

**FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS
FATEC PROFESSOR JESSEN VIDAL**

CAUANE EMANUELA ANDRADE DOS SANTOS

**PROCESSAMENTO DE IMAGEM APLICADA A DETECÇÃO
DE MUDANÇA NO USO DA TERRA**

Orientador: Prof. Dr. Fabrício Galende Marques de Carvalho

São José dos Campos
2021

SUMÁRIO

1	Introdução	3
1.1	Definição do problema	4
1.2	Objetivo	5
2	Desenvolvimento	6
2.1	Fundamentos do Processamento de Imagens	6
2.2	Arquitetura da Aplicação	7
2.3	Tecnologias Utilizadas	8
2.3.1	Detalhamento	8
3	Resultados e Discussão	12
3.1	Resultados	12
3.2	Trabalhos Futuros	15

1 INTRODUÇÃO

De acordo com o relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) de 2019, a humanidade utiliza mais de 70% da Terra sem gelo, e as atividades primárias, como agricultura, pecuária, extrativismo vegetal e mineral, são responsáveis por quase um quarto das emissões de gases de efeito estufa. Ainda, a utilização da superfície terrestre não coberta por gelo para fins de extração de madeira em florestas manejadas representa 20% do uso total.

Dessa forma, é possível observar a influência do ser humano nas constantes mudanças no solo e o impacto socioeconômico.

As diversas formas de uso da terra e a crescente necessidade de melhoria da sua eficiência são respostas à evolução natural e às atividades do homem. A percepção dessas modificações na paisagem permite a compreensão do espaço como um sistema ambiental, físico e socioeconômico, com estruturação e dinâmica desses objetos.

Diversos estudos buscam caracterizar e descrever a relação entre o homem e o meio ambiente, os resultados desses trabalhos refletem um diagnóstico da paisagem e esquematizam o entendimento sobre essa causalidade, que se mostra um componente básico da própria existência humana. Como no trabalho “Geotecnologias na geografia aplicada: difusão e acesso”, Florenzano destaca que as tecnologias referentes ao Sensoriamento Remoto e aos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) estão cada vez mais interligadas e suas aplicações nos diferentes campos da ciência têm aumentado.

A utilização de dados geográficos, cada vez mais utilizado no setor comercial, consolida o uso dos Sistemas Geográficos como instrumento de apoio à tomada de decisão, mostrando-se urgente em frente as demandas sociais e geracionais.

Dessa forma, destaca-se a importância dos SIGs no processo de monitoramento, processamento e análise dos dados espaciais e geográficos para controle de uso de solo, potencializando a redução dos impactos ambientais da utilização inadequada da superfície terrestre e auxílio na tomada de decisão. Fitz em “Geoprocessamento sem complicação” de 2008, classifica o SIG como sistema computacional, o qual integra dados com o objetivo de coletar, armazenar, recuperar, manipular, visualizar e analisar dados espacialmente referenciados em um sistema de coordenadas.

No Sensoriamento Remoto, aplica-se técnicas de coleta de dados acerca de uma área de forma remota utilizando sensores. Sensores são sistemas optoeletrônico utilizados para gerar imagens ou outro tipo de informações sobre objetos distantes. Esses sistemas podem ser instalados em satélites artificiais, que orbitam em torno da Terra, e pela sua altitude permite que sejam obtidas imagens de grandes extensões da superfície terrestre de forma repetitiva e a um custo baixo.

Os satélites artificiais são plataformas estruturadas para suportar o funcionamento de diversos instrumentos e, por isso, são equipadas com sistemas de suprimento de energia, de controle de temperatura, de estabilização, de transmissão de dados e outros sistemas eletrônicos.

Satélite de observação terrestre contém sensores capazes de produzir imagens da superfície da Terra em várias bandas simultâneas, sendo a banda espectral o intervalo entre dois comprimentos de onda. As informações podem ser obtidas através de radiação

eletromagnéticas, gerada por fontes naturais, classificados como sensor passivo, como o Sol, ou por fontes artificiais como o radar, definidos como sensores ativos. Tais imagens da superfície terrestres permitem desenvolver aplicações para diferentes contextos, como o mapeamento e a atualização de dados cartográficos e temáticos, a produção de dados meteorológicos e a avaliação de impactos ambientais.

