



INSTITUTO FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS PALMEIRA DOS ÍNDIOS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

BRENDA TENÓRIO DE HOLANDA SANTOS
OSVALDO MARTINS JÚNIOR

**CONTROLE DE QUALIDADE E RASTREABILIDADE DO CONCRETO DOSADO
EM CENTRAL: ESTUDO DE CASO EM EDIFICAÇÃO PÚBLICA NA CIDADE DE
PALMEIRA DOS ÍNDIOS, AL**

PALMEIRA DOS ÍNDIOS - AL

2024

BRENNDA TENÓRIO DE HOLANDA SANTOS
OSVALDO MARTINS JÚNIOR

**CONTROLE DE QUALIDADE E RASTREABILIDADE DO CONCRETO DOSADO
EM CENTRAL: ESTUDO DE CASO EM EDIFICAÇÃO PÚBLICA NA CIDADE DE
PALMEIRA DOS ÍNDIOS, AL**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao Curso de Graduação Engenharia Civil do Instituto Federal de Alagoas, *campus* Palmeira dos Índios, como requisito parcial para a obtenção do grau de bacharéis em Engenharia Civil.

Orientador(a): Prof. Dr. Jesimiel Pinheiro Cavalcante.

PALMEIRA DOS ÍNDIOS - AL

2024



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Instituto Federal de Alagoas
Campus Palmeira dos Índios
Biblioteca prof. Amaro Nascimento

624.151
S237c

Santos, Brennda Tenório de Holanda Santos.

Controle de qualidade e rastreabilidade do concreto dosado em central {recurso eletrônico} : estudo de caso em edificações pública na cidade de Palmeira dos Índios / Brennda Tenório de Holanda Santos, Osvaldo Martins Júnior. - Dados eletrônicos (1 arquivo : 112 KB). - 2024.

Documento com 75 folhas : il.

Inclui referências.

Orientação: Prof. Drº. Jesimiel Pinheiro Cavalcante.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) –
Instituto Federal de Alagoas, Campus Palmeira dos Índios, 2024.

1. Concreto – Controle de qualidade. 2. Controle tecnológico. 3. Rastreabilidade.
4. Edificações. I. Martins Júnior, Osvaldo. II. Título.

Bibliotecária Nalva Maria Amaral / CRB-4/989

BRENNDA TENÓRIO DE HOLANDA SANTOS
OSVALDO MARTINS JÚNIOR


CONTROLE DE QUALIDADE E RASTREABILIDADE DO CONCRETO DOSADO EM
CENTRAL: ESTUDO DE CASO EM EDIFICAÇÃO PÚBLICA NA CIDADE DE
PALMEIRA DOS ÍNDIOS, AL

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao Curso de Graduação Engenharia Civil do Instituto Federal de Alagoas, *campus* Palmeira dos Índios, como requisito parcial para a obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil.


Aprovada em: 03 / 10 / 2024.

Conceito Obtido: 9,55


BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 JESIMIEL PINHEIRO CAVALCANTE
Data: 16/10/2024 10:37:42-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Jesimiel Pinheiro Cavalcante
Instituto Federal de Alagoas – IFAL

Documento assinado digitalmente
 ENOQUE BATISTA DE LIMA NETO
Data: 16/10/2024 18:32:28-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Mc. Enoque Batista de Lima Neto
Instituto Federal de Alagoas – IFAL

Documento assinado digitalmente
 GUILHERME VIANA WANDERLEY
Data: 17/10/2024 20:44:57-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Guilherme Viana Wanderley
Instituto Federal de Alagoas – IFAL

AGRADECIMENTOS

Diante de mais um duro caminho percorrido para a realização de nosso sonho, mais uma etapa está sendo concluída, e por isso sentimos gratidão a Deus por tudo que foi alcançado.

Aos nossos pais e irmãos por serem luz, incentivo, suporte e exemplo. Vocês são a base para todas as conquistas que se concretizam em nossas vidas e principalmente nesta jornada de obtenção dos títulos de engenheiros civis.

Aos nossos amigos, verdadeiros companheiros que nos acompanham no dia a dia dessa jornada e nos incentivam a nunca desistir de nossos sonhos.

Ao nosso orientador Jesimiel Pinheiro, por toda dedicação, suporte, apoio e conhecimento compartilhado.

Ao Instituto Federal de Alagoas, *campus* Palmeira dos Índios (IFAL), em especial aos professores que compõem a banca examinadora, Enoque e Guilherme, que contribuíram de forma fundamental para este desenvolvimento acadêmico.

“Consagre ao Senhor tudo o que você faz e os seus planos
serão bem-sucedidos.”

(PROVÉRBIOS 16:3)

RESUMO

O trabalho apresenta os resultados do controle tecnológico em uma obra de médio porte no município de Palmeira dos Índios, Alagoas, e teve como objetivo demonstrar a importância da utilização do controle de qualidade do concreto em edificações de médio porte. A metodologia utilizada foi quantitativa e qualitativa, baseada em levantamentos de dados de rastreabilidade de campo das concretagens e em ensaios de compressão realizados em laboratório. Fez-se uma análise de exigências partindo do princípio normativo regulamentado e das resistências requeridas previamente dimensionadas em projeto estrutural para uma aceitação ou rejeição dos lotes definidos, de forma a ser verificada a conformidade ou não conformidade de lotes de corpos de prova moldados *in loco* devidamente de acordo com as normas que os estabelece e os dividindo com base nos seus respectivos elementos. Os resultados demonstraram que um dos lotes não obteve a resistência de projeto, exigindo uma tomada de decisão para a situação, fato que demonstrou a importância do controle tecnológico em obra de médio porte que atestam a obra a qualidade final do concreto utilizado correspondendo a exigência de projeto que dará uma vida útil adequada a estrutura além de segurança aos usuários. Tal abordagem evidencia a importância deste resultado demonstrar o quanto viável é aplicar o controle tecnológico do concreto em obra de médio porte.

Palavras-chave: Concreto; Controle Tecnológico; Controle de qualidade; Rastreabilidade.

ABSTRACT

The work presents the results of technological control in a medium-size construction site in the municipality of Palmeira dos Índios, Alagoas, and aimed to demonstrate the importance of using concrete quality control in medium-sized buildings. The methodology used was quantitative and qualitative, based on surveys of field traceability data of the concretes and compression tests carried out in the laboratory. An analysis of requirements was made based on the regulated normative principle and the required strengths previously dimensioned in structural design for an acceptance or rejection of the defined lots, in order to verify the conformity or non-conformity of lots of specimens molded in situ duly according to the standards that establish them and dividing them based on their respective elements. The results showed that one of the lots did not obtain the design resistance, requiring a decision making for the situation, a fact that demonstrated the importance of technological control in medium-sized works that attest to the final quality of the concrete used, corresponding to the design requirement that will give an adequate useful life to the structure in addition to safety to users. Such an approach highlights the importance of this result demonstrating how feasible it is to apply the technological control of concrete in medium-sized works.

Keywords: Concrete; Technological Control; Quality Control; Traceability.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Número de camadas para moldagem dos corpos de prova.....	31
TABELA 2 – Classes de consistência	31
TABELA 3 – Tolerância para a idade de ensaio	34
TABELA 4 – Valores máximos para a formação de lotes de concreto.....	35
TABELA 5 – Mapeamento da estrutura, formação de lotes e quantidade de testemunhos.....	43

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – O concreto.....	20
FIGURA 2 – Medida de abatimento.....	22
FIGURA 3 – Curva de Gauss – resistência à compressão do concreto.....	25
FIGURA 4 – Representação esquemática de tempo de transporte e descarga do concreto estipulado pela NBR 7212 de 2021	27
FIGURA 5 – Adensamento do concreto com vibradores de imersão	28
FIGURA 6 – Representação de mapa de concretagem	33
FIGURA 7 – Fluxograma de procedimentos.....	36
FIGURA 8 – Causas de patologias em edificações.....	39
FIGURA 9 – Etapas da metodologia.....	44
FIGURA 10 – Ensaio de abatimento de tronco de cone executado em canteiro de obra.....	48
FIGURA 11 – Corpos de prova moldados e identificados.....	49
FIGURA 12 – Cura do concreto.....	50
FIGURA 13 – Mapa de concretagem de laje	51
FIGURA 14 – Mapa de concretagem de laje	51
FIGURA 15 – Mapa de concretagem de lajes e vigas.....	56
FIGURA 16 – Mapa de concretagem de pilares do caso 1	62

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABECE	Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural
ABESC	Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
A/C	Fator água/cimento
CP	Corpo de prova
C50	Classe de concreto (50 MPa)
<i>f_{c, betonada}</i>	Resistência à compressão do exemplar da betonada
<i>f_{ck}</i>	Resistência característica à compressão do concreto
<i>f_{ck, est}</i>	Resistência característica à compressão do concreto estimada
<i>f_{cm}</i>	Resistência média à compressão do concreto
<i>f_{cj}</i>	Resistência à compressão do concreto aos j dias
<i>f₁</i>	Valor de resistência do exemplar 1
<i>f₂</i>	Valor de resistência do exemplar 2
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
NBR	Norma Brasileira
NBR MN	Norma Brasileira Norma Mercosul
PIB	Produto Interno Bruto
<i>S_d</i>	Desvio-padrão da dosagem

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação (1) –: $f_{ck,est} = f_{c,betonada}$	29
Equação (2) – Resistência à compressão estimada: $f_{ck,est} = 2 \frac{f_1 + f_2 + \dots + f_{m-1}}{m-1} - f_m$	29
Equação (3) –: $f_{ck,est} = f_{cm} - 1,65S_d$	30
Equação (4) – Aceitação do lote de concreto: $f_{ck,est} \geq f_{ck}$	35

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – Resultados do ensaio de resistência à compressão do concreto do lote laje e vigas amostragem total	57
GRÁFICO 2 – Resultados do ensaio de resistência à compressão do concreto por amostragem total de pilares.....	60
GRÁFICO 3 – Resultados do ensaio de resistência à compressão do concreto por amostragem total de pilares.....	64
GRÁFICO 4 – Resultados do ensaio de resistência à compressão do concreto das vigas baldrame por amostragem total.....	66
GRÁFICO 5 – Resultados do ensaio de resistência à compressão do concreto das estacas por amostragem total	67

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - Classes de consistência	23
QUADRO 2 – Quadro de responsabilidades.....	53
QUADRO 3 – Resultados de resistência à compressão do lote laje e vigas amostragem total	55
QUADRO 4 – Resultados do ensaio de resistência à compressão e conformidade dos lotes de laje e vigas por amostragem total	58
QUADRO 5 – Resultados de resistência à compressão de lote por amostragem total de pilares	59
QUADRO 6 – Resultados de resistência à compressão dos lotes por amostragem total de pilares.....	64
QUADRO 7 – Resultados do ensaio de resistência à compressão e conformidade dos lotes de vigas baldrame por amostragem total	65
QUADRO 8 – Resultados do ensaio de resistência à compressão e conformidade dos lotes de estacas por amostragem total.....	67
QUADRO 9 – Resumo de conformidades por elemento estrutural	68

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	JUSTIFICATIVA.....	18
1.2	OBJETIVOS.....	19
1.2.1	Geral	19
1.2.2	Específicos	19
2	REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1	CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES FUNDAMENTAIS DO CONCRETO ANALISADAS NO CONTROLE TECNOLÓGICO	20
2.2.1	Estado fresco	21
2.2.1.1	Trabalhabilidade	21
2.2.1.2	Consistência do concreto	23
2.2.1.3	Segregação e exsudação	24
2.2.2	Estado endurecido	24
2.2.2.1	Resistência característica à compressão do concreto (fck).....	24
2.3	CONTROLE TECNOLÓGICO E DA QUALIDADE DO CONCRETO	26
2.3.1	Concreto dosado em central	26
2.3.2	Transporte, lançamento e adensamento do concreto dosado em central.....	26
2.3.2.1	Transporte.....	26
2.3.2.2	Lançamento e adensamento.....	27
2.3.3	Cura	28
2.3.4	Controle por amostragem total.....	29
2.3.5	Controle estatístico por amostragem parcial.....	29
2.3.6	Rastreabilidade	30
2.3.6.1	Coleta de amostras.....	30
2.3.6.2	Manuseio e transporte dos corpos de prova.....	32
2.3.6.3	Cura dos corpos de prova	32
2.3.6.4	Mapeamento	32

2.3.7	Ensaio de resistência à compressão	34
2.3.8	Aceitação do concreto	35
2.4	ATRIBUIÇÕES DE INCUMBÊNCIAS SEGUNDO A NBR 12655:2022	36
2.4.1	Responsabilidade do autor do projeto estrutural	36
2.4.2	Responsabilidade do executor da obra	37
2.4.3	Responsabilidade da empresa da concretagem	37
2.5	IMPACTOS ACARRETADOS PELA FALTA DE CONTROLE DE QUALIDADE NA CONCRETAGEM.....	38
2.5.1	Impactos à estrutura	38
2.5.2	Gastos excessivos	38
2.5.3	Atraso nos cronogramas	38
2.6	CAUSAS E ORIGENS DE PATOLOGIAS DAS EDIFICAÇÕES	39
2.7	QUALIDADE, CRITÉRIOS E SEGURANÇA EM ESTRUTURAS DE CONCRETO SEGUNDO A ABNT NBR 6118:2023	40
2.7.1	Requisitos gerais de qualidade da estrutura	40
2.7.2	Preceitos para durabilidade das estruturas de concreto	40
2.7.3	Verificação da segurança	40
2.7.4	Procedimentos em caso de não conformidade do concreto	41
2.7.4.1	Ensaio de testemunhos de estruturas de concreto.....	42
3	METODOLOGIA APLICADA	44
3.1	DADOS GERAIS.....	45
3.1.1	Descrição da obra	45
3.1.2	Coleta de informações	46
3.2	ACOMPANHAMENTO E FISCALIZAÇÃO DO CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO.....	47
3.2.1	Controle de conformidade de responsabilidade da central dosadora	47
3.2.2	Ensaio de abatimento de tronco de cone (<i>Slump test</i>)	47
3.2.3	Coleta de amostras e moldagem de corpos de prova	48

3.2.4	Cura do concreto e dos corpos de prova	49
3.2.5	Rastreabilidade.....	50
3.3	LEVANTAMENTO DE DADOS REFERENTES AOS ENSAIOS DE COMPRESSÃO DOS CORPOS DE PROVA.....	52
3.4	VERIFICAÇÃO DE CUMPRIMENTO DOS REQUISITOS E EXIGÊNCIAS PRECONIZADOS EM NORMA 12655:2022.....	52
4	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	54
4.1	CONTROLE TECNOLÓGICO POR AMOSTRAGEM TOTAL DE LAJE E VIGAS.....	54
4.2	CONTROLE TECNOLÓGICO POR AMOSTRAGEM TOTAL DE PILARES	58
4.2.1	Caso 1.....	58
4.2.2	Caso 2.....	63
4.3	CONTROLE TECNOLÓGICO POR AMOSTRAGEM TOTAL DE VIGAS BALDRAMES	65
4.5	CONTROLE TECNOLÓGICO POR AMOSTRAGEM TOTAL DE ESTACAS....	66
4.6	TABELA RESUMO DE CONFORMIDADES.....	68
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	69
	REFERÊNCIAS	70
	APÊNDICE A: CONTROLE DE CONCRETAGEM DA CONSTRUTORA.....	75

1 INTRODUÇÃO

Segundo Metha e Monteiro (2008), na área da construção civil o concreto é considerado o material mais fundamental e mais produzido globalmente quando se considera o volume. Visto que, sua importância se deve basicamente à resistência à água, a facilidade de manipulação com variedade de estruturas com diferentes dimensões e formas, e também ao baixo custo e disponibilidade em todo o mundo.

Na busca por garantir padrões de qualidade em estruturas de concreto armado nas práticas da construção civil, é essencial implementar avanços tecnológicos que se destacam pelo constante aprimoramento nos processos de controle de qualidade, para que assim, eles resultem em estruturas mais seguras e com durabilidade vigente pelas normas técnicas brasileiras. Assim, um fator crítico para a vida útil de uma estrutura e segurança dos usuários desta, a qualidade do produto final, o concreto, é fundamental.

