

CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO – TCC (RES 020/2016 – 2024 2)		
(X) PRÉ-PROJETO	() PROJETO	ANO/SEMESTRE: 2024/2

ANÁLISE DE IMAGENS DE SATÉLITE PARA CÁLCULO DE ÁREAS CONSTRUÍDAS E COMPARAÇÃO COM REGISTROS DE IPTU

Arthur Bezerra Pinotti

Prof. Maiko Rafael Spiess

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o Brasil tem experimentado um intenso processo de urbanização. De acordo com o Censo do IBGE (2023), 57% das cidades brasileiras cresceram em população desde 2010, refletindo um aumento significativo da urbanização em todo o país. Esse crescimento, no entanto, é marcado por desafios relacionados ao planejamento urbano e à infraestrutura. Em muitas regiões, o aumento da densidade populacional e a expansão de áreas construídas não foram acompanhados por uma fiscalização eficiente ou atualizações cadastrais adequadas, ampliando as dificuldades de gestão urbana e tributária. Estudos recentes destacam que, apesar de avanços pontuais, grande parte das cidades enfrenta limitações na sua capacidade de monitorar o crescimento desordenado e de garantir equidade fiscal (CUADERNOS DE EDUCACIÓN, 2023).

Esse cenário agrava os desafios administrativos impostos pelo crescimento populacional e pela constante expansão das áreas urbanas, como a fiscalização de imóveis e a arrecadação de tributos urbanos. O Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU), uma das principais fontes de receita municipal, depende diretamente da exatidão dos registros públicos sobre dimensões de terrenos e áreas construídas. No entanto, é comum que haja discrepâncias significativas entre os dados registrados e a realidade física das construções. Essas discrepâncias podem ser resultado de falhas no cadastramento, reformas não declaradas ou, em alguns casos, fraudes intencionais, comprometendo a equidade fiscal e a eficiência na arrecadação (AFONSO, ARAUJO e NÓBREGA, 2013).

Embora essencial, a atualização cadastral ainda é frequentemente realizada por meio de inspeções presenciais em campo, o que torna o processo demorado, oneroso e suscetível a erros humanos. Além disso, o crescimento rápido e, muitas vezes, desordenado das áreas urbanas dificulta o acompanhamento e a fiscalização das alterações nos imóveis. Esses desafios evidenciam a necessidade de modernizar os métodos tradicionais, utilizando tecnologias avançadas que possam automatizar e agilizar a identificação de áreas construídas e possíveis irregularidades nos registros fiscais.

O sensoriamento remoto surge como uma solução tecnológica promissora, especialmente com o avanço das imagens de satélite de alta resolução. Segundo Pedrassoli (2016), essas tecnologias permitem monitorar o crescimento urbano e detectar alterações no uso do solo, oferecendo dados precisos para análise e gestão de áreas urbanas. Combinadas a técnicas avançadas de processamento de imagens, essas ferramentas oferecem potencial para melhorar a eficiência na fiscalização e promover maior precisão na identificação de discrepâncias, fortalecendo a gestão fiscal municipal.

Entre as técnicas utilizadas para esse tipo de análise, destacam-se:

- **Classificação orientada a objetos (GEOBIA):** Essa abordagem segmenta imagens de satélite em objetos significativos antes de classificá-los, o que aumenta a precisão em áreas urbanas complexas. Estudos como o de Santos, Pelegrina e Julião (2015) e Carvalho et al. (2024) demonstram a eficácia do GEOBIA para identificar edificações e realizar comparações com cadastros fiscais.
- **Modelos de mistura espectral (MLME):** Técnica que separa componentes espectrais mistos em regiões urbanas densas, permitindo a diferenciação entre áreas construídas e não construídas. Pedrassoli (2016) ilustra como o MLME pode ser aplicado para mapear a expansão urbana e identificar padrões de ocupação do solo com alta precisão.
- **Análise morfológica urbana:** A análise baseada em lacunaridade, explorada por Barros Filho e Amorim (2015), permite detectar padrões sutis de ocupação do solo e identificar áreas com características morfológicas específicas, sendo útil para contextos urbanos complexos.

No projeto proposto, essas técnicas serão integradas para calcular automaticamente as áreas construídas em imagens de satélite obtidas do GeoPortal Blumenau. As imagens serão segmentadas em "folhas", conforme a divisão utilizada pela ferramenta, permitindo uma análise detalhada e segmentada dos lotes urbanos. Após a

identificação das áreas construídas, os resultados serão disponibilizados para que os usuários possam compará-los manualmente com os dados cadastrais oficiais, como a área cartográfica e as dimensões dos lotes.

