

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

Paulo Saicoski Sarkis

**CONSTRUÇÃO DE MOSAICOS DE IMAGENS DIGITAIS PARA A
GERÊNCIA DE PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS DE DIFÍCIL ACESSO**

Santa Maria, RS
2022

Paulo Saicoski Sarkis

**CONSTRUÇÃO DE MOSAICOS DE IMAGENS DIGITAIS PARA A GERÊNCIA DE
PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS DE DIFÍCIL ACESSO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Bacharel em Ciência da Computação**.

ORIENTADOR: Prof. Daniel Welfer

506
Santa Maria, RS
2022

PAULO SAICOSKI SARKIS

**CONSTRUÇÃO DE MOSAICOS DE IMAGENS DIGITAIS PARA A GERÊNCIA DE
PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS DE DIFÍCIL ACESSO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Bacharel em Ciência da Computação**.

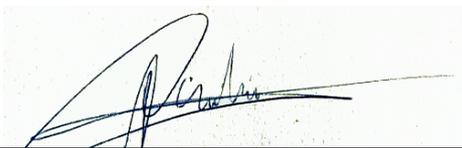
Aprovado em 15 de Fevereiro de 2022:



Daniel Welfer, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)



João Carlos Damasceno Lima, Dr. (UFSM)



Antonio Marcos de Oliveira Candia, Me. (UFSM)

Santa Maria, RS
2022

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a minha família, que me apoiou durante toda a vida, além de serem a origem do tema deste trabalho.

Agradeço ao meu orientador, Daniel Welfer, por se dispor a me auxiliar com o trabalho final, propondo mais orientações para garantir a finalização e a qualidade da monografia. Assim como a banca, Caio e Cândia, que contribuíram de forma significativa para o andamento do projeto, sempre de forma muito positiva em seus apontamentos.

Agradecer também a minha namorada, Malu, que me acompanhou por todo esse processo e foi fundamental para que eu conseguisse concluí-lo.

Gostaria de agradecer minha colega de apartamento, Talia, que me ajudou a enfrentar o período de isolamento da pandemia de forma muito mais leve.

Além disso, preciso agradecer aos meus amigos Cipriani, Ricardo, Anderson, Vicente e Lorenzo, que me influenciaram, mesmo sem saber, a decisão de ir para a área da computação.

E finalmente aos meus amigos Grisotti, Haddad, José Victor, Lana e Giulia que conheci durante o curso e foram essenciais para que eu chegasse ao fim desse.

RESUMO

CONSTRUÇÃO DE MOSAICOS DE IMAGENS DIGITAIS PARA A GERÊNCIA DE PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS DE DIFÍCIL ACESSO

AUTOR: Paulo Saicoski Sarkis

ORIENTADOR: Daniel Welfer

O mapeamento de patologias de estruturas geralmente é feito com a presença de um técnico no local. Porém, em estruturas de difícil acesso, muitas vezes a visualização destas patologias se dá exclusivamente por meio de imagens digitais. Assim, para obter-se uma visão geral do estado da estrutura, essas imagens podem ser combinadas em um mosaico, muitas vezes de forma manual. Este trabalho utiliza da detecção de pontos chave, a partir do algoritmo ORB, como base para a criação de uma ferramenta automatizada para a geração de mosaicos. Esta ferramenta conta com uma interface gráfica planejada para a utilização por profissionais da área da construção civil. O trabalho utiliza de dois questionários, um aplicado antes, e outro, após a utilização da ferramenta pelo público-alvo para a sua validação. Este trabalho permite uma continuação dos estudos a fim de implementar a detecção e medição automatizada das manifestações patológicas presentes nos mosaicos gerados. Dessa forma, o trabalho facilitará etapas do mapeamento de patologias.

Palavras-chave: Pontos chave. Mosaico. Patologia. União de imagens.

ABSTRACT

CONSTRUCTION OF DIGITAL IMAGE MOSAICS FOR THE MANAGEMENT OF PATHOLOGIES IN DIFFICULT-TO-ACCESS STRUCTURES

AUTHOR: Paulo Saicoski Sarkis

ADVISOR: Daniel Welfer

The mapping of structural pathologies is usually done with the presence of a technician on site. However, in structures that are difficult to access, these pathologies are often viewed exclusively through digital images. Thus, to obtain an overview of the state of the structure, these images can be stitched into a mosaic, often manually. This work uses the detection of feature points, from the ORB algorithm, as a basis for the creation of an automated tool for the generation of mosaics. This tool has a graphical interface designed for use by professionals in the construction industry. The work uses two questionnaires, one applied before, and another, after the use of the tool by the target audience for its validation. This work allows a continuation of the studies to implement the automated detection and measurement of the pathological manifestations present in the generated mosaics. In this way, the work will facilitate the mapping of pathologies.

Keywords: Feature points. Mosaic. Pathology. Image stitching.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Exemplo de utilização da lança telescópica visto de cima da ponte	9
Figura 1.2 – Exemplo de utilização da lança telescópica visto de fora da ponte	9
Figura 1.3 – Exemplo de utilização de drone em inspeção de uma ponte	10
Figura 2.1 – Exemplo de fotografia	13
Figura 2.2 – Exemplo de fotografia em tons de cinza	13
Figura 2.3 – Exemplo de fotografia em tons de cinza com pontos chave em vermelho	14
Figura 3.1 – Diagrama de funcionamento do software	20
Figura 3.2 – Exemplo de fotografia utilizada nos mosaicos	21
Figura 3.3 – Exemplo de fotografia com pontos chave em roxo	21
Figura 3.4 – Exemplo de fotografia com pontos chave, apenas na região central, em roxo	21
Figura 3.5 – Exemplo da união de duas fotografias, aplicando uma matriz de transformação à imagem da direita	22
Figura 3.6 – Exemplo do processo de união de três fotografias, ainda sem a imagem da esquerda. A matriz de transformação da imagem central foi aplicada também na imagem à direita	23
Figura 3.7 – Exemplo da união de três fotografias	23
Figura 3.8 – Exemplo de mosaico utilizando a primeira imagem como referência	24
Figura 3.9 – Exemplo de mosaico utilizando a imagem central como referência	24
Figura 3.10 – Exemplo de mosaico utilizando a imagem selecionada pelo usuário como referência	25
Figura 3.11 – Mosaico inacabado e ainda sem o ajuste de perspectiva	25
Figura 3.12 – Máscara, feita a partir de um mosaico inacabado e ainda sem o ajuste de perspectiva, que auxilia na união das imagens	26
Figura 3.13 – Mosaico que utiliza pontos chave na área total de cada fotografia	26
Figura 3.14 – Mosaico que prioriza pontos chave detectados na área central de cada fotografia	26
Figura 3.15 – Interface inicial da interface do sistema	28
Figura 3.16 – Interface exibindo a quantidade de mosaicos a serem gerados	28
Figura 3.17 – Interface para a seleção da imagem menos distorcida do mosaico	29
Figura 3.18 – Interface exibindo o mosaico gerado	29
Figura 4.1 – Mosaico gerado com imagens previamente ordenadas	32
Figura 4.2 – Mosaico gerado com imagens embaralhadas aleatoriamente	32

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
1.1	APRESENTAÇÃO	8
1.2	JUSTIFICATIVA	10
1.3	OBJETIVOS	11
1.3.1	Objetivo Geral	11
1.3.2	Objetivos Específicos	11
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	11
2	FUNDAMENTAÇÃO TEORICA	12
2.1	CONCEITOS	12
2.1.1	Mosaico de Imagens	12
2.1.2	Pontos Chave	12
2.2	ALGORITMOS	14
2.2.1	ORB	14
2.2.2	RANSAC	15
2.3	TRABALHOS RELACIONADOS	15
2.4	CONCLUSÃO	17
3	METODOLOGIA	18
3.1	IMPLEMENTAÇÃO DO SOFTWARE PROPOSTO	19
3.2	CASO DE USO	27
3.3	MÉTODO DE AVALIAÇÃO	30
3.4	CONCLUSÃO	30
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	31
4.1	MOSAICOS	31
4.2	QUESTIONÁRIOS	32
4.2.1	Questionário pré utilização da ferramenta	33
4.2.2	Questionário pós utilização da ferramenta	34
4.3	CONCLUSÃO	34
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	35
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36
	APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO PRÉ UTILIZAÇÃO DA FERRAMENTA .	37
	APÊNDICE B – RESPOSTAS PRÉ UTILIZAÇÃO DA FERRAMENTA	41
	APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO PÓS UTILIZAÇÃO DA FERRAMENTA .	43
	APÊNDICE D – RESPOSTAS PÓS UTILIZAÇÃO DA FERRAMENTA	46

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

Este trabalho aborda um sistema de auxílio para mapeamento de patologias em estruturas de difícil acesso baseado em fotografias.

Geralmente o mapeamento de patologias é realizado com a presença de um técnico no local, podendo ser retiradas medidas *in loco* com instrumentos de medição manuais, por exemplo, fissurômetros ou trenas. Na construção civil, as manifestações patológicas, comumente referidas como patologias, são anomalias ou problemas da construção e as alterações anatômicas e funcionais causadas na mesma. "Essas doenças (patologias) podem ser adquiridas durante a execução da obra (emprego inadequado de materiais e métodos construtivos) ou na concepção do projeto, ou mesmo serem adquiridas ao longo de sua vida."(FRANÇA et al., 2011, p. 2)

Quando as estruturas são de difícil acesso, torna-se necessário o uso de fotografias para realizar-se o estudo de suas patologias. Dessa forma, a organização e catalogação destas fotografias permite uma maior compreensão das localizações e dimensões destas manifestações. Uma das técnicas utilizadas para esta etapa do mapeamento é a criação de um mosaico, uma única imagem feita a partir de diversas fotografias de uma mesma estrutura. Este mosaico é importante no intuito de se obter uma visão contínua e realista das estruturas alvo de tais estudos. Ainda, possibilita uma noção geral do seu estado, utilizando-se de uma resolução de imagem maior do que uma fotografia única teria, caso capturada com uma maior distância, e sem maiores distorções, como no caso da utilização de uma lente grande-angular. (SARKIS; SARKIS, 2016)

No caso de pontes sobre rios ou vales muito profundos, o acesso a parte inferior da estrutura não pode ser feito pelo terreno. Além disso, "o emprego de plataformas sustentadas por lanças telescópicas a partir de veículos estacionados sobre a pista é um procedimento demorado e exige a interdição parcial das pistas."(SARKIS; SARKIS, 2016) Um exemplo de utilização da lança telescópica pode ser visto nas Figuras 1.1 e 1.2. Neste exemplo, a inspeção é ainda mais prejudicada por conta das estruturas de apoio da ponte, as quais impedem o deslocamento do caminhão ao longo da estrutura enquanto a lança telescópica estiver posicionada.

