XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais

Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

USO DE TÉCNICAS DE PROCESSAMENTO DE IMAGEM PARA INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS DE TELHADOS DE EDIFICAÇÕES PARA FINS DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA[1]

STAFFA, Luciano de B. Jr (1); SÁ, Larissa S. V. (2); LIMA, Mahara I. S. C. (3); COSTA, Dayana B. (4)

(1) Universidade Federal da Bahia (UFBA), lucianostaffa@gmail.com
(2) Universidade Federal da Bahia (UFBA), larisampaio483@hotmail.com
(3) Universidade Federal da Bahia (UFBA), eng.maharasampaio@gmail.com
(4) Universidade Federal da Bahia (UFBA), dayanabcosta@ufba.br

RESUMO

O telhado é um sistema complexo e importante, pois protege os demais elementos internos da edificação contra intempéries. Entretanto, do ponto de vista de assistência técnica, esta é uma estrutura de difícil inspeção. Neste contexto, o Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) pode contribuir para inspeções de telhado, fornecendo uma grande quantidade de dados em um curto espaço de tempo e permitindo a visualização de patologias em áreas difíceis. Além disso, o uso de aprendizado de máquina e visão computacional podem contribuir para automatizar o reconhecimento destas patologias. O objetivo deste estudo foi avaliar o uso de técnicas de processamento de imagens para inspeção de telhados para fins de assistência técnica. Para tanto, foram realizados treinamentos e testes dos algoritmos de processamento de imagens do Custom Vision, da Microsoft, para os tipos de não conformidades identificados nos telhados, em uma base de 1661 imagens coletadas com VANT de 61 telhados de edificações em uso. Os resultados indicaram 72% de identificação das não conformidades analisadas, com erro de 11,5%. Assim, foi validada a utilização do Custom Vision como ferramenta de processamento de imagem para identificação de problemas de telhados para fins de assistência técnica.

Palavras-chave: *Inspeção de telhados, veículo aéreo não tripulado, manutenção e operação predial, processamento de imagem.*

ABSTRACT

The roof is a complex and vital system because it protects the other internal elements of the building from the weather. However, from a technical maintenance viewpoint, this is a structure that is difficult to inspect. In this context, the Unmanned Aerial Vehicle (UAV) can contribute to roof inspections, providing a large amount of data in a short period, and allowing the visualization of pathologies under challenging areas. Also, the use of machine learning and computer vision can contribute to automating the recognition of these pathologies. The objective of this study was to evaluate the use of image processing techniques for roof

[1] STAFFA, Luciano de Brito Júnior; Sá, Larissa Vieira Sampaio; LIMA, Mahara Iasmine Sampaio Cardoso; COSTA, Dayana Bastos. Uso de técnicas de processamento de imagem para inspeção de estruturas de telhados de edificações para fins de assistência técnica. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2020.

*inspection for technical maintenance purposes. Therefore, training and testing of the image processing algorithms from Microsoft's Custom Vision were performed for the types of non-conformities identified in the roofs, in a base of 1661 images collected with UAV from 61 roofs of buildings in use. The results indicated 72% identification of the non-conformities analyzed, with 11,5% error. Thus, the use of Custom Vision as an image processing tool to identify roof problems for technical maintanance purposes was validated**Keywords**: ENTAC2020. Short Paper. Extended Abstract, Publication.*

Keywords: *Roof inspection, Unmanned aerial vehicle, building maintenance and operation, image processing.*

1 INTRODUÇÃO

A principal função do sistema de telhado é proteger uma edificação e criar um ambiente cujo interior está protegido, através de uma barreira contra agentes externos, tais como temperatura, umidade, chuva, vento e ruído (GARCEZ et al., 2012; CONCEIÇÃO et al., 2017). Normalmente, telhados inclinados não são inspecionados periodicamente, mesmo diante da facilidade da realização de uma inspeção visual. Este fato faz com que aumentem as chances do aparecimento de patologias, em que a falta de ações corretivas pode levar a problemas na estrutura do telhado e de outras partes do edifício (GARCEZ et al., 2012).