Este trabalho tem como objetivo desenvolver uma solução automatizada, utilizando sensoriamento remoto e processamento de imagens, que ofereça uma metodologia eficiente e replicável para o cálculo de áreas construídas. A proposta visa contribuir para a identificação de inconsistências nos cadastros fiscais, promovendo maior eficiência, transparência e justiça tributária nos processos de arrecadação municipal, além de estabelecer uma base tecnológica para aplicações futuras em gestão urbana.

1.1 OBJETIVOS

Desenvolver uma solução automatizada que utilize imagens de satélite para calcular as áreas construídas de terrenos, para possibilitar a comparação com os registros oficiais de IPTU, com foco na identificação de discrepâncias e no aprimoramento da fiscalização tributária.

Os objetivos específicos são:

- a) identificar e avaliar as principais técnicas de análise de imagens de satélite aplicáveis ao cálculo de áreas construídas, incluindo sensoriamento remoto e classificação orientada a objetos.
- b) desenvolver uma ferramenta automatizada para processamento de imagens de satélite e cálculo de áreas construídas, utilizando as técnicas avaliadas.
- c) comparar os resultados obtidos pela ferramenta com registros oficiais de IPTU para validação da metodologia.
- d) realizar testes em áreas com registros conhecidos para verificar a precisão da solução e identificar possíveis ajustes necessários.

2 TRABALHOS CORRELATOS

Esta seção apresenta uma revisão dos trabalhos que utilizam imagens de satélite para cálculo de áreas construídas e validação de dados urbanos. Serão abordadas as principais técnicas e ferramentas aplicadas, destacando seus métodos, resultados e limitações. A revisão também incluirá estudos relacionados à automação do processo e à comparação dessas áreas com registros cadastrais, além de discutir o impacto dessas tecnologias na fiscalização tributária e urbana.

2.1 REVISÃO SISTEMÁTICA

Para identificar os trabalhos correlatos mais relevantes, foi realizada uma revisão sistemática baseada em pesquisas bibliográficas. O objetivo foi selecionar estudos que empregam imagens de satélite de alta resolução e técnicas de sensoriamento remoto aplicadas à análise urbana e à atualização cadastral.

Detalhes da revisão sistemática:

- Portais utilizados: Google Scholar, Scielo e IEEE Xplore.
- Período de busca: 2015 a 2024.
- Palavras-chave utilizadas:
 - Em inglês: "Urban morphological patterns," "high-resolution satellite imagery," "spectral mixture model," "building classification."
 - Em português: "Padrões morfológicos urbanos," "imagens de satélite de alta resolução," "modelo de mistura espectral," "classificação de edificações."
- Critérios de inclusão: Estudos com técnicas aplicáveis ao cálculo de áreas construídas e validação cadastral.
- Resultados: 15 artigos inicialmente selecionados; 5 filtrados após análise de relevância e aplicabilidade.

Quadro 1 - Síntese dos trabalhos correlatos selecionados

Assunto	Filtro	Referência
Diferenciação de padrões morfológicos urbanos via análise de imagens de satélite	"Padrões morfológicos urbanos," "análise de lacunaridade"	Barros Filho & Amorim (2015)
Atualização cadastral utilizando imagens de satélite de alta resolução	"Atualização cadastral," "imagens de alta resolução"	Santos, Pelegrina & Julião (2015)
Classificação baseada em objeto com imagens de satélite CBERS 4A em áreas urbanas	"Classificação baseada em objeto," "CBERS 4A"	Carvalho et al. (2024)
Classificação de edificações via imagens de altíssima resolução para áreas urbanas	"Very high-resolution satellite imagery," "building classification"	Dimassi et al. (2021)
Habitação e Sensoriamento Remoto: uma análise da expansão urbana na RMSP por meio de imagens de satélite aplicando o modelo linear de mistura espectral.	"Urban expansion analysis", "spectral mixture model"	Pedrassoli (2016)

Fonte: elaborado pelo autor (2024).

2.2 SÍNTESE DOS TRABALHOS CORRELATOS

Nesta subseção, são apresentados os principais trabalhos correlatos identificados na revisão sistemática, com foco nas técnicas e algoritmos aplicados à análise de imagens de satélite. Esses estudos oferecem metodologias relevantes que podem ser adaptadas ou estendidas para o desenvolvimento do projeto proposto. As abordagens incluem classificação de imagens, uso de modelos de mistura espectral e análise de padrões urbanos. A seguir, o Quadro 2 apresenta uma síntese detalhada do trabalho de Pedrassoli (2016), destacando seu objetivo, funcionalidades, ferramentas e resultados.