Para o cumprimento do objetivo deste trabalho, foram utilizadas fotografias provenientes de drones (veículos aéreos não tripulados), os quais podem ser controlados de forma remota e sem prejuízos ao tráfico de veículos. Um exemplo de inspeção utilizando um drone pode ser visto na Figura 1.3

A partir destas fotografias, este trabalho propõe um sistema de informação que fa-

Figura 1.1 – Exemplo de utilização da lança telescópica visto de cima da ponte



Fonte: Sarkis Engenharia Estrutural Ltda.

Figura 1.2 – Exemplo de utilização da lança telescópica visto de fora da ponte



Fonte: Sarkis Engenharia Estrutural Ltda.

cilita etapas do mapeamento de fissuras. Este sistema utiliza de uma interface visual para a criação automática dos mosaicos das obras e as cataloga. O usuário informa quais fotografias deverão ser processadas. O sistema, então, decide quantos mosaicos devem ser criados e com quais imagens, após isto, estes mosaicos serão armazenados juntamente com o registro de quais imagens foram utilizadas para criá-lo.

O sistema desenvolvido tem o intuito de ser, além de eficiente, de fácil aprendizado para seu público alvo, contando com uma interface visual simples.

Esta ferramenta poderá ser utilizada por todos os profissionais da área da construção civil, sem a necessidade de equipamentos específicos. Assim, as imagens poderão ser tiradas a partir de drones, mas também de câmeras fotográficas comuns. E, futuramente, a partir da introdução de um sistema de detecção das fissuras, a ferramenta também será capaz de destacar e medir estas aberturas. Este trabalho se torna mais relevante para

Figura 1.3 – Exemplo de utilização de drone em inspeção de uma ponte



Fonte: Sarkis Engenharia Estrutural Ltda.

estruturas de difícil acesso pois permite a visualização e avaliação das patologias sem a necessidade da locação de instrumentos de medição nas mesmas.

1.2 JUSTIFICATIVA

A motivação para este trabalho surgiu da necessidade de um escritório local, no qual as etapas de organização e catalogação das fotografias, além da confecção dos mosaicos, são feitas de maneira manual. Este escritório, por não ser de grande porte, não conta com equipamentos específicos que facilitem neste processo. Então, estas tarefas são realizadas de forma visual. Técnicos analisam as imagens, reconhecem as patologias, as destacam e confeccionam o mosaico a partir da colagem virtual de uma fotografia em cima da outra, através de programas de edição de imagens.

Conforme a escala das estruturas aumenta, aumenta também o número de patologias e, devido a dificuldade de acesso a algumas estruturas, esse processo se torna muito demorado ou, até mesmo, inviável.

Dessa forma, a fim de agilizar esse procedimento, propõe-se um sistema que automatiza etapas do mapeamento, sem a necessidade de equipamentos adicionais, e, futuramente, das detecções e medições a serem realizadas.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Elaboração de um software que gerencie fotografias de patologias em estruturas de difícil acesso.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Gerar um mosaico contínuo a partir de fotos de uma mesma estrutura;
- Catalogar estas imagens;
- Desenvolver uma interface visual para utilização do sistema.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está organizado em 5 capítulos, nos quais o primeiro e o último correspondem a introdução e considerações finais, respectivamente. O Capítulo 2, Fundamentação Teórica, buscará elucidar os conceitos e algoritmos relevantes para a compreensão deste trabalho, além da descrição de trabalhos relacionados disponíveis na literatura e que contribuiram para a elaboração do mesmo. O Capítulo 3, Metodologia, indica as ferramentas e métodos utilizados para o desenvolvimento do trabalho e avaliação do software, além de sua implementação e caso de uso. O Capítulo 4, Resultados e discussões, apresentará os resultados obtidos através do desenvolvimento da pesquisa e aplicação de questionários, abrindo espaços para trabalhos futuros que serão abordados já nas considerações finais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEORICA

Para melhor embasamento do projeto, foram pesquisados conceitos e estudados artigos relacionados ao tema. Além disso será feito uma breve descrição sobre os algoritmos utilizados no desenvolvimento da ferramenta.

2.1 CONCEITOS

2.1.1 Mosaico de Imagens

Um mosaico de imagens é a união de duas ou mais fotografias com áreas que se sobrepõe, de forma semelhante a uma imagem panorâmica. A principal diferença entre os dois conceitos é o registro das fotografias em questão, enquanto a imagem panorâmica utiliza de uma câmera em um ponto fixo, alterando sua direção a cada fotografia, o mosaico utiliza de uma direção fixa e movimenta a câmera ao longo do objeto a ser fotografado, semelhante ao processo de escaneamento.

Este procedimento é feito a fim de obter-se uma imagem de uma grande região e alta resolução. Não existe, porém, um método comum que funcione para todos os tipos de imagens. Contudo, o problema central a ser resolvido está em encontrar a área em comum das fotografias. (WANG; YANG, 2020)

2.1.2 Pontos Chave

Os pontos chave de uma fotografia são aqueles que mais se destacam na imagem. No cenário do processamento de imagens, estes pontos chave são detectados como cantos.

O canto que geralmente é gerado a partir de interseções entre linhas, geralmente é o ponto onde há uma diferença acentuada de brilho ou possui grande curvatura. É invariante em escala e pouco influenciado pela iluminação. Portanto, o canto é adequado para detecção. (WANG; YANG, 2020, p. 3, livre tradução do autor)

A partir da obtenção destes pontos, são gerados descritores para os mesmos. Estes descritores são conjuntos de características armazenadas em forma de vetor. Dessa forma, é possível medir a distância Euclidiana entre estes vetores e, caso essa distância

seja menor que determinado valor, considera-se que os dois descritores foram gerados pelo mesmo ponto chave, mesmo que em imagens diferentes. (LOWE, 2004)

Por exemplo, para a detecção dos pontos chave da Figura 2.1, primeiramente esta é convertida para tons de cinza, como pode ser visto na Figura 2.2. Então, os pontos em que há uma mudança brusca de intensidade de brilho em, pelo menos, 2 sentidos, para diferenciar cantos de bordas, são definidos como pontos chave, como pode ser visto na Figura 2.3.

Figura 2.1 – Exemplo de fotografia



Fonte: Próprio autor.

Figura 2.2 – Exemplo de fotografia em tons de cinza



Fonte: Próprio autor.

Figura 2.3 – Exemplo de fotografia em tons de cinza com pontos chave em vermelho



Fonte: Próprio autor.

2.2 ALGORITMOS

2.2.1 ORB

O algoritmo *ORB* foi escolhido para as etapas de detecção de pontos chave e cálculo de seus descritores por conta de sua qualidade (WANG et al., 2020) e velocidade, (ZHANG et al., 2017) em comparação às suas alternativas. Além de não necessitar de licença. (RUBLEE et al., 2011)

Para detectar os pontos chave, o algoritmo utiliza a metodologia *FAST-9*. A imagem é convertida para escalas de cinza, cada pixel é comparado com seus vizinhos, presentes num raio circular de 9 pixels, e, caso a diferença de intensidade entre estes pixels seja maior que dado valor, este ponto é considerado um ponto chave. (RUBLEE et al., 2011)

Já para o cálculo dos descritores, o método utilizado pelo algoritmo é o *rBRIEF*, que se baseia na distribuição de cinza da região da imagem em sua vizinhança. Primeiramente, dentro de uma vizinhança de tamanho estipulado do ponto chave, dois pontos são selecionados como os centroides de um par de regiões. Então, um valor binário é atribuído de acordo com a seguinte relação: caso a intensidade de cinza da primeira região seja maior ou igual à da segunda, o valor armazenado será 0, do contrario, será 1. As operações acima são então repetidas, normalmente por 256 ou 512 vezes, com pares de pontos selecionados aleatoriamente para formar uma sequência binária que é a descrição do ponto chave. (WU et al., 2021)

2.2.2 RANSAC

Ao comparar descritores de pontos chave de imagens diferentes, para encontrar correspondências, é inevitável que ocorram erros de correlações. Para corrigir esses erros, o algoritmo *RANSAC* se torna uma solução confiável. (WU et al., 2021)

Para determinar as boas e as más correlações, o algoritmo *RANSAC* escolhe uma amostra aleatória de quatro correspondências. Esta amostra é utilizada para o cálculo de uma matriz de transformação. Esta matriz é então utilizada para as correlações restantes e todo par de pontos chave que seja satisfeito por esta transformação é considerado uma boa correspondência. Este processo é repetido diversas vezes, sempre utilizando de amostras aleatórias. Ao fim, é escolhido o modelo com maior quantia de correlações consideradas boas. (WU et al., 2021; FISCHLER; BOLLES, 1981)

2.3 TRABALHOS RELACIONADOS

Meghana et al. (2018) cita brevemente a importância de mosaicos no monitoramento de fissuras em estruturas de concreto, onde as fotografias precisam ser tiradas com determinada distância e o mais perpendiculares à superfície possível. Não sendo possível fotografar a estrutura inteira de uma única vez, são feitas diversas imagens para cobrir sua área. Para examinar o dano é requerido a imagem completa da superfície. Desta forma, é aplicada a união de imagens, extraíndo-se os pontos chave das bordas da fotografia que será distorcida para que a imagem final tenha uma aparência mais contínua. Não são comentadas automatizações nesse procedimento, como por exemplo na escolha da ordenação das fotografias a serem unidas, assim como não são demonstrados mosaicos com mais de 2 imagens.

Em Liu et al. (2016) é descrito um procedimento para a criação de mosaicos de imagens de superfícies inferiores de pontes e viadutos de concreto. Para este procedimento é utilizado um caminhão projetado especificamente para esta finalidade, este conta com um sistema de inspeção acoplado ao fim de um braço mecânico articulado, muito similar a uma lança telescópica. Além das fotografias registradas, é gerada uma nuvem de pontos para a criação de um modelo 3D georreferenciado da superfície inferior da estrutura, a relação entre essas é calibrada a partir de uma situação conhecida. Para uma maior eficiência, são gerados grupos de imagens, aproveitando da ordenação e posição em que foram registradas, de forma que a última imagem de um grupo é a primeira do próximo. Para realizar a união das fotografias em uma única imagem, o procedimento utiliza o algoritmo *SIFT* para obtenção dos pontos chaves das imagens, além disso, tira proveito de superfícies chanfradas, identificando as linhas do modelo 3D que delimitam estas dobras na estrutura e às desenhando temporariamente nas fotografias, auxiliando no processo de

obtenção de pontos chave mais confiáveis dada a falta de textura das superfícies de concreto. Por fim, para eliminar a diferença de iluminação e os desvios de cor, além de ocultar paralaxe das imagens, foi utilizado o software de código aberto *Enblend*.

