

Automação e robótica na construção civil

João Carlos Gabriel
Centro de Ciências e Tecnologia
Universidade Presbiteriana Mackenzie
São Paulo, Brasil
joao.gabriel@mackenzie.br

Marcos Almeida do Amaral
Centro de Ciências e Tecnologia
Universidade Presbiteriana Mackenzie
São Paulo, Brasil
marcos.amaral@mackenzie.br

Gustavo Maciel de Campos
Universidade Presbiteriana Mackenzie
São Paulo, Brasil
gustavo_macieldecampos@hotmail.com

Resumo — Neste artigo pretende-se apresentar algumas das aplicações da automação e da robótica na construção civil. A Engenharia Civil aparenta ser a engenharia mais antiga da qual se tem conhecimento com a construção do Farol de Alexandria, das pirâmides egípcias, dos Jardins Suspensos da Babilônia, da Acrópole de Atenas, a grande muralha da China, os aquedutos romanos entre outras obras significantes. Na Pirâmide de Maslow pode-se observar que depois das necessidades fisiológicas: respiração, alimento, água, sono, homeostase, excreção, na base da pirâmide, vem a segurança. A segurança inclui a proteção do corpo e da família como as vestimentas e a moradia. Posteriormente surgiram as outras engenharias, dentre elas as Engenharias Mecânica, Elétrica, Química, de Alimentos, Agrícola, que atualmente já se utilizam intensivamente dos recursos da automação e robótica. Talvez pela atuação da construção civil ser tão ampla ou por ser uma engenharia que se utiliza de mão de obra ainda pouco qualificada, a automação e a robótica ainda não são tão intensamente utilizadas nesta engenharia. O déficit residencial no Brasil ainda é muito grande. No mundo, várias empresas investem na automação e robótica na construção de casas e, em breve estas tecnologias serão utilizadas no Brasil para a redução deste déficit residencial, permitindo que as pessoas tenham um lar para viver.

Palavras-chave — construção civil; automação; robótica.

Introdução

Automação, do latim *Automatus*, significa mover-se por si próprio. A automação já é realidade em várias áreas da engenharia, como nas telecomunicações, serviços bancários, geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, de mobilidade automotiva, ferroviária, aeronáutica e aeroespacial, nos setores agrícola e principalmente industrial. Esta automação foi intensificada pela substituição de computadores mecânicos já existentes antes da década de 1930, pelos computadores a válvulas como o ENIAC, em 1943 [1]. Posteriormente com o desenvolvimento dos transistores semicondutores inventados por John Bardeen, Walter Houser Brattain e William Bradford Shockley em 1947 nos Laboratórios Bell, começaram a ser construídos os computadores eletrônicos que se tornaram mundialmente utilizáveis nas décadas de 1970 e 1980. Atualmente, os Controladores Lógicos Programáveis (CLP) e os microcontroladores facilitam a automação de sistemas

industriais. Mais recentemente, o termo Indústria 4.0 foi apresentado ao mercado. Este termo, utilizado de forma mais ampla no ano de 2011 na Feira de Hannover é a digitalização da produção industrial e isto significa que esta deve ser conectada com técnicas modernas de informação e comunicação [2]. Depois da primeira Revolução Industrial com o uso de vapor como energia para movimentar as máquinas, a Segunda Revolução Industrial com o uso da energia elétrica, da terceira Revolução Industrial com o uso dos computadores, a Indústria 4.0 é considerada a quarta Revolução Industrial. Os processos de auto-otimização, auto-configuração, auto-diagnose, assim como a evolução da cognição, devem auxiliar crescentemente os colaboradores em suas atividades cada vez mais complexas. Indústrias de vários setores da economia já se convenceram de que a implantação de integração de sistemas automatizados e robotizados permitem maior produção industrial, maior produtividade com menor quantidade de recursos e mão-de-obra, menor desperdício de matéria prima, mão de obra mais qualificada, melhor qualidade do produto e menores riscos de acidentes com o trabalhador e de degradação do meio ambiente. As indústrias automotivas, química, farmacêutica, alimentícia, petroquímica entre outras, são pioneiras na implantação da Indústria 4.0 em suas plantas. Na agricultura, atualmente, já são utilizados equipamentos autônomos nos processos de colheita, veículos autônomos para transporte de produtos, sistemas de irrigação utilizando dados de umidade do ar e do solo. A terminologia 4.0 também foi introduzida na área médica, onde cirurgias são feitas por robôs em pacientes, por médicos fisicamente localizados em outros países e sistemas modernos de transmissão por imagens, que detectam onde se localizam e o grau das patologias dos enfermos. A construção civil não fica atrás nesta revolução, porém ainda tem muito que desenvolver, pois as técnicas de construção ainda remontam aos da década de 1950, com construção de casas de alvenaria e argamassa, madeira e aço.

