UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

CHRISTIAN ROBERTO DEMARCHI

CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO: COMPARAÇÃO ENTRE A NBR12.655 E A PRÁTICA EM OBRAS

Ilha Solteira - SP

2024

CHRISTIAN ROBERTO DEMARCHI

CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO: COMPARAÇÃO ENTRE A NBR12.655 E A PRÁTICA EM OBRAS

Trabalho de Conclusão de Curso Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador(a): Prof. Dr. Prof. Dr. Marco Antônio de Morais Alcantara

Ilha Solteira

2024

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

D372c

Demarchi, Christian Roberto.
Controle tecnológico do concreto: comparação entre a NBR 12.655 e a prática em obras / Christian Roberto Demarchi. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2024
91 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2024

Orientador: Marco Antônio de Morais Alcantara

Inclui bibliografia

1. Concreto. 2. Controle de qualidade. 3. Concretagem. 4. Normas técnicas. 5. Rastreabilidade.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Aluno: CHRISTIAN ROBERTO DEMARCHI

Título: "CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO: COMPARAÇÃO ENTRE A NBR 12.655 E A PRÁTICA EM OBRAS"

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado como parte dos requisitos para obtenção do grau de Engenheiro Civil, junto ao Curso de Graduação em Engenharia Civil, da Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Campus de Ilha Solteira

Aprovado em: 12/12/2024

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Marco Antônio de Morais Alcantara

UNESP – Campus de Ilha Solteira (Orientador)

Prof. Dr. Artur Pantoja Marques

UNESP – Campus de Ilha Solteira

Prof. Dr. Adriano Souza

UNESP – Campus de Ilha Solteira

Ilha Solteira

12/12/2024

RESUMO

Este Trabalho de Conclusão de Curso aborda o controle de qualidade do concreto em obras civis, com foco em um estudo de caso de um edifício misto localizado em São Paulo. Destaca-se a importância do concreto como material estrutural, enfatizando seu papel crucial na segurança e durabilidade das edificações. O trabalho abrange três fases principais do controle de qualidade: pré-concretagem, concretagem e pós-concretagem. Na fase inicial, foram realizadas verificações como leitura de projetos, cálculo da metragem cúbica e inspeção das condições de formas e armaduras. Durante a concretagem, destacaram-se a moldagem de corpos de prova, testes de abatimento e rastreabilidade do concreto por meio de mapeamento detalhado. Já na pós-concretagem, o monitoramento incluiu a análise de resistências aos 7, 28 e 45 dias e a verificação de conformidades. Ferramentas digitais e planilhas de monitoramento foram fundamentais para garantir a qualidade e a rastreabilidade, permitindo auditorias rigorosas e correções rápidas quando necessário. O estudo conclui que o alinhamento entre as diretrizes da ABNT NBR 12655 e as práticas de obra é essencial para garantir a conformidade técnica, minimizar riscos e evitar falhas estruturais. Além disso, destaca-se a relevância de um controle sistemático e da integração de tecnologias para otimizar os processos e assegurar a segurança das estruturas.

Palavras-chave: Concreto, Controle de qualidade, Concretagem, Normas técnicas, Rastreabilidade.

ABSTRACT

This Final Undergraduate Project focuses on concrete quality control in civil construction, based on a case study of a mixed-use building in São Paulo. The study highlights concrete's significance as a structural material, emphasizing its crucial role in the safety and durability of constructions. The research covers three main phases of quality control: pre-concreting, concreting, and post-concreting. The initial phase included project reviews, cubic meter calculations, and inspections of formwork and reinforcements. During concreting, activities focused on sample molding, slump tests, and concrete traceability through detailed mapping. Post-concreting monitoring involved resistance tests at 7, 28, and 45 days, alongside conformity checks. Digital tools and monitoring spreadsheets played a vital role in ensuring quality and traceability, facilitating rigorous audits and enabling prompt corrections. The study concludes that aligning ABNT NBR 12655 guidelines with on-site practices is essential to ensure technical compliance, minimize risks, and prevent structural failures. Additionally, the integration of systematic control and advanced technologies is highlighted as crucial for process optimization and structural safety assurance.

Keywords: Concrete, Quality control, Concreting, Technical standards, Traceability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Concretagem de lajes, vigas e pilares 15

Figura 2 – Panteão em Roma, destacando sua cúpula de concreto 18

Figura 3 – Ponte das Bandeiras, São Paulo, 1919 20

Figura 4 – Exemplo de mapeamento de concretagem 22

Figura 5 – Representação esquemática do tempo para transporte e descarga do concreto pré-misturado 23

Figura 6 – Quebra das ligações entre a tubulação de descarregamento do concreto 24

Figura 7 – Viga que necessita de preenchimento com graute 28

Figura 8 – Classes de agressividade ambiental (CA) 32

Figura 9 – Espaçador de armação 33

Figura 10 – Laje pré-concretagem 35

Figura 11 – Medida do abatimento 36

Figura 12 – Relação entre a trabalhabilidade do concreto e o valor do abatimento do tronco de cone 36

Figura 13 – Acompanhamento de concretagem 38

Figura 14 – Fachada ilustrativa do Edifício 41

Figura 15 – Planta 2 dormitórios 9º até o 17º pavimento 42

Figura 16 – Fachada pronta Edifício 43

Figura 17 – GescorpGO, fôrma e armadura (pré-concretagem) 44

Figura 18 – Informações técnicas do projeto 48

Figura 19 – Transferência e esquadro de eixo 49

Figura 20 – Exemplo de gastalho com vedação e posição adequada 50

Figura 21 – Exemplo de pilar com amadura conferida e fechado 52

Figura 22 – Tela do aplicativo com as etapas de inspeção dos pilares 54

Figura 23 – Projeto de escoramento 56

Figura 24 – Montagem de escoramentos e formas de vigas e lajes 57

Figura 25 – Verificação de viga 59

Figura 26 – Laje pronta para concretagem 60

Figura 27 – Tela do aplicativo com as etapas de inspeção dos pilares 61

Figura 28 – Nota fiscal concreto 64

Figura 29 – Teste slump realizado em obra 65

Figura 30 – Concretagem de vigas invertidas 66

Figura 31 – Corpos de prova recém-concretados armazenados 67

Figura 32 – Mapeamento de concreto 3º Pavimento 69

Figura 33 – Acabamento do concreto 70

Figura 34 – Tela do aplicativo com sinalização de aprovação da concretagem 71

Figura 35 – Exemplo de bicheira em viga de concreto, evidenciando a necessidade de correção estrutural 73

Figura 36 – Pavimento limpo pós concretagem 75

Figura 37 – Mapeamento de concretagem 76

Figura 38 – Planilha de controle de qualidade do concreto 78

Figura 39 – Caminhões betoneira aguardando descarregamento na frente da obra 81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Controle de descarregamento do concreto 25

Tabela 2 – Planilha de monitoramento de concretagem 27

Tabela 3 – Conformidade das notas fiscais com a NBR 7212 (ABNT, 2024) 82

Tabela 4 – Conformidade dos aspectos de projeto 84

Tabela 5 – Conformidade dos aspectos do profissional responsável pela execução da obra 87

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a/c	Relação água/cimento
ABESC	Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CAA	Classe de Agressividade Ambiental
Ecj	Módulo de Elasticidade para “j” dias
fcj	Resistência característica à compressão do concreto “j”dias
fck	Resistência característica à compressão do concreto
ELU	Estado Limite Último

SUMÁRIO

SUMÁRIO 12
1. INTRODUÇÃO 13
1.1 OBJETIVO 17
2. REVISÃO DE LITERATURA 18
2.1 CONTROLE DE QUALIDADE DO CONCRETO 20
2.2 LEITURA DE PROJETOS E PLANEJAMENTO DE CONCRETAGEM 28
2.3 PROCEDIMENTOS DURANTE A CONCRETAGEM 34
2.4 MONITORAMENTO E TESTES PÓS CONCRETAGEM 39
3. METODOLOGIA 41
3.1 CONTROLE DIGITAL DE QUALIDADE 44
3.2 AUDITORIAS 46
3.3 PRÉ-CONCRETAGEM 47
3.4 CONCRETAGEM 61
3.5 PÓS CONCRETAGEM 72
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES 79
4.1 RESPONSABILIDADE DA CONCRETEIRA 80
4.2 RESPONSABILIDADE DO PROJETISTA 83
4.3 RESPONSABILIDADE DO EXECUTOR 85
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS 88
REFERÊNCIAS 90

1. INTRODUÇÃO

A construção civil é um setor fundamental para o desenvolvimento econômico e social de qualquer país. Historicamente, a construção civil tem sido responsável por grandes transformações urbanas e pela criação de infraestrutura essencial. No Brasil, este setor tem evoluído significativamente ao longo das últimas décadas, passando de métodos tradicionais e artesanais para tecnologias avançadas e processos industrializados. A construção civil moderna incorpora técnicas inovadoras e materiais de alta performance que proporcionam maior durabilidade, eficiência e sustentabilidade.

O avanço tecnológico na construção civil trouxe mudanças substanciais, desde a introdução de novos materiais até a adoção de métodos construtivos mais eficientes e sustentáveis. Segundo o Sebrae (2024), a evolução da construção civil no Brasil está diretamente ligada ao desenvolvimento de novas tecnologias e à melhoria dos processos construtivos. A utilização de softwares para planejamento e gerenciamento de obras, a automação de processos e a aplicação de métodos construtivos como a construção modular e o uso de BIM (Building Information Modeling) são exemplos claros dessa evolução.

O concreto é, sem dúvida, um dos materiais mais utilizados na construção civil, devido à sua versatilidade, durabilidade e capacidade de suportar grandes cargas. Sobre sua composição, encontram-se os dizeres de Andolfato (2002), que define quais os elementos que o compõe e como devem ser os requisitos básicos de sua mistura:

> O concreto se compõe de quatro elementos ou insumos básicos (cimento, agregado miúdo - areia, agregado graúdo - brita e água) distribuídos de maneira que cada um tenha uma quantidade tal que não seja excessiva em relação aos outros e todos muito bem misturados de forma que se tenha uma massa com igual aspecto em todos os pontos, e que uma vez em estado seco (curado) venha a apresentar os requisitos básicos de resistência, durabilidade e baixo custo, já citados. A quantidade de cada insumo básico na composição do concreto varia de obra para obra e isto em função das necessidades de cada uma e isto poderá ocorrer também dentro da mesma obra e neste caso se deve as diferentes etapas/necessidades dentro da mesma. Tais quantidades constituem o traço do concreto.

A importância do concreto na construção civil não se limita apenas à sua

aplicação estrutural. Ele também desempenha um papel crucial na construção de infraestruturas, como pontes, estradas e barragens, e em edificações de diferentes portes e finalidades. A resistência à compressão, durabilidade e custo relativamente baixo tornam o concreto uma escolha preferida em muitas obras de construção civil (Helene; Andrade, 2010).

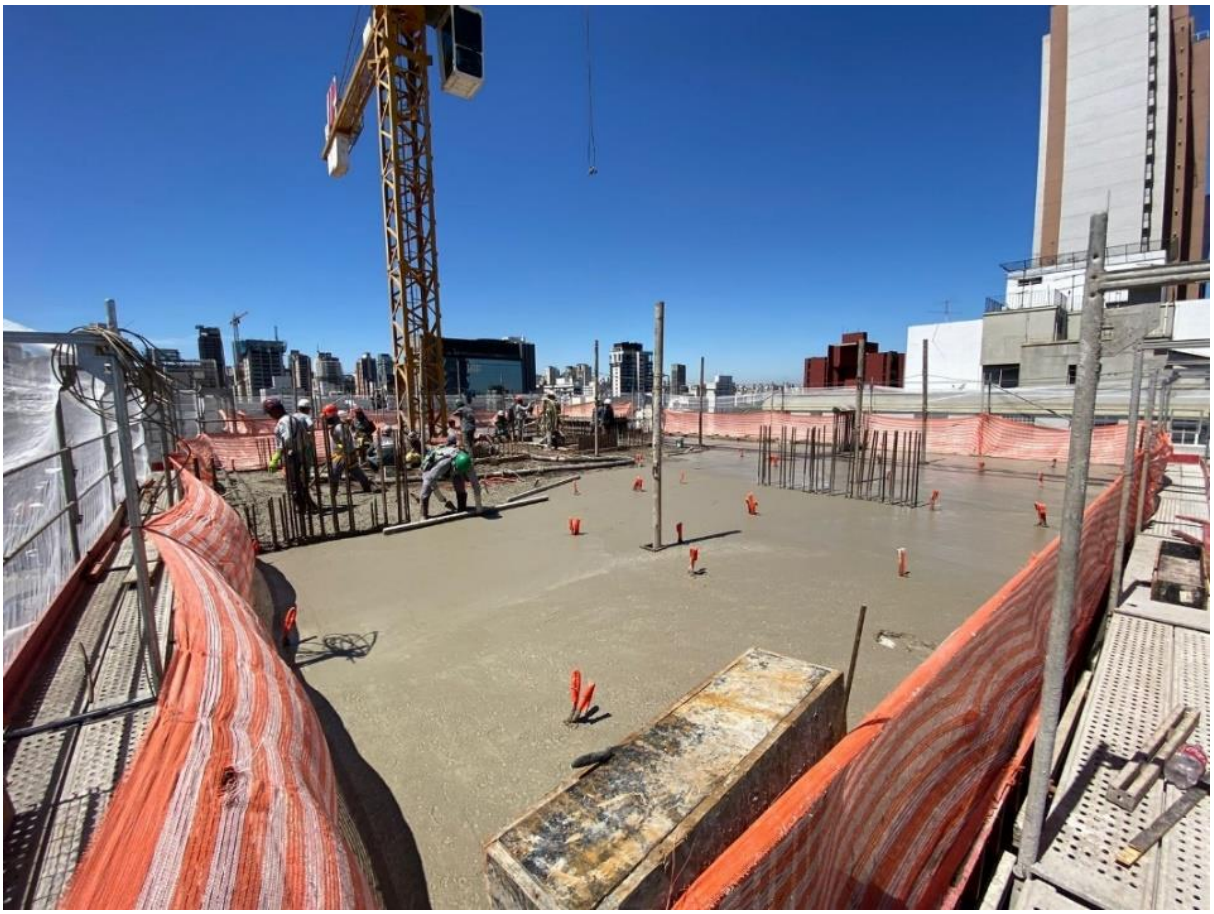
Em termos de custo, o concreto representa uma parcela significativa do orçamento de uma obra. O custo do concreto inclui não apenas o material em si, mas também os processos de fabricação, transporte e aplicação, que exigem mão-de-obra especializada e equipamentos específicos. Devido à sua importância estrutural e à necessidade de garantir qualidade e durabilidade, o investimento em concreto é essencial para o sucesso de qualquer projeto de construção.

Concretagem é o processo de lançamento, compactação e cura do concreto em uma estrutura. Esse processo é crucial para garantir que o concreto atinja as propriedades mecânicas desejadas e a durabilidade necessária para suportar as cargas a que será submetido ao longo de sua vida útil. A concretagem é uma etapa fundamental na construção de estruturas de concreto, pois a qualidade do concreto fresco e a sua correta aplicação determinam o desempenho final da estrutura.

O processo de concretagem envolve várias etapas, que incluem o preparo da superfície de moldagem, o lançamento do concreto, sua compactação e o controle da cura. Cada uma dessas etapas deve ser rigorosamente controlada para evitar falhas como segregação, fissuração ou insuficiência de resistência. Uma concretagem inadequada pode comprometer a segurança e a durabilidade da estrutura, resultando em custos adicionais de reparo e manutenção.

A imagem abaixo ilustra a etapa final do processo de concretagem de um pavimento, um momento crucial na construção civil. Nesta fase, é possível observar os trabalhadores realizando os últimos ajustes na superfície do concreto, garantindo que ele esteja nivelado e livre de imperfeições. A concretagem é uma etapa fundamental para assegurar a resistência e durabilidade da estrutura, sendo essencial que todos os procedimentos sejam executados com precisão. A imagem destaca a importância do trabalho em equipe e da coordenação entre os profissionais, que utilizam diversas ferramentas e técnicas para alcançar um acabamento perfeito. Além disso, a cena capturada evidencia o ambiente dinâmico e desafiador do canteiro de obras, onde cada detalhe contribui para a qualidade final do projeto.

Figura 1 – Concretagem de lajes, vigas e pilares.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O controle de qualidade é um conjunto de atividades planejadas e sistemáticas que garantem que um produto ou serviço atenda aos requisitos de qualidade especificados. No contexto da construção civil, o controle de qualidade é fundamental para assegurar que as obras sejam executadas conforme os padrões técnicos e normativos estabelecidos, garantindo a segurança, durabilidade e funcionalidade das edificações e infraestruturas.

De acordo com a ABNT NBR 12654:1992, o controle tecnológico dos materiais componentes do concreto é essencial para garantir a durabilidade e a qualidade das estruturas de concreto. Essa norma estabelece os requisitos para a realização de ensaios que verificam se os materiais, como cimento, agregados, água e aditivos, atendem aos padrões técnicos necessários.

A ABNT NBR 12655:2022 complementa essa abordagem ao especificar os procedimentos para o preparo, controle e recebimento do concreto. Essa norma detalha diversos aspectos importantes, incluindo:

- **Profissional responsável pela execução da obra:** Este profissional deve garantir que todas as etapas do processo de concretagem sejam realizadas conforme as especificações da norma, assegurando a qualidade do concreto desde a preparação até a aplicação.
- **Responsável pelo recebimento e pela aceitação do concreto:** Este profissional verifica a conformidade das propriedades do concreto no estado fresco durante a descarga e aprova a documentação correspondente, garantindo que o concreto entregue atenda às especificações de projeto.
- **Requisitos para o concreto e métodos de verificação:** Incluem ensaios de controle de recebimento e aceitação para garantir que o concreto atenda às especificações de projeto, como resistência e trabalhabilidade.
- **Requisitos para os materiais componentes do concreto:** Estabelecem as características que os materiais como cimento, agregados e aditivos devem ter para garantir a qualidade do concreto.
- **Requisitos e condições de durabilidade:** Garantem que o concreto tenha uma vida útil adequada, considerando fatores como exposição a ambientes agressivos e condições climáticas.

O controle de qualidade na concretagem é uma etapa crucial para garantir a integridade e a durabilidade das estruturas de concreto. Esse controle envolve a inspeção e o monitoramento de todas as etapas do processo de concretagem, desde a preparação dos materiais até a cura final do concreto. Durante a concretagem, são realizados diversos ensaios, como o teste de abatimento (slump test) para verificar a consistência do concreto fresco e ensaios de compressão para avaliar a resistência do concreto endurecido. Além disso, é fundamental controlar a dosagem dos materiais, o tempo de mistura, a temperatura e a umidade ambiente, pois esses fatores podem influenciar significativamente as propriedades do concreto (Neville, 2016).

A falha no controle de qualidade pode resultar em defeitos como fissuras, segregação, ou até mesmo o colapso da estrutura. Por isso, a implementação de um rigoroso sistema de controle de qualidade é essencial para garantir que a concretagem seja realizada de forma correta e segura.

Este trabalho apresenta um estudo de caso focado na construção de um edifício misto, comercial e residencial, de 25 andares na cidade de São Paulo, Brasil.

A obra em questão requer uma gestão rigorosa do processo de concretagem

para garantir a segurança e a durabilidade da estrutura. Durante o desenvolvimento deste estudo, foram analisados os procedimentos adotados para o controle de qualidade do concreto, desde a seleção dos materiais até a execução da concretagem e a realização de ensaios para verificar a conformidade com as normas técnicas.