De forma semelhante, Xie et al. (2018), utilizando do mesmo modelo de sistema de inspeção que Liu et al. (2016), também se aproveita do conhecimento prévio de chanfros nas estruturas de pontes e viadutos. Porém, propõe um método de obtenção de pontos chave e comparação de fotografias envolvendo três algoritmos. Primeiramente, é utilizado *SIFT* para uma primeira matriz de transformação entre duas imagens. Então, aproveitando essa matriz, utiliza-se o método *Shi-Tomasi* para calcular uma relação mais refinada das duas imagens. Por fim, é utilizado o algoritmo *SURF* para a união de dois mosaicos lineares vizinhos.

Os resultados finais demonstrado por Liu et al. (2016) e por Xie et al. (2018), são mosaicos que não carregam distorções visíveis de uma extremidade a outra e com pouquíssimos erros de união de imagens. Resultados eficazes principalmente considerando que para a confecção dos mosaicos foram utilizadas, para o primeiro, centenas de imagens e, para o segundo, milhares de imagens. Porém, estes procedimentos utilizam de ferramentas de difícil acesso ou que nem sempre serão uma opção, como é o caso da lança telescópica, descrito na Seção 1.1.

Wang et al. (2020) propõe um método para a detecção e medição de fissuras na parte inferior de pontes e viadutos. Os autores descrevem também um procedimento para a união de diversas imagens de uma mesma fissura, a fim de aplicar o método de medição em uma região maior da patologia. Enquanto descrevem o procedimento, os autores fazem comparações de métodos conhecidos para a criação de panoramas. Os melhores resultados foram obtidos à partir da utilização do algoritmo *ORB* para a detecção de pontos chave das imagens. O algoritmo *k-NN* é utilizado durante a comparação destes pontos de duas imagens diferentes, a fim de utilizar seus resultados para filtrar correlações mais confiáveis. A quantia de boas relações entre imagens é utilizada para a geração de um grafo não orientado, no qual é utilizado um algoritmo de *maximum spanning tree* para descobrir a melhor ordenação das fotografias a serem conectadas. É então calculada uma matriz de transformação utilizada para projetar uma imagem sobre a outra, alinhando a posição dos pontos chaves correspondentes. Neste passo é utilizado o algoritmo *RANSAC* para novamente filtrar apenas boas correlações. Por fim, são utilizados procedimentos para disfarçar a transição entre uma imagem e outra no panorama final.

O resultado apresentado por Wang et al. (2020) é interessante a este trabalho por dois motivos: primeiro, por utilizar apenas informações extraídas das fotografias em si, e segundo, por demonstrar que, mesmo após a confecção do mosaico, a medição da fissura presente nas imagens se manteve confiável. Infelizmente não é apresentado um mosaico gerado com uma maior quantia de fotografias. Ainda, não demonstra a aplicação em uma maior área de estrutura, onde não hajam fissuras na região sobreposta por duas imagens

e a textura do concreto contém menos detalhes.

De forma semelhante, Zhang et al. (2017) utiliza a criação de mosaicos de imagens para a inspeção de fissuras em superfícies inferiores de pontes e viadutos. Os autores fazem comparações de tempo de execução entre os algoritmos *SIFT*, *SURF* e *ORB*. Nos testes, enquanto o algoritmo *ORB* alcança execuções consistentemente mais rápidas para a obtenção de pontos chave das imagens, assim como para o cálculo de seus descritores, o algoritmo *SURF* apresenta tempos menores para encontrar correlações entre pontos de imagens diferentes. Desta forma é decidido que o algoritmo *ORB* é o mais adequado para a geração dos panoramas, pois entre obter pontos chave, calcular descritores e encontrar correlações seu tempo total é significativamente menor. Após isto, são correlacionados os pontos chave de imagens diferentes, é calculada e aplicada uma matriz para alterar a perspectiva de uma imagem e uni-lá à outra. Nas imagens finais ainda é aplicada a detecção de fissuras e essas são destacadas no mosaico.

Zhang et al. (2017) consegue resultados satisfatórios na confecção de mosaicos que serão utilizados para a inspeção de fissuras. Nem todas as fotografias utilizadas continham fissuras ou detalhes que facilitassem a união das imagens, mesmo desta forma foram gerados mosaicos convincentes com a textura do concreto. Porém, novamente, não foram demonstrados resultados com maiores quantias de fotografias, que tornariam mais perceptível a distorção gerada pelas uniões consecutivas de imagens.

Wu et al. (2021) também adota o algoritmo *ORB* como ferramenta principal para a união de imagens, além do algoritmo *RANSAC* para filtrar as correlações entre pontos chave de fotografias. No artigo, a ferramenta *GoogLeNet Inception v3* é treinada para reconhecer fissuras em superfícies de estruturas, e então utilizada nos mosaicos gerados. Apesar do mosaico apresentado no trabalho ser simples, utilizando apenas de duas fotografias, sua aplicação não teve prejuízos perceptíveis ao desempenho da ferramenta *GoogLeNet Inception v3*.

2.4 CONCLUSÃO

Após as leituras, é possível perceber que todos os autores utilizam a extração de pontos chave das imagens como base para a criação de mosaicos. Além disso, é descrito que a geração dos mosaicos não prejudica etapas de detecção e/ou medição de patologias. Assim, este trabalho visa utilizar os métodos descritos na literatura para a elaboração de um software de fácil utilização. Ainda, para melhor validação dos resultados, serão utilizados questionários com o público-alvo da ferramenta final, algo não citado nos trabalhos anteriores.

3 METODOLOGIA

As ferramentas utilizadas para o desenvolvimento estão listadas a seguir:

- Computador pessoal com processador *Intel Core i5-7600K*, 16GB de RAM, placa de vídeo *NVIDIA GeForce GTX 960* e sistema operacional *Windows 10 Pro*, versão 21H1;
- Linguagem de programação *Python*, versão 3.9
- Ferramenta de visão computacional e processamento de imagens *OpenCV*¹, versão 4.5.3;
- Algoritmo *ORB* (Seção 2.2.1);
- Algoritmo *RANSAC* (Seção 2.2.2);
- Fotografias, retiradas por drones, provenientes da ponte sobre o Rio Benevente da rodovia BR-101²;
- Ferramenta de interfaces gráficas *Tkinter*, versão 8.6;
- *Google Forms*³.

A partir da escolha do algoritmo *ORB*, descrita na Seção 2.2.1, foi decidido pela utilização da ferramenta *OpenCV* para o processamento das imagens. Além de ter uma implementação nativa do algoritmo, ambos são ferramentas gratuitas e de código aberto.

Inicialmente, para o desenvolvimento da ferramenta proposta, foram seguidos os métodos indicados por datahacker.rs (2020) e MathWorks (c2021). Após este primeiro passo, o procedimento foi sendo alterado para melhor adaptação ao contexto dos mosaicos de imagens de estruturas. Ao fim, foi utilizada a ferramenta *Tkinter* para o desenvolvimento de uma interface gráfica amigável ao público-alvo.

O processo descrito por datahacker.rs (2020) elucida uma forma de realizar a união de duas imagens utilizando a ferramenta *OpenCV*. Primeiramente, extrai-se pontos chave das fotografias. Estes pontos são então comparados a partir de suas descrições, a fim de descobrir quais destes são comuns a ambas imagens, criando, então, uma lista de correspondências. A partir destas combinações, torna-se possível o cálculo de uma matriz de transformação, a qual, ao ser aplicada na segunda fotografia, muda sua perspectiva, de forma que os pontos correspondentes de ambas as imagens coincidam em posicionamento e, finalmente, a imagem única é criada.

¹<https://opencv.org/>

²Fotografias cedidas por Sarkis Engenharia Estrutural Ltda.

³<https://docs.google.com/forms/>

Porém, este processo, da forma como foi descrito por datahacker.rs (2020), não é estável para uma quantia maior de imagens a serem combinadas em sequência, como na criação dos mosaicos, pois, após consecutivas transformações, a detecção de pontos chave deixa de ser confiável.

Uma forma de correção deste problema é exemplificada por MathWorks (c2021), utilizando-se de uma ferramenta diferente, *MatLab*⁴, porém, com comandos semelhantes. Para uma lista de fotografias, comparam-se os pontos chave e calcula-se a matriz de transformação, como no método anterior, porém, a matriz não é aplicada até os últimos passos do procedimento. Desta forma, cada fotografia é comparada com a anterior em seu formato original, sem prejuízos à detecção dos pontos chave. Para a confecção do mosaico, é aplicada, na matriz de transformação de cada imagem, a transformação de perspectiva utilizada na fotografia anterior, de forma que, ao final do processo, todas as imagens se encontrem na mesma perspectiva. Ainda, para que haja uma menor distorção nas imagens mais distantes, descobre-se a fotografia central do mosaico e aplica-se o oposto da sua transformação para todas as matrizes, de forma que esta se torna a referência às demais, mantendo sua perspectiva inalterada. Somente então, todas as matrizes são aplicadas em suas respectivas fotografias e o mosaico é criado.

Este método, contudo, depende do conhecimento prévio de quais fotografias estarão diretamente conectadas no mosaico final.

