

20_22

EDIFÍCIOS MODULARES PRÉ-FABRICADOS EM BETÃO

SISTEMA DE VISÃO POR COMPUTADOR PARA CONTROLE DE QUALIDADE NA PRÉ-FABRICAÇÃO DE EDIFÍCIOS MODULARES DE BETÃO

A construção modular tem o potencial de modernizar a indústria da construção, oferecendo soluções mais eficientes e robustas, com qualidade e tempos de execução mais rápidos. Para viabilizar isso, é necessário um rigoroso controle de qualidade na pré-fabricação, a fim de garantir uma elevada qualidade e o ajuste adequado dos módulos. Este artigo apresenta um sistema de visão por computador, integrado na linha de produção, para avaliar a qualidade geométrica das cofragens antes da betonagem, e o acabamento das superfícies antes de entregar os elementos pré-fabricados ao cliente. Numa etapa final de controle, a montagem correta dos módulos de betão é avaliada comparando as posições reais das peças com as posições planeadas. Este trabalho está focado na aplicação em painéis de parede, no entanto, os métodos apresentados podem ser aplicados em outros elementos. Ao integrar todas as etapas do sistema proposto com os modelos de *Building Information Modeling* (BIM), os resultados e análises podem ser armazenados diretamente no modelo e as propriedades projetadas, como dimensões e cores, podem ser obtidas para cada elemento. Este é um contributo importante em direção aos processos de construção digital, pois, por exemplo, a montagem automatizada utilizando robôs requer conhecimento exato sobre todas as peças disponíveis, as suas características e a sua posição alvo.

Jónatas Valença
Paul Debus
CERIS – Instituto Superior Técnico

SISTEMA DE CONTROLO DE QUALIDADE

Geometria e acabamentos superficiais

A qualidade de um edifício modular depende diretamente da qualidade dos seus componentes individuais. Para garantir um bom ajuste, especialmente nas ligações e juntas dos módulos de betão pré-fabricados, é necessário controlar a qualidade geométrica durante a produção. O sistema proposto propõe validar o posicionamento, as dimensões e os ângulos das cofragens. Para isso, é montada uma câmara digital de alta resolução acima da mesa de trabalho, por exemplo, acoplada

à ponte rolante da fábrica, como esquematizado na Figura 1. Esta câmara pode captar a geometria das cofragens instaladas na mesa de trabalho e comparar as medições com as especificações de projeto. A utilização de um sistema de aquisição especialmente calibrado num ambiente controlado, permite a correção de distorções de perspectiva e a obtenção de dimensões. Com este sistema, podem ser detetadas pequenas variações, inferiores a 1 mm [1], permitindo o ajuste das cofragens antes da betonagem, garantindo assim uma elevada precisão nas dimensões dos módulos produzidos.

Outro aspeto importante da qualidade dos módulos pré-fabricados é o acabamento da superfície, definido pela sua rugosidade, homogeneidade e cor. Estes parâmetros são cruciais para a aparência final após montagem da estrutura, pois os módulos pré-fabricados são muitas vezes utilizados como fachada dos edifícios e são diretamente visíveis. Assim, a sua aparência deve corresponder às especificações do projeto, as cores devem ser homogêneas e as duas variações indistinguíveis a olho nu, e a superfície deve estar isenta de defeitos. Este último ponto pode também ser importante para a durabilidade do edifício,

pois pode afetar o recobrimento de betão. Após a cura, os módulos são armazenados na posição vertical, permitindo que sejam capturados por uma câmara móvel antes da entrega ao cliente. Como a geometria da peça já foi validada, a aquisição pode ser bastante simples, desde que toda a superfície seja capturada com resolução suficiente e iluminação adequada. A cor dos módulos é importante para garantir uma integração harmoniosa com os módulos adjacentes, proporcionando uma aparência homogênea. A avaliação da cor do betão requer a calibração colorimétrica das imagens [2, 3].

Integração com modelos BIM

A visão por computador tem demonstrado um grande potencial no controlo de qualidade, sendo capaz de identificar automaticamente defeitos e localizá-los nas peças observadas [2, 4, 5]. Especialmente no caso da inspeção de superfícies de betão, foram feitos progressos significativos através da aplicação de métodos de aprendizagem automática que podem identificar vários danos e irregularidades. Utilizando a geometria conhecida das peças inspecionadas, os defeitos detetados podem ser mapeados diretamente na

superfície e integrados no modelo BIM e na documentação do processo [6]. Isto permite acompanhar módulos individuais e a sua condição, mas também fornece informação estatística acerca de falhas no processo de produção, permitindo otimizar os processos e aumentar a eficiência. O sistema apresentado integra-se, em várias etapas, com os modelos BIM do edifício e dos módulos pré-fabricados, tanto utilizando informações disponíveis, como fornecendo novas informações ao modelo. Isto permite acompanhar o estado de conservação de todos os elementos ao longo de todo o seu ciclo de vida, começando já na fase de produção. Por fim, ter um conhecimento das propriedades da superfície das peças permite, por exemplo, colocá-las em posições onde possíveis defeitos, que não intervieram no comportamento estrutural da peça, não sejam visíveis, reduzindo o desperdício e aumentando a eficiência.

