

CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO AUTOADENSÁVEL: ESTUDO DE CASO EM UMA OBRA DE PAREDES DE CONCRETO

Milton Paulino da Costa Junior. Universidade Federal do Espírito Santo

milton.paulino@gmail.com

Laís Côrtes Porto Salles. Universidade Federal do Espírito Santo

laiscortesp@gmail.com

Sayonara Maria de Moraes Pinheiro. Universidade Federal do Espírito Santo

sayonara.pinheiro@gmail.com

RESUMO

O controle tecnológico do concreto constitui etapa fundamental para assegurar o desempenho, a segurança e a durabilidade das estruturas, envolvendo procedimentos relacionados à especificação, recebimento, execução, ensaios e rastreabilidade. Este estudo teve como objetivo analisar as práticas de controle tecnológico adotadas na produção e aplicação de concreto autoadensável em uma obra de paredes de concreto localizada em Vila Velha-ES, verificando sua conformidade com os requisitos normativos, identificando não conformidades e avaliando seus potenciais impactos. Foi realizado um estudo de caso de abordagem mista, utilizando observação direta das atividades de concretagem, entrevistas semiestruturadas e análise documental. Os dados foram analisados por meio da comparação entre as práticas observadas e os requisitos das normas técnicas aplicáveis, complementada pela utilização de indicadores quantitativos de atendimento. Os resultados demonstraram 100% de atendimento nas medições do Flow Test e 80% de atendimento inicial no Slump Test nas concretagens acompanhadas. A ocorrência de abatimento fora da faixa especificada foi identificada e corrigida antes do lançamento, caracterizando impacto controlado. Verificou-se também que apenas 28,6% dos parâmetros investigados eram explicitamente informados no momento da solicitação do concreto à central, evidenciando fragilidade na formalização das informações. Os procedimentos de moldagem e controle dos corpos de prova e a rastreabilidade das betonadas apresentaram-se sistematizados. A principal não conformidade identificada foi a ausência de cura das paredes de concreto, considerada a ocorrência de maior potencial de impacto sobre o desempenho e a durabilidade, embora seus efeitos não tenham sido quantificados. Conclui-se que a obra apresenta nível satisfatório de organização do controle tecnológico, porém atendimento não integral aos requisitos avaliados, destacando-se a necessidade de aprimoramento da comunicação com a central e dos procedimentos de cura.

Palavras-chave: Controle Tecnológico; Concreto Autoadensável; Paredes de Concreto; Conformidade; Indicadores de Qualidade.

Data de recebimento: 18/04/2024

Data do aceite de publicação: 20/08/2026

Data da publicação: 31/08/2026

TECHNOLOGICAL CONTROL OF SELF-COMPACTING CONCRETE: A CASE STUDY IN A CONCRETE WALL PROJECT

ABSTRACT

The technological control of concrete is a fundamental step to ensure the performance, safety and durability of the structures, involving procedures related to specification, receipt, execution, tests and traceability. This study aimed to analyze the technological control practices adopted in the production and application of self-compacting concrete in a concrete wall work located in Vila Velha-ES, verifying its compliance with regulatory requirements, identifying non-conformities and evaluating their potential impacts. A case study of mixed approach was carried out, using direct observation of the concreting activities, semi-structured interviews and document analysis. The data were analyzed by comparing the practices observed and the requirements of the applicable technical standards, complemented by the use of quantitative indicators of service. The results showed 100% attendance in the Flow Test measurements and 80% of initial attendance in the Slump Test in the accompanied concrete. The occurrence of subsidence outside the specified range was identified and corrected before launch, characterizing controlled impact. It was also found that only 28.6% of the parameters investigated were explicitly informed at the time of requesting concrete from the plant, evidencing weakness in the formalization of information. The procedures for molding and control of the specimens and the traceability of the concretes were systematized. The main non-conformity identified was the lack of curing of the concrete walls, considered the occurrence of the greatest potential impact on performance and durability, although its effects were not quantified. It is concluded that the work presents a satisfactory level of organization of technological control, but not full compliance with the requirements evaluated, highlighting the need to improve communication with the central and curing procedures.

Keywords: Technological Control; Self-compacting concrete; Concrete Walls; Compliance; Quality Indicators

.

1 INTRODUÇÃO

O uso de materiais à base de cimentos é bem antigo. Os egípcios utilizavam gesso impuro, os gregos e romanos utilizavam calcário calcinado e depois começaram a adicionar areia e pedra fragmentada ou fragmentos de tijolos ou telhas à mistura com água, formando, assim, o primeiro concreto da história (NEVILLE, 2016).

Atualmente, o concreto se apresenta como material de construção mais amplamente usado no país e no mundo. O seu alto índice de consumo pode ser atribuído as suas propriedades, como: boa resistência; durabilidade quando submetido a agentes agressivos; boa trabalhabilidade, adaptando-se a várias formas, conferindo liberdade na concepção do projeto; além das vantagens de seu baixo custo de fabricação (BATTAGIN, 2009; MANDAL et al., 2023).

Com o avanço no desenvolvimento do concreto como material estrutural, desencadeou a necessidade do seu aperfeiçoamento a fim de garantir o atendimento aos requisitos básicos de durabilidade e segurança (ISAIA, 2011). Tais características podem ser afetadas por fatores, como baixa qualidade dos materiais constituintes, projeto inadequado e falta de conhecimento pelos construtores (NEVILLE, 2010). De acordo com Mandal et al. (2023) e Cui et al. (2024),

as propriedades do concreto são diretamente influenciadas pela seleção e proporção dos materiais constituintes, bem como pelas características do concreto no estado fresco, sendo o controle de parâmetros reológicos importante para garantir adequado comportamento durante a mistura, transporte, lançamento e adensamento.

Nesse contexto, o controle de produção do concreto assume função primordial na certificação do desempenho estrutural, a fim de garantir a longevidade e o atendimento aos padrões estabelecidos pelas normas regulamentadoras vigentes. Para Pereira (2008), a responsabilidade pela gestão de ensaios padronizados em laboratórios pertence tanto ao fornecedor do produto, como aos envolvidos na concepção da estrutura, devendo ser conferidas as características e propriedades do concreto de forma sistêmica, determinando sua aceitação. Atualmente, os procedimentos de preparo, controle, recebimento e aceitação do concreto são estabelecidos pela NBR 12655 (ABNT, 2022), reforçando a importância do controle sistemático das características do concreto produzido e empregado nas estruturas.

Aspectos envolvendo a comparação de resultados obtidos com as especificações previamente estabelecidas são passíveis de investigação e aprofundamento, a fim de fornecer subsídios para que se possa desenvolver intervenções corretivas e preventivas. Assim, para evitar manifestações de problemas estruturais, o controle tecnológico do concreto é necessário para a compreensão de possíveis erros e busca por soluções (SANTIAGO, 2011). Nesse sentido, ressalta-se a importância do controle das propriedades do concreto no estado fresco, principalmente em concretos especiais, nos quais parâmetros como fluidez, viscosidade e estabilidade podem influenciar diretamente o processo de lançamento e o desempenho do material (MANDAL et al., 2023; CUI et al., 2024).

No caso do concreto Autoadensável (CAA), que é uma tecnologia que teve origem no Japão na década de 1980 e, no Brasil, seu uso tem aumentado gradualmente. Ele surgiu da necessidade de obter estruturas mais duráveis e menor tempo de execução, utilizando a proporção otimizada dos componentes e sem a necessidade de adensamento mecânico do concreto. Logo, tornou-se um importante instrumento para a construção civil devido a sua capacidade de preenchimento, habilidade de passar por obstáculos e resistência à segregação, além de sua capacidade de reduzir a necessidade de mão de obra e o tempo de execução em determinadas aplicações (GOMES; BARROS, 2009; TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2021; RUSLAN et al., 2024).

De acordo com Tutikian e Molin (2021), o Concreto Autoadensável (CAA) é considerado uma tecnologia que pode proporcionar propriedades diferentes se apresentar simultaneamente fluidez, coesão e resistência à segregação. Nesse sentido, o CAA deve ser capaz de fluir com facilidade pelas formas, preencher todos os espaços vazios e passar pelas armaduras sem que haja obstrução do fluxo ou segregação; para isso, utiliza seu próprio peso e dispensa o uso de vibradores ou qualquer tipo de equipamento para o seu adensamento. Estudos recentes corroboram essa definição, destacando que o CAA depende de propriedades como capacidade de preenchimento, habilidade passante e resistência à segregação para garantir seu adequado comportamento no estado fresco (ZHANG et al., 2021; MANDAL; PANDA; NAYAK, 2023).