Deste modo, as imagens geradas utilizando a técnica de sensoriamento remoto podem ser processadas de forma a auxiliar na identificação de áreas modificadas durante um período, pois agrega uma medida temporal à análise das informações contidas nas imagens. Este processo pode ser aprimorado através da automatização, que contribui de modo expressivo para a rapidez da detecção de mudança na utilização do solo, além de possibilitar mais confiabilidade nas análises que envolvem os processos de degradação da vegetação natural, fiscalização dos recursos florestais, bem como outros elementos que podem ocasionar mudanças no solo e, portanto, impactar o desenvolvimento econômico e social de uma região.

Este método se baseia em identificar alterações no solo através da utilização de dados geográficos em diferentes períodos e escalas temporais e espaciais, e fornece como *output* informações geográficas sobre a ocupação do solo e as suas alterações.

1.1 Definição do problema

A aceleração dos processos de urbanização, industrialização e as demais utilizações do solo impactam a cobertura da terra, potencializando a degradação e a alteração do ecossistema ambiental, social e econômico de determinada região.

Tais mudanças são causadas e acentuadas pelo interesse na instalação de atividades socioeconômicas que utilizam recursos naturais e geram impactos sobre o meio ambiente. O uso inadequado da terra provoca a deterioração dos recursos naturais causando prejuízos sociais, econômicos e ambientais que, em alguns níveis, são quase inconversíveis, este fato pode ser refletido tanto na queda dos rendimentos da produtividade agropecuária quanto na qualidade do meio ambiente. A persistência na situação de mudanças da cobertura e uso do solo é uma preocupação de nível local e até mesmo global.

Assim, a aplicação de técnicas de sensoriamento remoto para avaliação do uso da terra é fundamental, pois fornece informações acerca dos diversos fenômenos que ocorrem na superfície terrestre, sendo essencial na compreensão das dinâmicas dos processos de mudanças no uso e na cobertura da terra. Tais informações atualizadas acerca de seu uso e cobertura servem como subsídio ao poder público e privado para o gerenciamento, planejamento e na execução de projetos de desenvolvimento econômico no âmbito global, continental, nacional, estadual e municipal.

Ainda, segundo a revista Pesquisa FAPESP, em sua edição 221, automatizar softwares para análise temporal de imagens é uma exigência da área de sensoriamento remoto. A detecção automática pode ser feita por meio da verificação de mudanças dos padrões espectrais das áreas geográficas ao longo do tempo. Os produtos orbitais a partir de imageamentos em diferentes períodos permitem a discriminação e quantificação das mudanças ocorridas nas classes de cobertura e uso da terra.

Isto posto, a criação de softwares que auxiliam no processo de análise de imagens mostra-se de interesse social, econômico e ambiental.

1.2 Objetivo

O processo de detecção de alterações da cobertura e uso do solo consiste em identificar, localizar e qualificar as transformações que ocorreram na área de interesse em determinados espaços físicos e temporais, através das respostas espectrais registradas nos pares de pixels correspondentes, estes possibilitam a distinção entre a mudança e a não modificação de uma localidade.

Visando fornecer uma ferramenta de auxílio na detecção automatizada deste processo, neste trabalho será utilizado processamento de imagens, para comparar imagens em diferentes datas e segmentá-la a fim de fornecer uma imagem binária, que represente a alteração na cobertura.

Os resultados deste processamento de regiões delimitadas ou sobre um ambiente mais abrangente, permitem relatórios eficientes, propõem soluções de baixo custo e criam alternativas para os desafios enfrentados face às mudanças expressivas que se pode observar na Terra.

Assim, o objetivo deste trabalho consiste em automatizar o processo de detecção de mudança no uso da terra, buscando facilitar o processamento e análise dos dados espaciais e geográficos para fiscalização de uso de solo.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Fundamentos do Processamento de Imagens

A área de Processamento de Imagens, de forma resumida, abrange operações realizadas sobre imagens matriciais e que resultam em novas imagens. Ainda, a área de Visão inclui operações de análise dos objetos presentes em uma imagem e o modelo matemático destes objetos.

