

Rafael Giuliano Pileggi

Rafael Pileggi é apaixonado pela engenharia de materiais, área na qual se graduou (1992), fez mestrado (1994-1996) e doutorado (1996-2001) na Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Especializou-se em reologia de materiais cimentícios refratários com reduzidos teores de água e cimento, desenvolvendo métodos para caracterização do comportamento reológico de concretos.

Suas pesquisas e conhecimentos em reologia o trouxeram, em 2003, para o departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, para, como pesquisador, contribuir com o desenvolvimento do tema de reologia aplicada a cimentícios no setor de construção civil, visando desenvolver estratégias de formulação de argamassas e concretos sustentáveis, com baixo teor de cimento e com incorporação de resíduos de mineração.

Ainda como pesquisador, criou, em 2005, a primeira disciplina de pós-graduação no tema de reologia de suspensões reativas aplicadas à construção civil na Escola Politécnica da USP, tendo sido efetivado docente USP em 2008. Após suas pesquisas sobre argamassas, concretos com incorporação de resíduo de bauxita, concretos ecoeficientes, foi para a Suíça, em 2019, para estudar projetos de fabricação digital de concreto.

Voltou ao Brasil, sendo um dos responsáveis pela implementação do Laboratório de Construção Digital (DCLab), onde coordena a equipe de pesquisa em materiais para o projeto de impressão 3D do hubIC, hub de inovação na Construção formado pela parceria entre Escola Politécnica da USP, Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) e Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC).

IBRACON TRACE UM BREVE PANORAMA DE SUA CARREIRA PROFISSIONAL, DESDE A ESCOLHA DA ENGENHARIA DE MATERIAIS, PASSANDO PELO SEU ENVOLVIMENTO COM AS PESQUISAS EM REOLOGIA, ATÉ SUA COORDENAÇÃO DE PROJETOS DE FABRICAÇÃO DIGITAL DE COMPONENTES CIMENTÍCIOS.

| **RAFAEL GIULIANO PILEGGI** | Escolhi engenharia por vocação. Eu sou de Ribeirão Preto e entrei na Universidade Federal de São Carlos em 1988. Prestei vestibular para engenharia mecânica, eletrônica e de materiais. Passei em todas e optei pelos materiais a partir de uma reportagem televisiva sobre desenvolvimento de cerâmicas odontológicas, que me encantou. Foi paixão mesmo! Me encantei pela área de cerâmica, que contempla a



categoria dos materiais cimentícios, apesar da engenharia de materiais brasileira geralmente não tratar de materiais cimentícios.

Me formei em 1992, quando explodiu o mercado de concretos refratários com baixo teor de cimento e baixo teor de água. Meu conhecimento em reologia começou no mestrado quando fui trabalhar com concretos autoadensáveis refratários, por eles terem uma restrição técnica do teor de cimento aluminoso ser até 5% da massa total, com os melhores concretos tendo 1% de teor de cimento, o que é obtido por meio de estratégias de dosagem por dispersão e empacotamento de partículas. No doutorado, aprofundei os estudos em distribuição



OS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DE TRABALHABILIDADE CONVENCIONAIS, COMO *SLUMP TEST*, SÃO AINDA USADOS, MAS COMO FERRAMENTAS DE VALIDAÇÃO, NÃO SENDO EFETIVOS COMO FERRAMENTAS DE DESENVOLVIMENTO DE FORMULAÇÕES COM REDUZIDO TEOR DE CIMENTO E ÁGUA



do tamanho de partículas, aditivação e controle reológico das formulações por meio do desenvolvimento de novos métodos de caracterização de trabalhabilidade para concretos de baixíssimo teor de cimento, em específico reometria de concreto. Os ensaios de caracterização de trabalhabilidade convencionais, como *Slump Test*, são ainda usados, mas como ferramentas de validação, não sendo efetivos como ferramentas de desenvolvimento de formulações com reduzido teor de cimento e água.

