

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO FACULDADE DE  
ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E CONTABILIDADE  
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA

PEDRO FELIPE FOGAÇA

UTILIZAÇÃO DE REDES NEURAIS CONVOLUCIONAIS PARA A MELHORA DA  
ARRECADAÇÃO DO IMPOSTO SOBRE PROPRIEDADE PREDIAL E TERRITORIAL  
URBANA (IPTU): A EXPERIÊNCIA DE CARUARU.

SÃO PAULO

2022

PEDRO FELIPE FOGAÇA

UTILIZAÇÃO DE REDES NEURAIS CONVOLUCIONAIS PARA A MELHORA DA  
ARRECADAÇÃO DO IMPOSTO SOBRE PROPRIEDADE PREDIAL E TERRITORIAL  
URBANA (IPTU): A EXPERIÊNCIA DE CARUARU.

Monografia apresentada à Faculdade de  
Economia, Administração e Contabilidade  
da Universidade de São Paulo, como  
requisito parcial para a obtenção do título  
de Bacharel em Ciências Econômicas.

Orientador: Prof. Dr. Danilo Camargo Igliori

SÃO PAULO  
2022

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

Fogaça, Pedro Felipe

Utilização de redes neurais convolucionais para a melhora da arrecadação do imposto sobre propriedade predial e territorial urbana (IPTU): A experiência de Caruaru.

– São Paulo, 2022.

Nº de páginas: 50

Área de concentração: Economia

Orientador: Prof. Dr. Danilo Camargo Igliori

Monografia – Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Atuária, Universidade de São Paulo, Graduação em Ciências Econômicas.

1. Economia regional e urbana 2. Imposto sobre Propriedade Predial e Territorial Urbana (IPTU). 3. Redes Neurais Convolucionais

À minha esposa Ana Carolina Pekny, à minha mãe, Sonia Nadalin, e aos meus irmãos Pedro Luckas Fogaça e Matheus Fogaça. Sem vocês, poucas coisas na minha vida seriam possíveis.

## AGRADECIMENTOS

Em retrospectiva, três pessoas foram essenciais para eu chegar até aqui: Madá, a pessoa que insistiu que eu deveria estudar e me deu o caminho, João Ohanes, meu primeiro chefe, pai de consideração e mestre, e Wladimir Nadalin, por seu incentivo incondicional. Minha vida foi transformada profundamente por vocês três. Devo muito aos meus avós (em especial ao meu avô João, umas das mais teimosas e inteligentes pessoas que eu conheci, e à minha avó Ivone, possivelmente a pessoa mais doce com quem tive o prazer de dividir momentos), à minha madrinha, à tia Ju e ao tio Caco (meus pais postiços nas horas vagas), ao tio Gringo e à tia Guara (também meus pais postiços nas horas vagas) e à Dona Ana. Não poderia deixar de agradecer enormemente meus irmãos de caminho Fábio, Augusto, Thiago e Celso. Todo o pessoal da ETESP, Federal, The Lames (essenciais em todos os momentos), Mototáxi, a Academia, Bacon, Mad Waves, Sole, The Hexx (Léo, Beto, Muds e Bruno) e infinitas outras pessoas que passaram pela minha vida e modificam minha forma de encarar o mundo e como eu me encaro.

Agradeço meu professor orientador Danilo Camargo Igliori, aos diversos professores que me acompanharam em todos esses anos, à Prefeitura de Caruaru (incluindo seus Servidores, Secretários e Prefeita), meus colegas de curso e à Universidade de São Paulo.

## **SUMÁRIO**

<b>RESUMO .....</b>	<b>4</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>5</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>6</b>
1.1 O IPTU .....	6
1.2 A IMPORTÂNCIA DO IPTU .....	8
1.3 OBJETIVO E JUSTIFICATIVA.....	11
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>12</b>
<b>3 MATERIAL E MÉTODO.....</b>	<b>16</b>
3.1 DESCRIÇÃO DO FUNCIONAMENTO DO SOFTWARE.....	16
3.1.1 ARQUITETURA BÁSICA .....	16
3.1.2 DETECÇÃO AUTOMÁTICA DE ÁREA CONSTRUÍDA.....	18
3.1.3 CADASTRO IMOBILIÁRIO .....	21
3.1.4 CONSTUROÇÕES / LOTES / PLANTA GENÉRICA DE VALORES .....	22
3.1.5 DIVERGÊNCIAS .....	25
3.2 IMPLEMENTAÇÃO EM CARUARU .....	27
<b>4 RESULTADOS.....</b>	<b>29</b>
<b>5 DISCUSSÃO .....</b>	<b>35</b>
5.1 LIMITAÇÕES DO SOFTWARE E LIMITAÇÕES OPERACIONAIS .....	35
5.2 DISCUSSÕES SOBRE OS RESULTADO E EXPANSÃO DO MODELO.....	38
5.3 ALTERNATIVA METODOLÓGICA.....	40
<b>6 CONCLUSÕES .....</b>	<b>42</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>44</b>
<b>APÊNDICE 1 – CARACTERÍSTICAS DAS IMAGENS DE SATÉLITE.....</b>	<b>47</b>
<b>APÊNDICE 2 – CONDOMÍNIOS E BAIRROS UTILIZADOS NO TREINAMENTO..</b>	<b>48</b>

## RESUMO

### UTILIZAÇÃO DE REDES NEURAIS CONVOLUCIONAIS PARA A MELHORA DA ARRECADAÇÃO DO IMPOSTO SOBRE PROPRIEDADE PREDIAL E TERRITORIAL URBANA (IPTU): A EXPERIÊNCIA DE CARUARU.

O Imposto sobre Propriedade Predial e Territorial Urbana (IPTU) é uma das principais fontes de receita própria dos mais de cinco mil municípios do Brasil. As bases de dados utilizadas pelas prefeituras para o cálculo do IPTU são defasadas, uma vez que a inclusão de novas construções e alterações de edificações depende da autodeclaração dos contribuintes e de processos onerosos que envolvem aerolevantamentos, bem como uma fiscalização ativa das prefeituras. Como consequência, tem-se uma situação subótima de arrecadação. A cidade de referência será a de Caruaru e utilizarei uma rede neural que identifica telhados para achar construções novas entre os anos de 2016 e 2021. Com isso, a Prefeitura terá um mapa para regularizar os imóveis e aumentar o *pool* de arrecadação sem necessariamente alterar a alíquota do imposto. Como subproduto, a Prefeitura também poderá identificar para onde a cidade cresceu e, assim, distribuir de forma otimizada equipamentos públicos, transporte e saneamento.

**Palavras-chave:** Economia regional e urbana. Redes neurais convolucionais, Imposto sobre Propriedade Predial e Territorial Urbana (IPTU).

## ABSTRACT

### UTILIZAÇÃO DE REDES NEURAIS CONVOLUCIONAIS PARA A MELHORA DA ARRECADAÇÃO DO IMPOSTO SOBRE PROPRIEDADE PREDIAL E TERRITORIAL URBANA (IPTU): A EXPERIÊNCIA DE CARUARU.

The Urban Land and Property Tax (IPTU) is one of the main sources of revenue for the more than five thousand Brazilian municipalities. The databases used by municipalities to calculate the IPTU are outdated, since the inclusion of new constructions and alterations to existing building depends on the self-declaration by taxpayers and onerous processes that involve aerial surveys, as well as active supervision by municipalities. Consequently, a suboptimal situation of tax collection exists. The reference city will be Caruaru and I will use a neural network that identifies roofs to find new buildings between the years 2016 and 2021. As a result, the City Hall will have a map to regularize properties and increase their collection pool without necessarily changing the tax rate. As a by-product, the City Hall will also be able to identify areas where the city has grown and, thus, optimally distribute public equipment, transport and sanitation.

**Key words:** Regional and urban economy. Convolutional neural networks. Urban Land and Property Tax (IPTU).

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 O IPTU

A Constituição Federal em seu art. 156 versa que a responsabilidade de cobrança do IPTU é dos municípios. O mesmo artigo estabelece o caráter progressivo do imposto em relação ao valor do imóvel e que existem alíquotas diferentes de acordo com a localização do imóvel na planta da cidade. Parte do código tributário nacional (CTN), a lei nº 5.172/1966, define o IPTU nos seguintes artigos:

**“Art. 32.** O imposto, de competência dos Municípios, sobre a propriedade predial e territorial urbana tem como fato gerador a propriedade, o domínio útil ou a posse de bem imóvel por natureza ou por acessão física, como definido na lei civil, localizado na zona urbana do Município.

§ 1º Para os efeitos deste imposto, entende-se como zona urbana a definida em lei municipal; observado o requisito mínimo da existência de melhoramentos indicados em pelo menos 2 (dois) dos incisos seguintes, construídos ou mantidos pelo Poder Público:

- I – meio-fio ou calçamento, com canalização de águas pluviais;
- II – abastecimento de água;
- III – sistema de esgotos sanitários; I
- V – rede de iluminação pública, com ou sem posteamento para distribuição domiciliar;
- V – escola primária ou posto de saúde a uma distância máxima de 3 (três) quilômetros do imóvel considerado.

§ 2º A lei municipal pode considerar urbanas as áreas urbanizáveis, ou de expansão urbana, constantes de loteamentos aprovados pelos órgãos competentes, destinados à habitação, à indústria ou ao comércio, mesmo que localizados fora das zonas definidas nos termos do parágrafo anterior.

**Art. 33.** A base do cálculo do imposto é o valor venal do imóvel.

Parágrafo único. Na determinação da base de cálculo, não se considera o valor dos bens móveis mantidos, em caráter permanente ou temporário, no imóvel, para efeito de sua utilização, exploração, aformoseamento ou comodidade.

**Art. 34.** Contribuinte do imposto é o proprietário do imóvel, o titular do seu domínio útil, ou o seu possuidor a qualquer título.”

Ainda segundo o CTN, em seu art. 201, o não pagamento do IPTU gera inscrição do contribuinte na dívida ativa do município. Vale ressaltar que o art. 172 do CTN diz que a dívida expira após 5 anos. Os municípios ainda estabelecem condições especiais para isenção do tributo em determinadas condições dos proprietários, de tamanho de imóveis ou regiões da cidade, entre outras situações. Todas as propostas de isenção devem ser ratificadas por cada câmara municipal e expressas na planta genérica de valores da cidade, um documento que possui o valor unitário do metro quadrado da cidade em suas diferentes regiões.

## 1.2 A IMPORTÂNCIA DO IPTU

As receitas tributárias dos mais de 5.500 municípios brasileiros são provenientes da cobrança de taxas, de contribuições de melhoria e dos impostos municipais, como o Imposto sobre Serviços (ISS), Imposto sobre Transmissão de Bens Imóveis (ITBI) e Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU), entre outros.

Independentemente do seu tamanho ou da sua população, todos os municípios dependem de informações seguras quanto à ocupação de seu território para executar parte de suas competências, como o planejamento urbanístico, a fiscalização de posturas e a arrecadação do Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU). Essa necessidade não se esgota com a obtenção de informações de maneira pontual, pois o caráter dinâmico das cidades impõe ao Poder Público a necessidade de atualizá-las periodicamente. Ou seja, a criação de um banco de dados da ocupação do território e a sua atualização são essenciais ao exercício pelo município de suas funções.

A existência de um cadastro imobiliário atualizado é essencial à correta cobrança do IPTU. Como o valor cobrado do proprietário, do titular do domínio útil ou do possuidor é calculado a partir do valor do imóvel, incluindo o terreno e as construções nele existentes, percebe-se que o exercício da competência tributária pelo município dependerá de um cadastro de contribuintes que possua informações seguras quanto às edificações localizadas em determinado terreno, pois, caso elas não constem daquele cadastro ou constem com dimensões menores do que as existentes, o município estará cobrando o imposto em valor inferior ao que deveria ser exigido.

A diferença entre o modelo legalmente previsto e a realidade fática é um problema recorrente em muitas prefeituras. Idealmente, o município leva ao conhecimento da Prefeitura sua intenção de realizar uma obra nova ou uma reforma em construção já existente. Com a análise e aprovação pelos órgãos competentes e a execução da obra ou da reforma, a Prefeitura estará ciente da mudança na configuração de determinado terreno, podendo levar tal alteração aos seus bancos de dados, entre os quais o cadastro imobiliário. Com a atualização dos dados das construções existentes, também serão atualizados o valor venal do imóvel e, consequentemente, o valor constante do lançamento tributário.