A robótica é a ciência dos robôs. Um robô é um conjunto de dispositivos mecânicos, elétricos, eletromecânicos, eletrônicos, hidráulicos e biomecânicos que têm a capacidade de realizar atividades de forma pré-programada e mais recentemente de forma autônoma. O termo robota (atividade

forçada) foi criado pelo tcheco Karel Capek em 1920 [3]. Desde então os sistemas robóticos acompanharam o desenvolvimento da eletrônica, cujos componentes formam um sistema que controla os sistemas mecânicos, elétricos e eletromecânicos. Os robôs, braços mecânicos, manipuladores mecânicos ou robóticos são utilizados em linhas de produção para realização de atividades repetitivas, perigosas e insalubres. Os robôs na indústria montadora automotiva é utilizada para atividades como soldagem do chassi do carro, usinagem, pintura e jateamento, carregamento, descarregamento de matérias primas e produtos acabados, montagem dos vidros, vedações e adesivagem. Em outras indústrias são usados também nos processos de paletização e embalagem.

Áreas da construção civil que utilizam a automação e robótica

Desde o início do século XXI a construção civil vem utilizando recursos de automação com aplicações desde o levantamento topográfico de áreas para a construção de obras de infraestrutura, com os sistemas de topografia orientados por GPS e Georreferenciamento e mais recentemente com a utilização de *Drones* para levantamento e regularização de áreas. Os *softwares* de elaboração de projetos como os *Computer Aided Design* (CAD), *softwares* para cálculos estruturais para estruturas de concreto, aço, madeira, instalações elétricas, hidráulicas, de gás e de comunicação, *softwares* utilizados para aplicações hídricas, e mais recentemente os sistemas de integração como o *Building Information Modeling* (BIM) utilizados para a modelagem da informação de uma construção, gerando um conjunto de informações desde a concepção de um edifício, seu projeto e execução, ou seja, durante o ciclo de vida completo de uma edificação. Também nesta década de 2010 os recursos como as impressoras 3D (Manufatura Aditiva) e a realidade virtual são utilizadas para a visualização dos projetos, pelos clientes, das edificações em geral.

Máquinas dedicadas vem sendo desenvolvidas para algumas atividades na construção civil. Foram criadas grandes máquinas ferroviárias para posicionar e fixar dormentes, colocar trilhos e fixá-los aos dormentes e despejar brita como lastro entre os trilhos ferroviários. Grandes equipamentos automatizados são utilizados para lançamento de longarinas sobre as transversinas e pilares de pontes. Na construção de túneis utilizam-se os grandes “tatuções” que além de perfurar o solo e a rocha, já instalam placas de concreto como reforço. Existem equipamentos para colocação de *pavers* (pisos) com alta produtividade e outros utilizados para pavimentações de estradas. Mais recentemente foram desenvolvidos os robôs para a construção de casas, com a utilização de robôs 3D, braço tipo polar e scara (*Selective Compliance Assembly Robot Arm*).