Por ter esse domínio do tema da trabalhabilidade, em 2003 fui convidado a integrar o grupo de pesquisa do Prof. Vanderley John e Prof^a. Maria Alba Cincotto na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Meu objetivo era desenvolver materiais cimentícios com baixíssimo teor de água, desde o concreto fluido até o concreto seco, com essa reologia mais refinada, com esses novos métodos de formulação, que possibilitam prever o comportamento do concreto no estado fresco, não apenas quanto às resistências mecânicas. Trabalhamos muitos anos com argamassas, desenvolvemos novas técnicas de caracterização de trabalhabilidade, como o *Squeeze Flow*, que avalia o espalhamento do material sobre a superfície, acumulando conhecimento para avançarmos para os cimentos com baixo teor de clínquer, fazendo convênios com indústrias cimenteiras, e avançamos para os concretos com baixo teor de cimento para qualquer família de concreto – do mais fluido ao mais seco. Minha história com concretos e argamassas com baixos teores de cimento e meu background em reologia são, portanto, alinhados com as necessidades da impressão 3D de paredes e pilares em materiais cimentícios ecoeficientes, sabendo que o sucesso dessa tecnologia é totalmente dependente do comportamento reológico do material. Lembrando que reologia é a ciência que estuda como qualquer matéria flui quando submetida a esforços.

IBRACON COMO A REOLOGIA TORNA ISTO POSSÍVEL – DESENVOLVER COM PRECISÃO UMA ARGAMASSA, UM CONCRETO, COM CARACTERÍSTICAS ADEQUADAS PARA IMPRIMIR UMA PAREDE?

| **RAFAEL GIULIANO PILEGGI** | Nosso grupo conseguiu desenvolver concretos e argamassas comerciais reduzindo o consumo de cimento em até 50% e o teor de água proporcionalmente, mas mantendo o desempenho. Os materiais cimentícios para impressão 3D são o resultado reológico mais sofisticado deste trabalho. Partimos do conceito de que o comportamento no estado endurecido é definido pela microestrutura da argamassa e do concreto no estado fresco na primeira hora da formulação. É nesta primeira hora que precisa ser definido o teor de água e de aditivo na formulação.

Medimos as propriedades do material em momentos reológicos diferentes – na mistura, no transporte, no bombeamento e na moldagem, para, baseado nos modelos de mobilidade das partículas, dizer qual é o melhor teor de

água, quais matérias-primas devem ser selecionadas, para fazer as formulações eficientes.

O projeto da impressão de uma cozinha funcional completa, que estamos desenvolvendo no hubIC, é um benchmark mundial para uma parede impressa continuamente com uma argamassa de 288 kg/m³, em quatro horas, que atinge mais que 40 MPa de resistência à compressão aos 28 dias. Ainda não conhecemos quem conseguiu fazer igual, com menos de 350 kg/m³.

IBRACON QUANTO TEMPO LEVOU E QUAL FOI O PROCESSO DE APRENDIZADO?

| **RAFAEL GIULIANO PILEGGI** |

O estudo do material teve que ser acoplado ao resto do sistema: desenhar no computador, dominar os equipamentos e formular o traço. Todo o processo levou dois anos, sendo que a formulação do concreto levou seis meses.

Com o processo dominado, estabelecemos uma dinâmica de treinamento e aprendizado com os pesquisadores internos do grupo de trabalho na cozinha. Estimulamos que desenvolvessem peças conceituais impressas antes de partimos para a cozinha propriamente dita. Cada peça representa um “pedaço” do que será impresso na cozinha. Sendo assim, nessa dinâmica aprendemos muito sobre todos os tópicos envolvidos no sucesso da impressão de um componente. Em relação às empresas parceiras, pelo grau de inovação do projeto e

o desconhecimento do mercado, o hubIC entendeu que tem um papel de avançar no desenvolvimento da tecnologia e compartilhar as experiências, para que as empresas consigam, a partir disso, explorar as diversas aplicações dentro de sua realidade.