A análise do estudo de caso permite compreender os desafios e as melhores práticas na gestão de concretagem em obras de grande porte, proporcionando insights valiosos para a melhoria contínua dos processos de construção civil.

1.1 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é analisar os processos de concretagem e os controles de qualidade aplicados durante a construção e compará-los com a ABNT NBR 12655 (ABNT,2022), identificando eventuais deficiências e incorreções no controle tecnológico, considerando que a obra em questão seguiu a norma de preparo, controle e recebimento do concreto.

2. REVISÃO DE LITERATURA

O concreto é um dos materiais de construção mais antigos e versáteis, com uma história que remonta a milhares de anos. As primeiras civilizações a utilizarem materiais semelhantes ao concreto foram os antigos egípcios e mesopotâmicos, que empregavam misturas de lama, palha e pedras para criar tijolos e outros elementos construtivos. No entanto, o concreto, tal como o conhecemos hoje, começou a ser desenvolvido na Roma Antiga. Os romanos descobriram que ao misturar cal, água e cinzas vulcânicas (pozzolana), podiam criar um material que endurecia sob a água e apresentava uma durabilidade excepcional. Esse concreto foi utilizado em várias obras monumentais, como o Panteão, com sua icônica cúpula de concreto não reforçado, que ainda hoje é a maior do mundo (Quatorque; Simões; Job, 2023).

Figura 2 – Panteão em Roma, destacando sua cúpula de concreto.

Fonte: Tickets Rome (2012).

Após a queda do Império Romano, o uso do concreto foi amplamente esquecido até ser redescoberto no final do século XVIII. Em 1824, Joseph Aspdin patenteou o cimento Portland, um tipo de cimento produzido pela calcinação de calcário e argila. Este cimento, combinado com agregados como areia e brita, permitiu a produção de concreto com propriedades superiores de resistência e durabilidade. A partir de então, o concreto começou a ser amplamente utilizado em todo o mundo,

impulsionado pela Revolução Industrial e pelo desenvolvimento de novas técnicas de construção (Bastos, 2019).

O concreto é um material de construção composto por uma mistura de cimento, água, agregados (como areia e brita) e, em alguns casos, aditivos químicos. Quando misturados, esses componentes formam uma massa que pode ser moldada em diversas formas e tamanhos. Após o processo de cura, que é a reação química entre o cimento e a água, o concreto endurece e atinge uma resistência significativa à compressão. Sua versatilidade, durabilidade e capacidade de ser moldado em praticamente qualquer forma fazem do concreto um dos materiais de construção mais utilizados no mundo (Helene; Andrade, 2010).

No Brasil, o uso do concreto começou a ganhar força no início do século XX, impulsionado pela industrialização e pelo crescimento urbano. As primeiras utilizações significativas do concreto no país foram em obras de infraestrutura, como pontes, estradas e barragens. A construção da Ponte das Bandeiras, em São Paulo, concluída em 1942, é um exemplo marcante do uso inicial do concreto armado no Brasil. Durante as décadas seguintes, o desenvolvimento de novas técnicas e a introdução de aditivos químicos permitiram a produção de concretos com propriedades específicas, como maior resistência, durabilidade e trabalhabilidade (Vitruvius, 2008).

Com o crescimento das cidades e a demanda por edificações mais altas e complexas, o concreto passou a ser amplamente utilizado na construção de edifícios residenciais e comerciais. A evolução das técnicas de dosagem e mistura, aliada à criação de normas técnicas específicas, contribuiu para a popularização do concreto.

Na década de 1960, surgiram as primeiras usinas de concreto, empresas especializadas na produção e fornecimento de concreto usinado. Essas empresas revolucionaram o setor, oferecendo um produto de qualidade controlada e pronto para uso, o que aumentou a eficiência e a segurança nas obras (Quatorque; Simões; Job, 2023)

Figura 3 – Ponte das Bandeiras, São Paulo, 1919.

Fonte: Vitruvius (2008).

2.1 CONTROLE DE QUALIDADE DO CONCRETO

O controle de qualidade na construção civil é uma prática essencial para garantir que os materiais e processos atendam aos padrões e especificações estabelecidos. Inicialmente, o controle de qualidade era baseado na experiência dos operários e na inspeção visual. No entanto, com o aumento das exigências de segurança e durabilidade das estruturas, tornou-se necessário adotar métodos mais rigorosos e sistemáticos para assegurar a qualidade do concreto (Geyer; Resende, 2006).

A padronização das misturas foi um dos primeiros passos no controle de qualidade do concreto. Antigamente, o concreto era preparado diretamente no canteiro de obras, resultando em variações significativas na qualidade do material. No entanto, a partir da década de 1930, com o progresso das pesquisas em materiais de construção, surgiram normas técnicas para a dosagem e mistura do concreto.

Com o surgimento das primeiras concreteiras no Brasil na década de 1960,

houve uma modernização e avanço nas tecnologias de produção e controle de qualidade. Isso incluiu a automação dos processos de dosagem e mistura, além de rigorosos testes laboratoriais para garantir a conformidade do concreto com as especificações técnicas (Helene; Andrade, 2010).

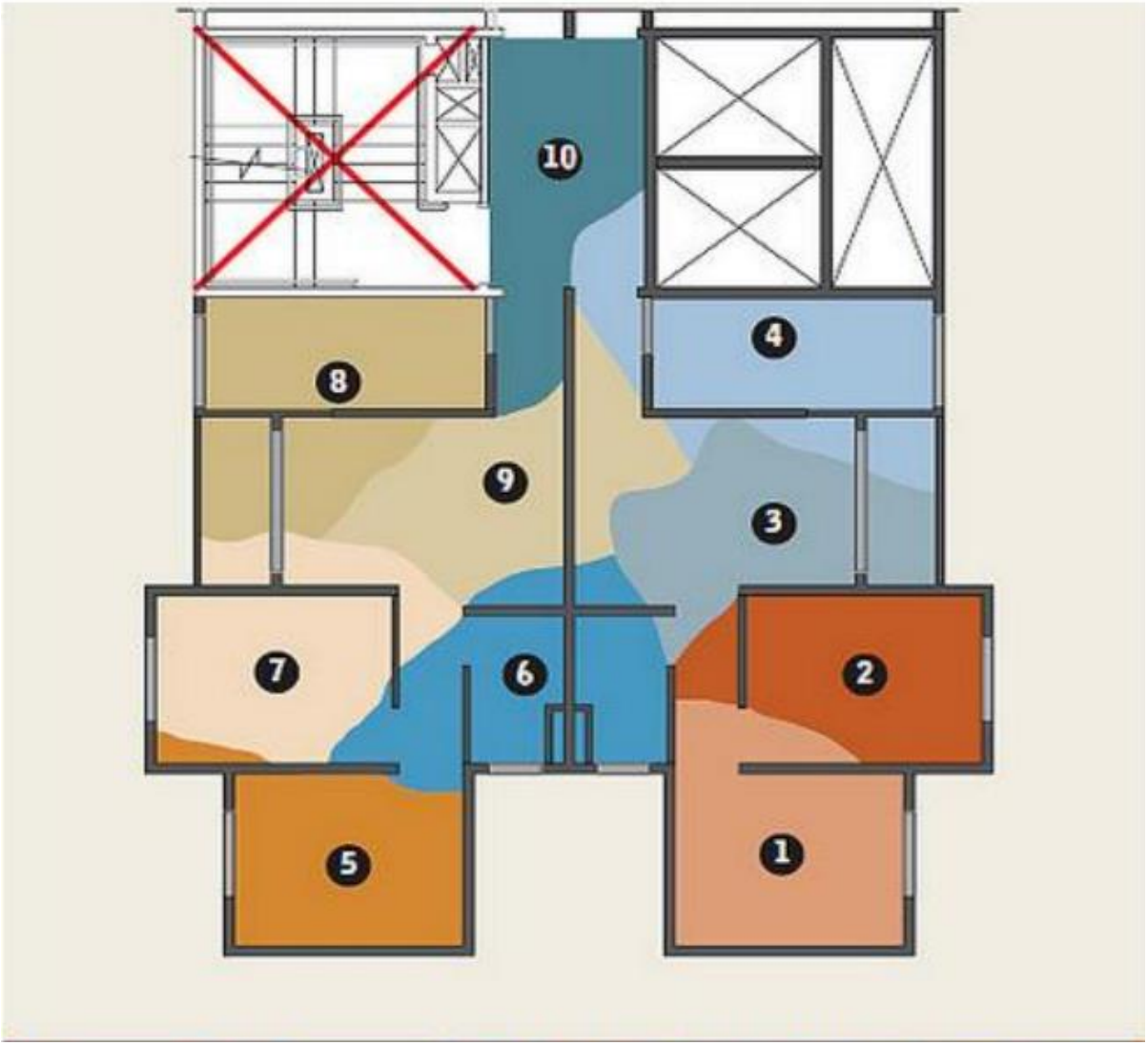
Além disso, a introdução de equipamentos como bombas de concreto e lanças telescópicas permitiu a aplicação precisa e eficiente do concreto em locais de difícil acesso. Isso otimizou o processo de construção e reduziu o tempo de execução das obras. Esse período marcou o início de um controle mais rigoroso sobre a produção do concreto, visando garantir maior uniformidade e qualidade no produto.

O controle de qualidade do concreto tem evoluído significativamente, acompanhando o avanço das normas técnicas, a melhoria dos processos produtivos e o uso de tecnologias de ponta. Desde os métodos empíricos empregados no passado até os sistemas modernos e regulados, a busca pela qualidade do concreto está centrada em garantir que o material atenda às especificações de projeto e assegure a integridade estrutural ao longo do tempo. Três aspectos fundamentais moldam essa evolução: a rastreabilidade, o monitoramento contínuo e o seguimento rigoroso das etapas de produção, conforme estabelecido pelas normas ABNT NBR 7212, NBR 12654 e NBR 12655.

A rastreabilidade é um pilar crucial no controle de qualidade do concreto, permitindo que cada lote seja monitorado desde sua produção até a aplicação na obra. O processo de rastreabilidade envolve o registro detalhado de informações sobre a composição do concreto, a origem dos materiais, as condições de mistura e transporte, e o local exato onde o concreto foi utilizado. Essa prática é particularmente importante em grandes obras, como edifícios de múltiplos andares, onde a precisão no controle da qualidade é essencial para garantir a segurança estrutural (ABNT NBR 12655:2022).

A figura abaixo ilustra o controle de rastreabilidade da obra, mostrando onde cada caminhão betoneira foi descarregado no pavimento, seja em pilares, vigas ou lajes. Cada cor e número é atrelado à uma nota fiscal de caminhão betoneira permitindo identificar exatamente onde cada nota fiscal foi descarregada. Isso é fundamental para o controle de qualidade, pois, se futuramente os corpos de prova indicarem que o concreto não atingiu a Resistência característica à compressão do concreto (fck) correto, será possível identificar e corrigir precisamente as áreas afetadas.

Figura 4 – Exemplo de mapeamento de concretagem.



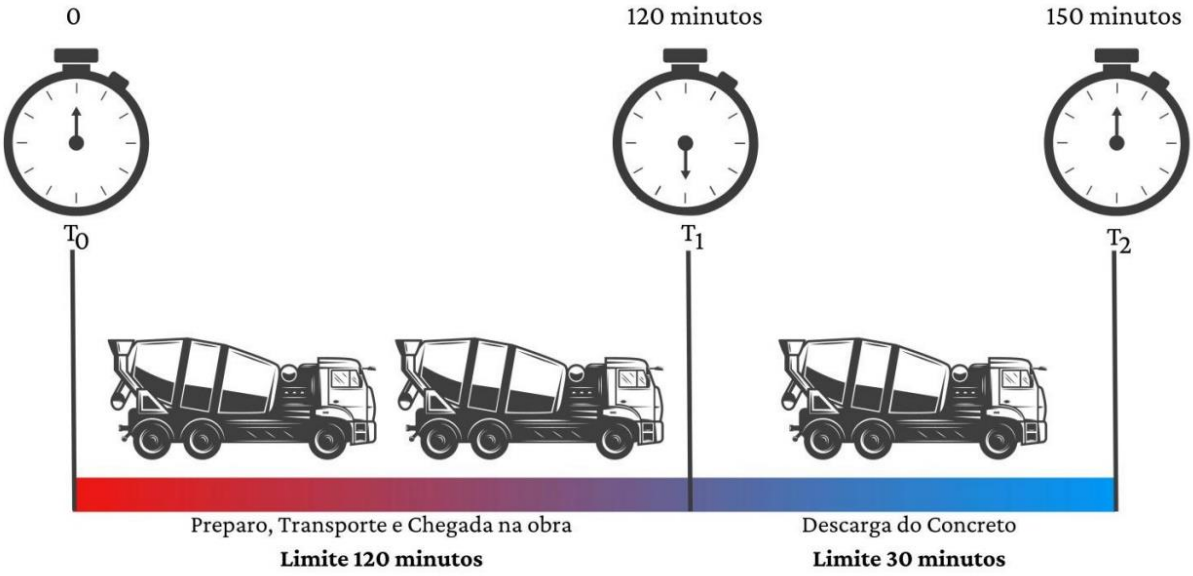
Fonte: ABESC (2007).

Normas técnicas brasileiras, como a ABNT NBR 12655, exigem que todas as etapas da produção e aplicação do concreto sejam documentadas. Isso permite que, em caso de falhas ou desvios no desempenho do concreto, seja possível identificar a causa e realizar as correções necessárias de forma localizada, minimizando o impacto na estrutura. A rastreabilidade também facilita a verificação da conformidade do concreto com os parâmetros estabelecidos pelo projeto, permitindo um acompanhamento preciso do desempenho ao longo do tempo.

De acordo com a ABNT NBR 7212:2024, um caminhão betoneira deve garantir a entrega do concreto no local da obra dentro de um tempo máximo de 150 minutos, independentemente das condições de tráfego e da distância entre a central e a obra contratante. Esse prazo é distribuído em 120 minutos para o transporte até a obra,

sendo o mínimo 30 minutos para a aplicação do concreto (lançamento e adensamento), como ilustrado na figura a seguir.

Figura 5 – Representação esquemática do tempo para transporte e descarga do concreto pré-misturado.



Fonte: ABESC (2007).

O planejamento logístico rigoroso, envolvendo a escolha adequada dos caminhões betoneira e o cálculo das distâncias entre a central de concreto e o canteiro de obras, visa garantir que o concreto chegue ao seu destino dentro desse período crítico, mantendo suas características ideais.

Esse monitoramento não se limita ao tempo, mas inclui também a verificação contínua das condições de transporte e manuseio do concreto, garantindo que as especificações de qualidade sejam atendidas durante todo o processo. Além disso, o acompanhamento através de ensaios de slump oferece dados fundamentais para verificar se o abatimento do concreto está adequado quanto ao projeto e ao descarregamento (Geyer; Resende, 2006).

Em casos de edifícios, dependendo do pavimento que deve ser concretado, o abatimento pode variar, pois o concreto será bombeado. Se o abatimento estiver incorreto, a bomba pode entupir ou estourar, causando perdas econômicas significativas e riscos de segurança, como lesões aos trabalhadores. Em alguns casos, o problema pode não ser o entupimento da bomba, mas a quebra das ligações da tubulação ou o estouro dos mangotes utilizados durante a concretagem.

Figura 6 – Quebra das ligações entre a tubulação de descarregamento do concreto.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Além disso, para auxiliar no controle de qualidade, utilizamos uma tabela específica onde foi registrado informações cruciais sobre cada lote de concreto. Essa tabela inclui o número da nota fiscal do concreto, a hora em que o carregamento foi finalizado na usina (informação presente na nota fiscal), o tempo limite de 150 minutos calculado a partir desse horário para a aplicação do concreto no pavimento, e a hora em que o concreto foi efetivamente descarregado. Concretos que ultrapassaram o tempo limite de 150 minutos não foram descarregados na obra e retornaram à usina.

Essa prática, conforme estabelecido pela ABNT NBR 7212, permite um controle rigoroso e preciso, garantindo que o concreto seja utilizado dentro do período ideal.

Tabela 1 – Controle de descarregamento do concreto.

Número da Nota Fiscal	**Hora de Carregamento na Usina**	**Tempo Limite para Aplicação (150 min)**	**Hora de Descarregamento**
118709	08:04	10:34	09:05
118716	08:27	10:57	10:40
118721	08:30	11:00	Retornado

Fonte: Elaborado pelo autor.

O controle de qualidade também está intrinsecamente ligado ao cumprimento rigoroso das etapas de produção e aplicação do concreto. Essas etapas envolvem uma série de verificações e procedimentos desde a pré-concretagem até o acompanhamento pós-concretagem, garantindo que o concreto aplicado atenda aos requisitos de desempenho e segurança.

Antes da concretagem, é fundamental realizar uma série de inspeções detalhadas, como a leitura precisa dos projetos, o cálculo do volume necessário de concreto, a preparação adequada das fôrmas e das armaduras, bem como a verificação das alturas das lajes e a colocação correta dos espaçadores. Essas medidas preliminares asseguram que o ambiente esteja pronto para receber o concreto de maneira eficiente e segura (Barros; Melhado;2006).

A moldagem dos corpos de prova é uma etapa crítica para a avaliação futura da qualidade do concreto. Normalmente são moldados quatro corpos de prova cilíndricos em cada concretagem, que serão rompidos em diferentes idades: um aos 7 dias, dois aos 28 dias e um aos 45 dias. Esses corpos de prova são armazenados em condições controladas e levados para laboratório, onde passam por ensaios de compressão para verificar se o concreto está atingindo a resistência especificada no projeto (ABNT NBR 5738:2015).

Os ensaios de compressão aos 7, 28 e 45 dias são realizados para monitorar o desenvolvimento da resistência do concreto ao longo do tempo. A resistência à compressão do concreto deve ser verificada em diferentes idades para garantir que o

concreto está se comportando conforme esperado (ABNT NBR 5739:2018). A norma estabelece que o concreto deve atingir pelo menos 70% da resistência característica especificada fck aos 7 dias. Isso é um indicativo de que o concreto está se desenvolvendo adequadamente e que a cura está sendo eficaz. Aos 28 dias, o concreto deve atingir ou superar a resistência característica especificada no projeto.

O ensaio aos 45 dias é utilizado como uma medida adicional de verificação, caso os resultados aos 28 dias não atinjam os valores esperados. Esse ensaio adicional permite uma avaliação mais completa do desenvolvimento da resistência do concreto, garantindo que ele atinja os parâmetros de desempenho necessários para a segurança e durabilidade da estrutura.

Esses procedimentos de verificação são suportados por ferramentas como planilhas de monitoramento, que permitem o registro detalhado de informações sobre a concretagem. Essas planilhas (Tabela 2) incluem o número do corpo de prova, o volume da nota fiscal, o número da nota, a data da moldagem, a hora, o local de aplicação, o valor de mega Pascal (MPa) do projeto, e os valores dos ensaios de compressão realizados aos 7, 28 e 45 dias. Para os ensaios aos 28 dias, a média dos dois corpos de prova é calculada. Ao inserir o valor de MPa esperado, a planilha compara automaticamente com os valores obtidos nos rompimentos, facilitando a identificação de qualquer desvio e permitindo uma ação corretiva rápida quando necessário (ABNT NBR 5738:2015; ABNT NBR 5739:2018).

Tabela 2 – Planilha de monitoramento de concretagem.