Ambas as áreas são parte da ciência da Computação Gráfica e a escolha pelo seu uso varia de acordo com o objetivo. Esta diferença de objetivos requer modelos de trabalhos diferentes. Em Processamento de Imagens utiliza-se o modelo *raster*, também identificado como modelo matricial.

Neste tipo de imagem o armazenamento dos objetos ocorre a partir das coordenadas de seus vértices, independente da dimensão (espacial ou planar). Para isto utiliza-se o plano Cartesiano, uma grade de números inteiros que descrevem a posição do objeto na *matrix*, sendo o pixel a unidade mínima da imagem.

O modelo *raster* utiliza matrizes de dados para armazenar a informação de cor de cada pixel. Do ponto de vista físico, a cor se refere a Luz, que percorre o espaço, ora se comportando com onda, ora como partícula. Para este estudo será considerado a luz como uma onda, uma radiação eletromagnética que possui uma Distribuição Espectral de Potência para cada comprimento de onda.

Neste modelo matricial não há diferenciação de objetos presentes na imagem. Dessa forma, é possível escalar, rotacionar e deslocar sem causar distorções na imagem. Por outro lado, o armazenamento de uma matriz que contém a cena, em geral, requer muito espaço de memória em comparação a uma imagem vetorial.

Para se representar uma cena do mundo real do tipo contínua para um computador, é preciso discretizar a imagem, pois o um computador armazena apenas bits, que pode ser 0 ou 1. Então, o computador opera sempre com números inteiros ou, em alguns casos, com uma aproximação de um número real. Dessa forma, não é possível representar imagens contínuas no computador. Tipicamente, uma imagem pode ser representada por uma função em duas dimensões para imagens monocromáticas ou mais para imagens multiespectrais.

Para realizar a discretização da imagem, aplica-se funções matemáticas, que quando aplicadas no eixo do domínio é chamada de Amostragem, quando no contradomínio é chamada de Quantização. Neste processo, ao ser digitalizada, a imagem assume tamanho em pixels e desta forma para conhecer a Resolução, basta saber a razão entre o número de pixels e o tamanho real da imagem.

Para a aquisição da imagem pode-se utilizar sistemas de captura, para este estudo utilizou-se imagens de satélites. Satélites de observação terrestre possuem sensores capazes de produzir imagens da superfície da Terra em várias bandas simultâneas. Após este processo, aplica-se

métodos de realce e filtragem para compensar distorções específicas, geralmente geradas no momento da aquisição.

Neste contexto, para se obter dados sobre os objetos presentes na imagem são necessárias as operações de Segmentação, que ocorre a partir do isolamento dos pixels. Neste estudo utilizou-se a limiarização por um tom de corte. Definido um tom de cor, aplica-se a regra para o que estiver acima do tom vire branco e abaixo vire preto, gerando uma nova imagem binária.

Feito a segmentação pode-se aplicar técnicas para classificação e reconhecimento de objetos contidos na imagem. Isto pode ser feito através de operações pontuais, onde um pixel da imagem segmentada depende do mesmo pixel na imagem original, a fim de detectar uma alteração.

A comparação entre duas imagens requer as etapas de Registro e o Casamento de Padrões. Na operação de registro busca-se alinhar as imagens que serão comparadas, através de uma operação pontual que verifica em quais coordenadas de seus vértices são compatíveis, delimitando a área de comparação. Para o casamento dos pixels utiliza-se o valor do erro médio da comparação ponto a ponto das imagens, através do casamento de padrões.

2.2 Arquitetura da Aplicação

A partir da imagem matricial é possível fazer operações para extrair dados e informações sobre uma área de específica. Para a detecção de mudança no uso e cobertura da terra, busca-se identificar as possíveis alterações em um período.

Neste processo, define-se um ponto de interesse e imagens multitemporais para realizar a comparação e gerar uma nova imagem que represente a diferença detectada. Dessa forma, o sistema desenvolvido realiza as operações de identificação da série histórica, este recebe 3 imagens como entrada. O primeiro parâmetro é a imagem da área em que se busca realizar a análise, a referência. Os outros parâmetros são as cenas em períodos distintos, o qual a imagem de referência deve abranger.