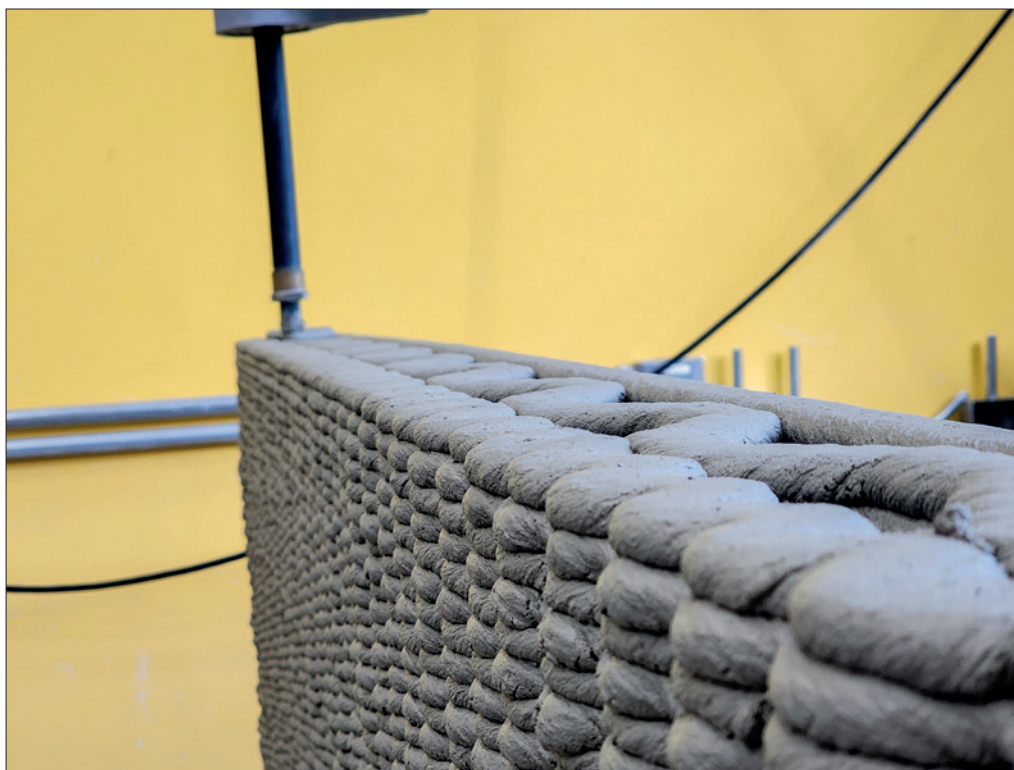
O hubIC atualmente conta com um grupo de 37 empresas, entre cimenteiras, siderúrgicas, empresas de aditivos, pintura, concreteiras, construtoras, produtores de argamassas, instalações elétricas, projetista, entre outras.

Desse total, 21 participam do grupo de 3D do hubIC e sugeriram que fizéssemos a concepção e impressão de uma cozinha funcional com a dimensão de 2,50 m x 3 m, com 2,80 de altura e 10 cm de espessura de parede. Mais do que isso, estabelecemos o desafio de desenvolver soluções para paredes

de concreto a custos competitivos com a realidade brasileira. Isso nos forçou a eliminar a opção de usarmos aditivos e matérias-primas caras.

Visando ecoeficiência e custo baixo, a formulação do material assumiu como paradigma não ter mais de 300 kg/m³ de cimento. Em relação aos equipamentos, a máquina de impressão precisava ser barata e leve, capaz de imprimir um cômodo e a tecnologia de misturador e bomba deveria ser acessível no Brasil.

Ajustamos o projeto e o processo para a rota de minimização de custo. Com essas condições de contorno,



Parede impressa com três fios de concreto no Hubic

meu time de materiais do Laboratório de Microestrutura e Ecoeficiência de Materiais da Escola Politécnica da USP, liderado pelo Dr. César Romano, e a startup Portal 3D, montada pelos meus alunos para pilotar os equipamentos e coordenar os processos, toparam o desafio que propus de imprimir uma parede de forma contínua de 1,5 m de altura, sem acelerador de pega. Normalmente, sem os aceleradores de pega, as empresas imprimem de meio em meio metro, parando o processo para deixar o concreto endurecer. Com o novo robô de 6 eixos e o trilho que devem chegar em julho, conseguiremos subir uma parede de até 3,0 m de altura com 6 m de comprimento, o dobro do que conseguimos fazer agora.