Contudo, não é esse o cenário que se observa nas cidades brasileiras. Como muitos municípios executam obras novas ou reformas clandestinas ou irregulares, existe uma massa considerável de imóveis em desconformidade com as plantas ou outros dados constantes dos arquivos das prefeituras, levando a um lançamento incompatível com a realidade e à cobrança de valores inferiores aos que seriam efetivamente devidos.

O lançamento inadequado do IPTU é um problema básico da arrecadação municipal. Como não é considerada a realidade do imóvel, mas sim a configuração existente no banco de dados da Prefeitura, o lançamento mostra-se inadequado, e o valor pago pelo contribuinte, inferior àquele que seria devido. Essa ineficiência no cálculo e na arrecadação de impostos contribui para a ineficácia e a defasagem da própria Administração Pública, pois, deixando de cobrar daqueles que deveriam ser onerados, o Estado sobrecarrega outros cidadãos ou empresas.

Essa situação não é nova e já foi identificada em diversos estudos a respeito da tributação pelos municípios. Segundo AFONSO, ARAUJO e DA NOBREGA (2012), além da defasagem do banco de dados, a arrecadação de IPTU representa cerca de 24% da arrecadação municipal, com uma variação de acordo com o tamanho das cidades. Municípios pequenos tendem a se beneficiar menos do tributo. Ainda de acordo com esse estudo, o IPTU representa 0,44% do PIB em 2007. Ferramentas como um cadastro imobiliário atualizado e uma planta genérica de valores moderna podem aumentar consideravelmente a arrecadação.

Além da importância para o lançamento do IPTU, as informações sobre a ocupação do território são essenciais à atividade fiscalizatória. Uma das principais e, ao mesmo tempo, mais difíceis funções do Poder Público, é justamente a fiscalização. De fato, seja pela ausência de recursos humanos, seja pela falta de recursos materiais, incluindo entre os últimos investimentos de natureza tecnológica, a Administração Pública encontra sérios entraves à execução dessa função. Quanto à fiscalização de condutas relacionadas à ocupação dos lotes ou glebas pelos proprietários, ela fica extremamente prejudicada quando faltam aos órgãos da Prefeitura informações que indiquem a existência de uma infração caracterizada pela edificação em desconformidade com a legislação municipal.

Somado à consequência natural da fiscalização, correspondente à adequação ou correção de condutas, está o impacto financeiro que ela traz ao município. Apesar

de a correta cobrança do IPTU ser o aspecto financeiramente mais sensível da elaboração ou atualização de um banco de dados sobre a ocupação do território do município, também haverá um impacto financeiro em decorrência da atividade fiscalizatória, pois, além das taxas que os proprietários de construções irregulares deverão pagar para regularizá-las, a fiscalização inevitavelmente resultará na aplicação de multas. Importa ressaltar que essas multas ou taxas não se resumem às aquelas relacionadas à infração do código de obras do município ou lei similar, pois também alcançam as eventuais infrações ambientais relacionadas à edificação realizada sem a aprovação pelos órgãos competentes.

Por fim, para além da arrecadação e da fiscalização, as informações sobre a ocupação do território são essenciais ao planejamento urbanístico pela Prefeitura. Para além de fundamentais a qualquer planejamento, os dados se revestem de especial importância ao tratarmos de questões urbanísticas, pois diversos instrumentos previstos na legislação dependem de informações específicas. Podemos citar, a título de exemplo, o parcelamento, a edificação ou a utilização compulsória em caso de imóvel subutilizado e a incidência do IPTU progressivo no tempo se o proprietário permanecer inerte. Todas essas situações, para serem concretizadas, necessitam de informações confiáveis.

### 1.3 OBJETIVO E JUSTIFICATIVA

Dada a análise geral da importância do tributo, podemos concluir que o IPTU é subutilizado como ferramenta de arrecadação para a manutenção dos municípios. O objetivo do trabalho é mapear construções irregulares na cidade de Caruaru visando o aumento do *pool* de arrecadação do imposto sem necessariamente alterar a alíquota do imposto. Isso tornaria a cobrança justa do ponto de vista da administração e do contribuinte, tirando o peso de possíveis assimetrias de cobrança graças a falhas no cadastro imobiliário e na planta genérica de valores. A adequação da arrecadação também serve ao propósito de ampliar a transparência, algo fundamental quando se trata de um tributo que é cobrado diretamente dos cidadãos, e não embutido em outros preços ou taxas (como é o caso do ISS, por exemplo). Finalmente, o aumento de arrecadação pode resultar em melhoria dos serviços e equipamentos públicos e, por consequência, na qualidade de vida da população.

Outro tema abordado neste trabalho é a utilização de tecnologias escaláveis, acessíveis e de ponta para auxiliar a administração pública. Soluções e técnicas de baixo custo podem endereçar problemas estruturais históricos da Administração Pública. Isso significa que com a mesma estrutura vigente e com pouco investimento, a otimização da arrecadação pode ser alcançada.

Como último tópico, pode-se destacar que a análise pormenorizada do caso de Caruaru pode servir como guia para uma tentativa de uniformização da cobrança do IPTU no território nacional, mesmo que a responsabilidade de elaboração e cobrança seja municipal. Órgãos como a Frente Nacional de Prefeitos, entre outros, podem auxiliar na difusão de resultados por todas as prefeituras e conscientizar prefeitos sobre a necessidade de reformas. A existência de deficiências na cobrança do IPTU, quando analisados o tamanho da cidade, sua localização geográfica e a região administrativa do Brasil, é evidente. O aumento da participação do imposto na composição do PIB significa, em primeira instância, aumento da capacidade de autofinanciamento dos municípios. Em segunda instância, além da ampliação da transparência junto aos contribuintes, significa a melhora das condições de vida e, potencialmente, de diversos índices de desenvolvimento.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

No que diz respeito ao autofinanciamento dos municípios do Brasil, vê-se que existem poucos estudos que vão a fundo nos principais impostos que compõem as fontes de receitas próprias que um município pode ter. A maior parte dos estudos foca na principal fonte de arrecadação, que é o ISS (Imposto sobre Serviços de Qualquer Natureza), dado que ele representa quase 50% das fontes de financiamento próprio do município, segundo AFONSO, CORREIA, RAIMUNDO, DAVID, ARAUJO e SANTOS (1998).

A literatura mais moderna sobre o IPTU e tributação começa com GIFFONI e VILELLA (1987), num texto que antecede a Constituição de 1988, mas delineia como seriam as bases de arrecadação da tributação de renda e patrimônio no Brasil vindouro. Nesse texto, os autores deixam claro os principais problemas que a arrecadação do IPTU enfrentaria e enfrenta até hoje, como falta de aparatos técnicos e a pressão popular.

AFONSO, ARAUJO e NOBREGA (2013) traçam um perfil geral do IPTU cobrados nos municípios brasileiros, incluindo valores totais, médios e per capita. Os autores também frisam a heterogeneidade dos municípios brasileiros em tamanho e arrecadação e como isso dificulta a criação de um único modelo nacional, ainda que o IPTU seja um dos mais tradicionais impostos nacionais. Um argumento particularmente interessante do texto é a tentativa de compressão do ônus político envolvendo a cobrança de IPTU *versus* o dinheiro destinado aos municípios pela União. Como o IPTU é um imposto cobrado diretamente do cidadão, seu ônus político em um reajuste é muito grande. Em contrapartida, cada município recebe dinheiro de seus estados e da União para a manutenção de suas estruturas.

O estudo é dividido em duas partes. A primeira parte, além de uma análise numérica da arrecadação, traça um histórico do IPTU e seu conceito de progressividade e como isso não é aproveitado, e, consequentemente, como a arrecadação não é otimizada. Levanta também a questão de como as prefeituras lidam com o cadastro imobiliário e a planta genérica de valores, instrumentos primordiais para avaliar e cobrar o IPTU. A segunda parte do texto foca nas disposições legais e bases de cálculo para o imposto. No entanto, faltam exemplos

práticos de como cidades cobram os impostos. Muitas questões como fachadas, pavimentos, beirais, cidades litorâneas, entre outras, não foram abordadas e podem ser melhor exploradas futuramente.

DE CESARE (2005) afirma que o ISS é o principal componente de autofinanciamento dos municípios e compara a situação de arrecadação de impostos similares ao IPTU brasileiro com outros países do mundo, como Reino Unido e Austrália (evidenciando o baixo desempenho do Brasil) e mostra o custo político interno de aprovação do IPTU, que deve ser discutido e aprovado pela Câmara de Vereadores dos municípios.

Existe um trabalho de CARVALHO (2006) que versa sobre um estudo econômétrico de 16 capitais do Brasil que permite a exploração da efetividade da progressividade do IPTU nessas cidades. Permite também observar problemas sistemáticos comuns como problemas no cadastro das edificações da cidade, que normalmente são autodeclaradas, indicando a necessidade de uma estrutura de fiscalização robusta:

[...]verificou-se que as variáveis: renda per capita municipal, alíquotas legais, cobertura cadastral, grau de urbanização, gasto per capita em habitação e urbanismo e localização do município têm efeito positivo no nível de arrecadação do IPTU e, em contrapartida, o nível de transferências correntes per capita tem impacto negativo.

Como conclusão, temos que o Brasil tem um longo caminho a percorrer no quesito arrecadação e administração do IPTU. O imposto não deveria ter somente efeito arrecadatório, mas sim , segundo CARVALHO (2006): “[...] deve ser utilizado como um instrumento importante da política urbana municipal.”

O trabalho de CARVALHO (2018), é enfatizada a necessidade de autofinanciamento dos municípios para suportar estruturas como saúde, limpeza urbana, entre outras, que poderiam ser beneficiadas por uma melhor dinâmica de arrecadação de IPTU. Ele explicita como o imposto deveria servir para diminuir desigualdades de renda, urbana e a forma pela qual o federalismo promove possibilidades de melhoria em estruturas municipais. Focando em 53 cidades, o

estudo delineia pormenorizadamente medidas legislativas e administrativas que poderiam otimizar a arrecadação nos níveis municipal e federal. O artigo também levanta uma série de motivos pelos quais a melhoria de arrecadação de IPTU é negligenciada por governantes em diversas esferas de poder.

Comparando-se os diversos textos que compõem essa revisão, encontra-se seguintes os pontos relevantes e cruciais sobre o tema:

- Repasse direto de divisas da União para os municípios: Verba do Governo Federal direcionada a estados e municípios para a manutenção da estrutura administrativa e burocrática. Isso gera um incentivo negativo para o município melhorar suas próprias fontes de arrecadação, já que recebe esse aporte sem contrapartidas;

- O IPTU é um imposto cobrado diretamente do contribuinte: O IPTU é um boleto pago pelo contribuinte em um período de um ano. Ele não está embutido indiretamente em outros valores e cobranças. No caso do ISS, por exemplo, o tributo está embutido no valor final de notas fiscais. Isso gera um passivo eleitoral muito grande para as Gestões corrente, onde a população simplesmente não quer pagar mais um imposto;

- Dificuldade com equipes técnicas das prefeituras: As prefeituras de cidades pequenas não têm recursos para montar um corpo técnico para produzir documentos como a Planta Genérica de Valores (que define as regiões de valores na cidade as quais serão a base de cobrança do IPTU e de eventuais isenções) ou um Cadastro Imobiliário sólido. Como o IPTU é basicamente um imposto autodeclarado (para se construir uma casa, você deve aprovar o projeto na prefeitura e, ao término da construção, um fiscal da prefeitura deve atestar que as condições do projeto foram atendidas), sua cobrança ótima se daria com fiscalização ativa e base de dados confiável para resguardar e dinamizar a arrecadação. No entanto, o que se tem é que muitas construções pelas cidades se dão de forma ilegal e sua regularização é dificultada pela escassez de funcionários e de recursos financeiros, entre outros fatores.

Diante desse cenário, desponta um tema importante, qual seja, a utilização de novas tecnologias na Administração Pública. Métodos modernos podem dinamizar, melhorar e tornar mais transparente a administração de um município, como evidenciado por VONK, GEERTMAN e SCHOT (2007) em suas discussões sobre processos implementados em algumas empresas e cidades. Nos processos analisados pelos autores, os resultados não foram os esperados, pois não ficou clara a importância do diálogo entre o público geral e a administração. A importância da utilização de geoinformações e geodados, juntamente com a disseminação dos resultados da implementação de novas tecnologias para a população, garantem credibilidade para as ações dos governantes e maior participação e força popular nos processos decisórios dos rumos de uma cidade.

