamento Remoto no planejamento urbano aplicado;
- ii. “Integração entre disciplinas e espaço”: o argumento é que é necessária a maior integração das diferentes visões e abordagens das disciplinas envolvidas (planejamento urbano, Sensoriamento Remoto e ecologia). Os autores acreditam que, essa integração pode levar à proximidade de respostas a alguns problemas do século XXI com um projeto urbano ecológico adequado. Neste ponto, também é defendida a ideia de transferibilidade de métodos e resultados, com estudos de escala mais abrangente, que levem às análises globais e não apenas com escalas de tempo longas;
- iii. “Seguir o fluxo do ciclo da política”: é apresentada uma crítica à falta de abordagens efetivamente orientadas para políticas e para o planejamento, apesar destes estudos terem reconhecida confiabilidade por parte da comunidade científica.

No último ponto, a ideia defendida pelos autores é a de que há poucos estudos indo além da credibilidade e solidez científica, que colocam seus resultados em perspectiva e geram conhecimento utilizável, ou seja, com apresentação de sugestões de interpretação dos resultados, tornando-os com sentido para os usuários em potencial na comunidade de planejamento. Esta etapa tornaria possível afetar diretamente a nova agenda urbana que está ancorada nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODS, através da conversão dos resultados em conhecimento acionável, trazendo ganhos importantes para a pesquisa aplicada.

Porém, mesmo com a disponibilidade de dados geográficos confiáveis e a aplicação de conhecimentos de Sensoriamento Remoto, é necessário que os envolvidos no processo de planejamento urbano sejam ativos na implementação desta ferramenta na governança. Wellmann et al. (2020, pp.10-11) destacam como pode ocorrer a mudança de um perfil “observador distante” para “transformador de planos”, com o objetivo de integrar o SR na governança urbana. Tais sugestões se resumem em: centralizar a organização dos dados, capacitar os agentes envolvidos e integrar o Sensoriamento Remoto em avaliações ambientais estratégicas. De acordo com os autores, essas sugestões, se aplicadas, podem tornar os dados de Sensoriamento Remoto uma ferramenta vital, contribuindo ativamente para políticas, engajamento civil e medidas de planejamento concretas, fornecendo análises ambientais independentes e econômicas.

Para as cidades, são dados conselhos estruturais sobre o manuseio dos dados “sugerimos expandir os repositórios GIS que a maioria das cidades possui e que são comumente usados como base para o planejamento urbano para conjuntos de dados (DC) no nível da cidade” (Wellmann et al., 2020, p.10).

A nível de país, com a expansão da área a ser trabalhada, há um aumento significativo da quantidade de dados e da demanda técnica e computacional, os autores sugerem que “centralizar partes desses esforços por meio de centros de Sensoriamento Remoto (nacionais) também pode ser favorável. Agências centralizadas podem fornecer capacidades de hospedagem ou outras orientações tecnológicas” (Wellmann et al., 2020, p.11). Para o armazenamento e processamento destes dados, apostam no serviço em nuvem com o uso de ferramentas como o *Google Earth Engine*, a qual tem uma capacidade de trabalho com uma quantidade enorme de dados e com custos otimizados.

Wellmann et al. (2020) também chamam a atenção para a importância da capacitação dos agentes envolvidos no processo. Defendem o estabelecimento de uma interface ciência-política eficaz que possa garantir o uso do potencial do SR nos processos de

planejamento, afirmam que “isso pode ser estabelecido por meio de pesquisas orientadas para a demanda, que desenvolvem propostas e projetos em conjunto com os municípios ou partes interessadas” (p.11). Além disso indicam uma alternativa para essa aproximação entre a ciência e a política:

Outra forma de envolver organizações não governamentais e cidadãos é a criação de aplicativos web amigáveis. Além das possibilidades de projetos interessantes de ciência cidadã, isso criará a confiança necessária. As iniciativas existentes que visam a capacitação para uma maior difusão do Sensoriamento Remoto (por exemplo, *Group on Earth Observations - GEO* ou *Humanitarian OpenStreetMap*) são encorajadoras (p.11).

No caso de cidades com baixa capacidade de recursos, como é uma realidade em vários locais no Brasil, Wellmann et al. (2020) declaram que “mais cooperação e treinamento são necessários, já que muitos tipos de dados e software são gratuitos e seriam muito úteis para cidades com orçamentos monetários bastante baixos” (p.11).

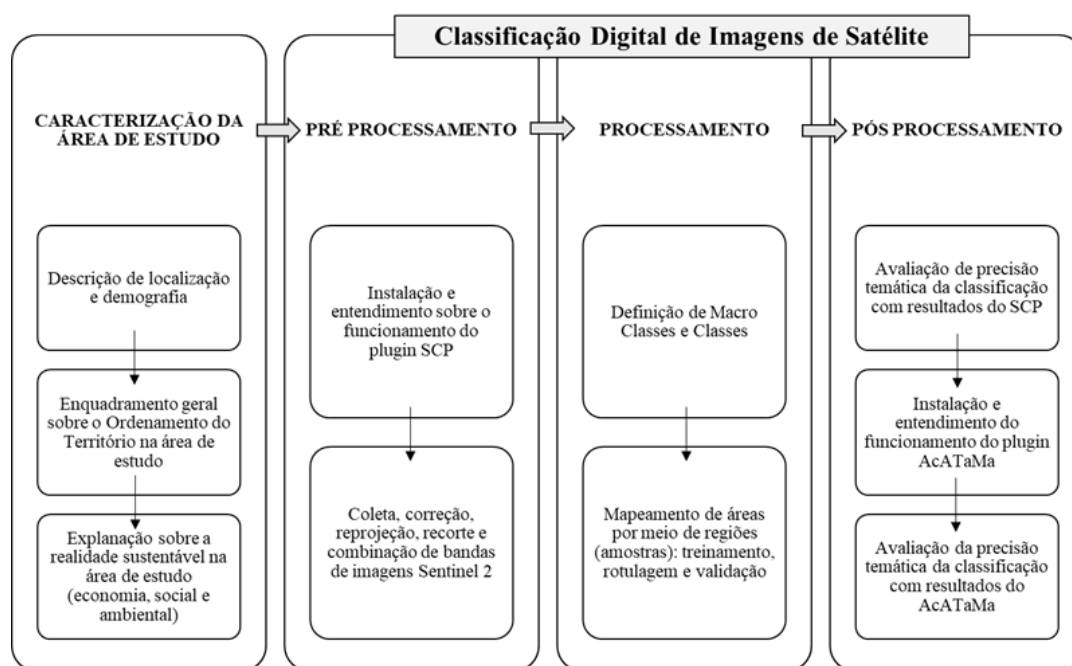
Por último, é defendida a ideia de inclusão do Sensoriamento Remoto nas estruturas jurídicas de monitoramento e avaliação existentes. Em seu estudo, Wellmann et al. (2020) informam que apesar de não haver uma ligação direta entre as atividades de Avaliações Ambientais Estratégicas (AAE), Avaliações de Impacto Ambiental (EIA) e Sensoriamento Remoto existe “um grande potencial de formalização da inclusão de dados e conhecimento de Sensoriamento Remoto nesses processos” (p.11).

Wellmann et al. (2020) afirmam que “se conduzidas de forma apropriada, a AAE e a AIA frequentemente representam os pontos de entrada mais fáceis para as questões ecológicas entrarem no ciclo de políticas, portanto, afetam as decisões de planejamento (p.11).

## Capítulo II - Abordagem Metodológica

Tendo em vista o objetivo geral e os dois objetivos específicos a serem alcançados, neste capítulo serão abordados os procedimentos metodológicos adotados no presente estudo, onde serão sistematizadas as etapas de investigação e serão identificadas as referências científicas utilizadas para a execução das atividades práticas.

As duas etapas principais desta investigação (**Figura 11**) são a caracterização da área de estudo e a classificação digital das imagens de satélite, a qual compreende o pré-processamento, processamento e pós processamento.



**Figura 11.** Classificação Digital de Imagens de Satélite. Fonte: Elaboração da autora.

Para o entendimento do funcionamento dos algoritmos foi necessário um estudo dirigido<sup>13</sup>, focado na prática e percebendo a aplicação destas metodologias, mesmo que seja em outras áreas. Para isso, foi utilizada a plataforma Youtube, com a devida cautela na escolha do material a ser utilizado.

Diversos profissionais da área do geoprocessamento, professores, pesquisadores, instituições governamentais e demais interessados disponibilizam vídeos no Youtube com tutoriais, aulas, etc. Estas informações foram cruciais para a aplicação da metodologia, pois alguns detalhes de processamento precisaram ser readequados à área de estudo.

<sup>13</sup> Foi criada uma lista com o material consultado para este trabalho, disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=fjfl6YOifBc&list=PLx\\_wm0sJT4kZ7H5JFNUD-Gx\\_dYUxuYM0F](https://www.youtube.com/watch?v=fjfl6YOifBc&list=PLx_wm0sJT4kZ7H5JFNUD-Gx_dYUxuYM0F)

Os principais vídeos utilizados como referência para a aplicação do SCP e do AcATaMa estão relacionados a seguir na **Tabela 3**.

<b>Autor</b>	<b>Função</b>	<b>Trabalho</b>	<b>Link no Youtube</b>
Alexandre Rosa	Professor da Universidade Federal do Espírito Santo - UFES	Classificação de imagens Landsat para a cidade de Vitória.	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=cB5eu00ROP4&amp;list=PL551njkdL5YoCjIijfEiNpGCqJedtAVoL">https://www.youtube.com/watch?v=cB5eu00ROP4&amp;list=PL551njkdL5YoCjIijfEiNpGCqJedtAVoL</a>
Gonçalo Vieira	Professor do Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa - IGOT	Classificação de imagens Sentinel 2 para uma área da Serra da Estrela em Portugal	<a href="https://www.youtube.com/playlist?list=PLsx1YF-AIJhucM_6RSuqL0ILzAJVRSjUZ">https://www.youtube.com/playlist?list=PLsx1YF-AIJhucM_6RSuqL0ILzAJVRSjUZ</a>
Luca Gongedo	Pesquisador que criou o plugin SCP	Informações atualizadas sobre o complemento em seu canal na plataforma	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=Ceyhm3DIZNY">https://www.youtube.com/watch?v=Ceyhm3DIZNY</a>
Gustavo Baptista	Professor da Universidade Federal de Brasília	Avaliação da acurácia de dados WorldCover 10 m 2020 utilizando o plugin AcATaMa em uma área em Brasília	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=_kDuwi4GUAs&amp;list=PLx_wm0sJT4kZ7H5JFNUD-Gx_dYUxuYM0F&amp;index=99">https://www.youtube.com/watch?v=_kDuwi4GUAs&amp;list=PLx_wm0sJT4kZ7H5JFNUD-Gx_dYUxuYM0F&amp;index=99</a>

**Tabela 3.** Vídeos de apoio para a aplicação do SCP e AcATaMa. Fonte: Elaboração da autora.

## 2.1. Caracterização da área de estudo

Esta seção apresenta uma breve caracterização da área de estudo, a cidade de Vitória. Tal etapa é importante para o enquadramento geral e o entendimento sobre as dinâmicas urbanas que podem influenciar em como o recurso solo é utilizado.

São apresentadas a seguir informações gerais sobre a localização e a demografia em Vitória. Também é apresentado um cenário de instrumentos legais existentes para Ordenamento do Território na cidade. No âmbito da sustentabilidade urbana, são apresentadas informações ambientais, econômicas e sociais.

### 2.1.1. Localização e demografia

Vitória (**Figura 12** e **Figura 13**) é uma cidade litorânea envolvida pelo Oceano Atlântico, capital do Espírito Santo, estado da região sudeste brasileira. Sua proximidade com o mar e a presença de rios é uma característica historicamente importante para o seu desenvolvimento, o que fica claro ao se observar algumas de suas atividades econômicas mais relevantes, dependentes do transporte fluvial e marítimo.



**Figura 12.** Vitória. Foto: Arquivo Companhia de Desenvolvimento Turismo e Inovação de Vitória /Tadeu Bianconi, 2013.



**Figura 13.** Mapa de localização da cidade de Vitória - Brasil. Fonte: Geobases (2023). Fonte: Elaboração da autora.

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2021; 2010) aponta que a cidade apresenta uma área de aproximadamente 97,123 km<sup>2</sup>, densidade populacional de 3.338,30 hab/km<sup>2</sup> e que em 2021 apresentava 369.534 habitantes.

### **2.1.2. Ordenamento do Território em Vitória**

Sobre a matéria de Ordenamento do Território, a cidade de Vitória tem um instrumento legal que foi criado anteriormente à Constituição Federal de 1988, o Plano Diretor Urbano – PDU, que corresponde ao Plano Diretor Municipal – PDM. Tal instrumento se ajustou às normativas legais posteriores e tem sido revisado periodicamente. Sua última atualização foi realizada em 2018 através da Lei 9271/18.

Desde 1984, a cidade tem um Plano Diretor Urbano para nortear como deve ser seu crescimento e funcionamento da cidade, garantir a qualidade de vida dos moradores, definir áreas de proteção ambiental e critérios para a instalação de atividades econômicas ou grandes empreendimentos (Vitória, 2023).

Em termos de participação social no processo de Ordenamento do Território, há o Conselho Municipal e o portal “Minha Vitória PDU<sup>14</sup>”. Este Conselho é o órgão consultivo mais antigo da região metropolitana de Vitória, sendo responsável pelo acompanhamento permanente das normas do PDU, “é composto por representantes do poder público, da sociedade civil e de moradores de todas as regiões administrativas” (Vitória, 2023). Já o portal tem por objetivo aproximar os cidadãos do planejamento municipal, disponibilizando informações sobre as regras urbanísticas para todo território da cidade, fornecendo dicas para a consulta da legislação e de documentos, além da apresentação de estudos que subsidiaram a revisão do PDU de 2018, que aconteceu de 2015 a 2017.

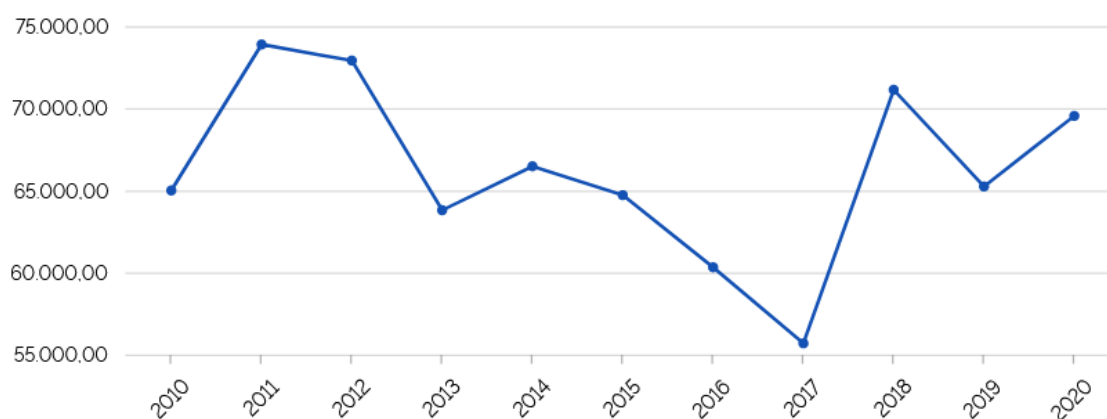
---

<sup>14</sup> Disponível em: <https://www.vitoria.es.gov.br/minhavitoriapdu/o-pdu>. Acesso em 15 de fev. de 2023.

### 2.1.3. Economia

De acordo com o Plano de Ação Sustentável de Vitória para 2030, o município de Vitória tem grande expressão ao nível regional e nacional, nas atividades industriais, logísticas e de serviços. Neste ponto, realça-se o complexo portuário de Vitória que é essencial para o escoamento de produtos, principalmente do setor da mineração, além do fácil acesso e interligação com outros modais logísticos. Outro setor econômico importante para Vitória é o turismo, ancorado nas suas belezas naturais e qualidade de vida da população.

Em 2020, o Produto Interno Bruto per capta (PIB per capta) da cidade de Vitória foi de 69.628,40 R\$ em 2020 (IBGE, 2020), a evolução deste indicador entre 2010 e 2020 é mostrada na **Figura 14**.



**Figura 14.** PIB per capta de Vitória entre 2010 e 2020. Fonte: IBGE (2020).

### 2.1.4. Ambiente

Do ponto de vista climático de Vitória, estamos perante um clima tropical muito úmido em regime de subseca com uma amplitude térmica reduzida e uma média de temperatura anual sempre superior a 18º graus centígrados. Vitória tem fronteira a Oeste com zonas subsequentes, também muitas húmidas, mas com temperaturas um pouco mais amenas tropicais e temperadas (IBGE, 2002).

Em relação às características ecológicas, Vitória apresenta o bioma da mata atlântica, comum na região costeira brasileira. Em seu território está localizado o maior manguezal urbano do país, o qual tem uma extensão de aproximadamente 11 km<sup>2</sup> de área.

Este ecossistema é um importante ambiente para a vida marinha, sendo um berçário de várias espécies. O manguezal é importante também, pelos recursos naturais que produz e que servem como fonte de sustento a famílias de pescadores e catadores de crustáceos (caranguejo, siri e camarão) e de moluscos (mexilhão e ostra), produtos que são a essência da gastronomia capixaba, em pratos como a moqueca e a torta. Do manguezal também é extraído o tanino utilizado na confecção das famosas panelas de barro, símbolo da cultura local (Vitória, 2014).

Vitória é banhada pelo Oceano Atlântico e é abastecida pelos rios Santa Maria da Vitória e rio Jucu, duas importantes bacias hidrográficas da região.

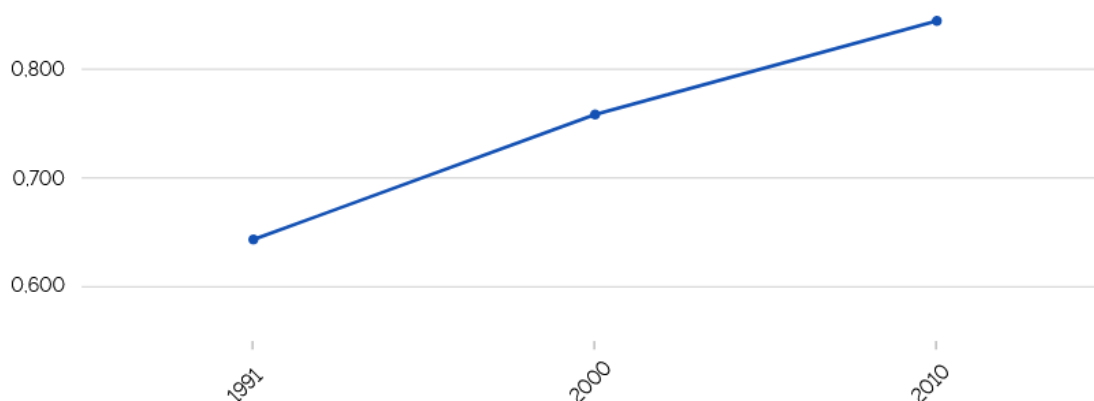
### **2.1.5. Social**

A Secretaria de Gestão, Planejamento e Comunicação de Vitória mantém ativo o Portal do Observatório de Indicadores da Cidade. “O Portal do Observatório de Indicadores é um instrumento de controle social e de suporte à tomada de decisão, mantido pela Prefeitura de Vitória, em conformidade com o Decreto nº 17.289/2018 que trata da Política Municipal de Monitoramento de Indicadores” (Vitória, 2023).

O portal apresenta informações sobre os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030. Para a vertente social, por exemplo, são demonstrados dados sobre o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 10 (ODS 10), que busca reduzir a desigualdade dentro dos países e entre eles.

Para a meta 10.3 da ODS 10, que visa garantir a igualdade de oportunidades e reduzir as desigualdades de resultado, inclusive por meio da eliminação de leis, políticas e práticas discriminatórias e promover legislação, políticas e ações adequadas a este respeito, um indicador associado é o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM). Em 2010 Vitória tinha um IDHM igual a 0,845.