Além da utilização de automação e robótica em projeto e construção de obras, sistemas automatizados como *drones* também são utilizados para verificação de patologias em

edificações. As patologias são deficiências em obras que podem ter sido causadas devido a um projeto deficiente, uma execução malfeita ou intempéries. Estas patologias em edificações podem causar desde fissuras e trincas devido a recalques de fundações como também trincas devido ao subdimensionamento das cargas, o que pode levar as estrutura ao seu estado de limite último, além de degradação por corrosão, desprendimento de revestimentos, vazamentos em tubulações ou curto-circuitos em instalações elétricas. Se as inspeções a serem feitas estiverem fora do alcance dos engenheiros ou técnicos, os mesmos podem utilizar os *drones* para realizar estas inspeções de verificar a criticidade do estado da construção.

Automação em projetos – BIM – Building Information Modeling

O sistema de modelagem da informação (BIM) [4] da construção é uma sistema digital que gerencia o desenvolvimento do projeto de uma edificação, a execução, o gerenciamento dos seus recursos e, posteriormente quando já em uso, a sua manutenção. Todos os profissionais envolvidos em todas as etapas desta obra podem acessar simultaneamente as informações, como projeto, cronogramas físico e financeiro, listas de materiais e orçamentos da obra, permitindo o compartilhamento das informações sobre esta edificação durante todo o ciclo de vida dela como mostrado figura 1.

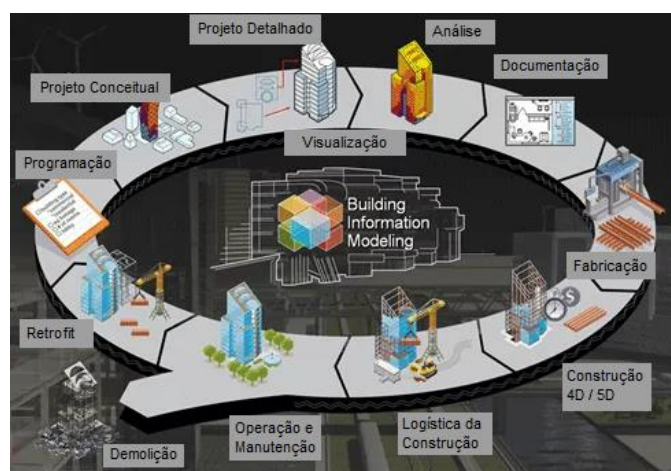


FIGURA 1: CICLO DE VIDA DO SISTEMA BIM [5]

Os sistemas BIM não permitem exclusivamente a visualização pelos participantes do projeto do projeto em 3 dimensões, mas também servem para realização da gestão de informações. Um projeto de uma edificação é constituído por várias etapas de projeto e execução. Durante as etapas de projeto fazem parte o estudo de viabilidade, projetos de corte, aterro e terraplenagem, projeto preliminar, projeto arquitetônico, projeto de estruturas, projeto de fundações, projeto elétrico, projeto hidráulico, projeto de rede de dados e voz, projeto de incêndio, projeto de aterramento, projeto de sistema de ventilação, aquecimento e ar condicionado, projeto de elevadores e sistemas de movimentação de carga e pessoas,

projeto de iluminação, projeto de caixilhos e portas, projeto de aterramento e detalhamentos. Geralmente estes projetos são encaminhados para escritórios de projetos ou arquitetos e engenheiros autônomos, cada um especialista em sua área. Sem o sistema BIM, após o projeto arquitetônico, cada especialista projeta sua estrutura e instalação como se a outra não existisse. Com o sistema BIM e cada um dos projetistas utilizando esta ferramenta individualmente e em tempo real, cada um consegue verificar por onde passam as demais estruturas ou instalações, o que permite que não ocorram interceptações e assim não existe a necessidade de refazer parte do projeto. Uma vez concluído o projeto, já podem ser geradas as listas de materiais utilizadas nas mais diversas instalações, quantidade e diversidade de vergalhões de aço e de cimento e agregados, metais e cerâmicas para banheiro, cozinhas e áreas de serviço e de caixilhos e batentes / portas para as aberturas, quantidade de telhas, madeiramento, cabos elétricos, tomadas, bocais e lâmpadas, etc. Com o início da obra consegue-se acompanhar todas as etapas individualmente, o cronograma da obra, as aquisições, além de verificar se a obra está adiantada, atrasada ou em fase e se os recursos investidos correspondem ao avanço da obra. Todos os profissionais envolvidos têm acesso à evolução da obra simultaneamente. A comunicação entre os especialistas e o compartilhamento das informações reduz a quantidade de erros no projeto e consequentemente na execução da obra.