Relacionado à importância da transparência da administração pública, o artigo de DE LIMA, DAMIÃO e DE OLIVEIRA (2017) trata dos resultados da implementação do projeto “GEOSAMPA” pela Prefeitura do Município de São Paulo, em que um rico e extenso banco de dados foi implementado com a utilização de softwares livres. Isso proporcionou uma revolução na condução de discussões de geodados na cidade de São Paulo e abriu dados importantes para a população. Vale ressaltar que o Município de São Paulo possui recursos próprios para custear um projeto de tamanha magnitude e necessidades específicas de uma megalópole que justificam tamanha mobilização de recursos monetários, físicos e humanos. Em municípios menores, ferramentas muito mais simples já ajudariam sobremaneira a administração dos ativos urbanos por parte das prefeituras.

### 3 MATERIAL E MÉTODO

#### 3.1 DESCRIÇÃO DO FUNCIONAMENTO DO SOFTWARE

##### 3.1.1 ARQUITETURA BÁSICA

O *Buildsacan* é um *software* proprietário destinado ao processo de detecção automática de telhados numa foto de satélite e de divergências em cadastro imobiliário de municípios. Utilizando inteligência artificial (especificamente redes neurais convolucionais de segmentação), o *software* detecta automaticamente a área construída em fotos de aerolevantamento e/ou satélite, *drasticamente* reduzindo o trabalho humano de georreferenciamento de construções.

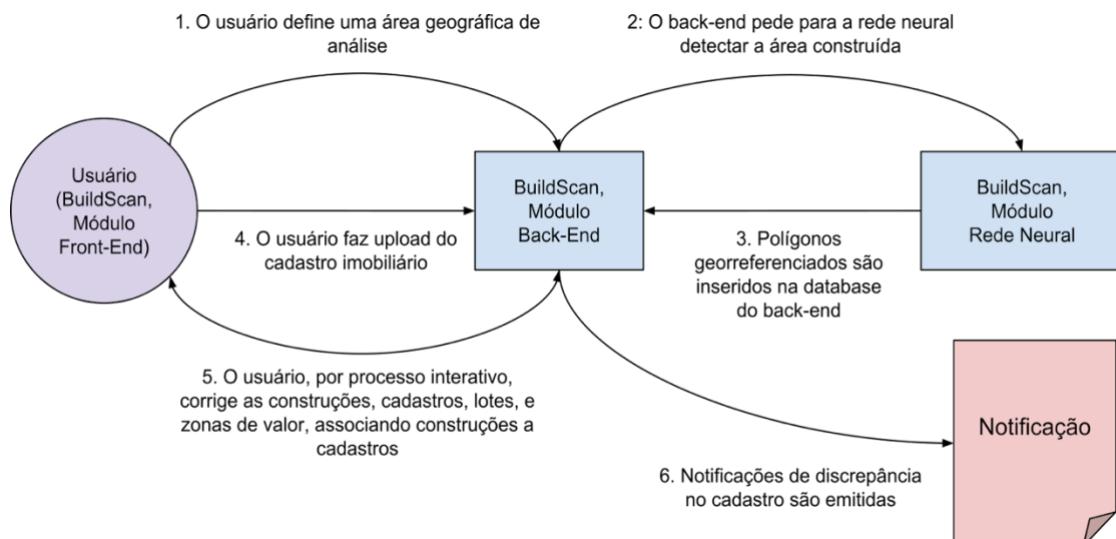


Figura 1: Workflow básico do Software

Além de realizar a detecção automática de construções, o *software* permite que o usuário 1) importe, edite, e faça o georreferenciamento do cadastro imobiliário da cidade; 2) edite manualmente polígonos de contorno georreferenciados de construções, lotes, e zonas da planta genérica de valores; 3) associe construções e lotes a cadastros imobiliários de forma intuitiva; e 4) detecte divergências no cadastro, emitindo comunicados endereçados individualmente. A Figura 1 ilustra este *workflow* básico.

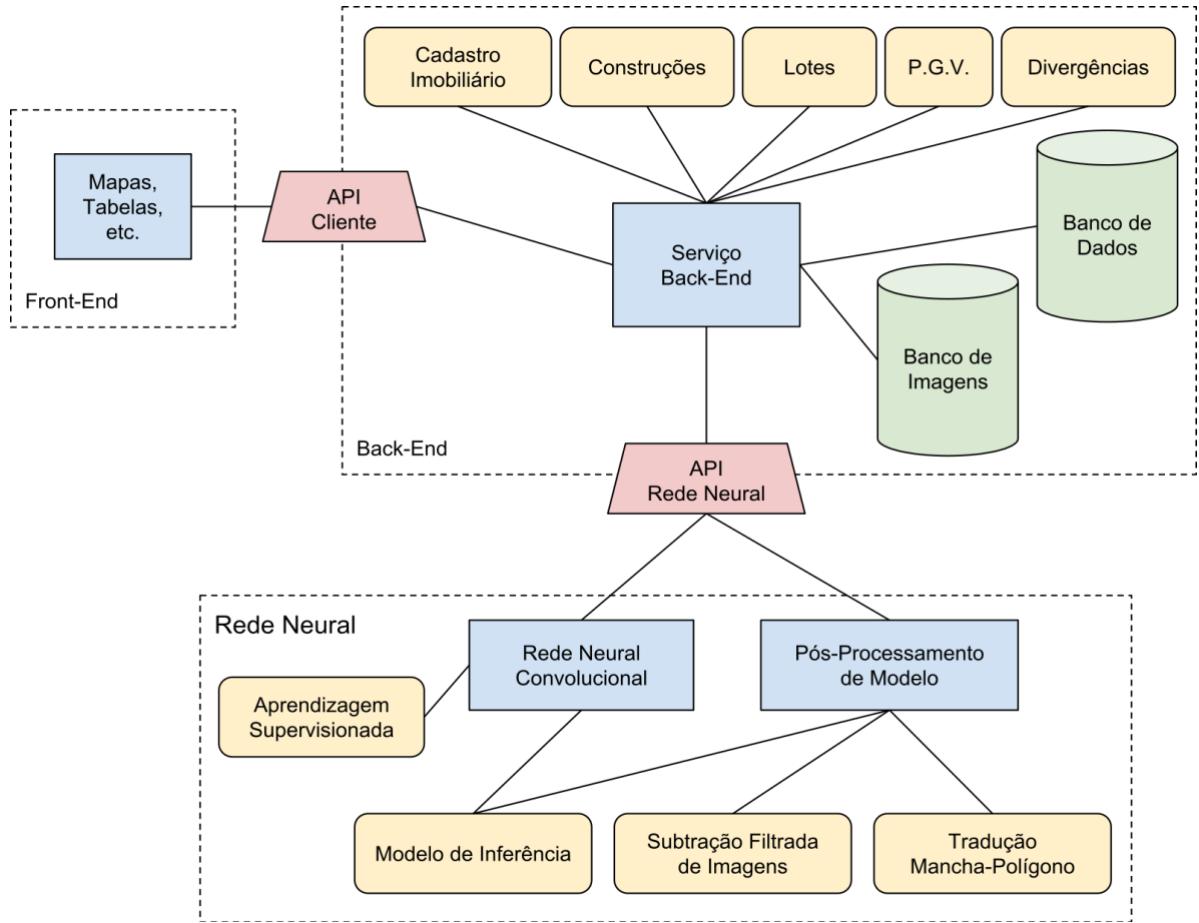


Figura 2: Arquitetura de software do BuildScan.

A Figura 2 mostra a arquitetura do software. Os três módulos principais são 1) o *front-end* do usuário, que permite a interação intuitiva com o sistema através de mapas e tabelas editáveis; 2) o *back-end*, que implementa toda funcionalidade de relação entre os objetos (construções, lotes, cadastros etc.), processa todas as imagens de terreno, e guarda as informações em um banco de dados, e 3) a rede neural, que processa imagens de terreno para automaticamente detectar a área construída.

### 3.1.2 DETECÇÃO AUTOMÁTICA DE ÁREA CONSTRUÍDA

Assim que o usuário começa a utilizar o *software*, ele define uma área geográfica e um ano base de análise como mostra a Figura 3. Com isso, imagens específicas para a região e anos selecionados são adquiridas em empresas especializadas, seu *upload* é feito no *software* e a rede neural é treinada para processar posteriormente as imagens de satélite com o objetivo de detectar telhados e a áreas construídas.

Já ao abrir o *software* pela primeira vez, após o treino e execução do *software*, o usuário terá acesso aos polígonos georreferenciados de toda nova construção (ou expansão significativa) que foi construída entre o ano base e o ano corrente.

Name:	<input type="text" value="Exemplo"/> 
Layers:	<ul style="list-style-type: none"><li><input checked="" type="checkbox"/> 2016 (Exemplo)</li><li><input checked="" type="checkbox"/> 2008 (Exemplo)</li><li><input checked="" type="checkbox"/> 2010 (Exemplo)</li><li><input checked="" type="checkbox"/> 2018 (Exemplo)</li><li><input checked="" type="checkbox"/> 2018 (Georef) (Exemplo)</li><li><input checked="" type="checkbox"/> 2018 (Exemplo)</li><li><input checked="" type="checkbox"/> 2017 (Exemplo)</li><li><input checked="" type="checkbox"/> 2010 (Exemplo)</li></ul> <p>Hold down "Control", or "Command" on a Mac, to select more than one. </p>
City:	<input type="text" value="Cidade Exemplo"/>
Contact:	<input type="text" value="Prefeitura de Exemplo"/>
Address suffix:	<input type="text" value="Exemplo"/>
North bound lat:	<input type="text" value="-23.561469"/>
East bound lng:	<input type="text" value="-46.035458"/>
South bound lat:	<input type="text" value="-23.574059"/>
West bound lng:	<input type="text" value="-46.051964"/>
Region:	<input type="text" value="BR"/>
Language:	<input type="text" value="pt-BR"/>
 	

Figura 3: Seleção de Área de Análise (por Latitudes e Longitudes) e Ano Base e Corrente (Layers) na Criação de um Projeto no BuildScan.

A rede neural precisa de dois dados de entrada para detectar área construída: 1) as imagens georreferenciadas da área de análise; e 2) uma imagem de referência (de treinamento), também georreferenciada, onde a área construída é sinalizada por pixels coloridos. A rede neural usa a imagem de referência para modelar, através de um processo de aprendizagem supervisionada, quais pixels das imagens do terreno contém construções. A imagem de referência deve cobrir uma pequena parcela da área de análise, já que a rede neural fará o trabalho de detectar construções no resto da área.

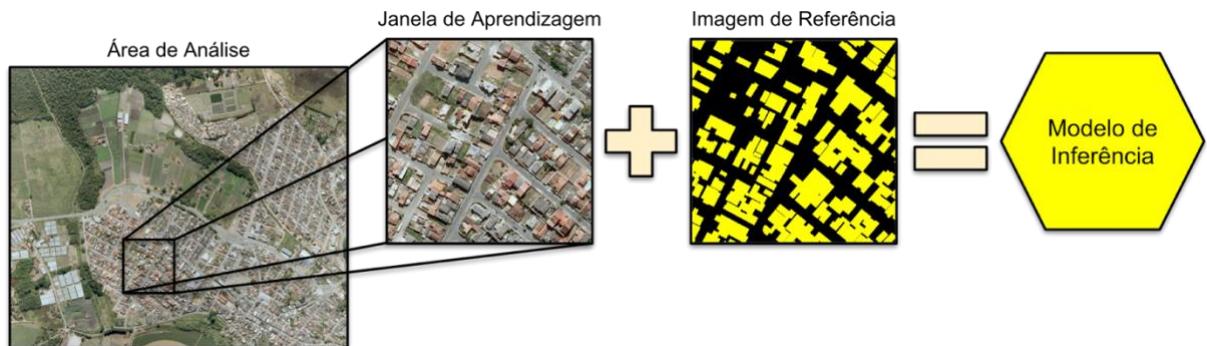


Figura 4: Treinamento da Rede Neural.

A Figura 4 mostra como os dados de entrada da rede neural são estruturados. Uma janela da área geográfica de análise é selecionada para alimentar a aprendizagem supervisionada. Com esta janela e uma imagem de referência correspondente, o processo de aprendizado gera um modelo que pode ser usado para inferência, isto é, detectar área construída no resto da área de operação que *não* foi utilizada no aprendizado.