Embora a literatura apresente estudos sobre as propriedades, produção e comportamento do concreto autoadensável, e as normas técnicas estabeleçam procedimentos para sua especificação, execução, controle, recebimento e aceitação, observa-se a necessidade de ampliar a avaliação desses procedimentos em condições reais de obra. Particularmente, verifica-se a importância de análises que não se limitem à verificação isolada de conformidade normativa, mas que integrem as práticas efetivamente adotadas no canteiro, a identificação de não conformidades, a quantificação do atendimento por meio de indicadores e a avaliação de seus potenciais impactos sobre o desempenho e a durabilidade da estrutura.

Nesse contexto, este estudo teve como objetivo analisar as práticas de controle tecnológico adotadas na produção e aplicação de concreto autoadensável em uma obra de paredes de concreto localizada em Vila Velha–ES, verificando sua conformidade com os requisitos normativos, identificando não conformidades e avaliando seus potenciais impactos. Para tanto, foram analisados os procedimentos de especificação, planejamento, recebimento, ensaios de controle tecnológico, lançamento, cura e rastreabilidade do concreto, por meio de observação direta, entrevistas semiestruturadas e análise documental. Adicionalmente, foram estabelecidos indicadores quantitativos de atendimento para sistematizar os resultados e identificar os principais pontos críticos do processo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nas civilizações primitivas, utilizava-se como materiais de construção, a pedra, a madeira e o barro. Ao longo do tempo, foram aumentadas as exigências, bem como, as descobertas do homem, passando a demandar materiais de maior resistência, maior durabilidade e melhor aparência. Novos materiais foram incorporados, surgindo, assim, o concreto, o qual trouxe muitas possibilidades para as obras, com repercussão nas propriedades e na produtividade de execução. Há consenso em afirmar que o concreto é o material de construção mais utilizado no mundo (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2021; SKRZYPCZAK et al., 2021).

Por se tratar de um material largamente utilizado, faz-se necessário desenvolver o controle tecnológico durante sua dosagem e execução, que corresponde a um processo que visa ao registro e à garantia da conformidade e das ações corretivas dos concretos produzidos e aplicados nas obras, compreendendo os serviços relacionados às especificações técnicas de projeto, que são as propriedades, características e respectivas idades do concreto fresco ou endurecido, buscando atender os parâmetros de desempenho, uso, manutenção e durabilidade (SANTIAGO; BECK, 2017; PACHECO et al., 2019, 2019; SKRZYPCZAK et al., 2020).

Para que a qualidade seja garantida na construção civil é necessário ter como referencial uma documentação técnica que estabeleça procedimentos, especificações e responsabilidades a serem atendidos (REGATTIERI; MARANHÃO, 2011). Ao se tratar do concreto, o resultado dos corpos de prova amostrados, curados, rompidos e interpretados corretamente equivale aos parâmetros exigidos pela NBR 6118 (NETO, 2007; ABNT, 2023). Estudos recentes também demonstram a importância do acompanhamento sistemático dos resultados de resistência e de outros parâmetros de qualidade para a avaliação da conformidade do concreto produzido (PACHECO et al., 2019; SKRZYPCZAK et al., 2021).

Segundo Neto (2007) e Pacheco et al. (2019), quando não ocorre o controle tecnológico do concreto, surge a possibilidade de risco na obra, como baixa resistência da estrutura, fissuração excessiva, durabilidade comprometida, custos adicionais e atrasos. Assim, o conhecimento e a compreensão acerca da qualidade do concreto têm evoluído com o passar do tempo. Esse progresso da tecnologia implica em uma melhor compreensão dos materiais, propriedades e métodos de produção do concreto, bem como às exigências das normas para garantir a qualidade e o desempenho do material (NEVILLE, 2016; VEREECKEN; CASPEELE, 2022).

Vale ressaltar que, para a engenharia civil, a qualidade pode ser entendida como adequação ao uso, o que significa ser funcional, ter resistência estrutural adequada (atender à resistência do projeto), ser durável, ter o preço acessível e possuir baixo custo de operação e manutenção (WALLY et al., 2022). Nesse contexto, abordagens recentes destacam a necessidade de avaliar o concreto não apenas pela resistência mecânica, mas também por parâmetros relacionados ao desempenho e à durabilidade ao longo da vida útil da estrutura (VEREECKEN; CASPEELE, 2022; WALLY; MAGALHÃES; SILVA FILHO, 2022).

Segundo Regattieri e Maranhão (2011) e SKRZYPCZAK et al. (2020), PACHECO et al. (2019), a fim de obter um concreto com características homogêneas se faz necessário assegurar a uniformidade dos materiais, as proporções adequadas destes, a padronização da mistura e uma análise precisa dos resultados dos ensaios de caracterização. Quando uma prestadora de serviços de concretagem é contratada, esta passa a ser responsável desde a caracterização dos materiais constituintes, estocagem, estudo de dosagem, validação do traço, mistura dos componentes, até o transporte ao destino (ABNT, 2021).

As principais vantagens dos concretos dosados em centrais são: Velocidade (capacidade de preparo e transporte de um grande volume de concreto em curto espaço de tempo); economia (o fornecimento de concretos em alta escala propicia uma melhor negociação de preço, maior sincronização entre as atividades e melhor uso dos recursos humanos); versatilidade (disponibilidade de diferentes tipos de equipamentos que atendem altas distâncias verticais); racionalização dos canteiros de obras (como o estoque e produção do material é feito fora da obra, o espaço do canteiro pode ser usado para desempenho de outras atividades); suporte técnico (uma empresa fornecedora capacitada possui departamento técnico com plenas condições de auxiliar a contratante na busca de soluções que visem aprimorar o processo de fornecimento do concreto) e qualidade (o controle da operação que inclui estudos prévios de dosagem, a seleção adequada de materiais e a correta proporção dos materiais resultam em concretos mais qualificados) (REGATTIERI; MARANHÃO, 2011).

3 METODOLOGIA

A pesquisa foi dividida em etapas, como descrito a seguir.

O estudo teve início com uma revisão em livros, anais, artigos científicos, dissertações, revistas técnicas e em normas regulamentadoras. Essa etapa teve como finalidade identificar os principais procedimentos, requisitos normativos e critérios relacionados ao controle tecnológico e à execução de estruturas de concreto, subsidiando tanto a elaboração dos instrumentos de coleta de dados quanto os critérios utilizados posteriormente para análise dos resultados.

Como base fundamental para elaboração do trabalho, destacaram-se as seguintes referências: “Manual de Dosagem e Controle do Concreto”, de Helene e Terzian (1993); “A Evolução do Concreto Estrutural”, editado por Isaia (2011); além das normas: NBR 14931 “Execução de estruturas de concreto armado, protendido e com fibras – Requisitos” (ABNT, 2023); NBR 7212 “Concreto dosado em central – Preparo, fornecimento e controle” (ABNT, 2021); e NBR 12655 “Concreto de Cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento” (ABNT, 2022).

A partir do referencial teórico, foram definidas as informações imprescindíveis para a pesquisa a fim de embasar a elaboração de questões para posterior coleta de dados por meio de entrevista semiestruturada.

Quanto à abordagem metodológica, a pesquisa caracteriza-se como um estudo de caso de abordagem mista, com caráter descritivo e exploratório, uma vez que foram analisados, em uma unidade-caso específica, procedimentos de controle tecnológico do concreto por meio da integração de dados qualitativos e quantitativos. A adoção da abordagem mista justifica-se pela necessidade de compreender, simultaneamente, aspectos relacionados às práticas, procedimentos e percepções dos profissionais envolvidos e aspectos mensuráveis relacionados à ocorrência de não conformidades, ao atendimento aos requisitos normativos e aos resultados dos ensaios realizados. A utilização de diferentes fontes de evidência, como a observação direta, entrevistas e análise documental, também permitiram a triangulação dos dados, contribuindo para maior consistência e confiabilidade dos resultados.

Para definir a unidade-caso, que é a obra selecionada para a pesquisa, foram considerados os seguintes requisitos: localizada no município de Vila Velha – ES; permitir visitas durante a realização das atividades; ter um laboratorista em tempo integral para realizar os ensaios no canteiro; o concreto ser proveniente de central; permitir consulta a documentos e projetos referentes ao controle tecnológico do concreto e permitir acesso às instalações, bem como a anuência para observar e registrar as atividades diárias da central.

Os dados desta pesquisa foram obtidos por meio de visitas e acompanhamento dos serviços de concretagem à obra selecionada, com uso de observação direta com registros fotográficos, entrevistas e análise de documentos.