Após, um algoritmo para tornar as imagens temporais em escala de cinza é aplicado, a fim de tornar a imagem binária, este processo é feito pela ponderação da soma dos valores dos canais do pixel, o RGB (*red, green, blue*). Assim, realizar a médias das intensidades em cada faixa de frequência para transformá-la em monocromática. Ainda, na segmentação definiu-se níveis para alterar a cor do pixel, para cores abaixo de 0.3 torna-se preto e acima branco.

Em seguida, é realizado a etapa de identificação da área de interesse nas imagens da comparação, em um processo chamado de Casamento de Modelo (*Template Matching*). Para esta operação, assume-se que não há distorções nas imagens. O cálculo com base no número de linhas e colunas da imagem matricial retorna as coordenadas no plano cartesiano do deslocamento, que é usado para alinhá-las.

Por fim, com o alinhamento das imagens com a área de referência, realiza-se a comparação pixel a pixel das duas imagens temporais, destacando as diferenças entre os pixels e gerando

uma nova imagem a partir disso. O resultado da comparação é uma imagem binarizada referenciada em um plano.

2.3 Tecnologias Utilizadas

O produto desenvolvido neste trabalho é um sistema para internet com persistência de dados. Para atingir este objetivo, utilizou-se o framework Flask que utiliza a linguagem de programação Python, e o banco de dados NoSQL orientado a documento MongoDB.

Para o frontend da aplicação utilizou-se a linguagem de marcação HTML (HyperText Markup Language), a linguagem de estilização CSS (Cascading Style Sheets) e a linguagem de programação JavaScript.

No backend utilizou-se o framework Flask para o desenvolvimento das funcionalidades da aplicação e o banco de dados não relacional MongoDB para armazenar as imagens e o resultado da comparação.

2.3.1 Detalhamento

A figura 1 ilustra o funcionamento em alto nível da aplicação. No frontend tem-se a interface acessível no navegador.

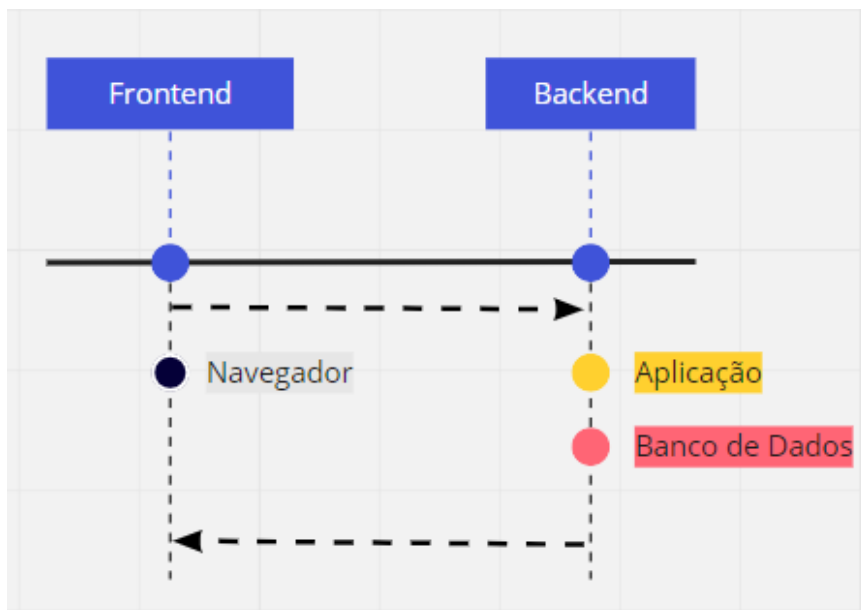


Figura 1. Diagrama de Desenvolvimento da Aplicação.

O usuário pode submeter os seguintes inputs:

- Template: usado para o registro das Imagens da comparação;
- Imagens multitemporais para a detecção de alteração.

Para o backend visualiza-se os módulos de Escala de Cinza (Gray Scale), Thresholding, Registro das imagens (Template Matching) e Detecção de Mudança (Change Detection).

A figura 2 ilustra o código desenvolvido para converter uma imagem colorida para níveis de cinza, para isso utiliza-se o método de Gray Scale.

```
1. from .utils import qtd_row_col
2.
3. def gray_scale(img):
4.     n_rows, n_cols = qtd_row_col(img)
5.
6.     for row in range(n_rows):
7.         for col in range(n_cols):
8.             v = img[row][col]
9.             new_gray_level = (v[0] + v[1] + v[2]) / 3
10.            for index in range(3):
11.                img[row][col][index] = new_gray_level
12.    return new_gray_level
```

Figura 2. Função desenvolvida em Python para transformação da imagem original para escala de cinza.