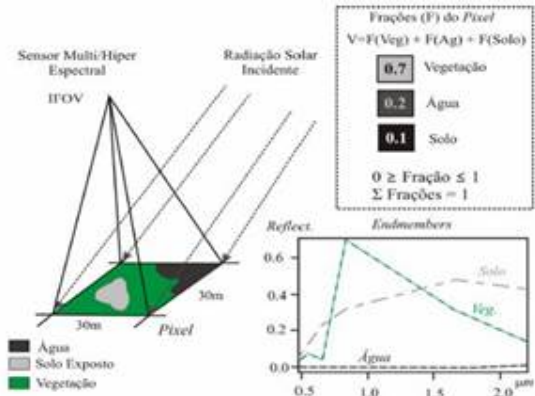
Quadro 2 – Habitação e Sensoriamento Remoto: uma análise da expansão urbana na RMSP por meio de imagens de satélite aplicando o modelo linear de mistura espectral.

Referência	Pedrassoli (2016)
Objetivos	Analisar a expansão urbana da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) entre 1986 e 2015 usando imagens da série <i>Landsat</i> e o Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME).
Principais funcionalidades	Aplicação do MLME para detectar mudanças de uso do solo associadas à produção habitacional formal (verticalização) e informal (favelas, loteamentos irregulares) em diferentes escalas espaciais.
Ferramentas de desenvolvimento	Imagens de satélite da série <i>Landsat</i> , MLME, e agregação dos dados em três escalas (pixel, intraurbano e regional).
Resultados e conclusões	<ul style="list-style-type: none">- Identificação de padrões de expansão urbana em 30 anos (1986-2015).- 18,9% da população da RMSP residia em aglomerados subnormais em 2010.- Precisão elevada na correlação entre frações de substrato, sombra e vegetação, permitindo mapear com alta fidelidade posicional áreas de verticalização e habitação precária.- O modelo mostrou potencial de generalização em análises multiescalares.

Fonte: elaborado pelo autor (2024).

O trabalho de Pedrassoli (2016) é relevante para este projeto devido à aplicação do Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME), que permite a decomposição precisa dos componentes presentes nos pixels das imagens de satélite. Essa técnica pode ser adaptada para identificar áreas construídas com alta precisão, especialmente em cenários urbanos complexos. Embora o estudo esteja focado na análise de expansão urbana, o uso do MLME é particularmente útil por sua capacidade de diferenciar áreas construídas de outros tipos de cobertura do solo, como vegetação e solo exposto. Essa abordagem, baseada em técnicas avançadas de sensoriamento remoto, fornece subsídios importantes para a implementação do projeto.

Figura 1 – Decomposição perfeita de um MLME



Fonte: Pedrassoli (2016)

A Figura 1, retirada de Pedrassoli (2016), ilustra o processo de decomposição espectral de um pixel usando o Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME). Essa técnica permite separar os componentes presentes no pixel (ex.: solo, vegetação e água), associando proporções específicas a cada elemento. No contexto do estudo, essa decomposição foi utilizada para mapear padrões de uso do solo e identificar mudanças relacionadas à urbanização.

O Quadro 3 apresenta o trabalho de Barros Filho e Amorim (2015), que aplicaram o algoritmo *Differential Box-Counting* (DBC) para análise da lacunaridade em sub fragmentos de imagens de satélite *QuickBird* da cidade do Recife. O estudo foi desenvolvido com o objetivo de identificar variações sutis nos padrões morfológicos urbanos, explorando a segmentação em sub fragmentos como uma abordagem para melhorar a precisão na identificação de características espaciais intraurbanas. As funcionalidades, ferramentas utilizadas e resultados do trabalho são destacados, com foco no potencial do método para diferenciar áreas urbanas densas, heterogêneas e complexas. Apesar das limitações em escalas maiores, o estudo é relevante por explorar técnicas de lacunaridade que podem ser adaptadas ao projeto proposto, especialmente no contexto de análise de áreas construídas.