Tal fato situa a cidade na faixa de Desenvolvimento Humano Muito Alto (IDHM entre 0,800 e 1). “A dimensão que mais contribui para o IDHM do município é Renda, com índice de 0,876, seguida de Longevidade, com índice de 0,855, e de Educação, com índice de 0,805” (Vitória, 2023). O IDHM é mostrado na figura a seguir.



**Figura 15.** IDHM de Vitória entre 1991 e 2010. Fonte: IBGE (2010). Acesso em 21 de fev. de 2023

## 2.2. Classificação de imagens de satélite

Após a etapa de caracterização da área de estudo foi realizada a classificação de uma imagem do satélite Sentinel 2 através de três etapas principais: pré processamento, processamento e pós processamento.

De forma geral, o pré processamento compreende as etapas de coleta e tratamento dos dados, o processamento corresponde à etapa da classificação da imagem propriamente dita e o pós processamento é a verificação da precisão temática. Nesta investigação todas as etapas foram realizadas utilizando o software QGIS o qual é considerado um aplicativo Open Source, ou seja, de código aberto e gratuito. Foram utilizados os algoritmos de classificação e de avaliação de precisão temática SCP e AcATaMa.

O complemento *Semi-Automatic Classification Plugin (SCP)* é um complemento que funciona dentro do QGIS, desenvolvido por Congedo (2021) em linguagem de programação *Python*. Ele permite a classificação supervisionada de imagens de satélite, fornecendo ferramentas que compreendem desde a etapa de coleta de dados, pré-processamento até o pós-processamento de imagens.

Já o *Accuracy Assessment of Thematic Maps (AcATaMa)* é um complemento utilizado especificamente para a etapa de pós processamento, para a verificação da precisão temática.

### 2.2.1. Coleta e Pré processamento de dados

Para a coleta e o pré processamento dos dados foram consideradas as seguintes etapas:

1. Coleta de imagens;
2. Correção de refletância (DOS1);
3. Coleta de dados de limites administrativos e demais arquivos para representação cartográfica ou operações;
4. Reprojeção de arquivos para WGS84-UTM (se for o caso);
5. Recorte de imagens para área de interesse;
6. Combinação de bandas (raster virtual).

O pré processamento da imagem de satélite começou com o entendimento sobre o complemento SCP. Após uma pesquisa sobre o seu funcionamento, o SCP (versão 7.10.6 Matera) foi instalado no QGIS (versão 3.16.14-Hannover).

Para a coleta de imagens de satélite, o complemento SCP disponibiliza diretamente no QGIS uma ferramenta para a busca de imagens ASTER, GOES, Landsat, MODIS, Sentinel-1, Sentinel-2 e Sentinel-3, com cadastros prévios em portais que disponibilizam as informações. No entanto, no presente estudo optou-se pelo método tradicional de busca, com preferência para a utilização de dados abertos de imagens multiespectrais de Sentinel 2, apresentados no site oficial do programa espacial europeu - Copernicus (Agência Espacial Europeia) “<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>”.

A busca pelos produtos foi realizada em 08/03/2022, para um período de cenas capturadas entre 20/12/2015 e 20/12/2020. Para a área de estudo que compreende o município de Vitória foi utilizada a imagem capturada pelo satélite em 09/07/2020. O tipo de produto utilizado foi o S2MSI1C com 0% de cobertura de nuvens (*cloud cover = 0%*). A seguir são demonstradas as informações utilizadas para a coleta das imagens, o produto selecionado para a investigação é o de nome:

S2A\_MSIL1C\_20200709T125311\_N0209\_R052\_T24KUC\_20200709T142631.

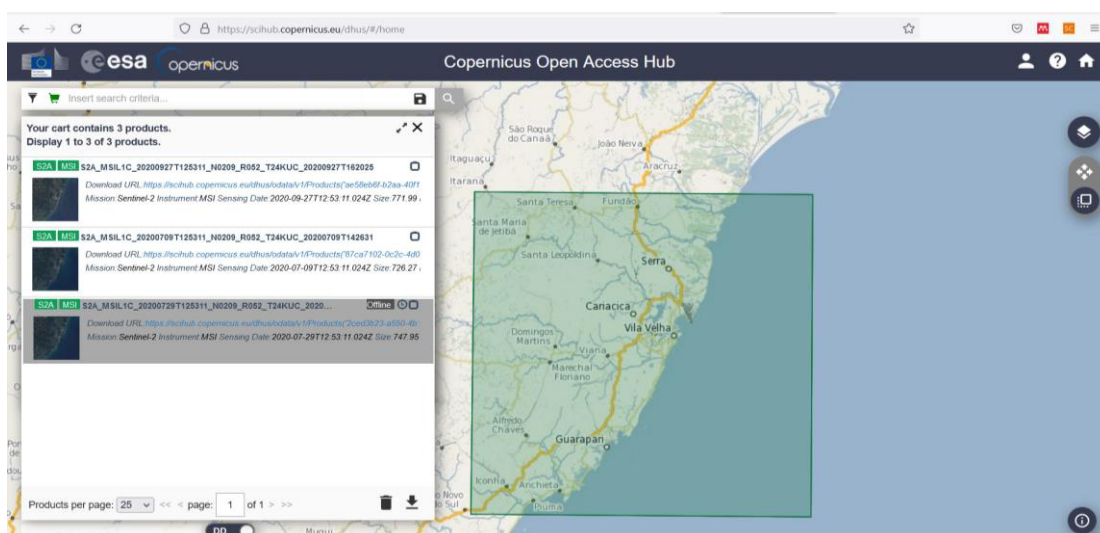
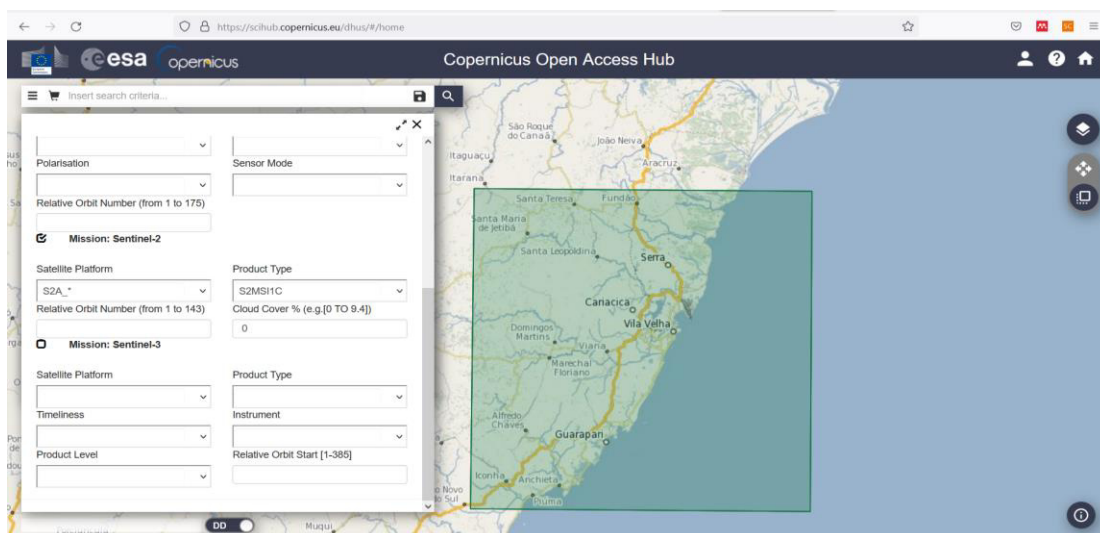
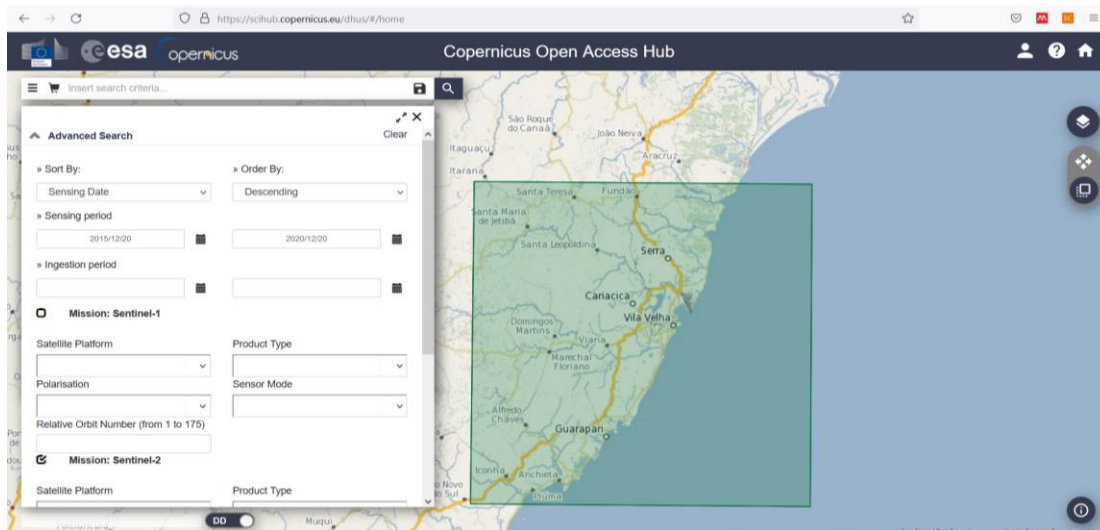
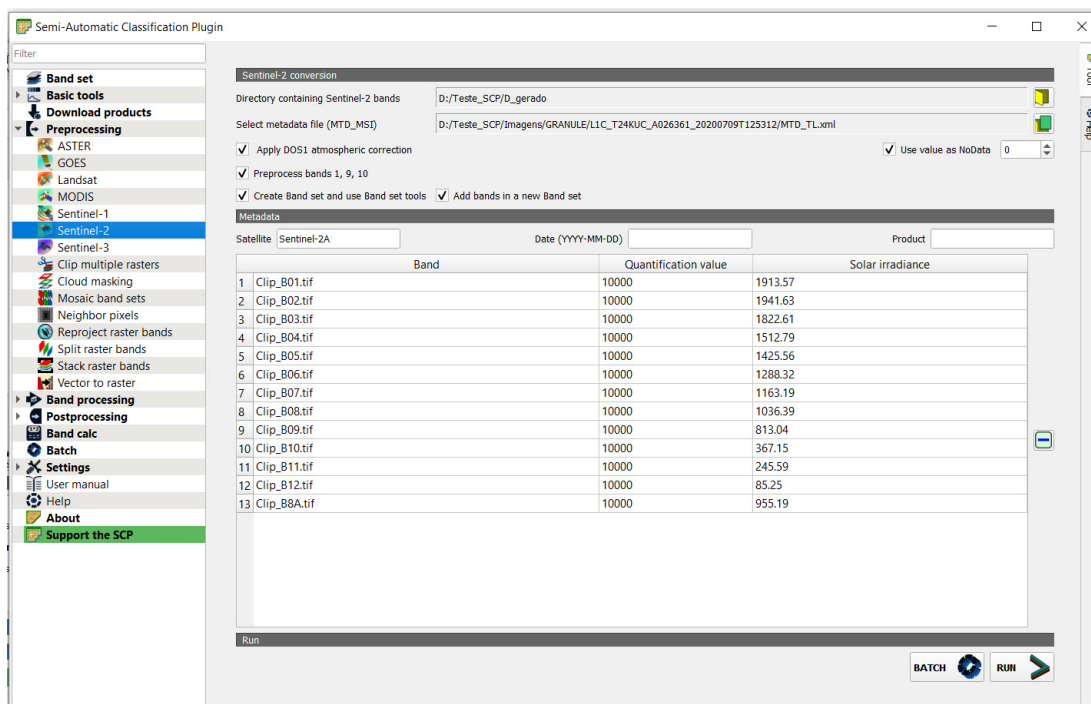


Figura 16. Coleta de imagem do satélite Sentinel 2 para processamento. Fonte: Copernicus, 2022.

De acordo com a Copernicus (2023) o produto de Nível 1C que foi objeto de análise no presente estudo “resulta da utilização de um Modelo Digital de Elevação (DEM) para projetar a imagem em geometria cartográfica. As medições radiométricas por pixel são fornecidas em refletâncias “*Top Of Atmosphere*” (TOA) junto com os parâmetros para transformá-las em radiâncias”. Ou seja, a imagem coletada já tem correção de TOA. Porém, para uma avaliação temporal estas imagens ainda precisam passar por um processo de correção de reflectância de superfície que foi realizada no complemento SCP. A correção realizada nesta etapa é do tipo *Dark Object Subtraction 1* (DOS1), método empírico proposto por Chaves (1998) para a correção de reflectância de superfície (**Figura 17**).

A Copernicus (2023) também destaca que “Os produtos Nível-1C são reamostrados com uma distância de amostragem no solo (GSD) constante de 10, 20 e 60 m, dependendo da resolução nativa das diferentes bandas espectrais”. Dessa forma, há disponibilização de imagens com bandas de 10, 20 e 60m de resolução espacial e todas elas foram identificadas para o processamento no SCP (**Figura 17**). No entanto, para a análise visual no presente estudo foram utilizadas efetivamente as bandas 3 (Verde, comprimento de onda central de 559.8nm), 4 (Vermelho, comprimento de onda central de 664.6nm) e 8 (Infravermelho Próximo – NIR, comprimento de onda central de 832.8nm), nas combinações para o Sentinel 2 de falsa cor infravermelho: 8- 4- 3 e cor verdadeira: 4-3-2. Estas três bandas têm resoluções espaciais de 10 metros.



**Figura 17.** Pré processamento de imagem no SCP.

Os arquivos vetoriais de limites administrativos e demais informações cartográficas de interesse foram obtidas a partir do portal Geobases (2023) e Geoweb (2023). Todos os arquivos foram reprojatados para o WGS84, UTM Zona 24S (caso já não estivessem) sendo processados em ambiente SIG (QGIS). Após este procedimento, as imagens foram recortadas para a área de estudo e posteriormente foram geradas as combinações de bandas necessárias para a classificação supervisionada.

### 2.2.2. Processamento

Durante o processamento foi realizada a classificação da imagem, a qual consiste em “um processo usado para produzir mapas temáticos a partir de imagens” (Schowengerdt, 2007, p.387). Os temas podem variar “por exemplo, de categorias como solo, vegetação e águas superficiais em uma descrição geral de uma área rural, para diferentes tipos de solo, vegetação e profundidade ou clareza da água para uma descrição mais detalhada” (Schowengerdt, 2007, p.387).

As duas metodologias de classificação comumente utilizadas nos estudos de sensoriamento remoto são a supervisionada e não supervisionada. Ou seja, “as duas abordagens para treinar e rotular o pixel são conhecidas na literatura como classificação supervisionada e não-supervisionada” (Mather, 2004, p. 203). No presente trabalho foi realizado o procedimento supervisionado, também chamado de semiautomático.

Lillesand et al. (2015) afirmam que neste tipo de classificação, “o analista de imagem “supervisiona” o processo de categorização de pixels, especificando, para o algoritmo de computador, descritores numéricos dos vários tipos de cobertura da terra presentes em uma cena” (p.538).

A classificação aqui realizada faz uma verificação pixel a pixel e foi baseada nas metodologias propostas por Schowengerdt, (2007) e Adami et al. (2002). As principais etapas são:

1. **Definição de classes e macro classes:** fase de reconhecimento de categorias dos objetos do mundo real a serem analisados;
2. **Treinamento:** fase de seleção dos pixels para treinar o classificador para reconhecer os temas desejados, classes ou macro classes;
3. **Rotulagem/categorização:** fase intermediária entre o treinamento e a validação que consiste em rotular cada pixel a uma categoria temática. O mapa de saída consiste em um rótulo para cada pixel;
4. **Validação:** fase que compreende a repetição das etapas de Treinamento e de Rotulagem para um novo grupo de pixels. O resultado é utilizado no pós processamento, para a avaliação de precisão temática a partir da comparação das classificações.

Na primeira etapa, para que fosse possível a análise da cobertura do solo através da classificação por meio do SCP, foi necessária a definição das classes e de macro classes a serem estudadas.

A principal referência técnica no Brasil para a definição de classes nos diversos produtos disponíveis, inclusive para o estado do Espírito Santo e de Vitória é o Manual Técnico de Uso da Terra do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2006). No nível global, o produto WorldCover 2020 foi desenvolvido pela Organização das Nações Unidas (ONU) para Agricultura e Alimentação (FAO) e propõe um Sistema próprio de classificação de cobertura do solo. As classes de referência utilizadas para o presente estudo são detalhadas no **Tabela 4**.

<b>ESCALA DE TERRITÓRIO</b>				
<b>VITÓRIA</b>	<b>VITÓRIA</b>	<b>ESPÍRITO SANTO</b>	<b>BRASIL</b>	<b>GLOBAL</b>
Mapa de uso do solo Vitória - IJSN 2012	Mapa Uso do solo Vitória - IJSN 2012 Reflorestas com dados 2012-2015 (Atlas)	Mapa de uso e cobertura do solo ES - Lorena e Junior (IJSN) 2010	MapBiomass	WorldCover 2020 ESA

## CLASSE

			Formação florestal	
			Formação savânica	
	Afloramento rochoso	Afloramento (ou afloramento rochoso)	Mangue	Cobertura de árvore
Afloramento	Brejo (alagado)	Alagado (ou brejo)	Restinga arborizada	Arbustivo
Alagado	Água	Água	Campo alagado e área pantanosa	Pradaria
Água	Mata Nativa (mata ou floresta)	Floresta (mata ou mata nativa)	Formação campestre	Terra cultivada
Mata	Mata Nativa em estágio inicial de regeneração (ou floresta plantada)	Floresta plantada ou mata nativa em estágio inicial de regeneração (ou floresta plantada)	Apicum	Construído
Floresta			Afloramento Rochoso	Vegetação nua / esparsa
Plantada			Restinga herbácea	Neve e gelo
Praia			Outras formações florestais	Corpos de água permanentes
Restinga	Praia	Praia	Pastagem	Zona húmida herbácea
Cultura	Restinga	Restinga	Agricultura	Manguezais
Urbano	Cultura	Silvicultura (ou cultura)	Silvicultura	Musgo e líquen
Pastagem	Área edificada (ou urbano)	Urbano (ou área edificada)	Mosaico de usos	
Manguezal	Pastagem	Pastagem	Praia, duna e areal	
Macega	Mague (ou manguezal)	Manguezal	Área urbanizada	
Mineração	Macega	Macega	Minezação	
Outras classes	Outras classes	Mineração	Outras áreas não vegetadas	
			Rio, lago e oceano	
			Aquicultura	

**Tabela 4.** Classes de referência nas escalas municipal, estadual, nacional e global. Fonte: elaboração da autora.

Além dos trabalhos identificados nas diferentes escalas, foi utilizado como referência o estudo em forma de curso desenvolvido Santos (2023), em que realiza a classificação de imagem Landsat 8 para Vitória com o uso do SCP. As classes selecionadas pelo autor são: Vegetação densa, Pastagem, Mangue, Oceano, Solo exposto, Areia, Área construída e Águas continentais.

Dessa forma, a partir das referências destacadas anteriormente e da análise geral da área de estudo, foram definidas 10 classes e 4 macro classes de cobertura do solo, em um total de 100 amostras de pixels para treino e 100 amostras de pixels para validação (**Tabela 5** e **Tabela 6**). Estas referências também serviram de base para a definição das simbologias a serem adotadas, neste caso, as cores RGB para cada classe e macro classe.

A **Tabela 5** mostra as classes selecionadas e suas respectivas cores RGB.

CLASSE	AMOSTRAS TREINO	AMOSTRAS VALIDAÇÃO	COR RGB
Mata nativa	10	10	37, 114, 0
Floresta plantada	10	10	153, 227, 2
Restinga	10	10	203, 171, 99
Pastagem	10	10	254, 234, 180
Manguezal	10	10	174, 166, 1

Alagado	10	10	115, 178, 253
Água	10	10	0, 91, 231
Afloramento rochoso	10	10	178, 178, 178
Alagado	10	10	115, 178, 253
Urbano	10	10	78, 78, 78

**Tabela 5.** Classes, amostras e cores RGB selecionadas para o estudo. Fonte: elaboração da autora.

A (Tabela 6) mostra as 4 macro classes selecionadas e suas respectivas cores RGB.