Na observação direta, o objetivo foi checar o padrão de recebimento do caminhão-betoneira na obra, envolvendo a conferência da nota fiscal entregue e a execução dos ensaios de abatimento (Slump Test), de espalhamento (Flow Test) e de resistência à compressão axial. Também foi analisado o procedimento do controle estatístico das betonadas, incluindo a execução da moldagem e armazenamento dos corpos de prova.

Por fim, foi observada a etapa de lançamento, com maior atenção para a passagem das instalações (elétrica e hidráulica), colocação e preenchimento das formas e a organização da equipe, que são aspectos descritos pelas normas: NBR 12655 (ABNT, 2022), NBR 16055 (ABNT, 2022) e NBR 14931 (ABNT, 2023).

As entrevistas foram elaboradas com questões semiestruturadas para guiar o entrevistado e dar liberdade para desenvolver cada ponto, estabelecendo assuntos voltados para o tema pesquisado, porém, deixando o entrevistador livre para desenvolver a resposta, ampliando a dimensão do que está posto. As perguntas foram construídas a fim de facilitar as entrevistas realizadas nos locais de amostragem.

Para assegurar maior rigor na condução das entrevistas, o roteiro foi estruturado previamente a partir das categorias e requisitos identificados na revisão bibliográfica e nas normas técnicas utilizadas como referência. As perguntas foram organizadas por eixos temáticos, contemplando o recebimento do concreto, os ensaios de controle tecnológico, os procedimentos de moldagem e armazenamento dos corpos de prova, a documentação, o lançamento e o controle da qualidade. Durante as entrevistas, buscou-se manter a mesma estrutura temática entre os participantes, permitindo a posterior comparação das respostas. Quando necessário, foram realizadas perguntas complementares para esclarecer informações, confirmar procedimentos relatados ou aprofundar aspectos relacionados às não conformidades identificadas durante a observação direta e a análise documental.

É válido destacar, também, que os entrevistados deveriam ser os responsáveis pelo local, podendo exercer cargos como gerente, técnico, laboratorista ou engenheiro. Na obra, os entrevistados foram: o Engenheiro da obra, o laboratorista e o técnico em edificações, sendo que esse foi o responsável por responder a maior parte das questões. A participação de profissionais com diferentes funções relacionadas à execução e ao controle tecnológico possibilitou a obtenção de informações sob diferentes perspectivas, contribuindo para a triangulação das informações obtidas nas entrevistas com aquelas provenientes da observação e dos documentos analisados.

O questionário referente à obra possui questões sobre motivo da escolha da central fornecedora de concreto e o cronograma de concretagem; segue com perguntas sobre o processo de recebimento e aceitação do concreto, equipamentos de adensamento e documentação; e finaliza com perguntas sobre controle de qualidade e ensaios realizados na obra.

Quanto a análise de documentos, foram utilizados dados primários e secundários a fim de obter uma compreensão abrangente e robusta do caso em estudo. Os dados primários geralmente fornecem informações específicas e detalhadas, enquanto os secundários podem fornecer contexto, informações complementares e comparações históricas ou de referência.

O objetivo era buscar os seguintes documentos na unidade-caso: Certificado de calibração dos equipamentos; relatório de ensaios de controle tecnológico; carta traço; projeto de forma e mapa de concretagem.

Os certificados de calibração dos equipamentos foram procurados para extrair informações acerca de manutenção preventiva e interesse da empresa com a segurança. Os relatórios de ensaio e a carta traço foram averiguados para entender como cada empresa organiza os dados referentes a cada documento. O projeto de forma foi examinado para entender a estrutura da obra e, o mapa de concretagem, para analisar a maneira como organizam a rastreabilidade do concreto.

Após as atividades em campo, os materiais levantados foram organizados para constituição da base de dados e, em seguida, para o seu tratamento e análise. Por se tratar de uma abordagem mista, os elementos qualitativos e quantitativos coletados necessitam de análises de maneiras diferentes, apesar de todos os dados se complementarem.

Para a investigação dos dados qualitativos, foi utilizada a análise categorial temática, na qual as informações provenientes das entrevistas, observações e documentos foram organizadas em categorias previamente definidas a partir dos objetivos da pesquisa e dos requisitos estabelecidos nas normas técnicas. As evidências foram então confrontadas entre si, buscando-se identificar convergências, divergências e situações de não conformidade. Para os dados quantitativos, foram utilizadas estatísticas descritivas, com cálculo de frequências absolutas e relativas das ocorrências identificadas. A análise foi realizada de forma integrada, relacionando os resultados quantitativos às evidências qualitativas e documentais obtidas durante o estudo de caso.

Vale destacar que, por se tratar de variáveis qualitativas em sua maioria, a análise de dados se dá pela comparação dos procedimentos (como recebimento do caminhão, ensaios de controle tecnológico, moldagem e armazenamento dos corpos de prova) com as respectivas normas descritas; além dos textos expostos no referencial.

Como forma de complementar a análise qualitativa, foram estabelecidos indicadores quantitativos para mensurar o nível de atendimento aos requisitos avaliados. Para cada requisito observado foi atribuído o enquadramento como “conforme”, “não conforme” ou “não aplicável”. A partir desses registros, foram calculados a frequência de conformidades e não conformidades e o percentual de atendimento aos requisitos, conforme as expressões 1 e 2.

Percentual de conformidade (%) = (número de requisitos conformes / número total de requisitos aplicáveis) × 100 (1)

Percentual de não conformidade (%) = (número de requisitos não conformes / número total de requisitos aplicáveis) × 100 (2)

Quando aplicável, também foi contabilizada a frequência de ocorrência de cada tipo de não conformidade, permitindo identificar quais procedimentos apresentaram maior recorrência. Esses indicadores foram utilizados como complemento aos resultados qualitativos, não tendo como finalidade substituir a análise interpretativa das evidências coletadas.

Essa análise abrange a confirmação de características de cada objeto investigado e verifica a compatibilidade das práticas adotadas com o que determinam as prescrições normativas e sugestões presentes na bibliografia do tema.

As não conformidades identificadas foram também analisadas quanto ao seu potencial impacto sobre a qualidade, a segurança, a durabilidade e a rastreabilidade das estruturas de concreto. Para essa avaliação, cada ocorrência foi classificada considerando sua natureza e sua possível consequência no processo executivo. Foram consideradas de maior relevância as não conformidades capazes de comprometer diretamente as propriedades do concreto, a aceitação dos elementos estruturais, a confiabilidade dos resultados dos ensaios, a rastreabilidade do material ou a segurança da estrutura. Dessa forma, a análise não se restringiu à identificação da

existência da não conformidade, buscando também compreender sua possível repercussão no desempenho e no controle tecnológico da estrutura.

Por fim, os resultados provenientes das entrevistas, observações, documentos e indicadores quantitativos foram confrontados entre si, constituindo uma estratégia de triangulação das evidências. Essa abordagem permitiu verificar se as práticas declaradas pelos profissionais eram compatíveis com aquelas observadas em campo e registradas documentalmente, aumentando o rigor da análise e a confiabilidade das conclusões obtidas no estudo de caso.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS DADOS

O modelo estrutural da construção é de paredes de concreto, em que se utilizam jogos de formas, armação e instalações elétricas e hidráulicas e, ao final, a estrutura é concretada. Na Figura 1a pode ser vista a elevação da estrutura e na Figura 1b observa-se o jogo de formas metálicas já montado no local.

Figura 1 – 1a) Elevação da estrutura, 1b) Jogo de formas metálicas já montado no local.



1a



1b

Fonte: Autores.

A empresa atua no mercado mobiliário desde 1979 e está presente em mais de 160 cidades brasileiras. A obra em questão se caracteriza por ter: 3 torres de edifícios residenciais, sendo cada uma composta por 11 pavimentos de 8 apartamentos cada, totalizando 264 apartamentos e técnico laboratorista presente na obra para realizar os ensaios, bem como a estrutura necessária para isso.

Foi observada a concretagem da laje e das paredes do 5º tipo com concreto autoadensável bombeado pela central.

A empresa de serviço de concretagem dispõe de centrais automatizadas com alta capacidade produtiva e oferecem serviço de bombeamento que garante o atendimento a pequenas, médias e grandes obras. A central se caracteriza por atuar há 47 anos no mercado, ter matriz localizada em São Paulo e estar presente em 10 cidades no Espírito Santo.

A unidade é permanente e possui um sistema de operação automatizado. Além disso, a central é dosadora de concreto, ou seja, a mistura e a homogeneização dos materiais são feitas dentro dos próprios caminhões betoneira.

