



FUNDAÇÃO PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS - FUPAC
FACULDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS DE UBÁ
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

NATHAN MENDES DO NASCIMENTO

CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÕES DO CONCRETO
AUTOADENSÁVEL (CAA)

UBÁ/MG
2024

NATHAN MENDES DO NASCIMENTO

**CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÕES DO CONCRETO
AUTOADENSÁVEL (CAA)**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Ubá - FUPAC, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador (a): Dr^a. Érika Maria Carvalho da Silva Gravina.

**UBÁ/MG
2024**

CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÕES DO CONCRETO AUTOADENSÁVEL (CAA)

RESUMO

O concreto autoadensável (CAA) é um material cimentício caracterizado por sua elevada capacidade de fluir e preencher completamente as formas apenas com o peso próprio, dispensando a necessidade de vibração, compactação ou qualquer tipo de intervenção externa. Esse tipo de concreto tem sido cada vez mais empregado de forma gradual no Brasil. Desta forma, objetiva-se analisar as principais características e aplicações do Concreto Autoadensável (CAA), evidenciando suas vantagens e desvantagens em relação ao concreto convencional e seu impacto no cenário da construção civil como alternativa inovadora no setor, principalmente em estruturas complexas ou de difícil execução. A metodologia adotada consistiu em uma revisão bibliográfica, baseada em bibliografia produzida por autores consolidados na área, permitindo uma análise crítica sobre as propriedades e desafios do CAA, além de uma comparação com o concreto convencional. Conclui-se que a aplicação do CAA é um reflexo do avanço tecnológico e da inovação que caracterizam o cenário atual da engenharia civil, com soluções que respondem às necessidades de modernização do setor.

Palavras-chave: Concreto Autoadensável. Durabilidade. Inovação. Resistência à segregação.

CHARACTERISTICS AND APPLICATIONS OF SELF-COMPACTING CONCRETE (SCA)

ABSTRACT

The self-compacting concrete (SCC) is a cementitious material characterized by its high capacity to flow and completely fill formwork using only its own weight, eliminating the need for vibration, compaction or any type of external intervention. This type of concrete has been increasingly used in Brazil. The aim is therefore to analyze the main characteristics and applications of Self-Compacting Concrete (SCC), highlighting its advantages and disadvantages over conventional concrete and its impact on the construction industry as an innovative alternative in the sector, especially in complex structures or those that are difficult to execute. The methodology adopted consisted of a bibliographical review, based on literature produced by established authors in the field, allowing a critical analysis of the properties and challenges of EAC, as well as a comparison with conventional concrete. It is concluded that the application of SAC is a reflection of the technological advances and innovation that characterize the current civil engineering scenario, with solutions that respond to the sector's modernization needs.

Keywords: Self-compacting concrete. Durability. Innovation. Resistance to segregation

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a construção civil tem presenciado avanços em termos de materiais e técnicas que visam otimizar processos e aumentar a durabilidade das obras. Um desses avanços é o desenvolvimento do Concreto Autoadensável (CAA), uma inovação que vem se destacando pela capacidade de preencher formas complexas sem a necessidade de vibração mecânica, diferentemente do concreto convencional. Essa propriedade facilita a execução de projetos em que o uso de equipamentos vibratórios é difícil ou impraticável, além de melhorar a qualidade do acabamento e proporcionar maior durabilidade às estruturas (CUNHA, 2021).

O concreto convencional, utilizado historicamente em construções de pequeno e grande porte, requer o processo de vibração para garantir seu adensamento, eliminando bolhas de ar e distribuindo uniformemente os agregados dentro da forma (NEVILLE, 2016). No entanto, esse processo demanda tempo e mão de obra especializada, além de aumentar o consumo de energia e o risco de falhas durante a execução, como segregação e formação de vazios nos elementos estruturais (CALADO *et al.* 2015).

O CAA, por outro lado, elimina a necessidade de vibração, graças à sua fluidez controlada e resistência à segregação. O uso do CAA é particularmente relevante em obras com armaduras densas ou formas geométricas complexas, estruturas de infraestrutura, como pontes, túneis, viadutos e edificações de grande porte, e tem demonstrado vantagens significativas tanto no processo construtivo quanto na longevidade das estruturas (MELO; SILVA, 2021).

Mediante a esse contexto, esse trabalho tem por objetivo analisar as principais características e aplicações do Concreto Autoadensável (CAA), evidenciando suas vantagens e desvantagens em relação ao concreto convencional e seu impacto no cenário da construção civil.

A justificativa para o desenvolvimento deste estudo está baseada na crescente demanda da construção civil por soluções que ofereçam maior eficiência, durabilidade e sustentabilidade. O Concreto Autoadensável (CAA), deste modo, surge como uma alternativa promissora frente ao concreto convencional, especialmente em projetos que exigem precisão na execução e minimização de falhas, como estruturas com alta densidade de armaduras ou formas geométricas complexas. O CAA, ao eliminar a necessidade de vibração mecânica, reduz os custos de mão de obra, tempo de aplicação e consumo energético, o que se alinha aos princípios de sustentabilidade buscados atualmente pela indústria da construção civil (MELO; SILVA, 2021).

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Histórico

O concreto autoadensável (CAA) surgiu no final dos anos 1980 no Japão, como resposta à crescente demanda por concretos que fossem capazes de preencher formas complexas sem a necessidade de vibração. Esse novo tipo de concreto se mostrou especialmente útil em estruturas densamente armadas, onde o concreto tradicional muitas vezes apresentava dificuldade de preenchimento sem a presença de vazios ou falhas (BILLBERG, 2005).

Inicialmente, o desenvolvimento do CAA foi liderado pelo professor Hajime Okamura, da Universidade de Tóquio, que visava a criação de um concreto que pudesse se auto-compactar e, ao mesmo tempo, manter suas propriedades de resistência e durabilidade. Em 1988, foi realizada a primeira aplicação prática do CAA em uma obra no Japão, marcando um avanço significativo na tecnologia de concretagem. A partir de então, o método de fabricação e os componentes específicos do CAA foram refinados, o que permitiu o uso crescente desse material em diversas obras de infraestrutura, especialmente em pontes, túneis e estruturas com armações densas, onde o concreto convencional apresentava limitações (TECNOSIL, 2018).

Com o sucesso das aplicações no Japão, o CAA começou a ser adotado em outros países no início dos anos 1990. Na Europa, em países como a Suíça, o interesse pelo CAA cresceu rapidamente, impulsionado por projetos de pesquisa e colaboração entre universidades e empresas da construção civil, com o objetivo de adaptar a tecnologia às necessidades locais e desenvolver normas específicas para o seu uso. Um exemplo marcante foi o projeto europeu Brite-Euram, que envolveu diversas empresas e instituições e que contribuiu para a padronização das metodologias de teste e uso do CAA na Europa (BILLBERG, 2005).

Nos Estados Unidos, o uso do CAA ganhou força a partir dos anos 2000, principalmente em obras de grande porte. A indústria da construção norte-americana reconheceu rapidamente as vantagens desse tipo de concreto em termos de eficiência e qualidade. Estudos e pesquisas sobre o CAA passaram a ser financiados por associações como o *American Concrete Institute* (ACI), resultando em diretrizes técnicas para orientar o uso seguro e eficaz do material no país (FRANCHETTO, 2022).

Com isso, nos dias atuais o desenvolvimento do CAA se apresenta enquanto uma inovação que vem se destacando pela capacidade de preencher formas complexas sem a necessidade de vibração mecânica, diferentemente do concreto convencional. Logo, o que se evidencia é a sua popularização, ao passo em que essa propriedade facilita a execução de projetos em que o uso de equipamentos vibratórios é difícil ou impraticável, além de melhorar a qualidade do acabamento e proporcionar maior durabilidade às estruturas (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2011).