MACRO CLASSE	AMOSTRA TREINO	AMOSTRA VALIDAÇÃO	COR RGB
Vegetação	50	50	0, 102, 0
Água	20	20	0, 0, 204
Solo	20	20	255, 192, 0
Área urbanizada	10	10	255, 0, 0

**Tabela 6.** Macroclasses, amostras e cores RGB selecionadas para o estudo. Fonte: elaboração da autora.

Na Figura 18 é possível ver o painel do complemento SCP com as respectivas classes e macros classes analisadas na etapa de treino. Essa visualização é similar no caso da validação.

MC ID	C ID	Name	Type	Color
- 1		<b>Vegetação</b>		
✓ 1	10	merged_Mata nativa	R&S	
✓ 1	13	merged_Floresta plantada	R&S	
✓ 1	22	merged_Restinga	R&S	
✓ 1	32	merged_Pastagem	R&S	
✓ 1	50	merged_Manguezal	R&S	
- 2		<b>Água</b>		
✓ 2	57	merged_Alagado	R&S	
✓ 2	61	merged_Água	R&S	
- 3		<b>Solo</b>		
✓ 3	80	merged_Afloramento roc...	R&S	
✓ 3	90	merged_Praia	R&S	
- 4		<b>Área urbanizada</b>		
✓ 4	100	merged_Urbano	R&S	

**Figura 18.** Classes e Macro Classes analisadas no SCP.

Após a definição das classes e macro classes a serem estudadas, foram realizados os procedimentos de treino, rotulagem e validação. Para que isso seja possível, foi utilizado o sistema de classificação da Máxima Verossimilhança, em inglês, *Maximum Likelihood*.

Adami et al. (2002) esclarecem que “o classificador por Máxima Verossimilhança (MAXVER) é do tipo supervisionado, pois necessita de amostras de treinamento para adquirir o pacote de estatística (vetor média e matriz de covariância) que servirá de base para realizar a classificação das classes” (p.16). Lillesand, et al. (2005, p.1) afirmam que

o classificador “avalia quantitativamente a variação e a covariância dos padrões de resposta espectral da categoria ao classificar um pixel desconhecido” (p.529). Para isso, “é feita uma suposição de que a distribuição da nuvem de pontos que formam os dados de treinamento de categoria seja gaussiana (normalmente distribuída)” (p.529).

### 2.2.3. Pós processamento

A fase de pós processamento compreende a avaliação da acurácia temática, ou seja, a avaliação da precisão dos mapas temáticos. Conforme disposto no Dicionário Priberam da Língua Portuguesa, a Acurácia<sup>15</sup> é a “exatidão de uma medição ou de um instrumento de medição”.

No presente estudo a avaliação da acurácia temática foi realizada através da análise do Matrizes de Erros (matrizes de confusão) e seus derivados, tais informações são geradas automaticamente nos complementos SCP (versão 7.10.6) e AcATaMa (versão v19.11.21b).

Para Congalton & Green (2009), “a avaliação da precisão determina a qualidade do mapa criado a partir de dados detectados remotamente” (p.2). De acordo com Mastella & Vieira (2018) “o uso de Matrizes de Erro (ME) e índices estatísticos derivados, neste caso, permitem estimar/validar a acurácia destes produtos” (p.1619). A partir da matriz de erros são gerados outros parâmetros estatísticos para a avaliação da acurácia temática. Figueiredo & Vieira destacam que “as medidas derivadas da matriz de confusão são: a exatidão global, precisão de classe individual, precisão de produtor, precisão de usuário e coeficiente Kappa, entre outros” (p.5756).

Estes dados são importantes para a avaliação da acurácia temática dos resultados da classificação. Mastella & Vieira (2018) apresentam um exemplo de matriz de confusão com alguns destes valores derivados (Tabela 7).

		Dados de Referência			
		A	B	C	Total (Linhas)
Dados Classificados	A	<b>10</b>	20	30	60
	B	40	<b>50</b>	60	150
	C	70	80	<b>90</b>	240
	Total (colunas)	120	150	180	<b>450</b>

<sup>15</sup> [Física] Exactidão de uma medição ou de um instrumento de medição.

"acurácia", in Dicionário Priberam da Língua Portuguesa [em linha], 2008-2021, <https://dicionario.priberam.org/acur%C3%A1cia> [consultado em 30-03-2023].

Acurácia "Dados do Produtor"		Acurácia "Dados do Usuário"		"Exatidão Global"
A	10/120*100=8,3%	A	10/60*100= 16%	10+50+90/450
B	50/150*100=3,3%	B	50/150*100=3,3%	150/450*100=33%
C	90/180*100=5%	C	90/240*100=3,8%	

**Tabela 7.** Matriz de erros com “Dados de Referência” (colunas), “Dados Classificados” (linhas), diagonal principal com as amostras classificadas corretamente (**negrito**), exatidão global dos dados, acurácia dos dados do produtor e dados do usuário. Fonte: adaptado de Mastella & Vieira (2018, p.1625).

### 2.2.3.1. Matriz de confusão ou matriz de erros

Congalton & Green (2009) esclarecem que a matriz de erros ou matriz de confusão representa uma matriz quadrada “de números estabelecidos em linhas e colunas que expressa o número de unidades de amostra atribuídas a uma categoria específica em uma classificação relativa ao número de unidades de amostra atribuídas a uma categoria específica em outra classificação” (p.55). Nesta estrutura “as colunas geralmente representam esses dados de referência, enquanto as linhas indicam a classificação gerada a partir dos dados detectados remotamente (ou seja, o mapa)” (Congalton & Green, 2009, p.55).

As matrizes de confusão “são representações muito eficazes da precisão do mapa, porque as precisões individuais de cada categoria de mapa são claramente descritas juntamente com os erros de inclusão (erros de comissão) e erros de exclusão (erros de omissão) presentes no mapa” (Congalton & Green, 2009. p.17).

Vieira et al. (2009) esclarece que “um erro de comissão consiste na inclusão de uma área dentro de uma classe à qual ela não pertence na realidade” (p.2), ou seja, quando uma área/pixel é incluído em uma categoria incorreta. Já a omissão “consiste na exclusão de uma área da classe à qual ela pertence de fato” (p.2), o que também gera um erro.

No presente estudo, as amostras de treino foram consideradas dados de referência, que poderiam corresponder a informações de levantamentos em campo, por exemplo. Para a geração das matrizes de erro dois conjuntos de amostras são comparados, a comparação no complemento SCP ocorreu entre classes e entre macro classes, enquanto no AcATaMa se deu apenas entre classes.

No complemento SCP, os parâmetros estatísticos foram obtidos através da comparação das classificações de amostras de treino e de validação (**Figura 19** e **Figura 20**). Neste caso, foram comparadas 100 amostras de treino com 100 amostras de validação.



**Figura 19.** Pós processamento de classes no SCP



**Figura 20.** Pós processamento de macro classes no SCP

No complemento AcATaMa foram utilizadas as 100 amostras de treino consideradas “verdade de campo”, anteriormente processadas para classificação com o SCP. Elas foram comparadas com outras 397 novas amostras obtidas de forma supervisionada no AcATaMa (Tabela 8).

<b>CLASSE</b>	<b>AMOSTRAS ACATAMA</b>
Mata nativa	28
Floresta plantada	32
Restinga	21
Pastagem	10
Manguezal	61
Alagado	2
Água	54
Afloramento rochoso	5
Praia	3
Urbano	180
<b>TOTAL</b>	<b>397</b>

**Tabela 8.** Amostras para verificação de acurácia no AcATaMa. Fonte: elaboração da autora.

A obtenção das novas amostras (Figura 21) foi possível a partir da comparação entre o resultado da classificação de treino, os dados oficiais de cobertura de solo do Espírito Santo (2012 - 2015), a imagem de satélite do *Google* e o Ortofotomosaico do Espírito Santo de 2020, disponível em resolução espacial de 50cm. Todas estas informações estão disponíveis publicamente, para o caso dos dados do Espírito Santo, podem ser acessadas através do portal Geobases, o qual está vinculado à Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE).

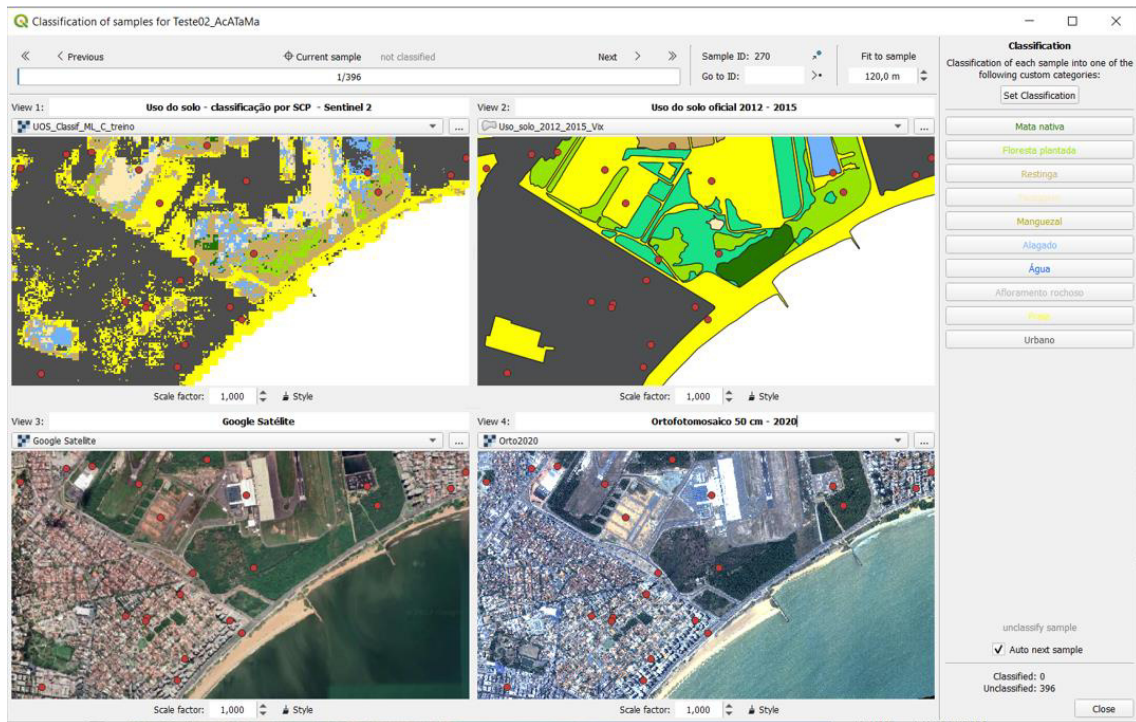


Figura 21. Obtenção de amostras no AcATaMa.

### 2.2.3.2. Exatidão Global

A exatidão geral/global ou precisão geral/global é apresentada nos resultados gerados pelos complementos SCP e AcATaMa como *Overall accuracy*. “Esta avaliação geralmente é realizada após a conclusão de todo o processo de classificação” (Lilessand et al., 2005, p.554).

Mastella & Vieira (2018) afirmam que “para gerar a exatidão global, basta somar os valores da diagonal principal e dividir pelo valor total das amostras” (p.1625). Conforme disposto por Figueiredo & Vieira (2007, p.5756) “a exatidão global é calculada dividindo a soma da diagonal principal da matriz de erros  $x_{ii}$ , pelo número total de amostras coletadas  $N$ ”. O valor da Exatidão Global  $G$  pode ser calculado a partir da equação apresentada por Figueiredo & Vieira (2007, p.5756):

$$G = \frac{\sum_{i=1}^C x_{ii}}{N} \quad (\text{equação 1})$$

Em que:

$N$  = Número total de amostras coletadas;

$C$  = Classe;

$x_{ii}$  = Soma da diagonal principal da matriz de erros;

### 2.2.3.3. Precisão de classe individual, de produtor e de usuário

Conforme Figueiredo & Vieira (2007), a precisão de classe individual “é obtida através da divisão do número total de amostras classificadas corretamente naquela categoria pelo número total de amostras daquela categoria” (p.5756).

Figueiredo & Vieira (2007) esclarecem que “a precisão de produtor e de usuário são maneiras de representar a precisão de uma categoria ou classe individualmente” (p.5757). Para estes autores, a precisão de produtor “refere-se às amostras que não foram classificadas corretamente como pertencendo àquela categoria sendo omitidas de sua categoria correta” (p.5757). Para produzir a acurácia dos dados do produtor, Mastella & Vieira (2018) informam que “basta dividir o valor da diagonal de cada classe, com o total da classe, disposta no total da coluna” (p.1626).

A produção do usuário é descrita por Figueiredo & Vieira (2007) como uma medida que “indica a probabilidade que um pixel classificado na imagem de fato representa aquela categoria no campo” (5757). “Para produzir a acurácia dos dados do usuário, se usa o valor da diagonal de cada classe, dividido pelo total da classe disposta no total de linhas” (Mastella & Vieira, 2018, p.1626).

Relativo aos erros gerados na classificação, “a acurácia do usuário ou do consumidor refere-se ao erro de comissão, enquanto a acurácia do produtor refere-se ao erro de omissão” (Vieira et al., 2009, p.2).

### 2.2.3.4. Coeficiente Kappa

Sobre o coeficiente Kappa ou  $\hat{k}$ , Lilessand et al. (2005) afirmam que “a estatística  $\hat{k}$  (“kappa” ou “khat”) é uma medida da diferença entre a concordância real entre os dados de referência e um classificador automatizado e a concordância entre os dados de referência e um classificador aleatório” (p.579). “Essa estatística serve como um indicador da extensão em que os valores percentuais corretos de uma matriz de erros são devidos à concordância "verdadeira" versus "acaso”.

O coeficiente Kappa ( $\hat{k}$ ) foi proposto por Cohen (1960, p.40) e conceitualmente pode ser descrito pela equação 2:

$$\hat{k} = \frac{\text{Concordância observada real} - \text{Concordância por acaso}}{1 - \text{Concordância por acaso}} \quad (\text{equação 2})$$

O valor de  $\hat{k}$  pode ser calculado através da equação 3 (Lilessand et al., 2005, p.579):

$$\hat{k} = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})} \quad (\text{equação 3})$$

Em que:

$r$  = Número de linhas na matriz de erros;

$x_{ii}$  = Número de observações na linha I e na coluna I (na principal diagonal);

$x_{i+}$  = Total de observações na linha I (mostrado como total marginal para a direita da matriz);

$x_{+i}$  = Total de observações na coluna I (mostrado como total marginal no fundo da matriz);

$N$  = Número total de amostras coletadas.

Os valores de  $\hat{k}$  podem variar de 0 a 1, como visto na **Tabela 9**, “conforme a concordância real (observada) se aproxima 1 e a concordância por acaso se aproxima 0,  $\hat{k}$  se aproxima de 1. Este é o caso ideal” (Lillessand et al., 2005, p.579).

VALOR DE KAPPA	QUALIDADE DO MAPA TEMÁTICO
<0,00	Péssima
0,00 – 0,20	Ruim
0,20 – 0,40	Razoável
0,40 – 0,60	Boa
0,60 – 0,80	Muito boa
0,80 – 1,00	Excelente

**Tabela 9.** Qualidade da classificação associada aos valores da estatística Kappa. Fonte: Adaptada de Landis & Garry (1977, p.165) por Ipolliti-Ramilo (1999).

Neste estudo valores de  $\hat{k}$  são calculados automaticamente a partir do complemento SCP durante a etapa de pós processamento, e são apresentados junto aos resultados da matriz de confusão. Tal coeficiente não é apresentado com os resultados da matriz de erros no AcATaMa, porém, os resultados apresentados podem dar suporte ao cálculo independente. Neste sentido, o valor de  $\hat{k}$  foi calculado manualmente, conforme metodologia proposta por Jensen (2015, pp.557-582).

A **Tabela 10** de Jensen (2015) mostra o cálculo de  $\hat{k}$  em um exemplo de matriz de erros gerada a partir de 407 amostras de referência, com 5 classes de cobertura do solo. O conjunto de amostras está associada ao mapa de classificação da cobertura do solo derivado de uma imagem do satélite *Landsat Data Mapper Temático de Charleston, SC*.

		Ground Reference Test Information Class 1 to k (j columns)					Row total $x_{i+}$
		Residential	Commercial	Wetland	Forest	Water	
Map Class 1 to k (i rows)	Residential	70	5	0	13	0	88
	Commercial	3	55	0	0	0	58
	Wetland	0	0	99	0	0	99
	Forest	0	0	4	37	0	41
	Water	0	0	0	0	121	121
Column total $x_{+j}$		73	60	103	50	121	407
Overall Accuracy = 382/407 = 93.86%							
<b>Producer's Accuracy (omission error)</b> Residential = 70/73 = 96%    4% omission error Commercial = 55/60 = 92%    8% omission error Wetland = 99/103 = 96%    4% omission error Forest = 37/50 = 74%    26% omission error Water = 20/22 = 100%    0% omission error				<b>User's Accuracy (commission error)</b> Residential = 70/88 = 80%    20% commission error Commercial = 55/58 = 95%    5% commission error Wetland = 99/99 = 100%    0% commission error Forest = 37/41 = 90%    10% commission error Water = 121/121 = 100%    0% commission error			
<p>Computation of <math>K_{\text{hat}}</math> Coefficient of Agreement: <math display="block">\hat{K} = \frac{N \sum_{i=1}^k x_{ii} - \sum_{i=1}^k (x_{i+} \times x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^k (x_{i+} \times x_{+i})}</math></p> <p>where <math>N = 407</math></p> $\sum_{i=1}^k x_{ii} = (70 + 55 + 99 + 37 + 121) = 382$ $\sum_{i=1}^k (x_{i+} \times x_{+i}) = (88 \times 73) + (58 \times 60) + (99 \times 103) + (41 \times 50) + (121 \times 121) = 36,792$ <p>therefore <math>\hat{K} = \frac{407(382) - 36792}{407^2 - 36792} = \frac{155474 - 36792}{165649 - 36792} = \frac{118682}{128857} = 92.1\%</math></p>							

**Tabela 10.** Exemplo de matriz de erros e cálculo de  $\hat{k}$ . Fonte: Jensen, 2015, p. 568.

### Capítulo III - Resultados e Discussões

Neste capítulo serão apresentados os resultados conforme duas fases da classificação digital da imagem de satélite, sejam elas: processamento e pós processamento. De forma paralela são elaboradas reflexões críticas sobre estes resultados.

Na última parte do capítulo é apresentado um resumo comparativo entre resultados de exatidão global e de coeficiente Kappa obtidos no pós processamento com o SCP e o AcATaMa. Assim é possível uma análise geral da precisão da acurácia temática dos resultados da classificação.

#### 3.1. Processamento

A partir da aplicação da metodologia constante no capítulo anterior, a primeira parte deste capítulo evidencia os resultados da etapa de processamento, obtidos após a

classificação supervisionada da imagem de Sentinel 2 de Vitória com o complemento SCP do QGIS.

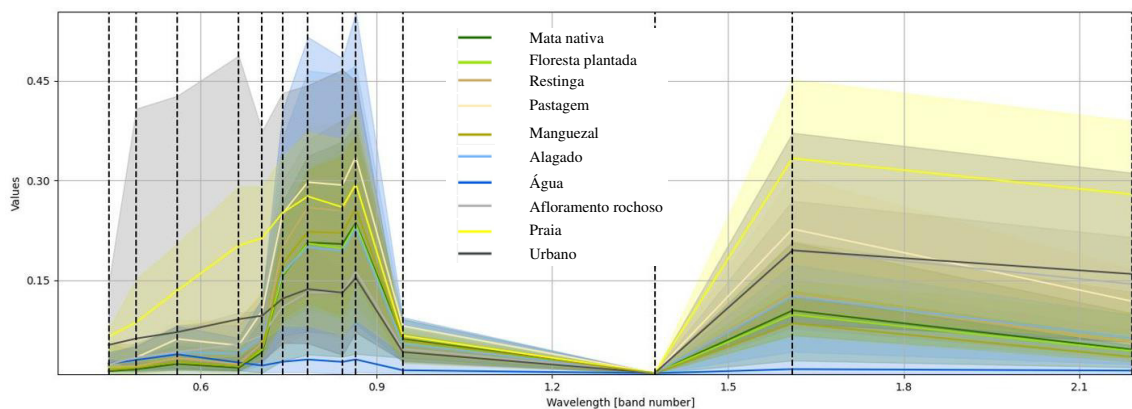
São apresentados os resultados gerados a partir do processamento de 200 amostras de cobertura de solo analisadas remotamente, sendo 100 amostras de treino e 100 amostras de validação.

