XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável
Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

O Uso de Smart Objects como Proposta de Inovação na Cadeia Produtiva do Controle Tecnológico do Concreto no Brasil

The usage of Smart Objects as an innovation proposal for the concrete control production chain in Brazil

Jonathan Chefaly Mochon Zappile
Universidade de São Paulo | São Paulo | Brasil | jonathan.zappile@usp.br
Renan Pereira de Andrade
Universidade de São Paulo | São Paulo | Brasil | renanandradep@outlook.com
Flávio Leal Maranhão
Universidade de São Paulo | São Paulo | Brasil | flavio.maranhao@usp.br

Resumo

Atualmente o ensaio de resistência à compressão para controle tecnológico do concreto possui duas limitações, inúmeros são os fatores que influenciam o resultado do ensaio e existe um período de espera para realizar o ensaio que pode se tornar oneroso futuramente devido o avanço da obra. Neste sentido este trabalho apresenta uma proposta de reconfiguração da cadeia produtiva do controle tecnológico do concreto a partir da utilização de Smart Objects. Para isto são apresentados os fatores que influenciam o controle tecnológico, o estado da arte de monitoramento contínuo e a discussão quanto aos impactos do usuário do método de sensoriamento.

Palavras-chave: Cadeia Produtiva. Controle Tecnológico do Concreto. Sensores inteligentes. Monitoramento contínuo.

Abstract

Currently, the compressive strength test for technological control of concrete has two limitations, there are numerous factors that influence the test result and there is a waiting period to perform the test that can become expensive in the future due to the progress of the work. In this sense, this work presents a proposal reconfiguration of the production chain of technological control of concrete from the use of Smart Objects. For this, the factors that influence the technological control, the state of the art of continuous monitoring and the discussion about the user impacts of the sensing method are presented.

ZAPPILE, J. C. M.; ANDRADE, R.; MARANHÃO, F. O uso de smart objects como proposta de inovação na cadeia produtiva do controle tecnológico do concreto no Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2022. Disponível em: https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/2000

Keywords: Productive chain. Technological Control of Concrete. Smart Objects. Real-time monitoring.

INTRODUÇÃO

Sensores inteligentes também conhecidos como *Smart Objects* (SOs) baseados em Internet of Things (IoT) aplicados a construção civil podem ser utilizados para a realização do monitoramento contínuo de estruturas e propriedades do concreto [1][2]. Sua idealização é realizada a partir da aquisição e transmissão de dados através da internet aspirando fornecer informações do objeto de estudo em tempo real para o usuário do SOs, auxiliando na tomada de decisão e redução de atrasos devido à falta de informação [3][4].

No que diz respeito a utilização de sensores na construção civil, mais especificamente ao concreto, nos últimos anos têm-se verificado a busca pelo monitoramento contínuo de suas propriedades e previsão de sua resistência a partir de SOs. Por intermédio de sua utilização têm-se evidenciado a variação entre as condições de cura dos corpos de prova e as condições reais da estrutura de concreto [5]. Neste âmbito, nos anos de 2020 e 2021 foram verificados mais de 300 trabalhos destinados ao estudo do monitoramento em tempo real de estruturas de concreto [6][7][8][9], com o intuito de fornecer subsídios para o gestor da obra a respeito da remoção de fôrmas e/ou escoramentos, da execução de protensão em concreto protendido e da conclusão da proteção em tempo frio [10].

Atualmente o controle tecnológico do concreto é realizado a partir da NBR 12655 [11] a qual prescreve os procedimentos para sua execução abrangendo desde a modalidade de preparo do concreto até a aceitação do concreto. Dentre as diversas etapas de execução, Magalhães *et al.* [12] ressalta a necessidade de realizar o controle tecnológico de forma adequada, pois erros no processo executivo tendem a acarretar grandes distorções na avaliação da confiabilidade de uma determinada estrutura tanto para concretos de mesmo lote quanto para concretos de lotes diferentes. Portanto, não sendo somente uma falha exclusiva do fornecedor do concreto, uma vez que muitos atores estão envolvidos na cadeia produtiva do controle tecnológico do concreto (Quadro 1).