2.2 Conceito e aspectos gerais do concreto autoadensável

Para que se possa compreender as características básicas do CAA, acredita-se que um ponto de partida é compreensão dos fundamentos do concreto. O concreto convencional é uma mistura composta basicamente de cimento, água, agregados graúdos (como brita) e agregados como areia e aditivos. Essa composição se consolida por meio de um processo de vibração, necessário para garantir a compactação do material e evitar a presença de bolhas de ar ou vazios na mistura. A vibração é essencial para que o concreto preencha todos os espaços na forma, garantindo a integridade e resistência da estrutura quando o material endurece. Esse processo de compactação pode ser feito manualmente ou com o uso de vibradores mecânicos, dependendo das necessidades do projeto e das características da estrutura a ser construída (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

O concreto convencional é amplamente utilizado em construções de pequeno e grande porte, devido ao seu custo acessível e à facilidade de produção. Contudo, ele requer mão de obra especializada para garantir que o processo de vibração seja realizado de maneira eficaz. Uma aplicação inadequada pode resultar em falhas estruturais, como vazios internos, que comprometem a durabilidade e a resistência da construção. Além disso, o uso de vibradores mecânicos gera ruído e, em alguns casos, pode representar um problema para a saúde dos trabalhadores. Essa necessidade de compactação torna o concreto convencional dependente de fatores como o tipo de vibrador utilizado e o tempo de vibração adequado, o que pode ser uma desvantagem em obras de grande escala (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Outro ponto importante do concreto convencional é a sua adaptabilidade em diferentes projetos de engenharia. Dependendo da proporção dos materiais e da utilização de aditivos específicos, é possível ajustar características como a trabalhabilidade e a resistência à compressão, permitindo o uso do concreto em diversas aplicações, desde pavimentos até fundações e estruturas de concreto armado. No entanto, em situações em que há armaduras

densas ou formas complexas, o concreto convencional pode apresentar dificuldades para fluir e preencher todos os espaços, mesmo com a aplicação de vibração (CALADO, 2016).

Ao passo em que compreendemos a composição e os usos atribuídos ao concreto convencional, nos voltamos ao concreto autoadensável. O CAA é desenvolvido para resolver problemas de concretagem em estruturas complexas. Esta modalidade possui a capacidade de fluir e preencher completamente as formas sob a ação de seu próprio peso, sem a necessidade de vibradores ou outros equipamentos de compactação. Esse comportamento é resultado de uma formulação específica que incluem aditivos e uma proporção controlada de materiais finos, permitindo que o concreto atenda a requisitos de fluidez, coesão e resistência à segregação (EFNARC, 2002).

Como nota-se brevemente ao tratar do histórico do CAA, seu desenvolvimento motivado pela busca de métodos mais eficientes e menos dependentes da mão-de-obra intensiva, especialmente em estruturas complexas e densamente armadas. Para que um concreto seja considerado autoadensável, ele deve atender a três características essenciais: fluidez, habilidade passante e resistência à segregação (BERTOLANI, 2017).

Tabela 1 – Comparação da fluidez do CCV e CAA

Material	CVV	CAA
	Consumo (kg/m ³)	Consumo (kg/m ³)
Cimento CP IV	395,0	428,0
Areia natural de rio	713,0	653,0
Pó de pedra (granítico)	0,0	159,0
Brita 12,5mm (granítica)	271,0	359,0
Brita 19,0 mm (granítica)	731,0	392,0
Água	188,0	193,0
Aditivo polifuncional	2,31	0,0
Aditivo superplastificante à base de policarboxilatos	0,0	4,28

Fonte: Costa; Cabral (2019, p. 292).

A fluidez é a propriedade que permite ao CAA fluir dentro das formas, preenchendo todos os espaços sem intervenção externa. A habilidade passante, por sua vez, é a capacidade do concreto de fluir entre as armaduras de aço, evitando o bloqueio do fluxo. Por fim, a resistência à segregação garante que a mistura se mantenha coesa ao longo do fluxo, evitando a separação dos materiais que compõem o concreto. Essas propriedades são essenciais para

garantir a qualidade final do concreto endurecido, reduzindo falhas de concretagem e melhorando a durabilidade da estrutura (EFNARC, 2002).

Os materiais utilizados na fabricação do concreto autoadensável (CAA) geralmente são os mesmos do concreto convencional vibrado, como cimento, água, agregados, adições e aditivos. No entanto, suas proporções são ajustadas para alcançar as propriedades específicas do CAA. Em comparação ao concreto vibrado, o CAA costuma conter uma menor quantidade de agregados graúdos e uma maior proporção de materiais finos, como adições minerais também chamados de “*fillers*”¹, além de agregados miúdos e aditivos superplastificantes, que aumentam a fluidez (EFNARC, 2002). Em alguns casos, são adicionados aditivos que modificam a viscosidade, para garantir que a mistura permaneça coesa durante o processo de aplicação. Além disso, a norma NBR 15823 (ABNT, 2010) avalia o concreto em seu estado fresco, ou seja, antes do endurecimento, com foco em seu controle, classificação e aceitação como fluidez, viscosidade e estabilidade que são analisados por intermédio de estudo de espalhamento (t500) e de uma avaliação visual estável, bombeamento, rastreabilidade e resistência.

Para concretos autoadensáveis que precisam fluir por longas distâncias horizontais, recomenda-se um teor de finos cerca de 30% superior ao do concreto vibrado, podendo chegar a até 600 kg/m³. Esse tipo de concreto é conhecido como “auto-nivelante” e possui uma menor relação água/cimento e água/aglomerante, o que aumenta sua resistência. Em contrapartida, o CAA que não necessita dessa capacidade de deslocamento pode ter uma quantidade de finos apenas 10% superior à do concreto vibrado. Para garantir a coesão e evitar a segregação, esses concretos geralmente incluem aditivos modificadores de viscosidade, sendo classificados como “autoadensáveis”. No Brasil, esses dois tipos de CAA são comumente diferenciados pelos termos “auto-nivelante” e “autoadensável”, embora ambos façam parte da categoria de concretos que dispensam o uso de vibração para compactação (FERRAZ, 2009).

Em relação ao tipo de cimento, todos são tecnicamente adequados para produzir CAA. A escolha, contudo, depende das exigências do projeto e da disponibilidade local. Já as adições têm o papel de aumentar a coesão e resistência à segregação do concreto fresco, além de elevar o teor de finos, o que reduz a relação água/finos e aumenta a densidade da pasta. Esse efeito não só contribui para a compactação do concreto como também melhora a barreira

¹*Fillers* são aditivos minerais como calcário, quartzo e pó de mármore que atuam fisicamente no concreto onde apresentam maior fluência no processo de aplicação do CAA (EFNARC, 2002).

contra agentes agressivos, reforçando a durabilidade da estrutura e a qualidade da zona de transição entre a pasta e os agregados (FERRAZ, 2009).

Os agregados graúdos também desempenham um papel fundamental na fluidez e na habilidade passante do CAA. Quanto mais esféricas forem as partículas dos agregados, menor será a resistência ao movimento interno, o que facilita o fluxo e diminui o risco de bloqueios. Além disso, o tamanho máximo dos agregados é limitado para melhorar a movimentação e evitar obstruções (SANTOS *et al.*). De preferência é indicado trabalhar com agregados graúdos com forma esférica, a fim de não prejudicar o trabalho, com dimensão máxima compreendida entre 12,5 mm e 19 mm (TECNOSIL, 2018).

Essa inovação é particularmente relevante para estruturas de infraestrutura, como pontes e edificações de grande porte, onde o uso do CAA tem demonstrado vantagens significativas tanto no processo construtivo quanto na longevidade das estruturas. Além disso, o CAA tem atraído interesse crescente devido às suas propriedades de auto-compactação, que garantem uma melhor qualidade final das obras e reduzem o consumo de recursos naturais e energéticos (SILVA *et al.*, 2021).

De acordo com Bertolani (2017), com o avanço das técnicas e o desenvolvimento de uma nova forma de concreto, o CAA passou a ser amplamente utilizado. A primeira ponte a adotar esse método foi a Akashi-Kaikyo, construída no Japão em 1998. Essa escolha se deu devido à alta taxa de armadura necessária, exigindo um concreto eficaz que evitasse problemas de compactação. A FIG. 1 abaixo ilustra o descrito, apresentando uma vista lateral da ponte.

Figura 1 - Ponte Akashi-Kaikyo, no Japão construída com CAA



A introdução de aditivos superplastificantes é um dos principais fatores responsáveis pelas propriedades diferenciadas do CAA. Esses aditivos aumentam significativamente a fluidez do concreto, permitindo que ele mantenha a coesão e a estabilidade durante o processo de concretagem. Outros aditivos, como agentes de controle de segregação, também podem ser utilizados para ajustar a mistura, dependendo das características específicas do projeto. Dessa forma, a composição do CAA pode ser ajustada de acordo com as necessidades de cada obra, garantindo a performance adequada em diferentes condições e requisitos estruturais (VASCONCELOS, 2019).

É importante destacar que a utilização do CAA representou um avanço na construção civil, contribuindo para a execução de projetos com maior precisão e qualidade. Com o tempo, ele passou a ser adotado em obras de infraestrutura, como túneis e barragens, onde são necessárias ações que reforcem a questão de segurança. Atualmente, o CAA é amplamente empregado em diversos tipos de construção e continua a evoluir com o desenvolvimento de novos aditivos e técnicas de controle de qualidade (VASCONCELOS, 2019).