Para o sucesso de um empreendimento é necessário não só garantir o cumprimento do prazo e do orçamento, nas melhores condições de segurança e saúde para os trabalhadores, como ainda cumprir todos os requisitos dos utilizadores que, no essencial, se enquadram na qualidade do produto final (COUTO; 2007).

Tratando-se do controle tecnológico do concreto, é primordial depreender os fatores críticos na conformidade normativa, pois, a qualidade desse material é pontualmente regulamentada por diretrizes, considerando elementos que impactam diretamente na vida útil das estruturas e na segurança dos usuários. A normalização nacional, com destaque para a NBR 12655 de 2022 - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento, desempenha papel fundamental ao estabelecer especificações, garantindo padrões essenciais. É válido salientar que além da NBR 12655 de 2022, este estudo é regido especialmente pela NBR 5739 de 2018 - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos e NBR 6118 de 2023 - Projeto de estruturas de concreto - Procedimento.

A base normativa é um alicerce para a fundamentação teórica, enriquecida pela análise de um estudo de caso em uma edificação pública na cidade de Palmeira dos Índios, Alagoas, o qual são abordadas metodologias aplicadas para que se chegue às verificações de conformidades e não conformidades nos variados elementos estruturais, estes atuam como direcionamento exploratório do efeito do tempo na resistência do concreto.

Segundo Vilela, et al. (2018), o objetivo de garantir que o principal material constituinte das edificações, o concreto, esteja de acordo com os parâmetros estabelecidos pelas normas brasileiras, é que ele esteja de acordo com especificações do dimensionamento do projeto estrutural, pois, além de identificar, permite a criação de soluções para a correção de falhas, ademais, para que estes parâmetros sejam atendidos, é necessário o cumprimento do controle tecnológico do recebimento do concreto em obra.

A implementação de medidas normativas de rastreabilidade se destaca como solução para a entrega de um produto final de qualidade, desta forma, tal abordagem permite o controle mais preciso e eficiente, contribuindo para a melhoria contínua em todos os processos. Ademais, o controle tecnológico eficaz não se torna apenas uma exigência de diretrizes normatizadas, mas a representação de contribuições intrínsecas de segurança, durabilidade, eficiência estrutural e prevenção de manifestações patológicas.

1.1 JUSTIFICATIVA

Devido a ocorrência de concretos com resistência à compressão menor que a previamente dimensionado em projeto, é dado como solução o reforço estrutural do elemento que foi comprometido, a restrição da estrutura ou até mesmo demolição e reconstrução desta, o que resulta consequentemente em gastos excessivos, atrasos no cronograma da obra e até em manifestações patológicas.

De acordo com FIORITI, C. et al (2017), em um estudo das manifestações patológicas em vigas e lajes de concreto realizado nas edificações pertencentes à Universidade Estadual Paulista (FCT/UNESP), campus de Presidente Prudente, constatou-se o surgimento de manifestações diversas que partiam de fatores variados. Manifestações como processos de corrosão das armaduras e surgimento de fissuras que podem ser advindas, dentre outros fatores, de uma falta de controle de qualidade ideal, onde o estudo evidencia que é conveniente realizar ensaios de resistência, aderência e durabilidade dos materiais para trazer a sensação de segurança e satisfação quanto à vivência na edificação.

De acordo com SANTIAGO (2011), a falta de conformidade da resistência à compressão do concreto com a resistência calculada em projeto tem provocado debates cada vez mais intensos entre profissionais da área técnica em todo o Brasil. Diante disso, no que se refere à segurança e confiabilidade estrutural, se faz necessário aprofundar a investigação deste problema, que por muitas vezes é tratado como qualitativo.

Portanto, devido a necessidade de investigar e prevenir falhas de controle tecnológico do concreto no elemento estrutural, que por sua vez, torna-se incompatível com o dimensionamento de projeto, o presente trabalho justifica-se por analisar e verificar a importância da aplicação do controle tecnológico em obras de médio porte a partir de um estudo de caso, utilizando-se do acompanhamento da execução de uma obra na cidade de Palmeira dos Índios, Alagoas.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Geral

O objetivo geral deste trabalho é demonstrar a importância da aplicação do controle tecnológico de concreto em obras de pequeno e médio porte.

1.2.2 Específicos

- Acompanhar a realização dos procedimentos de controle da qualidade para fins de aceitação do concreto usinado;
- Verificar a conformidade ou não conformidade de lotes com relação às diretrizes estabelecidas na ABNT NBR 12655:2022;
- Analisar as consequências do controle tecnológico com base nas situações encontradas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção serão apresentados os conceitos fundamentais para entendimento dos próximos capítulos e para o desenvolvimento do trabalho. Esses conceitos serão divididos em quatro partes: especificações do concreto, controle tecnológico e da qualidade do concreto, atribuições de responsabilidade segundo a ABNT NBR 12655:2022 – Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento, e os impactos ocasionados pela falta de qualidade no processo de concretagem das estruturas.

2.1 CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES FUNDAMENTAIS DO CONCRETO ANALISADAS NO CONTROLE TECNOLÓGICO

Conforme Bastos (2019, p. 11), com a adição e mistura de agregados graúdos como britas, agregados miúdos como areias, água com proporções calculadas e um aglomerante, o cimento, é criado o concreto, um material que tem resistência pré-determinada, como mostrado na Figura 1 abaixo.

Figura 1 – O concreto



Fonte: Engenheiro Cassiano Zago, 2019.

Segundo A.M. Neville (2016), o material concreto necessita ser aceitável tanto quando endurecido quanto no estado fresco, e deve ser transportado e lançado nas fôrmas adequadamente com a finalidade de apresentar um material de excelente qualidade.

2.2.1 Estado fresco

Conforme ABNT 12655 (2022), o concreto no estado fresco é o qual está completamente misturado e que ainda se encontra em estado plástico, capaz de ser adensado por um método escolhido. A norma também informa acerca dos ensaios de consistência pelo abatimento de tronco de cone, o qual deve ser realizado de acordo com a NBR NM 67 de 1998.

É imprescindível que a consistência da mistura permita que o concreto possa ser adensado pelos meios desejados sem esforço excessivo, e também que a mistura tenha coesão suficiente para que os meios de transporte e de lançamento adotados não produzam segregação com a consequente falta de homogeneidade do produto final. (NEVILLE, A. M., 2016, p.12).

Neste estado, a pega do aglomerante está sendo iniciada e as propriedades apresentam capacidade necessária para proporcionar uma boa moldagem. As principais características do concreto nessa fase podem ser listadas como trabalhabilidade, consistência, segregação e exsudação.

2.2.1.1 Trabalhabilidade

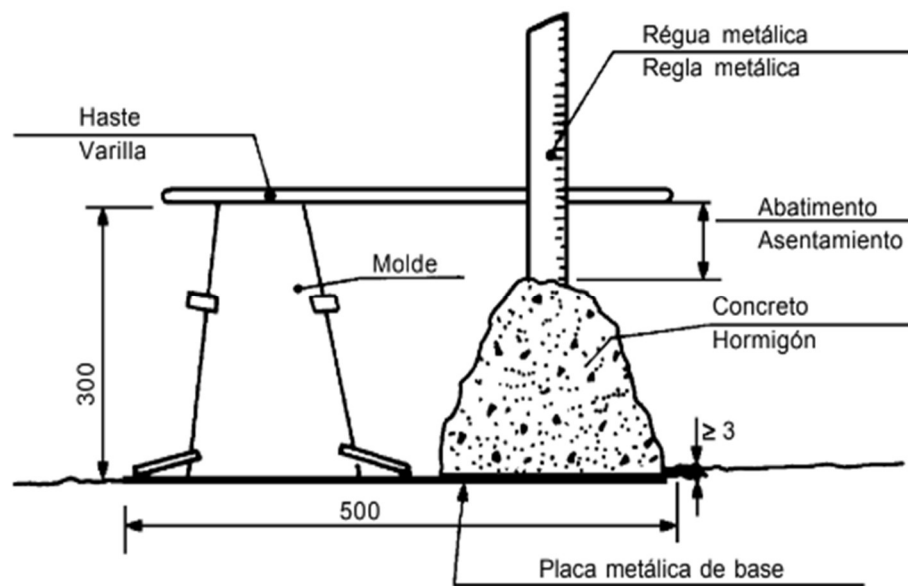
A trabalhabilidade do concreto fresco desempenha um papel crucial na facilidade de sua aplicação. Quanto mais fluido for o concreto, mais fácil será lançá-lo, reduzindo a necessidade de adensamento, ou seja, mais trabalhável. No entanto, diversos fatores podem afetar a trabalhabilidade do concreto em seu estado fresco, sendo o principal deles a quantidade de água na mistura. É importante destacar que o teor de água na mistura é independente da relação água/cimento ou do teor de cimento na composição (NEVILLE, A. M., 2016).

Existem três categorias de fatores distintos as quais podem afetar a trabalhabilidade, as quais são: as características do próprio concreto, que englobam sua consistência, revelando o grau de plasticidade da massa e sua habilidade de manter-se uniforme. As condições de manipulação assumem um papel de grande relevância, incluindo os tipos de equipamentos e sistemas de trabalho empregados em todas as fases, desde a produção até o transporte e o lançamento do concreto. Por fim, as condições de projeto desempenham um papel essencial, sendo determinadas pelas dimensões dos elementos de construção, o espaçamento das armaduras e outros fatores, todos eles desempenhando um papel fundamental na definição da trabalhabilidade do concreto (SOBRAL, 2000). Ainda segundo A.M. Neville (2016), não existe método para que seja medida a trabalhabilidade do concreto no estado fresco, entretanto, o que

se é bastante utilizado nos canteiros de obra é o ensaio de abatimento de tronco de cone como uma medida de consistência.

O ensaio de abatimento de tronco de cone, o qual é usualmente determinante para medida de consistência do concreto no estado fresco, regulamentado pela norma brasileira NBR NM 67:1998 da ABNT. Durante o ensaio, as amostras de concreto são preparadas, e os equipamentos, incluindo o tronco de cone, são verificados; deste modo, o tronco de cone é preenchido por concreto em três camadas de 25 golpes com uma haste de seção circular de 16 mm feita de aço. Após a remoção do cone, o valor do abatimento é a medida da altura do abatimento, que representa a diferença entre a altura inicial e final do concreto, assim como mostrado na Figura 2.

Figura 2 – Medida de abatimento



Fonte: ABNT NBR NM 67, 1998.

A NBR 7212:2021, a qual trata sobre execução de concreto dosado em central específica no Quadro 1 abaixo que os concretos devem ser especificados por classe de consistência, que variam de “S10” a “S220” de acordo com o valor de seu abatimento. O ensaio de abatimento de tronco de cone (*slump test*) desempenha um papel essencial no controle de qualidade do concreto, garantindo que ele atenda aos padrões necessários e seja adequado para seu uso.

Quadro 1 - Classes de consistência

CLASSE	ABATIMENTO (A) (mm)
S10	$10 \leq A < 50$
S50	$50 \leq A < 100$
S100	$100 \leq A < 160$
S160	$160 \leq A < 220$
S220	$A \geq 220$

Fonte: ABNT NBR 7212, 2021.

2.2.1.2 Consistência do concreto

A consistência do concreto diz respeito à mobilidade de sua massa, o que se pode relacionar à sua textura e habilidade para fluir, impactando a trabalhabilidade, a qual pode servir como medida da facilidade de moldagem. Por outro lado, a relação água/cimento (A/C) representa a relação em massa entre conteúdo efetivo de água e o cimento e outros materiais cimentícios na mistura de concreto (ABNT NBR 12655, 2022). Esses dois aspectos desempenham papéis cruciais na asseguuração da qualidade do concreto.

Desta forma, temos que a consistência desempenha um papel significativo na determinação da trabalhabilidade do concreto, embora seja usualmente confundida com esta última. A consistência refere-se às propriedades essenciais do próprio concreto, enfocando especialmente sua capacidade de mobilidade e a coesão entre os componentes da mistura (MARTINS, 2008).

De acordo com Falcão (2000), há quatro fatores que afetam a consistência de um concreto fresco: teor de água/mistura seca, granulometria e a forma do grão do agregado, aditivos e a temperatura. De modo geral, a influência desses fatores deve ser analisada em conjunto, haja vista que uma granulometria que produz um concreto de boa trabalhabilidade e consistência coesa com uma relação água/cimento específica pode não ser a melhor granulometria para uma outra relação (NEVILLE, A. M., 2016).

Com o aumento da relação água/cimento perde-se resistência e vida útil da estrutura de concreto, pois aumenta a porosidade da pasta endurecida. A pasta de cimento endurecida com alta porosidade pode sofrer diversos processos físicos e químicos de deterioração, prejudicando assim a durabilidade do concreto (TEIXEIRA; PELISSER, 2007, p. 12).

2.2.1.3 Segregação e exsudação

De acordo com Falcão (2000), a segregação é o termo utilizado para descrever a separação dos constituintes de uma mistura heterogênea, resultando em um concreto de características não uniformes. Quando se trata do concreto, as variações nas dimensões das partículas e nas massas específicas dos constituintes da mistura são as principais causas desse acontecimento. Na segregação, os grãos maiores se separam e são depositados no fundo das fôrmas, o que também acontece se essa mesma mistura for vibrada em excesso, ocasionando em um concreto mais fraco.

Segundo Catusso et al. (2015), a exsudação é um fenômeno que se manifesta quando a água surge na superfície do concreto logo após seu lançamento e adensamento, antes de ocorrer o processo de pega. Diversos fatores podem impactar a ocorrência desse fenômeno. Por exemplo, o aumento da relação água/cimento pode retardar a velocidade da exsudação, mas, ao mesmo tempo, aumenta a quantidade total de água que é exsudada, ou seja, água que emerge à superfície do concreto fresco antes da pega.

2.2.2 Estado endurecido

A partir da pega, que por sua vez seria o começo das reações químicas que culminam no endurecimento da mistura, o concreto é considerado um sólido. A durabilidade e qualidade de um concreto podem ser consideradas satisfatórias quando a estrutura se encontra devidamente protegida da influência da ação dos elementos e podem ser inteiramente inadequadas quando expostas à ação de agentes de desintegração (FALCÃO, 2000).

2.2.2.1 Resistência característica à compressão do concreto (f_{ck})

A resistência característica à compressão é um dos fatores cruciais no dimensionamento do projeto de estruturas de concreto, desse modo, o f_{ck} garante que a estrutura tenha a capacidade necessária para resistir às cargas previstas e atender aos requisitos de segurança estrutural (ABNT NBR 12655, 2022).

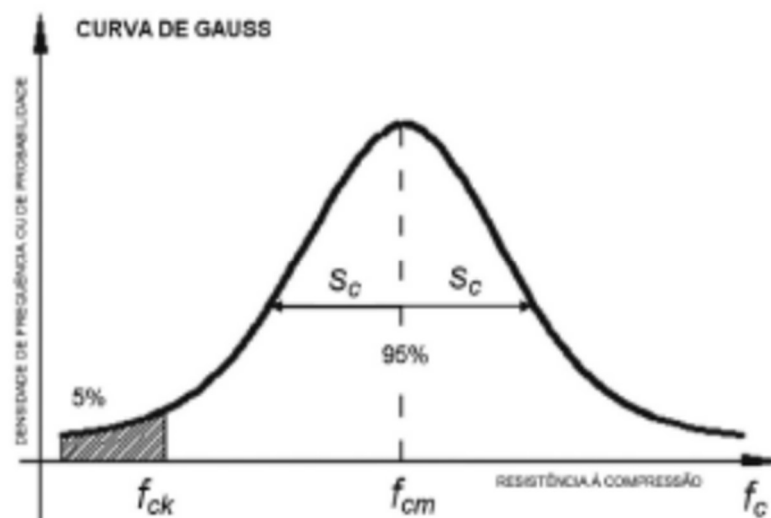
Segundo Andrade (2020), a utilização da resistência à compressão do concreto como a principal propriedade para certificar a conformidade do material destaca a importância de se avaliar e validar o controle de qualidade em todas as etapas de sua produção.