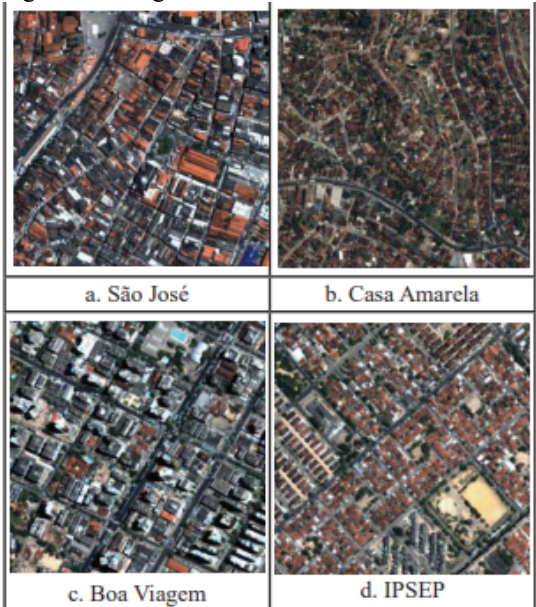
Quadro 3 – Diferenciação de padrões morfológicos urbanos através da análise da lacunaridade de sub fragmentos de imagens de satélite QuickBird.

Referência	Barros Filho e Amorim (2015)
Objetivos	Analisar diferenças em padrões morfológicos urbanos usando a lacunaridade de subfragmentos de imagens QuickBird da cidade do Recife.
Principais funcionalidades	Análise de lacunaridade para identificar sutis variações nos padrões espaciais intraurbanos, através de subfragmentos de imagens de satélite.
Ferramentas de desenvolvimento	Algoritmo <i>Differential Box-Counting</i> (DBC) aplicado para calcular a lacunaridade das imagens.
Resultados e conclusões	O método foi eficaz na diferenciação de padrões urbanos, especialmente em áreas com grandes variações morfológicas. No entanto, o método encontra limitações ao lidar com escalas maiores. Os subfragmentos ajudaram a identificar variações dentro de fragmentos urbanos com maior precisão.

Fonte: elaborado pelo autor (2024).

A Figura 2 ilustra os sub fragmentos de imagens *QuickBird* da cidade do Recife, utilizados no estudo para analisar padrões morfológicos urbanos. Os fragmentos representam diferentes regiões da cidade, como São José, Casa Amarela, Boa Viagem e IPSEP, destacando as variações nos tecidos urbanos, que incluem áreas densas, irregulares e formais. A análise foi realizada utilizando o algoritmo DBC para calcular a lacunaridade de cada sub fragmento, permitindo identificar variações estruturais significativas.

Figura 2 – Fragmentos do tecido urbano de Recife



Fonte: Barros Filho e Amorim (2015)

Esses sub fragmentos foram fundamentais para que o estudo demonstrasse a eficácia do algoritmo na diferenciação de padrões urbanos em diferentes tipos de tecido morfológico. A segmentação permitiu uma

análise mais granular, mostrando o potencial da lacunaridade como técnica complementar em projetos que envolvam análise de áreas construídas e planejamento urbano.

O Quadro 4 apresenta o estudo de Santos, Pelegrina e Julião (2015), que investigaram o uso de imagens de satélite *GeoEye* de alta resolução para a atualização de cadastros municipais. A pesquisa utilizou técnicas de classificação orientada a objeto para identificar novas construções e comparar os resultados obtidos com os registros de loteamentos cadastrados. O trabalho se destacou por combinar análises espaciais com ferramentas como o NDVI e softwares especializados, permitindo detectar alterações na área edificada de forma mais precisa. Apesar das limitações na diferenciação de objetos espectralmente semelhantes, o método demonstrou ser eficaz na atualização de dados cadastrais e oferece contribuições significativas para o aprimoramento de métodos de fiscalização urbana, sendo relevante para o projeto proposto.

Quadro 4 – Atualização cadastral dirigida utilizando imagens de satélite de alta resolução espacial.	
Referência	Santos, Pelegrina e Julião (2015)
Objetivos	Atualizar cadastros municipais utilizando imagens de satélite de alta resolução espacial para identificar novas construções e comparar com registros de loteamentos cadastrados.
Principais funcionalidades	Classificação orientada a objeto de imagens <i>GeoEye</i> para vetorizar edificações, seguida de análise espacial para comparação com registros cadastrais municipais.
Ferramentas de desenvolvimento	<i>Software Feature Analyst</i> v.5.1 para ArcGIS, imagens <i>GeoEye</i> e NDVI.
Resultados e conclusões	A metodologia permitiu a identificação de novas construções e modificações na área edificada. No entanto, houve limitações na detecção de áreas cobertas e na diferenciação de objetos espectralmente semelhantes. A técnica mostrou-se útil para atualização de cadastros, mas requer validação in loco para maior precisão.

Fonte: elaborado pelo autor (2024).