As possíveis causas de patologias em telhados podem ser divididas em cinco subgrupos: erros de projeto; erros de execução; ações ambientais; manutenção/erros de utilização e ações mecânicas externas (WALTER et al., 2003; CONCEIÇÃO et al., 2017). Neste sentido, o uso da análise e diagnóstico é uma ferramenta essencial para a identificação e avaliação destas patologias na construção do telhado, visando ações preventivas e corretivas (CONCEIÇÃO et al., 2017).

Entretanto, a inspeção visual é, muitas vezes, limitada às áreas visíveis do edifício, que podem ser poucas devido à dificuldade do acesso (CONCEIÇÃO et al., 2017). Além disso, encontrar defeitos no telhado através dos métodos tradicionais de inspeção não é uma tarefa fácil, pois exige a presença do inspetor no local a ser inspecionado (KRAWCZYK et al., 2015). O custo de uma inspeção é estimado com base no salário de dois ou três funcionários, trabalhando em tempo integral. A depender do tipo do edifício e telhado, a inspeção pode durar dias ou algumas semanas (KRAWCZYK et al., 2015).

1.1 Inspeção de telhados com VANT

Estudos em outras áreas da engenharia mostram que a utilização de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) pode solucionar a necessidade da obtenção do monitoramento de dados visuais em tempo real (ZHANG, 2008). O uso de VANT apresenta vantagens relacionadas com o baixo custo, alta mobilidade, apoio seguro, alta qualidade visual e velocidade na aquisição de dados (IRIZARRY; COSTA; KIM, 2015; SILVEIRA; MELO; COSTA, 2020).

Para as inspeções de telhados, os VANTs podem fornecer uma grande quantidade de dados em um curto espaço de tempo, permitindo a visualização de patologias em áreas difíceis e com segurança (SILVEIRA; MELO; COSTA, 2020).

De acordo com Silveira, Melo e Costa (2020), após a coleta dos dados usando o VANT, o inspetor pode analisar as condições, identificar patologias e não-

conformidades e criar um plano para repará-las. Dessa forma, é possível aumentar a transparência, simplificar etapas e diminuir o tempo de realização das inspeções de telhado, agilizando a preparação de relatórios e aplicação de ações corretivas.

Alinhando a grande quantidade de imagens coletadas com o VANT, o uso de aprendizado de máquina e visão computacional podem contribuir de forma significativa no processamento de imagens para a identificação automáticas de patologias em telhados.

1.2 Visão computacional

A detecção de objetos com base na visão computacional tornou-se uma área fértil de pesquisa como resultado dos recentes avanços em aprendizado de máquina, visão computacional e no aumento da acessibilidade e do poder de processamento das tecnologias (FANG et al., 2018).

A literatura mostra que o desenvolvimento de modelos de redes neurais artificiais é o método mais usado para obter conclusões confiáveis ao interpretar informações complexas (KULKARNI et al. 2017). Waziri et al. (2017) afirmam que redes neurais são o sistema mais efetivo quantitativamente e qualitativamente para resolver problemas complexos.

De acordo com Nath, Behzadan e Paal (2020), nos últimos anos, os métodos de aprendizado profundo (em inglês, *deep learning*) chamaram atenção significativa na visão computacional devido à sua capacidade de auto aprender as características úteis a partir de um grande conjunto de dados de treinamento. Para Fang et al. (2018), o uso de aprendizado profundo pode resultar em melhoria dos níveis de precisão, além de acomodar várias das limitações das abordagens convencionais baseadas em visão computacional.

Particularmente, a Rede Neural Convolucional (CNN) está sendo amplamente utilizada para classificação de imagens e detecção de objetos (NATH; BEHZADAN; PAAL, 2020). Fang et al. (2018) verificaram que as CNN são altamente eficazes na descoberta de estruturas complexas em conjuntos de dados de alta dimensão e, portanto, podem ser usadas para a detecção de objetos em vários domínios.