Figura 2:

- Esta função transforma a imagem matricial em escala de cinza, monocromática
- É feita uma iteração sobre a matriz (linhas e colunas) e, então calcula-se a média dos canais de cores RGB. A média atribui pesos iguais aos canais, removendo as possíveis distorções geradas na aquisição da imagem
- A média calculada é por fim reatribuída na matriz. Após, retorna-se a imagem modificada.

```
1. from .utils import qtd_row_col
2.
3. BRANCO = 1
4. PRETO = 0
5.
6. def thresholding(img):
7.     n_rows, n_cols = qtd_row_col(img)
8.     level_1 = 0.3
9.     level_2 = 0.6
10.    values = range(3)
11.    for row in range(n_rows):
12.        for col in range(n_cols):
13.            if img[row][col][0] < level_1:
14.                for index in values:
```

```

13.             img[row][col][index] = PRETO
14.         else:
15.             for index in values:
16.                 img[row][col][index] = BRANCO
17.     return img

```

Figura 3. Função desenvolvida em Python para aplicação de segmentação da imagem em escala de cinza.

Figura 3:

- Em Processamento Digital de Imagem, thresholding é um processo de segmentação, o qual se classifica pixels.
- A classificação é baseada no histograma de uma propriedade, o nível de cinzento.
- Pelo fato de o número de pixels numa imagem ser geralmente elevado considera-se o histograma como uma aproximação à densidade de probabilidade da propriedade representada.
- Aplicou-se a técnica de Thresholding com 1 único limiar de separação (binarização), para a separação entre as classes “claro” e “escuro”.
- É feita uma iteração sobre a matriz (linhas e colunas) e, após, verifica-se os valores dos pixels é aplicando a limiarização de separação para preto ou branco.

```

1. def template_matching(src_img, template_img):
2.     src_xy = {'rows': len(src_img), 'cols': len(src_img[0])}
3.     template_xy = {'rows': len(template_img), 'cols':
4.         len(template_img[0])}
5.     max_x_disp = src_xy['rows'] - template_xy['rows']
6.     max_y_disp = src_xy['cols'] - template_xy['cols']
7.
8.     sum_abs_diff = [] # será um array bidimensional
9.     for row in range(max_x_disp):
10.         sum_abs_diff.append([])
11.         for col in range(max_y_disp):
12.             sum_abs_diff[row].append(0) # erro 0, ainda não calculado
13.             for x in range(template_xy['rows']):
14.                 for y in range(template_xy['cols']):
15.                     sum_abs_diff[row][col] += abs(template_img[x][y][0]
16. - src_img[x + row][y + col][0])
17.         min_error = sum_abs_diff[0][0] # SAD: sum of average difference
18.         delta_x = 0
19.         delta_y = 0
20.
21.     for row in range(max_x_disp):

```

```

18.     for col in range(max_y_disp):
19.         if sum_abs_diff[row][col] < min_error:
20.             # nem sempre o sad vai dar tem que ser o menor
21.             min_error = sum_abs_diff[row][col]
22.             delta_x, delta_y = row, col
23.     return (delta_x, delta_y)

```

Figura 4. Função desenvolvida em Python para aplicação de segmentação. Método baseado no código do Professor Fabrício Carvalho.

- Este código calcula o delta entre a imagem da área de interesse e a imagem multitemporal
- Percorre-se a imagem maior na ordem esquerda para a direita e de cima para baixo
- Compara-se os pixels da imagem template, o limite para a comparação é feito pelo cálculo do deslocamento máximo
- Itera-se sobre as linhas e colunas da imagem maior e calcula-se a soma da diferença média da comparação com o template. Este resultado mostra a posição que as imagens mais se casam, sendo o menor valor a posição com maior acerto.
- Por fim, tem-se o resultado com as coordenadas X e Y com o menor erro

```

1. import numpy as np
2. BRANCO = 1
3. PRETO = 0
4. def change_detection(img1, img2):
5.     img1_rows = len(img1)
6.     img1_cols = len(img1[0])
7.     new_image = np.zeros((img1_rows, img1_cols, 3), dtype=np.float32)
8.     for col in range(img1_cols):
9.         for row in range(img1_rows):
10.            for index in range(3):
11.                if img1[row][col][index] == img2[row][col][index]:
12.                    new_image[row][col][index] = BRANCO
13.                else:
14.                    new_image[row][col][index] = PRETO
15.     return new_image