Neste tópico estão demonstrados o comportamento espectral das amostras de treino, as quais são consideradas “verdades de campo”, e a visualização de exemplos da classificação obtida para cada uma das 10 classes de cobertura do solo que agrupam o conjunto de pixels analisado. Este conjunto de pixels está contido no território que compreende o interior dos limites políticos-administrativos da cidade de Vitória.

Além disso, este capítulo apresenta os mapas de cobertura do solo gerados com as classificações de treino e de validação, tanto para as classes, como para as macro classes. Posteriormente estas classificações são usadas para a análise da acurácia temática dos resultados.

### 2.3.1. Assinatura espectral dos alvos

Durante o processamento da imagem no complemento SCP é possível visualizar o comportamento espectral dos alvos em análise. A assinatura espectral das amostras de treino é mostrada na **Figura 22** e o seu detalhamento é mostrado na **Tabela 11**.



**Figura 22.** Assinatura espectral dos objetos analisados no SCP.

MC_ID = 1 MC_name = merged_Vegetação C_ID = 1 C_name = merged_Mata nativa ROI_size = 97 pixels													
Wavelength [E-6m]	0.443	0.49	0.56	0.665	0.705	0.74	0.783	0.842	0.865	0.945	1.375	1.61	2.19
Values	0.01336	0.01621	0.02467	0.01845	0.04214	0.15698	0.20706	0.20472	0.23654	0.06207	0.0106	0.10481	0.04611
Standard deviation	0.00321	0.00342	0.00721	0.00458	0.0135	0.04541	0.05898	0.06418	0.0671	0.01364	0.00014	0.0295	0.01188

MC_ID = 1 MC_name = merged_Vegetação C_ID = 2 C_name = merged_Floresta plantada ROI_size = 9 pixels													
Wavelength [E-6m]	0.443	0.49	0.56	0.665	0.705	0.74	0.783	0.842	0.865	0.945	1.375	1.61	2.19
Values	0.01998	0.01981	0.02696	0.02136	0.04556	0.15857	0.20586	0.19799	0.23415	0.05529	0.01058	0.09862	0.044
Standard deviation	0.00218	0.00189	0.00324	0.00265	0.00489	0.02591	0.03827	0.04277	0.04591	0.00879	0.00013	0.01506	0.00575

MC_ID = 1 MC_name = merged_Vegetação C_ID = 3 C_name = merged_Restinga ROI_size = 20 pixels													
Wavelength [E-6m]	0.443	0.49	0.56	0.665	0.705	0.74	0.783	0.842	0.865	0.945	1.375	1.61	2.19
Values	0.0211	0.02113	0.03337	0.02444	0.05604	0.20034	0.25957	0.25419	0.29601	0.06642	0.01061	0.12891	0.05674
Standard deviation	0.00812	0.00392	0.00688	0.00747	0.01162	0.03077	0.03994	0.04474	0.04275	0.00648	0.00015	0.02129	0.01358

MC_ID = 1 MC_name = merged_Vegetação C_ID = 4 C_name = merged_Pastagem ROI_size = 31 pixels													
Wavelength [E-6m]	0.443	0.49	0.56	0.665	0.705	0.74	0.783	0.842	0.865	0.945	1.375	1.61	2.19
Values	0.02361	0.03401	0.06203	0.05227	0.10389	0.25053	0.29765	0.29332	0.33574	0.08154	0.01082	0.22732	0.11857
Standard deviation	0.00215	0.004	0.00902	0.00841	0.01284	0.03471	0.03936	0.04175	0.04216	0.00969	0.00011	0.0229	0.01646

MC_ID = 1 MC_name = merged_Vegetação C_ID = 5 C_name = merged_Manguezal ROI_size = 443 pixels													
Wavelength [E-6m]	0.443	0.49	0.56	0.665	0.705	0.74	0.783	0.842	0.865	0.945	1.375	1.61	2.19
Values	0.01581	0.0184	0.02794	0.02098	0.04804	0.17483	0.22313	0.22115	0.25857	0.06017	0.01057	0.08551	0.03496
Standard deviation	0.00213	0.0017	0.00299	0.00221	0.00454	0.01708	0.02372	0.0268	0.02565	0.00428	0.00013	0.00644	0.00355

MC_ID = 2 MC_name = merged_Água C_ID = 6 C_name = merged_Alagado ROI_size = 17 pixels													
Wavelength [E-6m]	0.443	0.49	0.56	0.665	0.705	0.74	0.783	0.842	0.865	0.945	1.375	1.61	2.19
Values	0.02525	0.02995	0.041	0.04034	0.06493	0.16216	0.20014	0.19445	0.22783	0.05456	0.01056	0.12605	0.06322
Standard deviation	0.00715	0.00859	0.00923	0.01463	0.01355	0.08611	0.11466	0.11377	0.12578	0.01903	0.00013	0.02598	0.01303

MC_ID = 2 MC_name = merged_Água C_ID = 7 C_name = merged_Água ROI_size = 62 pixels													
Wavelength [E-6m]	0.443	0.49	0.56	0.665	0.705	0.74	0.783	0.842	0.865	0.945	1.375	1.61	2.19
Values	0.02485	0.0304	0.03878	0.02667	0.022	0.02778	0.03113	0.02758	0.03118	0.01495	0.01043	0.01655	0.01441
Standard deviation	0.00611	0.00701	0.01166	0.00475	0.01618	0.063	0.07899	0.07362	0.08303	0.01321	0.00014	0.01547	0.00513

MC_ID = 3 MC_name = merged_Solo C_ID = 8 C_name = merged_Affloramento rochoso ROI_size = 28 pixels													
Wavelength [E-6m]	0.443	0.49	0.56	0.665	0.705	0.74	0.783	0.842	0.865	0.945	1.375	1.61	2.19
Values	0.02386	0.03441	0.04264	0.05345	0.06728	0.11055	0.13191	0.13169	0.16337	0.04711	0.01071	0.19593	0.14435
Standard deviation	0.00582	0.00763	0.01026	0.01556	0.0151	0.02386	0.02962	0.02847	0.03351	0.00972	0.00014	0.03365	0.031

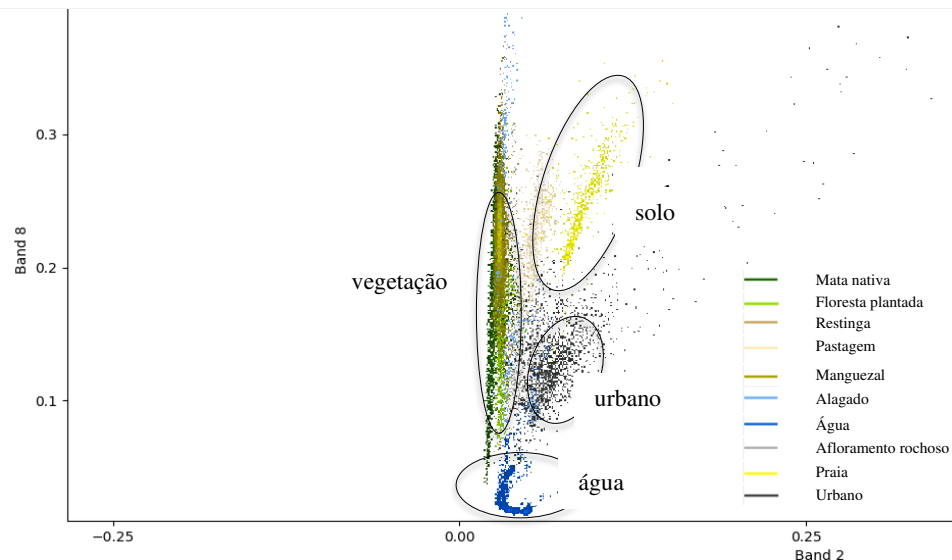
MC_ID = 3 MC_name = merged_Solo C_ID = 9 C_name = merged_Praia ROI_size = 3 pixels													
Wavelength [E-6m]	0.443	0.49	0.56	0.665	0.705	0.74	0.783	0.842	0.865	0.945	1.375	1.61	2.19
Values	0.06534	0.08693	0.13441	0.20252	0.21353	0.25167	0.27632	0.26009	0.29468	0.06695	0.01096	0.33349	0.27923
Standard deviation	0.00999	0.01751	0.02777	0.04284	0.04244	0.0399	0.04419	0.0443	0.04619	0.00635	0.00016	0.06655	0.06931

MC_ID = 4 MC_name = merged_Área urbanizada C_ID = 10 C_name = merged_Urbano ROI_size = 219 pixels													
Wavelength [E-6m]	0.443	0.49	0.56	0.665	0.705	0.74	0.783	0.842	0.865	0.945	1.375	1.61	2.19
Values	0.053	0.06264	0.07216	0.09172	0.09685	0.12265	0.13694	0.13149	0.1538	0.04229	0.01072	0.19511	0.15955
Standard deviation	0.01786	0.03912	0.04262	0.04949	0.03982	0.04191	0.04331	0.0467	0.04249	0.00518	0.00011	0.0392	0.03392

Tabela 11. Detalhamento da assinatura espectral das amostras de treino no SCP.

Além da visualização da assinatura espectral dos alvos, foi possível distinguir as 4 macro classes estudadas, sejam elas: solo, água, vegetação e solo urbano. A Figura 23 mostra a distribuição dos pixels das amostras de treino no SCP, em que é possível visualizar claramente estas macro classes.



**Figura 23.** Distribuição dos pixels nas bandas 2 e 8 das amostras de treino no SCP.

A partir das definições para a assinatura espectral de Schowengerdt (2007, p.13), de Lillesand et al. (2015, p.21) e de ESA (2023) e do exemplo mostrado na **Figura 5** é possível afirmar que na faixa do espectro visível (espectro ótico) das bandas, aproximadamente entre 0,4 e 0,7  $\mu\text{m}$  de comprimento de onda, foi possível diferenciar claramente as superfícies de solo, água e vegetação com base em suas reflectâncias (**Figura 22**, **Figura 23** e **Tabela 11**).

As classes referentes ao solo descoberto ou “solo arenoso” apresentaram os maiores valores percentuais de energia refletida para a faixa do visível, neste caso, as classes de praia e pastagem se sobressaem às demais (**Figura 22**).

Em seguida, as classes relacionadas à vegetação, como mata nativa e floresta plantada apresentaram valores intermediários, mas nesta análise elas podem ser confundidas com alagado (**Figura 22**). Schowengerdt (2007, p.13) esclarece que a assinatura espectral da vegetação “é talvez a natureza mais variável, pois muda completamente durante o ciclo de vida sazonal de muitas plantas, adquirindo uma característica “amarela” na senescência<sup>16</sup>, com um aumento correspondente na região vermelha de refletância causada por uma perda de clorofila fotossintética”. Lillesand et al. (2015) afirmam que “as características espectrais de muitas espécies de vegetação estão em um estado quase contínuo de mudança ao longo de uma estação de crescimento” p.22.

O afloramento rochoso e o solo urbano se comportam como “solo argiloso” da **Figura 5**, sendo visualmente possível distingui-los das demais classes (**Figura 22**).

Já a água, que corresponde à “água limpa” na **Figura 5** tem comportamento padrão, com os valores mais baixos de energia refletida (**Figura 22**). De acordo com a ESA (2023), “como a água praticamente não se reflete na gama de infravermelhos próximos, distingue-se facilmente de outras superfícies. Assim, as superfícies de água aparecerão claramente delimitadas como áreas escuras (valores de pixel baixos) em imagens registradas na gama de infravermelhos próximos”.

<sup>16</sup> A senescência é um processo metabólico ativo associado ao processo de envelhecimento. Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Senesc%C3%A2ncia>. Acesso em 01 de março de 2023.

Schowengerdt (2007, pp.14-15) declara que “a hipótese de motivação de estudo do sensoriamento remoto multiespectral está no fato de que diferentes tipos de materiais podem ser distinguidos com base em suas diferentes assinaturas espectrais”. De acordo com o autor, apesar de essa condição ser frequentemente alcançada na prática, alguns fatores podem influenciar na mudança dos padrões estabelecidos para as diferentes superfícies, os quais incluem:

- Variável natural para um determinado tipo de material;
- Limitação da quantização espectral de muitos sistemas de sensoriamento remoto;
- Modificação de assinaturas pela atmosfera (pp.14-15).

Já Lillesand et al. (2015) afirmam que estes fatores que influenciam os padrões de resposta espectral podem ser efeitos temporais ou efeitos espaciais. “Efeitos temporais são os fatores que alteram as características espectrais de um recurso ao longo do tempo” (p.22). “Os efeitos espaciais se referem a fatores que causam os mesmos tipos de influência (por exemplo, plantas de milho) em um determinado momento para ter características diferentes em diferentes locais geográficos” (p.22). Estes autores ainda chamam a atenção para os efeitos que as sombras podem causar na resposta espectral das superfícies: “Embora a refletância espectral de um objeto ou uma proporção de energia refletida e incidente não é afetada pelas mudanças na iluminação, a quantidade absoluta de energia refletida depende das condições de iluminação” (p.22). Esclarecem também que “dentro de uma sombra, a energia total refletida é reduzida e a resposta espectral é deslocada para comprimentos de onda mais curtos” (p.22), que “em imagens de comprimento de onda visível, os objetos dentro das sombras tendem a parecer mais escuros e mais azuis do que se estivessem totalmente iluminados” (p.22) e finalmente concluem que “esse efeito pode causar problemas para algoritmos automatizados de classificação de imagem” (p.22).

Durante a coleta da imagem Sentinel 2 utilizada no presente estudo optou-se pela busca por imagens com 0% de nebulosidade, o que pode ter reduzido a interferência deste fator. Porém, os fatores destacados por Schowengerdt (2007, pp.14-15) ainda podem fazer efeito nos resultados.

### 2.3.2. Classificação de amostras de treino e de validação

Após finalizar o processamento foi possível visualizar o resultado da classificação, tanto para as amostras de treino como para as amostras de validação. A **Tabela 12** traz amostras para cada classe a partir dos dados de treino, com as respectivas visualizações destes grupos em composição falsa cor e cor verdadeira.

<b>Classe</b>	<b>Falsa Cor (8-4-3)</b>	<b>Cor Verdadeira 4-3-2)</b>	<b>Classificação Treino</b>
---------------	------------------------------	----------------------------------	---------------------------------

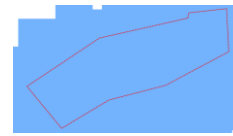
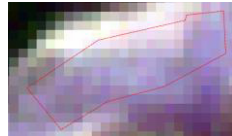
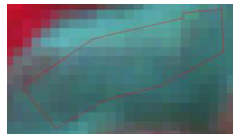
---

1 - Afloramento rochoso



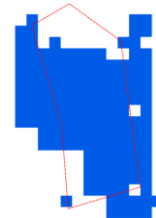
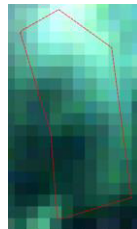
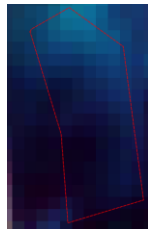
---

2 - Alagado



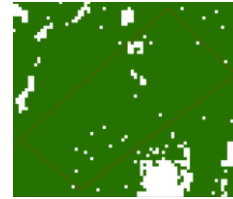
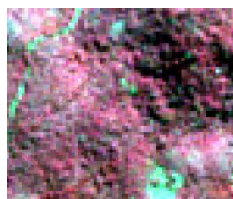
---

3 - Água



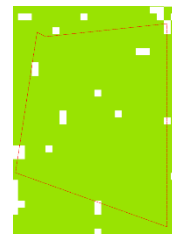
---

4 - Mata nativa



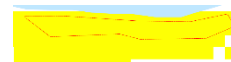
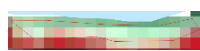
---


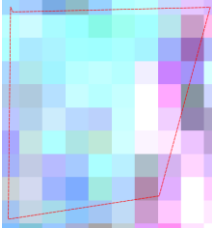
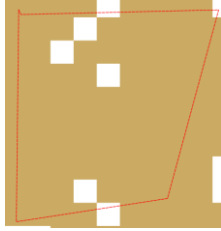
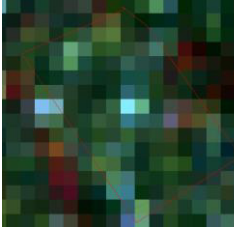
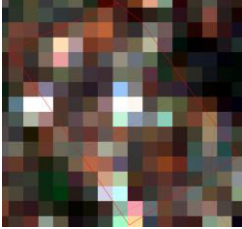
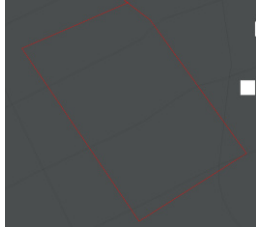
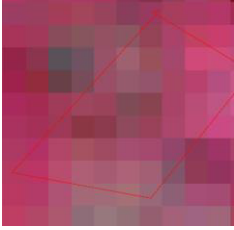
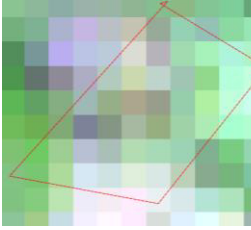
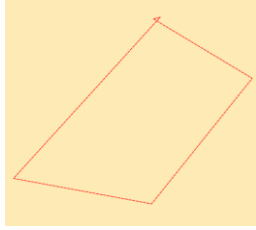
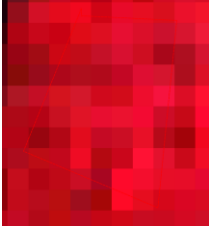
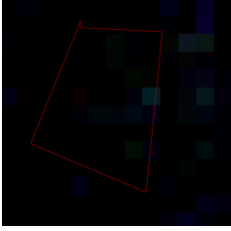
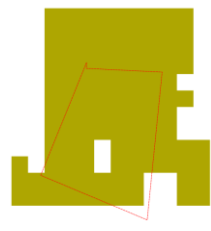
5 - Floresta plantada



---

6 - Praia



7 - Restinga			
8 - Urbano			
9 - Pastagem			
10 - Manguezal			

**Tabela 12.** Visualização de amostras de treino e respectivos resultados de classificação no SCP. Fonte: elaboração da autora.