O maior objetivo de se controlar a resistência à compressão do concreto é a obtenção de um valor único e característico da resistência à compressão de um certo volume de concreto, com o intuito de comparar esse valor com o especificado no projeto estrutural, que foi tomado como referência para o dimensionamento da estrutura (ZALAF, FILHO, BRAZ, 2014, p. 30).

A tensão de ruptura suportada pela compressão axial de um cilindro de concreto, cuja altura deve ser o dobro do seu diâmetro, diz respeito à resistência à compressão do concreto no estado endurecido. Essa propriedade desempenha um papel crucial para o dimensionamento da estrutura, sendo, conseqüentemente, um fator de extrema importância na garantia da segurança e estabilidade da edificação (PACHECO; HELENE, 2013).

O valor de referência utilizado pelo projetista para os cálculos de dimensionamento é a resistência característica do concreto à compressão, haja vista que há um nível de confiança de 95% mostrado na Figura 3 abaixo. Dessa forma, a resistência característica é comparada à resistência característica estimada do concreto à compressão ($f_{ck,est}$), definido por um valor aproximado obtido por meio de ensaios em amostras de corpos de prova cilíndricos retirados de um lote de concreto. Esses resultados são processados por uma equação matemática específica (conhecida como estimativa do fck), que varia de acordo com o método de controle de qualidade da resistência empregado (ZALAF, FILHO, BRAZ, 2014).

Figura 3 – Curva de Gauss – resistência à compressão do concreto



2.3 CONTROLE TECNOLÓGICO E DA QUALIDADE DO CONCRETO

2.3.1 Concreto dosado em central

De acordo com a NBR 7212 de 2021, norma brasileira que trata acerca do procedimento do concreto dosado em central, este é definido como concreto dosado em instalações específicas, misturado e transportado em caminhão-betoneira, que pode ser dotado ou não de dispositivo de agitação, o qual deve ser entregue no canteiro de obra antecedente à perda da plasticidade, ou seja, antes do início da pega.

A principal vantagem de um concreto dosado em central seja em razão de sua produção em condições muito favoráveis de controle de qualidade rigorosos em todas as etapas de produção do concreto fresco, diferentemente das condições normalmente possíveis e encontradas nos canteiros de obra (NEVILLE, A. M., 2016). Dessa forma, é evidente que o uso do concreto dosado em central vem sendo muito conceituado e difundido em função do seu melhor controle de qualidade, e como resultado, obtêm-se benefícios para o mercado da construção civil, como a diminuição do desperdício de material e sua estocagem em obra (DALLABRIDA; VEIGAS, 2014).

2.3.2 Transporte, lançamento e adensamento do concreto dosado em central

2.3.2.1 Transporte

Conforme Mehta e Monteiro (2008), o transporte do concreto em estado fresco para o local da construção, como o canteiro de obras, deve ser realizado o mais rapidamente possível, para que sejam minimizados os impactos relacionados ao endurecimento e à perda de sua trabalhabilidade com o início da pega.

Ainda para Mehta e Monteiro (2008), um concreto o qual é mantido periodicamente misturado ou quando em estado de agitação, pode haver ao longo do tempo uma diminuição da fluidez, entretanto, nas fases iniciais de lançamento e adensamento deste concreto, que seriam durante os primeiros 120 minutos de mistura, usualmente não representa ameaça para a fase de descarga.

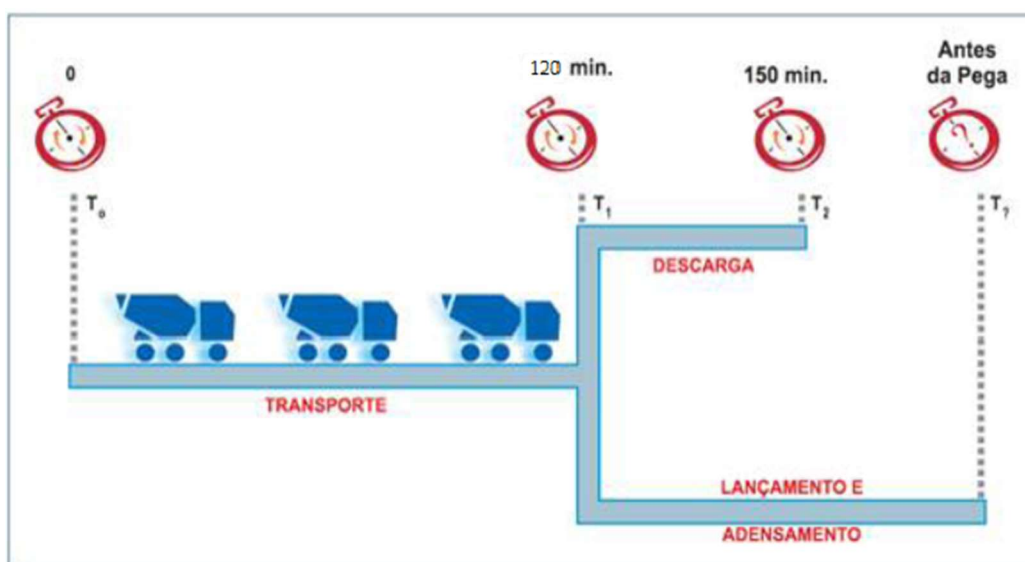
O transporte deve ser feito por veículo dotado ou não de dispositivo de agitação, desde que apresente estanqueidade necessária, fundo e paredes revestidos de material não absorvente, a fim de que não haja perda de qualquer componente. Via de regra, o transporte até a obra deve ser feito por caminhão betoneira (ABNT NBR 7212, 2021, p. 7).

A NBR 7212 (2021) afirma que o período para o transporte do concreto entre o início da mistura até a entrega seja inferior a 120 minutos no caso de uso do caminhão betoneira e inferior a 40 minutos no uso de veículo não dotado de equipamento de agitação. A norma ainda condiciona à contratante recusar o recebimento caso o tempo previsto para lançamento e adensamento não forem atendidos, os quais são realizados em tempo inferior a 150 minutos para a utilização de caminhão betoneira.

2.3.2.2 Lançamento e adensamento

O lançamento, que é definido por Falcão (2000) como a colocação do concreto em fôrmas, e o adensamento definido como processo de compactação manual ou mecânica que provoca eliminação de ar, excesso de água e espaços vazios do concreto, estes, também apresentam período estipulado para sua operação e devem ser iniciados até 30 minutos após a chegada do caminhão betoneira no local da obra, como também, assim como esquematizado na Figura 4, deve ser realizado em tempo inferior a 150 minutos a partir da primeira adição de água (ABNT NBR 7212, 2021).

Figura 4 – Representação esquemática de tempo de transporte e descarga do concreto estipulado pela NBR 7212 de 2021



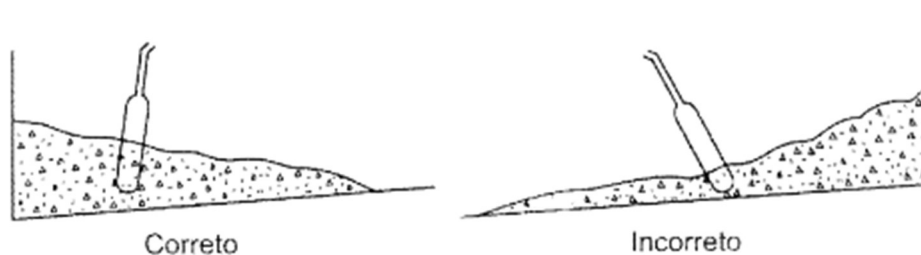
Fonte: Adaptado da NBR 7212:2021 (ABNT, 2021).

A NBR 14931 (2023) traz recomendações antes da aplicação do concreto:

1. O concreto deve ser lançado e adensado de forma que toda a armadura seja envolvida na massa de concreto;

2. Em nenhuma hipótese deve ser realizado o lançamento do concreto após o início da pega;
3. O concreto deve ser lançado o mais próximo possível de sua posição definitiva;
4. Durante e imediatamente após o lançamento, o concreto deve ser vibrado ou apiloado contínua e energicamente com equipamento adequado à sua consistência;
5. Preferencialmente aplicar o vibrador na posição vertical, como mostrado na Figura 5;
6. Não permitir que o vibrador entre em contato com a parede da fôrma para evitar a formação de bolhas de ar na superfície da peça.

Figura 5 – Adensamento do concreto com vibradores de imersão



Fonte: NBR 14931, 2023.

2.3.3 Cura

Ainda de acordo com a NBR 14931 (2023), é necessário evitar perda de água pela superfície exposta do concreto endurecido, como também, deve-se assegurar uma superfície com resistência adequada e durável, ou seja, enquanto não for atingido um endurecimento satisfatório, o concreto deve ser curado e assegurado contra agentes prejudiciais.

Entende-se como definição da cura do concreto um conjunto de medidas que visam evitar a perda da água utilizada na mistura do concreto, a qual tem função de hidratar o cimento (Falcão, 2000). A água de cura a ser utilizada deve ser potável ou seguir as exigências da NBR 12655 (ABNT NBR 14931, 2023).

2.3.4 Controle por amostragem total

Segundo a NBR 12655 (2022), o controle da amostragem de exemplares de todas as betonadas ocorridas na concretagem, representadas por um exemplar que define a resistência à compressão do concreto na betonada, ou seja, 100% de controle, é definido como controle por amostragem total. O valor da resistência característica à compressão do concreto estimada, é dado pela Equação (1):

$$f_{ck,est} = f_{c,betonada} \quad (1)$$

Onde:

$f_{c,betonada}$ É o valor da resistência à compressão do exemplar, o qual representa o concreto da betonada.

2.3.5 Controle estatístico por amostragem parcial

O controle estatístico do concreto por amostragem parcial, diz respeito a retirar exemplares de betonadas distintas, ou seja, não são retiradas amostras de todas as betonadas que ocorreram durante a concretagem. Desta forma, para concretos do grupo I, pertencentes a classes de resistência do concreto de até C50 (f_{ck} de até 50 megapascals) devem ser retirados no mínimo seis exemplares de amostras, já para concretos do grupo II, pertencentes a classes de resistência do concreto superiores a C50 devem ser retirados no mínimo doze exemplares (ABNT NBR 12655, 2022).

Ainda conforme a NBR 12655 (2022), para lotes com números de exemplares $6 \leq n < 20$, o valor estimado da resistência característica à compressão ($f_{ck,est}$), na idade especificada, é dado pela Equação (2):

$$f_{ck,est} = 2 \frac{f_1 + f_2 + \dots + f_{m-1}}{m-1} - f_m \quad (2)$$

Onde:

m é igual $\frac{n}{2}$. Despreza-se o valor mais alto de n , se for ímpar;

f_1, f_2, \dots, f_m valores das resistências dos exemplares, em ordem crescente.

Para lotes que apresentam o número de exemplares maiores que vinte, temos a seguinte Equação (3):

$$f_{ck,est} = f_{cm} - 1,65S_d \quad (3)$$

Onde:

f_{cm} é dada pela resistência média dos exemplares, expresso em megapascals;

S_d é o desvio padrão da amostra dos n exemplares ($n - 1$) no denominador da fórmula, expresso em megapascals.

2.3.6 Rastreabilidade

2.3.6.1 Coleta de amostras

A NBR 5738 (2015) traz informações acerca de todo o procedimento de moldagem dos corpos de prova, abatimento, cura e a preparação das bases dos corpos de prova cilíndricos e identificação destes para a execução do ensaio de compressão axial.

A dimensão dos corpos de prova deve ser no mínimo três vezes maior que a dimensão nominal máxima do agregado graúdo do concreto. A preparação do molde do CP antes da moldagem, consiste em o revestir internamente com uma fina camada de determinado lubrificante, como o óleo mineral o qual não deverá reagir com o cimento (ABNT NBR 5738, 2015).

Para a moldagem dos corpos de prova, a NBR 5738 (2015) ainda informa que a amostra deve ter uma prévia remistura para que se assegure a uniformidade, e que sejam feitas as camadas de concreto utilizando uma concha de seção U e de acordo com a Tabela 1 a seguir:

Tabela 1 – Número de camadas para moldagem dos corpos de prova

Tipo de corpo de prova	Dimensão básica (d) mm	Número de camadas em função do tipo de adensamento		Número de golpes para adensamento manual
		Mecânico	Manual	
Cilíndrico	100	1	2	12
	150	2	3	25
	200	2	4	50
	250	3	5	75
	300	3	6	100
	450	5	–	–
Prismático	100	1	1	75
	150	1	2	75
	250	2	3	200
	450 ^b	3	–	–

^a Para concretos com abatimento superior a 160 mm, a quantidade de camadas deve ser reduzida à metade da estabelecida nesta Tabela. Caso o número de camadas resulte fracionário, arredondar para o inteiro superior mais próximo.

^b No caso de dimensão básica de 450 mm, somente é permitido adensamento mecânico.

Fonte: NBR 5738, 2015.

A Tabela 2, a qual especifica as classes de consistência do abatimento de acordo com a NBR NM 67, também determina o método de adensamento dos corpos de prova.

Tabela 2 – Classes de consistência

Classe	Abatimento mm	Método de adensamento
S10	$10 \leq A < 50$	Mecânico
S50	$50 \leq A < 100$	Mecânico ou manual
S100	$100 \leq A < 160$	
S160	$160 \leq A < 220$	Manual
S220	$A \geq 220$	

Fonte: NBR 5738, 2015.

Ainda segundo a ABNT NBR 5738 (2015), o adensamento manual deve ser executado utilizando uma haste com seu extremo em forma semi esférica, a qual deve penetrar no concreto introduzido no molde de forma a adensa-lo em camadas de volume aproximadamente igual e com o número de vezes determinado pela Tabela 2. O adensamento mecânico precede em colocar o concreto no molde em camadas também de volume

aproximadamente iguais de acordo com a Tabela 2, e antes da vibração de cada camada ser iniciada, o molde já deve conter a quantidade de concreto correspondente a essa camada.

Para cada classe de concreto, tipo de vibrador e de molde, é requerido um tempo particular de vibração, que deve ser mantido uniforme. Esse tempo depende da consistência do concreto e da eficiência do vibrador. A vibração deve ser finalizada quando a superfície do concreto apresentar um aspecto relativamente liso e praticamente não houver mais o aparecimento de bolhas de ar na superfície. Deve-se evitar vibrar demasiadamente o concreto, pois isso pode produzir segregação (ABNT NBR 5738, 2015, p. 6).

2.3.6.2 Manuseio e transporte dos corpos de prova

Os corpos de prova devem ser moldados no local onde devem ser armazenados e se deve evitar transportá-los recém-moldados. Quando a moldagem no local não for possível, devem ser levados assim que o rasamento for feito para o local onde devem permanecer em processo de cura. Quando endurecidos, os corpos de prova devem ser transportados dentro de suas formas, ou, após a desforma, devem ser transportados em caixas rígidas parcialmente preenchidas com serragem ou areia molhada ou similar (ABNT NBR 5738, 2015).