Assim, o CAA surge como uma solução que alia eficiência, qualidade e sustentabilidade, proporcionando resultados superiores em obras de engenharia complexas. As propriedades únicas do CAA o destacam do concreto convencional e justificam seu uso crescente, sobretudo em estruturas onde a precisão e a durabilidade são exigências fundamentais. A evolução desse material e a contínua pesquisa sobre suas aplicações e composições prometem consolidá-lo como uma alternativa essencial para a construção moderna (BERTOLANI, 2017).

2.3. Propriedades do CAA

2.3.1 Propriedades do CAA no estado fresco

As características do CAA em seu estado fresco variam conforme sua aplicação e, principalmente, as condições de confinamento relacionadas à geometria dos elementos de concreto, à quantidade e ao tipo de armadura, à presença de insertos², ou seja, autoadensar pelo peso próprio aos equipamentos utilizados na moldagem (como bombas ou caçambas, frequentemente empregados em pré-fabricados), aos métodos de moldagem adotados e à

²Insertos – elementos embutidos (bombas, caçambas) dispensando qualquer meio de vibração externa ou adensamento (TECNOSIL).

importância dada ao acabamento NBR 15823-1 (ABNT, 2017) e NBR 15823-1 (ABNT, 2010).

A trabalhabilidade do concreto autoadensável é uma característica essencial para garantir a sua eficiência em diversas aplicações na construção civil, principalmente em estruturas complexas e com alta taxa de armadura (CALADO *et al.*, 2015).

De acordo com Takada (2004), o CAA apresenta propriedades específicas no estado fresco que requerem métodos de ensaios especializados para sua avaliação. Entre essas propriedades, destacam-se a fluidez, a resistência à segregação e a habilidade passante.

A fluidez é a capacidade do concreto de se espalhar e preencher completamente a forma, apenas com o peso próprio, sem necessitar de vibração. Essa característica é especialmente importante em estruturas densamente armadas, onde o uso de vibração poderia comprometer a integridade da estrutura ou não ser viável (TAKADA, 2004).

Além da fluidez, a resistência à segregação é um ponto crítico para o CAA. Essa propriedade se refere à disposição do concreto de manter o agregado graúdo em suspensão durante o processo de aplicação, evitando a separação dos componentes e garantindo a homogeneidade da mistura. A resistência à segregação é fundamental para que o concreto mantenha suas propriedades estruturais e estéticas, especialmente em situações em que é necessário garantir a uniformidade do material em áreas de difícil acesso ou de geometria complexa (BARTOS, 2005).

Outro requisito fundamental para a trabalhabilidade do CAA é a habilidade passante. Em outras palavras, é a capacidade do concreto de fluir através de áreas congestionadas com armaduras, sem bloquear ou segregar seus componentes (BARTOS, 2005). Bartos (2005) ressalta ainda a importância dessa característica para a utilização do CAA em construções com altas densidades de armaduras, onde o concreto precisa passar livremente por entre os espaços estreitos sem perder sua coesão ou se segregar. Essas propriedades estão inter-relacionadas, e a avaliação de uma pode influenciar na percepção das outras, o que demanda ensaios específicos para cada característica.

Pode-se evidenciar que, no decorrer das últimas décadas, diferentes métodos de ensaio foram desenvolvidos para caracterizar as propriedades do CAA no estado fresco. Para determinar os parâmetros de capacidade de preenchimento, utilizam-se ensaios como o de espalhamento no cone de Abrams e o Funil V. Já para avaliar a capacidade de passagem entre as armaduras, são aplicados o Anel J e a Caixa L. Para verificar a presença de segregação, recorre-se ao ensaio do Tubo em U (TAKADA, 2004).

A normatização do CAA no Brasil ocorreu com a publicação da NBR 15823-1 (ABNT, 2010), que estabelece os critérios de classificação, controle e aceitação do concreto no estado fresco. Esta norma define limites para a autoadensabilidade e especifica os ensaios necessários para avaliar suas propriedades (CALADO, 2016).

Entre os ensaios recomendados, estão os testes de espalhamento (*slump flow*), caixa-L, funil-V, anel-J e coluna de segregação. A utilização desses ensaios permite uma análise detalhada das propriedades do CAA, garantindo que o concreto utilizado nas obras esteja de acordo com os parâmetros estabelecidos e que apresente a trabalhabilidade necessária para a sua aplicação específica (TAKADA, 2004).

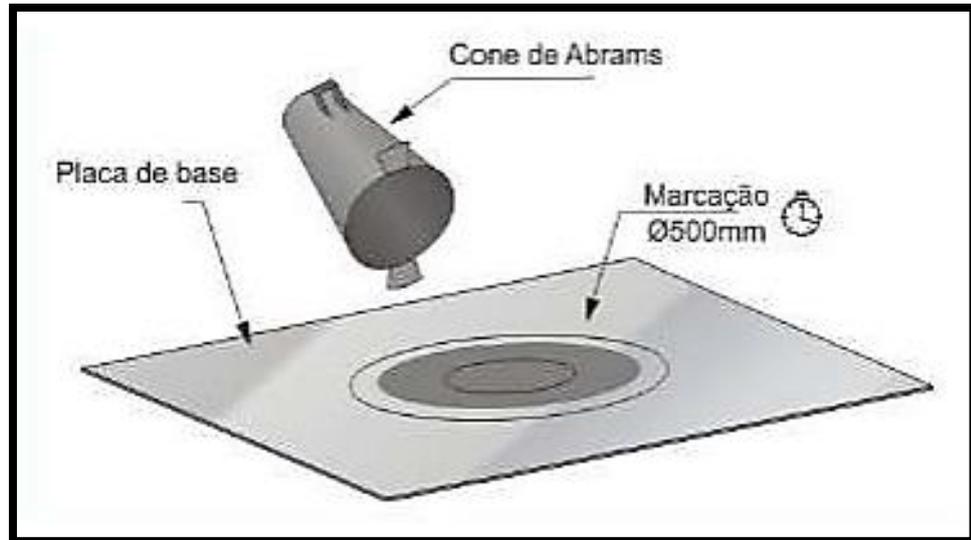
O ensaio de espalhamento (*slump flow*) é particularmente relevante para avaliar a fluidez do CAA. Segundo Takada (2004), esse ensaio mede o diâmetro de espalhamento do concreto, oferecendo uma indicação direta da sua capacidade de preencher formas complexas sem a necessidade de vibração. A NBR 15823-2 (ABNT, 2010) especifica que o espalhamento deve ser de, no mínimo, 600 mm para garantir uma habilidade de preenchimento adequada, com variações de acordo com a classe do concreto (SF1, SF2 ou SF3) como mostrado a seguir.

Tabela 2 – Classificação e aplicações do CAA conforme resultados do *slump flow*

Classe de espalhamento	Espalhamento (mm)	Aplicação	Exemplo
SF1	550 a 650	Estruturas não armadas ou com baixa taxa de armadura e embutidos, cuja concretagem é realizada a partir do ponto mais alto com deslocamento livre. Concreto autoadensável bombeado. Estruturas que exigem um curto espalhamento horizontal do CAA.	Lajes Revestimentos de túneis Estacas e certas fundações profundas
SF2	660 a 750	Adequada para a maioria das aplicações correntes.	Paredes, vigas, pilares e outras.
SF3	760 a 850	Estruturas com alta densidade de armadura e ou de forma arquitetônica complexa, com o uso de concreto com agregado graúdo de pequenas dimensões (menor que 12,5mm).	Pilares-parede, paredes diafragma e pilares.

A realização desse ensaio possibilita a visualização de possíveis problemas de segregação ou exsudação no concreto (CALADO, 2016), conforme mostrado na FIG. 2 a seguir.