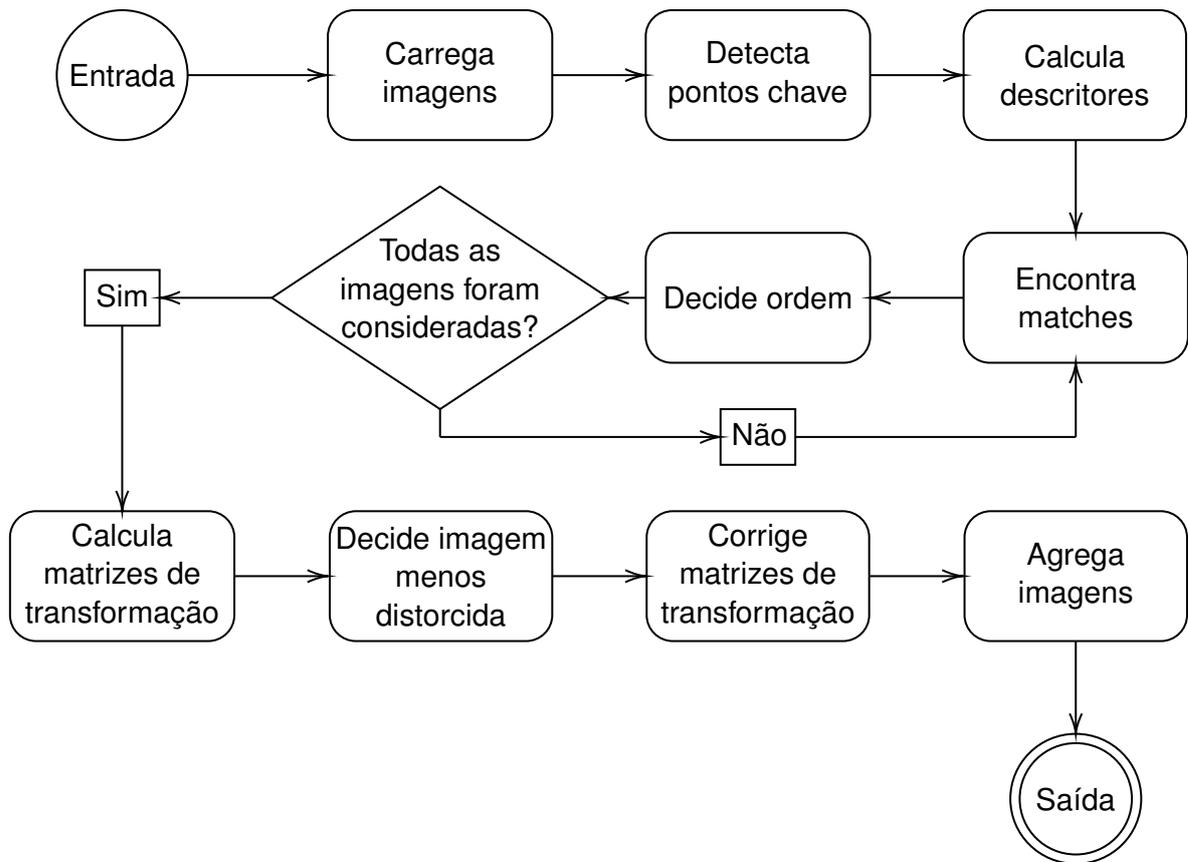
3.1 IMPLEMENTAÇÃO DO SOFTWARE PROPOSTO

Esta seção descreve o funcionamento do código desenvolvido para a união das imagens. Um diagrama simplificado deste funcionamento pode ser visto na Figura 3.1. No diagrama estão retratados os principais passos executados pela ferramenta desde o momento que o usuário informa as imagens a serem utilizadas, até o resultado final que são os mosaicos gerados.

Primeiramente, as imagens a serem utilizadas são informadas pelo usuário. Estas são armazenadas em estruturas juntamente com seus pontos chave e descritores, que são detectados e calculados pelo algoritmo *ORB* assim que cada imagem é lida. A fim de evitar uma distorção maior das imagens nas etapas seguintes, os pontos chave da área central da imagem são armazenados separadamente daqueles presentes na região periférica da mesma. Esta separação é feita por conta da deformação proveniente de lentes de câmeras, que costuma afetar principalmente as regiões próximas às extremidades das fotografias. Um exemplo de fotografia utilizada durante a implementação pode ser vista na Figura 3.2 e seus pontos chave nas Figuras 3.3 e 3.4.

⁴<https://www.mathworks.com/products/matlab.html>

Figura 3.1 – Diagrama de funcionamento do software



Fonte: Próprio autor.

Para a descoberta da ordenação das imagens não foi implementado o conceito de *maximum spanning tree* citado por Wang et al. (2020), pois esse não foi eficiente para uma quantia maior de imagens.

Então, para descobrir a ordem das imagens a ser utilizada, além da quantia de mosaicos, são criadas duas listas: uma para índices de imagens visitadas e outra para índices de não visitadas. Para isso, seguem os passos:

1. Todos os índices estão na lista de não visitadas;
2. O primeiro índice de não visitadas é movido para a lista de visitadas;
3. Os descritores das imagens de não visitadas vão sendo comparadas com as de visitadas em busca de *matches* (correlações);
4. Toda vez que a quantia de *matches* de duas imagens comparadas for maior que determinado valor, o par de índices é armazenado juntamente com a informação dos *matches*, além disso, o índice de não visitadas é movido para a lista de visitadas;
5. Ao final, caso a lista de não visitadas ainda tenha índices, é chamada uma recursão para o Passo 2 e mais um mosaico será gerado.

Figura 3.2 – Exemplo de fotografia utilizada nos mosaicos



Fonte: Sarkis Engenharia Estrutural Ltda.

Figura 3.3 – Exemplo de fotografia com pontos chave em roxo



Fonte: Próprio autor.

Figura 3.4 – Exemplo de fotografia com pontos chave, apenas na região central, em roxo



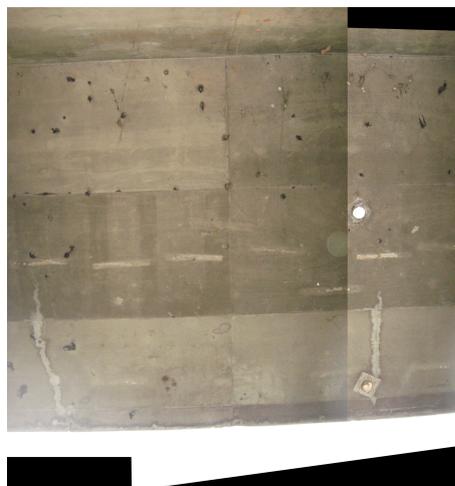
Fonte: Próprio autor.

No Passo 3, a ordem de comparações para cada imagem da lista de não visitadas começa com a ultima imagem adicionada em visitadas, a fim de aproveitar situações em que as imagens já venham ordenadas ou quase ordenadas, o que costuma ocorrer visto que as imagens geralmente seguem a ordem em que foram registradas em uma varredura.

Para encontrar as correlações, é utilizado o método de força bruta, isto é, todos os descritores de uma imagem são comparados com todos os descritores da outra. Ainda, são retornadas as duas correlações mais próximas para cada ponto chave. Assim, apenas caso a correspondência mais próxima seja melhor que a segunda por determinada margem, este *match* é encaminhado para o Passo 4. Além disso, primeiramente são comparados os descritores das regiões centrais das imagens e, somente caso não se consiga correspondências o suficiente, são utilizados também os descritores das regiões periféricas.

A partir desses dados, são calculadas as matrizes de transformação de cada imagem. O cálculo destas matrizes utiliza o algoritmo *RANSAC* como último filtro para separar os *matches* bons dos ruins, como descrito na Seção 2.2.2. A matriz calculada é também multiplicada pela matriz anterior, a fim de manter uma única perspectiva, desde a primeira, até a última imagem. Essa matriz, após a multiplicação, também é aplicada nos pontos das extremidades armazenados anteriormente, a fim de descobrir quais serão as novas extremidades da imagem já transformada. A fim de elucidar este processo, a Figura 3.5 mostra duas fotografias, a segunda já com sua matriz de transformação aplicada. Na Figura 3.6, para a adição de uma terceira imagem, foi calculada e aplicada a matriz de transformação da fotografia da esquerda e esta foi aplicada, também, na matriz da imagem da direita. Por fim, a Figura 3.7 ilustra o resultado da união das três fotografias.

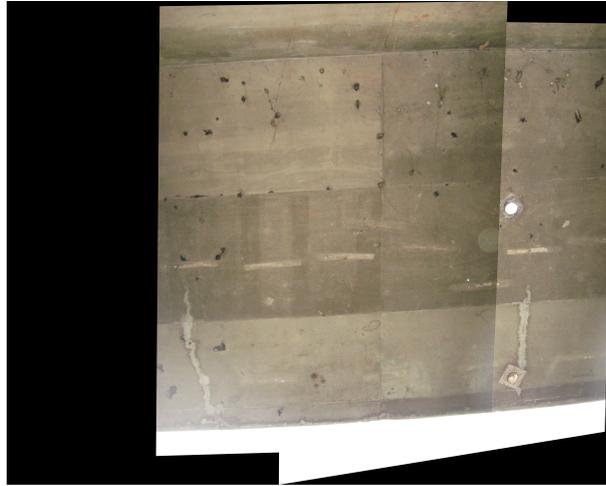
Figura 3.5 – Exemplo da união de duas fotografias, aplicando uma matriz de transformação à imagem da direita



Fonte: Próprio autor.

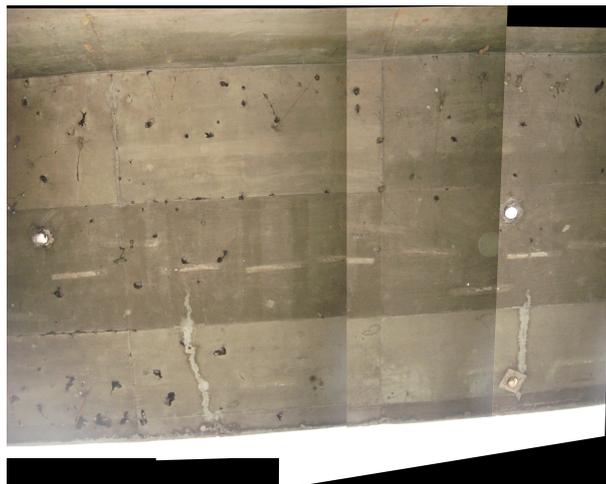
Até o momento, todas as imagens estão utilizando a primeira fotografia como referência para suas transformações de perspectivas. Como pode ser visto na Figura 3.8.

Figura 3.6 – Exemplo do processo de união de três fotografias, ainda sem a imagem da esquerda. A matriz de transformação da imagem central foi aplicada também na imagem à direita



Fonte: Próprio autor.