IBRACON E QUANTO AS OUTRAS PARTES DA COZINHA: PAVIMENTOS, PILARES E VIGAS?

| **RAFAEL GIULIANO PILEGGI** | A parede impressa não conta com reforços, ela precisa ser autoportante. O segredo está na formulação do material e na rota: empacotamento de partículas, aditivos, vazão de bomba e desenho do fatiador. Tudo isso foi aprendido. O modo que se faz pode contribuir para

“

AS EMPRESAS QUE PARTICIPAM DO GRUPO DE 3D DO HUBIC SUGERIRAM QUE FIZÉSSEMOS A CONCEPÇÃO E IMPRESSÃO DE UMA COZINHA FUNCIONAL COM A DIMENSÃO DE 2,5 M X 3 M, COM 2,8 DE ALTURA E 10 CM DE ESPESSURA DE PAREDE

”

“

OS REQUISITOS SÃO SOLUÇÕES COM CUSTO ECONOMICAMENTE COMPETITIVO: PAREDES DE CONCRETO MAIS BARATAS, COM SISTEMA CONSTRUTIVO MAIS PRODUTIVO, MENOS INTENSO EM MÃO DE OBRA

”

subir ou derrubar a parede. Tudo isso foi aprendido.

Construída as paredes, a casa receberá reforços estruturais, pois não há código de normalização que permita o uso de estrutura 3D como um único elemento estrutural. Quem fez o projeto desses reforços foi o Eng.

Francisco Graziano. Ele desenvolveu o projeto estrutural da cozinha considerando esses reforços estruturais.

A laje e o pavimento devem ser em concreto de alto desempenho. O 3D é material, projeto, processo e sistema.

Importante enfatizar que esse é um grande projeto em equipe que servirá de embrião para essa tecnologia no país. Minha função é coordenar a iniciativa e atuar na parte de desenvolvimento dos materiais ecoeficientes. O pessoal de design, modelagem paramétrica e desenvolvimento do fatiador é uma parceria da startup

Portal 3D com a Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP, coordenado pelo Prof. Arthur Lara e o Eng. Fernando Simões. O pessoal da mecatrônica envolve os professores Emilio Nelly Silva, Marcos Tsuzuki, Renato Picelli, além do Eng. Francisco Oliveira, que auxiliam na modelagem por otimização topológica e nos temas de robótica. A startup é pilotada pelos acadêmicos Victor Sakano, Gabriel Brasileiro, Yuri Confessor e Matheus Confessor, que operam toda a tecnologia, além de desenvolverem equipamentos, softwares e componentes, já atua comercialmente no mercado. Recentemente incorporamos ao time alguns alunos de iniciação científica oriundos da equipe Concreto Poli, entre outros, já preparando as futuras gerações para essa nova tecnologia.



Acadêmicos da startup Portal 3D posam em frente à parede de concreto impressa no Hubic

IBRACON QUAL É O PRAZO PARA ENTREGA DA COZINHA?

| **RAFAEL GIULIANO PILEGGI** | O tempo efetivo de impressão é menos de 20 horas. Devemos imprimir material suficientes para umas três cozinhas, cujos componentes serão oferecidos para os outros hubickers implantarem e testarem seus sistemas: caixilharias, conexões, telhado, assentamentos, pintura etc. Isto deve ser encerrar em julho e a cozinha deve ficar pronta no segundo semestre do ano. Com a cozinha pronta, começa uma segunda fase do projeto, envolvendo docentes pesquisadores da Poli/Civil, os professores Renata Monte (Construção Civil) e Luiz Bittencourt (Estruturas e Fundações), além de contarmos com o apoio do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT), iniciando estudos de avaliação de desempenho do sistema construído, criando bases para um futuro processo de certificação. O sucesso da iniciativa servirá também para abrir a discussão de códigos de normalização para que as soluções sejam utilizadas pelas empresas envolvidas no projeto. Os requisitos são soluções com

custo economicamente competitivo: paredes de concreto mais baratas, com sistema construtivo mais produtivo, menos intenso em mão de obra.

De prático, hoje temos o 3D mais barato e mais sustentável, referência mundial. Fazemos paredes impressas de concreto com metade do teor de cimento que as referências internacionais.

Nossa tecnologia é 100% nacional, sendo inspirada em soluções 3D de sucesso no exterior, como os desenvolvidos no DFabLab da ETH de Zurique, na Suíça, onde fiz meu pós-doutorado em 2019. Não trabalhamos com uma receita 3D, mas com um conceito 3D, que poderá ser ajustado para diferentes locais do país, com suas matérias-primas locais.