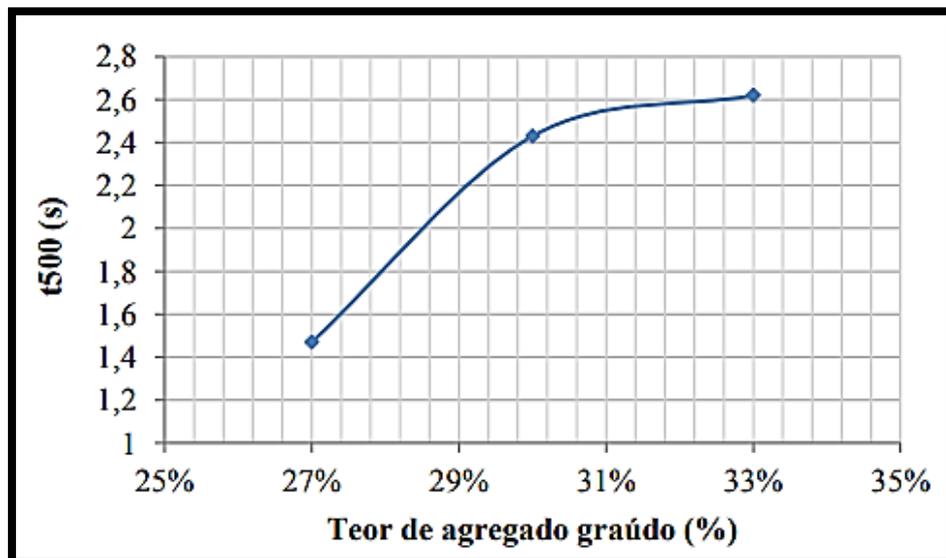
Figura 2 – Ensaio de *slump flow*



Fonte: Petry (2015, p. 29)

Para medir a viscosidade do CAA, o ensaio T500 é o dispositivo mais utilizado.

Figura 3 – Ensaio T500 dos concretos



Fonte: Petry (2015, p. 73)

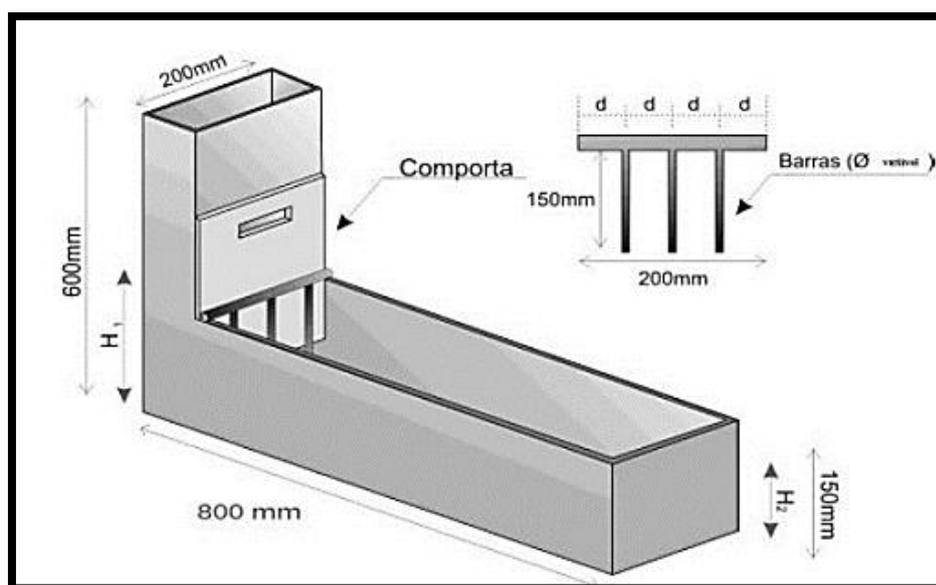
Este teste avalia o tempo que o concreto leva para atingir um espalhamento específico, o que indica a sua viscosidade e capacidade de deformação (PETRY, 2015). Takada (2004) observa que quanto maior o espalhamento, menor tende a ser o tempo de escoamento, desde que a viscosidade da mistura permaneça constante. Esse ensaio é particularmente útil em obras onde se exige uma superfície bem-acabada, uma vez que a viscosidade influencia diretamente o acabamento do concreto.

O ensaio da caixa-L é um método utilizado para avaliar tanto a fluidez quanto a capacidade do concreto autoadensável (CAA) de ultrapassar obstáculos, mantendo-se uniforme e coeso durante o processo. Este ensaio é especialmente relevante, pois mede o desempenho do concreto em simulações que imitam situações de aplicação real, onde há presença de armaduras e outros elementos estruturais que podem interferir na passagem do material (TUTIKIAN, 2004).

Como se pode verificar por meio da FIG. 3, o equipamento utilizado para o ensaio da caixa-L possui um design específico: uma caixa em formato de “L” com uma divisória móvel que separa sua seção vertical da seção horizontal. Na divisória, são inseridas barras de aço que simulam as armaduras estruturais, com o objetivo de representar as condições reais do concreto ao contornar esses obstáculos. A quantidade de barras pode variar, normalmente sendo duas ou três, dependendo do nível de complexidade do ensaio e das características da estrutura na qual o concreto será aplicado (SELLI, 2019).

O teste de caixa L, também descrito pela norma NBR 15823 (ABNT, 2010), consiste na verificação da habilidade passante do CAA. Esta verificação avalia a capacidade de fluidez do concreto fresco em passar por aberturas estreitas, como os espaços entre barras de aço, sem apresentar segregação. O concreto é colocado no molde através da abertura superior, com a comporta fechada. Após a comporta, na entrada do canal, são colocadas duas ou três barras com distâncias padronizadas de 58 ± 1 mm ou 40 ± 1 mm, conforme mostra na FIG 4.

Figura 4 – Ensaio de caixa L



Fonte: Petry (2015, p. 32)

O procedimento para o ensaio é simples: inicialmente, o concreto é vertido na seção vertical da caixa-L. Em seguida, a comporta é aberta, permitindo que o concreto escoe da seção vertical para a horizontal, passando pelas barras de aço que funcionam como obstáculos. Esse movimento simula a passagem do concreto por áreas congestionadas, comuns em estruturas reforçadas NBR 15823 (ABNT, 2010).

A avaliação do ensaio é feita através da medição das alturas atingidas pelo concreto em dois pontos: a altura H_1 , que se refere ao nível atingido na parte vertical da caixa-L, e a altura H_2 , correspondente ao nível alcançado na extremidade da seção horizontal. A relação entre essas duas alturas (H_2/H_1) fornece uma indicação direta da capacidade do concreto de se manter coeso e de passar livremente através dos obstáculos sem bloqueios (SELLI, 2019).

Quanto maior a relação H_2/H_1 , melhor é a habilidade do concreto de contornar os obstáculos e manter a uniformidade, o que sinaliza uma boa trabalhabilidade e um desempenho adequado em condições de alta densidade de armadura. Este ensaio é especialmente útil para avaliar concretos destinados a aplicações em que a fluidez e a capacidade de ultrapassar barreiras são essenciais para garantir a integridade estrutural e a uniformidade do preenchimento (SELLI, 2019).

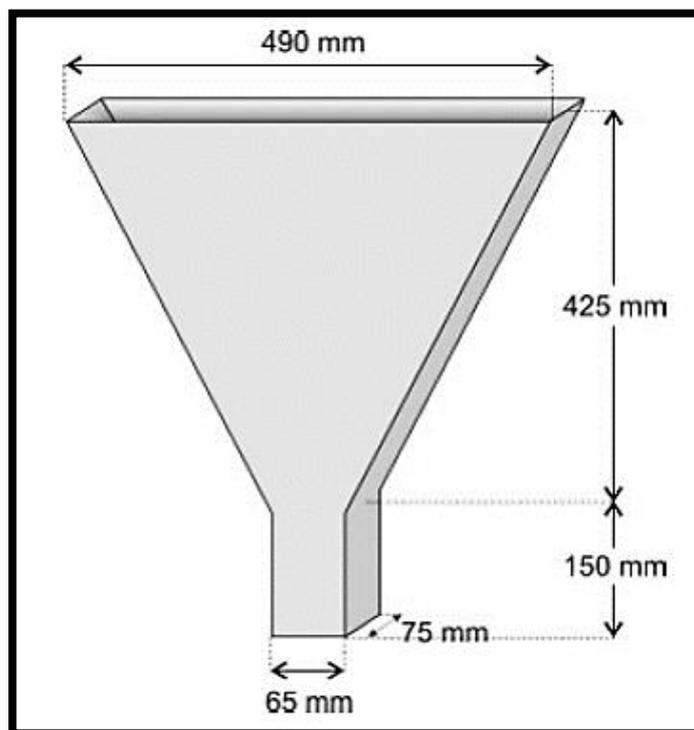
A norma NBR 15823-4 (ABNT, 2010) estabelece parâmetros para a interpretação dos resultados do ensaio da caixa-L, indicando os níveis ideais de H_2/H_1 para diferentes tipos de aplicações e estruturas. Esses parâmetros ajudam a orientar a formulação do CAA, para que

ele atenda aos requisitos de aplicação sem comprometer sua coesão ou resistência (FERRAZ, 2009).

O uso do ensaio da caixa-L permite aos profissionais obter dados objetivos sobre o comportamento do concreto em estado fresco, oferecendo informações essenciais para a tomada de decisões em relação à composição e ao uso adequado do material. Essa metodologia contribui significativamente para o controle da qualidade e para a otimização das propriedades do concreto autoadensável em diferentes contextos de aplicação (FERRAZ, 2009).