Conforme Regattieri e Maranhão (2011) e Borges (2009), centrais que dispõem de equipamentos específicos para mistura do concreto apresentam maior eficiência nessa etapa. Além disso, segundo esses estudos, centrais misturadoras produzem concreto mais homogêneo e com menor variabilidade, quando comparadas às dosadoras.

Com relação ao cimento utilizado, este é recebido a granel. Na solicitação do concreto à central, os requisitos comumente especificados pelos clientes são a resistência característica à compressão e a consistência no estado fresco. Em alguns casos, a contratante informa o consumo mínimo de cimento, a dimensão máxima do agregado graúdo e a modalidade de lançamento.

Os tipos de concreto produzidos pela central são: convencional, bombeável, autoadensável, para pisos e pavimentos, extrusados, de alto desempenho, de baixa permeabilidade, permeável, colorido, leve, pesado, com fibras, projetado, compactado com rolo e resfriado com gelo. É válido ressaltar que nessa empresa, o concreto mais solicitado é o bombeável, seguido do convencional.

A preparação do concreto inicia com o posicionamento do caminhão betoneira para que ocorra o carregamento pneumático. O procedimento padrão inicia com 80% da água dosada no caminhão, em seguida, o cimento cai por pressão no mesmo instante em que os agregados são adicionados através de uma esteira transportadora. Por fim, cerca de 10% da água é depositada no tambor do caminhão, o restante da água é retido para permitir complementação na obra, caso seja necessário e os aditivos também são adicionados na obra. Esse processo está de acordo com a NBR 7212 (ABNT, 2021).

Para Regattieri e Maranhão (2011), a melhor ordem de colocação dos materiais na betoneira leva em conta aspectos técnicos e práticos. O aconselhável é começar pelo lançamento de parte da água, em seguida depositar o agregado graúdo e o cimento para melhor aderência da pasta à superfície dos grãos, e finalmente lançar a areia e o restante da água com aditivo diluído. Desta forma, conclui-se que a sequência adotada pela central segue o recomendado, de acordo com o que foi informado nas entrevistas.

Quanto ao transporte, a logística adotada pela empresa para definição do trajeto até o destino considera a duração e as condições do percurso. Além disso, são considerados a restrição de horário e o peso bruto permitido em determinadas vias.

Quando o concreto é mantido em estado de agitação em mistura constante, pode ocorrer perda de abatimento – visualizada no Slump –, o que, geralmente, não representa risco grave para o lançamento e adensamento do concreto durante os primeiros 90 minutos (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Considerando a recomendação da NBR 7212 (ABNT, 2021), a central controla o tempo decorrido entre a primeira adição de água e a entrega do material, para que ocorra em, no máximo, 90 minutos.

4.1 Análise dos projetos estruturais

Conforme a NBR 6118 (ABNT, 2023), os projetos estruturais da obra analisada continham os valores referentes à resistência característica à compressão, cobrimento nominal e dimensão máxima característica do agregado.

Os valores observados encontram-se no Quadro 1.

Quadro 1 – Parâmetros identificados no projeto

Parâmetros	Obra
fck	Varia de 20 a 35 MPa (dependendo do pavimento)
a/c máxima	Não informado
Ccim mínimo	Não informado
Cnom	Paredes: 5,0 cm; Lajes: 2,5 cm; Pilares: 3,0 cm; Vigas: 3,0 cm
dmáx	12,5 mm
Eci	Não informado

Fonte: Autores.

A NBR 6118 (ABNT, 2023) delimita os valores que os parâmetros relacionados à durabilidade e resistência devem atender, em função da classe de agressividade ambiental (CAA) onde o projeto será implantado, que neste estudo é o município de Vila Velha – ES. Assim, entrou-se em contato com o técnico responsável para identificação da classe de agressividade ambiental referente a Vila Velha, o qual informou que, por se caracterizar meio urbano, a agressividade do ambiente da região é classificada como moderada (Classe de Agressividade II).

O Quadro 2 apresenta a avaliação dos parâmetros identificados no projeto em relação aos requisitos normativos e os respectivos indicadores utilizados na análise.

Quadro 2 – Atendimento e indicadores dos parâmetros de projeto

Parâmetro	Resultado da análise	Indicador
fck	Necessita verificação*	Verificável
a/c máxima	Não informado	Lacuna documental
Ccim mínimo	Não informado	Lacuna documental
Cnom	Atende	Conforme
dmáx	Atende	Conforme
Eci	Não informado	Lacuna documental

* O fck varia de 20 a 35 MPa entre os pavimentos, sendo necessária a identificação dos elementos que apresentam fck = 20 MPa para confirmação do atendimento aos requisitos correspondentes à classe de agressividade ambiental adotada.

Fonte: Autores.

Conforme os resultados apresentados no Quadro 2, nota-se que os projetistas contratados pela obra estudada atenderam aos requisitos analisados da NBR 6118 (ABNT, 2023) quanto ao cobrimento nominal e à dimensão máxima característica do agregado. O fck, entretanto, necessita de verificação individualizada, pois apresentou valores entre 20 e 35 MPa, dependendo do pavimento. Considerando a Classe de Agressividade Ambiental II adotada no estudo, a ocorrência do fck de 20 MPa deve ser investigada quanto à sua compatibilidade com os requisitos mínimos estabelecidos para essa condição de exposição.

A relação água/cimento máxima, o consumo mínimo de cimento e o módulo de elasticidade não puderam ser avaliados devido à ausência dessas informações no projeto. Essas ocorrências não foram classificadas como não conformidades, uma vez que a ausência do registro não permite afirmar que os valores efetivamente utilizados tenham descumprido os requisitos normativos. Entretanto, constituem lacunas documentais que reduzem a rastreabilidade e a capacidade de comprovação da conformidade do concreto.

Considerando os seis parâmetros analisados, dois apresentaram atendimento comprovado (33,3%), três permaneceram não verificáveis (50,0%) e um requer verificação específica (16,7%). Esses percentuais devem ser interpretados como indicadores do grau de verificabilidade dos parâmetros analisados, e não como um índice geral de qualidade da obra,

uma vez que os parâmetros possuem diferentes funções e níveis de importância para o desempenho estrutural.

Segundo Pacheco e Helene (2013), uma estrutura de concreto é tida como uma obra de qualidade se atender aos requisitos relativos à sua capacidade resistente, à durabilidade e a um bom desempenho em serviço. Desse modo, é válido ressaltar a importância da correta estimativa da resistência mecânica por ser um parâmetro diretamente ligado à capacidade resistente do concreto, o que corresponde ao critério de segurança Estado Limite Último (ELU) necessário para garantir a estabilidade da estrutura (CAMACHO, 2005).

Conforme Pacheco e Helene (2013), a determinação adequada do módulo de elasticidade também tem relevância significativa, pois indica a deformabilidade da estrutura quando submetida a uma tensão. Outro fator considerado essencial no dimensionamento da estrutura é a espessura nominal de cobrimento, que garante a integridade das barras de aço, contribuindo para a durabilidade do empreendimento.

A importância desses parâmetros também é reconhecida internacionalmente. O ACI 318-19 (2019) estabelece requisitos associados à resistência, às condições de exposição, à relação água/materiais cimentícios e à proteção das armaduras, enquanto o fib Model Code 2020 adota uma abordagem mais ampla, relacionando durabilidade, desempenho, condições ambientais e vida útil das estruturas (ACI, 2019; FIB, 2020). O fib destaca, ainda, a necessidade de considerar a durabilidade não apenas na etapa de projeto, mas também na avaliação e no gerenciamento das estruturas ao longo de sua vida útil.

No caso das paredes de concreto, a relação a/c comumente usada varia entre 0,35 e 0,50, para garantir fluidez e trabalhabilidade. A água necessária para a hidratação completa do cimento requer a relação a/c de aproximadamente 0,25, porém, em geral, adota-se um valor superior por questões de trabalhabilidade, ou seja, para facilitar o manuseio do concreto (ISAIA, 2011).

Em casos de especificação superior ao limite estabelecido pela NBR 6118 (ABNT, 2023), o aumento da quantidade de água em relação ao cimento pode favorecer a formação de uma estrutura de poros mais permeável, aumentando a possibilidade de ingresso de agentes agressivos e, conseqüentemente, de deterioração do concreto (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Nesse sentido, a ausência da relação água/cimento no projeto representa uma limitação para a avaliação da durabilidade, mas não permite concluir que o concreto utilizado tenha apresentado desempenho inadequado. A literatura ressalta que a relação água/cimento é um parâmetro relevante, porém seu efeito sobre a durabilidade deve ser analisado conjuntamente com fatores como composição do concreto, grau de hidratação, cura, cobrimento e condições de exposição (NEVILLE, 1999; MEHTA; MONTEIRO, 2014). Essa abordagem é consistente com o fib Model Code 2020, que considera diferentes mecanismos de deterioração e propriedades de desempenho na avaliação da durabilidade.