2.3.6.3 Cura dos corpos de prova

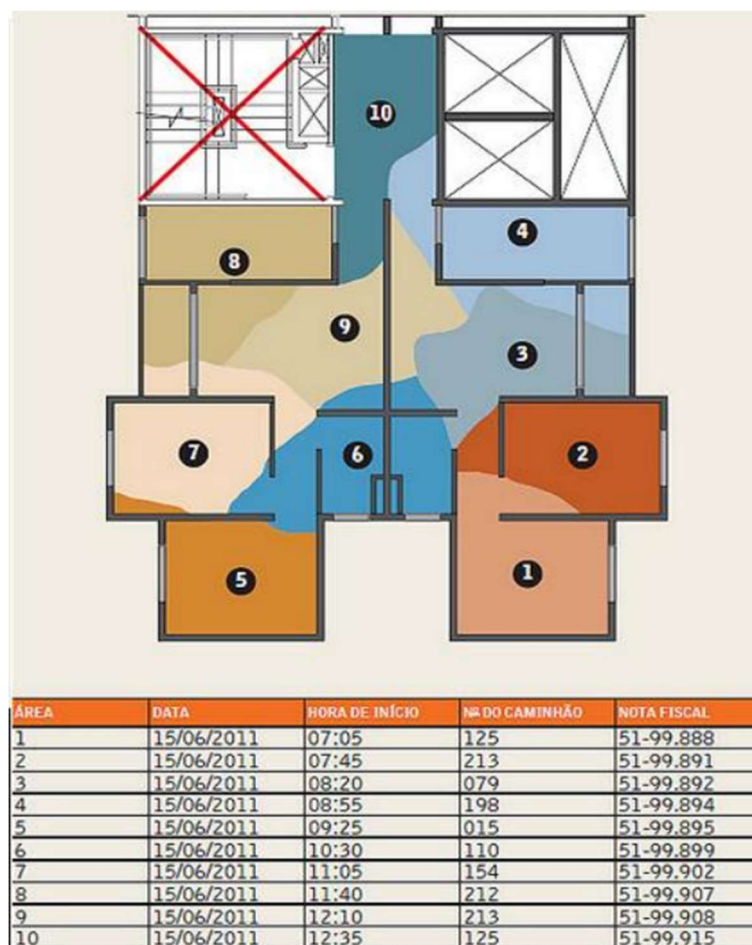
Quando o processo de moldagem for concluído, os corpos de prova devem ser identificados e armazenados. Dessa forma, deve-se colocar os moldes sobre uma superfície horizontal rígida, ou de alguma ação que perturbe o concreto. Nas primeiras vinte e quatro horas, para CPs cilíndricos e quarenta e oito horas para CPs prismáticos, devem ser devidamente protegidos de intempéries. Quando o período de cura for terminado, de acordo com as especificações para as estruturas, os corpos de prova devem permanecer no mesmo local até que sejam enviados ao laboratório para serem ensaiados (NBR ABNT 5738, 2015).

2.3.6.4 Mapeamento

A rastreabilidade é uma forma de controle tecnológico do concreto, haja vista a sua capacidade de localizar o histórico da aplicação do concreto por meio das elaborações de registros em forma de mapas de concretagem (ZALAF, FILHO, BRAZ, 2014).

O mapeamento é registrado em plantas dos locais que serão concretados, por meio de canetas marca texto, lápis de colorir ou giz de cera, os quais identificam os locais concretados em função do lançamento de concreto de cada caminhão betoneira, assim, os associando com as respectivas notas fiscais e lacres dos caminhões. (ZALAF, FILHO, BRAZ, 2014). A Figura 6 ilustra um mapa de concretagem usual em canteiros de obra:

Figura 6 – Representação de mapa de concretagem



Fonte: Zalaf, Filho, Braz, 2014.

De acordo com a ABESC (2007), deve-se conferir imediatamente o fck solicitado, o número do lacre do caminhão, o horário de saída do concreto da usina e realizar o registro da hora que o caminhão chega à obra, utilizando a nota fiscal emitida, posteriormente, após as verificações, deve-se realizar o ensaio de abatimento de tronco de cone para que se moldem os corpos de prova. Durante o processo de lançamento e adensamento, com o mapa de concretagem em mãos, deve-se indicar o local do lançamento do concreto e registrar a hora de finalização de cada betonada.

Através deste processo de rastreabilidade pode-se chegar às possíveis causas de patologias das construções ou baixo resultado de resistência à compressão dos corpos de prova (ZALAF, FILHO, BRAZ, 2014).

2.3.7 Ensaio de resistência à compressão

O método do ensaio de resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos de concreto moldados é especificado pela NBR 5739 de 2018 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. É necessário que os corpos de prova moldados de acordo com a NBR 5738 de 2015 e que sejam rompidos em uma data especificada contada a partir do momento da moldagem, com as tolerâncias de tempo mostradas na Tabela 3:

Tabela 3 – Tolerância para a idade de ensaio

Idade de ensaio	Tolerância permitida h
24 h	0,5
3 d	2
7 d	6
28 d	24
63 d	36
91 d	48
NOTA Para outras idades de ensaio, a tolerância deve ser obtida por interpolação.	

Fonte: ABNT NBR 5739, 2018.

O procedimento do ensaio se dá pela aplicação de uma carga axial através de uma máquina projetada para este tipo de ensaio. A carga é então aplicada ao eixo longitudinal do corpo de prova de forma contínua, crescente com velocidade constante até que ocorra a ruptura, constatada pelo marcador da máquina, o qual mostra uma queda brusca de força (ANDRADE, 2020).

Segundo a ABNT NBR 12655 (2022), na formação de lotes para os ensaios, é necessário que se retire uma amostra com número de exemplares especificados com o tipo de controle, seja por amostragem total, ou pelo controle estatístico por amostragem parcial. A amostragem deve ser feita dividindo-se a estrutura em lotes que se adequem aos limites impostos pela Tabela 4 a seguir:

Tabela 4 – Valores máximos para a formação de lotes de concreto

Identificação (o mais exigente para cada caso)	Solicitação principal dos elementos da estrutura	
	Compressão ou compressão e flexão	Flexão simples ^b
Volume de concreto	50 m ³	100 m ³
Número de andares	1	1
Tempo de concretagem	três dias de concretagem ^c	
^a No caso de controle por amostragem total, cada betonada deve ser considerada um lote, conforme 6.2.3.1 ^b No caso de complemento de pilar, o concreto faz parte do volume do lote de lajes e vigas ^c Este período deve estar compreendido no prazo total máximo de sete dias, que inclui eventuais interrupções para tratamento de juntas.		

Fonte: ABNT NBR 12655, 2022.

De acordo com os critérios da Tabela 4, é necessário que o valor máximo para a formação de lotes seja em função do tipo de solicitação principal ao qual o local dos elementos estruturais que serão concretados estarão submetidos. O tamanho máximo do lote será definido pelo menor volume de material dentre o volume do concreto, número de andares e tempo de concretagem (ANDRADE, 2020).

2.3.8 Aceitação do concreto

Ainda segundo a NBR 12655 (2022), em seu item 6.2.4 é especificado que o lote só apresentará conformidade quando os valores de resistência característica à compressão, seja para amostragem parcial ou para amostragem total, atenderem à resistência característica do concreto à compressão determinada pelo projeto estrutural. Com isso temos na Equação (4):

$$f_{ck,est} \geq f_{ck} \quad (4)$$

Onde:

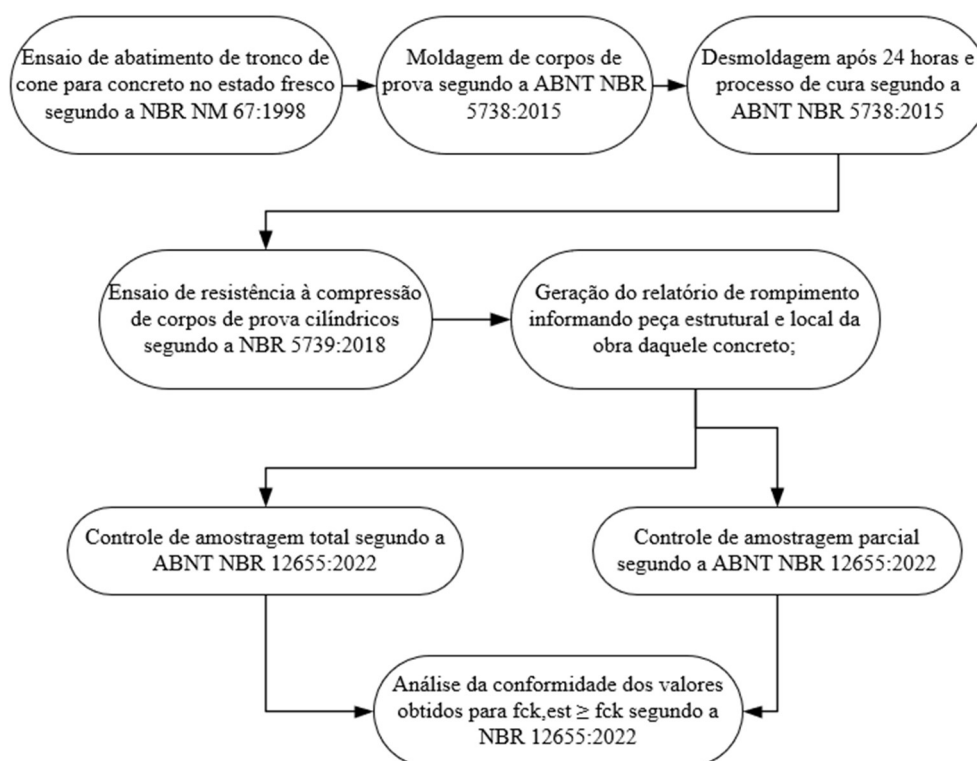
$f_{ck,est}$ é a resistência característica à compressão do concreto estimada, valor que é obtido de forma estatística baseado em ensaios para estimar a resistência característica do concreto que foi determinada no projeto estrutural;

f_{ck} é a resistência característica à compressão do concreto, valor que é estabelecido no projeto estrutural.

O fluxograma representado na Figura 7 a seguir mostra as etapas tratadas até aqui para a devida aceitação do concreto.

Figura 7 – Fluxograma de procedimentos

PROCEDIMENTO PARA ACEITAÇÃO E CONTROLE DE
QUALIDADE DE CONCRETO EM OBRA



Fonte: Autores, 2023.

2.4 ATRIBUIÇÕES DE INCUMBÊNCIAS SEGUNDO A NBR 12655:2022

Como parte do controle de qualidade e controle tecnológico do concreto, existem responsabilidades pelo serviço e cumprimentos de prescrições referentes às etapas do preparo do concreto, essas atribuições são designadas pela NBR 12655:2022 ao responsável pelo projeto estrutural, ao executor da obra e ao responsável pelo recebimento e pela aceitação do concreto. Na modalidade de concreto preparado por empresa de serviços de concretagem, a incumbência de cumprir as prescrições de preparo de concreto, disposições das normas 12655:2022 e 7212:2021 – Execução de concreto dosado em central – Procedimento, é da própria empresa.

2.4.1 Responsabilidade do autor do projeto estrutural

De acordo com a NBR 12655 (2022), compete ao autor do projeto estrutural que esteja explícito em contratos, desenhos e memoriais descritivos técnicos do projeto a

especificação da resistência aos “j” dias f_{cj} , para as etapas construtivas e registro da resistência característica à compressão do concreto f_{ck} , obrigatoriamente em todos estes desenhos e memoriais. Também compete ao profissional que elabora o projeto a especificação da classe de agressividade ambiental utilizada para dimensionamento, especificações dos requisitos relacionados à durabilidade da estrutura e elementos pré-moldados, vida útil e especificação de propriedades especiais do concreto durante a fase construtiva (ABNT NBR 12655, 2022).

2.4.2 Responsabilidade do executor da obra

É designado ao executor da obra a escolha da modalidade de preparo do concreto, seja ele preparado pela empresa de serviço de concretagem ou pelo construtor da obra, desta forma, é necessária a escolha do tipo de concreto a ser empregado, consistência, e suas respectivas propriedades de acordo com o projeto e com as condições de aplicação, como escolha de materiais a serem empregados.

Ainda de acordo com NBR 12655 (2022), cabe ao responsável pela execução da obra a aceitação, recebimento e rastreabilidade do concreto, todos os cuidados no processo construtivo como a retirada do escoramento, onde se é levado em consideração as peculiaridades cimento Portland e condições de temperatura ambiente, como também, é necessário que sejam atendidos os requisitos da ABNT NBR 9062:2017 – Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado, para que seja feita a liberação da pretensão, desforma e movimentação dos elementos pré-moldados.

2.4.3 Responsabilidade da empresa da concretagem

Cabe a empresa de concretagem o preparo do concreto e seu transporte da central até o local especificado pela contratante, ou seja, todo o processo de preparo, caracterização e armazenamento dos materiais componentes do concreto, estudo da dosagem de quantidades e ajuste de traço são determinados em contrato para verificações e cumprimento dos requisitos normativos designadas a empresa de concretagem (ZALAF, FILHO, BRAZ, 2014).

2.5 IMPACTOS ACARRETADOS PELA FALTA DE CONTROLE DE QUALIDADE NA CONCRETAGEM

2.5.1 Impactos à estrutura

Devido à falta de controle de qualidade na concretagem ou falhas nos processos de produção, transporte, lançamento, adensamento e cura do concreto, estes podem ocasionar consequências a curto e longo prazo à estrutura. Além da deterioração das estruturas de concreto ao longo do tempo, afetando a durabilidade, surgem problemas precoces como formação de vazios na concretagem, frequentemente conhecidos como "bicheiras", relacionadas também à falta de aderência entre as camadas de concreto e à exposição das armaduras (MUNARO; POSSAN, 2017).

De acordo com Milagres (2019), a perda de umidade do concreto em condições de secagem ambiental, na ausência da cura adequada ocasionarão em fissuras de retração por secagem do concreto, ou seja, a redução de volume pela evaporação da umidade dos elementos do concreto no estado fresco ou endurecido. Além disso, podem ocorrer deformações internas e externas de flexão.

2.5.2 Gastos excessivos

Dentre os prejuízos provenientes da falta de controle de qualidade na construção civil do Brasil, os gastos adicionais não são visíveis inicialmente, entretanto, chegam a alcançar a média de 5% do custo total da obra, devido às despesas de reparação e indenizações decorrentes de anomalias construtivas (GOMIDE, 2015).

Os prejuízos consequentes do mau recebimento do concreto em obra se tornam maiores quanto mais tardiamente são constatados seus problemas. Assim, ainda na fase de execução da obra, pode surgir a necessidade de uma paralisação desta para recuperação de determinado elemento, gerando gastos com o atraso do planejamento e com mão de obra e materiais que não estavam previstos inicialmente (ZALAF; FILHO, BRAZ, 2014, p. 40)

2.5.3 Atraso nos cronogramas

Falhas de concretagem fazem parte da falta de planejamento e controle de qualidade no canteiro de obras, tais falhas têm potencial para interromper outras demandas de etapas dos serviços, pois, é necessário que equipes sejam realocadas aos reparos e retrabalho, como remoções e reconstituição do concreto defeituoso, demandando tempo e recursos, desse modo, há perda de produtividade pela interrupção do fluxo de trabalho, resultando assim, em atrasos

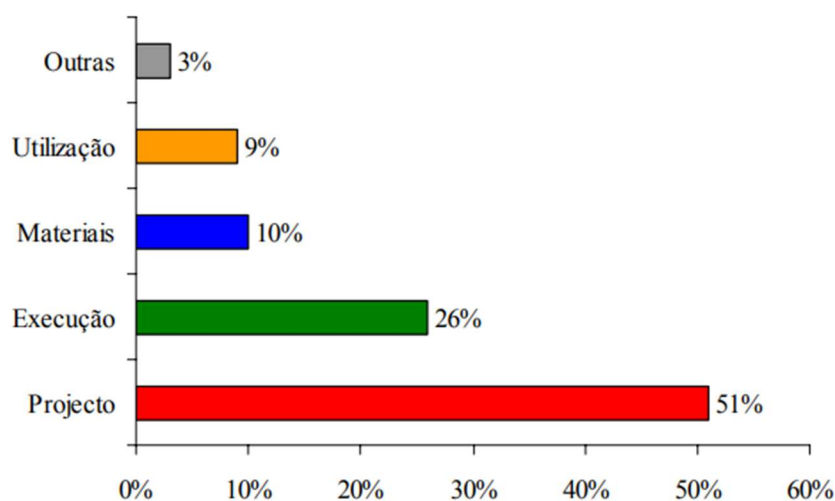
de cronograma já estabelecido e previamente planejado, afetando o prazo para entrega final da obra (MUNARO; POSSAN, 2017).

2.6 CAUSAS E ORIGENS DE PATOLOGIAS DAS EDIFICAÇÕES

De acordo com Gonçalves (2015), destacam-se por ser as causas mais comuns de manifestações patológicas em edificações de estrutura em concreto armado: falhas na concepção do projeto estrutural, como erro de cálculo na espessura do cobrimento das armaduras, má qualidade dos materiais, erros na execução, utilização da estrutura para fins diferentes dos calculados em projeto e falta de manutenção ao decorrer do tempo. Dessa forma, as patologias são acarretadas por falha de planejamento, falhas de execução da obra, falta de controle de qualidade, fiscalização das etapas construtivas e baixa qualidade técnica dos trabalhadores.