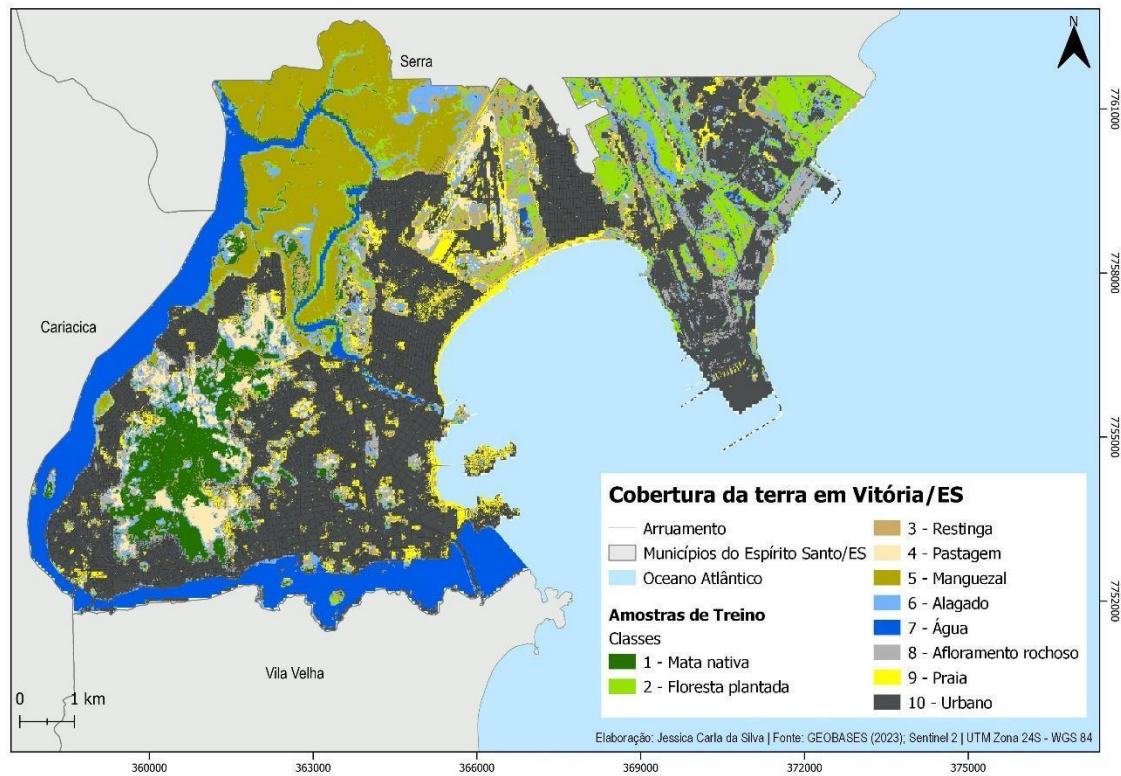
De forma geral, com estes resultados é possível notar que a classificação ocorreu de forma satisfatória, do ponto de vista visual. O classificador da máxima verossimilhança (*maximum likelihood*) demonstrou maior potencial para este tipo de aplicação. Foram testadas classificações com os algoritmos de distância mínima (*minimum distance*) e de mapeamento de ângulo espectral (*spectral angle mapping*), mas pelos resultados obtidos optou-se por avançar com o pós processamento utilizando o primeiro algoritmo.

### 2.3.3. Mapa de ocupação do solo

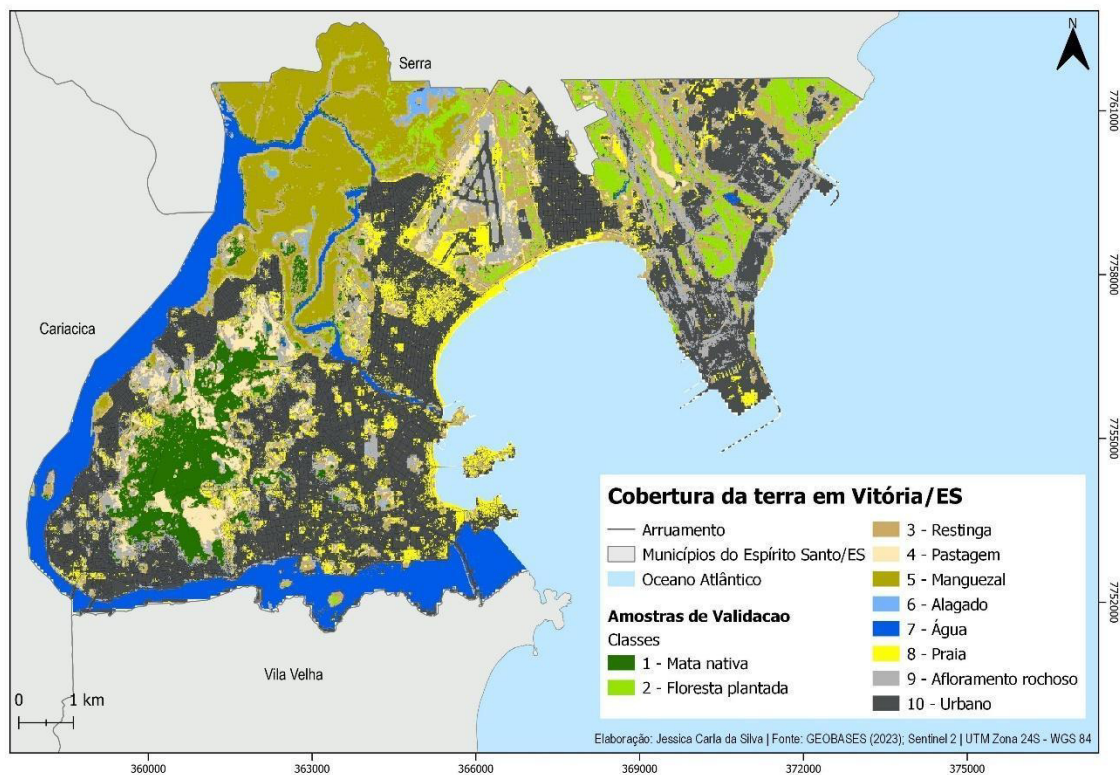
Este tópico apresenta os resultados obtidos através do recurso de mapas de cobertura (ou ocupação) do solo (ou terra).

Os arquivos em formato *raster* gerados na etapa da classificação foram convertidos em formato *geopackage* e foram trabalhados em ambiente SIG junto a outras informações cartográficas como arruamento e limites político-administrativos.

Foram elaborados mapas de cobertura da terra a partir da classificação com amostras de treino e de validação. O SCP fornece o recurso de classificação a partir das classes e das macro classes inseridas, as quais são os “rótulos” que as amostras recebem. Dessa forma, foram elaborados os mapas de cobertura da terra para as 10 classes (Figura 24 e Figura 25) e as 4 macro classes estudadas (Figura 28 e Figura 29).

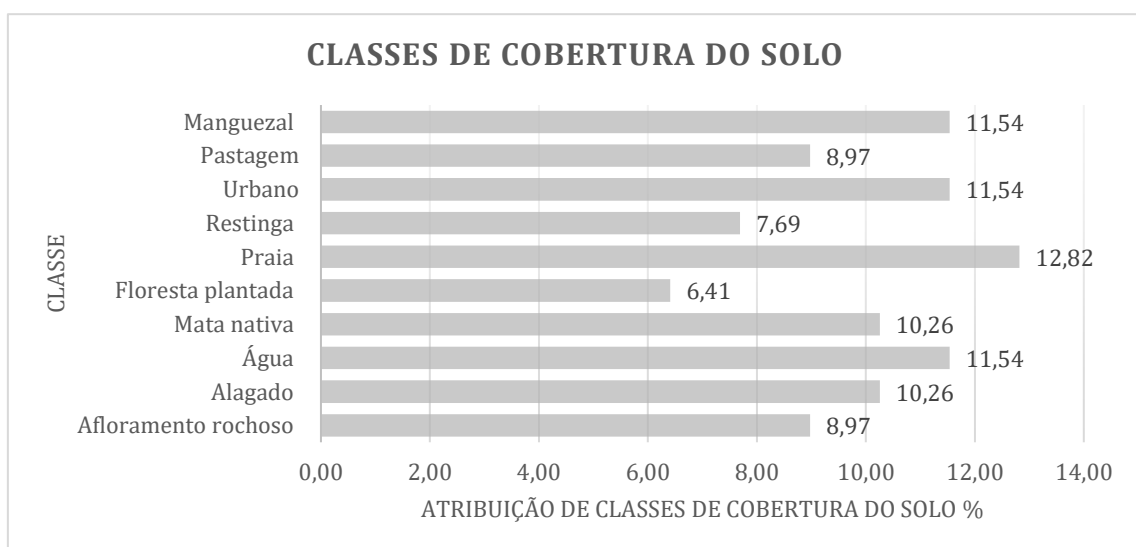


**Figura 24.** Mapa de cobertura da terra em Vitória a partir de amostras de treino, com classes de ocupação do solo. Fonte: Elaboração da autora.



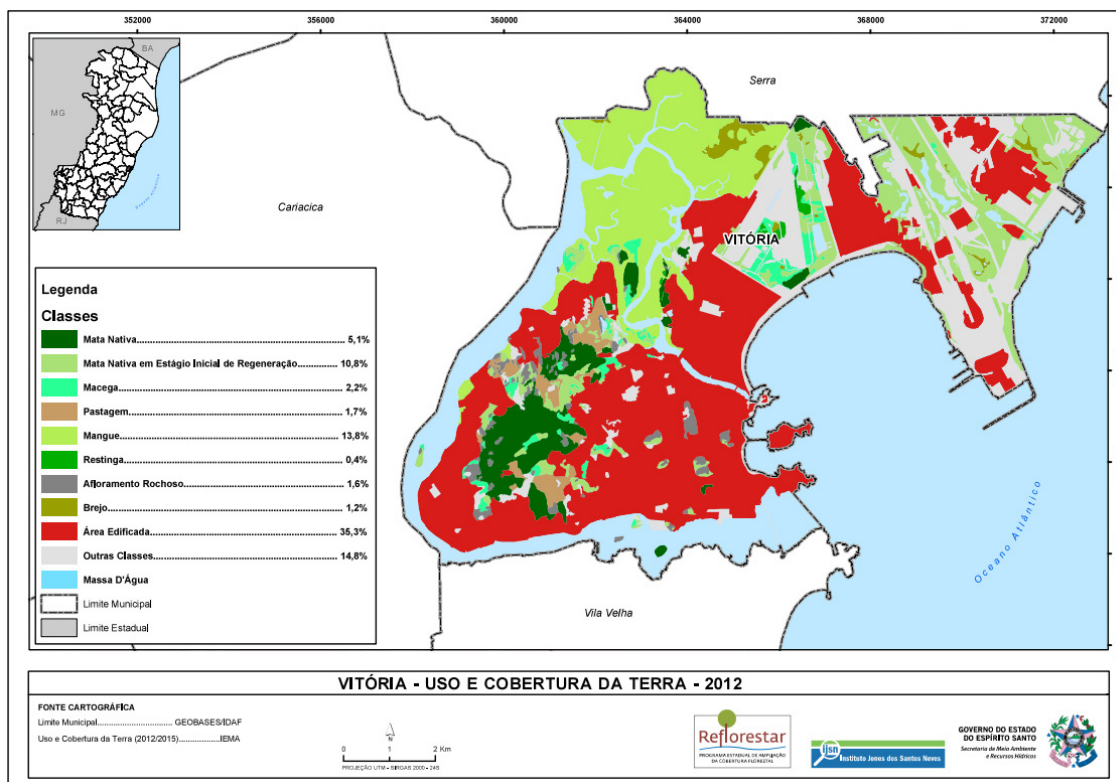
**Figura 25.** Mapa de cobertura da terra em Vitória a partir de amostras de validação, com classes de ocupação do solo. Fonte: Elaboração da autora.

As percentagens de atribuição de classes geradas com o classificador de máxima verossimilhança é mostrado na **Figura 26**. Este resultado é um subproduto da etapa de pós processamento, pois utiliza como base a distribuição dos pixels em cada classe (**Tabela 12** **Tabela 12**). Por questões didáticas optou-se por apresentá-lo neste tópico.



**Figura 26.** Percentagem de atribuição de classes de cobertura do solo a partir do pós processamento entre amostras de treino e de validação no SCP. Fonte: Elaboração da autora.

Os resultados obtidos com a classificação da imagem do Sentinel 2 em Vitória apresentado anteriormente podem ser comparados visualmente com dados oficiais. O mapa de cobertura da terra do município está presente no Atlas de cobertura florestal foi elaborado pelo governo do estado (Figura 27). Este produto foi gerado a partir de aerolevanteamento, com imagens de 0,25m de resolução espacial, obtidas entre 2012 e 2015 (SEAMA, 2018).



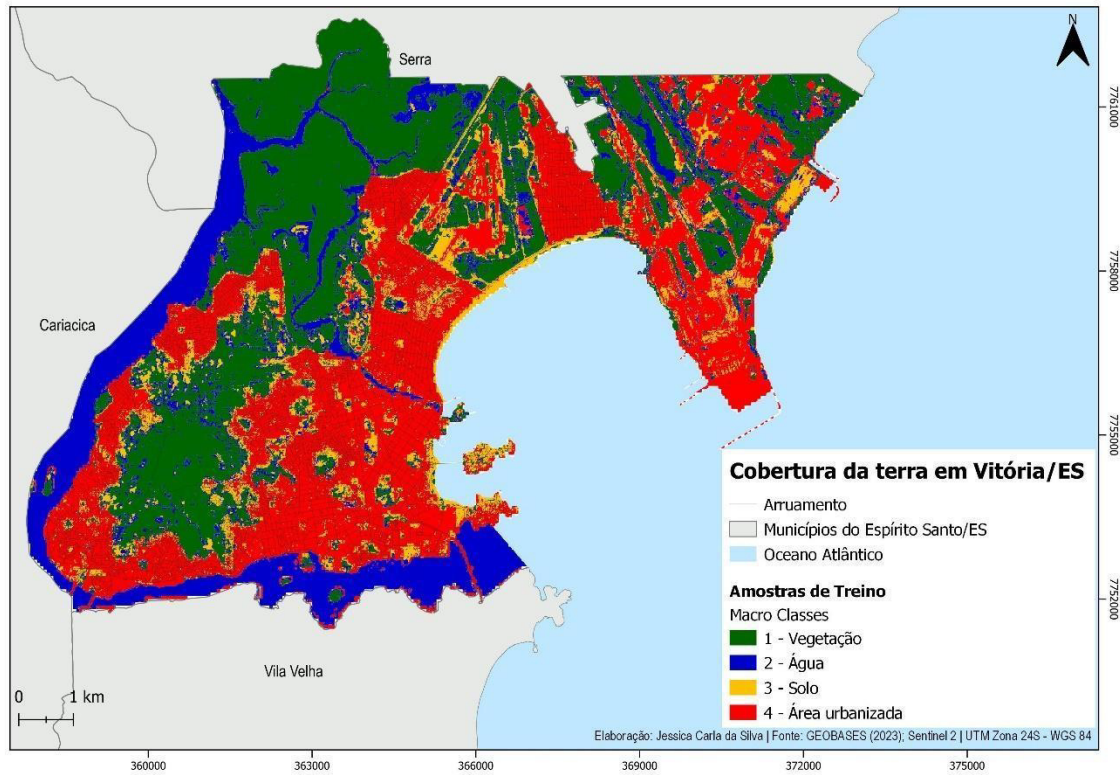
**Figura 27.** Mapa de cobertura da terra em Vitória. Fonte: Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEAMA), 2018.

Os resultados da classificação apontam que a classe com maior presença em Vitória é praia (Figura 26), com 12,82%. No mapa oficial de ocupação do solo as áreas de praia estão incluídas em “outras categorias”, com 14,8%, as quais também representam áreas que abrigam o aeroporto de Vitória e a Zona Industrial de Tubarão. Dessa forma, excluindo o fator “tempo de publicação dos dados” (o mapa oficial data de 2012), em uma análise prévia, há uma possível dificuldade do classificador em identificar adequadamente este tipo de superfície

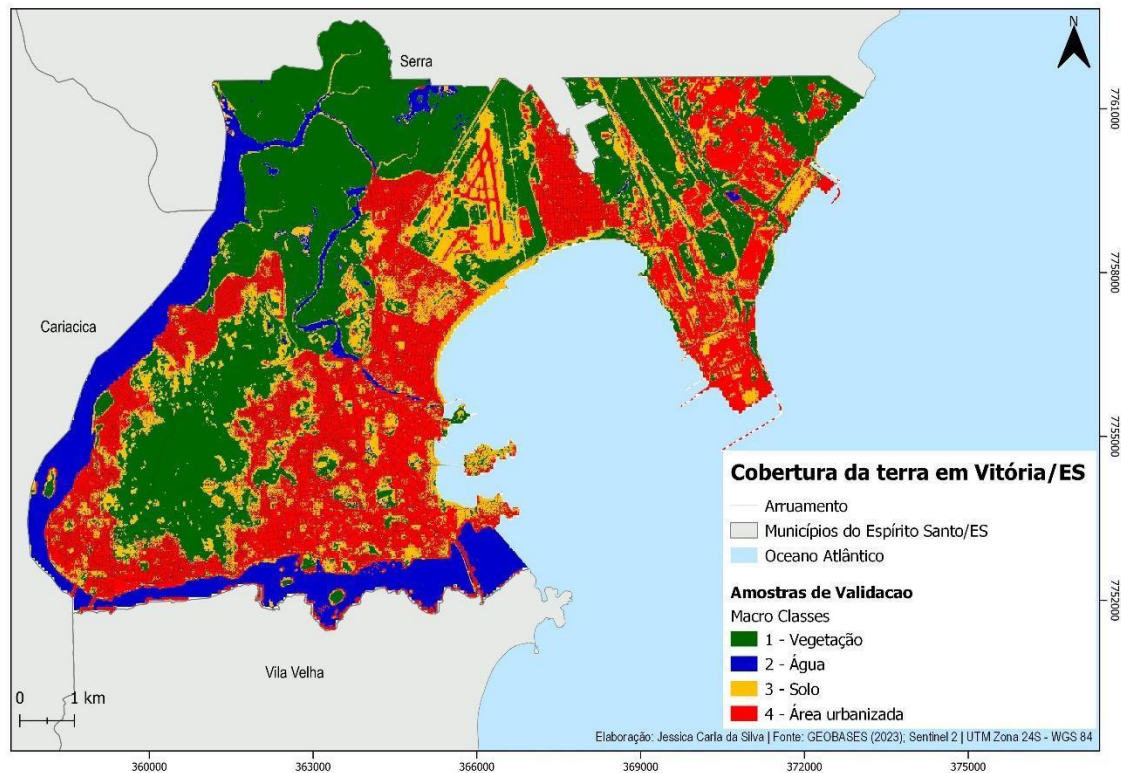
É possível verificar padrões visuais mantidos para classes como mata nativa, manguezal<sup>17</sup> (mangue no mapa oficial) e urbano (área edificada no mapa oficial), porém, estes produtos não têm as mesmas classes e este pode ser um fator de interferência nas diferenças de percentagens observadas para classes com o mesmo nome. Assim, a acurácia temática (pós processamento) deverá fornecer informações mais apuradas sobre a qualidade da classificação realizada no presente estudo.

<sup>17</sup> [Brasil] [Botânica] Floresta de mangues. = MANGAL, MANGUE "manguezal", in Dicionário Priberam da Língua Portuguesa [em linha], 2008-2021, <https://dicionario.priberam.org/manguezal> [consultado em 02-04-2023].

Além do processamento a partir de classes, são apresentados os mapas de cobertura da terra com o agrupamento dos pixels em macro classes, tanto para amostras de treino (Figura 28) como para amostras de validação (Figura 29).

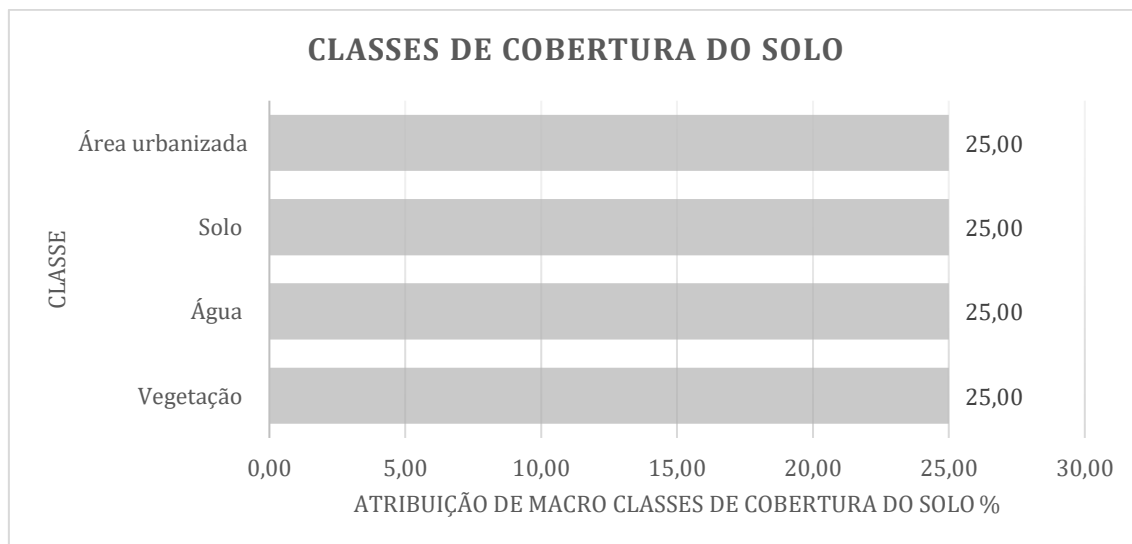


**Figura 28.** Mapa de cobertura da terra em Vitória a partir de amostras de treino, com macro classes de ocupação do solo. Fonte: Elaboração da autora.