IBRACON QUEM (EMPRESA/ACADEMIA) USOU PELA PRIMEIRA VEZ A IMPRESSÃO 3D EM CONCRETO E COM QUAL FINALIDADE? DE LÁ PARA CÁ, COMO EMPRESAS E ACADEMIA CONTRIBUÍRAM PARA O AVANÇO DA TECNOLOGIA?

| **RAFAEL GIULIANO PILEGGI** | A história de impressão 3D em concreto começou no Estados Unidos quando uma empresa chamada “Contour Craft” desenvolveu sua primeira impressora visando construção autônoma no espaço. Sério, a ideia começou em fazer obras na Lua, Marte etc. Logo em seguida, surgiram iniciativas parecidas na Itália e Inglaterra. A primeira cátedra acadêmica surgiu na Suíça, na universidade ETH Zurique, onde fui professor convidado em 2019. Depois disso, explodiu, com forte ênfase na Dinamarca, Estados Unidos, Europa em geral, países asiáticos etc. Hoje a quantidade de universidades e empresas no tema é gigante. No início, a tecnologia embrionária foi focada em construção de elementos pré-fabricados, avançando pra casas e pontes, sendo hoje uma realidade até para torres eólicas e outros elementos de infraestrutura. O desafio do momento tem sido a verticalização de edifícios. Um case superinteressante de colaboração universidade e empresas é a DFab House, construída no EMPA, Suíça. Lá, tudo foi feito com técnicas de manufatura aditiva e diversos produtos já estão disponíveis no mercado.

IBRACON O DESENVOLVIMENTO DA IMPRESSÃO 3D EM CONCRETO QUE VEM SENDO ATUALMENTE APLICADA É MAJORITARIAMENTE DA INICIATIVA PRIVADA OU DE PARCERIAS ENTRE ACADEMIA E SETOR INDUSTRIAL? ESTA É A TENDÊNCIA PARA O FUTURO?

| **RAFAEL GIULIANO PILEGGI** | Diria que é um desenvolvimento mútuo, mas com forte ênfase para o ambiente empresarial. Claro que diversas companhias estão trabalhando em suas tecnologias 3D, mas a efervescência acadêmica no tema tem sido exuberante. Não por acaso, o número de artigos sobre o tema tem aumentado exponencialmente ao longo dos anos. Diria que a tecnologia vem das empresas e a ciência vem da academia. O mais importante é verificar que o sucesso tem sido construído com forte interface entre universidades e empresas.

Hoje, a grande parte da minha pesquisa acadêmica é usar as ferramentas da reologia para desenvolver soluções que incorporem subprodutos industriais, sobretudo resíduos de mineração: cobre, alumínio, níquel, entre outros. Isto para qualquer concreto, inclusive para impressão 3D.

A relevância da impressão 3D tem crescido aceleradamente no mundo todo. Foi notável verificar que no último congresso do ACI (Instituto Americano do Concreto), um terço da agenda era sobre impressão 3D, sendo a maior parte do tema sobre desempenho estrutural. Um trabalho interessante mostrou que sistemas estruturados em 3D, com pilar e viga, são bastante resistentes a terremotos. Ainda não se sabe o desempenho de peças impressas em situação de incêndio, mas esta questão deve estar resolvida em breve. Hoje, não tem código normativo para 3D e há uma discussão se deve ser desenvolvido agora, se devemos esperar mais alguns anos, quando a tecnologia estiver consolidada. Até lá, quem quiser comercializar seu produto ou sistema tem que tirar a referência técnica da solução.

IBRACON QUAIS COMPANHIAS BRASILEIRAS E ESTRANGEIRAS TÊM APLICADO A IMPRESSÃO 3D EM OBRAS? EM QUAIS OBRAS E PARA QUAIS PROPÓSITOS?

| **RAFAEL GIULIANO PILEGGI** | Estrangeiras inúmeras, tanto em peças arquitetônicas, como em obras residenciais e em todos os continentes

“

NO BRASIL, JÁ HÁ CONSTRUTORAS IMPRIMINDO SEUS PRIMEIROS PROTÓTIPOS DE CASAS, COMO EM MINAS GERAIS E NO RIO GRANDE DO SUL

”