Como se pode ver na Figura 8, a partir de um estudo de Couto (2007), foi constatado que as causas de patologias se referem a falhas de execução, má qualidade dos materiais, falhas de projeto, má utilização pelo usuário e ainda por fatores externos como: ação de umidade, variação de temperatura, instabilidade do solo, entre outros. Portanto, todas as etapas para a entrega da edificação, como projeto, execução e utilização possuem sua importância e devem seguir as diretrizes de normas estabelecidas para garantir a qualidade satisfatória, não advir manifestações patológicas e principalmente, não comprometer a segurança da estrutura.

Figura 8 – Causas de patologias em edificações



Fonte: Couto, 2007.

2.7 QUALIDADE, CRITÉRIOS E SEGURANÇA EM ESTRUTURAS DE CONCRETO SEGUNDO A ABNT NBR 6118:2023

2.7.1 Requisitos gerais de qualidade da estrutura

Segundo a ABNT NBR 6118 (2023) – Projeto de estruturas de concreto – procedimento, as estruturas de concreto devem atender aos requisitos mínimos de qualidade definidos em três grupos distintos, são eles: capacidade resistente, desempenho em serviço e durabilidade.

A capacidade resistente é definida de forma sucinta como a garantia de segurança quanto a ruptura; já o desempenho em serviço é definido como a capacidade da estrutura em manter-se em condições plenas para sua utilização durante toda vida útil da referida, onde não deve haver danos que possam comprometer em parte ou em sua totalidade o uso para o qual foi projetada (ABNT NBR 6118, 2023). A durabilidade, o terceiro grupo de requisitos mínimos de qualidade, é dada como a capacidade de a estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas juntamente entre o autor do projeto estrutural e seu contratante logo como etapa inicial aos trabalhos de elaboração do projeto. Requisitos adicionais serão acrescidos em conformidade entre o autor do projeto estrutural e contratante.

2.7.2 Preceitos para durabilidade das estruturas de concreto

As estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que, sob as condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizadas conforme preconizado em projeto, conservem sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o prazo correspondente à sua vida útil (ABNT NBR 6118, 2023).

Ainda de acordo com NBR 6118 (2023), em a vida útil da estrutura tem-se que o conceito desta pode ser aplicado à estrutura como um todo ou de forma fracionada. Dessa forma, determinadas partes das estruturas podem merecer consideração especial com valor de vida útil diferente do todo, como, por exemplo, aparelhos de apoio e juntas de movimentação.

2.7.3 Verificação da segurança

Conforme ABNT NBR 6118 de 2023 as verificações de segurança das estruturas de concreto, devem ser atendidas condições construtivas e condições analíticas de segurança. Onde nas condições construtivas de segurança, deve-se atentar-se às normas de controle dos

materiais, especialmente a ABNT NBR 12655:2022. Já as condições analíticas de segurança estabelecem que as resistências não podem ser menores que solicitações.

2.7.4 Procedimentos em caso de não conformidade do concreto

A não conformidade dos lotes tinham como procedimento planejado a informação imediata ao projetista estrutural para tomar as medidas previstas na norma ABNT NBR 6118:2023. Lotes não aceitos podem acarretar prejuízos econômicos relacionados à execução de possíveis reforços estruturais, gastos com mão de obra e em casos extremos demolição ou reconstrução total/parcial do elemento estrutural. Ainda neste contexto, a não conformidade dos lotes é um forte indicador de que o fck do concreto não está sendo atingido, ou seja, é possível que o concreto não possua a resistência característica à compressão necessária utilizada como referência no desenvolvimento do projeto estrutural. Tal situação é particularmente preocupante em elementos estruturais sujeitos a esforços predominantes de flexocompressão, por exemplo, os pilares e os elementos que compõem a solução de fundação utilizada na edificação.

Partindo das premissas básicas recomendadas pela Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural (ABECE) e pela ABNT NBR 7680-1:2015, anteriormente a soluções técnicas destrutivas à estrutura em caso de não conformidade do concreto, deve-se realizar alguns procedimentos:

1. Solicitação da carta de traço fornecida pela usina dosadora contendo consumos individuais dos materiais componentes do concreto por metro cúbico de concreto;
2. Comunicação imediata ao projetista estrutural para uma nova análise com objetivo de verificar o atendimento dos estados limites último e de serviço dos elementos estruturais construídos com esse lote;
3. Solicitação de ensaio não destrutivo ao concreto, como o ensaio de esclerometria, redigido pelas diretrizes na ABNT NBR 7584 de 2013 – Concreto endurecido – Avaliação de dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão – Método de ensaio. Sendo este ensaio responsável por sanar dúvidas quanto à confiabilidade do mapeamento do concreto lançado para que se identifique as regiões de mesma betonada, o qual valida ou invalida os resultados do rompimento dos corpos de prova.

Numa remota situação em que a obra exija um rígido controle executivo da estrutura devido a diversos fatores, é recomendável que sejam moldados mais do que a quantidade

mínima recomendável pela norma ABNT NBR 12655:2022, com objetivo de utilizá-los como contraprova no resultado do ensaio de compressão do concreto.

2.7.4.1 Ensaio de testemunhos de estruturas de concreto

No encadeamento dos processos a serem seguidos diante da análise e resultado negativo para a aceitação de um lote, isto é, quando não há conformidade de partes de um componente estrutural, surge a possibilidade da extração de testemunhos de estruturas de concreto, determinada pela ABNT NBR 7680-1 (2015) – Concreto – Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto. Parte 1: Resistência à compressão axial. Esta norma é especificamente aplicada às operações relativas à resistência à compressão axial de corpos de prova cilíndricos de concreto. Os resultados obtidos podem ser empregados para aceitabilidade do lote em situações de não conformidade da resistência à compressão do concreto, assim como para a avaliação de segurança estrutural de obras em andamento e existentes mediante preceitos normativos da ABNT NBR 12655:2022 (ABNT NBR 7680-1).

Tratando-se do resultado da análise da extração dos testemunhos de estruturas em processo de execução, é essencial destacar que, antes de qualquer extração, exista uma comunicação prévia com o projetista estrutural para que a segurança estrutural do elemento seja validada a partir do $f_{ck,est}$. A avaliação positiva desta comunicação e análise resulta na determinação de que os requisitos de avaliação da segurança estrutural são atendidos, dispensando a extração. De outro modo, caso o resultado da análise de segurança não seja satisfatório, se faz necessário o planejamento da extração de testemunhos, em comum acordo com as partes envolvidas e com os critérios estabelecidos em norma (ABNT NBR 7680 – 1, 2015).

Ainda segundo a ABNT NBR 7680-1 (2015), é destacado em suas diretrizes que numa falta de mapeamento do lançamento do concreto na estrutura, os ensaios não destrutivos são exequíveis, como a avaliação da dureza superficial com o esclerômetro de reflexão, abordado no item 2.7.4 deste trabalho. Ademais, em seu item 4.2 são discutidos os métodos de formação de lotes de estruturas em execução, assim como a quantidade de testemunhos por lote a serem extraídos, esta análise deve ser feita visando minimizar o número de testemunhos extraídos, a fim de evitar danos à estrutura e aos elementos estruturais.

Desta forma, o mapeamento da estrutura, o método de formação de lotes e a quantidade de testemunhos podem ser identificados pela Tabela 5:

Tabela 5 – Mapeamento da estrutura, formação de lotes e quantidade de testemunhos.

Tipo de controle (conforme ABNT NBR 12655)	Mapeado (rastreadibilidade)		Formação de lotes		Quantidade de testemunhos por lote ^a
	No lançamento	Por ensaios não destrutivos			
Amostragem total	Sim	opcional	Cada lote corresponde ao volume de uma betonada ou de um caminhão-betoneira	Aplicado em um elemento estrutural	2
				Aplicado em mais do que um elemento estrutural	3
	Não	Sim	Conforme o mapeamento. Cada lote deve corresponder ao conjunto contido em um intervalo restrito de resultados dos ensaios não destrutivos ^b	Até 8 m ³	3 ^c
				Maior que 8 m ³ e menor que 50 m ³	4
Amostragem parcial	Indiferente	Sim	Conforme o mapeamento. Cada lote deve corresponder ao conjunto contido em um intervalo restrito de resultados dos ensaios não destrutivos ^b	Até 8 m ³	4
				Maior que 8 m ³ e menor que 50 m ³	6
Casos excepcionais	Vale o critério de amostragem parcial conforme ABNT NBR 12655 (concreto preparado na obra).				
^a Ver seção 6. ^b Para o índice esclerométrico e velocidade de propagação de onda ultrassônica, recomenda-se que seja adotado como dispersão máxima do conjunto de resultados o intervalo de $\pm 15\%$ do valor médio. ^c Em se tratando de um único elemento estrutural, a quantidade de testemunhos deve ser reduzida a dois, de forma a evitar danos desnecessários.					

Fonte: ABNT NBR 7680-1, 2015.

A Tabela 5 deste estudo, presente no subitem 4.2.1.1 da NBR 7680-1 de 2015, estabelece uma relação interdependente com a NBR ABNT 12655 de 2022, de forma que correlaciona os requisitos à formação de lotes para extração de testemunhos, considerando o tipo de controle, seja por amostragem total ou parcial. Ainda de acordo com os preceitos normativos, a fim de se evitar maiores danos à estrutura, o menor número possível de testemunhos deve ser extraído.

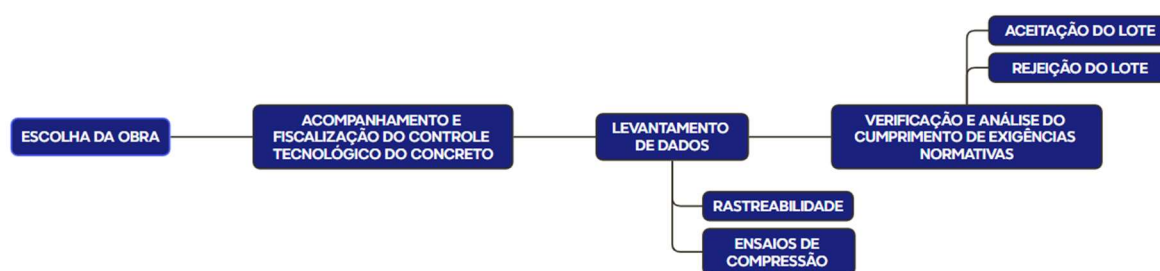
Deste modo, na ausência de rastreabilidade durante o controle de qualidade do material, o mapeamento pode ser realizado a partir dos ensaios não destrutivos, como a avaliação da dureza superficial ou determinação da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas.

3 METODOLOGIA APLICADA

Para avaliar o cumprimento da ABNT NBR 12655:2022, a pesquisa ocorreu em cunho qualitativo e quantitativo, que consiste em um estudo de caráter exploratório e comparativo entre as diretrizes das normas e o real cenário do canteiro de obra de uma edificação pública na cidade de Palmeira dos Índios, Alagoas.

É importante ressaltar que todo o processo de análise usa do seguinte princípio: avaliar todo um conjunto de procedimentos de controle da qualidade final do material concreto em estado endurecido, e por fim, chegar a um parecer final de aceitação ou rejeição do controle tecnológico de acordo com as normas. A metodologia pode ser dividida em 4 partes, como mostra o fluxograma na Figura 9:

Figura 9 – Etapas da metodologia



Fonte: Autores, 2024.

Para a escolha da obra, foi observada a logística dos processos de concretagem realizados com a utilização de caminhões betoneira, fornecidos por uma empresa especializada contratada para o fornecimento do concreto. Essa logística, aliada aos elementos estruturais da edificação, pôde proporcionar a oportunidade de verificar o cumprimento das exigências normativas vigentes, portanto, a escolha da obra foi motivada pela possibilidade de analisar a conformidade técnica dos procedimentos adotados.

Inicialmente, foi verificado que a norma indica o rompimento de dois corpos de prova onde é tomado o maior valor de resistência à compressão dentre os dois exemplares, a empresa responsável pela construção utilizou de um método alternativo não recomendado normativamente.

Tal método utilizado pela empresa é composto ainda pela formação de dois exemplares, contudo, somente um deles passa pelo processo de rompimento aos 28 dias e o

outro é rompido aos 14 dias de idade. Um corpo de prova rompido na idade de 28 dias no qual atende as expectativas de resistência definidas em projeto, garante que o concreto utilizado para os elementos estruturais em que ele irá compor será considerado dentro do esperado.

A utilização desse tipo de controle de resistência alternativo para a verificação da conformidade dos lotes ensaiados chamou a atenção, então, partindo dos relatórios dos ensaios realizados e fornecidos pela empresa terceirizada para os ensaios laboratoriais fez-se o controle estatístico recomendado na NBR 12655:2022, onde com base nos lotes formados foi definida e escolhida a abordagem do tipo amostragem total. Partindo dos resultados obtidos, as conformidades dos lotes encontradas no método normatizado serão comparadas com o método alternativo adotado pela empresa responsável pela obra onde será determinada sua eficácia para a situação descrita.

Um banco de dados foi fornecido pela construtora, nele continha a listagem de caminhões utilizados para a concretagem separados por número de nota fiscal, data da concretagem, e também separados por elemento estrutural que cada um concretou. Onde por meio desse banco de dados foi possível definir quantos exemplares de corpos de prova foram formados para cada elemento estrutural e utilizados para definir os lotes estudados neste trabalho. Os lotes são formados pelos exemplares que foram ensaiados referentes a cada elemento estrutural presente na construção.

3.1 DADOS GERAIS

3.1.1 Descrição da obra

A obra selecionada é uma edificação pública localizada na cidade de Palmeira dos Índios, Alagoas, apresenta 10.723,01 metros quadrados de área construída e esta se encontrava em fase de execução dos serviços de concretagem das superestruturas, como vigas, pilares e lajes, partindo deste ponto para a realização da pesquisa de campo desenvolvida neste trabalho.

O município de Palmeira dos Índios possui uma área territorial de 450.990 km² (quilômetros quadrados) e população residente de 71.574 pessoas de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no censo 2022, sendo o quarto município mais populoso do estado de Alagoas. Ainda de acordo com o IBGE, em 2021, o município possui um PIB per capita de R\$16.085,04.

A edificação possui sua estrutura composta quase que em totalidade por elementos de concreto armado onde os processos de concretagens se deram por meio de caminhões betoneira solicitados para a empresa contratada de fornecimento de concreto. A edificação tem sua estrutura dividida em juntas de dilatação, as quais são mapeadas em relação ao volume de concreto destinado ao local e a resistência adotada para seus respectivos elementos estruturais.

Dessa forma, dado o grande volume de concreto utilizado, por volta dos 4900 m³ (metros cúbicos) responsáveis por compor as estacas, baldrame, pilares, lajes, entre outros elementos, fez-se possível a obtenção de uma quantidade satisfatória de amostras para estudo de sua resistência e análise da conformidade do procedimento das amostras adotado *in loco* em relação ao procedimento normatizado.

3.1.2 Coleta de informações

Para a concretização da edificação na cidade de Palmeira dos Índios, Alagoas, foi necessário a colaboração de três empresas distintas, cada uma desempenhando um papel crucial no processo. A construtora responsável pela execução da obra, foi encarregada da execução e acompanhamento das etapas construtivas e atuou na moldagem dos corpos de prova e na condução do ensaio de abatimento de tronco de cone.

Havia também a empresa responsável especificamente para a realização dos ensaios laboratoriais de resistência à compressão do concreto, dessa forma, era possível verificar e garantir ou não se o concreto atendeu aos padrões normativos de resistência necessários para a integridade, segurança e vida útil estrutural da obra. A central dosadora e fornecedora de concreto, atuou abrangentemente em alguns processos, que incluem a dosagem adequada, ajuste de traço, transporte do concreto, adição de água, bombeamento e outros mecanismos cruciais para o controle de qualidade do concreto utilizado na construção.

É importante salientar que a construtora e a central dosadora estão localizadas a uma distância de 46 quilômetros entre si, sendo a central dosadora sediada na cidade de Arapiraca, Alagoas. Desse modo, tal distância implica que o transporte do concreto entre as duas empresas leva aproximadamente de 40 a 60 minutos.