Quadro 1: Fatores que influenciam o controle tecnológico

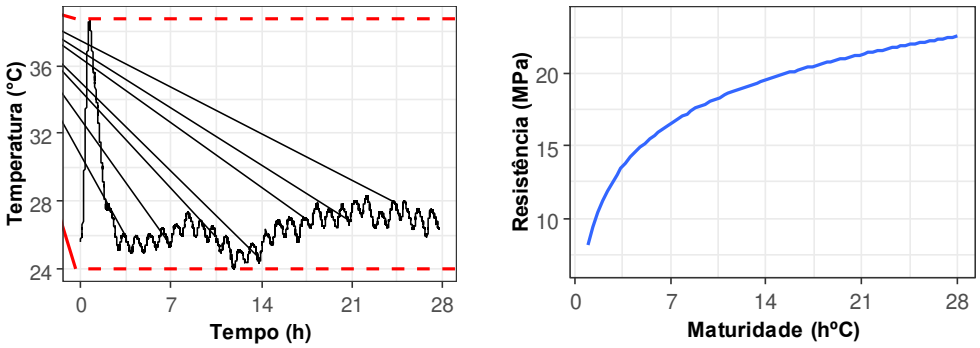
Fornecedor de concreto	**Obra**	**Laboratório de controle tecnológico**
Erros de dosagem (equipamentos)	Coleta inadequada da amostra	Cuidados com o transporte (manuseio e armazenamento)
Materiais de má qualidade	Moldagem inadequada	Equipamentos descalibrados
Entrega do concreto em obra errada	Falhas na identificação e rastreabilidade	Falta de capacitação técnica dos laboratoristas
Caminhões com betoneiras inadequadas	Exposição dos CPs a intempéries, choques e vibrações	Confusão na identificação dos corpos de prova

Fonte: Faria [13]

No exterior, SOs são comercializados por empresas de tecnologias que tem como objetivo fornecer ao usuário do sensor, informações referentes ao processo de

hidratação do cimento Portland durante o estado reológico, endurecido e no decorrer de seu desenvolvimento de resistência. Estes sensores são baseados no método da maturidade desenvolvido por Saul na Europa, na década de 50 [14]. Devido o processo de hidratação do cimento ter caráter exotérmico, o método da maturidade afere a temperatura do concreto ao longo do tempo e o relaciona diretamente com sua resistência à compressão. Isto é, quanto maior a maturidade do concreto, maior a hidratação do cimento e por consequência maior resistência à compressão. Sendo assim, pode-se dizer que a resistência do concreto pode ser relacionada com sua temperatura ao longo do tempo [14] conforme pode ser observado na Figura 1.

Figura 1: Monitoramento de temperatura do corpo de prova (à esquerda) e estimativa a partir do método da maturidade (à direita)



Fonte: Os autores

As duas funções de maturidade mais utilizadas na construção civil atualmente e recomendadas pela norma ASTM C-1074 [15] (Quadro 2) são denominadas como Fator Tempo-Temperatura (FTT) e Idade Equivalente. A função FTT apresenta comportamento de ganho de resistência linear em função da temperatura e não considera variações drásticas de temperatura, sendo aplicável a concreto com condições de cura com baixa variação. Já a função Idade Equivalente, assume uma abordagem exponencial entre a resistência e o tempo, além de considerar fatores como energia aparente de ativação e constante universal dos gases.

Quadro 2: Funções maturidade presentes na ASTM C-1074

Função	Autores	Abordagem	Função
Fator tempo-temperatura	Nurse-Saul	Linear	$M(t) = \int_0^t (Tt - T_t)dt$
Idade equivalente	Arrhenius	Exponencial	$t(e) = \int_0^t e^{[\frac{Ea}{R}(\frac{1}{Ta}-\frac{1}{TS})]} dt$

Fonte: ASTM C-1074 [15]

Neste âmbito, o presente estudo visa discutir os impactos na cadeia produtiva do controle tecnológico do concreto a partir do uso de SOs e ainda propor uma nova configuração da cadeia produtiva com a inclusão do controle tecnológico por meio dos SOs.

MONITORAMENTO DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO IN LOCO

CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO

No Brasil, a norma responsável por definir a metodologia de controle tecnológico no que diz respeito ao seu preparo, controle, recebimento e aceitação é a NBR 12655 [11]. A respectiva norma é aplicável a todo concreto com fim estrutural à base de Cimento Portland e determina que o mesmo deve ser verificado e aceito conforme preconiza a norma. Neste âmbito, a aceitação do concreto deve ser realizada apenas quando todas as condições estabelecidas na norma forem atendidas. Se por acaso for verificado não conformidade, deve-se consultar a norma de extração de testemunhos de concreto, NBR 7680 [16].