Quanto ao impacto das ocorrências identificadas, a possível utilização do fck de 20 MPa em elementos submetidos à Classe de Agressividade Ambiental II apresenta maior relevância, por envolver aspectos relacionados à resistência e à durabilidade da estrutura. Entretanto, a adequação desse valor aos requisitos normativos deve ser verificada de acordo com as características específicas dos elementos estruturais e com os critérios estabelecidos pela NBR 6118 (ABNT, 2023). Como não foi possível identificar, a partir dos documentos analisados, quais elementos e pavimentos apresentavam fck de 20 MPa, essa ocorrência foi classificada como “necessita verificação”, não sendo possível caracterizá-la, neste estudo, como não conformidade efetivamente comprovada. As demais ocorrências apresentam impacto potencial predominantemente relacionado à rastreabilidade e à impossibilidade de comprovação documental, não sendo possível afirmar que tenham provocado comprometimento efetivo da estrutura.

A comparação com a literatura internacional também evidencia que o atendimento de requisitos prescritivos não deve ser interpretado isoladamente como garantia de desempenho. O fib Model Code incorpora uma perspectiva de ciclo de vida e contempla especificações de desempenho e controle da conformidade da durabilidade, reforçando a necessidade de associar os requisitos de projeto ao controle efetivo das condições de execução e exposição (FIB, 2020).

Além disso, considerando o exposto, a correta especificação das características nos projetos analisados da obra contribui para o desejável desempenho da estrutura e reduz a probabilidade de surgimento de patologias.

De forma geral, os resultados demonstram atendimento aos requisitos analisados para o cobrimento nominal e a dimensão máxima característica do agregado, enquanto o fck requer verificação específica e três parâmetros permaneceram não verificáveis. A análise evidencia que a avaliação da conformidade deve considerar não apenas a quantidade de parâmetros atendidos, mas também a relevância técnica das ocorrências e seu potencial impacto sobre a segurança, a durabilidade e a rastreabilidade do controle tecnológico.

4.2 Análise das práticas adotadas na obra

Como o sistema estrutural utilizado é composto por paredes de concreto, se faz necessária uma programação intensa de concretagem. Conforme o técnico, a empresa, no início da obra, adotava-se o seguinte planejamento para cada pavimento: no primeiro dia eram concretados quatro apartamentos, a escada, o hall e o elevador; após três dias, eram concretados os outros quatro apartamentos restantes e, assim, o pavimento era finalizado.

Seguindo esse planejamento, cada pavimento era finalizado em uma semana. Porém, a fim de tornar mais eficiente o processo, a empresa decidiu adotar um novo planejamento: no primeiro dia são concretados dois apartamentos, a escada, o hall e o elevador; no segundo dia são concretados mais dois apartamentos e, nos dois dias seguintes, dois apartamentos por dia, finalizando o pavimento.

Para esse novo modelo, o tempo de concretagem é de cinco dias. Para o primeiro dia, são utilizados sete caminhões com capacidade de 8 m³ cada, totalizando 56 m³ de concreto. Para os dias posteriores, são utilizados quatro caminhões com 8 m³ de capacidade cada, totalizando, em média, 152 m³ de concreto por pavimento.

Antes do início das concretagens, houve uma reunião em que os valores de classe de agressividade ambiental, dimensão máxima característica do agregado gráudo, classe de consistência do concreto fresco e classe de espalhamento foram passados à central. A partir desse contato inicial, a programação de concretagem começou a ser efetuada de modo mais facilitado. A cada semana, ao solicitar o concreto à central, apenas a resistência do concreto à compressão e o volume total são transmitidos. Essas informações podem ser encontradas no Quadro 3.

Quadro 3 – Informações fornecidas à central na solicitação do concreto

Parâmetros	É informado no momento da solicitação?
Composição do traço	Não
Consistência no estado fresco	Não
Consumo de cimento	Não
Dimensão máxima do agregado	Não
Módulo de elasticidade	Não
Resistência característica à compressão	Sim
Volume total	Sim

Fonte: Autores.

Apesar de não serem informados todos os parâmetros a cada solicitação, as características transmitidas correspondiam ao que fora previamente definido em projeto, inclusive quanto às condições de aplicação do concreto. Entretanto, considerando os sete parâmetros investigados, somente dois (28,6%) eram explicitamente informados no momento da solicitação. Os demais dependiam das especificações previamente estabelecidas com a central, o que reduz a rastreabilidade das informações em cada pedido, embora não permita afirmar, isoladamente, a existência de não conformidade do concreto fornecido.

Quanto aos critérios de escolha da central dosadora, a obra analisada teve como fator decisivo a localização, tendo em vista que o trajeto dura cerca de 15 a 20 minutos da central à obra. Conforme a ABESC (2007), a prestadora de serviço de concretagem deve ser escolhida considerando a infraestrutura da central, sua localização em relação à obra, o nível de controle tecnológico, entre outros aspectos. Nesse caso, o gerente da obra levou em consideração apenas um dos itens.

A escolha baseada predominantemente na localização constitui uma fragilidade no processo de seleção do fornecedor, uma vez que fatores relacionados à capacidade produtiva, ao controle tecnológico e à confiabilidade do fornecimento também devem ser considerados. Essa perspectiva é compatível com Pedroso (2024), que destaca a importância do controle tecnológico e da qualidade dos materiais empregados, e com o fib Model Code (2020), que associa a gestão da qualidade da execução à documentação, ao controle e ao planejamento da durabilidade (PEDROSO, 2024; FIB, 2020).

De acordo com a NBR 7212 (ABNT, 2021), o concreto deve ser solicitado especificando a resistência à compressão na idade de controle, classe de agressividade ambiental, dimensão máxima característica do agregado graúdo, classe de consistência e classe de espalhamento. Embora esses parâmetros tenham sido previamente definidos com a central, a solicitação semanal não reiterava todas essas informações, sendo transmitidos apenas o fck e o volume. Assim, a prática observada apresenta uma lacuna na formalização e na rastreabilidade das informações do pedido.

Atendendo às recomendações da NBR 14931 (ABNT, 2023), nos momentos que antecederam à concretagem, a obra visitada tomou alguns cuidados preliminares quanto ao sistema de forma, armadura, escoramento e instalações. Esses cuidados se caracterizam como conferência das dimensões, nivelamento e prumo das formas, além da aplicação de desmoldante e verificação do espaçamento das armaduras. Segundo Neto (2007), o correto espaçamento entre as barras de aço, em relação à dimensão máxima do agregado graúdo utilizado, reduz a possibilidade de ocorrência de vazios na parte superior do elemento estrutural.

Quanto ao sistema de formas, a NBR 14931 (ABNT, 2023) prevê que, se constituído por materiais que absorvam umidade, é necessário molhá-lo até a saturação antes da concretagem. O sistema da obra é composto por formas metálicas, não sendo necessário molhá-las, sendo aplicado desmoldante a fim de facilitar a retirada após a concretagem.

O responsável por realizar todas essas verificações é o técnico em edificações da obra, que examina todos os pavimentos antes da concretagem e permanece na laje durante a concretagem para garantir o cumprimento das normas.

As verificações realizadas antes da concretagem constituem um aspecto positivo do processo, pois demonstram a existência de uma etapa sistemática de inspeção das condições de execução. Essa prática é coerente com o fib Model Code 2020, que considera o planejamento, a execução e o controle da qualidade como componentes importantes para o desempenho e a durabilidade das estruturas (FIB, 2020).

Quanto ao recebimento, observou-se como procedimento padrão na obra a preparação do canteiro para facilitar o acesso dos caminhões-betoneira e da bomba lança para concreto ao

local de descarga. Para tal, existe um caminho fixo que permite livre movimentação horizontal e vertical dos veículos, atendendo ao preconizado na NBR 14931 (ABNT, 2023).

Durante o recebimento dos caminhões na obra, foi conferido o lacre, além de todas as informações contidas no documento fiscal entregue pela prestadora de serviço. Tal documentação continha os itens exigidos pela NBR 7212 (ABNT, 2021), como resistência característica à compressão, volume de concreto, classe de consistência, horário da primeira adição de água e quantidade máxima de água complementar a ser adicionada na obra. Além das informações obrigatórias, também constavam na nota o tipo de cimento e o agregado graúdo utilizados.