De acordo com as especificações técnicas, documentos e dimensionamento estrutural disponibilizados pela construtora, o f_{ck} requerido nos projetos era de 30 MPa para pilares, vigas e lajes, e 25 MPa para as estacas. Além disso, o abatimento do tronco de cone

especificado é de (10 ± 2) cm. Essas diretrizes são fundamentais para garantir a qualidade e a durabilidade da estrutura construída.

3.2 ACOMPANHAMENTO E FISCALIZAÇÃO DO CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO

3.2.1 Controle de conformidade de responsabilidade da central dosadora

Após a solicitação, o transporte do concreto é realizado por meio de caminhões betoneira, dispondo de dispositivo de agitação, controle de água e lançado por meio de bombeamento. No acompanhamento de concretagem no ato de chegada do caminhão era possível verificar:

- Entrega de nota fiscal;
- Volume de concreto por caminhão e seu respectivo número de lacre;
- Abatimento especificado pela construtora;
- Fck dosado;
- Horário de mistura;
- Quantidade máxima de adição de água permitida.

Como garantia da entrega ideal e em tempo hábil do concreto, a central dosadora definiria seus meios necessários para garantir com que o material estivesse em obra com suas propriedades preservadas.

3.2.2 Ensaio de abatimento de tronco de cone (*Slump test*)

O *slump test*, observado na Figura 10, é responsável pela determinação da consistência do concreto pelo abatimento do tronco de cone, conforme determina a NBR NM 67:1998, um colaborador designado pela construtora era responsável por realizar os testes a cada caminhão betoneira recebido em obra, sendo assim considerada a primeira conferência das propriedades do concreto. Dessa forma, é uma averiguação cabível ao responsável técnico da empresa onde ela atestaria a aceitação para recebimento ou não daquele caminhão.

Figura 10 – Ensaio de abatimento de tronco de cone executado em canteiro de obra



Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

3.2.3 Coleta de amostras e moldagem de corpos de prova

A coleta de amostras era realizada por meio de amostragem parcial e amostragem total, ou seja, em determinados dias as coletas de todos os caminhões recebidos e aprovados no ensaio de abatimento de tronco de cone eram moldados em corpos de prova cilíndricos, em outros dias, eram retirados exemplares de betonadas distintas, não eram retiradas amostras de todas as betonadas que ocorreram durante a concretagem.

A moldagem dos corpos de prova mostrada na Figura 11 era conforme as diretrizes da norma ABNT NBR 5738:2015. Cada coleta era composta pela moldagem e identificação de 02 (dois) corpos de prova advindos de 01 (um) caminhão betoneira com quantidades de volume de concreto variadas de até 8 m³ que posteriormente passariam pelo processo de cura para assim, através do laboratório, obter os resultados de suas respectivas resistências aos 14 e 28 dias atestados por meio do ensaio de compressão de corpos de prova.

Figura 11 – Corpos de prova moldados e identificados



Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

3.2.4 Cura do concreto e dos corpos de prova

No fim de cada concretagem, a estrutura passava pelo processo de cura, mostrado na Figura 12, onde o concreto é hidratado para evitar o surgimento de possíveis fissuras por retração, devido a evaporação de água durante o processo de endurecimento do concreto.

Os corpos de prova eram curados em tanque de cura com temperatura mantida no intervalo de $(27 \pm 2)^{\circ}\text{C}$, este processo era acompanhado pelo laboratório, que segue as diretrizes da norma ABNT NBR 5738:2015 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.

Figura 12 – Cura do concreto

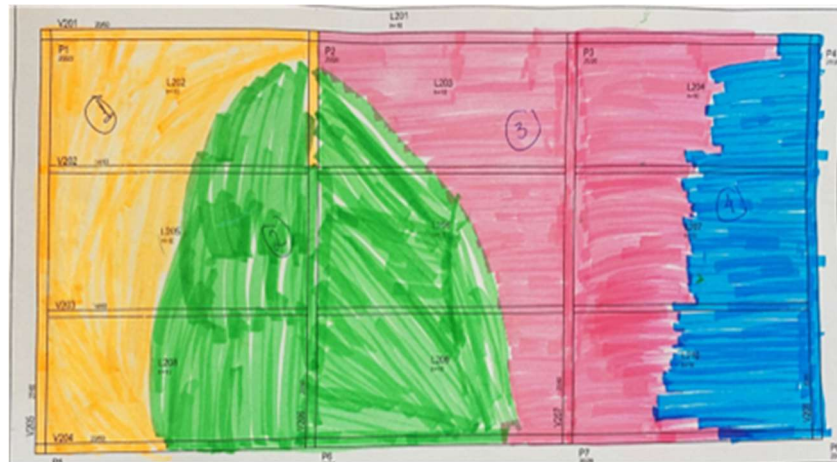


Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

3.2.5 Rastreabilidade

Por meio do mapeamento dos lotes de concreto recebidos na obra, com indicações em planta das áreas correspondentes aos lotes, com registro de: data, horário da mistura e de chegada bem como a nota fiscal de cada caminhão betoneira, era possível identificar com exatidão o local onde foi lançado o concreto conforme a Figura 13, na qual os CP's eram identificados com numeração e em planilha era relacionado o número de cada CP com a legenda aplicada na planta de mapeamento. Após recebimento dos resultados dos valores de resistência atingidos pelos corpos de prova nos ensaios de rompimento, estes eram registrados nos lotes correspondentes para acompanhamento do atendimento ao fck requerido em projeto. Então a seção da obra concretada era atestada como em posse da resistência requisitada em projeto.

Figura 13 – Mapa de concretagem de laje



Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

Para que o controle tecnológico do concreto e o controle da qualidade deste fossem atendidos e documentados, era necessário o preenchimento do formulário do controle de concreto disponibilizado pela construtora, mostrado na Figura 14, o qual apresentava todas as verificações obtidas no dia de cada concretagem e este enviado ao laboratório para os ensaios de compressão do concreto.

Figura 14 – Mapa de concretagem de laje

CONTROLE DE CONCRETAGEM															
Obra: HRMS_LAJE 1º PAVIMENTO JUNTA D				Nº da Obra:		Data: 19/08/2022		Identificação do moldador:							
Fornecedor:				Lançamento: () Convencional (x) Bombeável						Ass. Engenharia:					
Fck: _30_Mpa		Abatimento: _10_mm ± 2_mm		Horário (h:min)				Concreto aplicado (m³)		Abat. medido (mm)		Resist. (28 dias)		Elemento e/ou Local Concretado	
Nº do Lacre	Quant de CP	Nota Fiscal nº	Nº do C.P.	Transporte		Descarga		Tempo total (h:min)	Unitário	Acum.	Abat. medido (mm)	Resist. (28 dias)	Elemento e/ou Local Concretado		
				Início mist.	Chegada à Obra	Início	Término								
5537	2	2586	CP 1	14:59	15:59	16:04	16:21	1h22min	8m³	168m³	10	AP ()	HRMS_LAJE 1º PAVIMENTO JUNTA D		
			CP 2										RP ()		
5539	2	2587	CP 1	15:23	16:21	16:25	16:49	1h26min	8m³	176m³	12	AP ()	HRMS_LAJE 1º PAVIMENTO JUNTA D		
			CP 2										RP ()		
5531	2	2588	CP 1	15:44	16:40	16:52	17:09	1h25min	8m³	184m³	11	AP ()	HRMS_LAJE 1º PAVIMENTO JUNTA D		
			CP 2										RP ()		
5535	2	2589	CP 1	16:07	17:00	17:13	17:30	1h23min	8m³	192m³	12	AP ()	HRMS_LAJE 1º PAVIMENTO JUNTA D		
			CP 2										RP ()		
5536	2	2590	CP 1	16:30	17:30	17:34	17:52	1h22min	8m³	200m³	11,5	AP ()	HRMS_LAJE 1º PAVIMENTO JUNTA D		
			CP 2										RP ()		
Data	Problema			Solução				Resp. pela solução		Reinspeção		Ass. Resp. pela verificação			
										Status: () JAP () JRP					
										Data: () JAP () JRP					
										Data: () JAP () JRP					
										Data: () JAP () JRP					

Legenda: AP – Aprovado; RP – Reprovado

Identificação	Armazenamento	Proteção	Recuperação	Tempo de retenção	Descarte
FORM 29/02	Sala do Engenheiro Administrador de Obras	Pasta suspensa	Pasta indexada por data	Até o final da obra	---
	Arquivo permanente	Caixa Box	Caixa por Obra	Minimamente 5 anos	Lixo

Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

3.3 LEVANTAMENTO DE DADOS REFERENTES AOS ENSAIOS DE COMPRESSÃO DOS CORPOS DE PROVA

Os dados fornecidos pelo laboratório descreviam as características dos corpos de prova, tais como sua altura e diâmetro (20 cm de altura por 10 cm de diâmetro), além da data de moldagem, data de ruptura, processo de preparação do corpo de prova para moldagem, o tipo de prensa utilizada juntamente com um código de veracidade utilizado, o número da nota fiscal da amostra extraída.

3.4 VERIFICAÇÃO DE CUMPRIMENTO DOS REQUISITOS E EXIGÊNCIAS PRECONIZADOS EM NORMA 12655:2022

No acompanhamento das concretagens era avaliado o cumprimento das responsabilidades atribuídas na norma ABNT NBR 12655:2022, fracionada em três vertentes: avaliação de responsabilidade do autor do projeto, do executor da obra e da empresa de concretagem (Quadro 2). A análise era feita a partir de verificações de informações cruciais presentes nos projetos estruturais, documentos e memoriais, além disso, eram feitas as verificações do cumprimento da norma em canteiro de obra, assim como especificado no item 2.4 deste trabalho.

Quadro 2 – Quadro de responsabilidades

Quadro de Responsabilidades	
Autor do projeto	<ul style="list-style-type: none"> ● Especificação da resistência aos "j" dias e fck; ● Especificação de classe de agressividade ambiental; ● Especificações dos requisitos relacionados à durabilidade da estrutura e elementos pré-moldados; ● Vida útil e especificação de propriedades especiais do concreto durante a fase construtiva.
Executor da obra	<ul style="list-style-type: none"> ● Escolha da modalidade de preparo do concreto; ● Escolha do tipo de concreto a ser empregado, consistência, e suas respectivas propriedades; ● Aceitação, recebimento e rastreabilidade do concreto; ● Fiscalização e acompanhamento do processo construtivo.
Empresa de concretagem	<ul style="list-style-type: none"> ● Processo de preparo, caracterização e armazenamento dos materiais componentes do concreto; ● Transporte da central até o local especificado pela contratante; ● Estudo da dosagem de quantidades e ajuste de traço.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados provenientes dos ensaios de resistência à compressão do concreto acompanhados de discussões no que concerne à aceitação ou rejeição dos lotes previamente definidos. Os lotes rejeitados deveriam ser informados ao projetista estrutural e seguir os conformes do tópico 2.7.4 deste trabalho. É pertinente destacar que a construtora, responsável pela execução da obra e moldagem dos corpos de prova, adotava a prática de retirar e moldar apenas duas amostras por caminhão betoneira, uma das duas amostras era submetida ao ensaio de resistência à compressão do concreto aos 14 dias, enquanto a segunda era rompida aos 28 dias de idade. Em outras palavras, somente um exemplar era considerado na verificação de conformidade de lote para o fck requerido em projeto.

É válido destacar que o procedimento padrão das normas brasileiras 12655 de 2022 e 5738 de 2015 informa que para cada idade de rompimento deve haver um exemplar, sendo este o maior de duas amostras coletadas, onde a resistência mais baixa é desprezada e o melhor resultado demonstra o real potencial do concreto.

Deste modo, para a análise de forma quantitativa e qualitativa foram observados critérios para a formação de lotes apenas da forma amostragem total. Os elementos estruturais acompanhados e analisados foram lajes e vigas, pilares, estacas e vigas baldrame que serão abordados nos tópicos a seguir.

4.1 CONTROLE TECNOLÓGICO POR AMOSTRAGEM TOTAL DE LAJE E VIGAS

O controle tecnológico por amostragem total de laje e vigas consiste na contemplação da rastreabilidade de exemplares de todas as betonadas durante a concretagem.

A priori, como análise quantitativa, houve disponibilização de um banco de dados pela construtora e laudos dos resultados pelo laboratório, em forma de relatórios contemplados com planilhas, identificação de datas, endereço, fck requerido dos elementos estruturais concretados e observações sobre os resultados a serem analisados estatisticamente quando conveniente de acordo com a norma 12655 de 2022.

Como exemplo real, demonstramos uma concretagem realizada em um único dia, na data de 20 de maio de 2022. Foram transportados e lançados 112 metros cúbicos de concreto em uma laje maciça e suas vigas de concreto armado do pavimento térreo. As moldagens dos corpos de prova foram realizadas ao decorrer da concretagem e os ensaios subsequentes

ocorreram nos dias 03 e 17 de junho de 2022, representando os períodos de 14 e 28 dias de idade do concreto, respectivamente.

Assim, a fim de atender às normativas vigentes, a amostragem total visa garantir uma avaliação abrangente do desempenho do concreto. Os lotes em análise devem compreender todas as betonadas, que ao total foram 14 com 8 metros cúbicos de capacidade. No Quadro 3 são informados os dados de número de exemplares, data de moldagem, resultado dos ensaios de resistência à compressão aos 14 e 28 dias de idade do concreto, como também, o f_{ck} 30 MPa de referência.

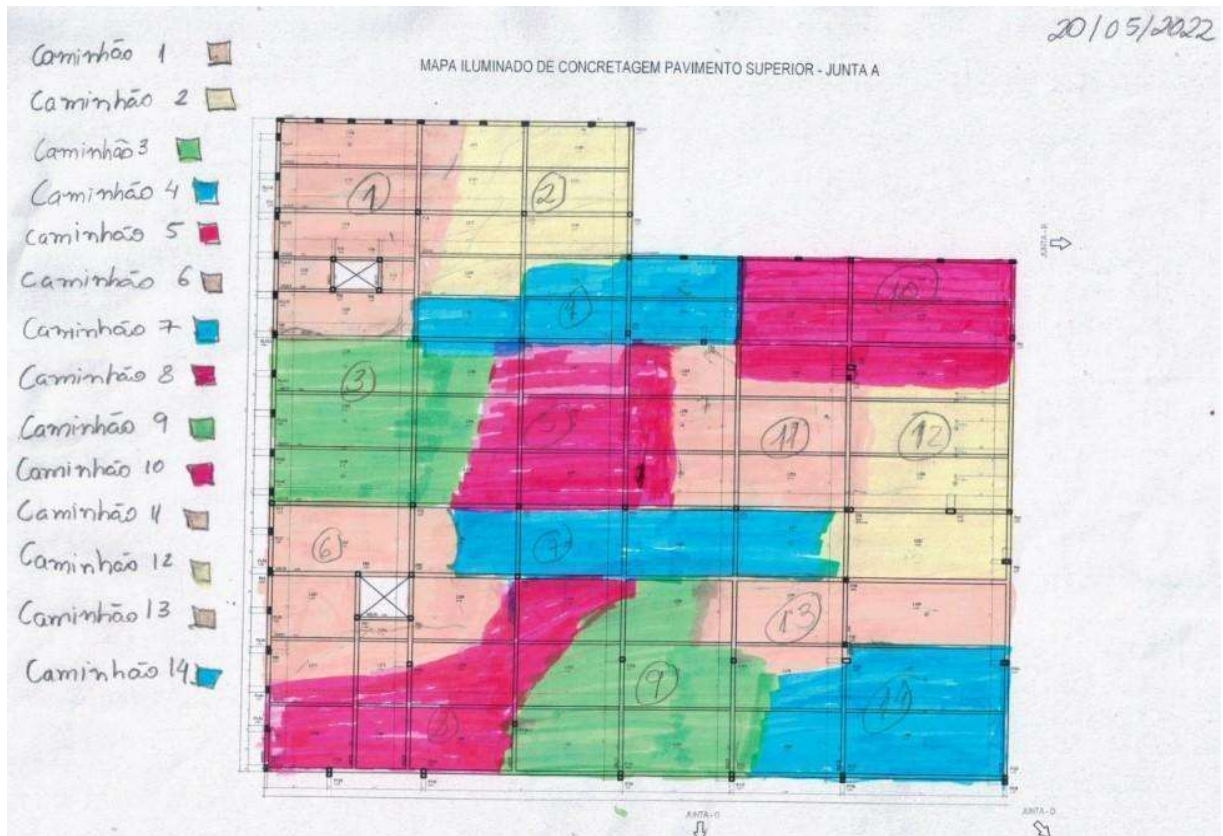
Quadro 3 – Resultados de resistência à compressão do lote laje e vigas amostragem total

LOTES LAJE E VIGAS AMOSTRAGEM TOTAL					
		Resistência (MPa)			
Exemplar	Moldagem	14 dias	28 dias	f_{ck} requerido (MPa)	Elemento estrutural
1	20/05/2022	27,3	34,2	30	LAJE E VIGAS
2	20/05/2022	31,1	40,8		
3	20/05/2022	36,2	36,7		
4	20/05/2022	34,9	41,4		
5	20/05/2022	28,7	33,8		
6	20/05/2022	34,9	41,4		
7	20/05/2022	32,7	37,9		
8	20/05/2022	39,1	40,9		
9	20/05/2022	34	39,3		
10	20/05/2022	29,3	42,2		
11	20/05/2022	29,4	41,2		
12	20/05/2022	32,3	42,7		
13	20/05/2022	34,6	41,4		
14	20/05/2022	35,3	39,1		

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

A Figura 15 abaixo representa a disposição em mapa iluminado de concretagem das lajes e vigas supracitadas neste tópico destacadas em tons variantes a depender do caminhão utilizado na concretagem. Nela, estão representados os 14 caminhões utilizados que tornaram-se os 14 exemplares dispostos na tabela anterior.