Automação Topográfica

Os levantamentos topográficos podem ser divididos em planimétrico, cujo objetivo é o de estudar a representação de um terreno em um plano e o altimétrico, cujo interesse é o relevo do terreno. A realização simultânea entre as duas medições anteriores é denominada de levantamento altiplanimétrico [6]. Antigamente estas medições eram realizadas com níveis de mangueira de água e régua. Isto poderia levar a erros grandes de ângulos e distâncias, não representando a realidade do terreno, sua declividade ou aclividade. Posteriormente surgiram os teodolitos do tipo mecânico-óptico (figura 2), que utilizavam a própria luz como recurso para medição.

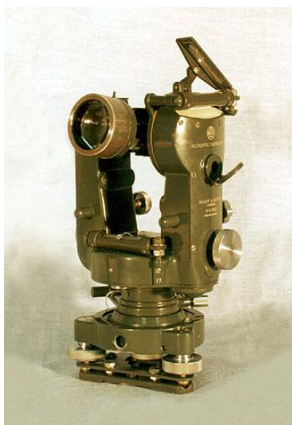


Figura 2: Equipamento mecânico-óptico para topografia [7]

Posteriormente surgiram o distanciômetro e o inclinômetro, para medidas de distância e inclinação. Mais recentemente surgiram os teodolitos eletrônicos, que apresentam um display para manusear mais facilmente os dados obtidos e armazená-los. Porém, como saber a posição exata do teodolito? Assim foi desenvolvido o posicionamento por Sistema de Posicionamento Global (em inglês, GPS) e mais recentemente as Estações Globais como mostrado na Figura 3, formadas pelos teodolitos eletrônicos digitais, os distanciômetros eletrônicos, data logger para armazenamento de dados e computador. Com o uso da automação topográfica as medidas se tornaram mais precisas, o processo de medição mais fácil, conseguiu-se um aumento de produtividade.



Figura 3 – Estação Total [8]

Light Detection and Ranging (LiDAR)

O LiDAR é um sistema composto por sensor remoto embarcado em plataformas tripuladas ou não (Figura 4) para captura de dados [9].

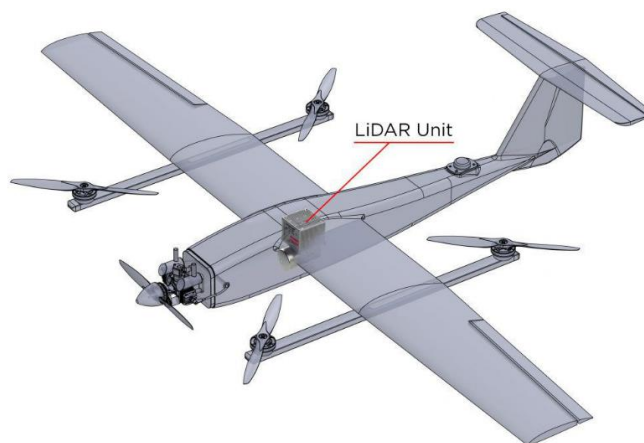


Figura 4 – Plataforma não tripulada com unidade LiDAR [10]

Ele tem uma fonte de LASER no comprimento de onda na faixa do infravermelho (IV), com o qual rastreia e modela a superfície do terreno tridimensionalmente, obtendo dados para um modelo digital da superfície do terreno, contemplando todo tipo de relevo, edificações e também vegetação como mostrado na Figura 5. Uma das aplicações do LiDAR é na parte de aplicação em levantamentos topográficos,

levantamentos de áreas agrícolas e também tamanhos de edificações, em ambientes rurais e também urbanos.