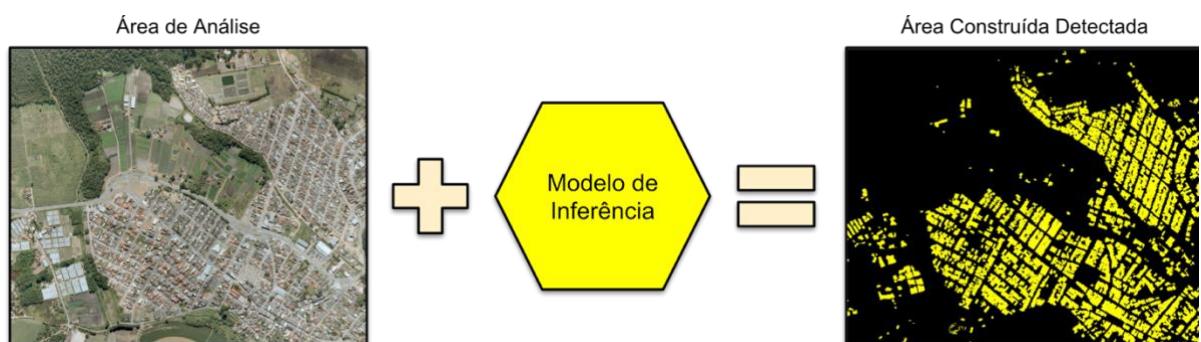


Figura 5: Aplicação do Modelo de Inferência.

A Figura 5 mostra como o modelo de inferência é usado para detectar área construída no restante da área de análise. A Figura 6 mostra como a área construída do ano corrente e do ano base são processadas por um algoritmo de subtração filtrada para calcular a diferença entre a área construída dos dois anos, e, finalmente, um algoritmo de cálculo de casco convexo adaptado transforma as “manchas” de área construída em polígonos georreferenciados.

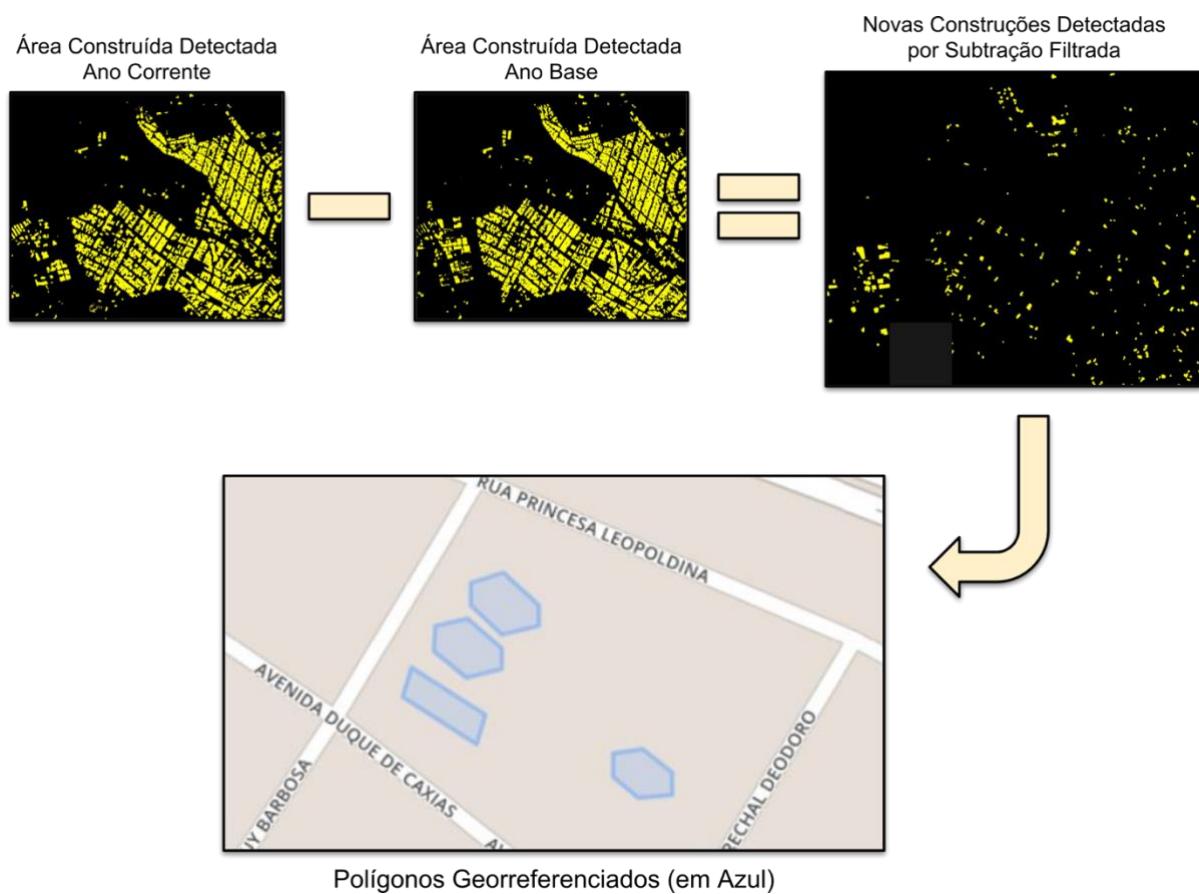


Figura 6: Criação de Polígonos Georreferenciados de Novas Construções.

Esta funcionalidade, essencial para o funcionamento do *software*, permite a detecção automática de construções, não exigindo que seus usuários façam esse trabalho totalmente manualmente.

### 3.1.3 CADASTRO IMOBILIÁRIO<sup>1</sup>

Depois da definição da área de interesse, em paralelo com o processo de detecção automática de construções, o usuário pode importar o seu cadastro imobiliário através de um upload de arquivo CSV ou entrada manual.

ID	Inscrição	Rua	Nro.	Proprietário	Compromissário	Área Declarada	Área Associada	Localização
52402 (salvar)	532432472006700	Rua Joaquim Arias	294	(ocultado)	(ocultado)	169.8€	0m² / 0	-23.572248 / -46.043237 (estimar)
52403 (editar)	532432418016500000	Rua Prof. Sandra Regina Freitas Cardoso	83	(ocultado)	(ocultado)	122.8m²	0m² / 0	-23.568945 / -46.046382 (estimar)
52404 (editar)	532432418017500000	Rua Prof. Sandra Regina Freitas Cardoso	95	(ocultado)	(ocultado)	180.8m²	0m² / 0	-23.568914 / -46.046282 (estimar)
52405 (editar)	532432418018500000	Rua Prof. Sandra Regina Freitas Cardoso	85	(ocultado)	(ocultado)	62.9m²	0m² / 0	-23.568973 / -46.046344 (estimar)
52406 (editar)	532432418019500000	Rua Prof. Sandra Regina Freitas Cardoso	75	(ocultado)	(ocultado)	58.5m²	0m² / 0	-23.568677 / -46.046246 (estimar)

Figura 7: Edição do Cadastro Imobiliário.

A Figura 7 mostra um cadastro imobiliário já importado, em revisão. O software permite que cada cadastro seja georreferenciado automaticamente (com resultados mostrados na coluna *Localização*), para que eles apareçam no mapa na forma de marcadores verdes, e, posteriormente, sejam associados com construções e lotes.

<sup>1</sup> O cadastro imobiliário foi fornecido pela própria Prefeitura com dados anonimizados referentes aos proprietários dos terrenos e edificações e já estão em minha posse de acordo com uma parceria efetuada com a Secretaria de Finanças do município, onde o software foi doado para a Prefeitura.

### 3.1.4 CONSTUROÇÕES / LOTES / PLANTA GENÉRICA DE VALORES

Assim que o cadastro imobiliário for importado, revisado, e georreferenciado, o usuário pode revisar os polígonos das construções e associá-las aos cadastros correspondentes. São estas associações que permitirão que o software detecte quaisquer divergências entre a metragem declarada e a metragem detectada (mais detalhes sobre esse processo na próxima seção).

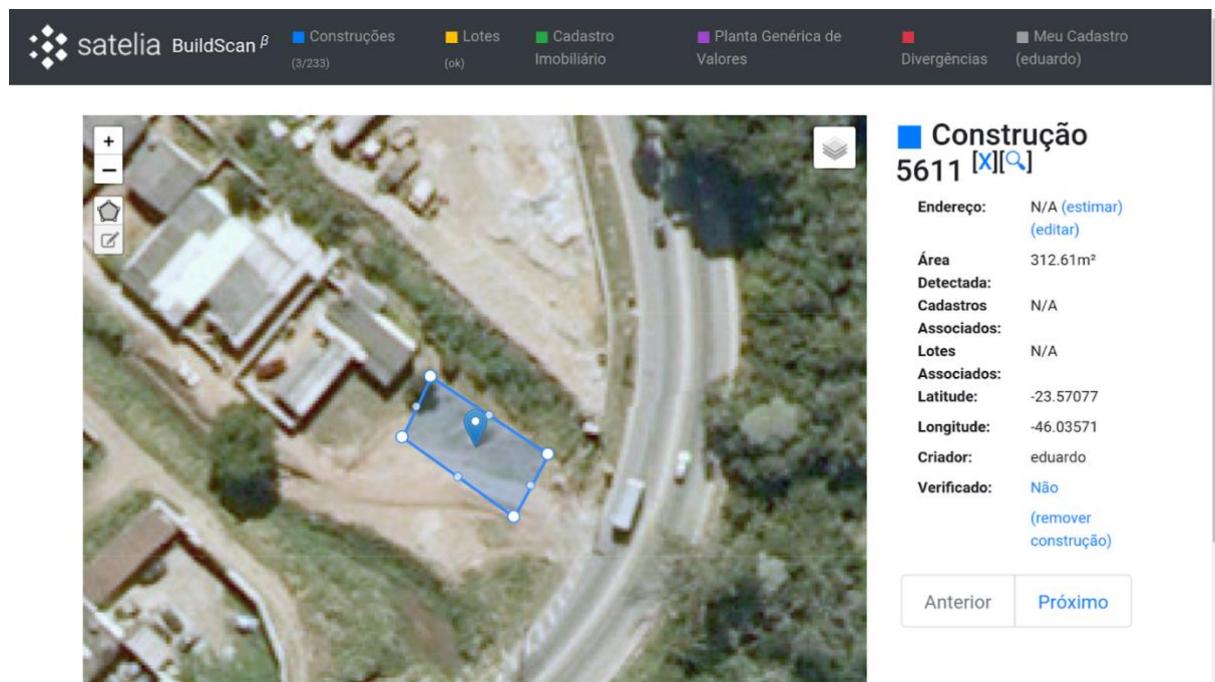


Figura 8: Edição de Polígono de Construção.

A Figura 8 mostra como o usuário pode corrigir os polígonos manualmente caso a rede neural deixe de detectar alguma construção nova ou as bordas da construção possam ser definidas com mais precisão. Os círculos brancos nos cantos do polígono podem ser arrastados, o que automaticamente causa a área estimada da construção a ser recalculada. Na mesma janela é possível criar novas construções.

A Figura 9 mostra como associar uma construção a um cadastro imobiliário: basta focar em uma construção (Construção 5590, neste exemplo), clicar no marcador verde do cadastro correspondente, e clicar em associar. Feita esta associação, esta construção será contabilizada no somatório de área construída do cadastro associado.

Dependendo do caso de uso, pode ser mais conveniente para o usuário desenhar os lotes das cidades, e associar construções a ele.

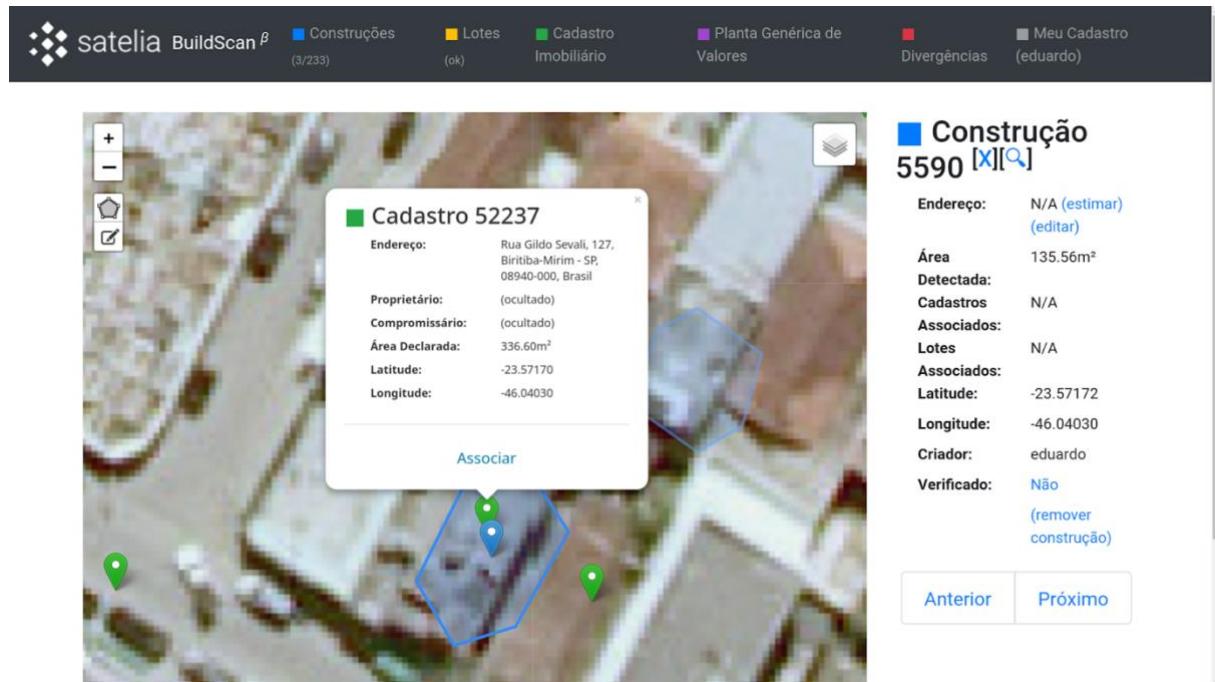


Figura 9: Associação entre Construção e Cadastro Imobiliário.