APLICAÇÕES

Linha de montagem em fábrica

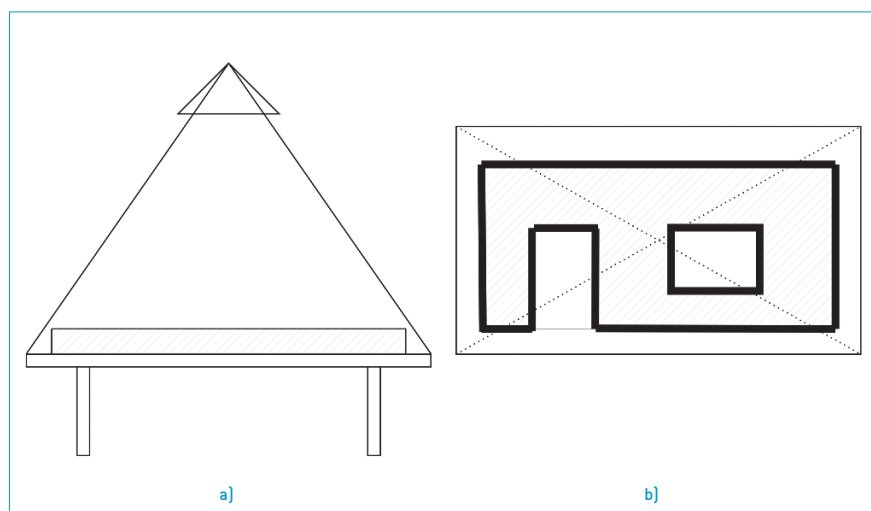
A Figura 2 apresenta um esquema do fluxo de trabalho para a análise da superfície de paredes de betão pré-fabricadas. Numa pri-

meira etapa, a região da imagem que contém a parede é extraída para remover o fundo e a área circundante. Em seguida, são aplicados diferentes algoritmos de processamento de imagem para detetar desvios na cor e no acabamento, mas também defeitos na superfície. Por fim, os defeitos detetados são registados na superfície do modelo BIM do módulo de betão, identificando pontos correspondentes. Isto permite calcular a transformação matemática que remove as distorções de perspetiva da imagem e projeta-a na superfície do modelo.

Estaleiro em obra

Em obra, o controlo de qualidade tem em consideração o controlo realizado em fábrica. Durante a montagem, é necessário avaliar a colocação dos módulos individuais, em particular, a verificação da localização e orientação. É também importante verificar as ligações e juntas, elementos críticos para comportamento estrutural. Para avaliar a montagem, podem ser utilizados diferentes sensores, por exemplo, laser scanners, câmaras 3D ou câmaras convencionais. Atualmente, o trabalho está focado na utilização de imagens 2D e fotogrametria para a avaliação da geometria, devido à disponibilidade de câmaras e de métodos eficientes de processamento. Esta abordagem permite a rápida disponibilização da informação e uma boa integração com as outras etapas do sistema. Isto é ainda suportado pela disponibilidade de um modelo BIM, que fornece informações sobre a posição alvo dos módulos e a forma da envolvente.

O processo de controlo de qualidade em obra começa com a aquisição de imagens de alta resolução, monitorizando a colocação de cada novo módulo de betão. Como a geometria da peça é conhecida, são apenas identificados postos-chave nas imagens para calcular a posição das peças, através de algoritmos de deteção de características. Estes algoritmos são concebidos para reconhecer e isolar características como cantos ou arestas, tanto dos módulos de betão recém-colocados como das



1>

> Figura 1: Esquema da configuração de aquisição para o controlo da geometria do elemento com uma câmara montada sobre a mesa de trabalho: (a) vista lateral; (b) vista superior e perspetiva da câmara (cofragem representada por linhas a negro).