O 3D TEM POTENCIAL DE COMBINAR DESMATERIALIZAÇÃO, DESCARBONIZAÇÃO, AUMENTO DE PRODUTIVIDADE, ELIMINAÇÃO DE FÔRMAS, REDUÇÃO DE CUSTOS, GEOMETRIAS COMPLEXAS, DIMINUIÇÃO DE REFORÇO ARMADO, AUMENTO DA DURABILIDADE ETC.



do mundo. Uma importante obra que exemplifica o esforço em desenvolver a tecnologia e o modelo de negócio é um conjunto de 100 casas que estão sendo impressas pela empresa Icon nos EUA/Texas, que levantou 500 milhões de dólares em fundos de investimentos nos últimos três anos. No Brasil, já há construtoras imprimindo seus primeiros protótipos de casas, como em Minas Gerais e no Rio Grande do Sul. Em São Paulo, a Statup Portal 3D, incubada na USP e no Hubic, já está produzindo componentes e protótipos para obras de construtoras mineiras e paulistas. Em outras palavras, o processo 3D começou no Brasil.

IBRACON NA SUA VISÃO, A IMPRESSÃO 3D TEM POTENCIAL DE USO EM QUAIS NICHOS DO SETOR CONSTRUTIVO? EM QUANTO TEMPO, ESSA TECNOLOGIA ESTARÁ CONSOLIDADA? QUAIS OS DESAFIOS A VENCER?

| **RAFAEL GIULIANO PILEGGI** | Essa é a grande pergunta. A cada semana novas aplicações são reportadas na literatura e nas mídias eletrônicas. Desde instalações para infraestrutura urbana, a grandes elementos de torres e pontes. Casas, edifícios, mobiliário urbano, defensas oceânicas bioreceptivas, pisos, pavimentos, são exemplos já repostados de casos de sucesso em impressão 3D. É claro que não se imagina a construção virando 100% 3D, mas com certeza diversas aplicações serão encontradas como viáveis. Lembrando que 3D tem o potencial de combinar: desmaterialização, descarbonização, aumento de produtividade, diminuição de demanda por trabalhos manuais, projetos multifuncionais, eliminação de fôrmas, redução de custo, geometrias complexas, novos cimentos bicomponentes, diminuição de reforço armado e aumento de durabilidade.

IBRACON COMO OS PARCEIROS DO HUBIC SE BENEFICIAM NO PROJETO DE IMPRESSÃO 3D?

| **RAFAEL GIULIANO PILEGGI** | Como o projeto é aberto e pré-competitivo, nenhuma empresa vai saber qual é a nossa formulação desenvolvida para a impressão 3D. Nossa devolutiva aos parceiros que são os produtores de massa é dizer que a formulação precisa ter tal comportamento reológico, teor de ar, densidade, resistência mecânica e módulo de elasticidade, sem abrir os “guidelines” da formulação. Caso uma empresa queira desenvolver sua formulação conosco, isso deverá ser atrelado ao um convênio com a Universidade de São Paulo. O espírito do projeto desenvolvido no hubIC é beneficiar a todos os parceiros com informações, para que cada qual trabalhe com suas próprias soluções. Hoje, temos vários possíveis formuladores de materiais no hubIC. A startup incubada na USP, por exemplo, está desenvolvendo suas próprias massas por meio de um convênio de pesquisas com a USP. O que ela vai fazer com este conhecimento - vender, licenciar ou terceirizar - é uma decisão dela. Nosso compromisso é fazer a supervisão acadêmica.

Nossa atuação em impressão 3D ocorre em dois momentos: um é o que se

entrega para os parceiros no âmbito pré-competitivo do hubIC; o outro é a pesquisa científica por trás, que continua independente do hubIC e gera publicações científicas. Importante mencionar que o hubIC conta com uma equipe gestora operacional dedicada que apoia e participa da gestão e implantação de cada projeto. No caso de 3D, contamos com o envolvimento do Carlos Massucato, Eliana Taniguti, Leticia Macelari e Júlia da Silva. Lembrando que, uma vez por mês, organizamos visitas abertas ao laboratório para demonstração de impressão aos visitantes.