Além desses, o funil-V e o anel-J como mostra nas FIG. 5 e 6 são ensaios complementares que ajudam a avaliar a trabalhabilidade do CAA de forma mais abrangente. O funil-V mede o tempo de escoamento do concreto, indicando sua fluidez e coesão. Já o anel-J verifica a habilidade passante em condições que simulam áreas congestionadas. Esses ensaios, quando realizados em conjunto, proporcionam uma análise precisa das propriedades do CAA, garantindo que o concreto apresente as características ideais para o uso em cada aplicação específica (PETRY, 2015).

Figura 5 - Funil V para avaliação da trabalhabilidade do CAA



Fonte: Petry (2015, p. 31)

Figura 6 - Teste do anel J e o concreto autoadensável



Fonte: Tecnosil, (2020, p. 01)

Do ponto de vista do desempenho das propriedades do concreto no estado endurecido, o CAA pode apresentar durabilidade superior em comparação ao CCV, em razão de sua maior compacidade, resultante do maior teor de finos, o que favorece a redução da permeabilidade, porosidade e coeficiente de difusão de íons cloro, entre outras propriedades, evidenciando a viabilidade técnica de seu uso (CALADO *et al.*, 2015).

Calado *et al.* (2015) mostra ainda que no estado endurecido, percebe-se que o concreto autoadensável (CAA) possui uma fluidez elevada, que, aliada a uma coesão suficiente para prevenir a segregação, normalmente requer um fator água/cimento (a/c) menor do que o utilizado no concreto convencional (CC) correspondente. Um fator a/c reduzido leva a um aumento nas resistências à compressão. As misturas de CAA frequentemente utilizadas em estruturas pré-moldadas apresentam valores de a/c entre 0,32 e 0,40. Por outro lado, composições de CAA com um fator a/c superior a 0,40 são, por vezes, aplicadas em construções realizadas no local ou em projetos de recuperação, obtendo resistências características comparáveis às do CC.

Em relação ao módulo de elasticidade, este apresenta uma correlação direta com a resistência à compressão, além de depender do tipo e da quantidade de agregados utilizados. Entretanto, a trabalhabilidade do CAA é determinada por uma série de propriedades e ensaios que garantem sua adequação para diversas finalidades na construção civil. A normatização e o

controle rigoroso dessas propriedades permitem que o concreto autoadensável seja uma solução eficiente, especialmente em estruturas com geometrias complexas e alta densidade de armaduras (CALADO *et al.*, 2015).

2.3.2 Propriedades do CAA no estado sólido

As propriedades do concreto autoadensável (CAA) em seu estado endurecido são importantes para entender seu desempenho em aplicações estruturais. Em relação à microestrutura, o CAA, devido à sua composição, tende a ser mais denso que o concreto convencional. Isso se deve ao maior uso de materiais finos, o que resulta em uma redução da porosidade e melhora na durabilidade do concreto, além de diminuir a fissuração. Essa densidade pode ser favorável para reduzir a permeabilidade, aumentando a resistência à água e a ação de agentes agressivos (CATTANEO *et al.*, 2012).

Um dos principais parâmetros mecânicos do CAA no estado endurecido é a resistência à compressão. Pesquisas indicam que o CAA pode apresentar resistência similar à do concreto convencional, mas com vantagens em termos de maior durabilidade, uma vez que sua microestrutura mais compacta oferece maior resistência ao desgaste (OKAMURA; OUCHI, 2003). No entanto, devido à proporção maior de pasta de cimento, o CAA tende a ter um módulo de elasticidade inferior, especialmente em concretos com resistência mais baixa (DOMONE, 2007).

Os procedimentos para moldagem, cura e ensaio de resistência à compressão do concreto seguem as diretrizes das normas NBR 5738 (ABNT, 2015), Concreto Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova e NBR 5739 (ABNT, 2018), Concreto – Ensaio de compressão em corpos de prova cilíndricos.

O corpo de prova deve ser cilíndrico com altura igual ao dobro do diâmetro, sua altura pode variar entre 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm, 30 cm ou 45 cm, dependendo do tipo de concreto e do tamanho do agregado. Para concreto convencional ou concreto agregado com dimensões características máximas não superiores a 25 mm, recomenda-se a utilização de molde com diâmetro de 10 cm e altura de 20 cm. O molde deve ser feito de aço ou material não absorvente, inerte ao cimento Portland e resistente o suficiente para manter sua forma durante o processo de conformação. Devem abrir na parte superior, ter fundo e laterais estanques quando fechados e serem projetados para que sejam facilmente desmoldados sem causar danos ao corpo de prova. A forma deve ser totalmente plana com tolerância máxima de 0,05 mm (NBR 5738; ABNT, 2015; NBR 5739; ABNT, 2018).

Na amostragem do concreto, devem ser registrados o local de aplicação, a data, a hora de adição da água na mistura, a nota fiscal do lote, a hora da moldagem e o valor do abatimento, conforme a norma NBR NM 67 (ABNT, 1998) – Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Antes da moldagem, os moldes devem ser revestidos com uma fina camada de óleo mineral ou desmoldante comercial adequado, desde que não reaja com o cimento Portland, conforme orientado na NBR NM 33 (ABNT, 1998) – Concreto – Amostragem de concreto fresco.

Os moldes devem ser posicionados em uma base plana, seca e estável, em local previamente definido, onde permanecerão por 24 horas, protegidos de circulação de pessoas, vibrações, sol, respingos de água ou outros impactos. Para garantir a uniformidade do concreto amostrado, realiza-se uma mistura prévia antes de introduzi-lo nos moldes, sendo então compactado em camadas, utilizando a quantidade e o método de golpes adequados para o adensamento NBR NM 33 (ABNT, 1998).

Em termos gerais, os fatores que afetam a resistência à compressão também impactam o comportamento do diagrama de tensão normal de compressão e deformação específica, embora com diferentes intensidades. No entanto, os agregados, especialmente os de maior granulometria, têm um efeito particular sobre esse diagrama. Concretos com maior resistência tendem a exibir módulos de elasticidade tangente inicial³ mais elevados e maior deformação específica no ponto de tensão máxima, em comparação com concretos de menor resistência. No entanto, isso pode não ser observado dependendo do tipo e teor de agregado graúdo utilizado (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

De maneira geral, concretos que utilizam agregados graúdos com maior volume e menor porosidade e, portanto, maior módulo de elasticidade apresentam um módulo de elasticidade mais elevado (MEHTA; MONTEIRO, 2008). Mehta e Monteiro (2008) apontam que agregados de granito, basalto e rochas vulcânicas são mais densos e apresentam baixa porosidade, ao passo que agregados como arenito, calcário e cascalho têm maior porosidade.

Além disso, a resistência à tração no CAA se comporta de maneira semelhante ao concreto convencional, mas sua retração pode ser maior, o que é uma consideração importante para o projeto estrutural. Esse fenômeno pode ocorrer devido à maior quantidade de finos na mistura, o que influencia diretamente o processo de cura e as deformações associadas (BERTOLANI, 2017).

³A NBR 8522 estabelece o módulo de elasticidade ou módulo de deformação tangente inicial: é o módulo tangente à origem, com valor de deformação secante obtido entre 30% de f_c (*feature compression*) ou seja, (resistência característica do concreto à compressão) e 0,5 MPa (APL ENGENHARIA).

Outra característica relevante é a durabilidade do CAA, que se beneficia da menor porosidade. A menor quantidade de água necessária para atingir a trabalhabilidade do concreto resulta em uma matriz mais densa, o que ajuda a reduzir os danos causados por ciclos de congelamento e descongelamento, além de aumentar a resistência à corrosão de armaduras (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2008).

Banfill (2003), descreve a reologia como “a ciência que estuda a deformação e o fluxo da matéria, a ênfase no fluxo está ligada a relação entre tensão, deformação, taxa de deformação e do tempo”. O controle da reologia também desempenha um papel crucial nas propriedades do CAA no estado endurecido. A tensão de escoamento e a viscosidade plástica da pasta de cimento influenciam diretamente a microestrutura do concreto, afetando sua resistência final e sua durabilidade. A adição de materiais pozolânicos, como sílica ativa e metacaulim⁴ pode melhorar ainda mais essas propriedades, promovendo um aumento na coesão e resistência do concreto (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2008).

Adicionalmente, o uso de aditivos superplastificantes no CAA permite uma maior fluidez, o que facilita sua aplicação, especialmente em elementos com formas complexas. Esses aditivos também têm um impacto positivo na redução da relação água/cimento, o que contribui para a melhora das propriedades mecânicas do material (PARRA, 2011).