A Figura 10 mostra um exemplo desta funcionalidade (onde a Construção 5691 está contida pelo Lote 11). Assim como no caso das construções, é possível associar o lote a um cadastro imobiliário. Quando a associação for feita desta maneira, a área de todas as construções de um lote será contabilizada por um cadastro a qual ela esteja associada.

Ainda na visão do mapa, o usuário pode criar zonas de valor de acordo com a planta genérica de valores da cidade, e obter uma previsão dinamicamente calculada da arrecadação de cada zona. A Figura 11 mostra um exemplo desta funcionalidade. As zonas de valor são completamente dinâmicas, isto é, não é necessário associar construções a elas manualmente. Assim que uma construção é criada dentro da zona de valor, sua área construída é contabilizada naquela zona.

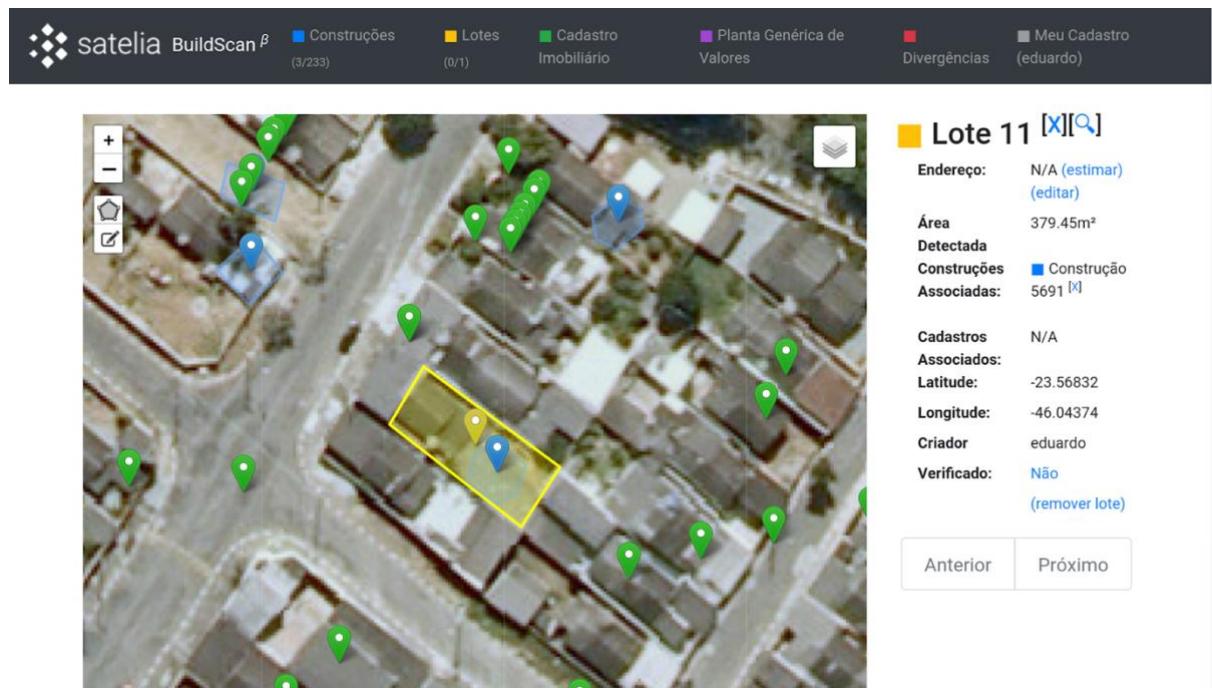


Figura 10: Uso de Lote para Agrupar Construções.

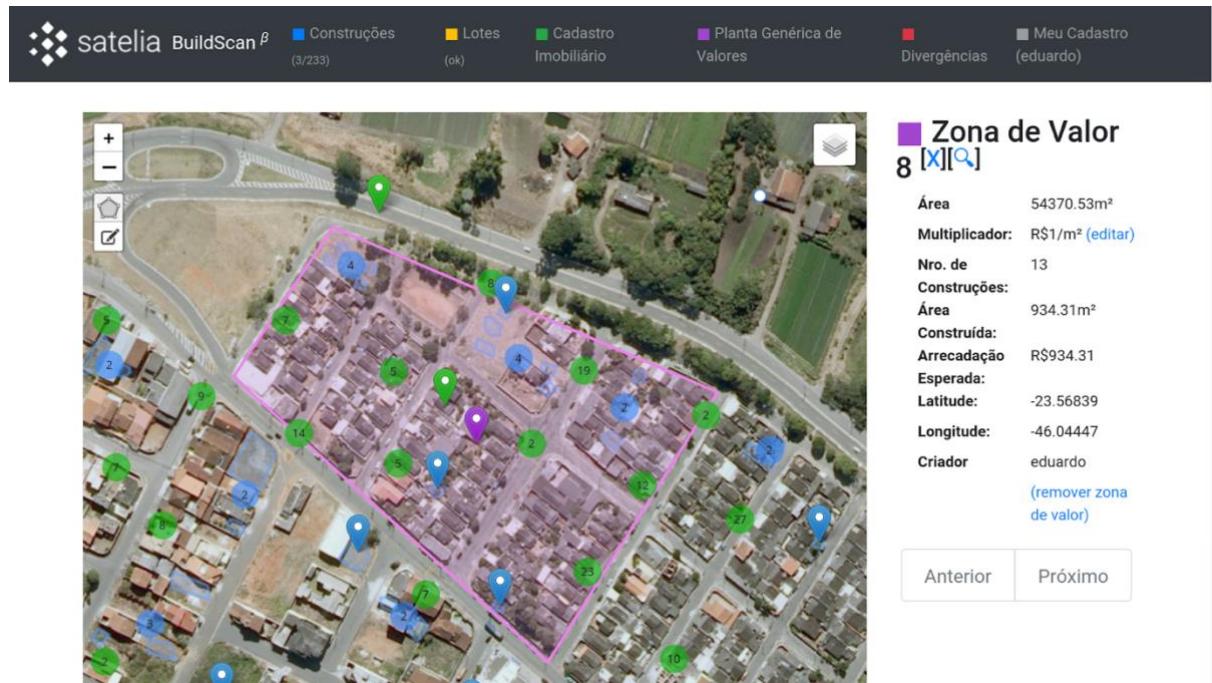


Figura 11: Uso de Zona de Valor para Estimar Arrecadação Esperada.

### 3.1.5 DIVERGÊNCIAS

Uma vez terminado o trabalho de associar as construções aos cadastros imobiliários, o output do sistema para o usuário é uma lista de divergências. Com ela, o usuário poderá emitir as notificações apropriadas.

Idealmente, o cadastro imobiliário da Prefeitura deveria conter todas as construções autorizadas e com alvará para moradia do município, incluindo sua localização exata, metragem construída e tributável e outras características que compõem o cálculo do valor final do IPTU (fachada, beirais, acabamentos etc.). O cruzamento dos achados do *software* com o cadastro imobiliário da Prefeitura levará à identificação de quatro possíveis situações: 1) A construção não existia base, existe em atual e não está o cadastro no imobiliário da Prefeitura, gerando uma situação de não arrecadação; 2) A construção existia no ano base, existe no ano atual e não está no cadastro imobiliário a Prefeitura, gerando uma situação de não arrecadação; 3) A área de uma edificação aumentou no ano base em comparação ao ano atual e o valor declarado na Prefeitura é menor do que o encontrado, gerando arrecadação inferior; e 4) O imóvel encontrado e as informações sobre ele estão de acordo com o cadastro imobiliário da Prefeitura.

A Figura 12 mostra os três tipos de divergências que o *software* apura diretamente (1, 2 e 3 do parágrafo anterior): cadastros imobiliários com área construída divergente (i.e., o somatório das áreas das construções diretamente associadas ao cadastro mais o somatório das áreas das construções associadas através de lotes excede a área declarada, casos 1 e 3), e construções que não constam no cadastro imobiliário, caso 2.

**satelia BuildScan  $\beta$**  Construções Lotes Cadastro Planta Genérica de Divergências Meu Cadastro  
 (4/233) (ok) Imobiliário Valores (eduardo)

## Cadastros Imobiliários com Discrepância:

ID	Endereço	Área Declarada	Lotes Assoc.	Constr. Assoc.	Área Detectada	Discrepância	Notificação
52617	R. Mal. Deodoro, 128, Biritiba-Mirim - SP, 08940-000, Brasil	143.2m <sup>2</sup>	11	N/A	244.5m <sup>2</sup>	70.7%	<a href="#">Download</a>

## Construções sem Cadastro Imobiliário:

ID	Endereço	Área Detectada	Notificação
5762	R. Trinta e Um de Dezembro, 111, Biritiba-Mirim - SP, 08940-000, Brasil	80.1m <sup>2</sup>	<a href="#">Download</a>
5764	R. Shiguelo Mori, 44, Biritiba-Mirim - SP, 08940-000, Brasil	756.2m <sup>2</sup>	<a href="#">Download</a>
5766	R. Francisco F Lopes, 236, Biritiba-Mirim - SP, 08940-000, Brasil	60.1m <sup>2</sup>	<a href="#">Download</a>
5691	R. Duque de Caxias, 15, Biritiba-Mirim - SP, 08940-000, Brasil	244.5m <sup>2</sup>	<a href="#">Download</a>

[Fazer download de todas notificações](#)

Figura 12: Divergências Detectadas no Cadastro Imobiliário.

A Figura 13 mostra um exemplo de uma notificação de construção não-constante no cadastro.



Figura 13: Exemplo de Notificação Emitida pelo BuildScan.

### 3.2 IMPLEMENTAÇÃO EM CARUARU

Duas imagens, referentes aos anos de 2016 e 2021, período escolhido devido ao art. 174 da CTN que impede a cobrança do tributo com um intervalo compreendido em um período maior que 5 anos, foram adquiridas através de uma empresa especializada em obtenção e tratamento de fotos de satélite.

A Prefeitura de Caruaru possui um cadastro imobiliário sólido até o ano de 2009, situação declarada pela própria administração. Assim, é razoável supor que uma quantidade considerável de construções encontradas entre 2016 e 2021, não estão de acordo com as regras municipais para a cobrança de IPTU e nem presentes no cadastro da Prefeitura<sup>2</sup>.

Para iniciar a execução da rede neural, foram selecionados seis condomínios específicos, localizados na região urbana de Caruaru<sup>3</sup>. Essa seleção foi baseada em cinco condomínios que expandiram grandemente o número de construções no intervalo de cinco anos e em um condomínio que expandiu pouco sua área, visando a melhorar a eficiência e a plasticidade da rede neural, que entenderá melhor a existência ou não de um telhado quando executada autonomamente no restante do território.

Para criar o arquivo necessário para alimentar e treinar a rede neural convolucional (*training set*), foi realizado um processo manual, visando minimizar erros de identificação para criar uma espécie de gabarito contendo a quantidade mais próxima ao total de construções. Portanto, polígonos foram desenhados e georreferenciados manualmente em volta de cada telhado, incluindo lajes de prédios e galpões, identificados por um operador do software, nos dois anos de escolha da análise (2016 e 2021).

---

<sup>2</sup> O cadastro imobiliário anonimizado foi fornecido pela prefeitura através uma parceria efetuada com a Secretaria de Finanças do município, onde o software foi doado para a repartição.