IBRACON COMO É O FINANCIAMENTO DO PROJETO DE IMPRESSÃO 3D?

| **RAFAEL GIULIANO PILEGGI** | É um financiamento de múltiplas fontes. Do convênio do hubIC, entre ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) e USP, os recursos foram alocados para as obras físicas do laboratório e aquisição de equipamentos. Outra grande parte vem dos *hubickers*, empresas participantes do hubIC, para atividades de apoio. Outros equipamentos de laboratório vêm de convênios de pesquisas que envolvem a impressão 3D. Com isso, o laboratório virou um espaço multilateral, onde se pode fazer pesquisa, ensino e extensão.

IBRACON COMO FOI A EVOLUÇÃO DAS TECNOLOGIAS DE IMPRESSÃO 3D?

| **RAFAEL GIULIANO PILEGGI** | Houve uma melhora de produtividade e

eficiência. Nas primeiras formulações se imprimia de 2 a 3 litros por minuto. Hoje, se imprime 200 litros por minuto. As máquinas ficaram rápidas e produtivas, com o desenvolvimento industrial. Os equipamentos eram pórticos, estáticos e gigantes. Hoje são “minibuilders”, máquinas móveis. Hoje se tem uma série de robôs em cima de trator-esteira ou caminhão, havendo inclusive caminhão bomba de lança de concreto convertida em robô de impressão 3D. Imagina: não precisa mais instalar a impressora, o caminhão com o robô faz a impressão e vai embora! Assim, as impressoras ganharam mobilidade e se tornaram fáceis de instalar.

Com relação às massas e o entendimento da reologia, há 10 anos era um ato um ato de fé imprimir uma peça de 30 cm, mas hoje se consegue imprimir uma parede de 3 m com acelerador de pega ou uma de 2,70 m sem acelerador de pega, como fizemos recentemente aqui no hubIC, devido à muita pesquisa científica e tecnológica. Hoje há congressos dedicados apenas à impressão 3D, como o *Digital Congress*, que ocorre de dois em dois anos e está em sua terceira edição.

A rota europeia decolou com tecnologias de equipamentos e aceleradores para edificações únicas. Já, os norte-americanos partiram para impressão de maior escala. Para mim, um ponto que evoluiu rapidamente foram as máquinas e equipamentos. Antes tudo travava, o sensor não funcionava, os equipamentos não podiam tomar

chuva. Hoje, as máquinas são rápidas, ágeis e precisas. Atualmente, o que se experimenta é o modelo de negócios mais viável: fabricar as peças impressas num galpão e montar a casa, ou imprimir cada casa no canteiro. Hoje, as empresas mais consolidadas são os ateliês de impressão, que customizam peças pré-fabricadas a custos altos. O designer compra um robô e a massa e começa a imprimir peças. Isto já está chegando no Brasil. Em uma grande feira de Construção na Região Sul do país, já se apresentavam empresas vendendo

máquinas de impressão para concreto. O kit para impressão - impressora, misturador, bomba e massa - já é possível aos brasileiros comprar. Os fabricantes de massas ainda trabalham para terem seus custos mais competitivos. Um ponto de sucesso que considero de nosso trabalho do hubIC foi chegar a formulações muito baratas e competitivas no mercado brasileiro, capazes de viabilizarem impressão 3D frente a outros sistemas construtivos em concreto. Tenho certeza de que com o tempo e demanda, as empresas, com suas equipes de pesquisa e desenvolvimento, chegarão a um custo menor também.



Coluna impressa com microconcreto desenvolvido sob coordenação do Prof. Rafael Pileggi

“

ATUALMENTE, O QUE SE EXPERIMENTA É O MODELO DE NEGÓCIOS MAIS VIÁVEL: FABRICAR AS PEÇAS IMPRESSAS NUM GALPÃO E MONTAR A CASA, OU IMPRIMIR CADA CASA NO CANTEIRO

”



O MAIOR GARGALO É QUANTO À MÃO DE OBRA: QUANTAS PESSOAS SÃO NECESSÁRIAS PARA OPERAR O SISTEMA DIGITAL FUNCIONANDO, QUAIS AS QUALIFICAÇÕES NECESSÁRIAS E QUAIS OS RISCOS DE ACIDENTES E MEDIDAS DE SEGURANÇA PARA ESTE NOVO CANTEIRO?