Por fim, a substituição parcial de cimento por materiais como cinza de casca de arroz e metacaulim tem mostrado resultados promissores no aprimoramento das propriedades mecânicas do CAA. Essas substituições podem melhorar a resistência à compressão, à tração e à absorção de água, além de influenciar positivamente na durabilidade do concreto. Contudo, é importante notar que a substituição em excesso pode prejudicar a fluidez e a trabalhabilidade do concreto (MADANDOUST; MOUSAVI, 2012).

2.4 Vantagens e desvantagens do CAA

Como nota-se, o concreto autoadensável apresenta características que o diferenciam do concreto tradicional, sendo amplamente reconhecido por suas vantagens em processos construtivos complexos. Por sua vez, também se evidencia que o CAA demanda cuidados específicos considerando algumas desvantagens. Observam-se, a seguir, algumas das

⁴Correspondem a materiais finos como metacaulim almejando-se fluidez e coesão da massa cimentícia devido ao metacaulim ter eficiência comprovada como material pozolânico em diversas pesquisas da área (ROSSIGNOLO e OLIVEIRA, 2007; OLIVEIRA, 2007; CARMO e PORTELLA, 2008 e FERREIRA et al., 2003 *apud* DE FARIAS *et al.* 2012).

vantagens e desvantagens e de que forma elas pesam no momento de sua utilização (EFNARC, 2002).

Como já foi apontado, uma das principais vantagens do CAA é sua alta fluidez, que permite o preenchimento de formas complexas e densamente armadas sem a necessidade de vibração mecânica. Essa propriedade facilita a colocação do concreto, reduzindo significativamente com o adensamento a mão de obra e os equipamentos necessários, como vibradores, o que diminui os custos e acelera o cronograma da obra. Além disso, o concreto flui de maneira uniforme, eliminando defeitos de compactação e garantindo uma estrutura de melhor qualidade (FERRAZ, 2009).

O acabamento estético proporcionado pelo CAA é outra característica marcante. Graças à sua homogeneidade e fluidez, ele resulta em superfícies mais lisas e uniformes, sendo uma excelente escolha para estruturas aparentes que exigem alto nível de detalhamento visual. Essa qualidade faz com que o CAA seja amplamente utilizado em projetos arquitetônicos onde a estética é um fator determinante (FIORENTIN, 2011).

No quesito durabilidade, o concreto autoadensável também se destaca. A combinação de materiais específicos e a redução de porosidade conferem maior resistência à penetração de agentes agressivos, como cloretos e sulfatos. Essa característica prolonga a vida útil das estruturas, tornando-o uma escolha estratégica em obras sujeitas a condições ambientais adversas, como pontes e túneis. Adicionalmente, o uso do CAA melhora as condições de trabalho no canteiro. Por dispensar o uso de vibradores, ele reduz os níveis de ruído, contribuindo para um ambiente mais confortável e seguro para os trabalhadores. A ausência de vibração também minimiza os riscos ergonômicos e de acidentes, especialmente em obras com áreas de difícil acesso (FIORENTIN, 2011).

Além das propriedades essenciais, o CAA possui algumas características que o tornam especialmente vantajoso em determinadas aplicações. A sua elevada fluidez permite a concretagem de formas com geometrias complexas e armaduras densas, minimizando o risco de formação de vazios e bolhas de ar, que podem comprometer a resistência e durabilidade da estrutura (SANTOS; FONSECA, 2021). A maior fluidez do CAA também reduz o tempo de aplicação e os custos com mão de obra, pois elimina a etapa de vibração. Além disso, o CAA oferece melhor acabamento superficial, menor risco de fissuração e maior resistência a agressões ambientais, aumentando a durabilidade das estruturas em ambientes severos. Essas características tornam o CAA uma solução eficiente para obras complexas e que exigem alta qualidade técnica, como as que envolvem pré-moldados ou concreto aparente. É notório que a ausência de necessidade de vibração para a compactação torna o processo de concretagem

mais rápido e menos dependente de mão-de-obra especializada, reduzindo custos e tempo de execução (SANTOS; FONSECA, 2021).

Em termos de impacto ambiental, o CAA também oferece benefícios, pois ao reduzir o uso de vibradores, diminui, conseqüentemente, o consumo de energia durante o processo de concretagem. Além disso, a possibilidade de reduzir falhas e defeitos no concreto final contribui para aumentar a vida útil das estruturas, o que se traduz em menor necessidade de reparos e manutenção ao longo do tempo. Isso alinha o uso do CAA com práticas de construção sustentável, um tema cada vez mais relevante na indústria da construção civil (SANTOS; FONSECA, 2021).

Outra diferença marcante que destaca-se entre o concreto convencional e o CAA é a resistência à segregação. Enquanto o concreto convencional pode se segregar se não for bem compactado, o CAA possui propriedades que garantem a coesão da mistura durante o escoamento, o que minimiza a chance de formação de vazios e falhas na estrutura. Essa resistência à segregação é especialmente benéfica em projetos que exigem alta durabilidade e qualidade do concreto, uma vez que o CAA tende a apresentar um acabamento superior e uma resistência mais uniforme em comparação ao concreto vibrado convencional (OKAMURA; OUCHI, 2003).

Por sua vez, apesar do CAA apresentar várias vantagens, há também algumas desvantagens que precisam ser consideradas. O custo elevado é um dos principais desafios. Para alcançar suas propriedades específicas, são necessários aditivos, como superplastificantes e finos de alta qualidade, o que encarece o material em comparação ao concreto vibrado. Esse fator pode limitar sua aplicação em obras com orçamentos restritos (CALADO, 2016).

Outro aspecto crítico é a necessidade de um controle rigoroso na formulação da mistura. A sensibilidade do CAA a variações nos materiais exige um projeto técnico detalhado e testes laboratoriais para assegurar a qualidade do produto. Uma formulação inadequada pode levar a problemas como segregação ou perda de coesão, comprometendo o desempenho da estrutura (CALADO, 2016).

A alta fluidez, caracterizada com uma das principais qualidades do concreto autoadensável, também impõe desafios e questões estruturais. As formas utilizadas devem ser projetadas para suportar maiores pressões hidráulicas, o que pode elevar o custo e a complexidade do projeto. Além disso, a vedação das formas precisa ser impecável para evitar vazamentos durante o processo de concretagem. Outro ponto a considerar é a necessidade de mão de obra qualificada. O preparo e a aplicação do CAA requerem conhecimento técnico

específico para garantir o sucesso da operação, o que pode ser um problema em locais onde a capacitação profissional é limitada (CALADO, 2016).

Considerando todos os pontos apresentados, verifica-se que embora o CAA tenha benefícios ambientais, como a possibilidade de incorporar resíduos industriais, ele pode apresentar uma pegada de carbono maior devido à alta quantidade de cimento e aditivos necessários, o que demanda atenção em projetos que priorizam a sustentabilidade (CALADO, 2016).

Em resumo, se comparado ao concreto convencional, o concreto autoadensável (CAA) é formulado para fluir e preencher as formas de maneira autônoma, sem a necessidade de vibração. Essa característica do CAA resulta de uma combinação específica de agregados, cimento, aditivos superplastificantes e, muitas vezes, aditivos modificadores de viscosidade. Logo, tais componentes permitem que o CAA tenha uma elevada fluidez e trabalhabilidade, o que facilita a aplicação em estruturas com armações densas, onde o concreto convencional teria dificuldade de preencher todos os espaços (EFNARC, 2005).

O CAA, portanto, representa uma solução avançada na construção civil, sendo ideal para situações que demandam alta performance e acabamento refinado. Contudo, sua aplicação deve ser cuidadosamente planejada, equilibrando as vantagens em termos de qualidade e produtividade com os custos adicionais e as exigências técnicas que ele apresenta (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2015).

2.4.1 Aplicações do concreto autoadensável (CAA)

Aplicações práticas de concreto auto-compactante (CAA) têm sido fundamentais em projetos de grande escala, principalmente na construção de edifícios altos e infraestrutura complexa. O uso de CAA oferece vários benefícios, como maior rapidez na execução, redução de custos com mão de obra e equipamentos, e melhoria na qualidade do acabamento. Além disso, o CAA tem se mostrado ideal para locais de difícil acesso, onde métodos tradicionais de vibração não podem ser aplicados (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2015).

Exemplos de grandes projetos que utilizaram CAA incluem a construção do Burj Khalifa em Dubai, o maior edifício do mundo, e o Freedom Tower (1WTC) em Nova York. Esses exemplos e o desenvolvimento dessas construções revelam aspectos importantes das possibilidades do CAA (SIQUEIRA, 2021).