Na seção 6 da NBR 12655 [11], há a determinação dos ensaios necessários para controle de recebimento e aceitação, sendo eles: ensaio de consistência (*slump*) e ensaio de resistência à compressão. Para o ensaio de consistência, sugere-se seguir os procedimentos presente na NBR 16889 [17]. Já para o ensaio de resistência à compressão são apresentadas duas formas de amostragem do concreto *in loco*, amostragem total, isto é, todas as betonadas serão amostradas e representadas por um exemplar que define sua resistência à compressão, e, controle estatístico do concreto por amostragem parcial, que consiste na avaliação parcial da amostra de um mesmo lote e é utilizada uma forma de cálculo para determinar o valor estimado da resistência característica.

SENSORIAMENTO

Serafini et al. [5] demonstra que é possível estimar, in loco, a resistência à compressão de concretos por meio da aplicação do método da maturidade a partir do uso de SOs. O método possibilita o acompanhamento da resistência à compressão por meio dos SOs além de dar subsídios para a substituição parcial ou total da ruptura de corpos de prova. Vale ressaltar que no Brasil não há uma norma de estimativa da resistência do concreto a partir do método da maturidade, sendo necessária a consulta as normas internacionais para aplicação em campo, conforme pode ser verificado no Quadro 3.

Quadro 3: Normas vigentes da maturidade do concreto nos países da América

País	Norma	Descrição
USA	ASTM C1074	Standard Practice for Estimating Concrete Strength by the Maturity Method
Chile	NCh3565	Hormigón - Estimación de la resistencia mecánica - Método de la madurez
Peru	NTP339.217	Concreto. Método de ensayo normalizado para la estimación de la resistencia del concreto por el método de madurez
Colômbia	NTC3756	Procedimiento para Estimar La Resistencia Del Concreto Por El Metodo de La Madurez
Guatemala	NTG41042	Práctica para la estimación de la resistencia del concreto por el método de la madurez.

Fonte: Os autores

Tendo em vista a difusão do tema no exterior, questiona-se a viabilidade de além dos estudos já realizados no Brasil, a elaboração de uma norma técnica brasileira direcionada para o método da maturidade no âmbito das variáveis presentes no país. Também, refletindo pelo ponto de vista do mercado da construção civil, é fomentada

a discussão sobre a possibilidade de aplicação prática desta tecnologia associada ao método da maturidade e onde ela possivelmente pode se encaixar na cadeia produtiva do controle tecnológico do concreto, além de seus respectivos benefícios.

MÉTODO

O presente artigo busca, por meio de revisão bibliográfica, descrever o uso de sensores para o monitoramento contínuo das propriedades do concreto *in loco*, avaliar os impactos dos agentes envolvidos na cadeia produtiva do controle tecnológico do concreto e ainda propor a inclusão de um novo agente na cadeia produtiva. Desta forma, será realizada uma revisão bibliográfica referente ao uso de SOs na construção civil e uso do método da maturidade para estimativa da resistência à compressão do concreto *in* loco. Por fim, será apresentada a proposta de inclusão de um novo agente na cadeia produtiva do controle tecnológico do concreto atrelado ao uso de SOs.

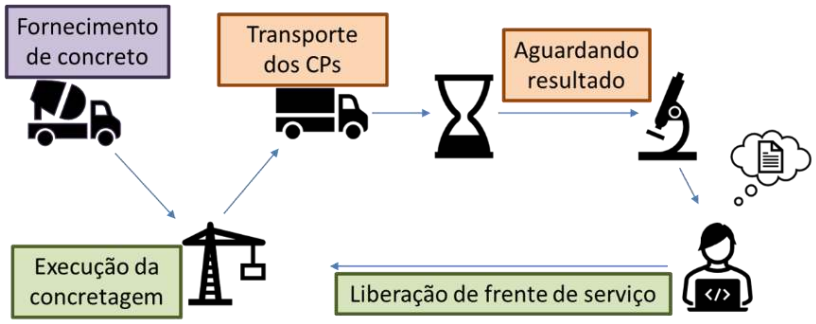
Para fundamentar a presente pesquisa, a partir da base indexada Scopus, foi possível verificar que a partir da década de 1980 foi verificada uma tendência no aumento de publicações do respectivo tema, totalizando 1023 artigos publicados, dos quais 67 foram publicados em 2021 e 36 foram publicados até julho de 2022 [18]. Além disso, ainda foi possível verificar os pesquisadores, universidades e países com maior frequência de publicação. Desta forma, verifica-se a busca da academia por métodos de estimativa de resistência à compressão do concreto e aplicação prática do método da maturidade, SOs e estudos de caso.