Figura 5 – Levantamento de uma superfície com o sistema LiDAR. [11]

Pavimentação

Assim como na agricultura onde são utilizadas colheitadeiras mecânicas orientadas por GPS e caminhões autônomos, na área de construção de estradas algumas empresas já aplicam esta mesma tecnologia. A empresa Kajima Corporation (Figura 6) utiliza veículos para pavimentação como caminhões, pés de carneiro, rolos compactadores controlados por GPS e autônomos. Estes equipamentos são utilizados para carregar, transportar, descarregar, distribuir, compactar e pavimentar estradas [12].



Figura 6 – Pavimentação de estradas. [13]

A utilização de sistemas automatizados na construção de estradas reduzem os custos e o tempo de construção, aumentam a qualidade, reduzem a demanda de matéria-prima, pois há otimização no uso destes materiais, aumentam a segurança no trabalho e muitas vezes reduzem também o congestionamento em vias públicas [14].

Automação na demolição

Seguindo a tendência de automação para construção de uma edificação, as mesmas tecnologias robóticas podem ser adaptadas para a demolição. Pela natureza deste trabalho,

encontra-se uma motivação adicional na utilização de sistemas de controle remotos ou autômatos para reduzir ou, se possível, evitar acidentes.

Dentro das possibilidades que são encontradas no mercado, podem ser vistas soluções em um amplo espectro, desde máquinas em que o operário a controla de dentro do equipamento, até soluções autômatas sem intervenção. Uma destas soluções é mostrada na Figura 7, onde tratores de demolição convencionais, que são máquinas de grande porte equipadas com braços hidráulicos e ferramentas de demolição fazem a decomposição de uma determinada estrutura. Estes sistemas são empregados em larga escala no ramo de demolição.



Figura 7 – Trator de demolição convencional. [15]

As vantagens presentes nestes equipamentos englobam a capacidade de carregar ferramentas com alto poder destrutivo, como britadeiras, martelões, tesouras, pás, entre outros. Porém, os equipamentos são pesados e de grandes dimensões, o que dificulta a sua inserção ou uso em ambientes não projetados para esta carga, como nas coberturas de edifícios altos.

Em casos de prédios com alguns andares, a ferramenta necessita ser ancorada e ter seu braço telescópico movido até o local, o que traz dificuldade na operação. Acrescido a este fato, existe ainda a possibilidade de acidente atrelada a segurança do operador. Caso alguma estrutura tenha presente uma ruptura não prevista, o operador é colocado em situação de perigo eminente.

Ambas as limitações descritas anteriormente, impulsionaram a construção de robôs demolidores operados por controle remoto, geralmente de menor dimensão que as escavadeiras tradicionais, porém com possibilidade de acesso a locais pequenos, fechados ou com estruturas de menor resistência. Por apresentarem dimensões bem reduzidas, estes são capazes de efetuar trabalhos de demolição pontual, dentro de estruturas maiores sem comprometer toda a edificação, apresentando maior segurança para o operador (Figura 8). Além destas, outras tecnologias aplicadas para a melhoria das condições de trabalho de demolição tratam-se de sistemas de aspersão de

água para controle de resíduos no ar e fábricas de processamento de detritos automáticas.



Figura 8: Robô britador. [16]

Assim, pode-se verificar a diminuição de problemas respiratórios quando do manejo e reutilização de materiais de construção, em especial, cimentícios e cerâmicos, que produzem grandes quantidades de pó quando da sua demolição

Construção de casas

A automação e robótica também já chegaram na construção de casas. As técnicas de construção se modernizaram. Antigamente as casas eram construídas de rochas assentadas umas sobre as outras sem o uso de argamassa feita de cimento e agregado miúdo, tábuas, vigas e sarrafos e mais recentemente de tijolos de argila assentados uns sobre os outros com argamassa. Atualmente são construídas casas com blocos de concreto sem necessidade de vigas e pilares, as construções de blocos de concreto estruturais e mais recentemente, as obras levantadas com o uso de perfis metálicos, placas de madeira e placas de concreto, denominadas de construções em *steel frame*. Mesmo assim, o uso dos tijolos pode ser combinado com a utilização de robôs na construção de casas como mostrado na Figura 10.