Para o projeto de Burj Khalifa, o concreto autoadensante foi fundamental para facilitar o bombeamento de concreto a altíssimas alturas. Um desafio considerável foi a necessidade

de atingir uma alta resistência em um ambiente desértico extremamente quente. A mistura de concreto foi cuidadosamente planejada para lidar com a alta demanda de resistência e durabilidade do edifício. Evidencia-se que a equipe de construção usou CAA para garantir que as paredes e fundações fossem moldadas sem necessidade de vibração mecânica, o que ajudou a reduzir o tempo de construção e minimizar falhas durante o processo. O uso do CAA, combinado com outras soluções técnicas, permitiu concluir a obra com sucesso, batendo recordes de bombeamento de concreto e garantindo a integridade estrutural da torre (SIQUEIRA, 2021).

Outro exemplo importante é o uso do CAA na construção do Comcast Center, em Filadélfia, onde 34.787 m³ de CAA foram usadas para construir o edifício de 57 andares. Em específico, para este projeto, as paredes cisalhamento utilizaram concreto de alta resistência (96,52 MPa após 56 dias). O CAA permitiu um melhor controle de vazamentos de concreto durante a construção, além de garantir que a aparência estética fosse preservada sem a necessidade de acabamentos extras (OLIVEIRA, 2011).

O uso do CAA aqui foi crucial, pois a estrutura exigia um concreto altamente eficiente em termos de fluidez e resistência, sem comprometer a integridade do *design* arquitetônico. O uso do CAA também se expandiu para a construção de pontes e outros elementos estruturais que exigem alta precisão e resistência. Por exemplo, no estado da Virgínia, os Departamento de Transportes usaram CAA para a construção de vigas pré-esforçadas e componentes de pontes, melhorando tanto a eficiência quanto a durabilidade das estruturas (OLIVEIRA, 2011).

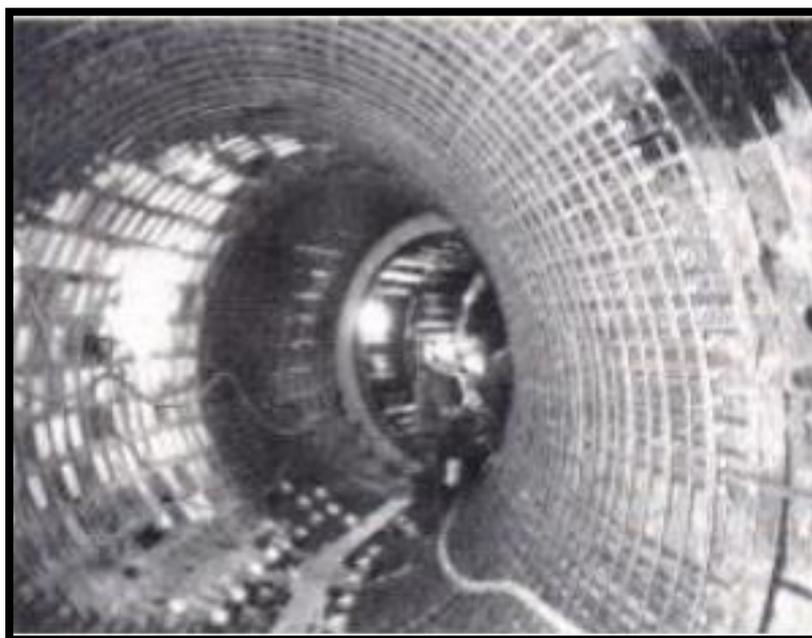
Nesse sentido, a construção da ponte *Skyline*, em Omaha, Nebraska, é outro exemplo de como o CAA pode ser aplicado em projetos de infraestrutura. A parte superior da ponte foi completamente construída com CAA, facilitando a colocação do concreto em áreas de difícil acesso e evitando falhas nas junções. O uso de CAA também resultou em uma superfície mais uniforme e estética, além de acelerar o tempo de construção (OLIVEIRA, 2011).

Por fim, um último exemplo a ser destacado são os projetos de infraestrutura elétrica, como a *Medupi Power Station*). O CAA foi utilizado para construir fundações e pilares de grande altura, com alto volume de concreto. A qualidade do concreto foi uma prioridade, já que a estação precisaria de resistência e durabilidade extremas devido às condições de operação e ao impacto ambiental. O uso de CAA também contribuiu para minimizar fissuras e melhorar a eficiência do processo de construção (OLIVEIRA, 2011).

Outra vantagem proporcionada pelo CAA é para a indústria de pré-moldados é possível destacar alguns exemplos de sua utilização frequente no Japão (TAKEUCHI, *et al.*,

1994). Um exemplo de destaque é o túnel em Yokohama, com um diâmetro de 3 metros e uma extensão total de 1 quilômetro. Durante sua construção, foram empregadas grandes quantidades de armaduras, o que exigia um concreto capaz de atravessar essas estruturas sem comprometer suas propriedades. Por esse motivo, optou-se pelo CAA, utilizando-se um total de 40 m³ (TAKEUCHI, *et al.*, 1994), conforme mostra a FIG. 7 a seguir.

Figura 7 - Túnel em Yokohama no Japão, construído com CAA com peças de geometria complexa e alta densidade de armadura



Fonte: Bertolani (2017, p. 21)

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base no estudo realizado sobre o Concreto Autoadensável (CAA), foi possível evidenciar suas características, benefícios e aplicações práticas, além de analisar seu impacto no setor da construção civil. O CAA surge como uma inovação significativa, especialmente no que diz respeito à otimização dos processos construtivos. Ao eliminar a necessidade de vibração mecânica, ele oferece um grande avanço na redução de custos com mão de obra e tempo de execução, o que reflete diretamente na eficiência e na sustentabilidade dos projetos.

A análise teórica e prática do CAA demonstraram que suas propriedades, como fluidez e autoadensamento, são cruciais para garantir a qualidade das estruturas, principalmente em casos de geometria complexa ou alta densidade de armaduras. Esses aspectos contribuem para uma construção mais precisa e com menor risco de falhas, como evidenciado em diversos projetos emblemáticos que adotaram o material, como o Burj Khalifa e a *Freedom Tower*.

Nesse contexto, a aplicação do CAA se traduz em soluções que atendem à crescente demanda por materiais sustentáveis e que ao mesmo tempo, oferecem desempenho superior em termos de durabilidade.

Ademais, foi possível verificar que, além das vantagens práticas, o CAA também promove ganhos significativos em termos de sustentabilidade. A redução do uso de energia e de materiais auxiliares, como formas para moldagem, alinha-se com os princípios que norteiam a busca por construções mais verdes e eficientes. O impacto ambiental positivo do CAA é um fator chave, especialmente em um cenário global que exige mais responsabilidade ambiental das indústrias, incluindo a construção civil.

No entanto, o estudo também apontou desafios relacionados à aplicação do CAA, como a necessidade de um controle mais rigoroso de sua mistura e o risco de segregação se não houver um monitoramento adequado. Essas questões indicam que, embora o CAA seja altamente promissor, sua implementação requer uma compreensão profunda das variáveis envolvidas, como tipo e proporção dos materiais constituintes, além da necessidade de um conhecimento técnico especializado para garantir seu bom desempenho nas obras.

Nota-se que o CAA é um material que oferece não apenas uma resposta eficiente para a construção de estruturas mais complexas e duráveis, mas também um caminho para a transformação da indústria da construção civil, possibilitando a redução de custos, tempo e impactos ambientais.

Em suma, a investigação sobre o CAA deixa claro que, ao longo do tempo, ele pode se tornar uma solução cada vez mais comum em projetos de grande porte, principalmente à

medida que a indústria da construção civil adote uma abordagem mais voltada à sustentabilidade e à redução dos impactos ambientais. O CAA é uma peça-chave nesse processo, e os benefícios que ele oferece indicam que o futuro da construção civil passará por transformações significativas com o uso de tecnologias cada vez mais avançadas e sustentáveis.

Conclui-se que a aplicação do CAA é um reflexo do avanço tecnológico e da inovação que caracterizam o cenário atual da engenharia civil, com soluções que respondem às necessidades de modernização do setor.