Figura 3.7 – Exemplo da união de três fotografias

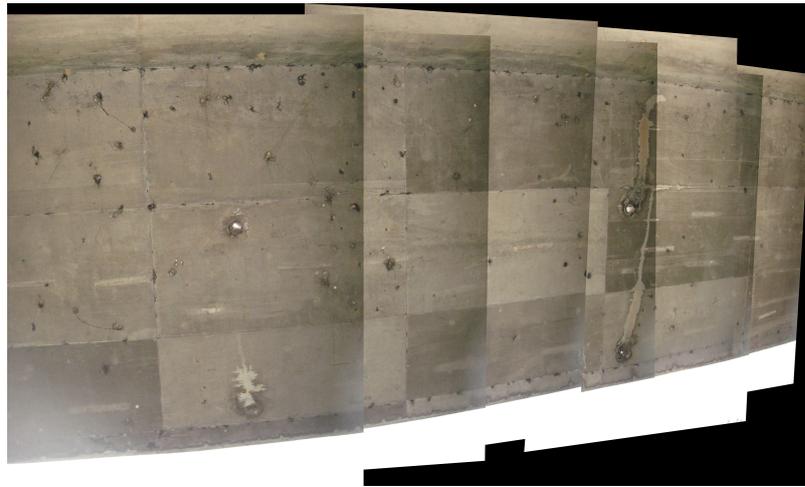


Fonte: Próprio autor.

No entanto, utilizar a primeira imagem como o início do panorama (mosaico) não produz o panorama mais esteticamente agradável, pois, isto tende a distorcer a maioria das imagens que formam o panorama. Um panorama mais agradável pode ser criado modificando-se as transformações de forma que o centro da cena seja o menos distorcido. Isso é feito invertendo a transformação da imagem central e aplicando essa transformação a todas as outras. (MathWorks, c2021, livre tradução do autor)

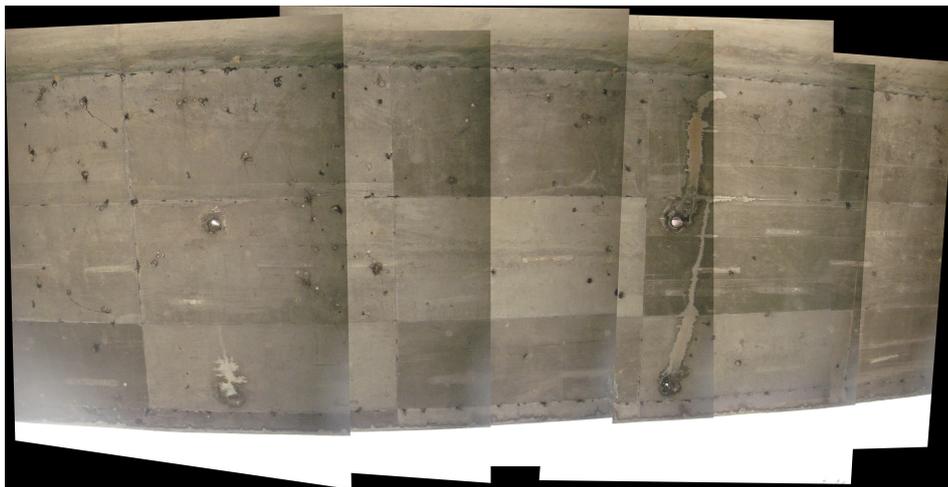
Conhecendo as extremidades de cada imagem após sua transformação, descobre-se facilmente a fotografia mais próxima do centro do mosaico. Para então seguir o procedimento, descrito por MathWorks (c2021), citado anteriormente, gerando o resultado da Figura 3.9. Além disso, é dada a opção para o usuário escolher a imagem a ser menos distorcida, substituindo o passo de descoberta da imagem central. Esta opção pode ser

Figura 3.8 – Exemplo de mosaico utilizando a primeira imagem como referência



Fonte: Próprio autor.

Figura 3.9 – Exemplo de mosaico utilizando a imagem central como referência



Fonte: Próprio autor.

utilizada caso se deseje dar prioridade para determinada patologia que tenha sido previamente identificada, como demonstrado na Figura 3.10.

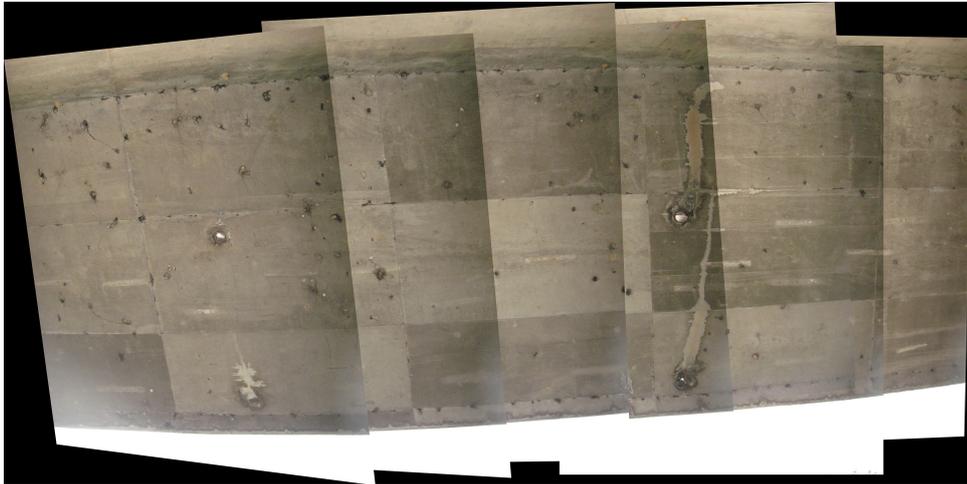
Apenas então as matrizes são aplicadas às fotografias além de serem utilizadas para a formulação de máscaras⁵ que auxiliam na união das imagens e confecção do mosaico final. A Figura 3.11 exibe um mosaico inacabado, ainda sem o ajuste de perspectiva, enquanto a Figura 3.12 demonstra a máscara gerada para o mesmo, que será invertida para a adição da próxima fotografia.

Além do mosaico, é gerado também um arquivo contendo os nomes das imagens que foram utilizadas para sua confecção, já listados na ordem em que foram utilizadas.

Por fim, enquanto a Figura 3.13 demonstra um mosaico que utiliza pontos chave detectados na imagem completa, a Figura 3.14 exibe um mosaico que dá preferência para

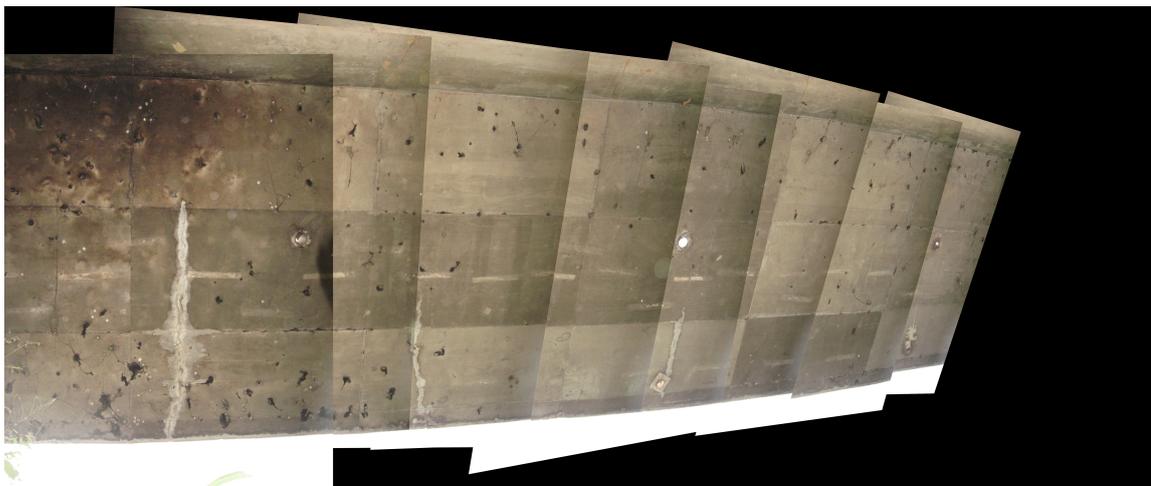
⁵No contexto do processamento de imagens, máscara se refere a uma espécie de filtro, o qual determina em quais regiões de uma imagem dado procedimento será realizado

Figura 3.10 – Exemplo de mosaico utilizando a imagem selecionada pelo usuário como referência



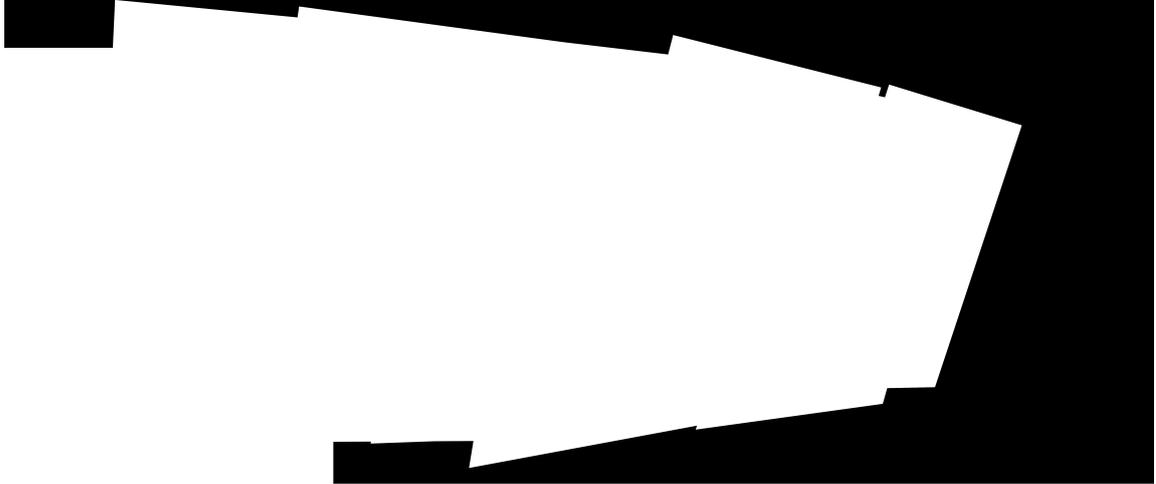
Fonte: Próprio autor.

Figura 3.11 – Mosaico inacabado e ainda sem o ajuste de perspectiva



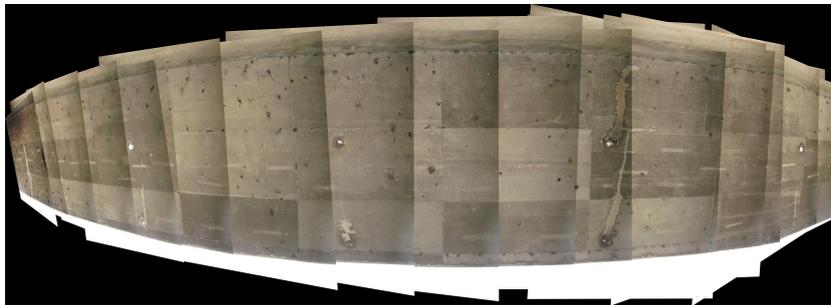
Fonte: Próprio autor.