A Figura 3 ilustra o resultado do processo de extração de edificações utilizando imagens *GeoEye* e a técnica de classificação orientada a objeto descrita no estudo de Santos, Pelegrina e Julião (2015). As áreas em vermelho representam as edificações detectadas pelo algoritmo, enquanto os limites dos lotes cadastrados são demarcados em preto. A análise evidenciou inconsistências significativas entre o cadastro existente e a realidade observada, destacando o potencial dessa metodologia para identificar discrepâncias em áreas urbanas.

A utilização do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) foi crucial para separar vegetação de superfícies construídas, garantindo maior precisão na classificação. Além disso, o destaque azul na figura representa um lote específico onde alterações significativas foram encontradas, sugerindo a necessidade de validação cadastral in loco para garantir maior acurácia nos dados.

Figura 3 – Resultado da extração de edifícios na imagem *GeoEye*.



Fonte: Santos, Pelegrina e Julião (2015).

3 PROPOSTA

Nesta seção, será apresentada a justificativa para o desenvolvimento do software proposto e a metodologia que será utilizada para implementá-lo. O objetivo é desenvolver uma ferramenta que permita a análise de imagens de satélite para calcular áreas construídas e validar esses dados com as informações fornecidas ao sistema de cadastro municipal, buscando detectar inconsistências. Serão discutidos os aspectos que justificam a relevância deste estudo e as contribuições teóricas e práticas esperadas.

3.1 JUSTIFICATIVA

A motivação central deste estudo é a necessidade de modernizar e tornar mais eficiente a fiscalização de áreas construídas em ambientes urbanos, utilizando imagens de satélite de alta resolução. O processo tradicional de atualização cadastral, muitas vezes manual e sujeito a erros, enfrenta dificuldades em acompanhar as mudanças rápidas no cenário urbano, resultando em discrepâncias que comprometem a arrecadação tributária e a equidade fiscal.

O Quadro 5 compara os principais trabalhos correlatos analisados, destacando as diferenças em metodologias, imagens utilizadas e resultados. Por exemplo:

- Barros Filho e Amorim (2015): Utilizam lacunaridade para identificar padrões urbanos sutis, mas enfrentam limitações em escalas maiores.
- Santos, Pelegrina e Julião (2015): Aplicam classificação orientada a objeto em imagens *GeoEye*, destacando a detecção de novas construções, embora apresentem dificuldades com espectros semelhantes, como telhados e solo exposto.
- Pedrassoli (2016): Empregam o Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) para mapear mudanças no uso do solo com alta precisão, porém exigem validações manuais em algumas áreas.

Quadro 5 - Comparativo dos trabalhos correlatos

Trabalhos Correlatos Características	Barros Filho e Amorim (2015)	Santos, Pelegrina e Julião (2015)	Pedrassoli. (2016)
Objetivo	Análise de padrões morfológicos urbanos através da lacunaridade.	Atualização cadastral utilizando imagens de satélite.	Análise da expansão urbana usando mistura espectral.
Metodologia	Algoritmo de <i>Box-Continho</i> para lacunaridade.	Classificação orientada a objeto (<i>GeoEye</i>).	Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME).
Imagens de satélite utilizadas	<i>QuickBird</i>	<i>GeoEye</i>	<i>Landsat</i>
Ferramentas de desenvolvimento	Algoritmo <i>Differential Box-Counting</i>	<i>Feature Analyst</i> v.5.1 para ArcGIS	Modelo MLME
Principais resultados	Identificação de padrões urbanos sutis; limitação em áreas maiores.	Detecção de novas construções; limitação em áreas cobertas.	Alta precisão na detecção de mudanças no uso do solo.
Limitações	Ineficaz em grandes escalas.	Dificuldade em áreas com espectros semelhantes (telhado/solo).	Exige validação manual em algumas áreas.

Fonte: elaborado pelo autor (2024).

Esses estudos oferecem uma base sólida de técnicas e metodologias que serão adaptadas ao projeto proposto, com foco no cálculo automatizado de áreas construídas.

O estudo avança na aplicação de técnicas de sensoriamento remoto e classificação orientada a objeto para a identificação precisa de áreas construídas. Diferentemente de soluções que integram comparação automatizada com cadastros oficiais, este projeto se propõe a fornecer cálculos precisos de áreas construídas, permitindo ao usuário realizar manualmente a verificação com bases como o GeoPortal de Blumenau. Essa abordagem flexibiliza o uso da ferramenta para diferentes contextos municipais.