**Figura 29.** Mapa de cobertura da terra em Vitória a partir de amostras de validação, com macro classes de ocupação do solo. Fonte: Elaboração da autora.

A percentagem de distribuição das macro classes de cobertura do solo entre amostras de treino e de validação são mostradas na **Figura 30**, a qual foi gerada de forma similar à **Figura 26**, tendo como base a **Tabela 16**.



**Figura 30.** Percentagem de atribuição de macro classes de cobertura do solo a partir do pós processamento entre amostras de treino e de validação no SCP. Fonte: Elaboração da autora.

O resultado aponta que o agrupamento dos pixels é homogêneo para as macro classes (25% para cada macro classe). Isso deve ocorrer pois quanto menor a estratificação, maior a homogeneidade. Ao discretizar as 4 macro classes em 10 classes há um aumento da

dificuldade de identificar cada classe, aumentando também a demanda por um algoritmo que identifique as peculiaridades dos comportamentos espectrais destes alvos. Em ambiente urbano este problema é dificultado, pois o ambiente as superfícies são bastante heterogêneas.

### 3.2. Pós processamento SCP

A segunda parte deste capítulo tem por objetivo a demonstração de parâmetros estatísticos para a discussão sobre a acurácia temática dos resultados das classificações, ou seja, são apresentados os resultados obtidos na etapa de pós processamento. Este tópico traz os resultados obtidos no complemento SCP, onde foram analisadas as classes e as macro classes. São discutidos os temas: distribuição de pixels das classes e macro classes, matriz de confusão das classes e macro classes, além dos parâmetros derivados da matriz de confusão, para classes e macro classes.

#### 3.2.1. Distribuição de pixels das classes

A **Tabela 13** mostra de forma clara como o classificador de máxima verossimilhança funciona em relação à distribuição de pixels nas classes inseridas. Nesta tabela é possível analisar individualmente como grupos de pixels de referência (coluna *reference*) foram classificados (coluna *classified*). A última coluna desta tabela (*PixelSum*) apresenta a soma de pixels para cada grupo classificado. Ao analisar estas colunas são verificados quais os casos em que a classificação ocorreu corretamente ou não, detectando-se as possíveis fontes de erros de omissão ou inclusão, o que pode refletir na precisão de do usuário ou a precisão do produtor.

Por exemplo, para o grupo de pixels com código da matriz de erro igual a 22 (coluna *ErrMatrixCode*), a referência inicial era a classe 1 (mata nativa), sendo classificado como classe 1 (mata nativa), e apresentando a soma de pixels igual a **45984**. Neste caso a classificação ocorreu de forma satisfatória.

Já para o grupo com código da matriz de erro igual a 23 a classe de referência era 2 (floresta plantada) e foi classificado como classe 1 (mata nativa), o que pode representar um erro de comissão ou omissão.

<b>ErrMatrixCode</b>	<b>Reference</b>	<b>Classified</b>	<b>PixelSum</b>	<b>ErrMatrixCode</b>	<b>Reference</b>	<b>Classified</b>	<b>PixelSum</b>
1	-999	-999	883969	37	6	1	6
<b>22</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>45984</b>	44	6	2	124
24	1	2	1077	52	6	3	83
27	1	3	4430	61	6	4	52
31	1	4	124	71	6	5	5
36	1	5	47	81	6	6	6545
42	1	6	2191	98	6	8	742
49	1	7	216	111	6	10	912
57	1	8	110	43	7	1	98
76	1	10	46	51	7	2	203

23	2	1	1013	89	7	6	392
26	2	2	34507	97	7	7	90012
30	2	3	4706	104	7	8	6
35	2	4	1	110	7	9	2
41	2	5	4868	115	7	10	312
48	2	6	1080	69	8	3	1958
65	2	8	18	79	8	4	245
85	2	10	4	96	8	6	1126
25	3	1	7225	109	8	8	558
29	3	2	17057	114	8	9	35757
34	3	3	40616	118	8	10	26207
40	3	4	1598	58	9	1	497
47	3	5	4339	68	9	2	1520
55	3	6	31034	78	9	3	1179
64	3	7	241	87	9	4	7320
74	3	8	523	102	9	6	16488
84	3	9	738	108	9	7	995
93	3	10	1253	113	9	8	22976
39	4	3	171	117	9	9	11484
46	4	4	20539	120	9	10	21239
63	4	6	5329	77	10	2	227
73	4	7	275				
83	4	8	367				
92	4	9	304				
100	4	10	70				
32	5	1	6				
38	5	2	1031				
45	5	3	199				
62	5	5	88019				
72	5	6	149				

**Tabela 13.** Distribuição dos pixels das classes gerada a partir do complemento SCP. Fonte: Elaboração da autora.

### 3.2.2. Matriz de confusão das classes

Na etapa de pós processamento o complemento SCP gera formatos de matrizes de confusão (ou matrizes de erros) com resultados variados. Além da distribuição de pixels das classes a **Tabela 14** mostra como os grupos de pixels foram classificados.

Os valores da coluna de soma dos pixels (*PixelSum*) da **Tabela 13** estão dispostos na **Tabela 14**, em que os valores na diagonal representam os grupos de pixels de referência (classificação a partir das amostras de treino) que foram classificados corretamente. Por exemplo, o valor de soma igual a **45984** pixels (código da matriz de erro igual a 22) era classe 1 (mata nativa) e foi classificado como classe 1 (mata nativa), porém, nesta mesma linha há **1013** pixels (código da matriz de erro igual a 23) que foram classificados como classe 2 (floresta plantada), ou seja, representam um erro. Isso já havia sido constatado ao analisar a **Tabela 13**, contudo, a **Tabela 14** que representa uma matriz de erros mostra de forma mais clara como cada grupo de pixels se comportou na classificação.

Além desta análise, é possível ainda verificar que **45984** foram classificados corretamente do total de **54829** pixels que seriam classe 1 (mata nativa) e **8845** pixels são erros: **1013** foram classificados como classe 2 (floresta plantada), **7255** como classe 3 (restinga), **6** como classe 5 (manguezal), **6** como classe 6 (alagado), **98** como classe 7 (água) e **497** como classe 9 (praia). A mesma lógica pode ser utilizada para analisar as demais classes e os respectivos erros.

V_Classified	-999	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
-999	883969	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	883969
1	0	<b>45984</b>	<b>1013</b>	<b>7225</b>	0	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>98</b>	0	<b>497</b>	0	<b>54829</b>
2	0	1077	34507	17057	0	1031	124	203	0	1520	227	55746
3	0	4430	4706	40616	171	199	83	0	1958	1179	350	53692
4	0	124	1	1598	20539	0	52	0	245	7320	4	29883
5	0	47	4868	4339	0	<b>88019</b>	5	0	0	0	0	97278
6	0	2191	1080	31034	5329	149	6545	392	1126	16488	3965	68299
7	0	216	0	241	275	0	0	90012	0	995	1162	92901
8	0	110	18	523	367	0	742	6	<b>558</b>	22976	2446	27746
9	0	0	0	738	304	0	214	2	35757	11484	1529	50028
10	0	46	4	1253	70	0	912	312	26207	21239	274962	325005
<b>Total</b>	883969	54225	46197	104624	27055	89404	8683	91025	65851	83698	284645	

**Tabela 14.** Matriz de confusão (matriz de erros) das classes gerada a partir do complemento SCP. Fonte: Elaboração da autora.

Outra matriz de erros calculada é mostrada na **Tabela 15**, a qual traz os erros relacionados à área proporcional destes grupos de pixels. Com essa matriz é possível afirmar que a classe 1 (mata nativa) apresentou **84.8022%** de precisão/acurácia do produtor/consumidor, **83.8680%** de precisão do usuário e **0.8335** de coeficiente Kappa. O valor de exatidão global é de **86.0766%** e o valor de Kappa é de **0.8009**.

V_Classified	-999	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Area	Wi
-999	0.5082	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	8839690.0000	0.5082
1	0.0000	<b>0.0264</b>	0.0006	0.0042	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0003	0.0000	<b>5482900.0000</b>	0.0315
2	0.0000	0.0006	0.0198	0.0098	0.0000	0.0006	0.0001	0.0001	0.0000	0.0009	0.0001	5574600.0000	0.0320
3	0.0000	0.0025	0.0027	0.0234	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0011	0.0007	0.0002	5369200.0000	0.0309
4	0.0000	0.0001	0.0000	0.0009	0.0118	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0042	0.0000	2988300.0000	0.0172
5	0.0000	0.0000	0.0028	0.0025	0.0000	0.0506	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	9727800.0000	0.0559
6	0.0000	0.0013	0.0006	0.0178	0.0031	0.0001	0.0038	0.0002	0.0006	0.0095	0.0023	6829900.0000	0.0393
7	0.0000	0.0001	0.0000	0.0001	0.0002	0.0000	0.0000	0.0517	0.0000	0.0006	0.0007	9290100.0000	0.0534
8	0.0000	0.0001	0.0000	0.0003	0.0002	0.0000	0.0004	0.0000	0.0003	0.0132	0.0014	2774600.0000	0.0160
9	0.0000	0.0000	0.0000	0.0004	0.0002	0.0000	0.0001	0.0000	0.0206	0.0066	0.0009	5002800.0000	0.0288
10	0.0000	0.0000	0.0000	0.0007	0.0000	0.0000	0.0005	0.0002	0.0151	0.0122	0.1581	32500500.0000	0.1869
<b>Total</b>	0.5082	0.0312	0.0266	0.0602	0.0156	0.0514	0.0050	0.0523	0.0379	0.0481	0.1636	173937600.0000	
<b>Area</b>	88396900	5422500	4619700	10462400	2705500	8940400	868300	9102500	6585100	8369800	28464500	173937600	
<b>SE</b>	0.0000	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0000	0.0001	0.0001	0.0001		
<b>SE area</b>	0	12329	15539	23092	11187	9871	8962	6171	19514	23408	22696		
<b>95% CI area</b>	0	24166	30456	45260	21926	19346	17566	12096	38247	45879	44484		
<b>PA [%]</b>	100.0000	<b>84.8022</b>	74.6953	38.8209	75.9157	98.4509	75.3772	98.8871	<b>0.8474</b>	13.7208	96.5982		
<b>UA [%]</b>	100.0000	<b>83.8680</b>	61.9004	75.6463	68.7314	90.4819	9.5829	96.8902	2.0111	22.9551	84.6024		
<b>Kappa hat</b>	1.0000	<b>0.8335</b>	0.6086	0.7409	0.6824	0.8997	0.0913	0.9672	<b>-0.0184</b>	<b>0.1906</b>	0.8159		

**Overall accuracy [%] = 86.0766**  
**Kappa hat classification = 0.8009**

Area unit = m<sup>2</sup>

SE = standard error

CI = confidence interval

PA = producer's accuracy

UA = user's accuracy

**Tabela 15.** Matriz de confusão (matriz de erros) da proporção de área estimada das classes gerada a partir do complemento SCP. Fonte: Elaboração da autora.

### 3.2.3. Distribuição de pixels nas macro classes

De forma análoga ao demonstrado e analisado no tópico 3, são mostrados os resultados de distribuição dos pixels para as macro classes (Tabela 16).

ErrMatrixCode	Reference	Classified	PixelSum
1	-999	-999	883969
10	1	1	277557
12	1	2	40515
15	1	3	2060
19	1	4	1373
11	2	1	571
14	2	2	96949
18	2	3	964
22	2	4	1224
13	3	1	12719
17	3	2	18609
21	3	3	70775
24	3	4	47446
16	4	1	581
20	4	2	5127
23	4	3	3975
25	4	4	274962

**Tabela 16.** Distribuição de pixels nas macro classes gerada a partir do complemento SCP. Fonte: Elaboração da autora.

### 3.2.4. Matriz de confusão das macro classes

As matrizes de erros das macro classes são mostradas na Tabela 17 e Tabela 18.

		> Reference					
V_Classified	-999	1	2	3	4	Total	
-999	883969	0	0	0	0	883969	
1	0	277557	571	12719	581	291428	
2	0	40515	96949	18609	5127	161200	
3	0	2060	964	70775	3975	77774	
4	0	1373	1224	47446	274962	325005	
<b>Total</b>	883969	321505	99708	149549	284645	1739376	

**Tabela 17.** Matriz de confusão (matriz de erros) das macro classes gerada a partir do complemento SCP. Fonte: Elaboração da autora.

### > AREA BASED ERROR MATRIX

		> Reference						
V_Classified	-999	1	2	3	4	Area	Wi	
-999	0.5082	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	88396900.0000	0.5082	
1	0.0000	0.1596	0.0003	0.0073	0.0003	29142800.0000	0.1675	
2	0.0000	0.0233	0.0557	0.0107	0.0029	16120000.0000	0.0927	
3	0.0000	0.0012	0.0006	0.0407	0.0023	7777400.0000	0.0447	

4	0.0000	0.0008	0.0007	0.0273	0.1581	32500500.0000	0.1869
<b>Total</b>	0.5082	0.1848	0.0573	0.0860	0.1636	173937600.0000	
<b>Area</b>	88396900	32150500	9970800	14954900	28464500	173937600	
<b>SE</b>	0.0000	0.0001	0.0001	0.0002	0.0001		
<b>SE area</b>	0	21660	20343	27480	22727		
<b>95% CI area</b>	0	42454	39872	53860	44546		
<b>PA [%]</b>	100.0000	86.3305	97.2329	47.3256	96.5982		
<b>UA [%]</b>	100.0000	95.2403	60.1421	91.0008	84.6024		
<b>Kappa hat</b>	1.0000	0.9416	0.5772	0.9015	0.8159		

**Overall accuracy [%] = 92.2292**

**Kappa hat classification = 0.8842**

Area unit = m<sup>2</sup>

SE = standard error

CI = confidence interval

PA = producer's accuracy

UA = user's accuracy

**Tabela 18.** Matriz de erros da proporção de área estimada das classes gerada a partir do complemento SCP. Fonte: Elaboração da autora.

A exatidão global calculada para as macro classes é de 92.2292%, um valor maior do que o encontrado para as classes, de **86.0766%**. O valor de Kappa para as macro classes (**0.8842**) também é maior que das classes (**0.8009**).

### 3.3. Pós processamento AcATaMa

Neste tópico são apresentados os resultados do pós processamento utilizando o complemento AcATaMa. De forma similar ao demonstrado para o SCP, são apresentados dados da distribuição dos pixels e as matrizes de confusão gerados, porém, no caso do AcATaMa houve o pós processamento apenas com informações das classes, a partir da classificação das amostras de treino. Em seguida o complemento solicita a criação de 396 novas amostras, as quais servirão para a comparação com dados de treino.

#### 3.3.1. Distribuição de pixels nas classes e Matrizes de confusão

Assim como o SCP, o complemento AcATaMa produz resultados que mostram a distribuição de pixels nas classes, porém, o formato das tabelas geradas é diferente do outro complemento. A **Tabela 19** traz informações sobre como os grupos de pixels são classificados. A diagonal da matriz continua a representar os pixels classificados corretamente.

É possível observar por exemplo, que de 25 pixels de classe 1 (mata nativa), 20 pixels foram classificados de forma correta, enquanto 5 são erros de omissão/comissão: 1 foi classificado como classe 2 (floresta plantada), 2 como classe 5 (manguezal), 1 como classe 7 (água) e 1 como classe 8 (afloramento rochoso).

A **Tabela 19** também contém informações sobre a precisão de produtor e de usuário. A classe 8 (afloramento rochoso) continua a apresentar o pior valor de precisão do produtor, assim como visto no pós processamento com o SCP.

A **Tabela 20** mostra a distribuição destes conjuntos de pixels conforme a proporção de suas respectivas áreas. A **Tabela 21** mostra a distribuição dos erros quadráticos, conforme a proporção de áreas dos conjuntos de pixels.

**ERROR MATRIX (CONFUSION MATRIX)**

		CLASSIFIED VALUES										Total	User accuracy	Total class area (m <sup>2</sup> )	Wi
		1 (Mata nativa)	2 (Floresta plantada)	3 (Restinga)	4 (Pastagem)	5 (Manguezal)	6 (Alagado)	7 (Água)	8 (Aflora. rochoso)	9 (Praia)	10 (Urbano)				
Thematic raster classes	1	20	1	0	0	2	0	1	1	0	0	25	0.8	5482900.0	0.0641
	2	1	21	0	0	4	0	0	0	0	0	26	0.80769	5574600.0	0.06517
	3	1	5	12	0	4	0	0	0	0	3	25	0.48	5369200.0	0.06277
	4	1	0	3	8	0	0	0	1	0	1	14	0.57143	2988300.0	0.03493
	5	0	0	0	0	45	0	0	0	0	0	45	1.0	9727800.0	0.11372
	6	5	5	4	2	4	2	3	1	0	6	32	<b>0.0625</b>	6829900.0	0.07984
	7	0	0	0	0	0	0	43	0	0	0	43	1.0	9290100.0	0.1086
	8	0	0	1	0	1	0	0	2	0	9	13	<b>0.15385</b>	2774600.0	0.03244
	9	0	0	1	0	1	0	0	0	3	18	23	0.13043	5002800.0	0.05848
	10	0	0	0	0	0	0	7	0	0	143	150	0.95333	32500500.0	0.37994
<b>Total</b>		<b>28</b>	<b>32</b>	<b>21</b>	<b>10</b>	<b>61</b>	<b>2</b>	<b>54</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>180</b>	<b>396</b>		<b>85540700.0</b>	
Producer accuracy		0.71429	0.65625	0.57143	0.8	0.7377	1.0	0.7963	<b>0.4</b>	1.0	0.79444		0.75505		

**Tabela 19.** Matriz de confusão (matriz de erros) das classes gerada a partir do complemento AcATaMa. Fonte: Elaboração da autora.

**ERROR MATRIX OF ESTIMATED AREA PROPORTION**

		CLASSIFIED VALUES										Wi
		1 (Mata nativa)	2 (Floresta plantada)	3 (Restinga)	4 (Pastagem)	5 (Manguezal)	6 (Alagado)	7 (Água)	8 (Afloramento rochoso)	9 (Praia)	10 (Urbano)	
Thematic raster classes	1	0.05128	0.00256	-	-	0.00513	-	0.00256	0.00256	-	-	0.0641
	2	0.00251	0.05264	-	-	0.01003	-	-	-	-	-	0.06517
	3	0.00251	0.01255	0.03013	-	0.01004	-	-	-	-	0.00753	0.06277
	4	0.0025	-	0.00749	0.01996	-	-	-	0.0025	-	0.0025	0.03493
	5	-	-	-	-	0.11372	-	-	-	-	-	0.11372
	6	0.01248	0.01248	0.00998	0.00499	0.00998	0.00499	0.00749	0.0025	-	0.01497	0.07984
	7	-	-	-	-	-	-	0.1086	-	-	-	0.1086
	8	-	-	0.0025	-	0.0025	-	-	0.00499	-	0.02246	0.03244
	9	-	-	0.00254	-	0.00254	-	-	-	0.00763	0.04577	0.05848
	10	-	-	-	-	-	-	0.01773	-	-	0.36221	0.37994
<b>Total</b>		<b>0.07127</b>	<b>0.08023</b>	<b>0.05263</b>	<b>0.02495</b>	<b>0.15394</b>	<b>0.00499</b>	<b>0.13638</b>	<b>0.01254</b>	<b>0.00763</b>	<b>0.45544</b>	

**Tabela 20.** Matriz de erros da proporção de área estimada das classes gerada a partir do complemento AcATaMa. Fonte: Elaboração da autora.