Figura 3.12 – Máscara, feita a partir de um mosaico inacabado e ainda sem o ajuste de perspectiva, que auxilia na união das imagens



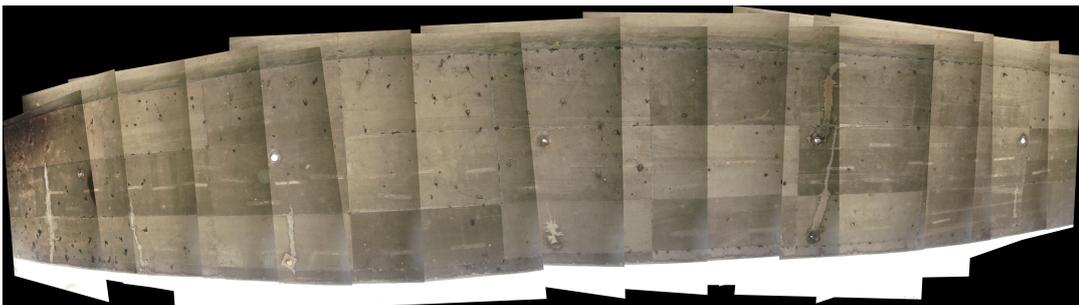
Fonte: Próprio autor.

Figura 3.13 – Mosaico que utiliza pontos chave na área total de cada fotografia



Fonte: Próprio autor.

Figura 3.14 – Mosaico que prioriza pontos chave detectados na área central de cada fotografia



Fonte: Próprio autor.

a utilização de pontos chave da região central das fotografias. O código completo pode ser conferido no Apêndice ??

3.2 CASO DE USO

Tendo em vista a utilização da ferramenta pelo público-alvo, foi desenvolvido, utilizando a ferramenta *Tkinter* para a criação de uma interface gráfica simples e despretensiosa, um caso de uso único. Neste, o usuário terá como objetivo confeccionar um mosaico a partir de fotografias presentes em seu dispositivo, além de escolher a imagem a ser menos distorcida no mesmo. Seguem os passos:

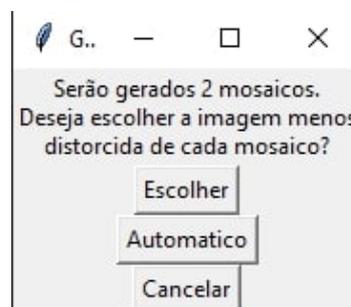
1. O usuário inicia o sistema;
2. O sistema exibe a interface gráfica inicial, exemplificada na Figura 3.15;
3. O usuário decide se irá selecionar os arquivos das fotografias ou uma pasta que contenha todas as imagens a serem utilizadas;
4. O usuário seleciona a pasta ou os arquivos desejados utilizando a interface de seleção do seu sistema operacional;
5. A ferramenta determina quantos mosaicos serão gerados e exibe esta informação na tela, como pode ser visto na Figura 3.16;
6. O usuário seleciona a opção "Escolher", referente a escolha da imagem menos distorcida;
7. O sistema exibe imagens do mosaico para a seleção, conforme a Figura 3.17;
8. O usuário navega até a imagem desejada, utilizando os botões "<<" e ">>";
9. O usuário seleciona a opção "Escolher esta";
10. Caso ainda hajam mosaicos cuja imagem de referência ainda não tenha sido escolhida, o sistema retorna ao Passo 7;
11. A ferramenta realiza a união das imagens;
12. O sistema exibe o mosaico, como pode ser visto na Figura 3.18;
13. O usuário seleciona a opção "Salvar";
14. O usuário escolhe o nome e a localização do mosaico a ser salvo, utilizando a interface de seleção do seu sistema operacional;

Figura 3.15 – Interface inicial da interface do sistema



Fonte: Próprio autor.

Figura 3.16 – Interface exibindo a quantidade de mosaicos a serem gerados



Fonte: Próprio autor.

15. A ferramenta armazena o resultado gerado juntamente com um arquivo de texto de mesmo nome, o qual contém a informação de quais imagens foram utilizadas para a confecção do mosaico;
16. Caso ainda houver mosaicos a serem exibidos, o sistema retorna ao Passo 12.

Ainda, são previstas as seguintes exceções:

- Nos Passos 3, 4 e 6, caso o usuário selecione a opção "Cancelar", o sistema é interrompido;
- No Passo 6, caso o usuário selecione a opção "Automático", todos os mosaicos utilizarão a imagem central como imagem de referência e o sistema avança para o Passo 11;
- Nos Passos 8 e 9, caso o usuário selecione a opção "Automático", o mosaico em questão utilizará a imagem central como imagem de referência e o sistema avança para o Passo 10;
- No Passo 13, caso o usuário selecione a opção "Cancelar", o sistema avança para o Passo 16.

Figura 3.17 – Interface para a seleção da imagem menos distorcida do mosaico



Fonte: Próprio autor.

Figura 3.18 – Interface exibindo o mosaico gerado



Fonte: Próprio autor.

3.3 MÉTODO DE AVALIAÇÃO

Para a validação da ferramenta desenvolvida, foram elaborados dois questionários, utilizando a ferramenta Google Forms, a serem aplicados no público-alvo. O primeiro foi pensado para entender como o público-alvo percebe a necessidade de um software para a construção de mosaicos e conhecer seus requisitos, sendo aplicado antes da utilização da ferramenta, a fim de não induzir as respostas.

Já o segundo questionário, aplicado após a utilização da ferramenta, foi elaborado para compreender a real utilidade e praticidade do software desenvolvido, além de abrir espaço para sugestões de trabalhos futuros.

3.4 CONCLUSÃO

Deste modo, o trabalho busca desenvolver uma ferramenta de fácil utilização, com um único caso de uso e com poucos passos a serem executados pelo usuário. Esta ferramenta utiliza apenas das imagens fornecidas durante sua execução, não necessitando de mecanismos adicionais, como nuvens de pontos ou georreferenciamento. Além disso, propõe questionários para a validação da praticidade, facilidade e utilidade da operação da ferramenta na prática.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A validação da ferramenta desenvolvida neste trabalho se dá em duas partes, sendo a primeira uma análise do funcionamento do software e dos mosaicos gerados e, a segunda, a análise dos questionários aplicados no público-alvo.

4.1 MOSAICOS

Os mosaicos gerados a partir da ferramenta desenvolvida são interessantes, é possível obter uma visão geral do estado de estruturas e localizar determinadas patologias. Porém, os resultados não são estáveis o suficiente para serem utilizados sozinhos, tornando necessária ainda a consulta às fotografias originais.

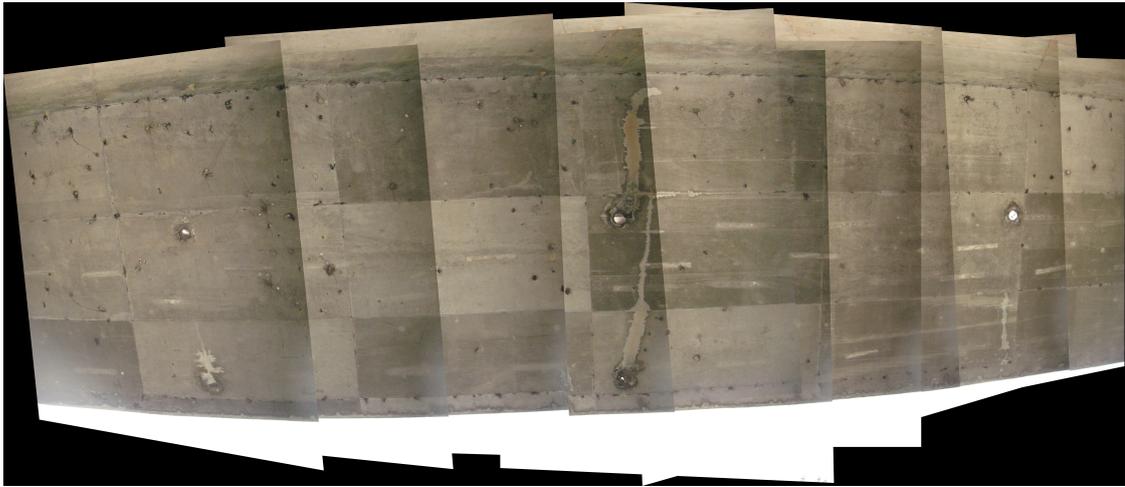
As fotografias utilizadas impactam diretamente nos resultados gerados. Enquanto imagens com maior área sobreposta e mais detalhes aparentes tendem a gerar mosaicos mais eficientes, fotografias com uma área de sobreposição menor resultam em panoramas com extremidades mais distorcidas e, no caso de imagens com menos detalhes, podem gerar resultados distorcidos ou mesmo desconectar regiões de um mosaico. Assim, enquanto a falta de sobreposição das fotografias pode ser corrigida no momento da inspeção, as texturas do concreto de diversas estruturas é pobre em detalhes, como descrito por Liu et al. (2016).

Outro fator importante identificado durante os testes é a ordenação inicial das fotografias utilizadas. Mesmo com os esforços realizados para que o melhor arranjo das imagens fosse encontrado automaticamente, é visível que uma entrada ordenada, ou quase ordenada, resulta em mosaicos mais interessantes. Esta diferença pode ser vista nas Figuras 4.1 e 4.2, onde o primeiro foi feito com imagens previamente ordenadas e o segundo utilizou a mesma entrada com ordem aleatória. Esta é vista como uma adversidade menos significativa para a utilização pelo público-alvo, visto que as imagens costumam estar quase ordenadas, devido a ordem em que são registradas em uma inspeção.

A utilização preferencial de pontos chave da região central das fotografias diminui, mas não anula, o problema da distorção carregada de uma extremidade a outra dos mosaicos. Contudo, esta preferência por vezes resulta em falta de continuidade do mosaico na área de transição de uma fotografia para a outra.