O uso de imagens de satélite de alta resolução, aliado a técnicas como classificação orientada a objeto, permite uma análise rápida, escalável e precisa. A ferramenta proposta simplifica o processo de fiscalização, destacando discrepâncias que podem ser verificadas com dados cadastrais existentes, como métricas de área do lote e topografia, disponíveis no GeoPortal de Blumenau.

As contribuições deste estudo dividem-se em teóricas e práticas, destacando a relevância científica e a aplicabilidade do projeto. Do ponto de vista teórico, o desenvolvimento de uma metodologia que combina

sensoriamento remoto e técnicas avançadas de processamento de imagens de satélite representa um avanço significativo nas áreas de geoprocessamento e gestão urbana. Essa abordagem não apenas aprimora o estado da arte no campo, mas também oferece uma base científica robusta para futuras pesquisas e aplicações relacionadas à análise de áreas construídas.

No âmbito prático, a ferramenta proposta apresenta um grande potencial para aplicação direta por prefeituras e órgãos governamentais. Ela pode ser utilizada para melhorar a atualização cadastral e, consequentemente, otimizar a arrecadação tributária. Além disso, ao contribuir para uma fiscalização mais eficiente, a solução proposta ajuda a controlar o crescimento urbano desordenado, proporcionando benefícios significativos tanto para a administração pública quanto para a qualidade de vida nas cidades.

O estudo busca, portanto, estabelecer uma solução prática e replicável, adaptável a diferentes realidades municipais, promovendo maior eficiência e justiça tributária.

3.2 METODOLOGIA

O trabalho será desenvolvido observando as seguintes etapas:

- a) levantamento bibliográfico: Revisar técnicas de análise de imagens de satélite, com destaque para a classificação orientada a objetos (GEOBIA), modelos de mistura espectral (MLME), redes neurais convolucionais e índices espectrais (como NDVI). Estudos como os de Santos, Pelegrina e Julião (2015) e Carvalho et al. (2024) serão analisados, por aplicarem GEOBIA para identificação e segmentação de áreas construídas;
- b) coleta e processamento de imagens de satélite: Utilizar o GeoPortal Blumenau para adquirir imagens de satélite de alta resolução e obter dados cadastrais dos lotes, como área cartográfica, número do lote, dimensões, e outras informações detalhadas. As imagens serão divididas em "folhas", conforme a divisão já existente no GeoPortal, que detalha a área urbana de Blumenau. Caso necessário, outras fontes, como Google Earth Pro, serão utilizadas para complementar as imagens. As imagens coletadas serão processadas utilizando bibliotecas Python, como *OpenCV* e *GDAL*, para eliminar ruídos e preparar os dados para análise, mantendo qualidade e precisão para a detecção de áreas construídas;
- c) identificação e seleção de técnicas: GEOBIA será adotada como a abordagem central para segmentação e classificação de áreas construídas, devido à sua capacidade de interpretar imagens com base em objetos geográficos, oferecendo maior precisão na identificação de padrões urbanos. Técnicas complementares, como redes neurais convolucionais (*TensorFlow*) e o MLME, serão avaliadas para melhorar os resultados;
- d) desenvolvimento do algoritmo de identificação de áreas construídas: O algoritmo, implementado em Python, combinará GEOBIA e aprendizado de máquina para segmentar as imagens em objetos geográficos e classificá-los como construções, vegetação ou solo. Bibliotecas como *TensorFlow* e *Scikit-learn* serão utilizadas para treinar o modelo, com base em padrões extraídos das imagens de satélite;
- e) cálculo da área construída: Após identificar as áreas construídas, a ferramenta calculará automaticamente a metragem dessas áreas dentro de cada folha da imagem. O objetivo é fornecer informações precisas de área construída, que poderão ser comparadas pelo usuário com as informações fornecidas pelo GeoPortal Blumenau, como área cartográfica, dimensões do lote e situação cadastral;
- f) A ferramenta será validada em cenários urbanos distintos (residenciais, comerciais e mistos), comparando os resultados calculados com dados do GeoPortal Blumenau e análises visuais das imagens de satélite. Isso permitirá avaliar a precisão da segmentação e classificação, ajustando o sistema conforme necessário.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção, são descritos os conceitos e teorias que fundamentam o estudo proposto, abordando as principais áreas de conhecimento que apoiam a pesquisa. A revisão bibliográfica está organizada em subseções, cada uma dedicada a um tema central para o desenvolvimento da metodologia do software e a análise das imagens de satélite para o cálculo de áreas construídas. Os assuntos incluem técnicas de sensoriamento remoto, classificação de imagens de satélite e a aplicação dessas tecnologias na gestão urbana e atualização de cadastros fiscais, com destaque para o uso do GeoPortal Blumenau como ferramenta central para obtenção de dados.