**QUADRATIC ERROR MATRIX OF ESTIMATED AREA PROPORTION**

**CLASSIFIED VALUES**

		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
		<b>(Mata nativa)</b>	<b>(Floresta plantada)</b>	<b>(Restinga)</b>	<b>(Pastagem)</b>	<b>(Manguezal)</b>	<b>(Alagado)</b>	<b>(Água)</b>	<b>(Afloramento rochoso)</b>	<b>(Praia)</b>	<b>(Urbano)</b>
Thematic raster classes	<b>1</b>	3e-05	1e-05	-	-	1e-05	-	1e-05	1e-05	-	-
	<b>2</b>	1e-05	3e-05	-	-	2e-05	-	-	-	-	-
	<b>3</b>	1e-05	3e-05	4e-05	-	2e-05	-	-	-	-	2e-05
	<b>4</b>	1e-05	-	2e-05	2e-05	-	-	-	1e-05	-	1e-05
	<b>5</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<b>6</b>	3e-05	3e-05	2e-05	1e-05	2e-05	1e-05	2e-05	1e-05	-	3e-05
	<b>7</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<b>8</b>	-	-	1e-05	-	1e-05	-	-	1e-05	-	2e-05
	<b>9</b>	-	-	1e-05	-	1e-05	-	-	-	2e-05	3e-05
	<b>10</b>	-	-	-	-	-	-	4e-05	-	-	4e-05
<b>Total</b>		0.00856	0.00929	0.00959	0.00592	0.00959	0.00347	0.00819	0.00552	0.0042	0.01196

**Tabela 21.** Matriz de erros quadráticos da proporção de área estimada das classes gerada a partir do complemento AcATaMa. Fonte: Elaboração da autora.

A **Tabela 22** mostra os valores individuais de precisão do usuário e precisão do produtor a partir da estimativa de áreas para estes conjuntos de pixels. E finalmente, a **Tabela 23** mostra de forma detalhada como ocorreu o ajuste de área estimada gerada a partir do complemento AcATaMa.

**USER'S ACCURACY MATRIX OF ESTIMATED AREA PROPORTION**

**CLASSIFIED VALUES**

		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
		<b>(Mata nativa)</b>	<b>(Floresta plantada)</b>	<b>(Restinga)</b>	<b>(Pastagem)</b>	<b>(Manguezal)</b>	<b>(Alagado)</b>	<b>(Água)</b>	<b>(Afloramento rochoso)</b>	<b>(Praia)</b>	<b>(Urbano)</b>
Thematic raster classes	<b>1</b>	0.8	0.04	-	-	0.08	-	0.04	0.04	-	-
	<b>2</b>	0.03846	0.80769	-	-	0.15385	-	-	-	-	-
	<b>3</b>	0.04	0.2	0.48	-	0.16	-	-	-	-	0.12
	<b>4</b>	0.07143	-	0.21429	0.57143	-	-	-	0.07143	-	0.07143
	<b>5</b>	-	-	-	-	1.0	-	-	-	-	-
	<b>6</b>	0.15625	0.15625	0.125	0.0625	0.125	0.0625	0.09375	0.03125	-	0.1875
	<b>7</b>	-	-	-	-	-	-	1.0	-	-	-
	<b>8</b>	-	-	0.07692	-	0.07692	-	-	0.15385	-	0.69231
	<b>9</b>	-	-	0.04348	-	0.04348	-	-	-	0.13043	0.78261
	<b>10</b>	-	-	-	-	-	-	0.04667	-	-	0.95333

**PRODUCER'S ACCURACY MATRIX OF ESTIMATED AREA PROPORTION**

**CLASSIFIED VALUES**

		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
		<b>(Mata nativa)</b>	<b>(Floresta plantada)</b>	<b>(Restinga)</b>	<b>(Pastagem)</b>	<b>(Manguezal)</b>	<b>(Alagado)</b>	<b>(Água)</b>	<b>(Afloramento rochoso)</b>	<b>(Praia)</b>	<b>(Urbano)</b>
Thematic raster classes	<b>1</b>	0.71953	0.03196	-	-	0.03331	-	0.0188	0.20438	-	-
	<b>2</b>	0.03517	0.65607	-	-	0.06513	-	-	-	-	-
	<b>3</b>	0.03523	0.15647	0.57243	-	0.06524	-	-	-	-	0.01654
	<b>4</b>	0.03501	-	0.14223	0.80001	-	-	-	0.19892	-	0.00548
	<b>5</b>	-	-	-	-	0.73876	-	-	-	-	-
	<b>6</b>	0.17506	0.1555	0.18962	0.19999	0.06484	1.0	0.05488	0.1989	-	0.03287
	<b>7</b>	-	-	-	-	-	-	0.79631	-	-	-
	<b>8</b>	-	-	0.04741	-	0.01621	-	-	0.3978	-	0.04931
	<b>9</b>	-	-	0.04831	-	0.01652	-	-	-	1.0	0.1005
	<b>10</b>	-	-	-	-	-	-	0.13	-	-	0.79531
<b>Overall Accuracy</b>		<b>0.75615</b>									

**Tabela 22.** Matrizes de precisão do usuário e do produtor geradas a partir do complemento AcATaMa. Fonte: Elaboração da autora.

**CLASS AREA AJUSTED TABLE**

	<b>Area (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Error</b>	<b>Lower limit</b>	<b>Upper Limit</b>
1 (Mata nativa)	6096117.56731	732429.38615	4660555.97046	7531679.16416
2 (Floresta plantada)	6862889.41346	794824.71822	5305032.96575	8420745.86117
3 (Restinga)	4502247.31271	820314.97557	2894429.96059	6110064.66483
4 (Pastagem)	2134468.75	506353.97557	1142014.94952	3126922.55048
5 (Manguezal)	13167816.08194	820300.93283	11560026.25359	14775605.91029
6 (Alagado)	426868.75	296933.46414	-155120.83971	1008858.33971
7 (Água)	11666409.125	700951.78856	10292543.61942	13040274.63058
8 (Afloramento rochoso)	1073061.91346	471940.58286	148058.37105	1998065.45588
9 (Praia)	652539.13043	359210.96897	-51514.36874	1356592.62961
10 (Urbano)	38958281.95569	1023347.99902	36952519.87761	40964044.03376
Total	85540700.0			

**Tabela 23.** Tabela de ajuste das área estimada para a classe gerada a partir do complemento AcATaMa.  
Fonte: Elaboração da autora.

### 3.4. Análise geral da acurácia temática

Este tópico busca resumir algumas reflexões críticas a respeito da acurácia temática dos dados de classificações que passaram pela etapa do pós processamento com os complementos SCP e AcATaMa.

A **Tabela 24** mostra a qualidade do mapa temático para cada classe analisada com resultados do SCP a partir dos valores de Kappa calculados, conforme metodologia apresentada por Ipolliti-Ramilo (1999) com adaptação de Landis & Garry (1977, p.165) disposta na **Tabela 9**.

<b>CLASSE</b>	<b>VALOR DE KAPPA</b>	<b>QUALIDADE DO MAPA TEMÁTICO</b>
1 (Mata nativa)	0,83	Excelente
2 (Floresta plantada)	0,61	Muito boa
3 (Restinga)	0,74	Muito boa
4 (Pastagem)	0,68	Muito boa
5 (Manguezal)	0,90	Excelente
6 (Alagado)	0,09	Ruim
7 (Água)	0,97	Excelente
8 (Afloramento rochoso)	-0,02	Péssima
9 (Praia)	0,19	Ruim
10 (Urbano)	0,82	Excelente

**Tabela 24.** Qualidade do mapa temático conforme adaptação de Landis & Garry (1977, p.165) por Ipolliti-Ramilo (1999).

O pior valor de Kappa encontrado é o da classe de afloramento rochoso, -0,02, o que representa uma qualidade de mapa temático péssima.

Em seguida estão as classes alagado e praia, ambas com valores de Kappa menores que 0,20, tendo então uma qualidade de mapa temático ruim.

Todos os demais valores calculados representam qualidades muito boas ou excelentes, com destaque para a classe de manguezal, que de acordo com esta

metodologia teve um valor de Kappa igual a 0,90, apresentando uma excelente qualidade na classificação.

Sobre os parâmetros estatísticos apresentados, Lillesand et al. (2015, p.580) infere algumas afirmações sobre o uso do Kappa para as análises de precisão temática. Segundo os autores, “uma das principais vantagens do Kappa é a capacidade de usar esse valor como base para determinar a significância estatística de qualquer matriz ou as diferenças entre as matrizes”. Citam como aplicação prática, por exemplo, que “pode-se querer comparar as matrizes de erro resultantes de diferentes datas de imagens, diferentes técnicas de classificação ou diferentes indivíduos que realizam a classificação” (Lillesand et al., 2015, p.580).

Jensen (2015) afirma que “A precisão geral encorpa apenas a diagonal principal e excluiu os erros de omissão e comissão. Por outro lado, o valor de Kappa incorpora os elementos fora da diagonal como um produto de linha e coluna marginais” (p.571). Dessa forma, o autor conclui que “dependendo da quantidade de erro incluída na matriz, essas duas medidas podem não concordar” (Jensen, 2015, p.571). Lillesand et al. (2015, p.580) afirma que “normalmente, é desejável calcular e analisar esses dois valores”.

A **Tabela 25** mostra a comparação entre os valores obtidos de Kappa e de exatidão global nos dois complementos do QGIS utilizados neste trabalho.

<b>INDICADOR DE PRECISÃO</b>	<b>SCP</b>	<b>AcATaMa</b>
Exatidão global (%)	86,0766	75,615
Kappa	0,8009	0,6861

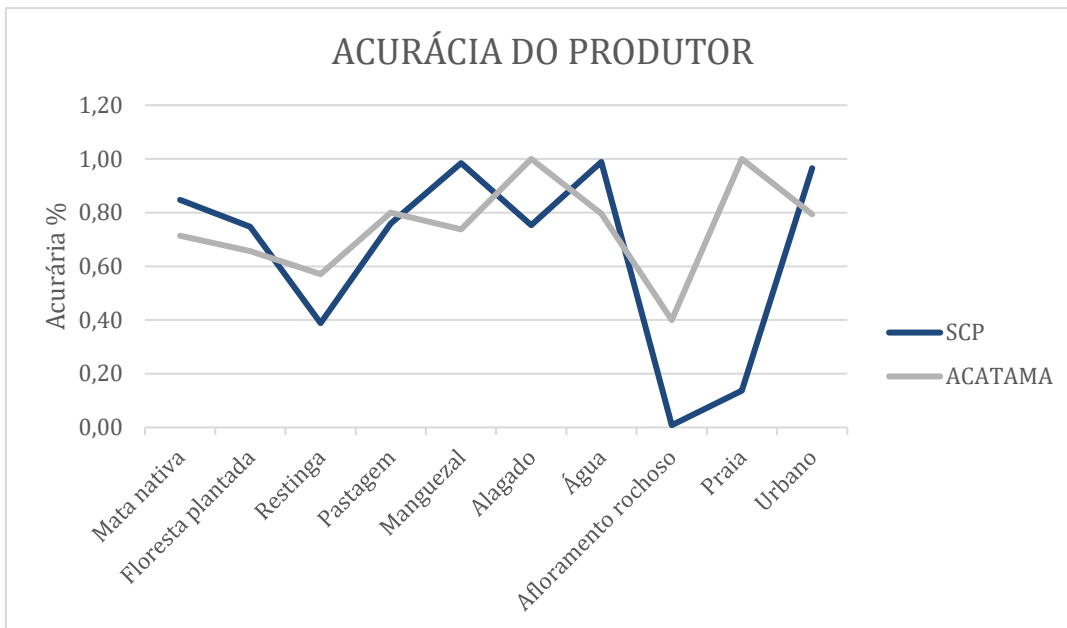
**Tabela 25.** Comparação SCP x AcATaMa para classes. Fonte: Elaboração da autora.

A partir da lógica metodológica de Ipolliti-Ramilo (1999) com adaptação de Landis & Garry (1977, p.165), a qualidade do mapa temático pode ser considerada muito boa, com Kappa igual a 0,8009.

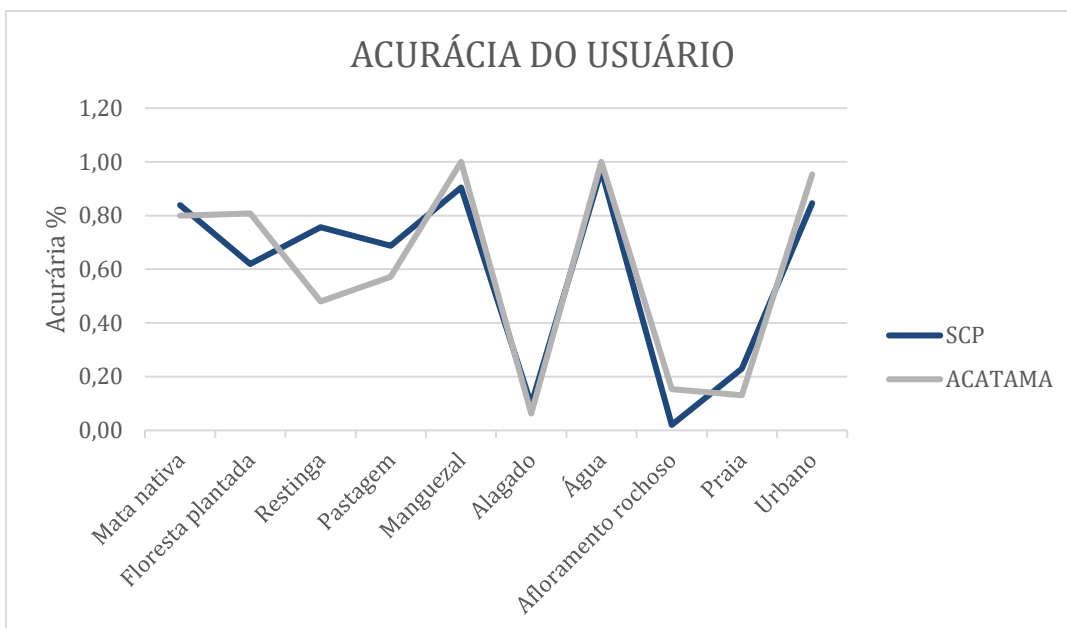
Além destes dois parâmetros, é importante observar as precisões de produtor e usuário obtidas no pós processamento com os complementos (**Tabela 26, Figura 31**. Acurácia do produtor gerada no SCP e AcATaMa.**Figura 31 e Figura 32**).

<b>CLASSE</b>	<b>PRODUTOR [%]</b>		<b>USUÁRIO [%]</b>	
	<b>SCP</b>	<b>ACATAMA</b>	<b>SCP</b>	<b>ACATAMA</b>
1 (Mata nativa)	0,85	0,71	0,84	0,80
2 (Floresta plantada)	0,75	0,66	0,62	0,81
3 (Restinga)	0,39	0,57	0,76	0,48
4 (Pastagem)	0,76	0,80	0,69	0,57
5 (Manguezal)	0,98	0,74	0,90	1,00
6 (Alagado)	0,75	1,00	0,10	0,06
7 (Água)	0,99	0,80	0,97	1,00
8 (Afloramento rochoso)	<b>0,01</b>	<b>0,40</b>	0,02	0,15
9 (Praia)	0,14	1,00	0,23	0,13
10 (Urbano)	0,97	0,79	0,85	0,95

**Tabela 26.** Acurácia do produtor e do usuário geradas no SCP e AcATaMa. Fonte: Elaboração da autora.



**Figura 31.** Acurácia do produtor gerada no SCP e AcATaMa. Fonte: Elaboração da autora.



**Figura 32.** Acurácia do usuário gerada no SCP e AcATaMa. Fonte: Elaboração da autora.

O comportamento das classes diferencia entre os dois complementos, apesar de existir uma tendência similar nos valores.

Para a única classe com qualidade de mapa temático considerada péssima, a classe 8 que corresponde à superfície de afloramento rochoso teve a acurácia do produtor melhor no AcATaMa do que no SCP, com valores de precisão maiores. Também houve resultados melhores de acurácia do usuário.

## Capítulo IV - Conclusões e Recomendações

Relativo aos objetivos elencados para a investigação e as hipóteses levantadas no início da pesquisa:

- Foi possível a aplicação de tecnologia *Open Source* (QGIS), com os complementos SCP na classificação de uma imagem de satélite Sentinel 2 para a obtenção de mapas de ocupação do solo na cidade de Vitória/Brasil.
- Foi possível a validação dos resultados da classificação com os parâmetros estatísticos gerados a partir da matriz de confusão calculada nos complementos SCP e AcATaMa.
- Com isso, é possível afirmar que as informações conceituais, a metodologia, os resultados e as discussões deste trabalho fornecem suporte para o monitoramento e a avaliação do uso e ocupação do solo no planejamento urbano com orientação ecológica a partir da aplicação combinada do Sensoriamento Remoto e dos Sistemas de Informação Geográfica;
- O uso combinado de Sensoriamento Remoto e dos Sistemas de Informação Geográfica mostra um potencial a ser explorado para o planejamento urbano ecológico, com aplicações como a avaliação de índices que descrevam de forma detalhada as características das superfícies físicas das classes analisadas, podendo haver integração com dados não apenas ambientais, mas sociais e econômicos, além de incremento de conhecimentos em planejamento urbano. Por exemplo, indicadores como o *Normalized Difference Vegetation Index* ou Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) pode ser utilizado tanto para planejar o verde urbano como para ajudar no diagnóstico para corredores verdes ou na recomposição de fauna;
- Este trabalho contribui para a implantação de urbanismo sustentável nas cidades, fornecendo informações sobre dados e aplicação de métodos computacionais de Sensoriamento Remoto e de Sistemas de Informação Geográfica, além de informações sobre processos ecológicos, de problemas urbanos e de soluções em uma área de estudo;
- As informações relacionadas também contribuem para o melhor conhecimento sobre os processos de Ordenamento do Território no Brasil, a partir da reflexão sobre a cidade de Vitória;
- Além disso, essa investigação mostra que há certo um nível de acessibilidade de dados para a prática de classificação de imagem de satélite em áreas no Brasil. Ao utilizar dados governamentais na etapa de pós processamento, foi possível verificar que há informações ao alcance da sociedade, publicada em sítio eletrônico gratuitamente. Isso pode auxiliar na integração social nos processos decisórios, na construção colaborativa do conhecimento e na construção de uma cultura de território, que seja colaborativa e permanente. Tais fatos são importantes para o alcance de resultados que propiciem uma agenda urbana ancorada nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

Adicionalmente, destaca-se algumas reflexões críticas e recomendações para trabalhos futuros, que foram elaboradas ao longo do trabalho:

- É necessário avançar na consolidação da visão ecológica para a dinâmica humana para o alcance da sustentabilidade econômica, social e ambiental;
- Os SIG e o SR, assim como outras tecnologias geoespaciais tendem a se “fundir” como “geotecnologias”. Os sistemas estão cada vez mais integrados e robustos, capazes de executar tarefas que antes só eram operadas por programas específicos. Por exemplo, o complemento SCP é capaz de realizar todas as etapas de processamento digital de imagens no QGIS, um software que na sua gênese apresentava maioritariamente ferramentas que incorporavam métodos e técnicas de análise espacial e SIG;
- Os resultados aqui apresentados são um avanço no estudo e nas investigações, porém, as bases técnicas e conceituais de Sensoriamento Remoto e de Sistemas de Informação Geográfica precisam ser valorizados, mesmo que as tecnologias propiciem a facilitação no uso de algumas ferramentas. Apenas executar tarefas ou processar uma imagem sem ter senso crítico com os resultados pode levar a equívocos de análise ou mesmo impossibilitar a resolução de problemas;
- No âmbito do planejamento, é sugerida a ampliação do papel do INPE e do IBGE na educação e na capacitação de gestões locais para o trato com os dados geoespaciais;
- Neste sentido, a Infraestrutura Nacional de Dados Geoespaciais brasileira precisa de investimentos robustos, com a ampliação do banco de dados e o maior suporte para a organização dos gestores locais para que eles tenham capacidade de padronizar suas metodologias e seus dados, podendo futuramente inseri-los na estrutura nacional. Este fator é de suma importância, principalmente pelo motivo de o Brasil ser um país de dimensões continentais e ainda hoje enfrentar grandes gargalos na área de infraestruturas, além de possuir grande biodiversidade em seus ricos biomas (quem conhece o que tem e onde tem, sabe melhor como usar seus recursos naturais e humanos para o desenvolvimento do país);
- A nível técnico, é sugerido que a metodologia seja aplicada com o uso de outros tipos de produtos, como imagens Landsat 8, e em outras áreas. Tal metodologia tem potencial para aplicação em diferentes escalas de território (bairro, município, freguesia, conselho, estado, país, continente, global).