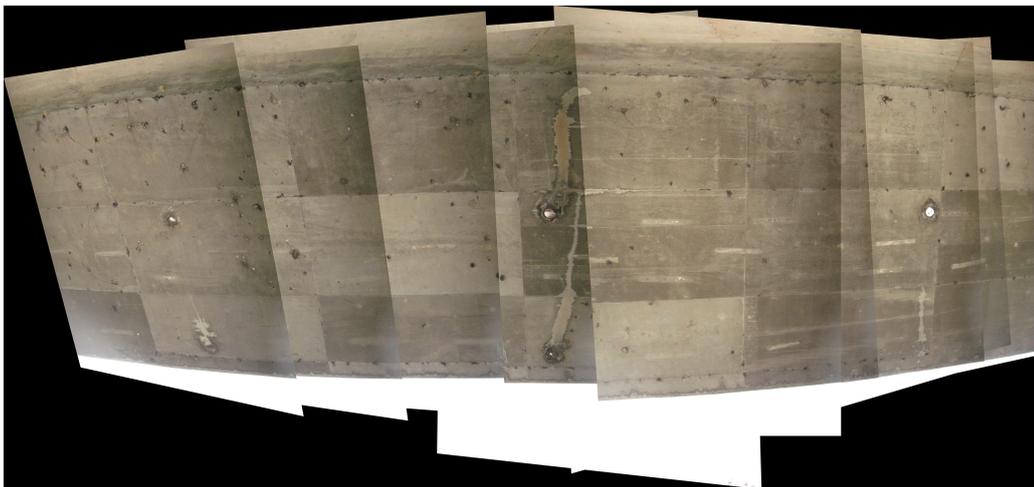
Por fim, a ferramenta, ocasionalmente, gera resultados distorcidos em pares de imagens. Não foi encontrada nesse estudo uma forma de detectar automaticamente estas distorções, assim, cabe ao usuário escolher quais mosaicos serão salvos ou descartados. Muitos destes resultados adversos podem ser corrigidos por um simples ajuste de parâmetros do código, porém, estes ajustes requerem certo conhecimento sobre o funcionamento

Figura 4.1 – Mosaico gerado com imagens previamente ordenadas



Fonte: Próprio autor.

Figura 4.2 – Mosaico gerado com imagens embaralhadas aleatoriamente



Fonte: Próprio autor.

da ferramenta, o que não se espera do público-alvo da mesma.

Assim, o reparo dos problemas de ordenação, a implementação de um método mais eficiente para diminuição das distorções finais do mosaico, a detecção ou correção de distorções acentuadas em pares de imagens, como também o estudo de um método específico para a união das imagens de textura do concreto se tornam as principais motivações para desenvolvimento de trabalhos futuros.

4.2 QUESTIONÁRIOS

Os questionários desenvolvidos para a validação da ferramenta foram aplicados apenas em quem acreditou-se fazer parte do público-alvo, sejam estudantes ou formados

nas áreas de engenharia civil ou arquitetura, ou pessoas que trabalham ou já trabalharam com levantamentos de patologias em estruturas.

Infelizmente, não houve tempo hábil para uma maior divulgação dos questionários, dadas as restrições para respondentes, de forma que foram coletadas respostas de apenas cinco pessoas, além disso, somente quatro destas responderam o segundo questionário.

4.2.1 Questionário pré utilização da ferramenta

O primeiro questionário foi aplicado aos respondentes antes de utilizarem a ferramenta. Este procedimento foi feito a fim de não induzir as respostas quanto aos requerimentos da ferramenta. As questões podem ser conferidas no Apêndice A.

Dentre as questões pensadas para conhecer a experiência dos respondentes no contexto dos mosaicos de imagens, todos afirmaram já terem visto necessidade da utilização dos mesmos, não conhecerem formas práticas para gerar um mosaico e acharem interessante a criação de uma ferramenta específica para esta finalidade.

Para a questão de quantificar importâncias para requisitos da ferramenta, de 1 a 5, sendo 1 nada importante e 5 muito importante, a análise das respostas se deu como segue. Todos concordam que o software deve ser de fácil utilização (uma resposta 4 e quatro respostas 5). Todos concordam que deve ser possível escolher uma pasta que contenha todas as imagens a serem utilizadas (uma resposta 4 e quatro respostas 5) e a maioria também concorda que deve ser possível escolher os arquivos específicos de cada imagem (uma resposta 3, uma 4 e três respostas 5). A maioria define que a ferramenta deve descobrir sozinha a ordem das imagens para o mosaico (uma resposta 2, uma 4 e três respostas 5), mas não houve consenso sobre a ferramenta gerar mais de um mosaico caso necessário (uma resposta 1, uma 3, duas 4 e uma resposta 5). Também não houve consenso caso a ferramenta deve agrupar as imagens utilizadas para cada mosaico em uma nova pasta (duas respostas 2, uma 3 e duas respostas 4) ou ainda gerar um arquivo que descreva quais imagens foram utilizadas (uma resposta 2, duas 4, uma 5 e uma não soube responder).

Na questão de escrita livre sobre as características do mosaico final, é citada a importância de um mosaico preciso, isto é, que seja uma representação o mais semelhante possível da realidade, evitando distorções. Ainda, foi relatado o interesse em realizar ajustes finos manuais no mosaico final.

Quanto a experiências com a confecção de mosaicos, foram relatadas, em duas respostas, tentativas de utilizar o programa Photoshop¹ para a união manual das fotografias. Foi relatado, também, que o método manual se torna muito trabalhoso.

As respostas completas se encontram no Apêndice B.

¹<https://www.adobe.com/br/products/photoshop.html>

4.2.2 Questionário pós utilização da ferramenta

O segundo questionário foi aplicado aos respondentes após estes utilizarem a ferramenta, desta forma, buscou-se as qualidades, defeitos e possíveis sugestões apontadas pelo público-alvo. As questões podem ser conferidas no Apêndice C.

Dois respondentes afirmaram necessitar de ajuda para a utilização do software, contudo, na questão dissertativa a respeito, não foi relatada nenhuma dificuldade em específico.

Quanto a falta de funcionalidades da ferramenta, foi relatado apenas o caso dos ajustes finos manuais no mosaico final.

Todos os respondentes afirmaram conseguir resultados uteis utilizando a ferramenta. Porém, quando perguntados sobre os problemas da ferramenta, em questões dissertativas, foram relatadas distorções nas imagens dos mosaicos. Além disso, em uma das respostas, foi citada a descontinuidade de certas imagens.

As respostas completas se encontram no Apêndice D.

4.3 CONCLUSÃO

Assim, concluí-se que os resultados obtidos neste trabalho são relevantes para o procedimento de mapeamento de patologias. Além disso, a interface gráfica facilitou o aprendizado do uso da ferramenta por parte dos usuários finais, representados pelos respondentes dos questionários. Contudo, ainda existem defeitos a serem solucionados, tanto na confecção dos mosaicos quanto na usabilidade do sistema, o qual carece de opções para o usuário.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, a partir do estudo das técnicas do estado da arte, foi proposta uma ferramenta que automatiza a união de imagens digitais em mosaicos. O software conta com uma interface gráfica desenvolvida para a utilização por profissionais da área da construção civil. Esta ferramenta se baseia na detecção de pontos chave das imagens, utilizando o algoritmo *ORB*, para encontrar as regiões de sobreposição de fotografias.

Os estudos realizados na literatura deixaram evidente a relevância do tema. Ainda, Wang et al. (2020), Zhang et al. (2017) e Wu et al. (2021) demonstraram, utilizando de ferramentas em comum com este trabalho, que os mosaicos de imagens gerados não prejudicam em etapas posteriores de detecções e medições de patologias.

A ferramenta proposta foi desenvolvida utilizando de métodos bem estabelecidos na literatura, como os algoritmos *ORB* e *RANSAC*. Além de um caso de uso único que prevê poucas interferências do usuário para seu funcionamento. Tudo isto a fim de elaborar uma ferramenta prática, de fácil aprendizado e utilização, e com resultados úteis.

O trabalho utilizou questionários, aplicados no público-alvo, para a validação da ferramenta proposta. Estes corroboram com a facilidade de aprendizado do sistema, além da utilidade do mesmo no âmbito da confecção de mosaicos. Contudo, apontaram também defeitos dos resultados do trabalho, tanto nos mosaicos gerados quanto na usabilidade do software, abrindo espaço para o seguimento dos estudos.

Como trabalhos futuros, solucionar os problemas de distorção e falta de continuidade, citados nos questionários, em determinadas imagens se torna uma prioridade. Além disso, como adição à ferramenta de confecção de mosaicos, os estudos devem ser ampliados para a automatização de mais etapas do mapeamento de patologias, como a detecção e medição destas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

datahacker.rs. **How to create a panorama image using OpenCV with Python**. Master Data Science, 2020. Acessado em 02 dez 2021. Disponível em: <<https://datahacker.rs/005-how-to-create-a-panorama-image-using-opencv-with-python/>>.

FISCHLER, M. A.; BOLLES, R. C. Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography. **Communications of the ACM**, ACM New York, NY, USA, v. 24, n. 6, p. 381–395, 1981.

FRANÇA, A. A. et al. Patologia das construções: uma especialidade na engenharia civil. **Téchne, São Paulo**, v. 19, n. 174, p. 72–77, 2011.

LIU, Y. et al. Optimal image stitching for concrete bridge bottom surfaces aided by 3d structure lines. **International archives of the photogrammetry, remote sensing & spatial information sciences**, v. 41, 2016.

LOWE, D. G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints. **International journal of computer vision**, Springer, v. 60, n. 2, p. 91–110, 2004.

MathWorks. **Feature Based Panoramic Image Stitching**. MathWorks, c2021. Acessado em 02 dez 2021. Disponível em: <<https://www.mathworks.com/help/vision/ug/feature-based-panoramic-image-stitching.html>>.

MEGHANA, R. et al. Inspection, identification and repair monitoring of cracked concrete structure—an application of image processing. In: IEEE. **2018 3rd International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES)**. [S.l.], 2018. p. 1151–1154.

RUBLEE, E. et al. Orb: An efficient alternative to sift or surf. In: IEEE. **2011 International conference on computer vision**. [S.l.], 2011. p. 2564–2571.

SARKIS, P. J.; SARKIS, J. M. Uso de drone em inspeção e definição de recuperação em oaes. In: **IX Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas**. [s.n.], 2016. p. 10. Disponível em: <<http://www.abpe.org.br/trabalhos2016/59.pdf>>.

WANG, H.-F. et al. Measurement for cracks at the bottom of bridges based on tethered creeping unmanned aerial vehicle. **Automation in Construction**, Elsevier, v. 119, p. 103330, 2020.

WANG, Z.; YANG, Z. Review on image-stitching techniques. **Multimedia Systems**, v. 26, n. 4, 2020.

WU, L. et al. Surface crack detection based on image stitching and transfer learning with pretrained convolutional neural network. **Structural Control and Health Monitoring**, Wiley Online Library, p. e2766, 2021.