<sup>3</sup> Segundo o IBGE, a área urbana do município de Caruaru possui aproximadamente 85km<sup>2</sup>. Dado obtido em 11/06/2022 através do endereço: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/redes-geograficas/15789-areas-urbanizadas.html>

Após o processo manual concluído e com a rede treinada, executamos novamente o *software* na região dos seis condomínios com o objetivo de testar a robustez do treino. Como temos um número próximo da totalidade de telhados encontrados proveniente do processo de marcação manual, se o resultado da quantidade de polígonos da rede neural for próximo ao do processo manual, significa que a rede é bem-sucedida em reconhecer telhados.

O próximo passo foi executar a rede neural, já treinada, em seis bairros diferentes, também selecionados pela prefeitura, aumentando assim a região de atuação da rede neural. Ainda nessa etapa, algumas correções manuais de regiões e telhados são necessárias para aprimorar a performance da rede neural. Em seguida, o *software* foi executado em toda a região urbana da cidade de Caruaru. O cruzamento com a base cadastral do município também foi feito, explicitando divergências e incompletudes do cadastro.

## 4 RESULTADOS

Foram realizadas as marcações manuais de telhados nos seis condomínios selecionados para a composição do *training set* (gabarito) necessário para a rede neural reconhecer telhados autonomamente. Pelo processo de marcação manual, no ano de 2016 foram encontradas 570 construções e, no ano de 2021, foram encontradas 983 construções, representando um aumento de 72% na quantidade de construções no período. Posteriormente, a rede neural foi treinada com esses achados e executada autonomamente. Como resultado, a rede encontrou 542 construções em 2016 e 941 em 2021, representando um aumento de aproximadamente 73%. Considerando a pequena discrepância encontrada entre o processo manual e o processo automatizado pela rede neural, e uma inspeção visual por sobreposição de imagens realizada por um técnico para garantir que a distribuição de telhados na marcação manual e a marcação da rede neural são semelhantes, pode-se afirmar que a rede neural apresenta resultados robustos.

A rede neural foi executada também em seis bairros selecionados e correções manuais necessárias também foram realizadas nesta etapa. O objetivo das correções foi melhorar a performance da rede numa subsequente execução. Após a segunda execução posterior as correções manuais da rede neural, no ano de 2016 foram encontradas 22.781 construções e, no ano de 2021, 28.857 construções, significando um aumento de 27% no número de construções no período selecionado.

Finalmente, a rede neural foi utilizada na totalidade da área urbana da cidade de Caruaru. No ano de 2021, foram achados um total de 126.569 construções, gerando o mapa da Figura 8 e, plotado na área urbana de Caruaru, a Figura 9. No ano de 2016, foram encontradas 110.064 construções. Com isso, temos o primeiro resultado numérico esperado. Foram encontradas 16.465 construções novas entre os anos de 2021 e 2016. Na sequência, o *software* realizou a subtração das imagens, evidenciando somente as novas construções surgidas no período de análise, gerando o mapa da Figura 10 e as novas construções plotadas na área urbana de Caruaru na Figura 11. Vale reforçar que os telhados aqui são convertidos em polígonos georreferenciados automaticamente pelo *software*, oferecendo dados de latitude e longitude por polígono.



Figura 8: Todas as construções encontradas pela rede neural no ano de 2021

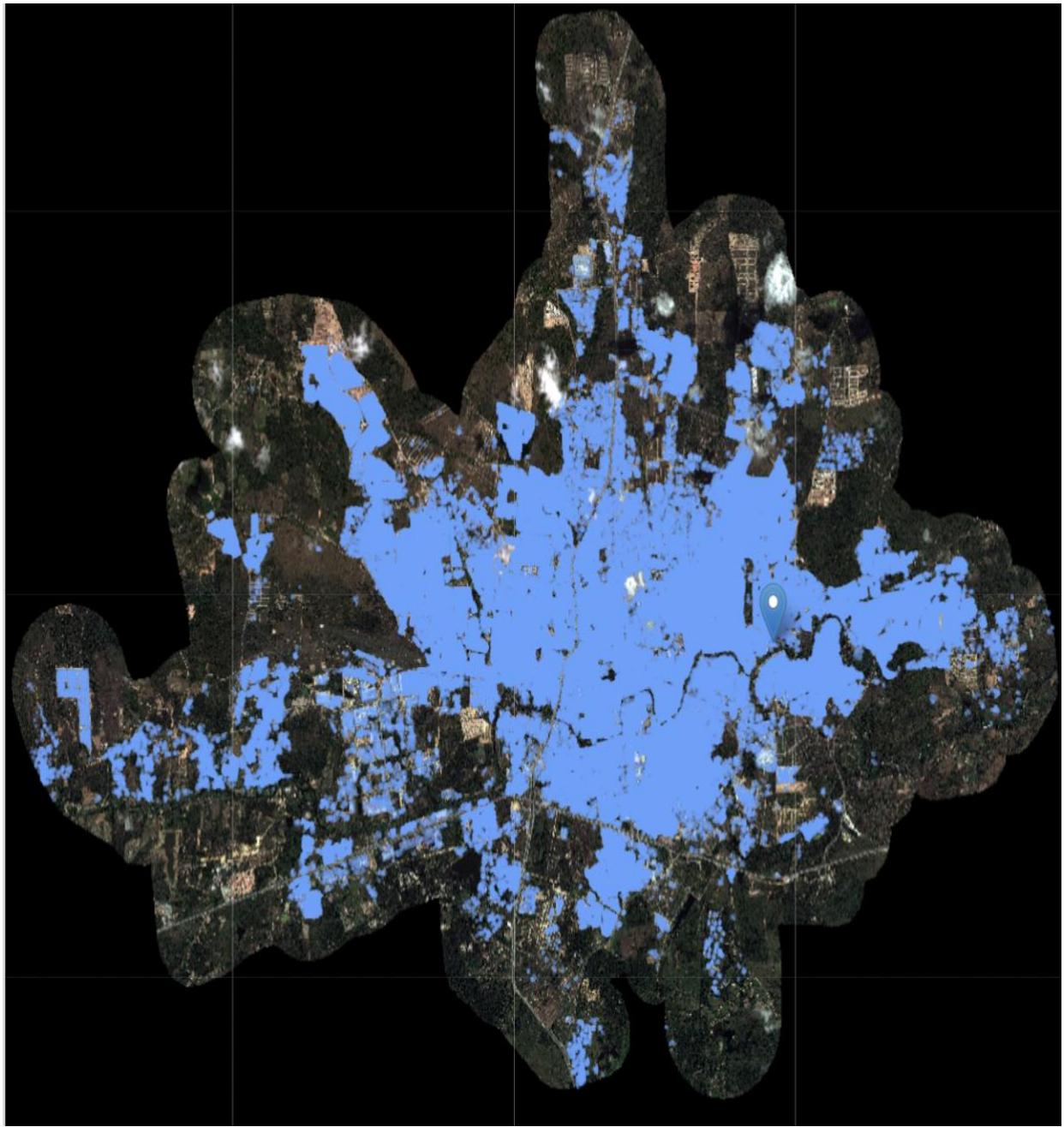


Figura 9: Todas as construções encontradas pela rede neural no ano de 2021 plotadas na área urbana da cidade de Caruaru

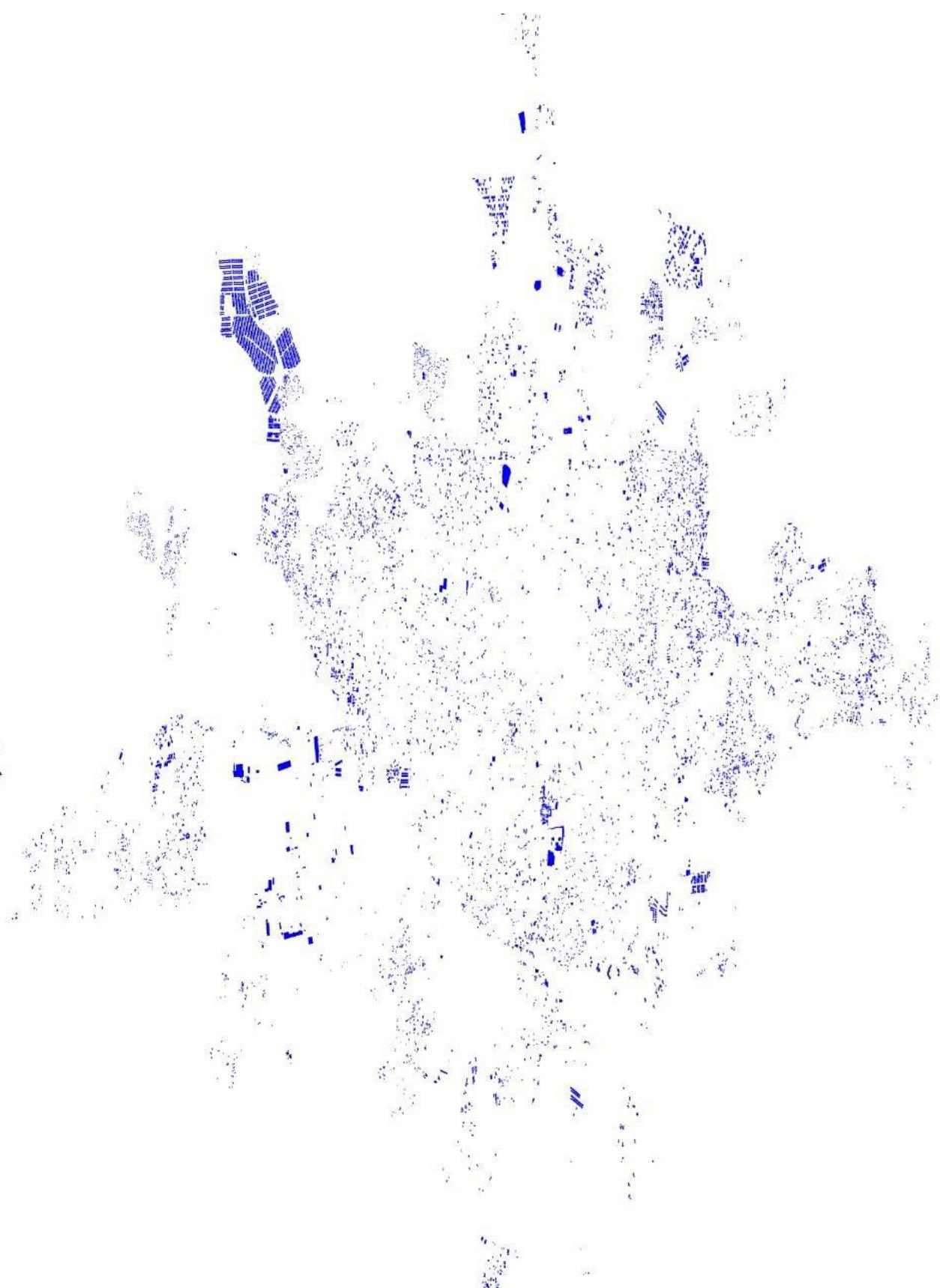


Figura 10: Resultado da subtração das construções achadas entre os anos de 2016 e 2021. A figura representa somente as novas construções