IBRACON QUAL É A PEGADA DE CARBONO DA ARGAMASSA PRODUZIDA PARA A IMPRESSÃO DA PAREDE NO HUBIC?

| **RAFAEL GIULIANO PILEGGI** | Um indicador de eficiência ambiental em um material cimentício é o consumo de cimento (kg/m^3 de material reativo) por unidade de resistência mecânica à compressão (MPa). Esse indicador, chamado B.I. (*binder intensity*) mostra que uma concreteira de mercado opera com 8 a 10 kg/m^3 por MPa. Nossa formulação está na casa de 2 a 3 kg/m^3 por MPa, ou seja, um terço a um quarto menos emissões de CO_2 de um concreto equivalente, na mesma resistência. Soma-se a isso o fato de que a impressão leva a elementos desmaterializados porque as paredes são ocas por serem formadas por fios impressos. Nossa meta na produção da cozinha agora é diminuir ainda mais a espessura do cordão de impressão, para chegar à metade da atual, isto é, fazer a mesma parede com a metade da massa.

IBRACON QUAIS AS VANTAGENS E DESVANTAGENS DA IMPRESSÃO 3D EM RELAÇÃO AO SISTEMA CONVENCIONAL?

| **RAFAEL GIULIANO PILEGGI** | A manufatura aditiva por impressão 3D baseada em extrusão de fio dá liberdade de formas e liberdades das fôrmas, isto é, ela torna possível fazer qualquer geometria sem precisar usar fôrmas, o que traz benefícios ambientais, pois não há descarte dos materiais para fazer as fôrmas.

Outro benefício é a desmaterialização do componente, combinando o projeto estrutural com técnicas de dimensionamento como a otimização topológica. Com isso, se tem o material certo no lugar certo, onde se precisa de reforço estrutural. A terceira vantagem é a produtividade trazida por máquinas mais velozes. Já tem máquinas com três bicos simultâneos, que fazem os fios externos e interno simultaneamente.

A única diferença em termos de sistema é o robô, porque o misturador e a bomba são equivalentes ao que se têm hoje: para grandes volumes de massa, usa-se bomba de duplo pistão; para microconcretos ou argamassas, usa-se bomba de rotor estator. É a mesma vida útil dos sistemas de mistura e bombeamento convencionais.

A maior diferença e o maior gargalo são quanto à mão de obra: quantas pessoas são necessárias para operar o sistema digital funcionando, quais as qualificações necessárias e quais os riscos de acidentes e medidas de segurança para este novo canteiro? Projetar para 3D precisa ser massificado para que crie rotas inteligentes quanto à função e estética. Vai demandar treinamento desta geração digital, como se fosse um jogo de videogame. Por fim, virá uma nova geração de trabalhadores nos canteiros de obras, sendo os pedreiros adaptados a esses equipamentos e à montagem digital.

IBRACON COMO A IMPRESSÃO 3D NA CONSTRUÇÃO PODERÁ SER ASSOCIADA À ROBÓTICA E À INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL PARA AUTOMATIZAR A CONSTRUÇÃO?

| **RAFAEL GIULIANO PILEGGI** | Esta é a direção. O sistema vai ser capaz de se autoajustar: o torque da máquina está mais alto porque se alterou a granulometria da areia e, com isso, o sistema altera a quantidade de aditivos. A impressão 3D alinhada a uma grande base de dados pode permitir que a inteligência artificial crie geometrias e modelos de controle.

Tenho um orientando que está pesquisando o uso de inteligência artificial para conceber o design de peças 3D para habitações populares. Outro projeto mimetiza geometrias e texturas da natureza para que o crescimento de plantas seja favorecido sobre contenções de concreto. Com isso, aumenta-se a capacidade de fixar biomassa, tornando o concreto neutro ou negativo em emissões de carbono.

Hoje se pesquisa o design de paredes impressas, com geometrias complexas, para se ter isolamento térmico e acústico do ambiente interno, integrando cada vez mais o projeto ao seu meio, sem aumentar custo.

Dois grandes projetos de impressão 3D no mundo envolvem a construção de torres eólicas de 200 m de altura por impressão com uma única máquina, montada em cima da fundação, capaz de imprimir o concreto e protender. Diria que o céu é o limite.

IBRACON O QUE GOSTA DE FAZER FORA DO TRABALHO?

| **RAFAEL GIULIANO PILEGGI** | Família. ☺