MAPEAMENTO DOS AGENTES DA CADEIA PRODUTIVA DO CONCRETO

CONFIGURAÇÃO DA CADEIA PRODUTIVA DO CONCRETO E CONTROLE TECNOLÓGICO

A cadeia produtiva do controle tecnológico é extensa e composta por diversos agentes e diversos segmentos. Com o intuito de compreender os principais fatores que influenciam no controle tecnológico e por consequência agentes envolvidos, Magalhães et al. [12][19] afirmam que muitos atores estão envolvidos no controle tecnológico do concreto e que podem afetar o resultado de resistência a compressão do lote. Desta forma, os atores envolvidos devem encontrar as causas e determinar formas de mitigação uma vez que desde a produção e transporte do concreto, processo de moldagem no canteiro e até transporte, armazenamento e ruptura dos corpos de prova, são capazes de influenciar negativamente no resultado [13][20][21]. Desta forma, a Figura 2 ilustra os principais agentes envolvidos na cadeia produtiva e evidencia o período de espera para realização da ruptura dos corpos de prova.

Figura 2: Cadeia produtiva do Controle Tecnológico do Concreto e respectivos fatores



Fonte: Os autores

Avaliando a cadeia produtiva a partir do agente concreteira, a construtora solicita o concreto usinado e seu respectivo volume. Baseado na NBR7212 [22] o concreto pode ser solicitado à usina concreteira especificando-se a resistência característica do concreto à compressão, especificando-se o consumo de cimento ou informando as quantidades dos materiais componentes do concreto por metro cúbico (traço). Ademais, podem ser inclusos requisitos complementares ao concreto e deve ser especificada a classe de consistência do concreto (slump). Neste âmbito, a usina, em posse dos insumos e equipamentos necessários para o fornecimento do concreto, realiza a produção e transporte do mesmo ao local programado para entrega conforme estipulado pela NBR7212 [22].

Do ponto de vista da construtora/canteiro, em posse do concreto usinado em obra e realizada a verificação inicial (nota fiscal e ensaio slump test) e aceito pela equipe de obra e laboratório de controle tecnológico a aplicação do concreto é realizada no local indicado. Em paralelo, a fim de atestar que o produto fornecido atende aos requisitos de projeto e que o lote do concreto está aceito, a equipe de controle tecnológico procede com a amostragem do concreto e executa a moldagem do corpo de prova conforme a NBR12655 [11], respeitando a quantidade de golpes, identificação do concreto e armazenamento do CP até que seja possível o transporte para o laboratório de controle tecnológico.

Por fim, coletadas as amostras, armazenadas, retificadas e rompidas nas datas estabelecidas, é de responsabilidade do laboratório enviar à construtora o relatório com os resultados de resistência à compressão do lote ensaiado. Assim, uma vez que todos os requisitos foram atendidos conforme seção 7 da NBR 12655 [11], o concreto é aceito e somente após este período de espera, a construtora toma as providências quanto a rastreabilidade do concreto e liberação de frentes de serviços.

Porém, ainda que existam todos estes requisitos, entre a data de concretagem e a data de ruptura dos CPs, há um período em que não se pode inferir diretamente a evolução de resistência do concreto. Este período pode ser descrito como um período de incerteza para os agentes da cadeia produtiva uma vez que não são realizados ensaios para determinação da resistência do concreto entre as datas supracitadas. Este período de incertezas causa um grande atraso no controle de qualidade da estrutura uma vez que durante este período, para o caso de uma edificação, outros andares foram construídos acima do pavimento a ser avaliado [5]. Neste âmbito, há uma necessidade de mercado para o monitoramento contínuo do concreto e processo de

concretagem com o intuito de mitigar este período de incertezas. Desta forma, este cenário tem fomentado a procura por técnicas de sensoriamento remoto que possam auxiliar na obtenção de informações em tempo real e a tomada de decisão.

INOVAÇÃO NO CONTROLE TECNOLÓGICO

Como parte destes estudos, para o monitoramento das propriedades do concreto e de modo a auxiliar no controle tecnológico, desde os anos 1980 é possível verificar um crescimento nas pesquisas internacionais relacionadas a maturidade do concreto e o uso de SOs.

Embora pouco difundido no Brasil, no exterior já existem empresas que comercializam um SO capaz de monitorar as propriedades do concreto a partir de medições de temperatura e umidade relativa e estimar a resistência mecânica a partir do método da maturidade. Neste âmbito, a partir de uma pesquisa de mercado, foram mapeados 12 SOs com instalações internas ou externas ao elemento de concreto, pertencentes a um total de seis empresas (Quadro 4).