## Referências Bibliográficas

- Adami, M.; Pinheiro, E. S.; Moreira, M. A. (2002). Aplicação de diferentes algoritmos para a classificação de imagens ETM+/LANDSAT-7 no mapeamento agrícola. Ministério da Ciência e Tecnologia. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. São José dos Campos.
- Aronoff, S. (1989) Geographic information systems: a management perspective. Ottawa: WDI Publications.
- Agência Espacial Européia (2023). Disponível em: [https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace\\_PT/SEM7W765P1G\\_0.html](https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_PT/SEM7W765P1G_0.html). Acesso em: 31 de março de 2023.
- Besussi, E.; Chin, N.; Batty, M.; Longley, P (2010). The Structure and Form of Urban Settlements. Em T. Rashed & C. Jurgens (Ed.), Remote Sensing of Urban and Suburban Areas (pp. 13-32). Springer.
- Breadsell, J. K. (2020). Ecological Urban Planning and Design. v 11(13), 3723. Disponível em: < <https://doi.org/10.3390/su11133723>>. Acesso em: 20 de outubro 2021.
- Burrough P.A. (1986) Principles of Geographic Information Systems for Land Resources Assessment, em "Monographs on Soil And Resources Survey", n. 12, Oxford: Clarendon Press.
- Calijuri, M. L.; Loures, S. S. (2006). Fundamentos de Sistema de Informações Geográficas. Documento não publicado, Laboratório de Pesquisa em Sistemas de Informação Geográfica da Universidade Federal de Viçosa - Departamento de Pós Graduação em Engenharia Civil, Viçosa.
- Carvalho, C. M.; Giatti, L. L.; Fagerholm, N.; Martins, M. B.; Kytt, M. (2021) Participatory Geographic Information Systems (PGIS) to assess water, energy and food availability in a vulnerable community in Guarulhos (Brazil), International Journal of Urban Sustainable Development, 13:3, 516-529, DOI: 10.1080/19463138.2021.2019041

- Câmara, G.; Davis, C. Monteiro, A. M. V. (2001). Introdução à Ciência da Geoinformação. São Paulo: INPE. Disponível em: <<http://mtcm12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.22.07.43/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 20 de outubro 2021.
- Campos, V. R. Modelo de apoio à decisão multicritério para priorização de projetos de saneamento. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - EESC/USP. São Carlos, 2011. 156 p.
- CEMAT (2021). Vocabulário de termos e conceitos do ordenamento do território. Disponível em: <[http://www.cfpor.pt/moodle30/pluginfile.php/5258/mod\\_resource/content/1/DGOTDU\\_Defini%C3%A7oes\\_Manual\\_vocabul%C3%A1rio%20geogr%C3%A1fico.pdf](http://www.cfpor.pt/moodle30/pluginfile.php/5258/mod_resource/content/1/DGOTDU_Defini%C3%A7oes_Manual_vocabul%C3%A1rio%20geogr%C3%A1fico.pdf)>. Acesso em: 10 de janeiro de 2023.
- Chavez Jr., P.S. (1988). An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote Sensing of Environment*, v. 24, p. 459-479. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90019-3](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90019-3)>. Acesso em: 29 de março de 2023.
- Congedo, L. (2021). Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS. *Journal of Open Source Software*, 6(64), 3172. DOI: <<https://doi.org/10.21105/joss.03172>>. Acesso em: 29 março 2022.
- Cohen J. A. (1960). Coefficient of agreement for nominal scales. *Journal of Educational and Measurement*, v.20, n.1, p.37-46. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0013164460020001>. Acesso em 29 de março de 2023.
- Congalton, R.G.; Green, K. (2009). *Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices (2ª ed)*. Boca Raton: CRC Press Taylor and Francis Group
- Cowen D.J. (1988). SIG versus CAD versus DBMS: what are the differences?, in "Introductory readings in Geographic Information Systems". Londres: Taylor and Francis.

- Crósta, A. P. (1993). Processamento digital de imagens de Sensoriamento Remoto. Campinas: IG/UNICAMP. 170p. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/192578809-A-p-crosta-processamento-digital-de-imagens-de-sensoriamento-remoto.html>> Acesso em: 29 março 2023.
- Dejesusparada, N.; Steffen, C. A.; Lorenzetti, J. A.; Stech, J. L.; Desouza, R. C. M. (1981). Remote sensing: Physical principles, sensors and products, and the LANDSAT. Report ID: 19820014734. Disponível em: <<https://ntrs.nasa.gov/citations/19820014734>>. Acesso em: 29 março 2023.
- Despacho nº 9315/2019. Disponível em: <https://dre.tretas.org/dre/3880215/despacho-9315-2019-de-15-de-outubro>. Acesso em: 29 março 2023.
- Ferrão, J. (2011). O ordenamento do território como política pública. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.
- Florenzano, T. G. (2002). Imagens de satélite para estudos ambientais. São Paulo: Oficina de Textos. 97p. Disponível em: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5692586/mod\\_resource/content/2/Imagens%20de%20sate%CC%81lite%20para%20estudos%20ambientais.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5692586/mod_resource/content/2/Imagens%20de%20sate%CC%81lite%20para%20estudos%20ambientais.pdf)> Acesso em: 29 março 2023.
- Figueiredo, G.C.; Vieira, C.A. L.; (2017). Estudo do comportamento dos índices de Exatidão Global, Kappa e Tau, comumente usados para avaliar a classificação de imagens do sensoriamento remoto, p. 5755-5762. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.13.17.35/doc/5755-5762.pdf>>. Acesso em: 30 março 2023.
- GEOWEB Vitória. (2022). Prefeitura de Vitória. Disponível em: <<https://geoweb.vitoria.es.gov.br/#/shp>> Acesso em: 30 janeiro de 2023.
- Gerald K. M. (1979). What is a picture worth? A history of remote sensing / Quelle est la valeur d'une image? Un tour d'horizon de télédétection. Hydrological Sciences Bulletin, 24:4, 477-485. DOI: 10.1080/02626667909491887. Acesso em: 29 março 2022.
- Crosta, A. P. Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto. (1993).

- Guirra, A. P. M.; Yallouz, G. A. N.; Silva, I. T. (2019). Estudo bibliométrico sobre o uso de geotecnologias aplicadas ao planejamento de cidades médias. *Terra Plural*, v. 14, p. 1-14, 18 dez. 2019. Disponível em: <<http://orcid.org/0000-0003-4201-3574>>. Acesso em: 29 março 2022.
- Giri, C. P. *Remote Sensing of Land Use and Land Cover* (2012). 2 ed. Boca Raton: CRC Press.
- Grimm, N. B.; Faeth, S. H; Golubiewski, N. E.; Redman, C. L.; Wu, J.; Bai, X; Briggs, J. M. (2008). *Global Change and the Ecology of Cities: Supporting Online Material*. p. 1-11. Disponível em: < DOI: 10.1126/science.1150195>. Acesso em: 29 março 2022.
- Gillies R.R. Effects of urbanization on the aquatic fauna of the Line Creek watershed, Atlanta—a satellite perspective. v. 86 (2003) p. 411–422. *Remote Sensing of Environment* doi:10.1016/S0034-4257(03)00082-8.
- Imhoff M. L., Zhang. P., Wolfe R. E., Bounoua L. Remote sensing of the urban heat island effect across biomes in the continental USA. v. 114 (2010) 504–513 *Remote Sensing of Environment*. doi:10.1016/j.rse.2009.10.008
- Harris, R. (1987). *Satellite Remote Sensing, An Introduction*. London, New York: Routledge & Kegan Paul. ISBN 0 7102 1312 3.
- Herold, M. e Roberts D.A. (2010). *The Spectral Dimension in Urban Remote Sensing. Remote Sensing of Urban and Suburban Areas*. Berlin: Springer. v. 10, cap. 4, p. 47-66.
- IBGE (2022). *Manual técnico de uso da terra/ Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/es/vitoria.html>>. Acesso em: 10 de julho de 2022.
- IBGE (2006). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=232440>>. Acesso em: 10 de julho de 2022.

- INDE. (2022). Infraestrutura Nacional de Dados Geoespaciais. Disponível em: <<https://inde.gov.br/>>. Acesso em: 29 março 2022.
- Ipolliti-Ramilo, G. A. (1999). Imagens TM/Landsat-5 da época de pré-plantio para a previsão da área de culturas de verão. São José dos Campos. 183 p. (INPE-7116-TDI/668). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <<http://mtc-m12.sid.inpe.br/rep/sid.inpe.br/iris@1912/2005/07.19.20.58.17>>. Acesso em: 29 de março de 2023.
- Jensen, J. R. 4 ed. (2015). Digital Image Processing. A Remote Sensing Perspective
- Santos, A. R. Apostila de Sensoriamento Remoto. Universidade Federal do Espírito Santo. (2013). Alegre.
- SEAMA (2018). Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Atlas de cobertura florestal do Espírito Santo. Disponível em: < <https://seama.es.gov.br/atlas-da-mata-atlantica-es>>. Acesso em: 29 março 2022.
- Smith, T.R.; Peuquet, D.J.; Menon, S.; Agarwal, P. KBGIS-II: a knowledgebased geographic information system. International Journal of Geographic Information Systems, v. 1, n. 2, p. 149-172, 1987.
- Landis J.R.; Koch G.G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. Biometrics; 33:159-75. doi.org/10.2307/2529310. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/2529310>. Acesso em: 29 de mar. de 2023.
- LEVEL-1C (2023). Sentinel Online, The European Space Agency. Disponível em: <<https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/product-types/level-1c>> Acesso em: 20 de fevereiro de 2022.
- Lei nº 58/2007. Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território (2007). Diário da República n.º 170/2007, Série I de 2007-09-04, páginas 6126 - 6181. <https://dre.pt/dre/detalhe/lei/58-2007-640143>.
- Lei nº 99/2019. Primeira revisão do Programa Nacional da Política do Ordenamento do Território (revoga a Lei n.º 58/2007, de 4 de setembro) (2019). Diário da

República n.º 170/2019, Série I de 2019-09-05, páginas 3 - 267. Disponível em: <<https://dre.pt/dre/detalhe/lei/99-2019-124457181>>.

Lei n.º 10.257/2001. Governo Federal do Brasil. Estatuto da Cidade. [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/leis\\_2001/l10257.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/l10257.htm).

Lei n.º 13.089/2015. Governo Federal do Brasil. Estatuto da Metrópole. [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2015/lei/l13089.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/l13089.htm).

Loveland J. A. (2012). Coefficient of agreement for nominal scales. *Journal of Educational and Measurement*, v.20, n.1, p.37-46. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0013164460020001>. Acesso em 29 de março de 2023.

Lousada, S.; Cabezas, J.; Castanho, R.A.; Gómez, J.M.N. Land-Use Changes in Insular Urban Territories: A Retrospective Analysis from 1990 to 2018. The Case of Madeira Island—Ribeira Brava. *Sustainability* 2022, 14, 16839. <https://doi.org/10.3390/su142416839>.

Lillesand, T. M.; Kiefer, R. W. (2015). *Remote sensing and image interpretation*. 4 ed. New York: John Wiley e Sons Inc.

Marguti, B. O.; Costa, M. A.; Favarão, C.B. (2018). *Brasil metropolitano em foco: desafios à implementação do Estatuto da Metrópole*. Brasília: Ipea. 511 p.: il., gráfs., mapas, fots. color. – (Série Rede Ipea. Projeto Governança Metropolitana no Brasil; v. 4). ISBN: 978-85-7811-324-7. Disponível em: <<https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/8332>>. Acesso em: 29 março 2022.

Mastella, A. F. M.; Vieira, C. A. O. Acurácia temática para classificação de imagens utilizando abordagens por pixel e por objetos *Rev. Bras. de Cartografia*, vol. 70, Edição Especial “XXVII Congresso Brasileiro de Cartografia”, 2018. v. 1643, pp. 1618. DOI: 10.14393/rbcv70n5-44559.

Marrara, T. *Estatuto da Metrópole (2015). Lei 089/2015 comentada*. Disponível em: <https://www.direitorp.usp.br/wp-content/uploads/2022/01/Estatuto-da-metropole-comentado.pdf>. Acesso em: 29 março 2022.

- Melo, D.H.C.T.B. (2002). Uso de dados Ikonos II na Análise Urbana: testes operacionais na zona leste de São Paulo. (Master's thesis, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE). São José dos Campos. p.146.
- Meneses, P. R. et al. (2012). Introdução ao processamento de imagens de Sensoriamento Remoto. 1. ed. Brasília.
- Moore, G. K. What is a picture worth? A history of remote sensing / Quelle est la valeur d'une image? Un tour d'horizon de télédétection. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/02626667909491887>>. Acesso em: 29 março 2022.
- Netzband, M.N.; Jurgens, C.J (2010). Urban and Suburban Areas as a Research Topic for Remote Sensing. Em T. Rashed & C. Jurgens (Ed.), Remote Sensing of Urban and Suburban Areas (pp. 01-12). Springer.
- Novo, E. M. L. M. (2014). Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações/ Evlyn M. L. de Moraes Novo. 4 ed. São Paulo: Blucher.
- OBSERVAVIX (2022). Portal do Observatório de Indicadores da Cidade de Vitória. Disponível em: <<https://observavix.vitoria.es.gov.br/>>. Acesso em: 29 março 2022.
- ODS. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (2016). Disponível em: <<https://ods.pt/ods/>>. Acesso em: 29. março 2023.
- PDU (2022). Plano Diretor Urbano, Prefeitura de Vitória. Disponível em: <<https://www.vitoria.es.gov.br/prefeitura/plano-diretor-urbano>>. Acesso em: 29 março 2022.
- Pellegrino, P. R. M. (2000). Pode-se Planejar a Paisagem?. *Paisagem E Ambiente: ensaios* São Paulo: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, (13), 159-179. <https://doi.org/10.11606/issn.2359-5361.v0i13p159-179>. Acesso em: 29 março 2022.
- PNPOT. Programa Nacional da Política do Ordenamento do Território. Lei n.º 99/2019, de 5 de setembro. Disponível em: <<https://pnpot.dgterritorio.gov.pt/node/10>>. Acesso em: 29. março 2023.

- Quartaroli, C.F.; Vicente, L.E.; Araújo, L.S. (2014). In: Tôsto, S. G.; Rodrigues, C. A. G.; Bolfe, E. L.; Batistella, M. (Ed.). Geotecnologias e geoinformação. Brasília, DF: Embrapa, 2014. (pp. 61-79). Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/988056>>. Acesso em: 29 março 2022.
- Reis, C., e Lopes, A. (2019). Evaluating the cooling potential of urban green spaces to tackle urban climate change in Lisbon. Sustainability (Switzerland), 11(9). DOI: <<https://doi.org/10.3390/su11092480>>. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2071-1050/11/9/2480>>. Acesso em: 29 março 2022.
- Relatório de Brundtland de 1987. Disponível em: <<https://ambiente.wordpress.com/2011/03/22/relatorio-brundtland-a-verso-original/>>. Acesso em: 29 março 2023.
- Ribeiro, J. C. D.; Melo, B. M. De; Fantin, M.; et al. (2021). Plataforma de monitoramento e suporte à decisão para o planejamento territorial do Circuito das Águas Paulista. Engenharia Urbana em Debate, São Carlos, v. 2, n. 1, p. 110-123, 2021. Disponível em: <<https://www.engurbdebate.ufscar.br/index.php/%20/article/view/13>>. Acesso em: 29 março 2023.
- Ribeiro, M. E. J. (2010). Infraestrutura verde, uma estratégia de conexão entre pessoas e lugares: por um planejamento ecológico para Goiânia. (Doctoral dissertation, USP). Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16135/tde-31052010-150556/pt-br.php>>. Acesso em: 29 março 2022.
- Santos, A.R. (2013) Apostila de Sensoriamento Remoto. Alegre-ES. Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Rural.
- Schowengerdt, R. A. (2007). Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing. 3ª ed., - Department of Electrical and Computer Engineering (College of Optical Sciences and Office of Arid Lands Studies), University of Arizona, Tucson. Arizona.

- Silva, A. A.; Oliveira, A.P.G. De; Filho, A.C.P; Grigio, A.M. (2016). Uso do Ecognition 8.9 para Classificação de Imagens de Alta Resolução. Disponível em: <[https://issuu.com/eduern/docs/ecognition\\_-\\_livro\\_final](https://issuu.com/eduern/docs/ecognition_-_livro_final)>. Acesso em: 29 março 2023.
- Silva, J. Uso de tecnologias geoespaciais aliadas à análise multicritério como subsídio à recuperação de áreas de preservação permanente em bacias hidrográficas. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Espírito Santo - UFES. Vitória, 2016
- Sliuzas, R.; Kuffer, M.; Masser, I. (2010). The Spatial and Temporal Nature of Urban Objects. Remote Sensing of Urban and Suburban Areas. Berlin: Springer. v. 10, cap. 5, p. 67-84.
- Smith, T. R.; Peuquet, D. J.; Menon, S.; Agarwal, P. (1987). KBGIS-II: a knowledgebased geographic information system. International Journal of Geographic Information Systems, v. 1, n. 2, p. 149-172.
- Steffen, C. A.; Lorenzetti, J. A.; Stech, J. L.; Souza, R. C. M. Sensoriamento Remoto: Princípios físicos, sensores e produtos e sistema Landsat. p. 1-81.
- Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas SPRING - DPI/INPE (2006). Introdução ao Geoprocessamento. Manuais: Tutorial de Geoprocessamento. Biblioteca. Disponível em: <[http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao\\_geo.html](http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_geo.html)>. Acesso em: 29 março 2022.
- Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas SPRING - DPI/INPE (2006). Mapa de Londres com casos de cólera (pontos) e poços de água (cruzes) (adaptado de E. Tufte, 1983). Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/analise.html>>. Acesso em: 29 março 2022.
- YouTube. (2022, Julho 01). Apresentação do Curso PDI-QGIS: 2ªEdição. [Arquivo de vídeo]. Disponível em:

<<https://www.youtube.com/watch?v=cB5eu00ROP4&list=PL551njkdL5YoCjlijfEiNpGCqJedtAVoL>> Acesso em: 29 março 2022.

Wellmann, T.W.; Lausch, A.L.; Andersson, E.A.; Knapp, S.K.; Cortinovis, C.C.; Janche, J.J.; Scheuer, S.S.; Kremer, P.K.; Mascarenhas, A.M.; Kraimer, R.K.; Haase, A.H.; Schug, F.S.; Haase, D.H. (2020). Remote Sensing in urban planning: Contributions towards ecologically sound polices? *Landscape and Urban Planning*, Berlin, p. 1-13, 27 ago. 2020. DOI [doi.org/10.1016/j.landurbplan.2020.103921](https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2020.103921). Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016920462030886>>. Acesso em: 20 outubro de 2021.

Ulkowski, F. P. Georreferenciamento de imóveis na perspectiva do ordenamento do território no Brasil: o caso de estudo do estado do Paraná. [Master's thesis, Universidade Nova de Lisboa]\*. Repositório Institucional da Universidade Nova de Lisboa. <https://run.unl.pt/handle/10362/123956>.

Vieira, T. G. C.; Alves, H. M. R.; Volpato, M. M. L. Bernardes, T.; Santos, E. R. (2009). Avaliação de classificadores automáticos no mapeamento de áreas cafeeiras da Região de Guaxupé, Minas Gerais, 11(9). Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/29237/1/Avaliacao-de-classificacao.pdf>>. Acesso em: 29 março 2023.