Figura 10 – Robô para assentamento de tijolos [17]

Este tipo de robô é colocado sobre uma plataforma em cima da qual se desloca linearmente. Ele é alimentado com tijolos e argamassa para executar a construção da parede. A construção de casas com a utilização destes tipos de robôs ainda é limitada, pois para que o robô construa outra parede é necessário que a plataforma sobre a qual se encontra e o

próprio robô sejam deslocados para outra posição. Há necessidade de se encontrar outras opções para a movimentação do robô.

Outra forma de se construir uma casa com a utilização de um robô é o uso de robôs de 3 dimensões (3D) como mostrado na figura 11.

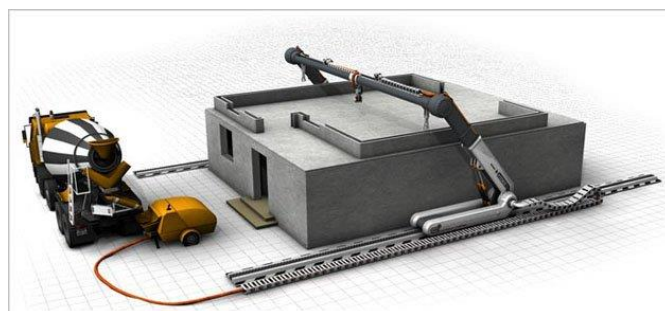


Figura 11 – Construção de uma casa com robô de 3 dimensões (3D) [18]

Este tipo de robô tem a vantagem de construir casas de mais de um andar sem a necessidade de se deslocar a plataforma sobre a qual ele se movimenta. Após a construção, tanto o robô como a sua plataforma devem ser deslocados para a próxima obra. Este tipo de robô também pode construir uma casa somente com argamassa, onde a parede é de dupla camada e é preenchida por uma alma em forma de zig-zague, também de concreto que lhe promove resistência mecânica.

Existem ainda os robôs que constroem casas utilizando somente argamassa. Estes robôs são montados e a casa com argamassa em duas paredes é construída ao redor do robô. A casa mostrada na Figura 12 é conformada em forma circular ou também pode ser construída em forma elíptica, dependendo do alcance do braço robótico. A dificuldade é a desmontagem e retirada do robô de dentro da casa após a sua conclusão. O projeto da casa para a remoção do robô deve levar em conta uma abertura que permita a remoção do mesmo.



Figura 12: Robô construtor de casa com argamassa.[19]

Para a construção destas casas a argamassa utilizada também deve ter um comportamento reológico de forma a não escoar

durante a sua aplicação. Argamassas muito fluídas não podem ser utilizadas pois elas não mantêm consistência suficiente para que as paredes permaneçam em pé. As argamassas muito secas não dão pega entre uma camada e outra, não promovendo a resistência mecânica da parede.

Construção de túneis metroviários

Na construção de túneis também são utilizados sistemas robóticos. Um deles é o equipamento denominado TBM (*Tunnel Boring Machine*) ou também “tatução”, como é mostrado na Figura 13.



Figura 13: TBM (Tunnel Boring Machine). [20]

Este equipamento em forma de cilindro é utilizado para a construção de túneis, perfurando o subsolo, inclusive o rochoso, por meio da roda de corte em sua posição dianteira. Este equipamento tem em torno de 10,58 m de diâmetro e 75 m de comprimento, pesando aproximadamente 1.900 toneladas [21] [22].



Figura 14: Tunnel Boring Machine. [23]

A construção é realizada em duas etapas. Na primeira é feita a escavação das rochas e do subsolo, abrindo uma passagem cilíndrica pela montanha. Na segunda etapa é feita a montagem de um anel para suportar e estabilizar o maciço. Os anéis de concreto armado são montados dentro do TBM e fixados no perímetro da escavação. Este equipamento, por ser muito grande tem um custo de aquisição muito elevado. Os diâmetros dos túneis escavados são fixos e a mão de obra necessária para a sua operação é muito especializada. As vantagens por outro lado superam as desvantagens. O processo

de escavação é muito mais seguro para os trabalhadores, pois não são utilizados explosivos que geram abalos sísmicos. O trabalho é mais rápido, pois um equipamento destes escava aproximadamente 15 m lineares por dia, dependendo do tipo de solo.