Número do Corpo de Prova	Volume da Nota Fiscal (m³)	Número da Nota	Data da Moldagem	Hora da moldagem	Local de Aplicação	Valor MPa do Projeto	Data (7 dias)	Valor MPa (7 dias)	Data (28 dias)	Valor MPa (28 dias)	Data (45 dias)	Valor MPa (45 dias)
1	8	118709	01/11/2024	08:00	Lajes, Vigas e Pilares 3º Pavimento	40	08/11/2024	28,08	29/11/2024	41,3	16/12/2024	41,31
2	8	118716	01/11/2024	08:25	Lajes, Vigas e Pilares 3º Pavimento	40	08/11/2024	27,88	29/11/2024	42,08	16/12/2024	42,10
3	6	118721	01/11/2024	08:55	Lajes, Vigas e Pilares 3º Pavimento	40	08/11/2024	28,4	29/11/2024	40,88	16/12/2024	40,89
4	6	118855	11/11/2024	08:15	Pilares 4º Pavimento	40	18/11/2024	28,2	09/12/2024	41,56	26/12/2024	41,58

Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a concretagem, o controle de qualidade continua com a inspeção da estrutura para verificar se houve falhas na aplicação, como espaços sem preenchimento ou ferragens expostas. Em casos em que são detectadas lacunas, o preenchimento com graute é realizado para assegurar que todas as áreas da estrutura estejam adequadamente consolidadas. O acompanhamento da desforma também é essencial, garantindo que as fôrmas sejam removidas no momento correto e que a estrutura esteja conforme esperada (Barros; Melhado, 2006).

Figura 7 – Viga que será preenchida com graute.

Fonte: Elaborado pelo autor.

2.2 LEITURA DE PROJETOS E PLANEJAMENTO DE CONCRETAGEM

A leitura e interpretação de projetos são etapas fundamentais no controle de qualidade de uma obra de construção civil. Um projeto bem detalhado e compreendido assegura que a execução seja realizada conforme as especificações técnicas, evitando erros que podem comprometer a qualidade e a segurança da edificação.

O projeto arquitetônico e os projetos complementares (estrutural, hidráulico, elétrico, etc.) são os guias principais para a execução de qualquer obra. Eles contêm

todas as informações necessárias para a construção, como dimensões, especificações de materiais, detalhes construtivos e exigências normativas. A leitura correta desses documentos é crucial para garantir que cada etapa da construção seja realizada conforme planejado.

Na prática da concretagem, a leitura e interpretação de projetos são especialmente importantes para assegurar que o concreto seja aplicado nas quantidades corretas, nos locais certos e de acordo com as características especificadas. O projeto estrutural, por exemplo, define as áreas onde o concreto deve ser aplicado, os volumes necessários e as resistências exigidas. É nesse documento que encontramos as especificações quanto à resistência à compressão, expressa em MPa, e a trabalhabilidade desejada do concreto, medida através do slump. Tais características são cruciais para garantir que o concreto atenda às demandas de resistência e durabilidade esperadas para cada elemento estrutural (ABNT NBR 6118:2023).

A conformidade com o projeto é essencial, especialmente em termos de resistência do concreto e controle de qualidade. Por isso, o projeto especifica não apenas o MPa necessário, mas também o tempo adequado para o lançamento do concreto — geralmente dentro de 150 minutos após a mistura — e os critérios de trabalhabilidade, como o slump adequado para a aplicação. Esses parâmetros precisam ser verificados e controlados no canteiro de obras para garantir que o concreto seja entregue e aplicado dentro das especificações.

Antes da concretagem, as formas e as ferragens também devem ser rigorosamente verificadas para assegurar que estão posicionadas e fixadas corretamente. Qualquer desalinhamento ou erro pode comprometer a integridade da estrutura. A verificação das formas inclui a análise de sua resistência e estabilidade para suportar o peso do concreto sem deformações. Já as ferragens precisam estar corretamente posicionadas conforme as indicações do projeto estrutural, com atenção especial à quantidade e à disposição dos espaçadores para garantir o recobrimento adequado, protegendo-as da corrosão e assegurando a durabilidade da estrutura (ABNT NBR 6118:2023).

A verificação periódica dos espaçadores e da altura das lajes é fundamental, garantindo que as ferragens sejam cobertas pelo concreto conforme especificado. A não conformidade em qualquer um desses aspectos pode resultar em problemas

sérios na estrutura, como fissuras e perda de resistência ao longo do tempo.

Além disso, a interpretação de projetos não deve ser um processo isolado. A colaboração entre arquitetos, engenheiros, mestres de obras e trabalhadores é crucial. Um projeto pode conter detalhes complexos que exigem uma compreensão compartilhada entre todos os envolvidos na obra. Por isso, reuniões de alinhamento e discussões técnicas são frequentemente necessárias para assegurar que todos os aspectos do projeto sejam claramente compreendidos e executados de maneira uniforme. Isso inclui garantir que cada profissional envolvido tenha clareza sobre os requisitos de MPa, as especificações de slump e as exigências relacionadas às formas e ferragens (ABNT NBR 12655:2022).

Por fim, a leitura do projeto também está diretamente conectada ao cálculo da metragem cúbica de concreto necessária para cada etapa da obra. Esse cálculo é essencial para evitar desperdícios e garantir que a quantidade de concreto preparada seja adequada para cobrir todas as áreas especificadas no projeto. A interpretação precisa dos volumes a serem concretados e a distribuição do concreto são determinantes para garantir que a obra seja executada com eficiência e dentro dos parâmetros de qualidade exigidos.

A metragem cúbica do concreto refere-se ao volume de concreto necessário para preencher uma determinada área ou estrutura. Calcular corretamente a metragem cúbica é essencial para evitar desperdícios e garantir a eficiência do processo. Em grandes obras, como edifícios de múltiplos andares, a concretagem muitas vezes é realizada em etapas, concretando-se um andar de cada vez. Isso requer um planejamento preciso para calcular a quantidade exata de concreto necessária para cada etapa, evitando excessos ou faltas que poderiam comprometer a qualidade e a integridade da estrutura

Para calcular a metragem cúbica de concreto a partir de um projeto, é necessário seguir alguns passos:

2.2.1 Interpretação das plantas e seções

A leitura detalhada das plantas e seções do projeto permite identificar as dimensões exatas das áreas a serem concretadas. Isso inclui a largura, comprimento e altura das estruturas, como pilares, vigas e lajes.

2.2.2 Perda estimada

Durante o planejamento da concretagem, é importante estimar as perdas, que podem ocorrer devido a fatores como vazamentos, deformações e erros nas dimensões das nas fôrmas, além de desperdícios no transporte e manuseio do concreto. Normalmente, as perdas variam entre 3% e 5%, mas podem ser ajustadas conforme a complexidade da obra e as condições do canteiro (ABNT NBR 7212:2024; Portal Idea, 2022).

2.2.3 Uso de espaçadores

Os espaçadores desempenham um papel fundamental durante a concretagem ao garantir que as armaduras estejam posicionadas corretamente e o concreto preencha todos os espaços da estrutura de maneira uniforme e sem vazios. Além de suportarem a posição das armaduras, eles asseguram o cumprimento do cobrimento necessário, um fator essencial para proteger as armaduras contra a corrosão e, consequentemente, para prolongar a vida útil da estrutura.

O cobrimento mínimo do concreto é estabelecido de acordo com a classe de agressividade ambiental (CA), conforme especificado na ABNT NBR 6118:2023. Essa classe avalia o nível de exposição da estrutura aos agentes de corrosão, determinando o cobrimento necessário para proteger as armaduras. Em locais de alta agressividade, como áreas costeiras e industriais, o projeto exige um cobrimento maior, além de concreto mais impermeável, para impedir a penetração de umidade e cloretos que aceleram a corrosão das armaduras.

As Tabelas 1 e 2 da norma especificam esses requisitos de acordo com o ambiente em que a estrutura será exposta, definindo o nível de proteção necessário. Esses requisitos garantem que a estrutura atenda às condições de durabilidade ao longo do tempo, minimizando os riscos de deterioração e falhas estruturais. Abaixo, encontra-se a tabela que relaciona as classes de agressividade ambiental com os valores mínimos de cobrimento, conforme as exigências da norma.

Figura 8 - Classes de agressividade ambiental (CA)

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana [1), 2)]	Pequeno
III	Forte	Marinha [1)]	Grande
		Industrial [1), 2)]	
IV	Muito forte	Industrial [1), 3)]	Elevado
		Respingos de maré	

[1)] Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

[2)] Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em: obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.

[3)] Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: ABNT NBR 6118:2023.

A correta aplicação dos espaçadores, alinhada ao cobrimento especificado, permite que o concreto cubra uniformemente as armaduras, criando uma barreira eficaz contra agentes nocivos. Durante a concretagem, é fundamental também realizar uma vibração adequada do concreto, o que elimina bolhas de ar e outros defeitos que poderiam comprometer a resistência e a durabilidade. A vibração deve ser executada com cuidado, para evitar tanto o excesso quanto a falta de vibração, que podem causar segregação dos materiais ou vazios indesejados.

O cumprimento dessas normas e procedimentos – como o uso de espaçadores e o estabelecimento de um cobrimento adequado para cada classe de agressividade ambiental – é essencial para a segurança estrutural e a durabilidade da obra, minimizando o risco de falhas estruturais ao longo da vida útil da construção, como apresentado na Figura 9.

Figura 9 – Espaçador de armação.

Fonte: Elaborado pelo autor.

2.2.4 Cálculo da necessidade de caminhões betoneira e o tempo entre eles

Após calcular a metragem cúbica total de concreto necessária, é preciso determinar quantos caminhões betoneira serão utilizados para atender à demanda. No Brasil, os caminhões betoneira possuem capacidades variadas, com os modelos mais comuns carregando entre 5, 8 e 12 metros cúbicos de concreto por viagem.

O número de caminhões necessários dependerá do volume total de concreto e da capacidade dos caminhões disponíveis para a obra. Além disso, é necessário planejar os intervalos entre as descargas de concreto na obra. Esse intervalo geralmente varia de 30 minutos a 2 horas, dependendo de fatores como a complexidade da concretagem, o número de pavimentos a serem concretados e as condições de acesso ao local. O objetivo é garantir que o concreto seja aplicado de forma contínua e dentro do limite de tempo de aplicação, que é de até 150 minutos após o início da mistura. Essa coordenação evita interrupções na concretagem e garante que o concreto mantenha sua qualidade ao longo do processo (ABNT NBR 7212:2024).

Essa abordagem integrada entre a leitura de projetos e o cálculo da metragem cúbica assegura que o concreto seja aplicado de maneira eficiente e conforme as especificações técnicas, minimizando desperdícios e garantindo a qualidade da construção.

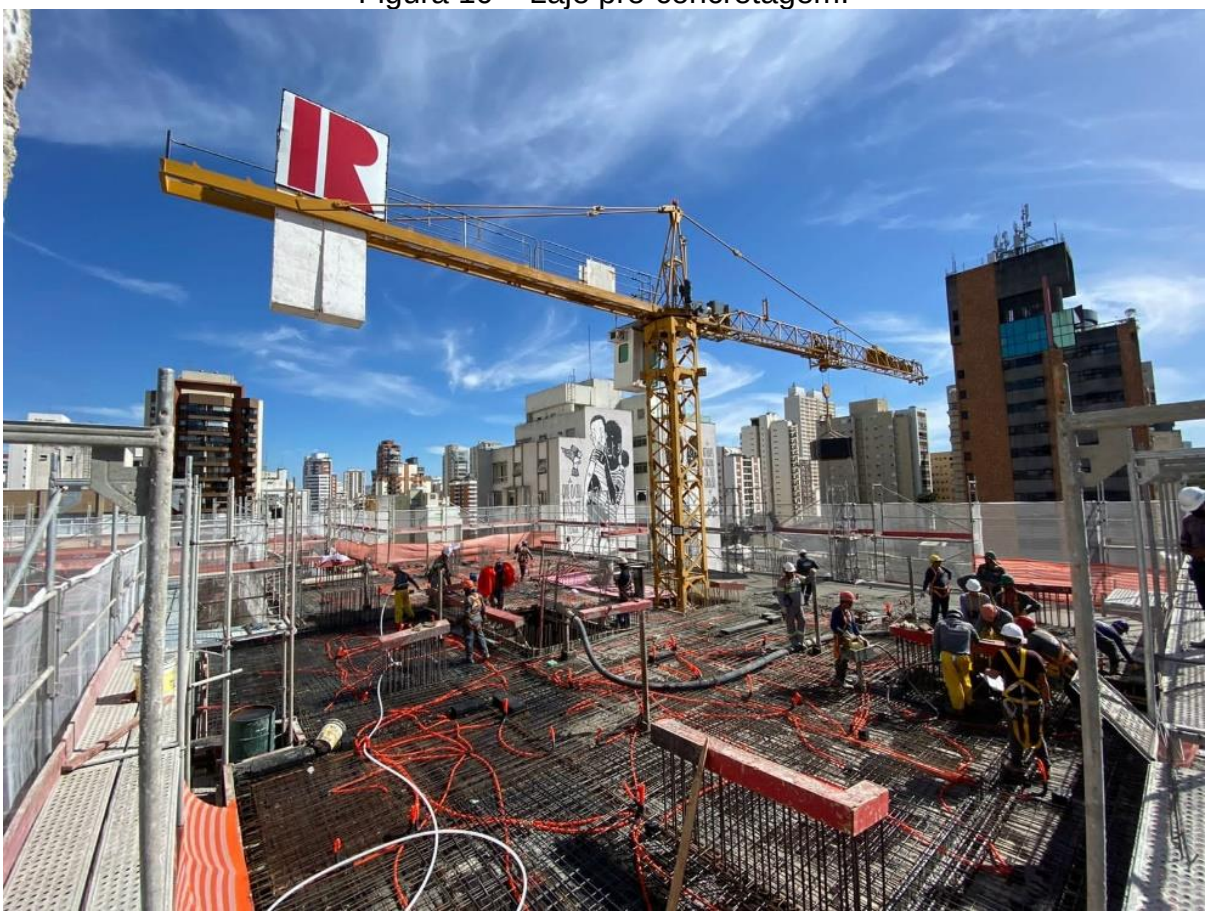
2.3 PROCEDIMENTOS DURANTE A CONCRETAGEM

Durante a concretagem, é importante seguir uma série de procedimentos rigorosos para garantir que o concreto aplicado atenda aos padrões de qualidade exigidos. Esse processo vai além da simples descarga do material e envolve diversas etapas de verificação, monitoramento e controle que garantem que o concreto aplicado seja durável e seguro.

2.3.1 Preparação do ambiente

Antes do início da concretagem, é fundamental que o ambiente esteja adequadamente preparado. Isso inclui a limpeza das lajes e das áreas onde o concreto será aplicado, removendo detritos, poeira e qualquer tipo de material que possa comprometer a aderência do concreto às superfícies. Essa etapa também envolve a verificação das formas e das armações, que devem estar posicionadas corretamente e devidamente fixadas para garantir a conformidade com as especificações do projeto. A fixação adequada das formas evita deformações e falhas no acabamento do concreto.

Figura 10 – Laje pré-concretagem.



Fonte: Elaborado pelo autor.

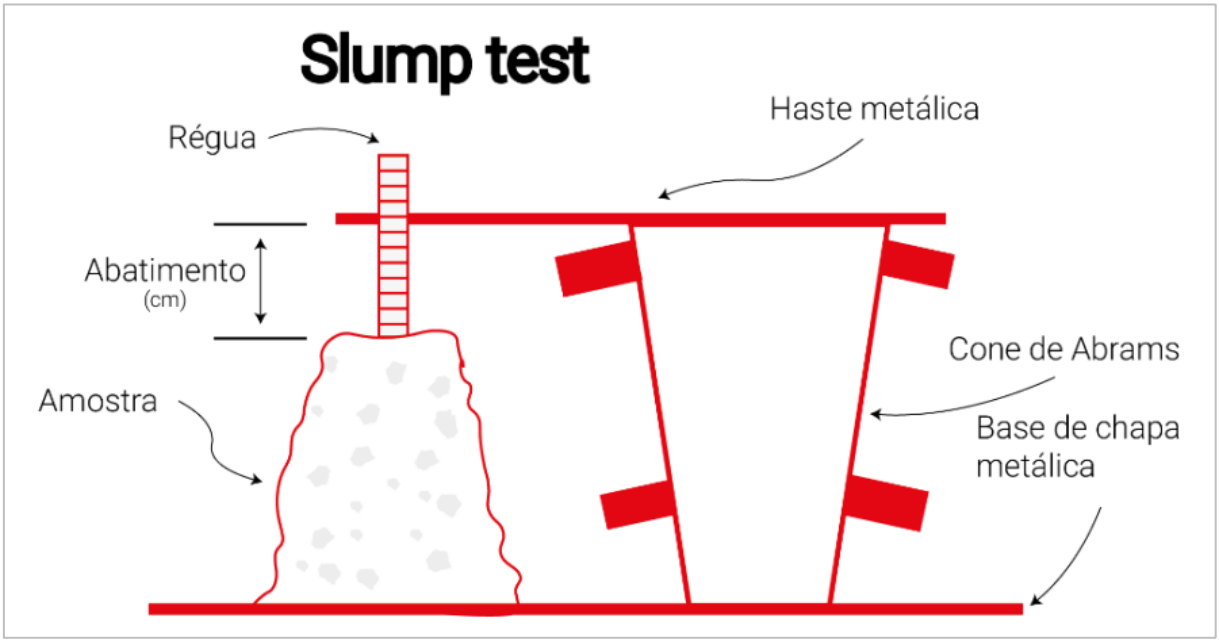
2.3.2 Slump teste

O slump test é uma das principais ferramentas utilizadas para verificar a consistência do concreto fresco no momento da concretagem. Não existe um ensaio considerado aceitável para determinar diretamente a trabalhabilidade do concreto. Entretanto, o ensaio de abatimento do tronco de cone (slump test), é o ensaio que indica indiretamente a trabalhabilidade dos concretos convencionais e bombeados (Neville, 1997).

Geyer e Resende (2006) afirmam que esse teste afere a fluidez e a consistência do concreto, permitindo assim que se controle sua uniformidade, sendo que esse tipo de ensaio tem sua principal função é fornecer uma metodologia simples e conveniente para que possa se controlar a uniformidade da produção do concreto em diferentes betonadas.

O slump test consistes no preenchimento de um tronco de cone em três camadas de concreto de igual altura, sendo que cada camada golpeada 25 vezes com uma haste padrão. O valor da medida do abatimento do concreto se dá logo após a retirada do molde, conforme indica a figura 11.

Figura 11 - Medida do abatimento.



Fonte: NBR MN 67 (ABNT, 1998).

Neville (1997) indica as correlações entre a trabalhabilidade do concreto e o ensaio de abatimento, como apresentado na figura 12.

Figura 12 - Relação entre a trabalhabilidade do concreto e o valor do abatimento do tronco de cone

TRABALHABILIDADE	ABATIMENTO (MM)
ABATIMENTO ZERO	0
MUITO BAIXA	5 a 10
BAIXA	15 a 30
MÉDIA	45 a 75
ALTA	80 a 155
MUITO ALTA	160 ao desmoronamento

Fonte: Neville (1997).

De acordo com a ABNT NBR 12655:2022, para concreto preparado pelo executante da obra, devem ser realizados ensaios de consistência sempre que ocorrerem alterações na umidade do agregado, no primeiro manuseio do dia, ao reiniciar o preparo após uma interrupção da concretagem de pelo menos duas horas e cada vez que forem moldados corpos-de-prova. Tais procedimentos tem como objetivo garantir e controlar as especificações previstas para a execução da estrutura.

2.3.3 Moldagem de corpos de prova de concreto

Outro procedimento essencial durante a concretagem é a moldagem dos corpos de prova, que são amostras representativas do concreto fresco. Esses corpos de prova são fundamentais para garantir que o concreto atinja os valores de resistência à compressão especificados no projeto e para monitorar a qualidade ao longo do tempo.