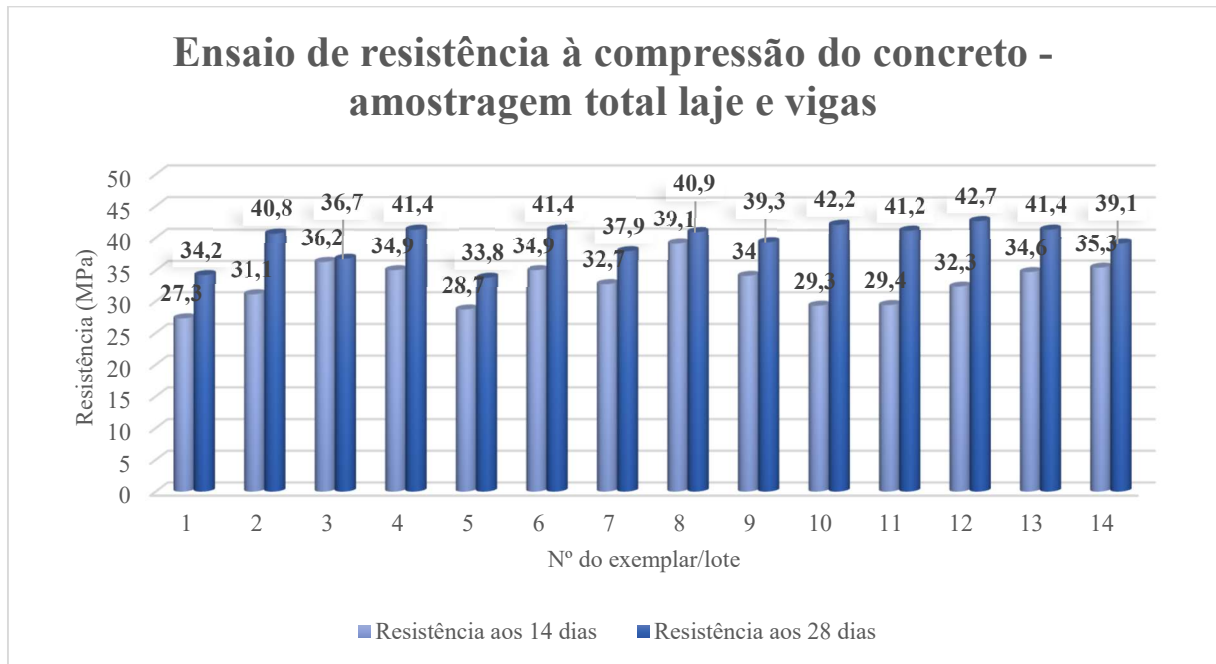
Figura 15 – Mapa de concretagem de lajes e vigas



Fonte: Disponibilizado pela construtora, Projeto estrutural, 2022.

No Gráfico 1 apresentado a seguir, é evidenciada a representação gráfica dos resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão do concreto. Estes ensaios foram realizados tanto aos 14 quanto aos 28 dias de cura em laboratório, contemplando os lotes formados correspondentes ao lançamento e adensamento no elemento estrutural laje e nas vigas, totalizando um volume de 112 m³.

Gráfico 1 – Resultados do ensaio de resistência à compressão do concreto do lote laje e vigas amostragem total



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Conforme pode ser visualizado no gráfico 1, há duas amostras para cada lote que foram rompidas com idades distintas. O menor valor de resistência registrado aos 14 dias corresponde a 27,3 MPa e o maior 39,1 MPa, a partir disso, há uma amplitude de 11,8 MPa para a amostragem do elemento concretado, formado por 14 lotes. Ademais, o menor valor de resistência registrado aos 28 dias corresponde a 33,8 MPa e o maior 42,7, havendo amplitude de 8,9 MPa nessa amostragem total de laje e vigas.

Os resultados do ensaio de resistência à compressão do concreto, a conformidade de todos os 14 lotes, o volume de cada caminhão betoneira e a resistência característica especificada em projeto, o f_{ck} para laje e vigas (30 MPa) são apresentados de maneira clara no Quadro 4 a seguir.

Quadro 4 – Resultados do ensaio de resistência à compressão e conformidade dos lotes de laje e vigas por amostragem total

Exemplar	Volume (m ³)	fck, est (MPa)	fck (MPa)	Conformidade	Elemento
1	8	34,2	30	Conforme	LAJE E VIGAS
2	8	40,8	30	Conforme	
3	8	36,7	30	Conforme	
4	8	41,4	30	Conforme	
5	8	33,8	30	Conforme	
6	8	41,4	30	Conforme	
7	8	37,9	30	Conforme	
8	8	40,9	30	Conforme	
9	8	39,3	30	Conforme	
10	8	42,2	30	Conforme	
11	8	41,2	30	Conforme	
12	8	42,7	30	Conforme	
13	8	41,4	30	Conforme	
14	8	39,1	30	Conforme	

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

A julgar pelos resultados evidenciados no Gráfico 1 e pelo Quadro 4, é possível concluir que os lotes ensaiados com idade mínima requerida para aceitação estão em total conformidade com os padrões estabelecidos com a norma, uma vez que todos os valores estão em conformidade com a norma.

4.2 CONTROLE TECNOLÓGICO POR AMOSTRAGEM TOTAL DE PILARES

4.2.1 Caso 1

A execução da concretagem e o subsequente controle tecnológico através de amostragem total neste primeiro caso correspondem ao lançamento e adensamento do concreto em pilares de mesmo pavimento ocorrida em um só dia. A execução da concretagem e

moldagem dos corpos de prova ocorreram no dia 17 de agosto de 2022 e os ensaios em laboratório ocorreram nos dias 31 de agosto e 14 de setembro de 2022, representando os períodos de 14 e 28 dias de idade do concreto, respectivamente.

A rastreabilidade abrangeu a betonada como um lote individual e ao fim do processo de transporte, lançamento e adensamento, foram concretados 4 pilares de seção transversal de 14 x 14 cm e 8 pilares de seção transversal de 20 x 20 cm, com pé direito de 4,25 metros, resultando em um volume total de concreto de 1,7 metros cúbicos.

No Quadro 5 são apresentados os resultados da resistência do concreto nos doze pilares do mesmo pavimento com idades de 14 e 28 dias, os quais foram disponibilizados pela construtora e pelo laboratório, em conformidade com as normas vigentes. Os dados representativos como: fck referência do elemento estrutural concretado, data da concretagem, resultado do *slump test*, horário de chegada do caminhão, fim do lançamento do material e identificação dos corpos de prova foram coletados durante a execução do processo de concretagem e repassados ao laboratório responsável pelos rompimentos a fim de garantir a qualidade em todas as esferas.

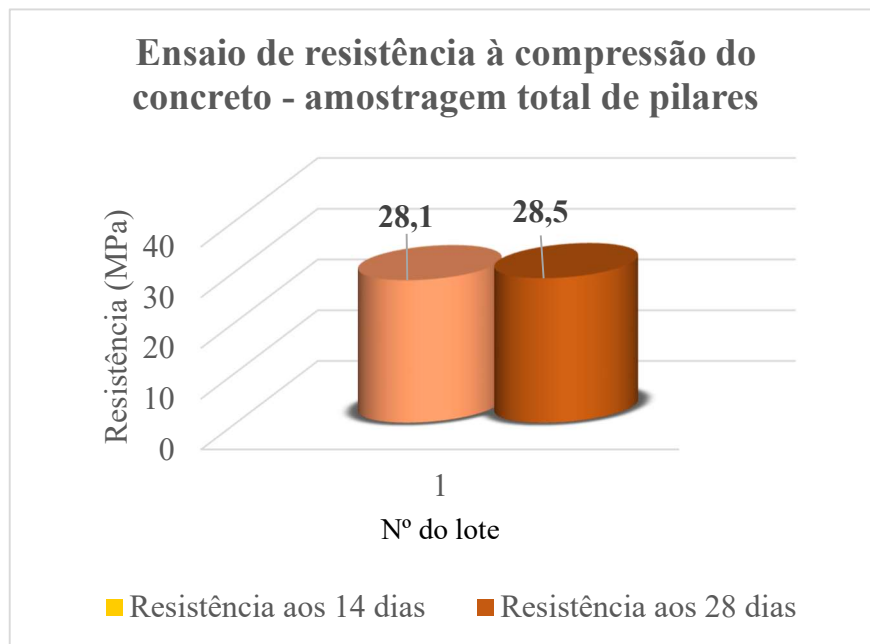
Quadro 5 – Resultados de resistência à compressão de lote por amostragem total de pilares

LOTE CASO 1 - PILARES					
		Resistência (MPa)			
Exemplar	Moldagem	14 dias	28 dias	fck requerido (MPa)	Elemento estrutural
1	17/08/2022	28,1	28,5	30	Pilares

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

É possível observar no Gráfico 2 a seguir que a resistência à compressão é inferior à resistência requerida, conforme confirmado pelos dados do Quadro 5. O valor de resistência registrado aos 14 dias de idade corresponde ao 28,1 MPa, que também apresenta pouca variação no resultado aos 28 dias. Embora a resistência de 28,5 MPa possa ser considerada razoável e esteja próxima dos 30 MPa exigidos pelo projeto, não alcançou a conformidade pela norma 12655 de 2022, isto posto, o lote tem de ser rejeitado.

Gráfico 2 – Resultados do ensaio de resistência à compressão do concreto por amostragem total de pilares



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Diante da reprovação do lote ensaiado, torna-se necessário investigar as possíveis causas que levaram à rejeição do concreto usinado, mesmo que preparado sob ótimas condições e controle de qualidade. A integridade do elemento estrutural é fundamental para o desempenho geral, portanto, as consequências da baixa resistência são inúmeras e prejudiciais para a vida útil da edificação e para a segurança dos seus usuários.

Haja vista o resultado insatisfatório deste lote, a empresa responsável pela execução da obra tomou apenas a atitude de comunicar ao projetista estrutural sobre a situação crítica em que a estrutura se encontrava. O calculista avaliou que a resistência encontrada é próxima à resistência esperada, partindo do princípio de que ao longo dos meses a estrutura apresentasse resultados mais satisfatórios, como também, foi analisado se este elemento atendia aos estados limites últimos e de serviço. No entanto, não foi solicitada carta traço a central dosadora e não foram realizados ensaios destrutivos e não destrutivos. Além disso, não foi viável a execução do ensaio de rompimento da contraprova, pois apenas dois corpos de prova foram moldados e já haviam sido ensaiados. Tais práticas são totalmente inadequadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Alguns fatores já mencionados anteriormente podem ter influenciado diretamente no resultado final obtido nesta amostra. Alguns desses fatores serão evidenciados a seguir.

O tópico 2.2.1.3 deste trabalho cita o processo de vibração do concreto, utilizado para a diminuição do número de vazios e obtenção de uma melhor acomodação de seus agregados, portanto, o concreto inadequadamente vibrado pode gerar inconsistências na uniformidade do elemento concretado, o que por sua vez é algo que dificulta a obtenção de uma resistência requerida.

Ainda no tópico 2.2.1.3, mas também com menção no tópico 2.2.1.2, temos outro fator que pode ter contribuído para fazer com que o exemplar de pilares caso 1 não tenha obtido uma resistência ideal, que é o fator água/cimento (A/C). Ao passo em que é um facilitador na trabalhabilidade do concreto, esse fator também possui grande importância na resistência do mesmo. Uma mistura com excesso de água pode ter sido realizada, contribuindo assim para um concreto menos resistente e com maior tendência de retração depois de seco, o que proporciona um aumento de fissuras no elemento. A água ainda é um fator importante no processo de cura do concreto (tópico 2.3.3), onde, por meio de um processo de cura mal realizado, o corpo de prova reprovado no ensaio pode ter perdido água em excesso e dificultado sua obtenção de um endurecimento satisfatório.

Já com base no tópico 2.3.6.1 deste trabalho, podemos encontrar um outro motivo responsável pela discordância deste exemplar quanto ao que era esperado. O mesmo pode ter passado por um processo de moldagem que contraria o recomendado em norma. Ou seja, o concreto poderia ter sua qualidade atestada, mas por algum erro no processo de moldagem do seu CP, acabou gerando um exemplar destoante dos demais. Como exemplo de erro nesse processo, podemos citar um mau revestimento interno do molde do CP pela utilização de material lubrificante que não reaja com o cimento ou até mesmo um mau processo de adensamento das camadas de concreto dispostas no interior do molde. Outros fatores como transporte inadequado ou uma má proteção durante o processo de cura à ocorrência de intempéries também podem ter sua influência negativa.

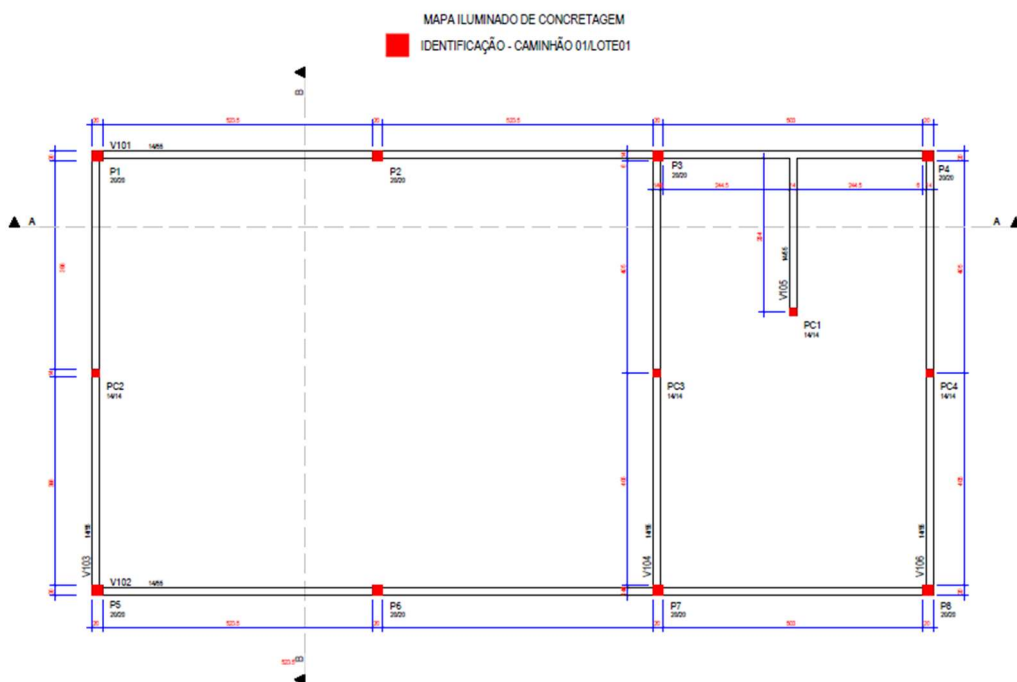
O quadro de responsabilidades localizado no tópico 3.4 deste trabalho, definindo as responsabilidades do autor do projeto, executor da obra e empresa de concretagem, também pode evidenciar alguma atribuição não cumprida por algum dos responsáveis em cada etapa da obtenção de um concreto aceitável. Como exemplo, o executor da obra pode ter recebido um

concreto do qual ele não deveria ter aceitado por ter ultrapassado o limite de tempo do transporte até o canteiro que é de até 120 minutos, o que conseqüentemente pode levar a ultrapassar o tempo de lançamento do material ou a empresa da concretagem pode ter cometido um erro no processo de preparo do concreto e armazenamento dos materiais.