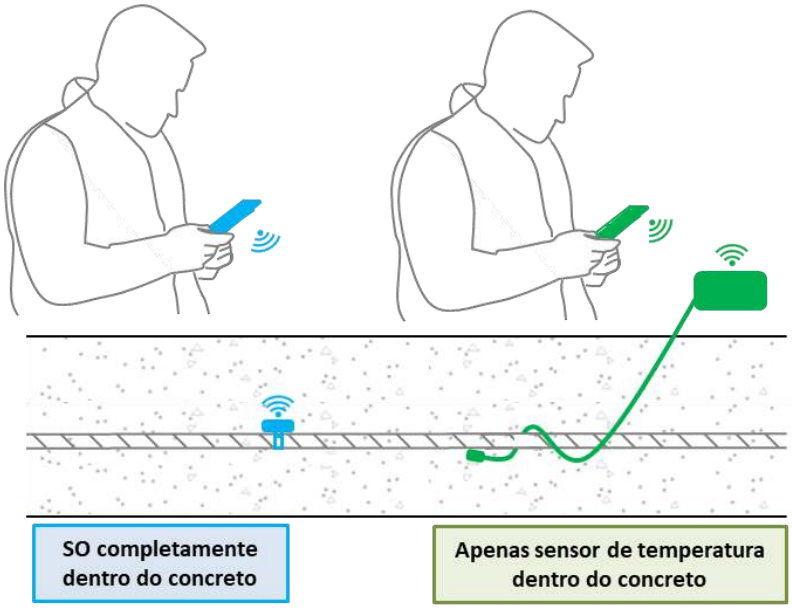
Quadro 4: Mapeamento de SOs comercializados atualmente

Fabricante	País	Modelo	Instalação	Aferições
converge	UK	Converge Signal	Interno	Temperatura
		Converge Mesh	Externo	Temperatura
GIATEC	CA	Smart rock 2	Interno	Temperatura
		Smart rock 3	Interno	Temperatura
		BlueRock 2	Interno	Temperatura e umidade relativa
maturix®	DN	Gaia 200	Externo	Temperatura
		Gaia 220	Externo	Temperatura e umidade relativa
		Orbit k	Externo	Temperatura
COMMAND CENTER	EUA	Autocollector Sensor	Externo	Temperatura
LumiCon powered by aoms.	EUA	LumiNode	Externo	Temperatura e umidade relativa
HILTI	EUA	HCS-T1	Externo	Temperatura e umidade relativa
		HCS-T2	Externo	Temperatura e umidade relativa

Fonte: Os autores

Para os métodos de instalação citados, ambos ocorrem antes da aplicação do concreto, isto é, um profissional se desloca até a obra e realiza a instalação do SO no ponto de interesse definido previamente, desta forma o SO coleta informações durante o estado fresco e endurecido do concreto. Porém, suas principais diferenças são que para instalação caracterizada como interna, o hardware (sensor de temperatura e transmissor) se encontram completamente embebidos no concreto, já para o método de instalação externo, apenas o sensor de temperatura se encontra embebido no concreto e o transmissor externo ao concreto. Ambas as formas de instalação são ilustradas na Figura 3. Com relação a quantidade de sensores a serem instalados, o *American Concrete Institute* recomenda a utilização de 1 sensor para cada 15 m³ de concreto usinado [21].

Figura 3: Formas de instalação dos modelos de sensores comercializados atualmente



Fonte: Os autores

Diante da utilização de SOs, o Quadro 5 elenca três estudos de casos e impactos positivos constatados por uma empresa norte-americana quanto ao uso desta tecnologia associada ao método da maturidade [23].

Quadro 5: Estudos de caso do uso do método da maturidade

Descrição	Resultado
Hotel em Chicago (Illinois) que possui 42 andares de lajes em concreto protendido	Redução de ciclos de protensão em aproximadamente 16 semanas
Prédio residencial em Evaston (Illinois) de 13 andares	Redução em mais de 3 dias por ciclos de desforma
Universidade de Northwestern em que a fundação precisava de monitoramento para evitar as fissuras causadas por retração térmica	Adição e remoção de mantas térmicas de acordo com as necessidades

Fonte: Giatec [24]

IMPACTO DA PROPOSTA NA CADEIA PRODUTIVA DO CONCRETO E CONTROLE TECNOLÓGICO

O impacto que a inserção do sensor e por consequência monitoramento contínuo das propriedades do concreto pode causar na cadeia produtiva da construção civil brasileira pode ser divido em quatro pontos:

- Impacto no cronograma;
- Impacto no custo;
- Impacto no controle de qualidade; e
- Inserção do mercado de sensores na cadeia produtiva.