4.1 CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS DE SATÉLITE

A classificação de imagens de satélite é uma técnica essencial para identificar elementos específicos em imagens espaciais, como áreas construídas, vegetação ou solo exposto. Essa técnica envolve transformar dados brutos das imagens em informações úteis, segmentando e classificando os pixels ou objetos com base em características espectrais e espaciais. Entre as abordagens utilizadas, a classificação orientada a objetos (GEOBIA) se destaca como uma das mais eficazes. Segundo Santos, Pelegrina e Julião (2015), essa abordagem utiliza a segmentação para agrupar pixels em objetos significativos antes da classificação, o que aumenta a precisão em áreas urbanas complexas. No caso das imagens *GeoEye*, ferramentas como o *Feature Analyst* foram aplicadas para vetorizar edificações e compará-las com cadastros fiscais. Essa metodologia mostrou-se eficaz na identificação de construções e alterações em áreas urbanas, destacando sua robustez na análise de dados segmentados, como as "folhas" fornecidas pelo GeoPortal Blumenau.

Outra técnica importante é o Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME), amplamente utilizado para diferenciar diferentes tipos de cobertura do solo, como áreas construídas, solo e vegetação. Pedrassoli (2016) utilizam essa técnica em imagens *Landsat* para classificar áreas construídas, destacando sua capacidade de separar componentes espectralmente mistos em regiões urbanas densas. O MLME é particularmente eficaz em áreas onde há uma sobreposição espectral de diferentes tipos de cobertura, e essa metodologia será adaptada para complementar o método principal do projeto, melhorando a precisão na classificação do uso do solo.

Além disso, a análise de lacunaridade, que utiliza o algoritmo *Differential Box-Counting* (DBC), é uma técnica que tem sido aplicada para detectar padrões de ocupação do solo, especialmente em áreas com variações complexas. Barros Filho e Amorim (2015) demonstram o uso dessa técnica para identificar diferenças sutis na ocupação urbana. Embora a lacunaridade tenha limitações em escalas maiores, ela é útil para detectar variações espaciais em áreas heterogêneas, o que pode ser particularmente relevante para o mapeamento de áreas construídas em diferentes contextos urbanos.

Essas três técnicas, classificação orientada a objetos, MLME e análise de lacunaridade, serão combinadas no projeto para maximizar a precisão na detecção e classificação de áreas construídas em imagens de satélite, permitindo uma análise mais detalhada e confiável das áreas urbanas e suas respectivas modificações.

4.2 SENSORIAMENTO REMOTO E PROCESSAMENTO DE IMAGENS

O sensoriamento remoto é uma ferramenta essencial para a aquisição de dados espaciais a partir de satélites ou aeronaves, permitindo o estudo detalhado de áreas urbanas. As imagens obtidas por meio dessa tecnologia apresentam informações espectrais que podem ser processadas para identificar características como construções, vegetação e outros elementos do solo. No contexto deste projeto, imagens de alta resolução, como as disponibilizadas pelo GeoPortal Blumenau, serão adquiridas e submetidas a um pré-processamento rigoroso. Esse processo incluirá a remoção de ruídos, correção de distorções e aprimoramento da qualidade das imagens. Ferramentas como GDAL e *OpenCV* serão utilizadas para ajustar as imagens e dividi-las em "folhas", garantindo compatibilidade com a estrutura urbana detalhada da cidade.

Entre as técnicas utilizadas no processamento de imagens, destaca-se o NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), amplamente empregado para distinguir vegetação de superfícies construídas. Segundo Santos, Pelegrina e Julião (2015), essa técnica desempenha um papel fundamental na separação de áreas verdes e telhados, contribuindo significativamente para melhorar a precisão na classificação dos dados. Essa abordagem será integrada ao projeto para otimizar a identificação de áreas construídas e vegetação em diferentes cenários urbanos.

Além disso, serão implementadas técnicas de aprendizado de máquina, como redes neurais convolucionais (CNNs), utilizando frameworks como *TensorFlow* ou *Scikit-learn*. Essas redes são especialmente eficazes para identificar padrões complexos em áreas urbanas, permitindo a classificação precisa de construções, mesmo em contextos heterogêneos e de difícil interpretação. A combinação dessas tecnologias com o sensoriamento remoto garantirá a qualidade e a precisão dos dados processados, formando a base para o desenvolvimento do software e a análise confiável de áreas construídas.