```

Figura 5. Função desenvolvida em Python para aplicação de segmentação

- Neste método aplica-se funções para detectar as alterações nas imagens da série temporal
- Itera-se sobre a matriz e verifica-se os valores dos pixels correspondentes em ambas as imagens. Caso sejam valores iguais altera-se o ponto para cor branca, simbolizando

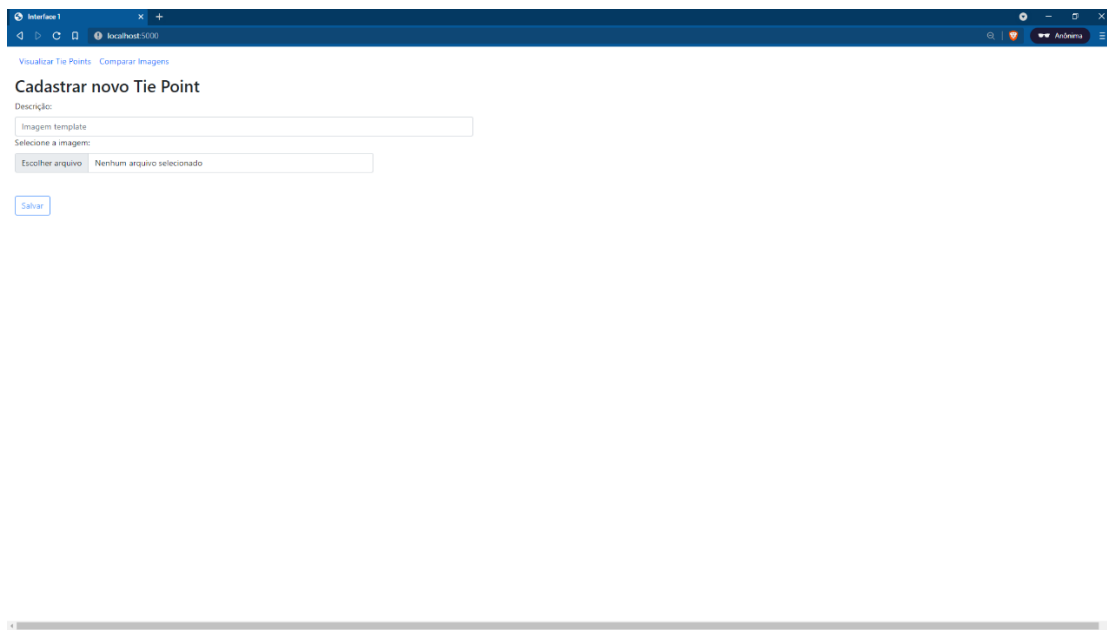
que são pontos que permaneceram inalterados; o contrário ocorre se forem pixels diferentes, nesse caso, adiciona-se preto.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Resultados

O objetivo deste trabalho foi aplicar conceitos de Processamento de Imagens para detecção de alteração no solo, desenvolver uma aplicação para detecção automatizada de mudança na cobertura em imagens de satélite de observação terrestre. Utilizando-se imagens de sensoriamento remoto buscou-se aplicar métodos matemáticos para detecção de mudança da série temporal.

As imagens abaixo são as interfaces de usuário desenvolvidas para a submissão das imagens de comparação e a área para a comparação (Tie Point).



Interface 1

Visualizar Tie Points Comparar Imagens

Cadastrar novo Tie Point

Descrição:

Imagem template

Selecione a imagem:

Escolher arquivo Nenhum arquivo selecionado

Salvar

Figura 6. Interface para cadastro do Tie Point, a área de interesse a ser identificada nas imagens para comparação.