Abordando do ponto de vista da construtora/obra, a inserção do sensoriamento permite uma redução no tempo para tomada de decisões por parte dos gestores e equipe de obra e ainda, controle da temperatura interna do concreto nos estágios iniciais de desenvolvimento de resistência mecânica a otimização de prazo em ciclos de protensão e ciclos de desforma, tendo em vista que a estrutura de uma obra está

dentro do caminho crítico [5][10][12]. Desta forma, é possível verificar um impacto positivo do ponto de vista da construtora em seu âmbito de execução de obra.

Quanto a redução de custo, dois agentes presentes na cadeia são impactados, sendo eles, laboratório de controle tecnológico e por consequência, construtora. Com base na experiência adquirida por uma empresa norte americana [23], o Quadro 6 apresenta uma comparação entre o método de ensaio de ruptura à compressão de cilindros de concreto com a implantação de sensores. Desta forma, a redução de custo causada no laboratório de controle tecnológico é refletida também na economia para a construtora ao utilizar este método.

Quadro 6: Custo Cilindros x Sensores

Cilindros	Sensores
Custo técnico para lançar, coletar, entregar, testar e compartilhar resultados	Economia de custo de teste direto de até 50% para determinação da resistência do concreto feito por pessoas no local
Custos trabalhistas adicionais devido às incertezas na programação do projeto resultam em atrasos na obtenção do relatório do laboratório	Economia de trabalho de até $10.000 como resultado de mais planejamento preciso do local de trabalho para cada andar de um prédio
Custo de financiamento extra devido ao tempo de conclusão tardio de projetos	Economia financeira significativa como resultado de conclusão do projeto. A economia real varia dependendo do tamanho do projeto

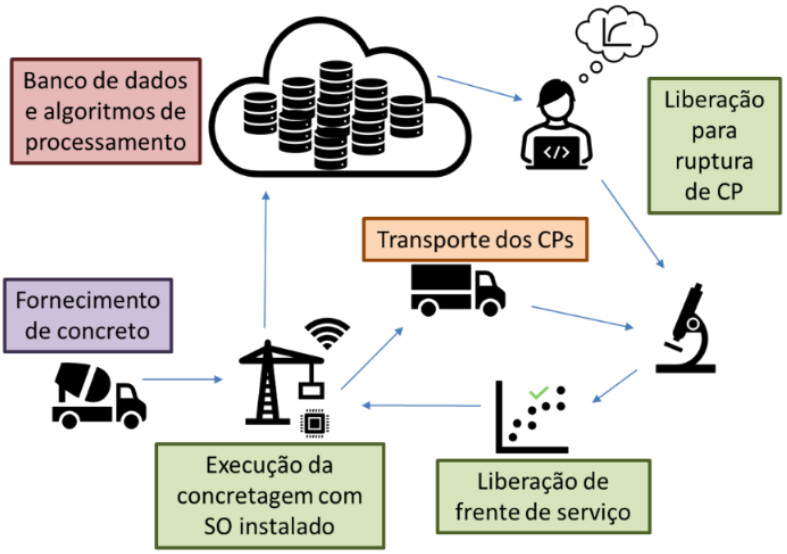
Fonte: Giatec [23]

Avaliando a questão de compartilhamento de dados, dentro da atual configuração da cadeia produtiva, o laboratório de controle tecnológico, detentor da tecnologia de sensoriamento, tem a capacidade de apresentar os dados em tempo real tanto à construtora quanto à usina fornecedora de concreto [2][25]. Neste aspecto, ambos têm ciência da evolução de resistência mecânica do concreto em tempo real, desta forma promovendo maior confiabilidade nos dados.

Ainda argumentando acerca deste fato, para que a utilização do sensor e compartilhamento de dados seja possível, o mercado de tecnologia passará a fazer parte ativa da configuração da cadeia produtiva do concreto. Para isso, o mercado de nuvens e servidores que tem se desenvolvido ao longo dos anos [26][27] conquistará espaço na construção civil também.

Por fim, a Figura 4 apresenta uma proposta de reconfiguração da cadeia produtiva do concreto com a inserção do novo agente onde o SO pode ser utilizado pelos diversos agentes da cadeia e promover uma antecipação da ruptura dos corpos de prova e por consequência a liberação de frentes de serviço.