Inspeção de patologias

Devido a erros de projeto e de execução de obras e com o envelhecimento das construções, podem surgir patologias em edificações. As patologias em obras de difícil acesso como as “obras de arte especial” – pontes e viadutos, podem ser um risco muito grande para os especialistas que as inspecionam. Para que estas obras possam ser analisadas, muitas vezes é necessário que se interrompa o trânsito ou se feche uma ou mais faixas de rolamento para içar os profissionais em cestos ou plataformas sustentadas por lanças telescópicas [24]. Com a finalidade de reduzir os riscos e os custos, utiliza-se *drones* (muitas vezes também denominados quadricópteros) para realizar as inspeções para fins de recuperação destas obras como mostrado na Figura 15, a seguir.



Figura 15: Inspeção por drones. [25]

Geralmente, nas inspeções são realizadas as inspeções fotográficas de alta resolução das partes inferiores da ponte, onde o acesso humano é mais difícil. O tipo de patologia deve ser perfeitamente visível na fotografia, e a sua dimensão deve ser posteriormente avaliada e medida com equipamentos especiais. Esta tecnologia também apresenta as suas limitações. Em dias de chuva e de vento os *drones* até o momento não são muito estáveis. Com os *drones* também não é possível retirar amostras da “obra de arte especial”, como corpos de prova para realização de ensaios destrutivos, amostras de peças de aço oxidadas para analisar os seus produtos de corrosão e sua causa [26].

Conclusões

Nas várias áreas da construção civil como na topografia, na área de projetos, na área de construção de edificações, estradas, pontes e túneis e, também, nas inspeções de patologias de edificações as áreas de automação e robótica já são aplicadas. Aqui, pode ser visto um panorama das mais

recentes tecnologias aplicadas, bem como a sinalização de tendência para o futuro. A inserção de elementos já consagrados já se mostra eficaz para o atendimento da demanda.

Mesmo assim a área da construção civil ainda resiste muito na utilização destas tecnologias quando se compara as mesmas com as indústrias químicas, petroquímicas, farmacêuticas, alimentícia, de telecomunicações e principalmente a de montadoras de automóveis.

Para se utilizar equipamentos automatizados e robotizados na construção civil é necessário qualificar melhor a mão-de-obra e integrar a esta mão-de-obra com aquela especializada e com conhecimento da construção civil.

A utilização dos sistemas automatizados e robotizados aumenta a velocidade de execução da obra, reduz desperdícios através do uso automatizado dos recursos, reduz acidentes de trabalho e riscos para o meio ambiente.