Segundo Fang et al. (2018), o uso da visão computacional para detectar a presença de pessoas, plantas, materiais e equipamentos de imagens ou vídeos de locais de construção traz melhorias à segurança e produtividade. Às aplicações também incluem: monitoramento de progresso, rastrear trabalhadores, avaliações de saúde ocupacional; gestão da qualidade e rastreamento do uso de equipamentos de proteção individual (EPI). Neste sentido, existe um potencial de uso da visão computacional para avaliar patologias de telhados, a partir de imagens coletadas por VANT, que deve ser explorado.

Esta pesquisa tem como objetivo avaliar o uso de técnicas de processamento de imagens para identificação de patologias de telhados para fins de assistência técnica, a partir de imagens coletadas com VANT. Este estudo dá continuidade ao trabalho desenvolvido por Silveira, Melo e Costa (2020), no qual foi avaliado o potencial de utilização do VANT para inspeções de telhados, tendo sido desenvolvido um protocolo para planejamento de voo e coleta de dados deste tipo de estrutura.

2 MÉTODO DE PESQUISA

Este estudo foi dividido nas seguintes etapas: (a) seleção de imagens coletadas por VANT; (b) definição dos requisitos de inspeção de telhado; (c) análise manual das imagens e identificação das não conformidades; (d) carregamento das imagens no sistema de processamento de imagem Microsoft Custom Vision para a realização de testes; (e) análise dos dados e avaliação dos resultados.

A primeira etapa consistiu na seleção de imagens de telhados em edificações com idade entre um a cinco anos, que foram coletadas por VANT do modelo DJI Phantom 4, com câmera acoplada de 20 megapixels, no estudo de Silveira, Melo e Costa (2020). Vale ressaltar que a coleta destas imagens foi realizada a partir de voos manuais, com altitude aproximada de 5m acima do prédio em análise. Neste estudo, foram analisadas 1661 imagens coletadas de 61 telhados inclinados, com telhas de fibrocimento, de 6 condomínios residenciais em uso, executados pela Empresa A. A Empresa A é uma empresa de grande porte com segmento de imóveis residenciais para a classe média e classe média baixa, que atua na construção civil desde 1979. A empresa realiza atividades nas áreas de concepção do projeto, incorporação e construção. A Empresa A possui parceria com a universidade e já participou de projetos do grupo de pesquisa com uso do VANT.

Na segunda etapa foram definidos os requisitos a serem inspecionados, baseado no checklist para inspeção de estruturas de telhado com uso de VANT proposto por Silveira, Melo e Costa (2020) e, posteriormente, validado com a equipe de assistência técnica (02 engenheiras civis, 01auxiliar de engenharia e 01analista de qualidade) da Empresa A, a partir de 02 reuniões. Ao final desta etapa, foram estabelecidos 16 requisitos de inspeção de estruturas de telhado.

A etapa seguinte envolveu a análise das imagens para reconhecimento manual visando identificar as não conformidades e as suas incidências. No total, foram identificadas não conformidades em 525 imagens, sendo que algumas destas apresentaram mais de um tipo de não conformidade.

A quarta etapa envolveu o processamento de imagens. A plataforma escolhida para o estudo foi o Custom Vision, da Microsoft, um serviço de inteligência artificial que permite a criação de classificador de imagens personalizado. Este sistema usa redes pré-treinadas (*ResNet, AlexNet*). Após o treinamento, a ferramenta executa um processo chamado de *k-fold cross validation* para determinar a acurácia do algoritmo, indicando para o usuário se há necessidade de aprimoramento do modelo com mais imagens. Foi usada a versão gratuita. Foi utilizado o recurso detector de objetos, no qual as classes são rotuladas pelo usuário para em seguida treinar o algoritmo, como representado na Figura 1.