estruturas circundantes. Após a identificação dos postos-chave, o novo módulo é inserido no modelo BIM pré-existente da estrutura (registo 2D-para-3D), estabelecendo-se uma correspondência precisa entre o real progresso da construção e o seu equivalente digital. O modelo BIM referência permite calcular desvios de posição e orientação dos módulos recém colocado, comparando-os com as tolerâncias especificadas no plano de construção e projeto.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A implementação do sistema apresentado, para controlo de qualidade de elementos de betão pré-fabricados, contribuirá para aumentar a eficiência da produção em fábrica e para fornecer informações relevantes para a subsequente montagem em obra. Esta última é apoiada com informações detalhadas de

cada peça e da sua colocação, permitindo uma utilização otimizada das peças disponíveis e garantindo uma elevada robustez do edifício resultante. A integração em modelos BIM permite aplicar uma maior automatização em todos os processos, por exemplo, utilizando robôs para o processo de montagem ou para o fabrico dos módulos. Por fim, um sistema de controlo de qualidade fiável aumenta a qualidade da produção, prolongando a vida útil da estrutura e permitindo a reutilização dos seus módulos, reforçando o elevado potencial da construção modular no âmbito da Construção 4.0. ■

REFERÊNCIAS

1. Cheng, Y., Fangzhou, L., Wang, W., Zhang, J. Vision-based trajectory monitoring for assembly alignment of precast concrete bridge components. Automation in Construction 140, 2022, 104350.

<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104350>

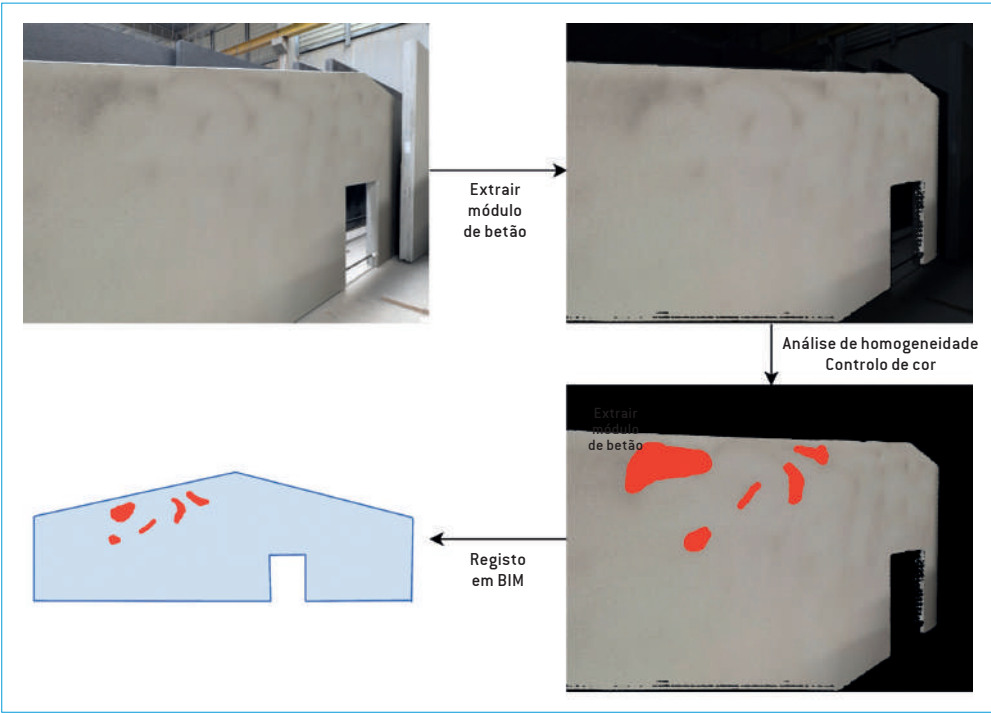
2. Miranda, J.; Valença, J.; Júlio, E. Chromatic design and application of restoration mortars on smooth surfaces of white and GRAY concrete. Struct. Concr. 2021, 22, E535–E548. <https://doi.org/10.1002/suco.202000054>

3. Marta-Torres et al. StainView: A Fast and Reliable Method for Mapping Stains in Facades Using Image Classification in HSV and CIELab Colour Space. Remote Sens. 2023, 15(11), 2895; <https://doi.org/10.3390/rs15112895>

4. Chen, Z., Feng, X., Liu, L. et al. Surface defect detection of industrial components based on vision. Sci Rep 13, 22136 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-49359-9>

5. Baduge, S. et al. Artificial intelligence and smart vision for building and construction 4.0: Machine and deep learning methods and applications. Autom. Constr. 2022, 141, 104440. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104440>

6. Valença et al. Feeling-BIM: A digital model to support maintenance decisions, based on automatic inspection and dwellers' feelings. Journal of Building Engineering 87, 2024, 108937. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.108937>



2>

> Figura 2: Esquema do processo para controlo de acabamento das superfícies.