É necessário que a demanda na automação e robotização na construção civil seja atendida pela indústria de bens de capital, tanto na para projetar, fabricar, construir, programar e testar estes sistemas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Oka, M. M.. História do Transistor. Manuais do LSI. Universidade de São Paulo. 2000. São Paulo. Disponível em < <http://www.lsi.usp.br/~dmi/manuais/HistoriaDoTransistor.pdf> > acesso em 29/09/2018.
- [2] Urbansky, A. Studie: Industrie 4.0 im Maschinen- und Anlagenbau. FASA e.V. 2015. Magdeburg – RFA
- [3] Carrara Valdemir. Robótica. Universidade Braz Cubas.
- [4] Barison, Maria Bernardete. Introdução de modelagem da informação da construção (BIM) no currículo – uma contribuição para a formação do projetista. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. São Paulo. 2015. 390p.
- [5] BIM life time cycle. Website: <http://nurebiz.de/wp-content/uploads/2015/11/BIM-Illustration.jpg> . Acesso em 08/09/2018.
- [6] Barchik, Evandra A. L. Automação Topográfica. Manfra. Website: <http://www.der.pr.gov.br/arquivos/File/RHTemp/EmpresaMANFRA.pdf> Acesso em 05/09/2018.
- [7] Equipamento mecânico-óptico para topografia. Website: http://www.sage.unsw.edu.au/currentstudents/ug/projects/f_pall/html/t8.html. Acesso em 08/09/2018.
- [8] Estação Total Website: <https://www.conasolucoes.com.br/2018/05/17/levantamento-topografico/>. Acesso em 10/09/2018.
- [9] Lidar. Website: <http://www.dsr.inpe.br/DSR/areas-de-atuacao/sensores-plataformas/lidar> . Acesso em 08/09/2018.
- [10] Plataforma não tripulada com unidade LiDAR Website: <http://www.aeroexpo.online/pt/prod/phoenix-lidar-systems/product-185772-34904.html>. Acesso em 10/09/2018.
- [11] Levantamento de uma superfície com o sistema LiDAR. Website: www.lidar-mexico.com. Acesso em 10/09/2018.
- [12] Automação de Robótica na construção de estradas. Website < <https://civilizacaoengenharia.wordpress.com/2017/05/15/robos-na-construcao-civil-sim-isso-existe/>>. Acesso em 15/09/2018.
- [13] Pavimentação de estradas. Website: <https://civilizacaoengenharia.wordpress.com/2017/05/15/robos-na-construcao-civil-sim-isso-existe/>. Acesso em 15/09/2018.
- [14] Rupp, Torsten, Volz, Hansjörg, Cord Thomas. Automated and Robotics-Based Techniques for Road Construction. IFAC Intelligent Autonomous Vehicles. Madrid, Spain, 1998. Volume 31, Issue 3, March 1998, Pages 515-520
- [15] Trator de demolição convencional. Website: https://www.cat.com/en_GB/products/new/equipment/excavators/demolition-excavators/1000022041.html. Acesso em 22/09/2018.
- [16] Robô britador. Website: <https://www.husqvarnacp.com/us/machines/demolition-robots/dxr-270/967195502/>. Acesso em 22/09/2018.
- [17] Robô para assentamento de tijolos. Website: <https://techxplore.com/news/2017-04-bricklaying-robot-ergonomic-economic-impact.html>. Acesso em 25/09/2018.
- [18] Construção de uma casa com robô de 3 dimensões (3D). Website: <https://www.hypeness.com.br/2014/01/conheca-a-impressora-3d-capaz-de-construir-uma-casa-em-menos-de-24-horas/>. Acesso em 25/09/2018.
- [19] Robô construtor de casa com argamassa. Website: <https://olhardigital.com.br/noticia/casa-e-construida-com-impressora-3d-em-24-horas/66556>. Acesso em 25/09/2018.
- [20] TBM (Tunnel Boring Machine) Website: <http://www.inovacivil.com.br/tuneis-na-engenharia/>. Acesso em 27/09/2018.
- [21] Tunnel Boring Machine. Website: <http://www.oas.com/oas-com/noticias/como-o-tatuacao-constroi-os-tuneis-dos-metros-de-sp.htm>. Acesso em 28/09/2018
- [22] Construção de Túneis. Website: <http://www.inovacivil.com.br/tuneis-na-engenharia/>. Acesso em 28/09/2018.
- [23] Tunnel Boring Machine. As tuneladoras gigantes TBM utilizadas no projecto ferroviário Crossrail em Londres – Crossrail Ltd.
- [24] Sarkis, Paulo Jorge; Sarkis, Jorge Martins. Uso de Drone em Inspeção e Definição de Recuperação em OAEs. IX Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas. Rio de Janeiro. 2016.
- [25] Inspeção por *drones*. Website: <https://www.engenhariacivil.com/alemanha-drones-inspecao-monitorizacao-estruturas>. Acesso em 02/10/2018.
- [26] Rupp, Torsten, Volz, Hansjörg, Cord Thomas. Automated and Robotics-Based Techniques for Road Construction. IFAC Intelligent Autonomous Vehicles. Madrid, Spain, 1998. Volume 31, Issue 3, March 1998, Pages 515-520