Figura 1 - Etapas de utilização do Custom Vision



Fonte: Os autores

Das 525 imagens com não conformidades identificadas, 473 foram utilizadas para o treinamento do classificador. Após o treinamento, foi realizada a análise dos indicadores estatísticos fornecidos pela plataforma, conforme a seguir.

- Precisão: indica qual a probabilidade do modelo predizer corretamente uma nova imagem.
- *Recall*: indica a capacidade de lembrança do modelo em classificar corretamente as imagens que foram utilizadas no treinamento do mesmo.
- mAP (Precisão média): indica o desempenho geral do detector de objetos em todas as classes.

Para o teste dos modelos gerados utilizou-se 10% do total de imagens com não conformidades, ou seja, 52 imagens. A seleção de imagens para teste foi feita adotando o critério de aleatoriedade. A partir do percentual de identificação correta do problema com uso do modelo, pode-se avaliar a potencialidade da utilização do Custom Vision para identificação de patologias de telhados para fins de assistência técnica.

3 RESULTADOS

Do total de 1661 imagens, foram identificadas 525 imagens com não conformidades. A Tabela 1 apresenta as não conformidades identificadas, tendo com maior incidência a limpeza de calhas (40%), acúmulo de algas, líquens e musgos (33%) e presença de resíduos no telhado (25%).

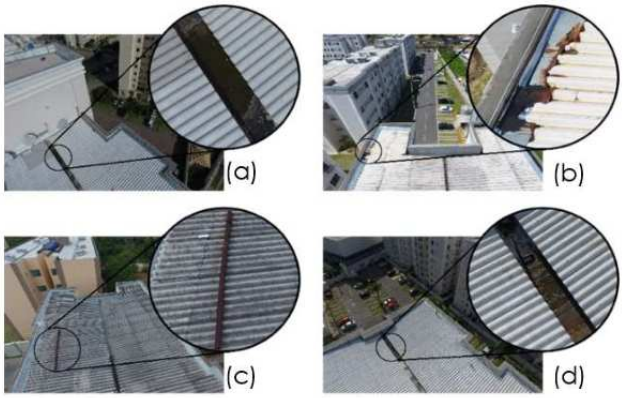
Tabela 1- Patologias de telhados com imagens coletadas por VANT, com análise manual (n=1661 imagens)

Nº	Itens	Nº de fotos
1	Limpeza das calhas	211
2	Acúmulo de algas, líquens e musgos	172
3	Presença de resíduos no telhado	133
4	Integridade dos rufos (oxidação)	103
5	Integridade das calhas (oxidação, amassamento)	58
6	Vedação do encontro entre rufos	56
7	Presença de telha extra no telhado (sentido transversal à água)	47
8	Alçapões devem estar fechados	37
9	Má fixação do rufo	26
10	Disposição adequada de antenas e fios	13
11	Integridade das telhas (quebradas)	5
12	Integridade dos dutos de ventilação	0
13	Pintura das telhas em cor branca (se aplicável)	0
14	Oxidação das telhas (se aplicável)	0
15	Limpeza das placas fotovoltaicas (quando aplicável)	0
16	Instalação da lâmpada piloto (se aplicável)	0

Fonte: Os autores

A Figura 2 apresenta exemplos de não conformidade identificadas nas imagens coletadas com VANT: (a) limpeza das calhas, (b) oxidação do rufo, (c) presença de resíduos e (d) acúmulo de algas, líquens e musgos.

Figura 2 - Exemplos de não conformidades



Fonte: Os autores

Dentre as patologias de telhados apresentadas na Tabela 1, foram realizados testes com 56% dos itens (1 a 9) no software Custom Vision, abrangendo 98% dos problemas identificados manualmente. Os outros itens não foram utilizados, pois não possuíam o mínimo de 16 fotos exigidas pela plataforma para realização do treinamento.

Os resultados obtidos com o treinamento das imagens no software estão apresentados na Tabela 2 e os resultados dos testes na Tabela 3.