Figura 4: Proposta de reconfiguração da cadeia produtiva



Fonte: Os autores

Com relação a nova configuração da cadeia produtiva, o método de sensoriamento pode ser utilizado pelos três agentes da cadeia produtiva (concreteira, construtora e laboratório de controle tecnológico). Desta forma, avaliando o sensoriamento como ferramenta da usina concreteira, a concreteira tem a possibilidade de fornecer um concreto com o serviço de monitoramento contínuo de sua temperatura e evolução de resistência, trazendo assim um benefício ao cliente e um maior controle de qualidade do produto por parte da concreteira. Já para o caso do sensoriamento como ferramenta da construtora/obra, objetiva-se promover otimização de cronograma, controle de temperatura, qualidade do concreto e outros fatores. E ainda o método de sensoriamento como ferramenta do laboratório de controle tecnológico, será possível um compartilhamento de dados bidirecionais entre construtora e usina concreteira. Por tanto fica a reflexão sobre em qual agente da cadeia o método possui melhor aproveitamento. Para fomentar isso, o Quadro 7 apresenta as principais vantagens e desvantagens quanto ao uso do método de sensoriamento em função dos agentes da cadeia produtiva.

Quadro 7: Vantagens e desvantagens de inserir o método de sensoriamento nos agentes da cadeia

Temática	Status	Construtora	Concreteira	Laboratório de controle tecnológico
Inovação tecnológica	Vantagem	X	X	X
Informação em tempo real	Vantagem	X		
Tomada de decisão com segurança	Vantagem	X		
Otimização de cronograma	Vantagem	X		
Diferencial competitivo	Vantagem		X	X
Controle de resultados auditáveis	Vantagem		X	
Melhoria do controle de qualidade	Vantagem			X
Equipe dedicada na atividade de sensoriamento e monitoramento	Desvantagem	X		
Elevação de custo	Desvantagem	X	X	X
Divergência de resultados	Desvantagem	X	X	X

Fonte: Os autores

CONCLUSÕES

O presente artigo discutiu a importância da utilização de SOs para monitoramento das propriedades do concreto durante sua evolução quanto ao ganho de resistência mecânica. Foram apresentados os principais fatores que influenciam no controle tecnológico do concreto e uma proposta de reconfiguração da cadeia a partir da inserção do método de sensoriamento. Assim, dentre as principais contribuições quanto ao uso do sensoriamento na cadeia produtiva do controle tecnológico é possível elencar:

- Monitoramento contínuo das propriedades do concreto.
- Identificação de possíveis problemas futuros e auxílio na tomada de decisão.
- Otimização de cronograma.
- Controle de resultados auditáveis.
- Inovação na cadeia produtiva.

Apesar das vantagens discutidas, é importante salientar que existem limitações no método da maturidade dentre elas, variação climática, calibração para cada traço, pico de calor inicial, efeito crossover e entre outros fatores que podem invalidar o método.

Em uma visão geral, o trabalho pode trazer subsídios para uma nova proposta de configuração da cadeia produtiva do controle tecnológico do concreto. O uso de SOs podem trazer diversos benefícios para os diversos agentes envolvidos na cadeia de modo a garantir qualidade do processo de concretagem e evitar o surgimento de fissuras de retração causadas por dentre outros fatores a elevação da temperatura do

concreto. Assim, como sugestão para trabalhos futuros aconselha-se que sejam aprofundados os estudos quanto a relação entre os stakeholders ao utilizar o método de sensoriamento e a otimização do modelo de negócio.

REFERÊNCIAS

[1] ZUO, Z.; HUANG, Y.; PAN, X.; ZHAN, Y.; ZHANG, L.; LI, X.; ZHU, M.; ZHANG, L.; DE CORTE, W. Experimental research on remote real-time monitoring of concrete strength for highrise building machine during construction. **Measurement: Journal of the International Measurement Confederation**, v. 178, n. April, 2021. DOI: 10.1016/j.measurement.2021.109430.

[2] MISHRA, M.; LOURENÇO, P.; RAMANA, G. Structural health monitoring of civil engineering structures by using the internet of things: A review. **Journal of Building Engineering**, v. 48, n. January, 2022. DOI: 10.1016/j.jobe.2021.103954.

[3] RATHORE, M.; AHMAD, A.; PAUL, A.; RHO, S. Urban planning and building smart cities based on the Internet of Things using Big Data analytics. **Computer Networks**, v. 101, p. 63–80, 2016. DOI: 10.1016/j.comnet.2015.12.023.

[4] TASONG, A.; ABAO, R. Design and development of an IoT application with visual analytics for water consumption monitoring. **Procedia Computer Science**, v. 157, p. 205–213, 2019. DOI: 10.1016/j.procs.2019.08.159.

[5] SERAFINI, R.; RAMBO, D.; FIGUEIREDO, A.; CURTI, R.; SOMOGYI, R. Controle Contínuo Da Resistência De Estruturas De Concreto Pelo Método Da Maturidade. **CONCRETO & Construções**, v. XLVIII, n. 98, p. 85–90, 2020. DOI: 10.4322/1809-7197.2020.98.0009.