A moldagem dos corpos de prova geralmente é realizada utilizando cilindros com dimensões padronizadas, como 15 cm de diâmetro e 30 cm de altura. Para moldar os corpos de prova, o concreto fresco é vertido nos moldes e compactado para remover bolhas de ar e garantir uma densidade uniforme. Após a moldagem, os cilindros são cobertos e mantidos em condições ambientais controladas, geralmente em um local com temperatura e umidade reguladas para simular as condições de cura do concreto na obra.

Uma vez moldados, os corpos de prova são retirados dos moldes com cuidado e armazenados em um ambiente de cura até o momento do teste. A cura adequada é crucial para garantir que o concreto atinja as propriedades desejadas e se desenvolva de maneira consistente. Os corpos de prova são então enviados para o laboratório de controle de qualidade para realização dos ensaios de compressão.

Como dito anteriormente, os ensaios de compressão são realizados em diferentes idades para avaliar a evolução da resistência do concreto. Normalmente, um corpo de prova é rompido aos 7 dias, dois aos 28 dias, e um aos 45 dias. A moldagem e os testes dos corpos de prova são etapas cruciais no controle de qualidade do concreto, pois fornecem uma medida objetiva da qualidade do material e ajudam a garantir a integridade e segurança das estruturas construídas (Barros;

Melhado, 2006).

2.3.4 Acompanhamento da aplicação do concreto

Durante a concretagem, é essencial manter um controle rigoroso da rastreabilidade do concreto, registrando a origem de cada lote de concreto e o local exato onde foi aplicado na obra. Esse controle é vital para monitorar a qualidade do concreto em diferentes partes da estrutura. Uma prática comum é o mapeamento da aplicação do concreto em um projeto impresso, onde cada lote é marcado de acordo com o caminhão betoneira que o forneceu. Essa técnica facilita a identificação de áreas específicas da estrutura caso algum lote não atinja os valores esperados de resistência durante os ensaios de compressão, permitindo que ações corretivas sejam tomadas (Barros; Melhardo, 2006).

Figura 13 – Acompanhamento de concretagem.

Fonte: Elaborado pelo autor.

2.3.5 Verificação contínua e ajustes

Finalmente, durante todo o processo de concretagem, a equipe deve estar preparada para realizar ajustes conforme necessário, como controlar a taxa de descarga dos caminhões betoneira e ajustar a consistência do concreto em função das condições climáticas e do tipo de estrutura que está sendo concretada. A concretagem é uma etapa sensível e precisa ser conduzida com precisão para garantir que o concreto cure corretamente e atinja a resistência projetada.

2.4 MONITORAMENTO E TESTES PÓS CONCRETAGEM

Após a concretagem, os procedimentos de monitoramento e testes pós-concretagem são cruciais para garantir a qualidade e integridade da estrutura. Um dos principais passos é o acompanhamento da desforma, que só deve ocorrer após a verificação de que o concreto alcançou resistência suficiente para suportar as cargas previstas. Essa etapa é delicada, pois falhas na resistência podem comprometer a estabilidade da estrutura.

Outro procedimento relevante é a verificação de possíveis espaços sem preenchimento (vazios) ou ferragens expostas, que podem indicar problemas na distribuição do concreto. Se identificados, esses problemas devem ser corrigidos imediatamente, muitas vezes com o preenchimento de graute nas áreas que necessitam de reforço, assegurando a continuidade do projeto sem riscos estruturais.

Além dessas inspeções visuais, os corpos de prova desempenham um papel essencial no monitoramento pós-concretagem. Eles são testados em laboratórios especializados para verificar se o concreto atinge os valores de resistência (MPa) conforme previsto no cronograma (7, 28 e 45 dias). Para facilitar o controle desses resultados, é fundamental o uso de uma planilha de acompanhamento.

Esta planilha, conforme exemplificado anteriormente no presente trabalho, contém registros detalhados, como as notas fiscais de cada concretagem e colunas específicas para os rompimentos dos corpos de prova nas diferentes idades. Nela, é possível imputar o valor de resistência esperado e comparar com os resultados obtidos, sinalizando de maneira clara se os valores estão dentro dos parâmetros projetados.

Esse sistema de monitoramento não só documenta todo o processo, mas também auxilia na tomada de decisões rápidas caso alguma falha seja identificada, minimizando retrabalhos e garantindo a segurança da obra.

3. METODOLOGIA

O presente estudo de caso analisa um edifício localizado em um bairro de alto padrão na zona oeste de São Paulo, caracterizado por sua proximidade a estações de metrô e áreas de grande movimentação urbana. A localização privilegiada do empreendimento o torna um ponto estratégico tanto para o uso residencial quanto comercial, atendendo às demandas de conveniência e acessibilidade em uma das áreas mais valorizadas da cidade.

Figura 14 – Fachada Ilustrativa do Edifício.

Fonte: Arquivo da Construtora.

O edifício, de caráter predominantemente residencial, possui 25 pavimentos e foi projetado para oferecer uma diversidade de configurações habitacionais e de áreas comuns. Do 2º ao 7º andar, encontram-se studios, unidades residenciais de tamanho reduzido, geralmente entre 25 e 35 m², com o 7º pavimento sendo destinado a uma área de transição que abriga três piscinas, sendo uma delas coberta e aquecida, e as outras duas expostas. A partir do 9º até o 17º pavimento, a disposição inclui quatro apartamentos por andar, cada um com dois dormitórios, adaptando-se ao perfil de moradores que buscam maior funcionalidade.

Figura 15 – Planta 2 dormitórios 9º até o 17º pavimento.

Fonte: Arquivo da Construtora.

O 17º andar, além de representar uma nova transição no layout do edifício, conta com espaços destinados ao coworking, reforçando o conceito de áreas compartilhadas. Entre o 17º e o 22º andar, a configuração dos apartamentos é diversificada, apresentando três unidades por pavimento, sendo uma com três dormitórios e duas com quatro dormitórios. No 22º andar, há uma nova área de transição, onde está localizada uma academia, destinada ao uso dos residentes.

Figura 16 – Fachada pronta do Edifício.

Fonte: Arquivo da Construtora.

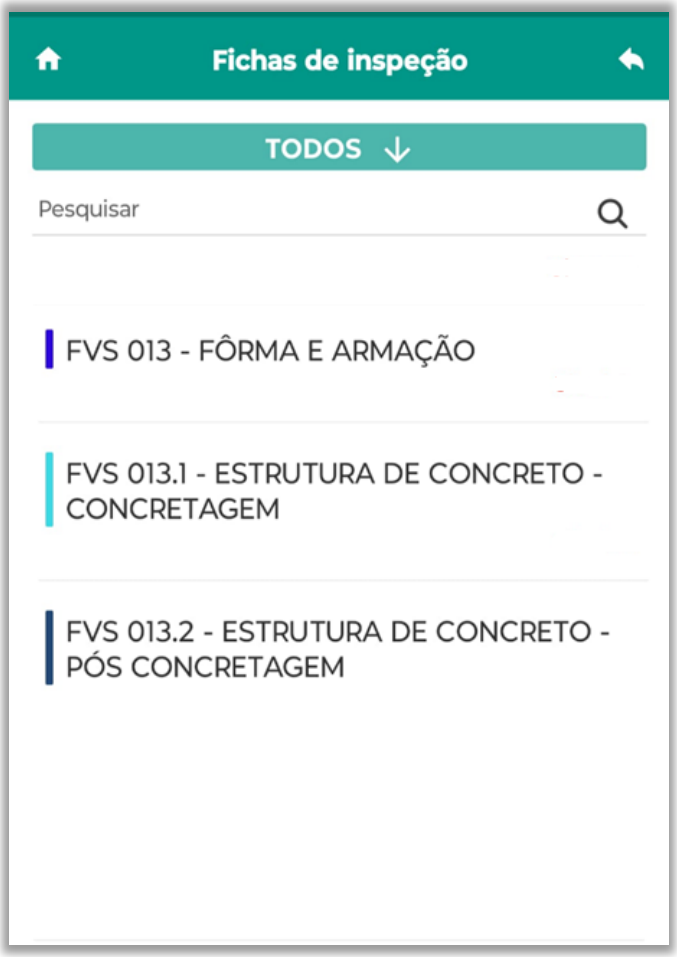
Por fim, do 22º ao 25º andar, o edifício oferece dois apartamentos por andar, ambos com três dormitórios, configurando unidades residenciais de maior amplitude e exclusividade. O empreendimento totaliza uma área construída de 14.171,80 m², abarcando, além das unidades residenciais, diversas amenidades, incluindo duas academias, dois espaços de coworking, uma lavanderia e três piscinas, das quais uma é aquecida.

O projeto se destaca pela atenção ao conforto e ao bem-estar dos moradores, integrando espaços de lazer, trabalho e convivência em um único complexo residencial, promovendo qualidade de vida em uma localização estratégica.

3.1 CONTROLE DIGITAL DE QUALIDADE

O controle de qualidade digital foi um componente essencial na execução da estrutura da obra. Todas as etapas de verificação relacionadas a fase de estrutura do edifício foram registradas em um aplicativo de controle de qualidade, GescorpGO, que guiava os profissionais em três fases principais: Forma e Armadura (Pré-Concretagem), Concretagem e Pós-Concretagem. O aplicativo, GescorpGO, operava de forma sequencial, liberando a etapa de concretagem somente após a validação de todas as verificações da pré-concretagem, o que garantiu que nenhum procedimento crítico fosse negligenciado, em conformidade com os requisitos da ABNT NBR 12655:2022.

Figura 17 – Aplicativo GescorpGO: fôrma e armadura (pré-concretagem).



Fonte: Elaborado pelo autor.

A etapa de pré-concretagem envolveu a preparação técnica para assegurar que o concreto atendesse aos requisitos do projeto. De acordo com a ABNT NBR 12655:2022, o Profissional Responsável pelo Projeto Estrutural fica encargado de registrar a resistência característica à compressão do concreto, fck, em todos os desenhos e documentos técnicos do projeto. Esses registros foram fundamentais para definir as propriedades que o concreto deveria alcançar após a cura.

No papel de responsável pela execução da obra, foram desempenhadas funções essenciais nesta fase, incluindo:

- Escolher a modalidade de preparo do concreto: Neste caso foi o concreto usinado;
- Assegurar que todos os requisitos do projeto fossem atendidos, incluindo a escolha dos materiais adequados, em conformidade com o projeto e as condições ambientais: essas verificações na fase de pré-concretagem foram cruciais para garantir que tanto os materiais quanto o processo estavam prontos para a concretagem, minimizando os riscos de não conformidade.

Conforme a ABNT NBR 12655:2022, durante a execução da obra houve um responsável por:

- **Receber e aceitar o concreto, verificando se o concreto fresco atendia a todas as propriedades especificadas no projeto:** Para isso, conferiu-se as notas fiscais de cada carga, e as informações foram analisadas e documentadas, como o tipo de concreto, fck e demais propriedades, estavam em conformidade com o que foi solicitado. Essa etapa de verificação assegurou que o concreto utilizado cumprisse com as especificações técnicas antes de seu lançamento na estrutura.
- **Efetuar a rastreabilidade do concreto lançado na estrutura, assegurando o mapeamento preciso das áreas concretadas:** Durante a concretagem, houve a complementação do controle de qualidade digital com o mapeamento físico do concreto, detalhando as áreas onde cada lote foi aplicado. Esse registro permitiu um rastreamento completo do concreto lançado e foi essencial para identificar as áreas concretadas caso houvesse necessidade de correções estruturais. Dessa forma, quando a resistência de projeto não era atingida, era possível informar ao projetista exatamente onde ele deveria atuar para realizar as correções necessárias.
- **Verificar o cumprimento dos requisitos da norma por todos os**

profissionais envolvidos: Esse acompanhamento constante garantiu que todos os envolvidos na concretagem seguissem os padrões estabelecidos pela norma, promovendo um trabalho alinhado às boas práticas.

Na fase de pós-concretagem, o controle incluiu verificações essenciais para a retirada do escoramento, uma etapa crucial para garantir a estabilidade estrutural. O Profissional Responsável pela Execução da Obra, encarregou-se de:

- Manter o escoramento conforme especificado no projeto estrutural, incluindo o reescoramento dos pavimentos ainda em processo de cura: Conforme indicado em projeto, esse reescoramento foi mantido em pavimentos inferiores ao que estava sendo concretado, como, por exemplo, a manutenção do reescoramento até o quarto pavimento enquanto o sétimo era concretado;
- Atender aos requisitos da ABNT NBR 9062, que trata da liberação da desforma e movimentação de elementos pré-moldados de concreto: Nessa etapa, planilhas preenchidas manualmente foram utilizadas para registrar notas fiscais de cada carga de concreto e os valores de resistência dos corpos de prova aos 7, 28 e, se necessário, 45 dias. A precisão desse controle manual, complementado pelo registro digital, garantiu que cada carga de concreto atendesse aos parâmetros de qualidade especificados no projeto e na norma. Esse processo permitiu acompanhar em tempo real as propriedades do concreto e notificar o projetista rapidamente em caso de desvios de resistência, como a necessidade de atingir 70% da resistência em 7 dias.

Esse controle detalhado nas fases de pós-concretagem, com registros tanto digitais quanto físicos, foi essencial para assegurar a conformidade da estrutura, atendendo aos requisitos das normas ABNT NBR 12655:2022 e ABNT NBR 9062. Em todas as etapas, o aplicativo desempenhou um papel vital no registro e consulta de dados, sendo fundamental para a rastreabilidade e gestão da qualidade do concreto durante a execução da obra.

3.2 AUDITORIAS

Além do controle digital e manual interno, o processo de controle de qualidade foi regularmente auditado por uma equipe externa. Essas auditorias ocorriam

mensalmente e tinham como objetivo garantir que todos os procedimentos seguissem as normas técnicas e as especificações do projeto.

As auditorias examinavam tanto as verificações realizadas pelo aplicativo quanto as planilhas de controle desenvolvidas pela equipe.

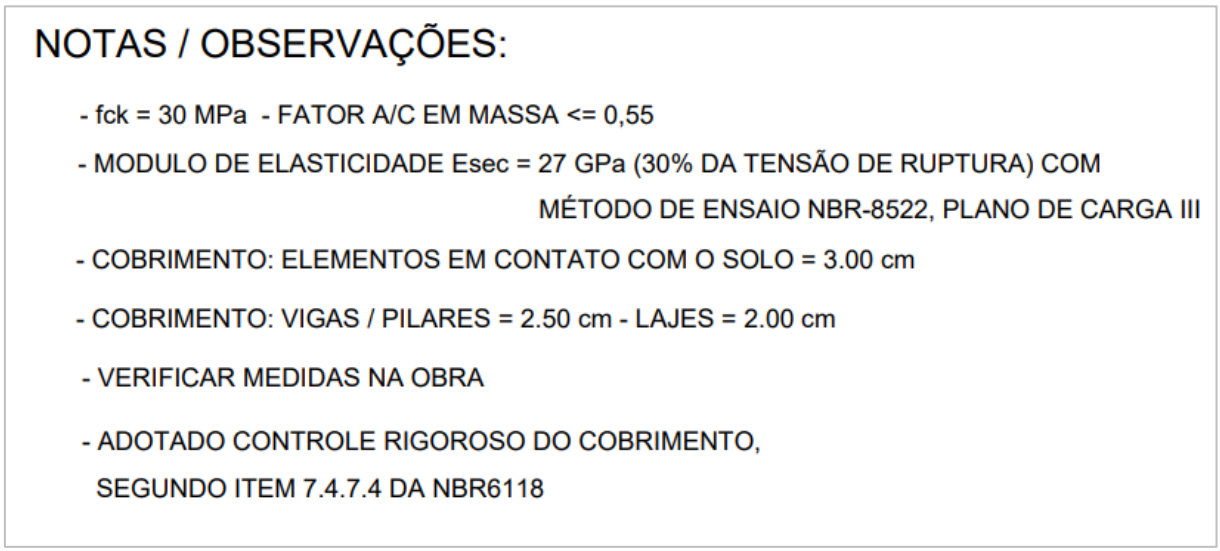
No caso das planilhas, os auditores verificavam a organização dos registros de notas fiscais, o cumprimento dos prazos para rompimentos dos corpos de prova, e a conformidade dos ensaios de resistência à compressão. Eles conferiam se a resistência prevista em projeto estava sendo alcançada dentro dos prazos estabelecidos (7, 28 e 45 dias), garantindo que os resultados fossem devidamente comunicados ao projetista em caso de não conformidade.

3.3 PRÉ-CONCRETAGEM

A fase de pré-concretagem é essencial para assegurar a qualidade e a conformidade da estrutura com o projeto, e envolve tanto verificações físicas quanto um planejamento estratégico. Esse planejamento compreende a leitura e interpretação dos projetos, o cálculo da metragem cúbica necessária de concreto e o planejamento logístico da concretagem. De acordo com a ABNT NBR 12655:2022, essa etapa é crucial para garantir que o concreto utilizado na obra atenda aos padrões de resistência e durabilidade especificados.

A leitura e interpretação dos projetos arquitetônicos e estruturais são indispensáveis para que a execução siga as especificações técnicas definidas, o que evita erros na aplicação do concreto e assegura que as resistências projetadas sejam atingidas. Cada projeto deve apresentar o valor de resistência característica à compressão do concreto, o fck, de maneira explícita, conforme exigido pela ABNT NBR 6118:2023. Esse valor deve constar em todos os desenhos e memórias de cálculo do projeto, servindo como parâmetro para as verificações da resistência durante a execução. Conforme a imagem abaixo:

Figura 18 – Informações técnicas do projeto.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Outro aspecto fundamental para a durabilidade da estrutura é a especificação das classes de agressividade ambiental (CA). Essas classes, indicadas nas Tabelas 1 e 2 da ABNT NBR 6118:2023, definem os níveis de proteção necessários com base no ambiente em que a estrutura será exposta. A imagem acima, retirada do projeto, ilustra os cobrimentos exigidos para vigas, pilares e lajes, fundamentais para proteger as armaduras contra a corrosão e assegurar a durabilidade da estrutura. Por exemplo, em áreas costeiras ou industriais, sujeitas a níveis mais elevados de corrosão, é necessário um concreto com maior impermeabilidade e cobrimento de armadura adequado para evitar a deterioração prematura. O cumprimento desses requisitos não só prolonga a vida útil da estrutura, mas também contribui para a segurança estrutural, minimizando o risco de falhas ao longo do tempo.

O planejamento logístico também é vital para assegurar que a concretagem ocorra dentro do limite de 150 minutos, conforme orientado pelo Manual do Concreto Dosado em Central da ABESC (2007), e recomendado por Barros e Melhado (2006). Esse tempo é crítico para manter as propriedades mecânicas do concreto. No planejamento, a capacidade e a frequência de descarga dos caminhões betoneira são dimensionadas de forma que o concreto chegue em condições adequadas ao local de aplicação, evitando perdas de qualidade devido ao tempo de transporte. Além disso, é preciso garantir a disponibilidade e adequação das peças para o escoramento,

seguindo o projeto específico de escoramento, que assegura a estabilidade da estrutura durante a fase de cura.