Tabela 2 – Resultados do treinamento de reconhecimento no Custom Vision (n=473 imagens)

Classe	Nº de fotos	Precisão	*Recall*	mA.P.
Limpeza das calhas	182	62,1%	29,5%	44,2%
Acúmulo de algas, líquens e musgos	157	73,5%	56,8%	67,2%
Presença de resíduos no telhado	117	82,1%	51,1%	65,8%
Integridade do rufo (oxidação)	93	58,1%	38,3%	43,9%
Integridade da calha (oxidação, amassamento)	49	77,8%	43,8%	58,7%
Vedação do encontro entre rufos	47	42,9%	6,8%	5,0%
Presença de telha extra no telhado (sentido transversal à água)	45	75,0%	66,7%	67,3%
Alçapão deve estar fechado	33	100,0%	57,1%	88,1%
Má fixação do rufo	16	0,0%	0,0%	33,3%

Fonte: Os autores

Tabela 3 - Resultado dos testes de reconhecimento com o Custom Vision (n=52 imagens)

Classe	Nº de fotos	Identificados corretamente	Não identificados
Limpeza das calhas	28	71,4%	28,6%
Acúmulo de algas, liquens e musgos	15	66,7%	33,3%
Presença de resíduos no telhado	14	71,4%	28,6%
Integridade do rufo (oxidação)	10	70,0%	30,0%
Integridade da calha (oxidação, amassamento)	4	100,0%	0,0%
Vedação do encontro entre rufos	9	100,0%	0,0%

Classe	Nº de fotos	Identificados corretamente	Não identificados
Presença de telha extra no telhado (sentido transversal à água)	5	100,0%	0,0%
Alçapão deve estar fechado	4	75,0%	25,0%
Má fixação do rufo	10	40,0%	60,0%
TOTAL (soma das fotos com ocorrências de todas as classes)	**99**	**72,73 %**	**27,27%**

Fonte: Os autores

Através dos resultados do treinamento das imagens no Custom Vision (Tabela 2), nota-se que a quantidade de fotos não é o fator preponderante para o aumento da precisão, fatores como tamanho, cores e padrão das patologias de telhados interferem na eficiência do programa em identificá-las. Tem-se como exemplo, "Alçapão deve estar fechado" com 100% de precisão, por apresentar um padrão; "Presença de resíduos" com 82,1%, pelas cores contrastantes com as telhas; e "Vedação do encontro entre rufos" com percentual baixo (42,9%), devido ao tamanho diminuto.

Vale destacar que, apesar do modelo ter indicado uma baixa precisão para identificação de "Vedação do encontro entre rufos" (42,9%) e "Integridade do rufo (oxidação)" (58,1%) (Tabela 2), ao serem realizados os testes de reconhecimento foram obtidos resultados bastantes positivos com correta identificação em 100% e 70% dos casos, respectivamente (Tabela 3). No entanto, a amostra de imagens utilizada é pequena, sendo necessários novos testes para obter resultados mais confiáveis.

Após a análise dos dados de 61 telhados, o Custom Vision possibilitou a identificação correta de em média 72% das não conformidades (Tabela 3). Para 9 itens testados no Custom Vision, apenas 1 (má fixação do rufo) obteve resultado insatisfatório com reconhecimento de 40% (Tabela 3), que o modelo já havia apontado uma precisão de 0% (Tabela 2). Para todos os demais foi reconhecido pelo menos cerca de 70% dos problemas. Além disso, das 52 imagens testadas, em 6 (11,5%) o Custom Vision fez a identificação incorreta, indicando não conformidades onde não havia.

5 CONCLUSÕES

Este estudo experimental teve como objetivo avaliar a potencialidade do uso de técnicas de processamento de imagens para identificação de problemas de telhados para fins de assistência técnica. Apesar de certas não conformidades serem difíceis de precisar com o algoritmo, foram encontrados resultados satisfatórios para a utilização do Custom Vision como ferramenta de processamento de imagem, pois foi possível reconhecer grande parte das não conformidades identificadas manualmente.