[6] ALSHAMRANI, Mazin. IoT and artificial intelligence implementations for remote healthcare monitoring systems: A survey. **Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences**, 2021. DOI: 10.1016/j.jksuci.2021.06.005.

[7] WANG, D.; REN, B.; CUI, B.; WANG, J.; WANG, X.; GUAN, T. Real-time monitoring for vibration quality of fresh concrete using convolutional neural networks and IoT technology. **Automation in Construction**, v. 123, n. December 2019, 2021. DOI: 10.1016/j.autcon.2020.103510.

[8] AHMADI, J.; FEIRAHI, M.; FARAHMAND, S.; KESHVARI, A. A novel approach for non-destructive EMI-based corrosion monitoring of concrete-embedded reinforcements using multi-orientation piezoelectric sensors. **Construction and Building Materials**, v. 273, 2021. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.121689.

[9] POORARBABI, A.; GHASEMI, M.; AZHDARY, M. Concrete compressive strength prediction using non-destructive tests through response surface methodology. **Ain Shams Engineering Journal**, v. 11, n. 4, p. 939–949, 2020. DOI: 10.1016/j.asej.2020.02.009.

[10] NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. 5. ed. 2016.

[11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12655**: Concreto de cimento Portland — Preparo, controle, recebimento e aceitação — Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

[12] MAGALHÃES, F.; REAL, M.; SILVA, L. Efeitos das operações de controle tecnológico do concreto na avaliação da confiabilidade de pilares de concreto armado. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 23, n. 3, 2018. DOI: 10.1590/s1517-707620180003.0491.

[13] FARIA, R. Concreto não conforme. **Téchne**, v. 152, p. 10, 2009.

[14] SAUL, A. Principles underlying the steam curing of concrete at atmospheric pressure. **Magazine of Concrete Research**, v. 2, p. 127–140, 1951.

[15] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C 1074**: Standard Practice for Estimating Concrete Strength by the Maturity Method maturity index and maturity method. p. 1–11, 2019. DOI: 10.1520/C1074-19.2.

[16] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7680-1**: Concreto — Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto Parte 1: Resistência à compressão axial. Rio de Janeiro, 2015.

[17] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16889**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 2020.

[18] Scopus. **Analyze search results: Real-time AND monitoring AND concrete**. 2022. Disponível em: https://www.scopus.com/term/analyzer.uri?sort=plf-f&src=s&sid=98a48c88d7bdf47cb6f10a24573f3437&sot=a&sdt=a&sl=45&s=TITLE-ABS-KEY+%28real-time+monitoring+concrete%29&origin=resultslist&count=10&analyzeResults=Analyze+results. Acesso em: 9 ago. 2022.

[19] MAGALHÃES, F.; CHIES, J.; SILVA, V.; REAL, M.; PINTO, C. Concreto não conforme – Análise da influência do local do ensaio nos resultados de resistência à compressão de um mesmo lote. **ANAIS DO 55o CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO**, n. 1, p. 1–12, 2013.

[20] MARTINS, A., Filho H. Verificação da resistência do concreto in loco: métodos de ensaios mais usuais. **Vetor**, v. 25, p. 25–40, 2015.

[21] ACI Committee Reports. **ACI 228.1R-03**. In-Place Methods to Estimate Concrete Strength Reported. n. 228, 1R, p. 44, 2003.

[22] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7212**: Execução de concreto dosado em central — Procedimento. Rio de Janeiro, 2012.

[23] GIATEC SCIENTIFIC INC. **Strength Maturity**. 2022a. Disponível em: https://www.giatecscientific.com/strength-maturity/. Acesso em: 24 maio. 2022.

[24] GIATEC SCIENTIFIC INC. **Case Studies**. 2022b. Disponível em: https://www.giatecscientific.com/case-studies/. Acesso em: 24 maio. 2022.

[25] HUSSEIN, W.; HUSSAIN, H.; HUMOD, I. A proposed framework for healthcare based on cloud computing and IoT applications. **Materials Today: Proceedings**, 2022. DOI: 10.1016/j.matpr.2021.12.505.

[26] MISHRA, R.; RAMESH, D.; EDLA, D.; MOHAMMAD, N. Fibonacci tree structure based privacy preserving public auditing for IoT enabled data in cloud environment. **Computers and Electrical Engineering**, v. 100, fev, 2022. DOI: 10.1016/j.compeleceng.2022.107890.

[27] KULDEEP, G.; ZHANG, Q. Multi-class privacy-preserving cloud computing based on compressive sensing for IoT. **Journal of Information Security and Applications**, v. 66, n. 8057, 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jisa.2022.103139.