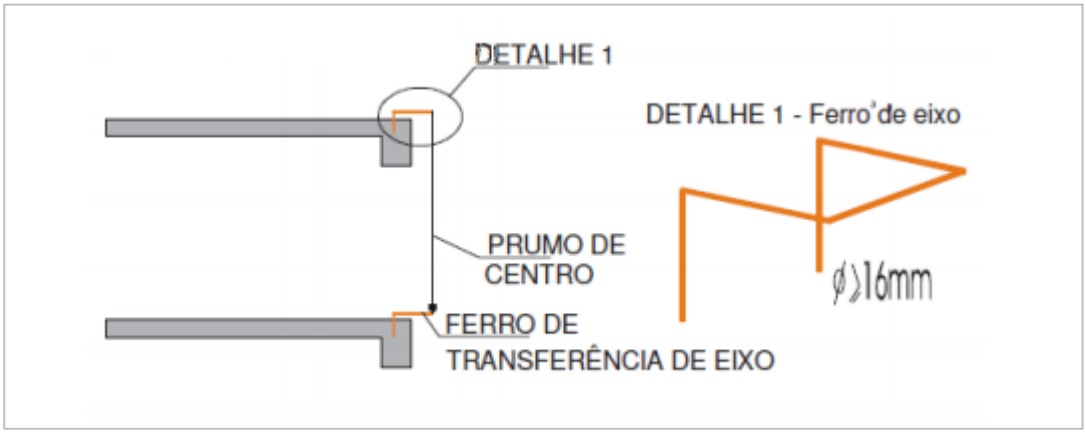
A fase de pré-concretagem inclui uma série de verificações para garantir que a execução das formas, armações e demais elementos esteja de acordo com as especificações técnicas. Todas essas etapas de verificação são organizadas e executadas por meio de um aplicativo de controle de qualidade, no qual cada verificação precisa ser registrada e validada para liberar a fase de concretagem. Abaixo estão as principais verificações realizadas nos pilares, vigas e lajes antes da concretagem.

3.3.1 Verificação dos pilares

- Locação de Eixo

Inicialmente, verifica-se o posicionamento dos eixos de acordo com o projeto, utilizando uma trena metálica para garantir que as dimensões estejam corretas. Além disso, realiza-se a conferência do esquadro entre os eixos, assegurando que as linhas estejam perpendiculares, o que é essencial para a precisão geométrica da estrutura. A transferência dos eixos coordenados para a laje em execução é realizada preferencialmente com o uso de teodolitos, garantindo maior precisão. A imagem abaixo ilustra a locação e o esquadro dos eixos.

Figura 19 – Transferência e esquadro de eixo.



Fonte: PES 13 – ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO.

- Gastalho

A conferência do gastalho envolve a medição com trena metálica e nível, além de uma inspeção visual para verificar a vedação. Essa vedação impede o escorrimento da nata do concreto, preservando a qualidade da superfície e a resistência estrutural. O gastalho deve estar bem fixado à laje e alinhado com os eixos principais, evitando desalinhamentos que possam comprometer a montagem subsequente. Abaixo, a Figura 20 mostra um exemplo de gastalho devidamente posicionado.

Figura 20 – Exemplo de gastalho com vedação e posição adequada.

Fonte: Elaborado pelo autor.

- Conferência da Armadura

Com o projeto em mãos, verifica-se o diâmetro das barras e seus espaçamentos, utilizando uma trena para medir o comprimento e o diâmetro das mesmas. As barras devem estar livres de ferrugem, óleo ou contaminantes que possam prejudicar a aderência do concreto. Além disso, é necessário garantir que os espaçadores estejam corretamente posicionados para assegurar o cobrimento adequado da armadura pelo concreto, o que protege as ferragens da corrosão. Este controle e monitoramento dos materiais e medidas foram realizados utilizando o aplicativo GescorpGO, que permitia registrar essas verificações de forma precisa e digital.

- Montagem das Fôrmas

Após a conferência da armadura, procede-se à montagem das fôrmas. As faces das fôrmas são ajustadas com o auxílio de prumos e niveladas, sendo travadas com tensores ou barras de ancoragem para garantir estabilidade. As fôrmas são preparadas com desmoldante nas superfícies internas, conforme orientado na Figura 21.

- Para-raio

Antes da concretagem, verifica-se se há a necessidade de instalação de para-raios no pilar em questão, conforme o projeto elétrico da edificação.

- Escoramento

O escoramento é verificado para assegurar que está de acordo com o projeto específico, observando-se a disposição das peças e sua resistência para suportar a concretagem. A estrutura de escoramento deve garantir a estabilidade do pilar até que o concreto atinja sua resistência suficiente.

A Figura 21 a seguir mostra um pilar com a armadura já conferida e fechada,

pronto para o recebimento do concreto. Na imagem, é possível observar a disposição correta das barras e a vedação do pilar, que garante a integridade da estrutura.

Figura 21 – Exemplo de pilar com amadura conferida e fechado.

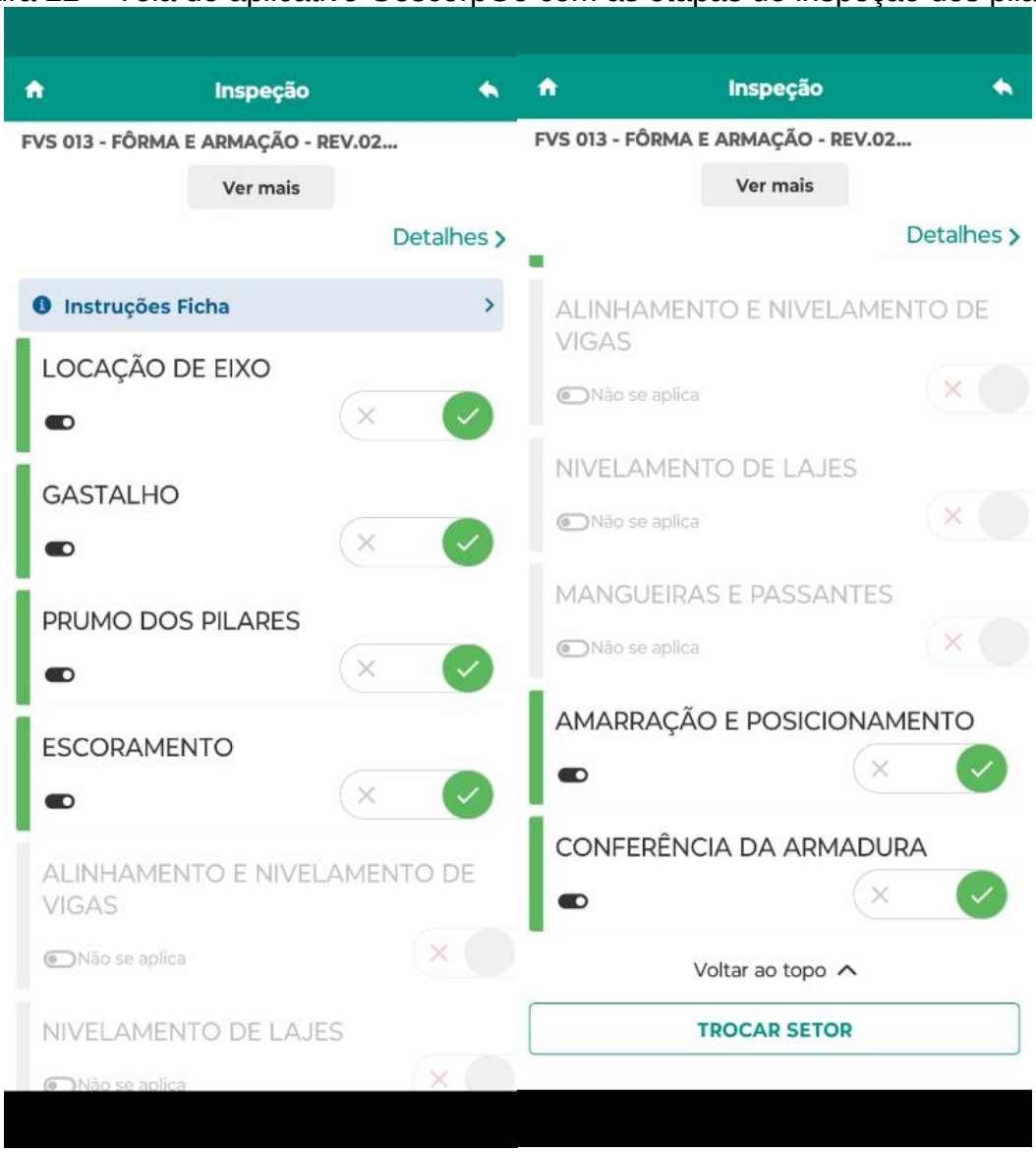
Fonte: Elaborado pelo autor.

- Prumo dos Pilares

A conferência do prumo é realizada no dia da concretagem, utilizando prumo de pedreiro, já que as formas dos pilares podem sofrer desalinhamentos devido à instalação das formas das vigas e lajes acima dos pilares. Essa verificação garante que o pilar mantenha seu alinhamento vertical perfeito.

Para assegurar que cada etapa dos pilares estivesse de acordo com o projeto e normas de qualidade, o aplicativo de controle de qualidade, GescorpGO, foi utilizado para registrar e validar as inspeções necessárias. O sistema apresentava cada verificação exigida, como locação de eixo, conferência de armadura e alinhamento dos pilares. Cada item precisava ser “checado” para que o aplicativo liberasse a etapa de concretagem, garantindo um controle preciso e sistemático.

Figura 22 – Tela do aplicativo GescorpGo com as etapas de inspeção dos pilares.



Fonte: Elaborado pelo autor.

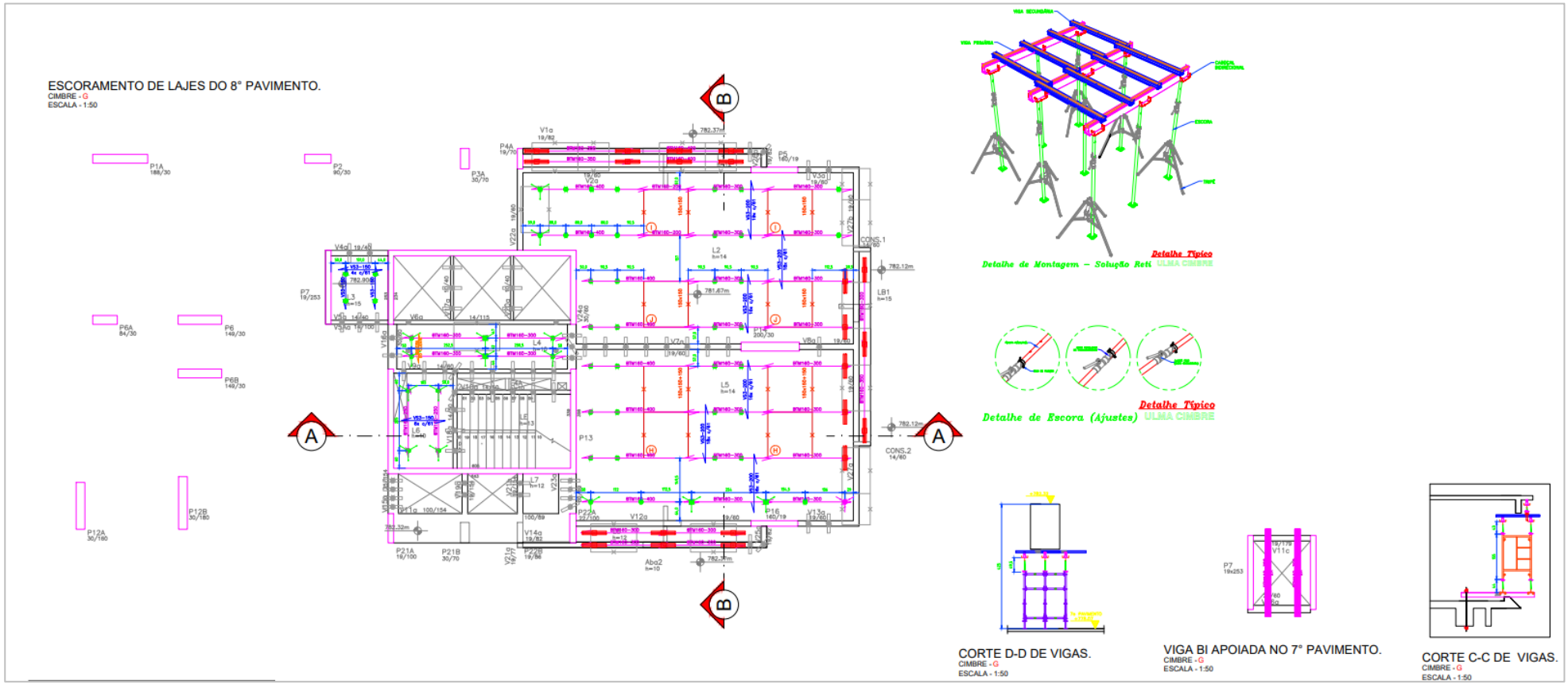
3.3.2 Verificação das vigas e lajes

Após a conclusão das verificações nos pilares, prossegue-se com as verificações nas vigas e lajes, seguindo uma ordem lógica de execução. Essa sequência é fundamental, pois os pilares fornecem suporte direto às vigas e lajes, e eventuais problemas em sua execução podem comprometer o nivelamento e a estabilidade das etapas subsequentes.

- Escoramento

O escoramento das vigas e lajes é conferido conforme o projeto, garantindo que a estrutura suporte o peso do concreto durante a concretagem. Essa verificação envolve a análise das vigas primárias e secundárias posicionadas logo abaixo da laje, certificando-se de que estão corretamente posicionadas e dimensionadas para suportar a carga projetada. Abaixo, a imagem (Figura 23) do projeto de escoramento ilustra essas disposições, destacando os cuidados necessários para atender às exigências estruturais e garantir a segurança durante a concretagem.

Figura 23 – Projeto de escoramento.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Também são analisadas a disposição das escoras e tripés, o tipo de escora utilizado e o espaçamento entre os elementos, especialmente em áreas da laje que exigem maior resistência. Nessas regiões, é essencial que vigas mais robustas sejam colocadas estrategicamente conforme especificado no projeto.

A imagem abaixo apresenta a montagem dos escoramentos e formas das vigas e lajes, evidenciando o processo em andamento e os cuidados necessários para garantir a estabilidade da estrutura durante a concretagem.

Figura 24 – Montagem de escoramentos e formas de vigas e lajes.

Fonte: Elaborado pelo autor.

- Alinhamento e Nivelamento de Vigas e Lajes

O alinhamento e nivelamento das vigas e lajes são realizados com o auxílio de um nível a laser e a leitura precisa do projeto. Esse processo garante que as superfícies atendam às cotas estabelecidas, evitando irregularidades que poderiam impactar negativamente o desempenho estrutural, o escoamento de água ou o encaixe de elementos adicionais. Inicialmente, o nivelamento é checado na parte inferior das fôrmas, ajustando-se a altura das escoras ou tripés por meio de cunhas ou, no caso de escoramento metálico, rosqueando a flange para obter ajustes

milimétricos. Posteriormente, o nível a laser é posicionado na parte superior das fôrmas para verificar a contraflecha, quando exigida pelo projeto, e corrigir imperfeições antes do lançamento do concreto.

Essas verificações rigorosas, detalhadas no PES 13 – Estrutura de Concreto Armado (Figura 19), asseguram a conformidade com as especificações técnicas, minimizando riscos estruturais e garantindo a qualidade final da obra.

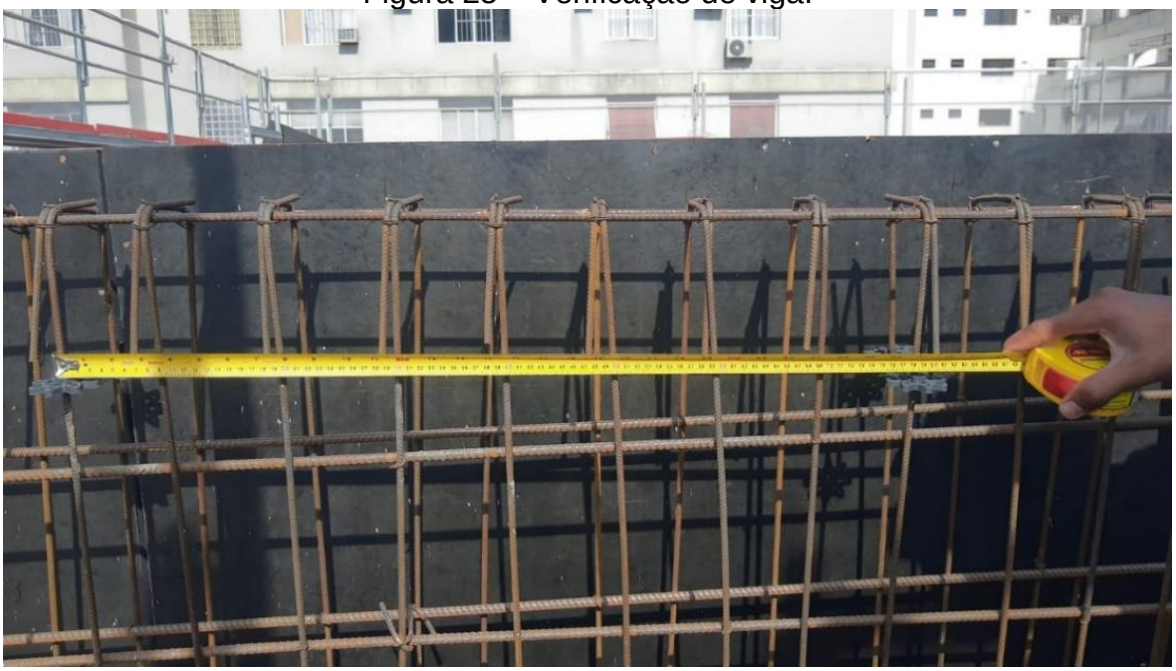
- Mangueiras e Passantes

Antes da colocação das armações negativas, verifica-se a posição das mangueiras embutidas nas lajes e os passantes de vigas e lajes, conforme o projeto hidráulico e elétrico. Esta etapa é essencial para garantir que os pontos de passagem de fiação e tubulação estejam corretamente localizados, evitando retrabalhos após a concretagem.

- Conferência da Armadura

Assim como nos pilares, a armadura das vigas e lajes é verificada quanto ao diâmetro das barras e seus espaçamentos, utilizando trena para medi-los. Verifica-se também se as barras estão livres de contaminantes e se os espaçadores estão posicionados corretamente para garantir o cobrimento do concreto, prevenindo corrosões e falhas estruturais. A imagem (Figura 25) abaixo ilustra como eram feitas as verificações das vigas.

Figura 25 – Verificação de viga.



Fonte: Elaborado pelo autor.

- Amarração e Posicionamento

Checa-se se a amarração da armadura está devidamente ponteada e se as armações negativas estão posicionadas sobre as treliças, conforme o projeto. A correta amarração garante que a armadura permaneça na posição correta durante a concretagem, evitando deslocamentos que poderiam comprometer a integridade da estrutura.