REFERÊNCIAS

- ALENCAR, Ricardo dos Santos Arnaldo de. **Dosagem do concreto auto-adensável: produção de pré-fabricados**. 2008. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-19092008-161938/> Acesso em: 05 nov. 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**. Concreto Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. ABNT, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**. Projeto de Estruturas de Concreto: Procedimento. ABNT, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**. Concreto Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. ABNT, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823-5**: concreto autoadensável: parte 5: determinação da viscosidade: método do funil V. Rio de Janeiro, 2017d.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8522**. Concreto - Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. Rio de Janeiro, 2008.
- BANFILL, P.F.G. *The Rheology of Fresh Cement and Concrete – A Review*, 11th *Internacional Cement Chemistry Congress*. Durban, 2003.
- BARTOS, P.J.M. Testing-SCC: *Towards new European standards for fresh SCC*. In: *First International Symposium on Design, Performance and Use of Self-Consolidating Concrete SCC 2005*. China, RILEM, Anais PRO42, pp 25-44, 2005.
- BERTOLANI, Alan Gracioli. **Concreto autoadensável: surgimento, propriedades e utilização em obras de construção civil**. Disponível em: <https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/15658/1/ALAN%20GRACIOLI%20BERTOLANI.pdf> Acesso em: 16 nov. 2024.
- BILLBERG, P. *Form pressure generated by self-compacting concrete: Influence of thixotropy and structural behaviour at rest*. Tese (Doutorado), Byggvetenskap, 2006. Disponível em: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:10913/FULLTEXT01.pdf> Acesso em: 16 out. 2024.
- CALADO *et al.*. **Concreto autoadensável (CAA), mais do que alternativa ao concreto convencional (CC)**. Recife: UPE, 2015. Disponível em: <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2016/03/Concreto-Auto-Adensa%CC%81vel-CAA-Mais-do-que-Alternativa-ao-Concreto-Convencional-1.pdf> Acesso em: 08 out. 2024.
- CATTANEO, S.; GIUSSANI, F.; MOLA, F. *Flexural behaviour of reinforced, prestressed and composite self-consolidating concrete beams*. *Construction and Building Materials*, v. 36, p. 826-837, 2012.

COSTA, A. C. S. de S.; CABRAL, A. E. B. **Estudo comparativo entre o concreto autoadensável e o concreto convencional vibrado em obra vertical**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 19, n. 4, p. 289-301, out./dez. 2019. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212019000400356>

CUNHA, João Pedro. **Inovações no concreto: o avanço do concreto autoadensável na construção civil**. Rio de Janeiro: Engenharia, 2021.

DE FARIAS, Evilane Cássia *et al.* **Influência da adição de metacaulim no comportamento reológico de concretos autoadensáveis**. In: VII CONNEPI - Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação. 2012.

DOMONE, P. L. *A review of the hardened mechanical properties of self-compacting concrete*. **Cement and Concrete Composites**, 29(1), 1-12., 2007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0958946506001387> Acesso em: 10 out. 2024.

EFNARC. *Specification and guidelines for self-compacting concrete*. **Association House**, 2002. Disponível em: <https://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/c.especiais/Efnarc.pdf> Acesso em: 27 out. 2024.

FERRAZ, A. **Avaliação de retração e fluências do concreto autoadensável para aplicação em elementos pré-moldados**. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo Campinas: SP, 2009. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/296852329.pdf> Acesso em: 10 out. 2024.

FIORENTIN, T. R. **Influência do aditivo modificador de viscosidade e do filer calcário no comportamento de pastas e argamassas de concreto autoadensável**. Pato Branco: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2011.

FOCHS, Rafael Gomes. Estudo comparativo entre métodos de dosagem de concreto autoadensável. **Revista de Engenharia e Construção Civil**, 25(3), 112-130, 2011. Dissertação. Disponível em: <https://tede2.pucrs.br/tede2/handle/tede/3184>. Acesso em: 08 nov. 2024.

FRANCHETTO, Alessandro Simas. **Investigação das características físicas e propriedades residuais de concretos autoadensáveis expostos a altas temperaturas**. 2022. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/254392/001161462.pdf?sequence=1> Acesso em: 10 nov. 2024.

GOMES, P. C. C. Métodos de dosagem de concreto autoadensável. In: Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M.. **Concreto: Estrutura, propriedades e materiais**. 2 ed., v. 2. São Paulo: Pini, 2009.

MADANDOUST, Rahmat; MOUSAVI, S. Yasin. *Fresh and hardened properties of self-compacting concrete containing metakaolin*. **Construction and building materials**, v. 35, p. 752-760, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095006181200311X> Acesso em: 07 nov. 2024.

MANUEL, M. J.P. **Estudo da influência do teor de argamassa no desempenho de concretos autoadensáveis**. Tese (Mestrado), PPGEC/UFRGS, 2005. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/8142/000568918.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2024.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. 1 ed. São Paulo: PINI, 1994, p. 573.

MELO, João Carlos; SILVA, Maria Fernanda. **Concreto autoadensável: aplicações e desafios na infraestrutura moderna**. São Paulo: Construção, 2021.

NEVILLE, A.M. **Propriedades do Concreto**. 5 ed. São Paulo: Bookman, 2016.

OKAMURA, H., & Ouchi, M. (2003). *Self-compacting concrete*. **Journal of Advanced Concrete Technology**, 1(1), 5-15. Disponível em: <https://doi.org/10.3151/jact.1.5>. Acesso em: 08 nov. 2024.

OLIVEIRA, Robeta Macedo de. **Obras interessantes na construção civil**. TCC, UEG, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ueg.br/jspui/handle/riueg/4879> Acesso em: 06 nov. 2024.

PARRA, C. **Splitting tensile strength and modulus of elasticity of self-compacting concrete**. *Construction and Building Materials*, 25(1), 201-207, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.05.012> Acesso em: 05 nov. 2024.

PETRY, F. **Análise e otimização do método de dosagem Repette-Melo para concreto autoadensável através do modelo de empacotamento compressível de partículas (MEC)**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Graduação em Engenharia Civil. Florianópolis, Santa Catarina, 2015. 103p. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/133798/TCC_final.pdf?sequen=1&isAllowed=y. Acesso em: 15 nov. 2024.

SANTOS, Ana C.P. *et al.* **Experimental study about the effects of granular skeleton distribution on the mechanical properties of self-compacting concrete (SCC)**. *Construction and Building Materials*, v. 78, p. 40-49, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061815000197> Acesso em: 05 nov. 2024.

SELLI, Maria Bruna. **Revista Concreto & Construções**. Ano XLVII 96, Out.-Dez, 2019. ISSN 1809-7197.

SILVA BARBOZA, L., OLIVEIRA, W.A., SOUZA, L.C., *et al.* **Análise da Influência do Teor de Argamassa nas Propriedades Mecânicas e Reológicas do Concreto Autoadensável**. **Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada**, v. 6, n. 1, p. 22-33, 2021.

SIQUEIRA, T. P. L. **Uso de finos de rocha granítica (FRG) e areia de britagem, produzidos na região metropolitana de Salvador (RMS) para a produção de concreto autoadensável** 2021. Dissertação. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/33040> Acesso em: 10 nov. 2024.

TAKADA, K. *Influence of admixtures and mixing efficiency on the properties of self compacting concrete – The birth of SCC in the Netherlands*. 220 p. Tese de Doutorado – Delft University of Technology, The Netherlands, 2004.

TAKEUCHI, H.; HIGUCHI, M.; NANNI, A. *Application of Flowable Concrete in a Tunnel Lining*. *Concrete International*, v.16, n.4, 1994, p. 26-29.

TECNOSIL. **Concreto autoadensável**: principais características e aplicações. Disponível em: <https://www.tecnosilbr.com.br/concreto-auto-adensavel-principais-caracteristicas-e-aplicacoes-2/> Acesso em: 15 nov. 2024.

TUTIKIAN, B.F., DAL MOLIN, D.C. **Concreto autoadensável**. São Paulo: Pini, 2008. Disponível em: https://s3-sa-east-1.amazonaws.com/ofitexto/arquivos/degustacao/concreto-autoadensavel-3ed_deg.pdf. Acesso em: 06 nov. 2024.

TUTIKIAN, B. F., & Dal Molin, D. Comparativo das propriedades do concreto autoadensável (CAA) utilizando areia fina e cinza volante. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**, 4, 247-276, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/riem/a/DJH6JqvVSHjXkC53S8sb8Yb/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 05 nov. 2024.

TUTIKIAN, Bernardo Fonseca. **Método para dosagem de concretos autoadensáveis**. Tese (Mestrado), PPGEC/UFRGS, 2004. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/3918/000450678.pdf>. Acesso em: 07 nov. 2024.

VASCONCELOS, Cavalcante, F. **Análise físico-mecânica de concretos autoadensáveis com diferentes materiais inertes**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Disponível em: <http://repositorio.faculdaearidesa.edu.br/jspui/handle/hs826/46> Acesso em: 04 nov. 2024.