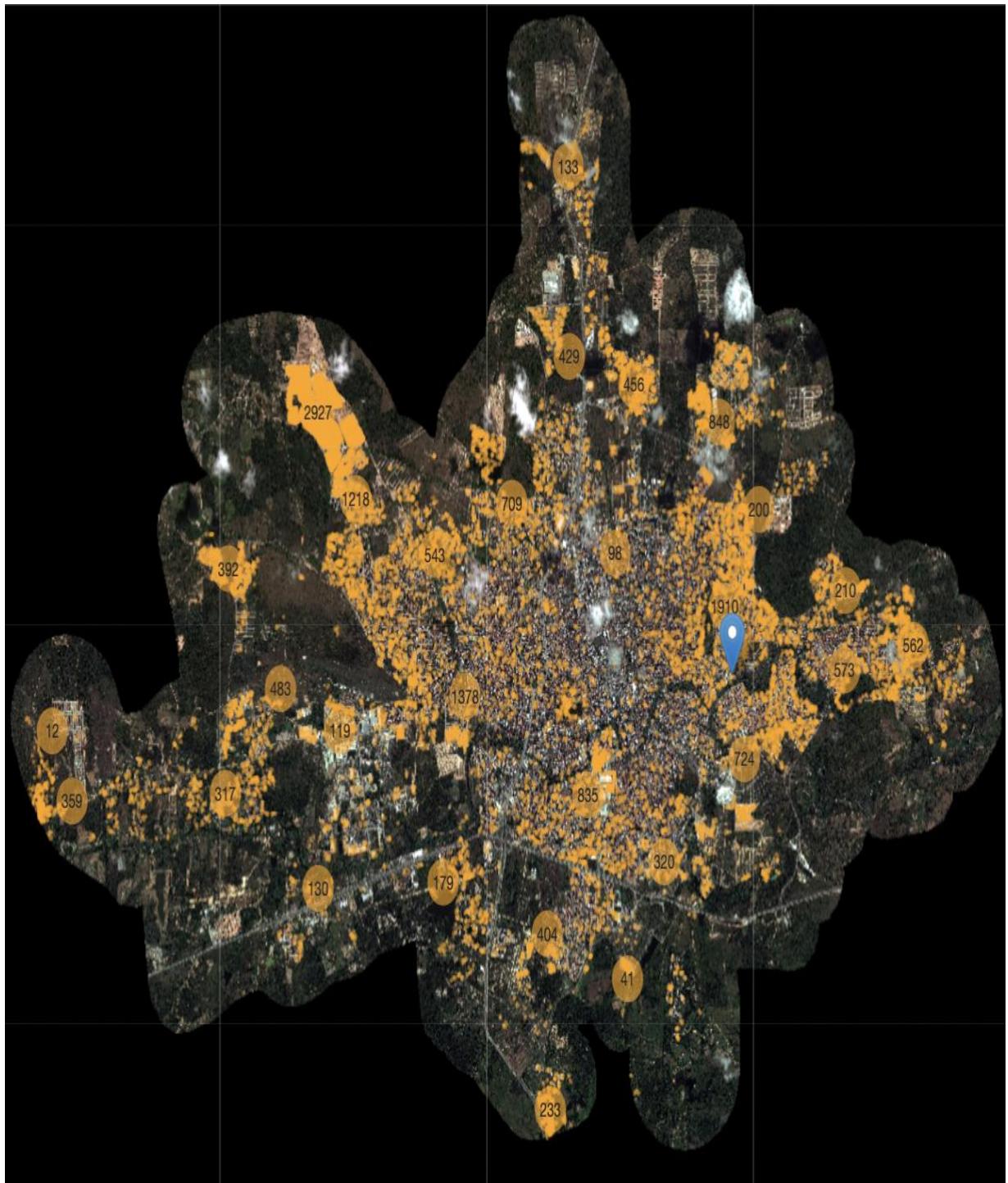


Figura 11: Resultado da subtração das construções achadas entre os anos de 2016 e 2021. A figura representa somente as novas construções plotadas na área Urbana da cidade Caruaru

Em uma primeira análise, observamos que as 16.465 novas construções encontradas no ano de 2021 representam um aumento de aproximadamente 15% no total de edificações do município, em relação a 2016.

No cadastro imobiliário recebido enviado pela Prefeitura da cidade, um total 213.793 entradas foi encontrado, tanto de imóveis de pessoa física quanto de pessoas jurídicas. A discrepância do número de entradas no cadastro com o número de construções encontradas pela análise do *software* se deve provavelmente a diferença do número de pavimentos, unidades por andares de prédios e lotes de que possuem mais de uma residência sob o mesmo telhado.

Com o arquivo de cadastro imobiliário fornecido pela prefeitura pudemos extrair algumas métricas. O total arrecadado pela cidade no ano de 2021 foi cerca de R\$ 105 milhões de reais. O IPTU médio, por edificação, na cidade de Caruaru é de aproximadamente R\$ 493,00. O IPTU per capita é de aproximadamente R\$ 285,00, onde a população de Caruaru é de aproximadamente 369 mil habitantes segundo estimativas e projeções do IBGE<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> Dados obtidos em 11/06/2022 no endereço <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/caruaru>

## 5 DISCUSSÃO

### 5.1 LIMITAÇÕES DO SOFTWARE E LIMITAÇÕES OPERACIONAIS

A disponibilidade e qualidade de imagens de satélite pode ser um primeiro empecilho na forma de análise proposta aqui. Idealmente, todo o globo terrestre já foi registrado diversas vezes, como múltiplos satélites, com uma profusão de câmeras das mais variadas especificações. Mas quando regiões específicas são requeridas e em períodos específicos, uma série de problemas podem ocorrer. Fenômenos climáticos e a própria dinâmica atmosférica podem interferir na qualidade das imagens. Nuvens e sombras podem prejudicar muito a observação de características essenciais para a realização do exercício aqui proposto. Para dirimir esse problema, empresas especializadas constituem uma única foto pela junção de várias fotos do mesmo satélite tiradas em dias diferentes. Esta técnica é conhecida como mosaico.

O período selecionado pode também não estar disponível. Assumindo que sempre existirá uma foto do passado, para contornar o problema de uma foto recente não existir, um pedido de foto pode ser programado nas agências que disponibilizam fotos. No entanto, isso é entendido como um pedido dedicado de exclusividade de um satélite, o que encarece significativamente o processo. No caso de Caruaru, isso não representou um problema. As fotos estavam disponíveis para as datas requisitadas e com a resolução adequada.

Algumas limitações formais de inspeção da rede neural devem ser observadas. A rede não reconhece algumas características das edificações, que são consideradas na hora do cálculo do IPTU. Pavimentos, acabamentos das construções, fachadas ou telhado geminados não são capturados pela rede neural. Isso limita a análise do próprio município se somente o software for utilizado como ferramenta final. Para uma ação completa por meio do poder público, equipes de campo da administração do município devem realizar inspeções presenciais para a conferir e registrar tais características.

A utilização de ferramentas de empresas como o *Google*, disponíveis, em algum nível, de forma gratuita, podem auxiliar digitalmente e de forma remota o processo de retificação da base numa primeira fase de análise dos dados. O *Google Street View* pode ser associado aos achados do software para a análise da qualidade

dos endereços obtidos de forma automática pelo *software* e para coletar características de fachadas e pavimentos de edificações numa primeira instância. Vale ressaltar que usualmente, imagens de condomínios fechados não são disponibilizadas na plataforma pública da referida empresa. Isso impossibilita a checagem primária em regiões de condomínios e bairros sem livre acesso. A utilização de tal funcionalidade *online*, associada aos dados obtidos através do *software BuildScan*, depende da disponibilização de levantamentos e fotos recentes da plataforma. No caso de Caruaru, a ampla maioria dos bairros tem fotos que remontam o ano de 2015 no *Google Street View*. Portanto, não seria factível se utilizar dessa estratégia.

Uma outra limitação é que os polígonos gerados pela rede neural são projeções ortogonais de telhados em uma foto. Ou seja, são estruturas 3D são projetadas em um plano 2D. As coberturas de telhados são estruturas tridimensionais com formas e volumes variados e são aproximadas num polígono bidimensional numa foto. Isso implica em erros de aproximação de áreas de telhados. Um outro ponto referente as projeções é que, em muitas prefeituras, o cálculo de área edificada desconta o beiral<sup>5</sup> das construções. Isso também é caracterizado como um superdimensionamento do cálculo da área. Ainda vale mencionar correções que devem ser feitas nos cálculos de área dependendo da latitude da cidade analisada. A forma de projeção cartográfica do globo pode distorcer severamente áreas em regiões equatoriais ou em regiões polares, dependendo do tipo de projeção usada. Fatores de correção tem que ser levados em conta. Para contornar tal problema, um intervalo de confiança é atribuído a cada medição e um limiar de tolerância é estipulado, especialmente em medias de aumento de área de uma construção já existente.

Deve-se observar também a existência de falsos positivos, onde telhados que já existiam são considerados como telhados novos. Isso pode acontecer pois a qualidade das fotos entre os dois anos de análise pode ser diferente a ponto da rede interpretar uma construção já existente como uma nova construção. Um falso negativo

---

<sup>5</sup> O beiral é “a última fileira de telhas que forma a aba do telhado, constituindo a parte avançada deste sobre o corpo do edifício”

também pode existir devido à qualidade das fotos. A rede, nesse caso, reconhece uma construção em uma localização onde não existe edificação.

A especificação do *training set* também pode ser discutida. Sabe-se que a performance de uma rede neural pode ser afetada pelo tamanho e propriedades do arquivo de treino. Nesse caso específico, esse erro foi minimizado devido a profusão de *training set* públicos existentes, bem como um *training set* gerado especificamente para a cidade de Caruaru.

A última etapa do processo de checagem das novas construções é realizada por um conjunto de funcionários da Prefeitura. Os telhados são georreferenciados, gerando, além de coordenadas de longitude e latitude, um endereço aproximado via serviço de localização do Google. Esse endereço aproximado é cruzado com o cadastro imobiliário oferecido pela prefeitura e conferido por um funcionário. Esta etapa é crucial para a melhora da qualidade de uma base de dados cadastrais já, há muito, defasada. Aqui, o funcionário checa se a construção encontrada está declarada. Na hipótese de a construção estar declarada, se ela está corretamente especificada quanto a metragem aproximada. Se a construção não estiver declarada, o processo administrativo para a regularização do imóvel é iniciado. Se a área declarada for menor que a encontrada, o contribuinte pode ser chamado à prefeitura para esclarecimento da divergência. Esse processo é de singular importância pois recompõe o cadastro imobiliário da prefeitura de maneira mais confiável e consegue direcionar uma equipe de campo, que irá checar as construções *in loco* com o objetivo final de regularizar infrações, verificando discrepâncias e coletando dados como materiais de fachadas, pavimentos e edículas. As limitações de funcionários dedicados e provisionados podem influenciar diretamente no resultado da melhora do cadastro imobiliário. Estruturas de gestão, supervisionamento e auditoria devem ser criadas para garantir a qualidade de informações imputadas por funcionários das prefeituras. Também devem ser criadas visando a mitigação de possíveis erros processuais ou de corrupção ativa por conta das partes (dos contribuintes ou de fiscais).

## 5.2 DISCUSSÕES SOBRE OS RESULTADO E EXPANSÃO DO MODELO

O resultado obtido pela análise da rede neural é substancial, ao menos em uma primeira análise. Um aumento de área urbana de 15% no período de cinco anos não é negligenciável. Temos que levar em conta também que a base de cadastro imobiliário está defasada tem mais de uma década. Com os resultados em mãos, possivelmente a prefeitura achará mais brechas e furos em sua base que superam os cinco anos de análise do *software*. Com a maior parte das construções do ano de 2021 em mãos e elas estando georreferenciadas, a situação de falhas no cadastro anteriores ao ano de 2016 ficam patentes.

Um outro ponto importante é que o processo de retificação do cadastro imobiliário da Prefeitura, consegue-se ter uma ideia de para onde a cidade cresceu nos últimos anos. Com isso, a Prefeitura consegue planejar melhor a divisão de equipamentos públicos como escolas, unidades de saúde, malha de transportes, praças, fornecimento adequado de energia elétrica, saneamento básico, entre outras coisas. No limite, a prefeitura também conseguiria geolocalizar todos os equipamentos públicos já existentes com o intuito de visualizar sua distribuição territorial de acordo com a densidade da população por regiões específicas.

Algo que vale a pena ser discutido também é que nem todas as regiões de um município tem o mesmo valor de IPTU. Idealmente, regiões centrais e com mais ofertas de serviços costumam ser mais valorizadas. Bairros nobres também deveriam ter um valor de IPTU diferenciado, assim como algumas regiões periféricas podem chegar a ter isenção completa do IPTU. Esses cálculos são realizados pela prefeitura visando um efeito distributivo justo do imposto de acordo com as benfeitorias de uma região e poder aquisitivos dos proprietários ou locatários. Mas isso não significa que em regiões centrais, por exemplo, não possa existir isenção de IPTU. A renovação ou revisão da planta genérica de valores da cidade, que é um dos documentos essenciais para o cálculo do IPTU, pode servir de base para uma discussão de um novo plano diretor para município, desonerando contribuintes e regiões que poderiam ser isentas do imposto.

Um ponto interessante observado é que a cidade se expande com maior velocidade em regiões periféricas. No caso de Caruaru, tanto em regiões periféricas

mais ricas quanto as menos abastadas. O centro da cidade, região de edificação mais antiga, apresenta pouca expansão ou alteração de seu perfil, pelo menos visualmente.

Outro ponto que é relevante ser levantado é que com o treinamento certo, a rede neural também pode reconhecer cobertura vegetal, por exemplo. Esse poderia ser um exercício posterior a renovação do cadastro imobiliário da prefeitura e poderia auxiliar o poder público na tomada de decisões visando a melhora de cobertura verde e, por consequência, melhora de índices de qualidade de vida. A cobertura de regiões asfaltadas também poderia ser detectada. Isso pode facilitar o trabalho de expansão da infraestrutura do município. Cálculos aproximados do tamanho da rede de energia elétrica e da rede de esgoto também podem ser estimados. Com isso, provisionamento de recursos para expansão de equipamentos públicos e melhorias urbanas podem ocorrer de forma planejada.