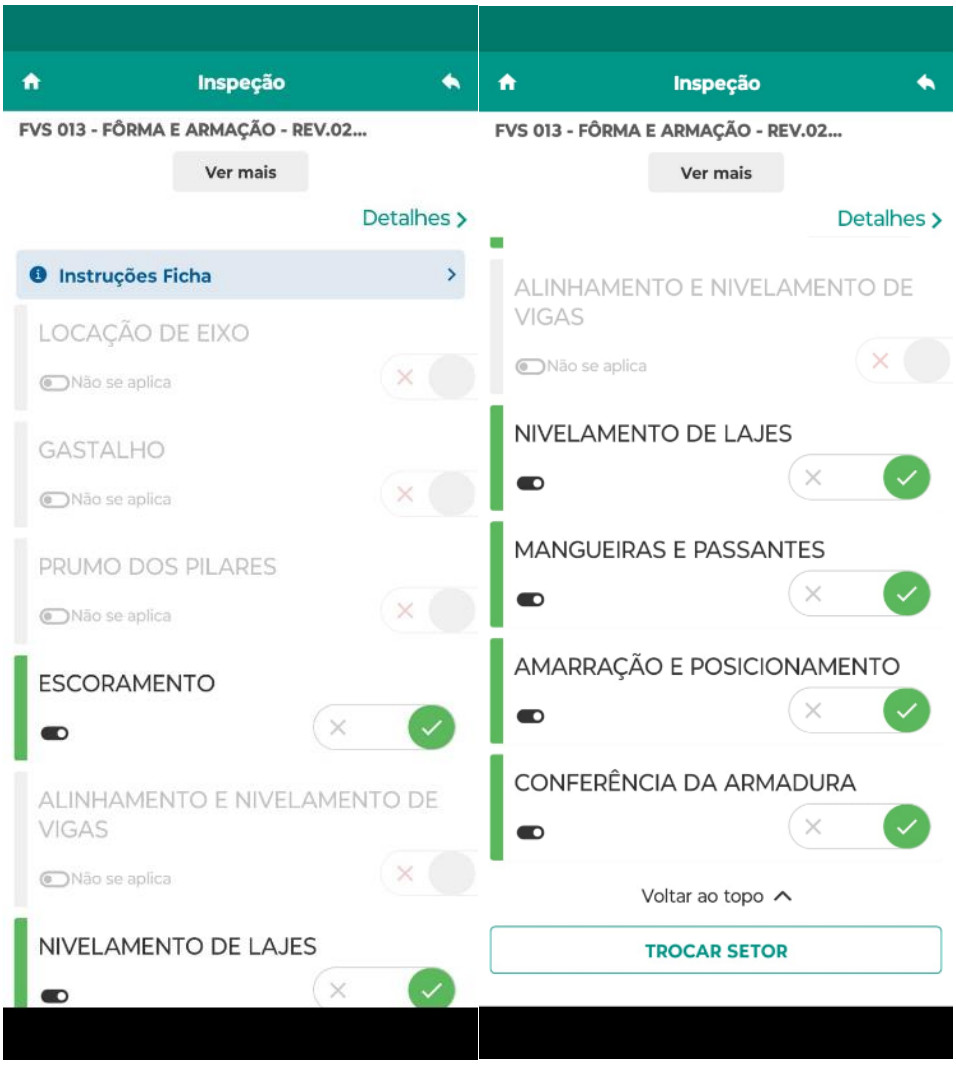
Figura 26 – Laje pronta para concretagem

Fonte: Elaborado pelo autor.

A imagem acima (Figura 26) retrata uma laje pronta para a concretagem: já escorada, alinhada e nivelada, com as mangueiras e passantes devidamente posicionados e a amarração finalizada conforme o projeto.

A seguir, a imagem do aplicativo GescorpGo sinaliza que todas as verificações foram realizadas e estão marcadas como "OK", garantindo que a etapa de concretagem pode ser iniciada com segurança e dentro dos padrões estabelecidos.

Figura 27 – Tela do aplicativo com as etapas de inspeção dos pilares.



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.4 CONCRETAGEM

A fase de concretagem é o momento em que o concreto é finalmente aplicado nas estruturas previamente preparadas, sendo crucial para garantir que a execução atenda aos padrões de qualidade estabelecidos durante o planejamento (Barros; Melhado, 2006). Para que o processo seja eficiente, é necessário cumprir rigorosamente os procedimentos conforme descrito a seguir.

Na obra em questão, durante a etapa de concretagem, dois estagiários de engenharia civil ficaram responsáveis pelas ações de controle de concretagem, desempenhando papéis complementares.

Um dos estagiários, que permaneceu na parte inferior do prédio, foi responsável por verificar as notas fiscais de concreto e os parâmetros nelas contidos, como o fck e a relação água/cimento (a/c), além de monitorar a quantidade de água a ser adicionada ao concreto, seguindo os limites estabelecidos para evitar a desproporção da mistura, e supervisiona a empresa terceirizada responsável pela moldagem dos corpos de prova e pelo teste slump.

O outro estagiário , que permaneceu na maior parte do tempo na parte superior do prédio, foi responsável por acompanhar diretamente a concretagem nos pavimentos, bem como realizar o controle rigoroso do horário de início e término do descarregamento de cada caminhão betoneira, além de fazer o mapeamento detalhado do local onde cada carga de concreto é aplicada, garantindo a rastreabilidade completa.

3.4.1 Condição inicial, limpeza e lavagem

Antes de iniciar a concretagem, todas as etapas da pré-concretagem devem estar concluídas e verificadas. Isso inclui o alinhamento e nivelamento das estruturas, a aplicação de desmoldante nas fôrmas, e a preparação do ambiente para evitar qualquer interferência no processo. É essencial garantir que as condições estejam adequadas para manter a qualidade estrutural e evitar retrabalhos.

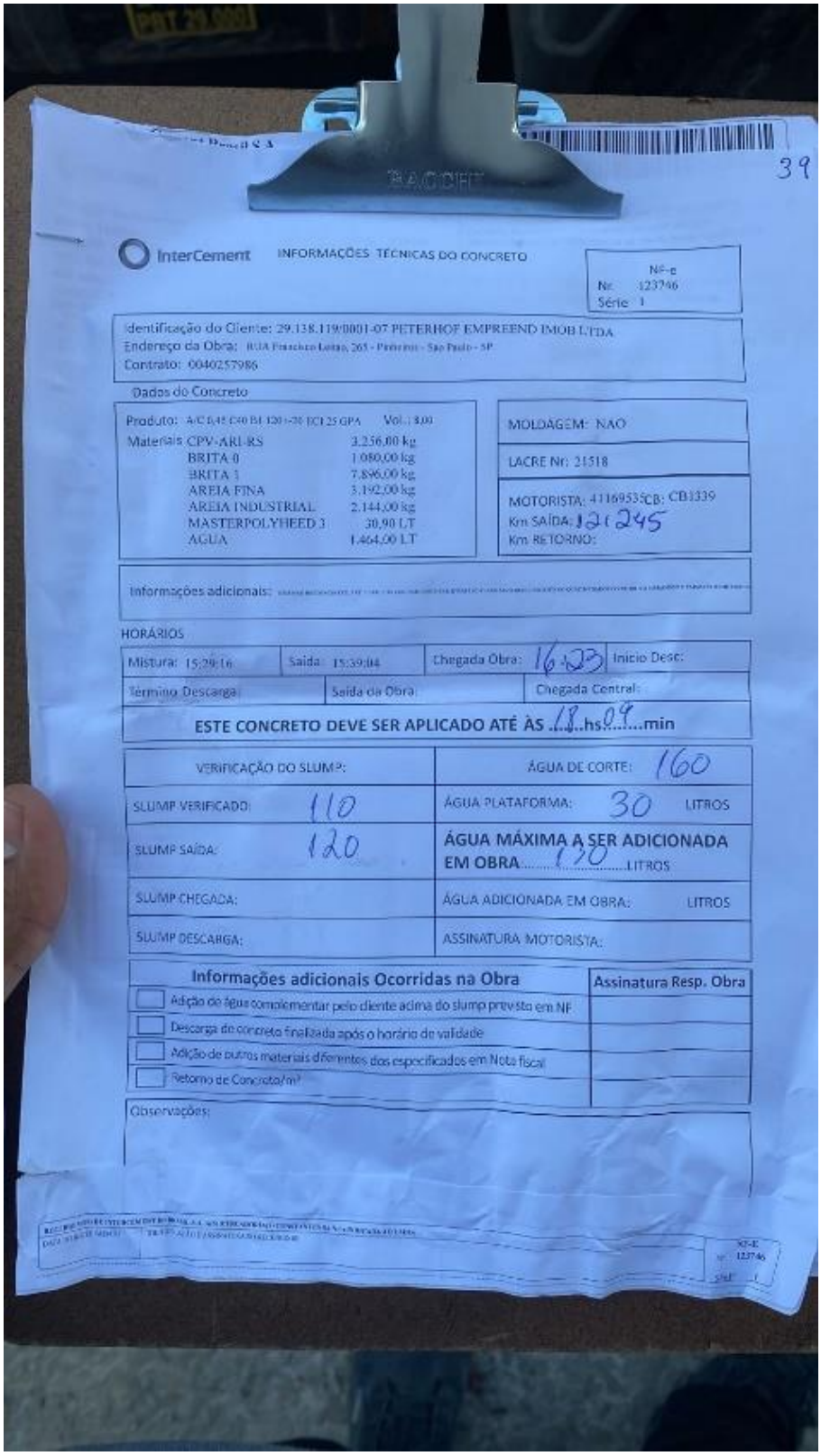
A limpeza do local é uma etapa fundamental para remover qualquer contaminação que possa comprometer a aderência do concreto. Durante essa etapa, resíduos como serragem, papéis, plásticos e barro trazidos pelos operários são eliminados. Um ímã é utilizado para capturar resíduos metálicos, como arames e cobre recozido, e a área é lavada com máquina lava-jato. Adicionalmente, as fôrmas são molhadas abundantemente antes da concretagem, impedindo que a superfície absorva água do concreto e garantindo uma cura adequada.

3.4.2 Verificação das notas fiscais de concreto

Antes do lançamento do concreto, era necessária a conferência da nota fiscal, verificando parâmetros importantes como o fck e relação a/c. Essa função atribuiu-se ao estagiário que permaneceu na parte inferior da construção. Além disso, ficou

responsável por verificar a quantidade de água permitida para adição ao concreto, com base nas especificações do projeto. Ainda, supevisionou a equipe terceirizada, assegurando que os procedimentos de moldagem dos corpos de prova e realização do teste slump fossem conduzidos corretamente.

Figura 28 – Nota fiscal concreto.



InterCement INFORMAÇÕES TÉCNICAS DO CONCRETO

NF-e
Nr. 123746
Série 1

39

Identificação do Cliente: 29.138.119/0001-07 PETERHOF EMPREEND IMOB LTDA
Endereço da Obra: RUA Francisco Leitão, 265 - Pinheiros - São Paulo - SP
Contrato: 0040257986

Dados do Concreto

Produto: A/C 0,45 C40 BE 120+-20 ECI 25 GPA Vol.: 8,00

Materiais		
CPV-ARI-RS	3.256,00	kg
BRITA 0	1.080,00	kg
BRITA 1	7.896,00	kg
AREIA FINA	3.192,00	kg
AREIA INDUSTRIAL	2.144,00	kg
MASTERPOLYHEED 3	30,90	LT
AGUA	1.464,00	LT

MOLDAGEM: NAO

LACRE Nr: 21518

MOTORISTA: 4116953SCB: CB1339
Km SAÍDA: 121245
Km RETORNO:

Informações adicionais:

HORÁRIOS

Mistura: 15:29:16	Saída: 15:39:04	Chegada Obra: 16:23	Início Desc:
Término Descarga:	Saída da Obra:	Chegada Central:	

ESTE CONCRETO DEVE SER APLICADO ATÉ ÀS 18 hs 09 min

VERIFICAÇÃO DO SLUMP:	ÁGUA DE CORTE: 160
SLUMP VERIFICADO: 110	ÁGUA PLATAFORMA: 30 LITROS
SLUMP SAÍDA: 120	ÁGUA MÁXIMA A SER ADICIONADA EM OBRA 190 LITROS
SLUMP CHEGADA:	ÁGUA ADICIONADA EM OBRA: LITROS
SLUMP DESCARGA:	ASSINATURA MOTORISTA:

Informações adicionais Ocorridas na Obra	Assinatura Resp. Obra
☐ Adição de água complementar pelo cliente acima do slump previsto em NF	
☐ Descarga de concreto finalizada após o horário de validade	
☐ Adição de outros materiais diferentes dos especificados em Nota fiscal	
☐ Retorno de Concreto/m³	

Observações:

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.4.3 Moldagem dos corpos de prova e teste slump

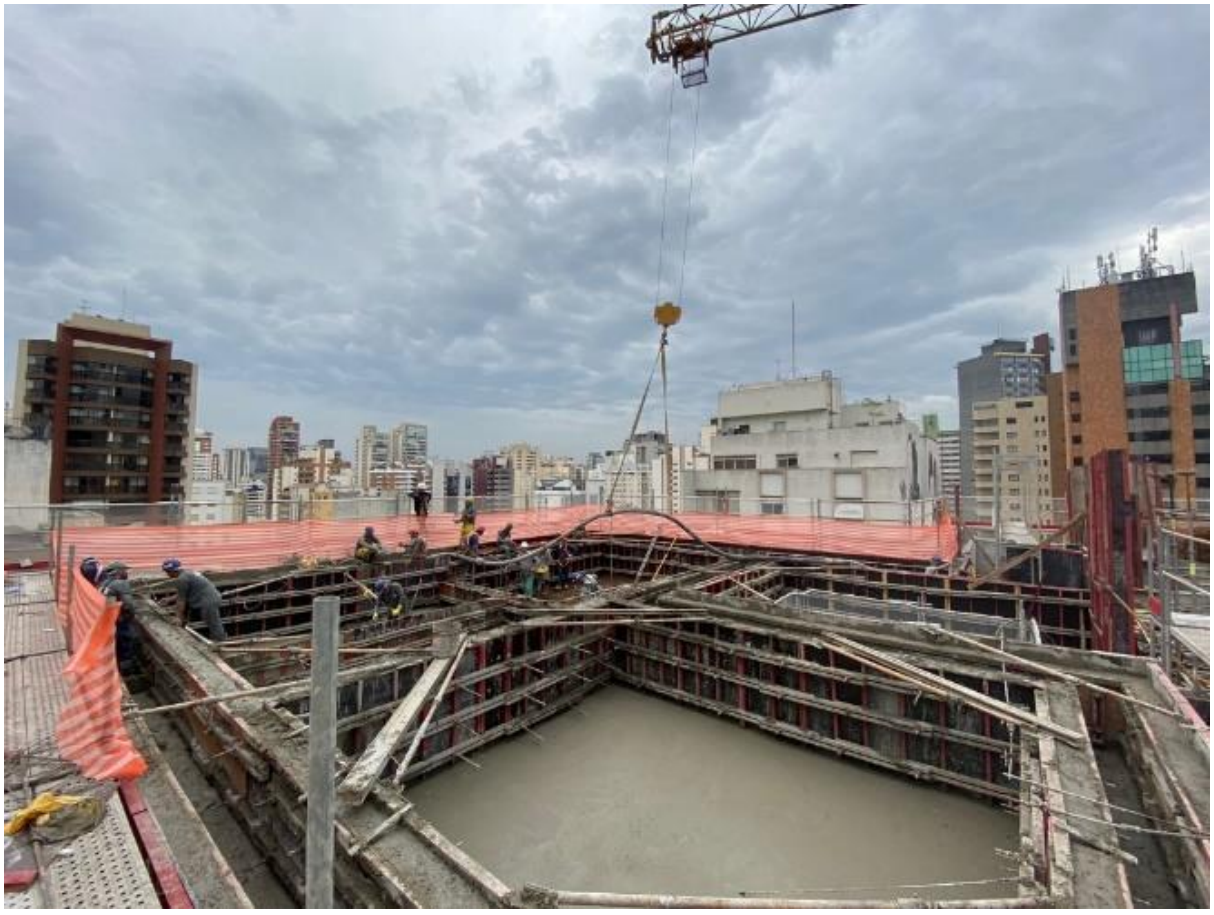
Antes da concretagem, é realizado o teste de abatimento de tronco de cone (slump test) para verificar a consistência do concreto, essencial para garantir que a mistura seja adequada para o tipo de estrutura a ser concretada. O controle desse ensaio foi supervisionado pela equipe terceirizada, sob acompanhamento do estagiário responsável no solo.

Figura 29 – Teste slump realizado em obra.

Fonte: Elaborado pelo autor.

O teste é particularmente importante para evitar problemas durante a concretagem, principalmente ao utilizar a bomba de concreto. A trabalhabilidade do concreto é um fator crítico, especialmente quando se lida com formas complexas, como vigas invertidas. Em um caso específico de concretagem de vigas invertidas para uma piscina, foi necessário um concreto com trabalhabilidade mais baixa, pois, se o concreto fosse mais fluido, ele escorreria por baixo das formas, comprometendo a qualidade da concretagem. Segue exemplo do 7º pavimento da Obra, em que concretamos duas piscinas que tinham vigas invertidas.

Figura 30 – Concretagem de vigas invertidas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os corpos de prova eram moldados para ensaios de resistência à compressão, seguindo o cronograma padrão: um corpo de prova aos 7 dias, dois aos 28 dias e um aos 45 dias. A coleta do concreto para a moldagem era feita estrategicamente, sendo

sempre retirados amostras no primeiro e terceiro terços de cada carga dos caminhões betoneira. Esse procedimento garantia representatividade das amostras em relação à homogeneidade do concreto transportado.

Figura 31 – Corpos de prova recém-concretados armazenados.

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.4.4 Monitoramento do horário de descarga dos caminhões betoneira

Durante a concretagem, o segundo estagiário que permaneceu na parte superior do prédio, monitorou de perto a chegada dos caminhões betoneira no

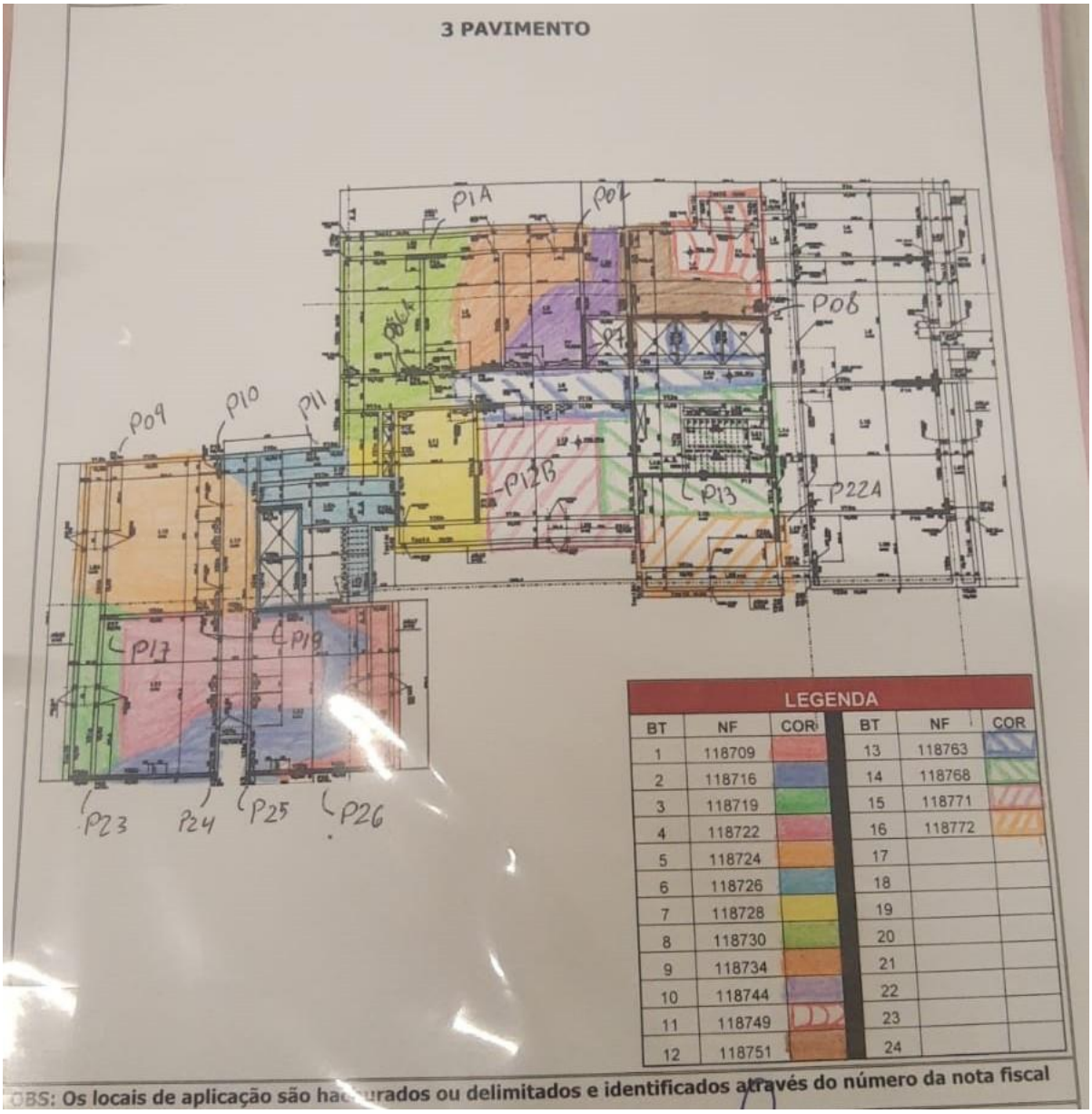
pavimento, anotando rigorosamente a hora de início e término do descarregamento de cada caminhão. Esse controle é essencial para garantir que o concreto seja lançado dentro do limite de 150 minutos após o batimento na usina, conforme especificado pelas normas técnicas. Caso ocorressem atrasos, eram avaliadas alternativas, como o uso de aditivos retardadores de pega, sob orientação de um tecnologista de concreto.