4.3 APLICAÇÃO DE TÉCNICAS NO PROJETO

A combinação das técnicas revisadas será cuidadosamente adaptada para atender às necessidades do projeto proposto, permitindo a aplicação prática no contexto urbano. Para a classificação das áreas construídas, será utilizada uma abordagem híbrida que integra o Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) e a classificação orientada a objetos. O MLME será empregado para separar componentes espectrais mistos em áreas urbanas, enquanto a classificação orientada a objetos segmentará as imagens, identificando e distinguindo com precisão as áreas construídas.

Após a identificação, o cálculo das áreas construídas será realizado de forma automatizada, utilizando os objetos previamente classificados. Essa etapa garantirá que os dados obtidos sejam mensurados com precisão,

permitindo que os usuários validem as informações com base nos registros fornecidos pelo GeoPortal Blumenau. A automatização desse processo eliminará potenciais inconsistências e otimizará a análise das áreas urbanas.

Por fim, as técnicas aplicadas serão validadas através da comparação dos resultados com inspeções manuais e dados de referência disponibilizados pelo GeoPortal Blumenau. Essa validação assegurará a replicabilidade e a aplicabilidade da metodologia proposta em diversos contextos urbanos, garantindo que as soluções desenvolvidas sejam robustas e eficazes. A aplicação dessas técnicas proporcionará maior confiabilidade no cálculo das áreas construídas, contribuindo diretamente para o aprimoramento da fiscalização tributária e para uma gestão urbana mais eficiente e moderna.

REFERÊNCIAS

AFONSO, José Roberto Rodrigues; ARAUJO, Erika Amorim; NÓBREGA, Marcos Antonio Rios da. **O imposto predial e territorial urbano (IPTU) no Brasil: um diagnóstico sobre o grau de aproveitamento do imposto como fonte de financiamento local**. Cambridge: Lincoln Institute of Land Policy, 2013. Disponível em: <https://www.lincolninst.edu/publications/working-papers/imposto-predial-e-territorial-urbano-iptu-no-brasil>. Acesso em: 23 nov. 2024.

BARROS FILHO, Mauro Normando Macêdo; AMORIM, Luiz. **Diferenciação de padrões morfológicos urbanos através da análise da lacunaridade de subfragmentos de imagens de satélite QuickBird**. Revista Brasileira de Cartografia, Rio de Janeiro, v. 67, n. 3, p. 655-668, 2015.

CARVALHO, Wesley dos Santos; ÁVILA, Maria Eduarda Basílio de; FELIX, Ana Beatriz de Almeida; TOGNON, Andressa; GRAU, Paola Ferreira Guimarães; NOGUEIRA, Rafael Henrique; GUILHERME, Denilson de Oliveira. **Classificação baseada em objeto (GEOBIA) utilizando imagem de satélite CBERS 4A WPM em uma área urbana**. Revista Políticas Públicas & Cidades, v. 13, n. 2, e1051, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.23900/2359-1552v13n2-108-2024>. Acesso em: 25 set. 2024.

DIMASSI, Mohammad; SAMHAT, Abed Ellatif; ZARAKET, Mohammad; HAIDAR, Jamal; SHUKOR, Mustafa; GHANDOUR, Ali J. **Buildings Classification using Very High Resolution Satellite Imagery**. arXiv preprint, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2111.14650>. Acesso em: 24 set. 2024.

G1. **Censo do IBGE: 57% das cidades do Brasil cresceram desde 2010**; veja ranking. G1 Economia, 2023. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/censo/noticia/2023/06/28/censo-do-ibge-57percent-das-cidades-do-brasil-cresceram-desde-2010-veja-ranking.ghtml>. Acesso em: 4 dez. 2024.

PEDRASSOLI, Julio Cesar. **Habitação e sensoriamento remoto: uma análise da expansão urbana na RMSP por meio de imagens de satélite aplicando o modelo linear de mistura espectral**. 2016. 229 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

SANTOS, Teresa; PELEGRINA, Marcos; JULIÃO, Rui Pedro. **Atualização cadastral dirigida utilizando imagens de satélite de alta resolução espacial**. Revista Brasileira de Cartografia, Rio de Janeiro, v. 67, n. 2, p. 435-444, 2015.

SILVA, Paulo Henrique; ALVES, Fernanda Santos. **Expansão urbana e desafios para a sustentabilidade nas cidades brasileiras**. Cuadernos de Educación, 2023. Disponível em: <https://ojs.cuadernoseducacion.com/ojs/index.php/ced/article/view/4074>. Acesso em: 3 dez. 2024.