XIE, R. et al. Automatic multi-image stitching for concrete bridge inspection by combining point and line features. **Automation in Construction**, Elsevier, v. 90, p. 265–280, 2018.

ZHANG, H. et al. Automatic crack inspection for concrete bridge bottom surfaces based on machine vision. In: IEEE. **2017 Chinese Automation Congress (CAC)**. [S.l.], 2017. p. 4938–4943.

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO PRÉ UTILIZAÇÃO DA FERRAMENTA

30/01/2022 01:22

Pesquisa sobre Mosaicos de Imagens

Pesquisa sobre Mosaicos de Imagens

Mosaico é o nome dado para a união de diversas fotografias em uma única imagem de maior escala. Estas fotografias costumam ter áreas em comum, que são sobrepostas no procedimento de unificação. Este procedimento é realizado para a obtenção de uma imagem de uma área maior, com uma grande resolução e tentando evitar deformações.

***Obrigatório**

1. Você já conhecia o conceito de um mosaico de imagens? *

Marcar apenas uma oval.

Não

Sim

2. Você já viu necessidade de um mosaico de imagens? *

Marcar apenas uma oval.

Não

Sim

3. Você conhece uma forma prática de fazer um mosaico de imagens? *

Marcar apenas uma oval.

Não

Outro: _____

4. Você acha interessante o desenvolvimento de um software específico para criação de mosaicos de imagens? *

Marcar apenas uma oval.

Não *Pular para a pergunta 8*

Sim *Pular para a pergunta 5*

O software

5. Para o software a ser desenvolvido, qual o grau de importância das seguintes características na sua opinião? *

Marcar apenas uma oval por linha.

	1	2	3	4	5	Não sei responder
Ser fácil de utilizar	<input type="radio"/>					
Ter uma interface bonita	<input type="radio"/>					
Ter a opção de selecionar uma pasta com todas as imagens a serem utilizadas	<input type="radio"/>					
Ter a opção de selecionar individualmente cada uma das imagens a serem utilizadas	<input type="radio"/>					
Ser rápido	<input type="radio"/>					
Descobrir automaticamente a ordem em que as imagens serão dispostas no mosaico final	<input type="radio"/>					
Gerar mais de um mosaico em uma única execução, caso necessário	<input type="radio"/>					
Agrupar os arquivos das imagens utilizadas para o mosaico em uma nova pasta após a execução	<input type="radio"/>					
Gerar um arquivo com o nome e ordenação das imagens utilizadas para o mosaico após a execução	<input type="radio"/>					

6. Na sua opinião, quais características que o mosaico final deve ter? (Opcional)

7. Mais algo a comentar sobre o software a ser desenvolvido? (Opcional)

Experiência

8. Você tem alguma experiência no contexto da criação de mosaicos para relatar? (Opcional)

Pessoal

9. Qual o seu grau de escolaridade?

Marcar apenas uma oval.

- Ensino fundamental incompleto
- Ensino fundamental completo
- Ensino médio incompleto
- Ensino médio completo
- Curso superior incompleto
- Curso superior completo
- Pós-graduação incompleta (inclui mestrado e doutorado)
- Pós-graduação completa (inclui mestrado e doutorado)

10. Caso tenha curso superior completo ou incompleto, qual curso?

11. Você trabalha ou já trabalhou com levantamentos de patologias de estruturas?

Marcar apenas uma oval.

Não

Sim

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

Google Formulários

APÊNDICE B – RESPOSTAS PRÉ UTILIZAÇÃO DA FERRAMENTA

Carimbo de data/hora	20/01/2022 11:32	21/01/2022 11:44	21/01/2022 15:41	21/01/2022 16:42	28/01/2022 11:27
Você já conhecia o conceito de um mosaico de imagens?	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Você já viu necessidade de um mosaico de imagens?	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Você conhece uma forma prática de fazer um mosaico de imagens?	Não	Não	Não	Não	Não
Você acha interessante o desenvolvimento de um software específico para criação de mosaicos de imagens?	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Para o software a ser desenvolvido, qual o grau de importância das seguintes características na sua opinião? [Ser fácil de utilizar]	4	5	5	5	4
Para o software a ser desenvolvido, qual o grau de importância das seguintes características na sua opinião? [Ter uma interface bonita]	1	3	4	3	4
Para o software a ser desenvolvido, qual o grau de importância das seguintes características na sua opinião? [Ter a opção de selecionar uma pasta com todas as imagens a serem utilizadas]	5	5	5	4	5
Para o software a ser desenvolvido, qual o grau de importância das seguintes características na sua opinião? [Ter a opção de selecionar individualmente cada uma das imagens a serem utilizadas]	5	5	3	4	5
Para o software a ser desenvolvido, qual o grau de importância das seguintes características na sua opinião? [Ser rápido]	3	5	5	4	5
Para o software a ser desenvolvido, qual o grau de importância das seguintes características na sua opinião? [Descobrir automaticamente a ordem em que as imagens serão dispostas no mosaico final]	4	5	5	2	5
Para o software a ser desenvolvido, qual o grau de importância das seguintes características na sua opinião? [Gerar mais de um mosaico em uma única execução, caso necessário]	5	3	4	1	4
Para o software a ser desenvolvido, qual o grau de importância das seguintes características na sua opinião? [Agrupar os arquivos das imagens utilizadas para o mosaico em uma nova pasta após a execução]	3	2	4	2	4
Para o software a ser desenvolvido, qual o grau de importância das seguintes características na sua opinião? [Gerar um arquivo com o nome e ordenação das imagens utilizadas para o mosaico após a execução]	2	4	4	Não sei responder	5

Carimbo de data/hora	20/01/2022 11:32	21/01/2022 11:44	21/01/2022 15:41	21/01/2022 16:42	28/01/2022 11:27
Na sua opinião, quais características que o mosaico final deve ter? (Opcional)	Deve ser entendível, distorcer elementos muito perspectivados.	Precisão na montagem das imagens, suporte a imagens de alta qualidade (pesadas), possibilidade de fazer ajustes finos (manuais), caso necessário.	Evitar distorção da superfície real e a do mosaico, isto é, as imagens devem ser semelhantes	Compatibilizacão das fotos - precisão na montagem	
Mais algo a comentar sobre o software a ser desenvolvido? (Opcional)					
Você tem alguma experiência no contexto da criação de mosaicos para relatar? (Opcional)	Fiz um mosaico com o software Photoshop, porém as fotos q tirei estavam muito perspectivadas e isso dificultou muito o processo na hora de encaixar, de forma manual as imagens, pois o programa não unia todas as imagens.		Tenho experiência em usar o resultado do mosaico	Tentativa de colagem no Photoshop , mas pro serviço nosso (Itaipu) fica muito manual	
Qual o seu grau de escolaridade?	Curso superior incompleto	Curso superior completo	Pós-graduação completa (inclui mestrado e doutorado)	Curso superior incompleto	Ensino médio completo
Caso tenha curso superior completo ou incompleto, qual curso?	Arquitetura e Urbanismo	Engenharia Civil	Engenharia Civil	Eng Civi	
Você trabalha ou já trabalhou com levantamentos de patologias de estruturas?	Não	Sim	Sim	Sim	Sim

APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO PÓS UTILIZAÇÃO DA FERRAMENTA

30/01/2022 01:23

Pesquisa sobre utilização do Gerador de Mosaicos

Pesquisa sobre utilização do Gerador de Mosaicos

***Obrigatório**

1. Você conseguiu utilizar a ferramenta? *

Marcar apenas uma oval.

- Sim
 Não

2. Você precisou de ajuda? *

Marcar apenas uma oval.

- Sim
 Não

3. Alguma dificuldade em específico para utilizar a ferramenta? (Opcional)

4. Você sentiu falta de alguma funcionalidade enquanto utilizava a ferramenta?
(Opcional)

5. Você conseguiu algum resultado útil da ferramenta? *

Marcar apenas uma oval.

- Sim
 Não

6. Você encontrou algum problema nos resultados obtidos com a ferramenta?
(Opcional)

7. Alguma sugestão para a ferramenta? (Opcional)

Pessoal

8. Qual o seu grau de escolaridade? *

Marcar apenas uma oval.

- Ensino fundamental incompleto
- Ensino fundamental completo
- Ensino médio incompleto
- Ensino médio completo
- Curso superior incompleto
- Curso superior completo
- Pós-graduação incompleta (inclui mestrado e doutorado)
- Pós-graduação completa (inclui mestrado e doutorado)

9. Caso tenha curso superior completo ou incompleto, qual curso?

10. Você trabalha ou já trabalhou com levantamentos de patologias de estruturas? *

Marcar apenas uma oval.

Não

Sim

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

Google Formulários

APÊNDICE D – RESPOSTAS PÓS UTILIZAÇÃO DA FERRAMENTA

Carimbo de data/hora	20/01/2022 11:38	21/01/2022 16:24	21/01/2022 16:57	28/01/2022 11:44
Você conseguiu utilizar a ferramenta?	Sim	Sim	Sim	Sim
Você precisou de ajuda?	Não	Não	Sim	Sim
Alguna dificuldade em específico para utilizar a ferramenta? (Opcional)	Não	Não ocorreu nenhuma dificuldade para utilizar a ferramenta.	Nada específico. Dificuldade de identificar os arquivos a serem acionados	Apenas dúvidas normais relacionadas a um primeiro uso
Você sentiu falta de alguma funcionalidade enquanto utilizava a ferramenta? (Opcional)	Não	Opção de fazer ajustes manuais nas imagens,	Não as funcionalidades estão boas.	Não
Você conseguiu algum resultado útil da ferramenta?	Sim	Sim	Sim	Sim
Você encontrou algum problema nos resultados obtidos com a ferramenta? (Opcional)	As imagens dos cantos distorcem bastante.	Ocorrem distorções em algumas regiões do mosaico.	Os mosaicos apresentaram alguma descontinuidade principalmente no sentido vertical.	
Alguna sugestão para a ferramenta? (Opcional)	Consertar a distorção para permitir colocar em escala e medir as fissuras.	Ajuste manual de imagens, corrigir as distorções na montagem do mosaico.	Eliminar as distorções de imagem	
Qual o seu grau de escolaridade?	Curso superior incompleto	Curso superior completo	Pós-graduação completa (inclui mestrado e doutorado)	Ensino médio completo
Caso tenha curso superior completo ou incompleto, qual curso?	Arquitetura e Urbanismo	Engenharia Civil	Engenharia civil	
Você trabalha ou já trabalhou com levantamentos de patologias de estruturas?	Não	Sim	Sim	Sim