3.4.5 Mapeamento de concreto

Um aspecto estratégico fundamental durante a concretagem é o mapeamento detalhado do local onde cada carga de concreto foi aplicada. O segundo estagiário, utilizando projetos impressos, registrou de forma precisa onde cada caminhão betoneira descarregou o concreto. Esse processo de rastreabilidade é essencial para identificar lotes específicos caso algum desvio nos resultados dos ensaios de resistência seja detectado. Assim, ações corretivas podem ser aplicadas de forma localizada, minimizando impactos na estrutura como um todo (Helene, 1981). Ainda, o mapeamento contribuiu para o controle de qualidade ao longo da obra, garantindo que cada etapa fosse documentada de maneira detalhada e precisa.

A imagem abaixo (Figura 32) mostra o mapeamento de aplicação do concreto na obra, essencial para garantir a rastreabilidade e qualidade do material utilizado.

Figura 32 – Mapeamento de concreto 3º Pavimento.



BT	NF	COR	BT	NF	COR
1	118709		13	118763	
2	118716		14	118768	
3	118719		15	118771	
4	118722		16	118772	
5	118724		17		
6	118726		18		
7	118728		19		
8	118730		20		
9	118734		21		
10	118744		22		
11	118749		23		
12	118751		24		

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.4.6 Nivelamento do concreto e acabamento

O nivelamento do concreto é realizado com régua de alumínio, utilizando as mestras como referência. Após o nivelamento, é feito o desempeno com desempenadeira de madeira, garantindo um acabamento uniforme, especialmente ao redor de gabaritos e interferências. As mestras são removidas imediatamente após o sarrafeamento, evitando que fiquem embutidas no concreto. Em estruturas que requerem um acabamento "laje zero", a finalização é feita por uma empresa especializada, garantindo um acabamento de alta qualidade. A imagem abaixo ilustra o processo de nivelamento e acabamento do concreto, realizado com o uso da régua de alumínio e desempenadeira de madeira, garantindo a qualidade do acabamento, especialmente em áreas críticas.

Figura 33 – Acabamento do concreto.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a conclusão de todas as verificações e execução das etapas descritas, registrava-se no aplicativo GescorpGo todos os itens marcando-os como "OK". Essa funcionalidade assegurou que o processo foi conduzido conforme o planejado e permitiu avançar para as próximas etapas com confiança.

Figura 34 – Tela do aplicativo com sinalização de aprovação da concretagem.

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.5 PÓS CONCRETAGEM

A fase de pós-concretagem é uma etapa crítica no processo de controle de qualidade das estruturas de concreto. Ela envolve verificações detalhadas na obra, além de trabalhos operacionais para registro e monitoramento dos dados da concretagem (Geyer; Resende, 2006). Os procedimentos realizados nesse momento garantem que a estrutura atenda às especificações do projeto e esteja em conformidade com os padrões de qualidade, tanto na execução quanto na documentação.

3.5.1 Verificação de pós concretagem

Após a desforma, são realizadas inspeções visuais e técnicas para avaliar a integridade e o acabamento da estrutura. As principais atividades incluem:

- Identificação de "bicheiras"

Defeitos causados por falta de vibração ou má concretagem, conhecidos como "bicheiras", devem ser localizados imediatamente após a desforma. Segundo a ABNT NBR 6118:2023, a inspeção visual e o diagnóstico desses defeitos são fundamentais para garantir a durabilidade e a segurança da estrutura. Após a identificação, as bicheiras devem ser corrigidas rapidamente, preferencialmente dentro de um prazo de 7 dias, para evitar o agravamento dos problemas e danos estruturais subsequentes.

O tratamento inclui a remoção de material solto, limpeza da área afetada e o preenchimento com graute ou argamassa de reparo, seguindo as recomendações para garantir a integridade do concreto e atender aos requisitos técnicos do projeto. Essas intervenções são essenciais para assegurar que o desempenho e a durabilidade da estrutura não sejam comprometidos ao longo do tempo. Segue exemplo na figura 35.

Figura 35 – Exemplo de bicheira em viga de concreto, evidenciando a necessidade de correção estrutural.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Além disso, todo o processo deve ser documentado e registrado conforme as orientações da norma, para assegurar a rastreabilidade e a conformidade técnica do trabalho executado (ABNT NBR 6118, 2023).

- Remoção de resíduos:

Retirada de madeira, pregos ou outros materiais deixados durante a

concretagem.

- Condições do concreto

Verificação do prumo, nível, alinhamento e esquadro da estrutura. Qualquer imperfeição crítica é tratada imediatamente para evitar comprometimento da durabilidade e desempenho estrutural.

No processo de controle de qualidade, todas as falhas e condições de pós-concretagem que estavam fora do padrão eram registradas e apontadas no aplicativo de qualidade utilizado na obra. Esse aplicativo não apenas detectava as imperfeições, mas também estabelecia o prazo de 7 dias para a correção dessas falhas. Durante esse período, o aplicativo enviava notificações ao responsável pela obra, alertando sobre o prazo para correção, tanto dias antes quanto no dia em que a correção deveria ser realizada.

3.5.2 Reescoramento

O reescoramento, que é a substituição parcial do escoramento após a concretagem, segue especificações do projeto de reescoramento para garantir a segurança estrutural. Para a retirada do reescoramento, dois critérios principais devem ser atendidos.

Em primeiro é necessário que o resultado dos ensaios de corpos de prova atenda ou supere o valor especificado no projeto. Esse valor é geralmente igual ou superior à resistência mínima determinada para garantir a segurança da estrutura.

E o segundo se refere as lajes superiores, geralmente quatro acima da concretada, devem estar concretadas e permanecer escoradas, assegurando a redistribuição de cargas temporárias de forma segura (IBRACON, 2023).

3.5.3 Limpeza do pavimento

A limpeza do pavimento é uma etapa obrigatória, sendo realizada após a retirada do escoramento. Essa atividade inclui a remoção de resíduos de

concretagem, garantindo um ambiente organizado e seguro para a sequência dos trabalhos. Exemplo de como o pavimento deve estar pós concretagem.

Figura 36 – Pavimento limpo pós concretagem.

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.5.4 Controle Operacional

O controle operacional desempenha um papel essencial nessa fase, sendo realizado por meio do preenchimento e atualização de planilhas específicas. As atividades incluem:

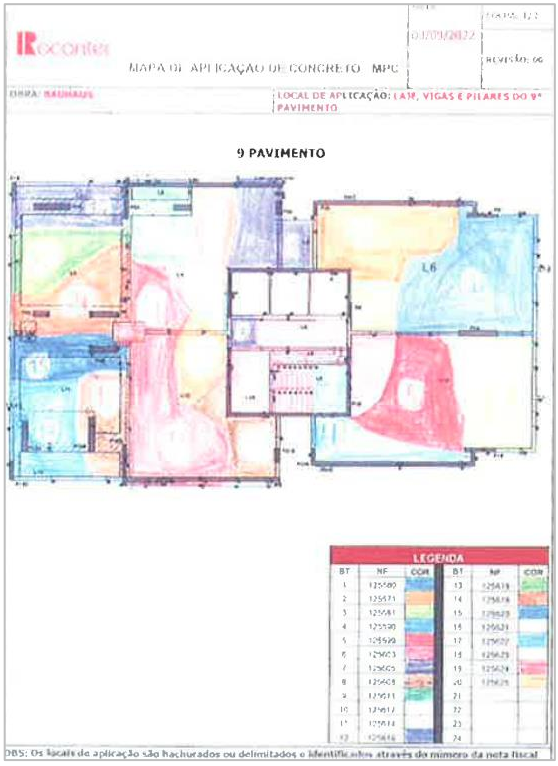
Registro de notas fiscais

Organização e inclusão das notas fiscais de todas as betoneiras utilizadas na concretagem.

- Mapeamento detalhado da concretagem

Elaboração de registros precisos indicando onde cada betoneira descarregou o concreto, especialmente em pilares que necessitavam de mais de uma carga. Essas informações eram transcritas em mapas de concretagem revisados e detalhados, com todas as notas fiscais incluídas, garantindo conformidade com os padrões de auditoria. Segue exemplo abaixo.

Figura 37 – Mapeamento de concretagem.



Fonte: Elaborado pelo autor.

- Planilha de controle de qualidade de concreto

Durante o processo de concretagem, o controle e monitoramento dos dados de qualidade e execução eram realizados com rigor através de uma planilha de controle de concreto. Essa planilha desempenha um papel fundamental na organização dos dados operacionais e técnicos da obra, garantindo que os requisitos estabelecidos

pelo projeto sejam seguidos corretamente e que a qualidade do concreto seja monitorada de forma contínua.

A planilha de controle de concreto continha uma série de campos que precisam atualizados constantemente, refletindo todos os aspectos da concretagem. Entre os dados registrados, estão as notas fiscais das betoneiras utilizadas, os valores dos rompimentos dos corpos de prova (obtidos diretamente do site do laboratório de ensaios), além dos resultados de resistência aos 7, 28 e 45 dias, permitindo verificar se os valores mínimos de resistência à compressão (fck) estavão sendo atingidos, conforme as especificações do projeto (ABNT NBR 5738, 2015).

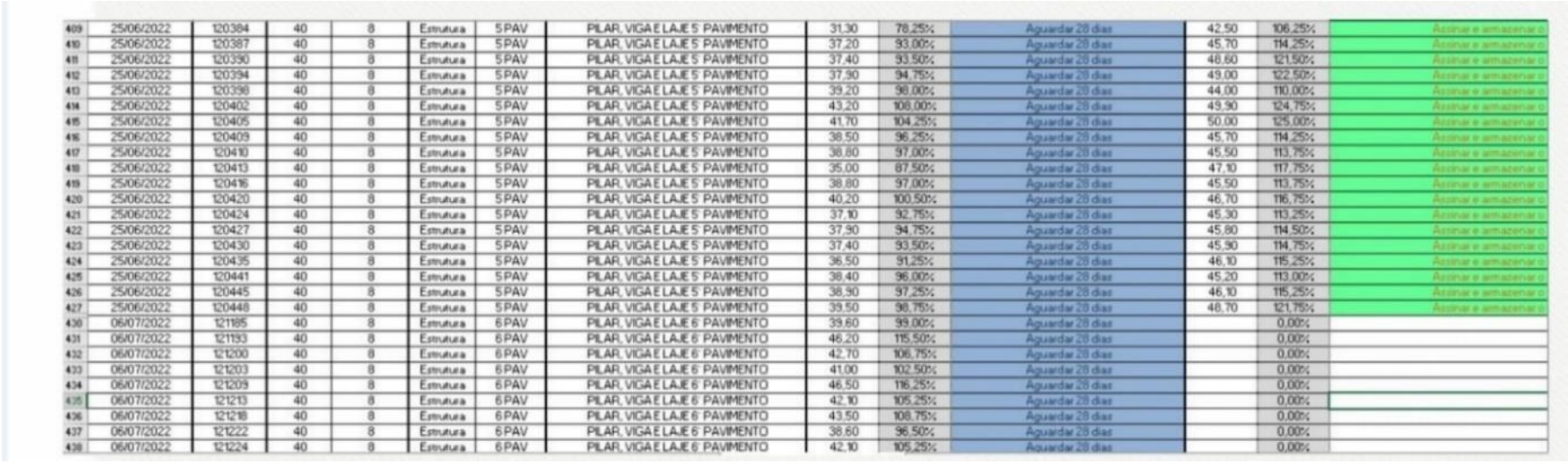
Além disso, a planilha também é utilizada para monitorar a margem de erro da concretagem. Por exemplo, se o projeto especificava 110 m³ de concreto para um pavimento, mas foram utilizados 120 m³, a diferença de 10 m³ representaria um erro de cerca de 9%. A margem de erro aceitável, na obra em questão, era de até 6% a mais do que o especificado.

Outro ponto essencial registrado na planilha era o monitoramento do tempo de aplicação. Para garantir que o concreto fosse utilizado dentro do limite de 150 minutos após o início do batimento na usina, anotou-se os horários de descarregamento das betoneiras e o horário de início do batimento na usina. Esses dados permitiam avaliar se o tempo de transporte e aplicação estava sendo respeitado, atendendo aos requisitos técnicos da obra, conforme as exigências da ABNT NBR 7212, 2009 sobre transporte e lançamento de concreto.

Através dessa planilha, é possível ter um controle operacional completo, que não só ajuda na verificação do cumprimento das normas e especificações do projeto, mas também facilita a gestão do tempo e dos materiais utilizados, garantindo a qualidade e segurança da concretagem.

Essa metodologia de controle estava atrelada à rastreabilidade, fornecendo dados detalhados para auditorias e permitindo um acompanhamento contínuo e eficiente de todas as fases da concretagem. A utilização de um sistema de planilhas como esse é imprescindível para garantir a conformidade com os padrões exigidos e para facilitar a correção rápida de eventuais não conformidades no processo.

Figura 38 – Planilha de controle de qualidade do concreto.



409	25/06/2022	120384	40	8	Estrutura	5 PAV	PILAR, VIGA E LAJE 5 PAVIMENTO	31,30	78,25%	Aguardar 28 dias	42,50	106,25%	Assinar e armazenar
410	25/06/2022	120387	40	8	Estrutura	5 PAV	PILAR, VIGA E LAJE 5 PAVIMENTO	37,20	93,00%	Aguardar 28 dias	45,70	114,25%	Assinar e armazenar
411	25/06/2022	120390	40	8	Estrutura	5 PAV	PILAR, VIGA E LAJE 5 PAVIMENTO	37,40	93,50%	Aguardar 28 dias	48,60	121,50%	Assinar e armazenar
412	25/06/2022	120394	40	8	Estrutura	5 PAV	PILAR, VIGA E LAJE 5 PAVIMENTO	37,90	94,75%	Aguardar 28 dias	49,00	122,50%	Assinar e armazenar
413	25/06/2022	120398	40	8	Estrutura	5 PAV	PILAR, VIGA E LAJE 5 PAVIMENTO	35,20	88,00%	Aguardar 28 dias	44,00	110,00%	Assinar e armazenar
414	25/06/2022	120402	40	8	Estrutura	5 PAV	PILAR, VIGA E LAJE 5 PAVIMENTO	43,20	108,00%	Aguardar 28 dias	49,90	124,75%	Assinar e armazenar
415	25/06/2022	120405	40	8	Estrutura	5 PAV	PILAR, VIGA E LAJE 5 PAVIMENTO	41,70	104,25%	Aguardar 28 dias	50,00	125,00%	Assinar e armazenar
416	25/06/2022	120409	40	8	Estrutura	5 PAV	PILAR, VIGA E LAJE 5 PAVIMENTO	38,50	96,25%	Aguardar 28 dias	45,70	114,25%	Assinar e armazenar
417	25/06/2022	120410	40	8	Estrutura	5 PAV	PILAR, VIGA E LAJE 5 PAVIMENTO	38,80	97,00%	Aguardar 28 dias	45,50	113,75%	Assinar e armazenar
418	25/06/2022	120413	40	8	Estrutura	5 PAV	PILAR, VIGA E LAJE 5 PAVIMENTO	35,00	87,50%	Aguardar 28 dias	47,10	117,75%	Assinar e armazenar
419	25/06/2022	120416	40	8	Estrutura	5 PAV	PILAR, VIGA E LAJE 5 PAVIMENTO	38,80	97,00%	Aguardar 28 dias	45,50	113,75%	Assinar e armazenar
420	25/06/2022	120420	40	8	Estrutura	5 PAV	PILAR, VIGA E LAJE 5 PAVIMENTO	40,20	100,50%	Aguardar 28 dias	46,70	116,75%	Assinar e armazenar
421	25/06/2022	120424	40	8	Estrutura	5 PAV	PILAR, VIGA E LAJE 5 PAVIMENTO	37,10	92,75%	Aguardar 28 dias	45,30	113,25%	Assinar e armazenar
422	25/06/2022	120427	40	8	Estrutura	5 PAV	PILAR, VIGA E LAJE 5 PAVIMENTO	37,90	94,75%	Aguardar 28 dias	45,80	114,50%	Assinar e armazenar
423	25/06/2022	120430	40	8	Estrutura	5 PAV	PILAR, VIGA E LAJE 5 PAVIMENTO	37,40	93,50%	Aguardar 28 dias	45,90	114,75%	Assinar e armazenar
424	25/06/2022	120435	40	8	Estrutura	5 PAV	PILAR, VIGA E LAJE 5 PAVIMENTO	36,50	91,25%	Aguardar 28 dias	46,10	115,25%	Assinar e armazenar
425	25/06/2022	120441	40	8	Estrutura	5 PAV	PILAR, VIGA E LAJE 5 PAVIMENTO	38,40	96,00%	Aguardar 28 dias	45,20	113,00%	Assinar e armazenar
426	25/06/2022	120445	40	8	Estrutura	5 PAV	PILAR, VIGA E LAJE 5 PAVIMENTO	38,90	97,25%	Aguardar 28 dias	46,10	115,25%	Assinar e armazenar
427	25/06/2022	120448	40	8	Estrutura	5 PAV	PILAR, VIGA E LAJE 5 PAVIMENTO	39,50	98,75%	Aguardar 28 dias	48,70	121,75%	Assinar e armazenar
430	06/07/2022	121185	40	8	Estrutura	6 PAV	PILAR, VIGA E LAJE 6 PAVIMENTO	39,60	99,00%	Aguardar 28 dias		0,00%	
431	06/07/2022	121193	40	8	Estrutura	6 PAV	PILAR, VIGA E LAJE 6 PAVIMENTO	46,20	115,50%	Aguardar 28 dias		0,00%	
432	06/07/2022	121200	40	8	Estrutura	6 PAV	PILAR, VIGA E LAJE 6 PAVIMENTO	42,70	106,75%	Aguardar 28 dias		0,00%	
433	06/07/2022	121203	40	8	Estrutura	6 PAV	PILAR, VIGA E LAJE 6 PAVIMENTO	41,00	102,50%	Aguardar 28 dias		0,00%	
434	06/07/2022	121209	40	8	Estrutura	6 PAV	PILAR, VIGA E LAJE 6 PAVIMENTO	46,50	116,25%	Aguardar 28 dias		0,00%	
435	06/07/2022	121213	40	8	Estrutura	6 PAV	PILAR, VIGA E LAJE 6 PAVIMENTO	42,10	105,25%	Aguardar 28 dias		0,00%	
436	06/07/2022	121218	40	8	Estrutura	6 PAV	PILAR, VIGA E LAJE 6 PAVIMENTO	43,50	108,75%	Aguardar 28 dias		0,00%	
437	06/07/2022	121222	40	8	Estrutura	6 PAV	PILAR, VIGA E LAJE 6 PAVIMENTO	38,60	96,50%	Aguardar 28 dias		0,00%	
438	06/07/2022	121224	40	8	Estrutura	6 PAV	PILAR, VIGA E LAJE 6 PAVIMENTO	42,10	105,25%	Aguardar 28 dias		0,00%	

Fonte: Elaborado pelo autor.