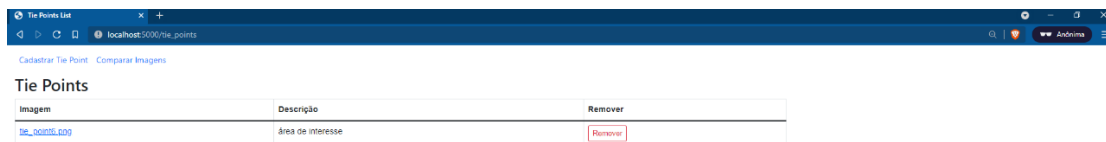


Figura 7. Interface para visualização e alteração de um Tie Point cadastrado.

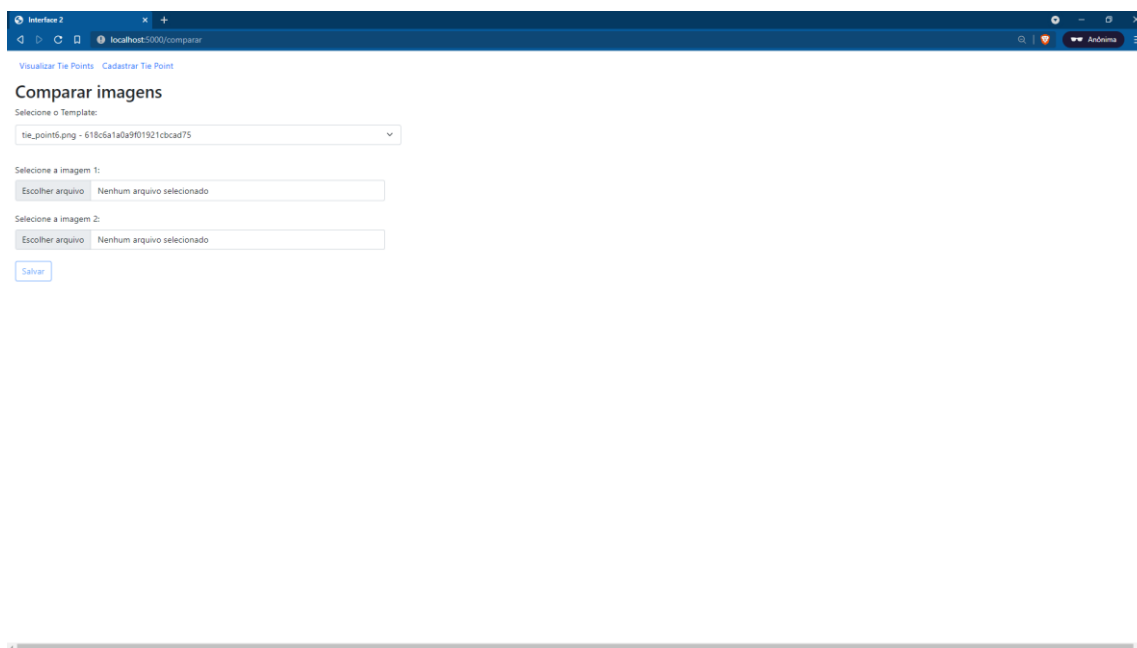


Figura 8. Interface para selecionar imagens da série temporal e Tie Point para a comparação.

Para isso, definiu-se o domínio do problema que é detecção de modo geral em imagens de satélite, visando identificar construções, ruas e rodovias, bem como mudanças significativas no relevo e vegetação que possam ter sido feitas ao longo de um período. Na aquisição das imagens é feita através de satélites de observação da terra, dessa forma eliminando a etapa de digitalização da cena analógica. Após, no pré-processamento envolveu correções geométricas para alinhamento das imagens multitemporais, de modo a definir a área de análise e aplicação dos métodos.

Como resultado, o programa exibe como saída uma nova imagem representada no plano cartesiano, que é um mapa das evoluções encontradas.