Para aceitação preliminar do lote, a obra verificou a consistência do concreto através do abatimento do tronco de cone (*Slump Test*) antes do início da descarga de todas as betonadas, em conformidade com o que preconiza a NBR 12655 (ABNT, 2022). O responsável pela execução desse e dos outros ensaios de controle tecnológico era o técnico do laboratório contratado pela obra (terceirizado), que era um trabalhador fixo na obra, tendo seu ambiente próprio de trabalho dentro do canteiro.

Ao ser observada cada etapa da realização do ensaio, constatou-se que o técnico de laboratório seguiu as prescrições da NBR 16889 (ABNT, 2020). Para a obra, a medição do *Slump* esperada é de 100 ± 20 mm. Todavia, um dos abatimentos medidos durante as cinco concretagens acompanhadas ficou fora da faixa permitida, correspondendo a um atendimento inicial de 80%.

Quando o responsável pelo recebimento e o laboratorista se depararam com a situação de medição abaixo do especificado, foi solicitada a rotação contínua do caminhão-betoneira por alguns minutos, seguida da adição de água e, posteriormente, foi realizado novo ensaio. Na segunda medição, a consistência desejada foi atingida. Mehta e Monteiro (2014) afirmam que a perda de abatimento é um fenômeno normal nos concretos, relacionado ao enrijecimento gradual da pasta de cimento hidratada, mas deve ser controlado para evitar alterações indesejadas no desempenho do material.

A ocorrência observada foi corrigida antes do lançamento, reduzindo seu impacto imediato sobre a estrutura. Entretanto, a adição de água após a chegada do concreto deve ser rigorosamente controlada, pois alterações na relação água/cimento pode modificar propriedades do concreto endurecido. Dessa forma, o episódio foi classificado como uma não conformidade inicial controlada, uma vez que foi identificada e corrigida antes do lançamento.

Após a realização do ensaio de abatimento do tronco de cone (*Slump Test*), dois aditivos foram adicionados ao caminhão e iniciou-se a rotação contínua para a mistura efetiva dos novos componentes ao concreto já presente no caminhão. Após essa mistura, foi realizado o ensaio de espalhamento (*Flow Test*), em conformidade com a NBR 15823-2 (ABNT, 2017).

O ensaio de espalhamento classifica a fluidez do concreto autoadensável. Porém, diferentemente do *Slump Test*, em que o ensaio analisa o abatimento do tronco de cone, no *Slump Flow Test* a amostra se espalha em uma placa metálica. Para a obra, o espalhamento esperado é de 700 ± 50 mm (classe SF2).

Ao serem observadas as etapas do ensaio, constatou-se que o técnico de laboratório seguiu as prescrições da NBR 15823-2 (ABNT, 2017), incluindo limpeza dos materiais, posicionamento do cone, preenchimento, remoção vertical e medição do espalhamento.

Nas medições observadas na obra, o resultado do ensaio estava dentro da faixa permitida, não sendo necessário realizar alterações no traço. Assim, considerando as cinco concretagens acompanhadas, o atendimento ao parâmetro de espalhamento foi de 100%, enquanto o atendimento inicial ao abatimento foi de 80%. Esses resultados evidenciam a importância do controle das propriedades do concreto no estado fresco, especialmente no concreto autoadensável.

As recomendações da EFNARC (2005) estabelecem o controle do espalhamento como um dos principais procedimentos para caracterização da capacidade de fluxo do concreto autoadensável, destacando que suas propriedades devem ser controladas durante produção, transporte e aplicação. Essa abordagem também é compatível com as recomendações internacionais do fib Model Code 2020, que relacionam o controle da execução ao desempenho esperado da estrutura (EFNARC, 2005; FIB, 2020).

Em relação à amostragem para o controle estatístico, conforme Mehta e Monteiro (2014), quanto maior o número de exemplares, melhor é a estimativa da resistência característica e maiores são as possibilidades de avaliação do concreto lançado. Na obra estudada, a cada caminhão eram moldados dez corpos de prova, para serem rompidos em diferentes idades (três, sete, quatorze, vinte e oito e sessenta e três dias). Conforme a NBR 16886 (ABNT, 2020), a quantidade de material coletada mínima corresponde a dois corpos de prova por caminhão. Assim, a obra supera o mínimo adotado para a composição dos exemplares.

A partir da retirada das amostras de concreto, o laboratorista que atua na obra moldou os corpos de prova cilíndricos de dimensões 10×20 cm, posteriormente submetidos ao ensaio de resistência à compressão axial. Ao observar a moldagem dos corpos de prova, foram verificados os procedimentos apresentados no Quadro 4.

Quadro 4 – Descrição dos procedimentos realizados durante a moldagem dos corpos de prova

Procedimento	Foi realizado?
Umedecimento do molde	Sim
Revestimento interno com lubrificante	Não
Apoio em superfície plana e rígida	Sim
Duas camadas por CP com 12 golpes por camada	Sim
Adensamento uniforme com auxílio de haste arredondada	Sim
Batidas no lado externo do molde	Sim
Rasamento da superfície	Sim

Fonte: Autores.

Conforme Leuck (2018), a moldagem dos corpos de prova em superfície plana e rígida pode interferir no resultado do ensaio de resistência à compressão. Na obra, essa moldagem ocorreu conforme os procedimentos observados, diminuindo as possibilidades de erros no ensaio.

Durante a visita, foi constatado que os corpos de prova são deixados imersos em água em local próximo ao cômodo do laboratorista, no próprio canteiro de obras, após cerca de 24 horas da moldagem, momento em que os corpos são desmoldados.

De acordo com as informações passadas durante a visita, os corpos de prova permaneceram em condições de temperatura controlada dentro do tanque de imersão até atingirem as idades de rompimento definidas pela construtora.

Conforme a NBR 12655 (ABNT, 2022), cada exemplar dos corpos de prova deve ser constituído por dois corpos de prova da mesma amassada para cada idade de rompimento. Portanto, observa-se que a obra atende ao preconizado.

Para aceitação definitiva do concreto lançado, a equipe analisada seguiu as recomendações da NBR 5739 (ABNT, 2018) ao comparar os resultados obtidos pelos ensaios com o valor estimado pelo projetista. Na situação do concreto não atingir a resistência de projeto aos 28 dias, outro exemplar é rompido aos 63 dias. Não ocorreu divergência após essa data.

Após todos os rompimentos, o técnico laboratorista é responsável por construir uma curva contendo a resistência que cada exemplar alcançou em cada idade.

O controle realizado apresenta, portanto, uma cadeia estruturada de amostragem, moldagem, cura e rompimento. Essa estrutura é relevante porque a avaliação da resistência à compressão pode ser influenciada pelos procedimentos de amostragem e ensaio. Magalhães, Real e Silva Filho (2018) demonstraram que as operações relacionadas ao controle tecnológico podem produzir variações na avaliação da confiabilidade de elementos estruturais, reforçando a importância da padronização dos procedimentos.

Durante a visita, observou-se que a obra seguia uma logística que variava de acordo com o dia de concretagem, o que implica na variação de quais blocos do pavimento seriam concretados – apenas apartamentos ou apartamentos e áreas comuns também.

O lançamento inicia nas áreas de difícil alcance e finaliza pela escada, a fim de desimpedir o tráfego durante a operação. Além disso, é válido ressaltar que a laje é concretada antes das paredes, porém ambas as operações ocorrem no mesmo dia.

Um obstáculo encontrado no lançamento foi a dificuldade de movimentação das tubulações emendadas da bomba lança para concreto. Por ser um mecanismo rígido, deslocá-lo implica maior gasto de tempo e força, fatores que interferiram diretamente na continuidade da operação. Apesar disso, na concretagem, esse gargalo não gerou atrasos que ultrapassassem o tempo permitido pela NBR 7212 (ABNT, 2021).

De acordo com o informado pelo responsável, os seguintes requisitos foram atendidos pela etapa de lançamento: preenchimento contínuo e uniforme; espessura da camada menor do que 50 cm; operação finalizada antes do início do tempo de pega; proximidade entre saída do mangote e posição definitiva do concreto. O controle do lançamento evita que, pela diferença das massas específicas dos materiais constituintes, a brita chegue à base do elemento antes da argamassa, formando nichos de concretagem na parte inferior da peça estrutural (NEVILLE, 2016). Por se tratar de um concreto autoadensável, este não necessita de instrumento para efetuar adensamento e nivelamento.