As ferramentas de processamento de imagem, ao analisar os dados obtidos através de inspeções de telhados realizadas por VANT, podem ser utilizadas para melhorar a inspeção de telhados, pois permitem diminuir o tempo de inspeção, acelerar a realização de ações corretivas das patologias e não conformidades dos telhados e promover um ambiente de trabalho mais seguro para os trabalhadores.

Para trabalhos futuros, os pesquisadores pretendem alimentar o modelo com mais imagens, inclusive com tipos diferentes de telhados, e avaliar o potencial de identificação dos demais itens inspecionáveis por VANT, assim como verificar se haverá melhoria para os itens que obtiveram resultados insatisfatórios no presente trabalho. Além disso, pretende-se adicionar este sistema de reconhecimento de imagem a uma plataforma chamada SMART INSPECS, que está sendo desenvolvida pelo grupo de pesquisa, para o módulo de inspeção de telhados com VANT, incluindo a análise e geração de relatórios automatizados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) e à Empresa A pelo apoio financeiro ao projeto.

REFERÊNCIAS

CONCEIÇÃO, J.; POÇA, B.; BRITO, J.; FLORES-COLEN, I.; CASTELO, A. Inspection, Diagnosis, and Rehabilitation System for Flat Roofs. **Journal Of Performance Of Constructed Facilities**, v. 31, n. 6, p. 04017100, 2017.

FANG, W.; DING, L.; ZHONG, B.; LOVE, P.; LUO, H. Automated detection of workers and heavy equipment on construction sites: A convolutional neural network approach. **Advanced Engineering Informatics**, v. 37, p. 139-149, 2018.

GARCEZ, N.; LOPES, N.; BRITO, J.; SILVESTRE, J. System of inspection, diagnosis and repair of external claddings of pitched roofs. **Construction And Building Materials**, v. 35, p. 1034-1044, 2012.

IRIZARRY, J.; COSTA, D.B.; KIM, S. Potential applications of Unmanned Aerial systems for construction management tasks. In: International Conference on Innovative Production and Construction, 2015, Perth. **Proceedings...** Perth: IPC, 2015.

KRAWCZYK, J; MAZUR, A.; SASIN, T.; STOKLOSA, A. Infrared building inspection with unmanned aerial vehicles. **Transactions of the Institute of Aviation**, v. 240, n. 3, p. 32–48, 2015.

KULKARNI, P.; LONDHE, S.; DEO, M. Artificial neural networks for construction management: a review. **Journal of Soft Computing in Civil Engineering**, v. 1, n. 2, p. 70-88, 2017.

NATH, N.; BEHZADAN, AMIR H.; PAAL, S. Deep learning for site safety: Real-time detection of personal protective equipment. **Automation in Construction**, v. 112, p. 103085, 2020.

SILVEIRA, B.; MELO, D.; COSTA, D. Using UAS for Roofs Structure Inspections at Post-Occupational Residential Buildings. In: International ICCCBE and CIB W78 Joint Conference on Computing in Civil and Building Engineering 2020 - 18th ICCCBE + 37th CIB W78 2020 (em fase de publicação).

WALTER, A.; LOPES, J.; DE BRITO, J. Flat-roof waterproofing to prevent anomalies on its surface. In: International Symposium on Building Pathology, Durability and Rehabilitation, 2, 519–528, 2003, Lisboa. **Proceedings...** Lisboa: CBPDR, 2003

WAZIRI, B.; BALA, K.; BUSTANI, S. Artificial neural networks in construction engineering and management. **International Journal Of Architecture, Engineering And Construction**, v. 6, n. 1, p. 50-60, 2017.

ZHANG, C. Development of a UAV-based remote sensing system for unpaved road condition assessment'. In: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing Annual Conference, p. 820–826, 2008, Portland. **Proceedings...** Portland: ASPRS, 2008.