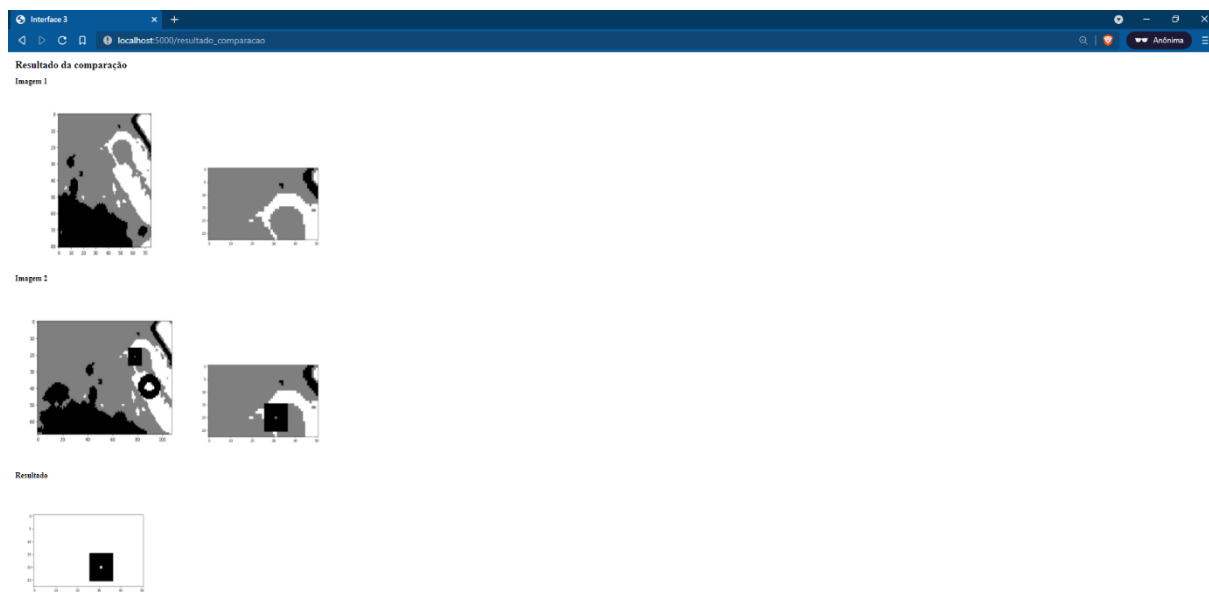


Figura 4. Saída do programa com resultado da comparação.

Em contrapartida, os resultados dependem da qualidade da imagem obtida, em dois principais aspectos: a quantidade de pixels por polegada, a resolução da imagem e o número de pixels na horizontal e na vertical, o tamanho da imagem. Destaca-se a possível interferência nos resultados caso haja sombras que se confundiam com vegetação, telhados com ruas e solos expostos etc., porque essas feições na composição RGB tem cores que são aproximadas.

Ainda, os polígonos destacados na saída do programa não são classificados. No Processamento Digital de Imagens (PDI), a área que envolve classificação e segmentação é a Reconhecimento de Formas, envolvem técnicas de Segmentação, Classificação, Representação e Descrição, muito utilizadas no Sensoriamento remoto para classificação da cobertura do solo, o qual são atribuídas classes aos objetos presentes na imagem. Esse processo é comumente representados por um mapa temático produzidos a partir de imagens de satélite. Os algoritmos utilizados para esta finalidade extraem as feições de interesse a partir de uma área multidimensional representados pelas bandas da imagem.

Ademais, dentro das limitações encontradas destaca-se que o programa não considera a possível rotação ou distorções de uma imagem para a comparação. O que poderia ser resolvido no Pré-processamento para calibração radiométrica da imagem, correção de distorções geométricas e remoção de ruído.

3.2 Trabalhos Futuros

Como citado anteriormente, o sistema desenvolvido não contempla imagens com distorções geométricas. Essas distorções podem ser inerentes a plataforma e o instrumento utilizado para a captura da imagem real, ao modelo da Terra como os relevos, rotação e esfericidade.

Em função das limitações de tempo para a conclusão desse trabalho, sugere-se para pesquisas futuras a adição de métodos de identificação e correção de deformidade em uma das imagens de entradas para comparação. É necessário que se realize pré-processamento na imagem

Dessa forma, realizar a correção geométrica de imagens, o que permite ao usuário da aplicação maior flexibilidade quanto a fonte da imagem. Para esta etapa pode ser utilizado o método de Mapeamento Direto, transformando as coordenadas da imagem bruta em coordenadas de referência, aplica-se uma grade regular de pontos sobre a imagem bruta. Assim, deve ocorrer a escolha do modelo de correção adequado, a definição do sistema de coordenadas e da resolução da imagem corrigida e, por fim, avaliação e validação de resultados.