A etapa de pós-concretagem, além de garantir a qualidade técnica da obra, contribui para a organização documental e a rastreabilidade do processo construtivo. Por meio do controle rigoroso das verificações e registros operacionais, assegura-se que a estrutura esteja apta a atender os requisitos técnicos e normativos, minimizando retrabalhos e otimizando o desempenho do projeto.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este estudo analisa os resultados do controle de qualidade do concreto aplicado em um edifício residencial e comercial de 25 andares em São Paulo. A obra, situada em uma área nobre da cidade, possui estruturas complexas, como piscinas, coworking e academias, demandando um rigoroso controle em todas as etapas da concretagem.

Os resultados apresentados baseiam-se principalmente nos requisitos estabelecidos pela NBR 12655 (ABNT, 2022), que aborda as responsabilidades da concreteira, do executor e do projetista, e complementados pelas normas NBR 6118 (ABNT, 2023) e NBR 7212 (ABNT, 2024).

- **NBR 12655:** Estabelece os requisitos para controle tecnológico, assegurando que o concreto atenda às especificações de resistência, durabilidade e rastreabilidade.
- **NBR 6118:** Define os critérios para projeto de estruturas de concreto armado, com foco na segurança e na durabilidade das obras.
- **NBR 7212:** Especifica os procedimentos relacionados ao preparo, transporte e aplicação do concreto, com ênfase no controle do tempo e na rastreabilidade.

As práticas analisadas neste capítulo incluem a atuação da concreteira no fornecimento do concreto, a execução da concretagem e as intervenções do projetista em situações específicas. A partir dessa abordagem, avalia-se a conformidade dos processos com as normas técnicas e os desafios enfrentados em uma obra de grande porte localizada em um ambiente urbano movimentado.

4.1 RESPONSABILIDADE DA CONCRETEIRA

A concreteira, como fornecedora contratada, desempenhou um papel crucial no atendimento às normas técnicas e na garantia da qualidade do concreto entregue à obra. Seguindo as diretrizes da NBR 7212 (ABNT, 2024), sua responsabilidade incluiu desde o transporte até a entrega e o acompanhamento da aplicação do concreto.

4.1.1 Tipo de veículo

Todos os caminhões betoneira utilizados atendiam aos padrões exigidos pela norma, apresentando boas condições de manutenção e estando lacrados até o momento da descarga. Isso garantiu que o concreto fosse transportado com segurança e sem contaminações externas.

4.1.2 Adição de água

Conforme a norma, a adição de água complementar deve ser rigorosamente controlada e registrada. Em todos os casos, essa adição foi monitorada pela equipe da obra, que rejeitava concretos que apresentavam adição de água sem a devida supervisão.

4.1.3 Períodos para transporte de lançamento do concreto

- **Tempo de transporte:** A NBR 7212 estipula um limite de 90 minutos para o transporte do concreto entre a central e o local da obra. No entanto, em algumas ocasiões, devido ao trânsito intenso de São Paulo, esse tempo foi ultrapassado.
- **Tempo de lançamento após chegada:** O concreto deve ser lançado em até 30 minutos após a chegada ao canteiro, dependendo do alinhamento entre executor e concreteira. Apesar do planejamento, houve situações em que o prazo foi excedido, resultando em caminhões betoneira aguardando descarregamento.

Figura 39 – Caminhões betoneira aguardando descarregamento na frente da obra.

Fonte: Elaborado pelo autor.

- **Tempo total de lançamento:** A aplicação do concreto foi realizada dentro do limite máximo de 150 minutos após a mistura inicial na central. Esse requisito foi rigorosamente respeitado, assegurando que as propriedades do concreto não fossem comprometidas.

4.1.4 Nota fiscal

Conforme a norma, as notas fiscais da concreteira devem conter uma série de informações detalhadas, incluindo:

- Volume;
- Hora de início da mistura;
- Classe de consistência no início da descarga (abatimento);
- Resistência característica (fck);
- Dimensão máxima do agregado;
- Relação água/cimento (a/c);
- Quantidade máxima de água complementar;

- Materiais utilizados (cimento, agregados, aditivos);
- Hora de chegada e fim do descarregamento;
- Código de identificação do traço.

Durante o estudo, verificou-se que algumas notas fiscais apresentavam lacunas em relação às exigências da norma. A tabela abaixo será utilizada para comparar as conformidades observadas:

Tabela 3 – Conformidade das notas fiscais com a NBR 7212 (ABNT, 2024)

Informação Exigida	Presente na Nota Fiscal
Volume	Sim
Hora de início da mistura	Sim
Classe de consistência no início da descarga (abatimento)	Sim
fck	Sim
Dimensão máxima característica do agregado miúdo	**Não**
Quantidade máxima de água complementar a ser adicionada na obra	Sim
Relação água/cimento a/c	Sim
Quantidade de água máxima a ser adicionada na obra	Sim
Hora de chegada do caminhão	Sim
Fim do descarregamento	Sim
Código de identificação do traço	Sim
Especificações do cimento	Sim
Materiais utilizados	Sim
Quantidade em massa de cada componente do concreto	Sim

Fonte: Elaborada pelo autor.

4.1.5 Mapeamento e rastreabilidade

Além das informações obrigatórias nas notas fiscais, a concreteira contribuiu para o controle de rastreabilidade do concreto, fornecendo um código único para cada traço e registrando as propriedades do concreto em todas as cargas entregues. Nota fiscal de concreto já foram ilustrados no arquivo na figura "Nota fiscal concreto" (Figura 28, Capítulo 3.4.2).

4.2 RESPONSABILIDADE DO PROJETISTA

Nos projetos desenvolvidos para a obra em São Paulo, os desenhos técnicos e as memórias de cálculo continham especificados os valores de cobrimento nominal mínimo e a resistência característica à compressão (fck). Esses valores atendiam ao mínimo exigido pela respectiva Classe de Agressividade Ambiental (CAA), definida como CAA II, típica de atmosferas urbanas, como as características da cidade de São Paulo. Para esta classe, foi especificado um fck mínimo de 25 MPa.

O projeto também detalhou um plano de reescoramento, essencial para garantir a segurança durante as etapas construtivas. As lajes foram categorizadas com diferentes níveis de reescoramento, conforme as etapas da concretagem:

1. **Escoramento 100%:** laje em processo de concretagem.
2. **Reescoramento 100%:** laje imediatamente inferior à concretada.
3. **Reescoramento 67%:** segunda laje abaixo da concretada.
4. **Reescoramento 33%:** terceira laje abaixo da concretada.

O reescoramento das lajes só podia ser removido na quinta laje abaixo daquela em concretagem, desde que os resultados dos ensaios aos 28 dias confirmassem que a resistência especificada havia sido atingida.

Em relação ao módulo de elasticidade (Ecj) e à resistência à compressão (fcj) para as etapas construtivas, a especificação seguia práticas detalhadas. O módulo de elasticidade era avaliado a cada seis pavimentos por meio de dois corpos de prova adicionais moldados especificamente para esse fim. Os ensaios de resistência à

compressão foram planejados com base em um cronograma padronizado, moldando um corpo de prova para rompimento aos 7 dias, dois aos 28 dias e um aos 45 dias.

Entretanto, o projeto não fazia referência ao diâmetro máximo do agregado graúdo, um ponto que, apesar de sua relevância, não foi explicitamente especificado.

Tabela 4 – Conformidade dos aspectos de projeto.

Informação Exigida	Presente no Projeto
Resistência característica à compressão (fck)	Sim
Classe de Agressividade Ambiental (CAA)	Sim
fck mínimo atendido conforme CAA	Sim
Módulo de elasticidade (Ecj)	Sim
Resistência à compressão (fcj)	Sim
Plano de reescoramento	Sim
Diâmetro máximo do agregado graúdo	Não

Fonte: Elaborada pelo autor.

É notável que a resistência à compressão do concreto (fck) é amplamente reconhecida pela comunidade técnica como sua principal característica, pois serve como base para os cálculos estruturais. Aliada ao cobrimento nominal mínimo e ao módulo de elasticidade do concreto (Ec), ela está diretamente associada ao atendimento dos Estados de Limites Últimos (ELU), os quais garantem a durabilidade, o desempenho e, consequentemente, a vida útil da estrutura. Assim, foi possível verificar que tais definições estavam contempladas nos projetos analisados.

A abordagem detalhada para a execução das etapas construtivas, como retirada de fôrmas e reescoramento, representa um alinhamento importante com as recomendações da NBR 12655 (ABNT, 2022). Diferente de projetos que estabelecem

apenas prazos fixos para essas operações, o projeto analisado definiu critérios baseados em valores mínimos de resistência (fcj) e módulo de elasticidade (Ecj), alinhando-se à visão mais consistente da norma.

Esse alinhamento reduz significativamente os riscos de problemas patológicos, como deformações excessivas e fissuras, pois a operação ocorre somente quando a estrutura apresenta maturidade suficiente, atestada por valores técnicos confiáveis. Tal prática assegura a qualidade e a segurança da estrutura durante e após sua construção.

4.3 RESPONSABILIDADE DO EXECUTOR

O engenheiro responsável pela obra, auxiliado pelos dois estagiários, tinha como objetivo assegurar que o concreto entregue e aplicado atendesse às exigências da ABNT NBR 12655 (ABNT, 2022). Isso incluía o controle do recebimento, a execução das atividades de concretagem, o reescoramento e a rastreabilidade do concreto.

4.3.1 Recebimento e aceitação do concreto

A equipe realizava a conferência de notas fiscais para garantir conformidade com parâmetros como o fck, o volume e a quantidade máxima de água adicional permitida. As verificações garantiam que o concreto entregue estivesse alinhado com as especificações do projeto, ajustando o traço do concreto em pavimentos superiores para evitar danos à bomba de concreto.

Os ensaios de consistência (slump test) eram realizados para cada caminhão betoneira, em conformidade com a ABNT NBR NM 67. Esses ensaios já foram ilustrados no arquivo na figura " Teste slump realizado em obra" (Figura 29, Capítulo 3.4.3).

4.3.2 Controle de qualidade durante a concretagem

O controle de qualidade na concretagem envolvia duas ações principais:

1. **Ajustes no traço do concreto:** Em pavimentos mais altos, foi necessário ajustar o slump para melhorar a fluidez do concreto sem comprometer o equipamento de bombeamento. Essa prática foi essencial para manter a eficiência operacional e a qualidade do material.
2. **Moldagem de corpos de prova:** Os corpos de prova eram moldados no local e enviados para ensaios aos 7, 28 e 45 dias, conforme a ABNT NBR 5738. As amostras eram coletadas estrategicamente nos primeiros e terceiros terços de cada carga, garantindo representatividade dos lotes concretados.

4.3.3 Retirada de escoramento e reescoramento

O reescoramento foi realizado seguindo o projeto de reescoramento específico para a obra, que definia as etapas e procedimentos para a remoção progressiva das escoras. No entanto, os percentuais aplicados em cada etapa — como 100%, 67% e 33% de reescoramento — foram estabelecidos pelo projeto de estruturas, alinhando a remoção das escoras à resistência esperada do concreto.

A liberação total do reescoramento só ocorria após a confirmação dos resultados positivos dos ensaios de resistência aos 28 dias, assegurando que as cargas estruturais fossem distribuídas de forma segura e controlada entre as lajes. Essa integração entre os dois projetos foi essencial para manter a estabilidade e a segurança durante a execução da obra.

4.3.4 Rastreabilidade do concreto

A rastreabilidade foi garantida por dois métodos apresentados anteriormente:

1. **Mapeamento do concreto:** Detalhado no item 3.4.5 Mapeamento de Concreto.
2. **Planilha de monitoramento dos corpos de prova:** Apresentada no item 3.6.4 Controle Operacional.

Ambas as práticas estão alinhadas com os requisitos da ABNT NBR 12655, que estabelece a necessidade de documentação detalhada para cada lote de concreto

aplicado.

4.3.5 Resumo geral dos procedimentos

A tabela a seguir apresenta um resumo das conformidades e não conformidades identificadas nos procedimentos gerais relacionados ao controle do concreto na obra.

Tabela 5 – Conformidade dos aspectos do profissional responsável pela execução da obra.

Exigência do Executor (ABNT NBR 12655)	Realizado na Obra?
Garantir o cumprimento da norma por meio do engenheiro responsável e documentação	Sim
Conferência das notas fiscais de concreto (fck, volume, água adicional permitida)	Sim
Realização do ensaio de consistência (*slump test*) para cada carga de concreto	Sim
Coleta e moldagem de corpos de prova conforme ABNT NBR 5738	Sim
Monitoramento do tempo de transporte e lançamento do concreto (90 min e 150 min)	Sim
Retirada do escoramento/reescoramento conforme projetos de estrutura e escoramento?	Sim
Garantia da rastreabilidade (mapeamento do concreto e controle em planilha)	Sim
Arquivamento da documentação (notas fiscais, resultados de ensaios, relatórios)	Sim

Fonte: Elaborada pelo autor.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo analisar o controle tecnológico de concretagem em uma obra, com base principalmente na ABNT NBR 12655 (2022), destacando as responsabilidades dos projetistas, executores e concreteiras, bem como os procedimentos essenciais para assegurar a qualidade do concreto. Além disso, abordou-se a importância da comunicação entre todos os agentes envolvidos, elemento central para o cumprimento das normas técnicas e para a obtenção de resultados satisfatórios.

A pesquisa evidenciou que, embora muitos procedimentos normativos tenham sido seguidos, como a realização de ensaios de consistência (slump test), o controle do fck e o mapeamento do concreto, algumas falhas ainda foram observadas. Uma delas foi a ausência de verificação da dimensão máxima do agregado graúdo, tanto pelo executor quanto pela concreteira, o que poderia ter evitado patologias como bicheiras e vazios de concretagem.

As auditorias desempenharam um papel crucial para o bom controle tecnológico do concreto, pois verificavam sistematicamente o aplicativo de monitoramento, a planilha de controle, as notas fiscais e inspecionavam a obra em busca de irregularidades. Este acompanhamento frequente não apenas corrigia falhas pontuais, mas também fortalecia a conformidade com as normas técnicas e assegurava o rastreamento eficiente dos materiais e processos envolvidos.

A comunicação entre os responsáveis pelo projeto, execução e a concreteira também foi essencial para o alinhamento das especificações técnicas e resolução de inconsistências. Apesar disso, a falta de registros formais de algumas especificações, como a dimensão máxima do agregado graúdo, e a aceitação de concretos com inconsistências demonstram a necessidade de maior rigor e documentação nos processos.

Conclui-se que o controle tecnológico da concretagem vai além da execução de rotinas habituais, demandando alinhamento eficiente entre os agentes, auditorias frequentes e o cumprimento rigoroso das normas. A aplicação de boas práticas, como rastreabilidade e arquivamento adequado de documentos técnicos, mostrou-se indispensável para a confiabilidade estrutural.

Sugere-se que estudos futuros analisem o impacto das auditorias no controle de concretagem, investiguem os custos associados às inconformidades e explorem novas tecnologias para aprimorar o controle de recebimento do concreto. A busca por processos mais robustos e integrados é essencial para reduzir falhas e garantir a durabilidade e segurança das estruturas.

REFERÊNCIAS

ABESC - Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem do Brasil. **Manual do Concreto Dosado em Central**. São Paulo, abril de 2007, 35 p. Disponível em: https://abesc.org.br/assets/files/manual-cdc.pdf. Acesso em: 19 dez. 2024.

ANDOLFATO, Rodrigo P. **Concreto tecnológico básico do concreto**. Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho". Ilha Solteira, 2002.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 12654:1992 - Controle tecnológico de materiais componentes do concreto**. Rio de Janeiro, 1992.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 12655:2022 - Concreto - Preparo, controle e recebimento - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2015.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 5738:2015 - Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova.** Rio de Janeiro, 2015.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 5739:2018 - Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2018.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 6118:2023 - Projeto de estruturas de concreto: Procedimento.** Rio de Janeiro, 2023.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 7212:2024 - Execução de concreto dosado em central**. Rio de Janeiro, 2024.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR NM 67:1998 - Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 1998.

BARROS, Mercia Maria S. Bottura de; MELHADO, Silvio Burrattino. **Recomendações para a Produção de Estruturas de Concreto Armado em Edifícios**. São Paulo, 2006. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5075606/mod_resource/content/1/Apostila_Producao_estruturas.pdf. Acesso em: 19 dez. 2024.

BASTOS, P. S. S. **Fundamentos do Concreto Armado. 2019. 86f. Apostila para Notas de aula da disciplina Estruturas de Concreto I** – Universidade Estadual Paulista – UNESP, Bauru, 2019. Disponível em: https://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto1/Fundamentos%20CA.pdf. Acesso em: 19 dez. 2024.

GEYER, A. L. B.; RESENDE, R. **Importância do controle de qualidade do concreto no estado fresco**. Informativo Realmix: 2ª Edição, julho de 2006. Disponível em: https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/controle-tecnologico-do-concreto. Acesso em: 19 dez. 2024.

HELENE, Paulo; ANDRADE, Tibério. **Concreto de Cimento Portland. In: ISAIA, Geraldo (Ed.). Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e**

Engenharia de Materiais. 2ª ed. São Paulo: IBRACON, 2010. v. 2, cap. 29. Disponível em: https://www.academia.edu/32245363/Concreto_de_Cimento_Portland. Acesso em: 19 dez. 2024.

IBRACON**. Pesquisa e desenvolvimento. Revista Concreto & Construções**, n. 114, p. 21–35, mar. 2022. Disponível em: https://ibracon.org.br/Site_revista/Concreto_Construcoes/pdfs/edicao114/Revista%20Concreto%20IBRACON%20114%20-%20Pesquisa%20e%20desenvolvimento%202.pdf. Acesso em: 17 nov. 2024.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 5 ed. Porto Alegre: Bookman, 2016. Disponível em: https://books.google.com.br/books?id=dYOPCgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=pt-BR&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false. Acesso em: 19 dez. 2024.

CONSTRUTORA ROCONTEC. **PES 13 – ESTRUTURA DE CONCRETO** ARMADO. São Paulo, 2024. Documento interno.

QUATORQUE, Vitor Hugo Santana da Silva; SIMÕES, Rebeca Delatore; JOB, Aldo Eloizo. **Concreto no Brasil: Breve história, desafios atuais e propostas para um futuro sustentável**. Revista de Engenharia Civil, v. 19, n. 4, p. 105-119, 2023.

SEBRAE. **A evolução da construção civil com o uso da tecnologia da informação**. Disponível em: https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/a-evolucao-da-construcao-civil-com-o-uso-da-tecnologia-da-informacao,845db42fc05c5810VgnVCM1000001b00320aRCRD. Acesso em: 20 out. 2024.

VITRUVIUS. **A Ponte das Bandeiras**. Disponível em: https://vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/09.098/124. Acesso em: 26 out. 2024.