### 5.3 ALTERNATIVA METODOLÓGICA

Processos tradicionais podem ser implementados para abordar o tema de cadastro imobiliário e aumento da arrecadação de IPTU. Existem algumas formas de um município elaborar ou atualizar seus bancos de dados e, consequentemente, confrontar seu cadastro imobiliário com as informações declaradas pelos proprietários.

A alternativa com a melhor performance é a de contratar uma empresa para realizar o aerolevantamento do território, tratar os dados encontrados e analisar os resultados. Aqui, aviões sobrevoam regiões em rotas definidas com o objetivo de tirar fotos do território escolhido. Estes processos custam cifras na ordem de milhões de reais. Mesmo as prefeituras mais ricas não conseguem realizar um projeto desses com periodicidade razoável. Por vezes, estados financiam os aerolevantamentos de seus territórios. No entanto, é cada vez mais raro que um estado, ou mesmo um município com alta arrecadação, disponibilize milhões de reais para tal tarefa. Além disso, os procedimentos específicos relativos ao cadastro apresentam pouca inovação tecnológica, demorando meses, ou anos, para serem finalizados. Uma equipe de diversas pessoas analisa foto a foto para colher informações necessárias para a construção de uma base de dados de informações relevantes. As edificações, por exemplo, são vetorizadas individualmente e manualmente. Posteriormente, agentes dos municípios vão à campo tirar fotos das fachadas, num processo conhecido como reambulação, que segundo CORREIA, 2011 “tem por finalidade a execução do trabalho de campo para a coleta de topônimos, informações e dados relativos aos acidentes naturais e artificiais do terreno e a confirmação da correspondência entre as feições que foram interpretadas pelo operador e/ou classificadas por técnicas de processamento digital confirmando sua veracidade no terreno e alimentando um banco de dados com todas as instâncias das classes previstas na Especificação Técnica para Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais, a ET-EDGV<sup>6</sup>, na busca da interoperabilidade”

Este processo inteiro é realizado por empresas de engenharia cartográfica e servem para uma série de objetivos além do cadastro imobiliário. Questões como

---

<sup>6</sup> Disponível em [https://bdgex.eb.mil.br/portal/media/edgv/ET-EDGV-3\\_0\\_210518.pdf](https://bdgex.eb.mil.br/portal/media/edgv/ET-EDGV-3_0_210518.pdf). Acessado em 10 de jun de 2022

fronteiras entre municípios, localização de nascentes de rios e fontes de água, zonas de mananciais são outras situações que aerolevantamentos suprem, gerando um conjunto de dado muito mais robusto que uma simples análise de fotos de satélite. Este processo de contratação por um município exige um longo e dispendioso processo licitatório, bem como um acompanhamento atento do Tribunal de Contas.

Uma outra forma, realizada pelas prefeituras com menos recursos, é a contratação de pequenas empresas que realizam análise visual de conformidade da base atual do IPTU com imagens de satélite gratuitas, drones e, por vezes até imagens de LIDAR<sup>7</sup>. Além de também participar de um processo licitatório, essas soluções também custam milhares de Reais e o processo de reambulação e licitação também são necessários.

---

<sup>7</sup> Segundo o Departamento de Sensoriamento Remoto do INPE, o LIDAR (Light Detection and Ranging) é um sensor remoto ativo a bordo de plataformas (tripuladas ou não tripuladas) e um método direto de captura de dados, ele possui sua própria fonte de energia, neste caso, uma fonte de luz, o laser.

## 6 CONCLUSÕES

A cidade de Caruaru pertence a um grupo dentro da Frente Nacional de Prefeitos conhecido como g100. Esse grupo representa municípios populosos com baixa receita per capita e alta vulnerabilidade econômica. A análise aqui apresentada mostra uma saída alinhando boas práticas de administração pública e tecnologia de ponta e relativo baixo custo, por se tratar de uma aplicação desenvolvida para ser um software de prateleira, para sanar parte do problema do município concernente ao potencial de aumento da arrecadação de IPTU, que é multidimensional e possui uma série de camadas envolvendo tanto o poder público quanto o contribuinte. Ainda que a solução não pretenda ser a “bala de prata” definitiva para o problema da qualidade dos dados do cadastro imobiliário e, por conseguinte, da arrecadação do tributo, ela se mostrou uma ferramenta indicativa poderosa de como a cidade pode diagnosticar e avaliar a sua situação atual de distribuição de serviços e equipamentos públicos, a evolução do crescimento do perímetro urbano, da planta genérica de valores.

No caso de Caruaru, o resultado da implementação do *software* e o desenvolvimento de soluções para a cidade a partir dos dados obtidos só poderá ser medido de forma efetiva após certo tempo. Prefeituras possuem recursos financeiros, físicos e humanos limitados. Os resultados da análise proposta aqui permitem que a prefeitura direcione e trabalhe com a mão de obra existente em seu plantel de servidores e funcionários visando, de forma sistemática, a construir grupos de trabalho de campo e forças tarefas administrativas para melhorar a qualidade das informações que a prefeitura utiliza para tomar decisões de investimento, planejamento e cobranças.

Uma discussão que merece destaque e que é propiciada pelo uso do *software* é a distribuição correta e justa na cobrança do tributo. Ao corrigir o cadastro imobiliário, o município pode, em tese, aumentar sua arrecadação sem corrigir ou alterar alíquotas de impostos, não afetando de forma desigual a população mais vulnerável e com menor poder aquisitivo. Uma revisão da planta genérica de valores também reforçaria o caráter progressivo do imposto.

A utilização de tecnologias novas e extremamente escaláveis pode trazer um dinamismo novo para a administração pública e para a transparência das ações do

poder público. Essa relação muitas vezes é turva e gera desconforto por parte do contribuinte. Tecnologias que permitam uma melhor auditoria e um racional mais claro de como tributos são cobrados e para onde eles são destinados podem contribuir sobremaneira para o alívio de tensões relativas à assimetria de informação município/contribuinte.

Os resultados apresentados aqui mostram que existe um caminho longo, mas virtuoso, para a melhora de arrecadação na cidade de Caruaru. Se ao menos uma pequena fração dos achados não estiver de acordo com o cadastro imobiliário do município, a arrecadação de IPTU poderia ser aumentada de forma vigorosa. Com o auxílio de tecnologia, distorções criadas por essa expansão podem ser diminuídas num planejamento de cidade mais igualitário e justo no que concerne a cobrança de impostos. O aumento da base arrecadatória pode representar uma posterior utilização em zeladoria e expansão de serviços e bens públicos, melhorando assim a vida da população.

## REFERÊNCIAS

AFONSO, J. R. R., ARAUJO, E. A., & NOBREGA, M. A. R. D. (2013). O IPTU no Brasil: um diagnóstico abrangente.

AFONSO, J. R. R., CORREIA, C. A., RAMUNDO, J. C. M., David, M. D., ARAUJO, E. A., & SANTOS, R. M. D. (1998). Municípios, arrecadação e administração tributária: quebrando tabus.

BRASIL. Código Tributário Nacional. Brasília: Congresso Nacional. Disponível em [www.planalto.gov.br](http://www.planalto.gov.br). Acesso em 15 de Abril de 2016.

BRASIL. [Constituição (1988)]. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Brasília, DF: Presidente da República, [2022]. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm). Acesso em 02 jun. 2022

CARVALHO Júnior, P. H. B. D. (2006). IPTU no Brasil: progressividade, arrecadação e aspectos extra-fiscais.

CARVALHO Júnior, P. H. B. D. (2018). Panorama do IPTU: um retrato da administração tributária em 53 cidades selecionadas.

CORREIA, A.H. Metodologias e Resultados Preliminares do Projeto Radiografia da Amazônia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15. 2011, Curitiba. Anais... Curitiba: INPE, 2013. p.8083-8090.

DE CESARE, Cláudia. O Cadastro como Instrumento de Política Fiscal. In: ERBA, Diego A.; OLIVEIRA, Fabrício L. de e LIMA JR., Pedro de Novaes (orgs.). Cadastro Multifinalitário como Instrumento de Política Fiscal e Urbana. Disponível em: [http://www.cidados.gov.br/index.php?option=com\\_docman&task=docclick&id=181](http://www.cidados.gov.br/index.php?option=com_docman&task=docclick&id=181), 2005.

DE LIMA, V. L., DAMIÃO, S. R. R., & DE OLIVEIRA, M. C. (2017). ST 8 Implantação de banco de dados geográficos na Secretaria Municipal de Licenciamento de São Paulo. *Anais ENANPUR*, 17(1).

Especificação técnica para estruturação de dados geoespaciais vetoriais: ET-EDGV. Brasília: DSG, 2010. 246p. Disponível em: . Acesso em: mar. 2022

FERREIRA, Marcelo Dias. A Progressividade do IPTU e o Princípio da Capacidade Contributiva. Disponível no endereço eletrônico: <http://www.fiscosoft.com.br/indexsearch.php?PID=109512>

GIFFONI, Francisco de Paula e VILLELA, Luiz. Tributação da Renda e do Patrimônio. Brasília: Ipea, mar/1987 (Texto para Discussão n. 105).

GU, Jiuxiang et al. Recent advances in convolutional neural networks. *Pattern Recognition*, v. 77, p. 354-377, 2018.

KHAIR, Amir e VIGNOLI, Fernando Humberto. Manual de Orientação para Crescimento da Receita Própria Municipal. Disponível em: [http://www.bnDES.gov.br/clientes/federativo/bf\\_bancos/e0001658.pdf](http://www.bnDES.gov.br/clientes/federativo/bf_bancos/e0001658.pdf), jul. 2021

KRIZHEVSKY, Alex; SUTSKEVER, Ilya; HINTON, Geoffrey E. Imagenet classification with deep convolutional neural networks. *Advances in neural information processing systems*, v. 25, 2012.

MACHADO, Hugo de Brito. Progressividade e Seletividade no IPTU. In “IPTU, Aspectos jurídicos Relevantes”, Coord. Marcelo Magalhães Peixoto – São Paulo: Quartier Latin , 2002, pag 259–62.

O'SHEA, Keiron; NASH, Ryan. An introduction to convolutional neural networks. *arXiv preprint arXiv:1511.08458*, 2015.

VILLELA, Luiz. A Tributação Subnacional, o Imposto Predial e os Desafios para Modernizá-Lo. Porto Alegre, mar. 2001 (Paper apresentado no Seminário Internacional sobre Tributação Imobiliária).

VONK, Guido; GEERTMAN, Stan; SCHOT, Paul. (2007). New Technologies Stuck in Old Hierarchies: The Diffusion of Geo-Information Technologies in Dutch Public Organizations. *Public Administration Review*, 67(4), 745–756.  
<http://www.jstor.org/stable/4624622>

## APÊNDICE 1 – CARACTERÍSTICAS DAS IMAGENS DE SATÉLITE

- Realce
- Equalização
- Ortorretificação
- Reprojeção para SIRGAS 2000
- Resolução de 50 cm
- Licença de Uso e Metadados

Detalhes técnicos:

Modo	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Radiométrica
Pansharpening	Azul	450 - 510 nm	50 cm	8 bits
	Verde	510 - 580 nm		
	Vermelho	630 - 690 nm		
	Infravermelho Próximo	770 - 895 nm		

## APÊNDICE 2 – CONDOMÍNIOS E BAIRROS UTILIZADOS NO TREINAMENTO

<b>Tabela 1: Condomínios selecionado</b>				
	<b>Imóveis em 2016</b>	<b>Imóveis em 2021</b>	<b>Edificações novas</b>	<b>Variação</b>
<b>Quinta das Colinas 1</b>	102	148	46	45%
<b>Quinta das Colinas 2</b>	96	229	133	138%
<b>Morada Nobre</b>	108	161	53	49%
<b>Alphaville Caruaru</b>	51	196	145	284%
<b>Monte Verde</b>	77	102	25	32%
<b>Morada do Sol</b>	136	147	11	8%
<b>Total</b>	570	983	413	72%

<b>Tabela 2: Bairros selecionados</b>				
	<b>Imóveis em 2016</b>	<b>Imóveis em 2021</b>	<b>Edificações novas</b>	<b>Variação</b>
<b>Andorinha</b>	1192	4854	3662	307%
<b>Cidade Alta</b>	2774	3060	286	10%
<b>Indianópolis</b>	2092	2232	140	7%
<b>Nova Caruaru</b>	2381	3030	649	27%
<b>Petrópolis</b>	3649	4198	549	15%
<b>Salgado</b>	10693	11501	808	8%
<b>Total</b>	22781	28875	6094	27%