Os procedimentos observados no lançamento foram, de modo geral, satisfatórios. Entretanto, a dificuldade de movimentação das tubulações constitui um gargalo operacional que deve ser considerado no planejamento das concretagens, especialmente diante do elevado volume de concreto utilizado por pavimento. Embora não tenha sido identificada uma não conformidade nessa etapa, o aspecto representa um risco operacional que pode afetar a continuidade do lançamento em condições desfavoráveis.

Quanto à etapa de cura, segundo a NBR 14931 (ABNT, 2023), os elementos estruturais devem ser submetidos a condições adequadas de cura para evitar a secagem prematura e favorecer o desenvolvimento das propriedades do concreto. Na primeira laje da torre, chamada de “lajão” pelo técnico, o concreto lançado é o convencional e, nesse caso, inicia-se a saturação da superfície recém-concretada pouco tempo depois, cobrindo-a com uma pequena lâmina de água. Durante o período de visita, a umidade relativa do ar média constatada nas cinco concretagens foi de 75% e a temperatura de 25 °C.

Nos demais pavimentos, a empresa não realiza cura, com a justificativa de que, ao se utilizar os aditivos que dão mais trabalhabilidade e fluidez ao concreto, o tempo de início de pega é diminuído e não se faz necessária a cura. A justificativa apresentada pela obra não é suficiente para dispensar a cura. As recomendações da EFNARC (2005) destacam que, no concreto autoadensável, a baixa exsudação pode favorecer a secagem superficial, tornando o início adequado da cura particularmente importante. De forma semelhante, o fib Model Code 2020 incorpora a cura às estratégias de execução e durabilidade das estruturas (EFNARC, 2005; FIB, 2020).

Dessa forma, a ausência de cura nos pavimentos com concreto autoadensável constitui a ocorrência de maior relevância entre as práticas analisadas, pois apresenta potencial de impacto sobre o desenvolvimento das propriedades do concreto e sua durabilidade (SANTOS

et al., 2023; COSTA et al., 2021). Entretanto, como a pesquisa não realizou ensaios comparativos entre elementos submetidos e não submetidos à cura, não é possível quantificar diretamente esse impacto. Portanto, a ocorrência deve ser interpretada como uma não conformidade de execução com potencial de impacto, e não como comprovação de deterioração da estrutura.

Durante a chegada dos caminhões-betoneira, o técnico entrevistado pintou as áreas de aplicação das betonadas em um croqui da planta baixa a fim de diferenciar os locais concretados por cada caminhão. A esse documento dá-se o nome de mapa de concretagem. A NBR 12655 (ABNT, 2022) exige que o profissional responsável pela obra efetue a rastreabilidade do concreto lançado na estrutura, o que ocorre na obra investigada.

Finalmente, a equipe administrativa da obra arquiva documentos, como certificados, relatórios, notas fiscais, projetos e laudos por pelo menos cinco anos após serem entregues. Os documentos conservados pela empresa são: relatórios dos ensaios de resistência à compressão; certificados dos ensaios realizados pela central dosadora; e normatização técnica para execução da estrutura.

Além desses, a obra poderia ter em seus arquivos certificados de calibração dos equipamentos, como a máquina de ensaio de resistência à compressão e balanças, utilizados nos ensaios, e a elaboração do Data Book. Porém, esses documentos foram considerados opcionais pela obra.

Ademais, quando necessário, a gerência da obra pode solicitar à central a carta traço, que, segundo a NBR 7212 (ABNT, 2021), deve conter informações relativas à elaboração, identificação, especificação do concreto, materiais utilizados, fornecedores, quantidades dos componentes e responsável técnico.

A existência do mapa de concretagem constitui um aspecto positivo, pois permite relacionar o concreto fornecido à sua localização na estrutura e aos respectivos registros de controle. Essa rastreabilidade é importante em situações de investigação de não conformidades, pois permite delimitar os elementos potencialmente afetados e direcionar verificações posteriores.

De modo geral, os resultados indicam que a obra apresenta práticas estruturadas de controle tecnológico, especialmente nas etapas de recebimento, ensaios no estado fresco, moldagem e controle dos corpos de prova e rastreabilidade. Entretanto, foram identificadas fragilidades na formalização das informações transmitidas à central, na seleção do fornecedor e, principalmente, na ausência de cura dos pavimentos executados com concreto autoadensável. A síntese dos indicadores apresentados no Quadro 5 evidencia que, embora algumas etapas apresentem elevado nível de atendimento, como o *Flow Test* e a rastreabilidade do concreto, permanecem ocorrências que demandam atenção, especialmente quanto à formalização das informações e à cura.

Entre as ocorrências identificadas, a não conformidade relacionada ao abatimento apresentou impacto controlado, pois foi detectada antes do lançamento e corrigida mediante novo procedimento de verificação. Por outro lado, a ausência de cura nos pavimentos executados com concreto autoadensável apresenta maior potencial de impacto sobre o desempenho e a durabilidade da estrutura, embora os dados obtidos não permitam quantificar diretamente esse efeito. Assim, conforme sintetizado no Quadro 5, os resultados demonstram que o controle tecnológico não deve ser avaliado apenas pela quantidade de ensaios realizados, mas pela integração entre especificação, recebimento, execução, controle, rastreabilidade e medidas destinadas à garantia do desempenho.

Quadro 5 – Indicadores das práticas de controle tecnológico.

Indicador	Resultado	Classificação
Parâmetros informados na solicitação	2/7 (28,6%)	Atenção
<i>Slump</i> dentro da faixa na primeira medição	4/5 (80,0%)	Atenção
<i>Flow Test</i> dentro da faixa especificada	5/5 (100,0%)	Conforme
Corpos de prova moldados por caminhão	10 CP	Acima do mínimo adotado
Procedimentos de moldagem observados	6/7	Conforme, com ressalva
Rastreabilidade por mapa de concretagem	100% dos casos observados	Conforme
Cura nos pavimentos com CAA	Não realizada	Não conforme
Ocorrências com potencial de impacto	2 identificadas	Requer avaliação

Fonte: Autores.

5 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa permitiu analisar as práticas de controle tecnológico adotadas em uma obra de paredes de concreto, abrangendo as etapas de especificação, planejamento, recebimento, controle do concreto, lançamento, cura e rastreabilidade. De modo geral, verificou-se que a obra possui procedimentos sistematizados de controle, porém foram identificadas fragilidades que impedem caracterizar o processo como plenamente conforme em todas as etapas avaliadas.

Na análise dos projetos, os parâmetros de resistência característica à compressão, cobrimento nominal e dimensão máxima característica do agregado atenderam aos requisitos normativos analisados. Entretanto, não foi possível verificar alguns parâmetros, como relação água/cimento máxima, consumo mínimo de cimento e módulo de elasticidade, em razão da ausência dessas informações nos documentos consultados. Assim, o atendimento observado deve ser considerado parcial em relação ao conjunto de parâmetros investigados.

Nas etapas de planejamento, recebimento e execução, foram observados procedimentos sistemáticos de conferência das condições das formas, armaduras, instalações, documentação dos caminhões e propriedades do concreto no estado fresco. Os indicadores demonstraram 100% de atendimento no *Flow Test* nas concretagens acompanhadas e 80% de atendimento inicial no *Slump Test*. A ocorrência de abatimento fora da faixa especificada foi identificada antes do lançamento e corrigida mediante nova verificação, caracterizando uma não conformidade de impacto controlado.

O controle do concreto endurecido apresentou resultados satisfatórios quanto à amostragem, moldagem, armazenamento e ruptura dos corpos de prova, além da utilização de mapas de concretagem para rastreabilidade das betonadas. Esses procedimentos favorecem a identificação dos locais de aplicação e o acompanhamento dos resultados de resistência, constituindo um aspecto positivo do sistema de controle adotado.

Por outro lado, foram identificadas fragilidades na comunicação entre a obra e a central fornecedora. Dos sete parâmetros investigados, apenas dois eram explicitamente informados no momento da solicitação do concreto, correspondendo a 28,6%. Embora essa condição não tenha resultado em evidência de fornecimento de concreto inadequado nos casos observados, ela representa uma deficiência na formalização e na rastreabilidade das informações e deve ser considerada um ponto de melhoria do processo.

A ausência de cura nos pavimentos executados com concreto autoadensável foi a principal não conformidade identificada, por apresentar maior potencial de impacto sobre o desempenho e a durabilidade do concreto. Entretanto, como não foram realizados ensaios comparativos ou avaliações posteriores que permitissem mensurar seus efeitos, não é possível

afirmar que essa prática tenha provocado perda de resistência ou danos à estrutura. Dessa forma, os resultados permitem identificar o potencial de impacto da não conformidade, mas não quantificar seus efeitos.

Os resultados demonstram, portanto, que a efetividade do controle tecnológico não depende exclusivamente da realização dos ensaios, mas da integração entre especificação, comunicação com o fornecedor, recebimento, execução, controle, cura e rastreabilidade. Nesse sentido, embora a obra apresente nível satisfatório de organização das práticas de controle, os indicadores evidenciam oportunidades de aprimoramento, especialmente quanto à formalização das informações e à adoção de procedimentos adequados de cura.

Por se tratar de um estudo de caso único, os resultados não devem ser generalizados para todas as obras de paredes de concreto. Contudo, a pesquisa demonstra a aplicabilidade de indicadores de atendimento e de avaliação do potencial de impacto como instrumentos para identificar pontos críticos do controle tecnológico. Estudos futuros podem ampliar a análise para diferentes obras e incorporar indicadores de desempenho e durabilidade, permitindo relacionar as práticas de execução às consequências efetivamente observadas na estrutura.

REFERÊNCIAS

ABESC – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇO DE CONCRETAGEM. **Manual do concreto dosado em central**. São Paulo: ABESC, 2007. Disponível em: ABESC – Manual do concreto dosado em central. Acesso em: 15 dez. 2022.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **Building code requirements for structural concrete (ACI 318-19) and commentary**. Farmington Hills: American Concrete Institute, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5739: concreto — ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118: projeto de estruturas de concreto — procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7212: concreto dosado em central — preparo, fornecimento e controle**. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12655: concreto de cimento Portland — preparo, controle, recebimento e aceitação — procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14931: execução de estruturas de concreto armado, protendido e com fibras — requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15823-2: concreto autoadensável — parte 2: determinação do espalhamento, do tempo de escoamento e do índice de estabilidade visual — método do cone de Abrams**. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16055: parede de concreto moldada no local para a construção de edificações — requisitos e procedimentos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16886: concreto — amostragem de concreto fresco**. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16889: concreto — determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

BATTAGIN, A. F. **Uma breve história do cimento Portland**. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 2009. Disponível em: Associação Brasileira de Cimento Portland. Acesso em: 2 jun. 2023.

BORGES, M. L. **Avaliação da qualidade de concretos produzidos em centrais dosadoras, misturados em caminhão betoneira e de concretos produzidos em centrais misturadoras**. 2009. Dissertação (Mestrado em engenharias) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2009.

CAMACHO, J. S. **Concreto armado: estados limites de utilização**. São Paulo: Universidade Estadual Paulista, 2005. Notas de aula.

COSTA, R. M.; TUTIKIAN, B. F.; PACHECO, F. Análise do efeito da cura química e cura úmida na retração e durabilidade de pavimentos em concreto autoadensável. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 21, n. 4, p. 145-162, 2021.

CUI, T.; ALSHAHRANI, A.; KULASEGARAM, S. Effects of mineral additions on the rheology of self-compacting concrete: a review. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Construction Materials**, v. 177, n. 6, p. 337-351, 2024. DOI: 10.1680/jcoma.22.00105.

EFNARC. **The European guidelines for self-compacting concrete: specification, production and use**. Farnham: EFNARC, 2005.

FIB – FÉDÉRATION INTERNATIONALE DU BÉTON. **fib Model Code for Concrete Structures 2020**. Lausanne: Fédération Internationale du Béton, 2020.

GOMES, P. C. C.; BARROS, A. R. **Métodos de dosagem de concreto autoadensável**. São Paulo: Pini, 2009.

HAIST, M.; SCHACK, T.; COENEN, M.; VOGEL, C.; BEYER, D.; HEIPKE, C. Concrete 4.0 – sustainable concrete construction with digital quality control. **ce/papers**, v. 6, p. 1555-1562, 2023. DOI: 10.1002/cepa.2965.

HELENE, P. Três sistemas construtivos em empreendimento residencial econômico. **Concreto & Construções**, São Paulo, n. 60, p. 8-20, 2010.

HELENE, P.; SALOMON, L. **Cura do concreto**. São Paulo: ALCONPAT Brasil, 2013. Boletim técnico.

HELENE, P.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo: Pini, 1993. 349 p.

ISAIA, G. C. **A evolução do concreto estrutural**. In: ISAIA, G. C. (ed.). **Concreto: ciência e tecnologia**. São Paulo: IBRACON, 2011. v. 1.

LEUCK, P. H. **Estudo da influência de diferentes têxteis de fibra de vidro no comportamento mecânico do concreto têxtil**. 2018. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2018. 110 p.

MAGALHÃES, F. C.; REAL, M. V.; SILVA FILHO, L. C. P. Efeitos das operações de controle tecnológico do concreto na avaliação da confiabilidade de pilares de concreto armado. **Matéria (Rio de Janeiro)**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 3, e12157, 2018. DOI: 10.1590/S1517-707620180003.0491.

MANDAL, R.; PANDA, S. K.; NAYAK, S. Rheology of self-compacting concrete: a critical review and future perspective. **Materials Today: Proceedings**, v. 93, p. 265-270, 2023. DOI: 10.1016/j.matpr.2023.07.180.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

NETO, E. H. **O risco da falta de controle tecnológico do concreto**. São Paulo: ABECE, 2007.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

PACHECO, J.; HELENE, P. **Controle da resistência do concreto no Brasil**. São Paulo: ALCONPAT, 2013. Boletim técnico.

PACHECO, J. N.; DE BRITO, J.; CHASTRE, C.; EVANGELISTA, L. Statistical analysis of Portuguese ready-mixed concrete production. **Construction and Building Materials**, v. 209, p. 283-294, 2019. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.03.089.

PEDROSO, Fábio. Aplicação e controle tecnológico de pavimentos de concreto. **Concreto & Construções**, São Paulo, v. 113, 2024.

PEREIRA, M. S. **Controle da resistência do concreto: paradigmas e variabilidades – estudo de caso**. 2008. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2008. 229 p.

- REGATTIERI, C. E. X.; MARANHÃO, F. L. Produção e controle de concreto dosado em central. In: ISAIA, G. C. (ed.). **Concreto: ciência e tecnologia**. São Paulo: IBRACON, 2011. v. 1, p. 501-536.
- RUSLAN, H. N. et al. Review on performance of self compacting concrete containing solid waste and bibliometric properties: a review. **Journal of Building Engineering**, v. 86, 108752, 2024.
- SANTOS, T. A.; MEIRA, G. R.; FERREIRA, P. R. Influência do método de cura nas propriedades mecânicas e na durabilidade do concreto autoadensável. **Revista Matéria**, v. 28, n. 2, e13245, 2023.
- SANTIAGO, W. C. **Estudo da não conformidade de concretos produzidos no Brasil e sua influência na confiabilidade estrutural**. 2011. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.
- SANTIAGO, W. C.; BECK, A. T. Um estudo da conformidade da resistência do concreto convencional produzido no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 59., 2017, Bento Gonçalves. **Anais [...]**. São Paulo: IBRACON, 2017.
- SAREMI, S. G.; GOULIAS, D. Concrete strength gain monitoring with non-destructive methods for potential adoption in quality assurance. **Construction and Building Materials**, v. 260, 120464, 2020. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.120464.
- SKRZYPCZAK, I.; KOKOSZKA, W.; ZIĘBA, J.; LEŚNIAK, A.; BAJNO, D.; BEDNARZ, L. A proposal of a method for ready-mixed concrete quality assessment based on statistical-fuzzy approach. **Materials**, v. 13, n. 24, 5674, 2020. DOI: 10.3390/ma13245674.
- SKRZYPCZAK, I. et al. Interlaboratory comparative tests in ready-mixed concrete quality assessment. **Materials**, v. 14, n. 13, 3475, 2021. DOI: 10.3390/ma14133475.
- TUTIKIAN, B. F.; DAL MOLIN, D. C. C. **Concreto autoadensável**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2021.
- VERECKEN, E.; CASPEELE, R. Conformity control of concrete durability parameters and its filtering effect on the design service life. **Structural Concrete**, v. 23, n. 2, p. 669-681, 2022. DOI: 10.1002/suco.202100459.
- WALLY, G. B.; MAGALHÃES, F. C.; SILVA FILHO, L. C. P. From prescriptive to performance-based: an overview of international trends in specifying durable concretes. **Journal of Building Engineering**, v. 52, 104359, 2022. DOI: 10.1016/j.job.2022.104359.
- ZHANG, Z. et al. A state-of-the-art review on the stability of self-consolidating concrete. **Construction and Building Materials**, v. 268, 121099, 2021.