Diante do resultado obtido, é crucial não apenas levar em consideração as causas de um lote ser rejeitado, mas sim, avaliar de fato o que pode ser feito ao se constatar a inconformidade. A aceitação de um lote ou a rejeição deste está diretamente relacionada com a segurança dos usuários da estrutura previamente dimensionada. Portanto, devem ser adotadas medidas cautelosas a fim de se reforçar o elemento estrutural ou, em casos extremos, demolí-lo.

Com base no tópico do referencial teórico deste trabalho, deveriam ser tomadas algumas medidas iniciais, como a realização de uma contraprova do valor da resistência do elemento analisado e comunicar imediatamente o projetista estrutural para uma nova análise do dimensionamento estrutural, e assim, poder reforçar ou condenar a estrutura. A Figura 16 abaixo representa a disposição em mapa iluminado de concretagem dos pilares supracitados neste tópico destacados em tom de vermelho. Nela, os 12 pilares estão dispostos em planta baixa.

Figura 16 – Mapa de concretagem de pilares do caso 1



Fonte: Disponibilizado pela construtora, Projeto estrutural, 2022.

A partir dessa análise, fica evidente como todas as etapas da qualidade do concreto são determinantes para sua aceitação e uso, especialmente considerando a obra de médio porte escolhida para esse estudo a qual apresenta uma quantidade significativa de concreto armado em sua composição estrutural, ainda que inferior ao de obras de grande porte. Obras com volumes de concreto expressivos apresentam impacto considerável no orçamento, principalmente quando parte da estrutura precisa sofrer interferência, o que aumenta o custo final não previsto anteriormente, também influenciando negativamente no prazo de entrega da edificação.

4.2.2 Caso 2

A execução da concretagem e o subsequente controle tecnológico através de amostragem total neste segundo caso correspondem ao lançamento e adensamento do concreto em pilares de mesmo pavimento ocorrida em um só dia. A execução da concretagem e moldagem dos corpos de prova ocorreu no dia 11 de agosto de 2022 e os ensaios em laboratório ocorreram nos dias 25 de agosto e 08 de setembro de 2022, representando os períodos de 14 e 28 dias de idade do concreto, respectivamente, onde para a concretagem foram transportados e lançados 19,5 metros cúbicos de concreto.

A rastreabilidade abrangeu as 3 betonadas como lotes individuais e ao fim do processo de transporte, lançamento e adensamento, foram concretados 38 pilares de seção transversal de 20 x 20 cm e 38 pilares de seção transversal de 20 x 40 cm, com pé direito de 4,0 metros, resultando em um volume total de concreto de 18,24 metros cúbicos, e contando com o desperdício, foram utilizados os 19,5m³ dosados.

Conforme o Quadro 6, são apresentados os resultados da resistência do concreto nos pilares com idades de 14 e 28 dias. Os laudos dos ensaios foram disponibilizados pela construtora e pelo laboratório, em conformidade com as normas vigentes.

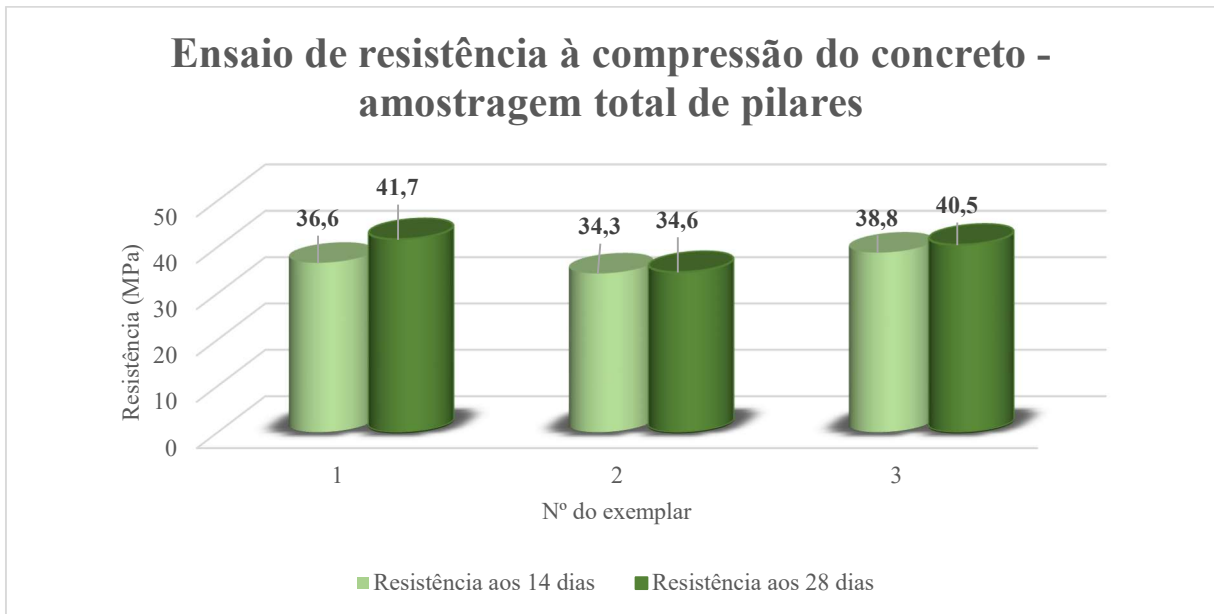
Quadro 6 – Resultados de resistência à compressão dos lotes por amostragem total de pilares

LOTES CASO 2							
		Resistência (MPa)					
Exemplar	Volume (m ³)	14 dias	28 dias	fck, est (MPa)	fck (MPa)	Conformidade	Elemento
1	8	36,6	41,7	41,7	30	Conforme	Pilares
2	8	34,3	34,6	34,6	30	Conforme	
3	3,5	38,8	40,5	40,5	30	Conforme	

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

É possível observar no Gráfico 3 abaixo que a resistência à compressão é superior à resistência requerida, conforme confirmado pelos dados do Quadro 6. Verifica-se que a resistência encontrada atende aos requisitos mínimos exigidos pelo projeto, alcançando então a conformidade de acordo com a norma 12655 de 2022, isto posto, os lotes são aceitos.

Gráfico 3 – Resultados do ensaio de resistência à compressão do concreto por amostragem total de pilares



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

4.3 CONTROLE TECNOLÓGICO POR AMOSTRAGEM TOTAL DE VIGAS BALDRAMES

Tomando um total 07 exemplares em sequência para análise de conformidade por amostragem total sendo moldados no dia 23 de junho de 2022, onde para a concretagem foram transportados e lançados 56 metros cúbicos de concreto e dadas as suas rupturas nos dias 07 de julho de 2022 e 21 de julho de 2022, sendo respectivamente para 14 e 28 dias, constataram-se os seguintes resultados dispostos no Quadro 7.

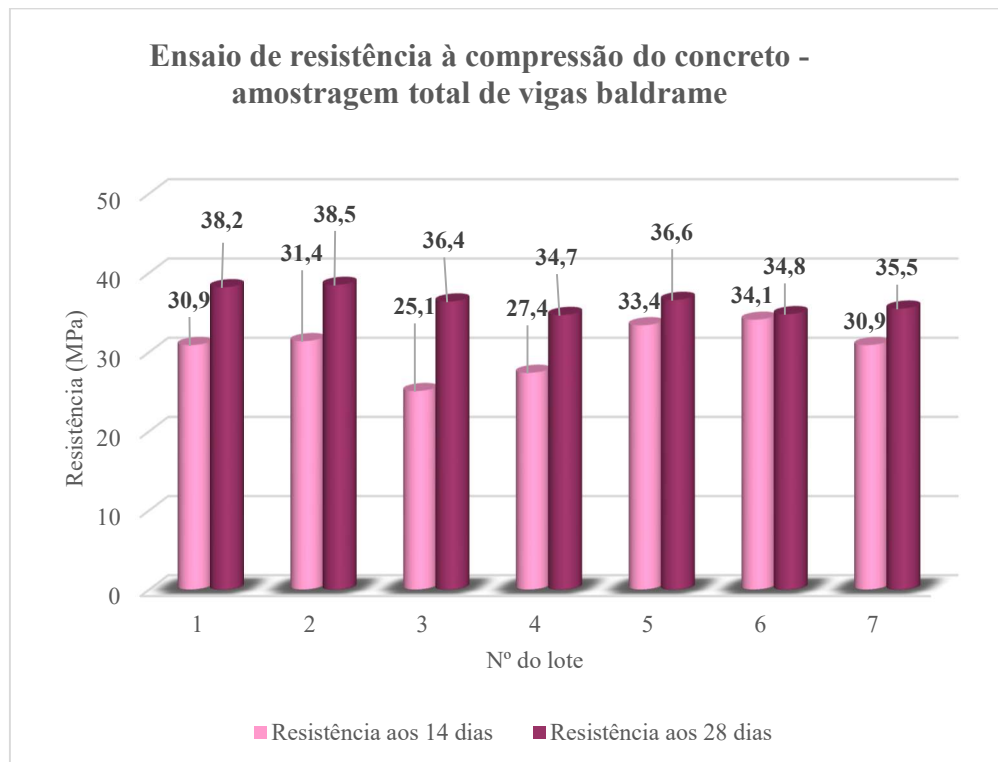
Quadro 7 – Resultados do ensaio de resistência à compressão e conformidade dos lotes de vigas baldrame por amostragem total

LOTES VIGAS BALDRAMES							
		Resistência (MPa)					
Exemplar	Volume (m ³)	14 dias	28 dias	fck, est (MPa)	fck requerido (MPa)	Conformidade	Elemento
1	8	30,9	38,2	38,2	30	Conforme	VIGAS BALDRAMES
2	8	31,4	38,5	38,5	30	Conforme	
3	8	25,1	36,4	36,4	30	Conforme	
4	8	27,4	34,7	34,7	30	Conforme	
5	8	33,4	36,6	36,6	30	Conforme	
6	8	34,1	34,8	34,8	30	Conforme	
7	8	30,9	35,5	35,5	30	Conforme	

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Visto que no controle do concreto por amostragem total o fck, est é dado de forma isolada para cada exemplar coletado e o fck requerido para as vigas baldrame analisadas é de 30 MPa, tem-se que, como detalhado na tabela, todos os exemplares descritos superaram o mínimo de resistência e com isso têm sua conformidade atestada. O Gráfico 4 ilustra a resistência aos 14 e 28 dias de todos os 07 exemplares estudados superando os 30 Mpa supracitados.

Gráfico 4 – Resultados do ensaio de resistência à compressão do concreto das vigas baldrames por amostragem total



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Através do gráfico acima é possível observar que o menor valor dentre os ensaios aos 14 dias é de 25,1 MPa enquanto o maior valor é de 34,1 MPa. Já em relação aos ensaios realizados aos 28 dias, observa-se que o menor valor é representado por 34,7 MPa enquanto o maior valor ensaiado foi de 38,5 MPa. Verificou-se que o $f_{ck,est}$ dos 07 exemplares atenderam ao f_{ck} requerido de 30 MPa para vigas baldrames, portanto, os lotes estão aceitos.

4.5 CONTROLE TECNOLÓGICO POR AMOSTRAGEM TOTAL DE ESTACAS

Tomando 02 exemplares em sequência para análise de conformidade por amostragem total sendo moldados no dia 01 de abril de 2022 referente a um transporte e concretagem de 16 metros cúbicos de concreto e dadas as suas rupturas nos dias 15 de abril de 2022 e 29 de abril de 2022, sendo respectivamente para 14 e 28 dias, constataram-se os seguintes resultados dispostos no Quadro 8 a seguir.

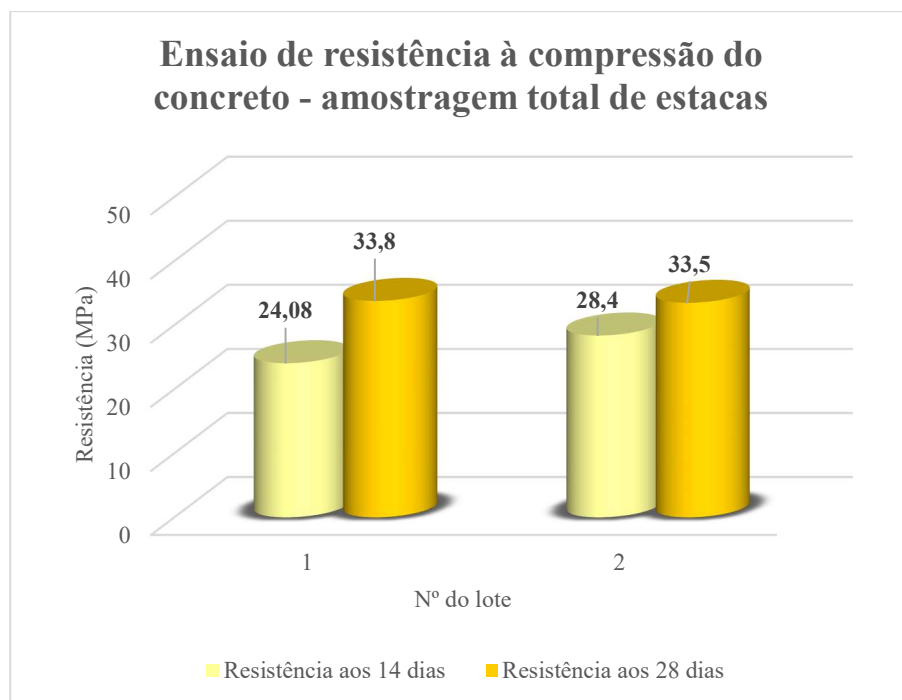
Quadro 8 – Resultados do ensaio de resistência à compressão e conformidade dos lotes de estacas por amostragem total

LOTES ESTACAS							
		Resistência (MPa)					
Exemplar	Volume (m ³)	14 dias	28 dias	fck, est (MPa)	fck requerido (MPa)	Conformidade	Elemento
1	8	24,8	33,8	33,8	25	Conforme	ESTACAS
2	8	28,4	33,5	33,5	25	Conforme	

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

É possível notar que, ao contrário dos elementos anteriores, as estacas analisadas possuem um fck requerido de 25 MPa. Os dois exemplares ensaiados por amostragem total evidenciam a conformidade com a resistência mínima solicitada. O Gráfico 5 ilustra por meio de barras as informações descritas no Quadro 8.

Gráfico 5 – Resultados do ensaio de resistência à compressão do concreto das estacas por amostragem total



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Ao visualizar o gráfico acima é possível notar que o menor valor de resistência aos 14 dias é de 24,8 MPa enquanto o maior valor é representado por 28,4 MPa. Já aos 28 dias temos o menor valor de resistência sendo 33,5 MPa e como maior valor o ensaio representado por 33,8 MPa. Tendo, portanto, ambos os exemplares superando a resistência solicitada de 25 MPa, estando então aceitos.

4.6 TABELA RESUMO DE CONFORMIDADES

Após a análise detalhada dos tópicos 4.1 a 4.6 neste trabalho, o Quadro 9 apresenta de forma resumida a conformidade ou não conformidade dos elementos estruturais com base nas análises realizadas. Neste quadro, a coluna “fck,est (MPa)” informa o menor valor de fck,est dentre todos os exemplares para cada elemento estudado, sendo os demais valores sendo maiores do que o valor mostrado, com exceção do caso 1 de pilares onde é mostrado somente um único exemplar. Para a amostragem total, observa-se que os valores de *fck,est* encontram-se dentro de um intervalo definido, representando os valores individuais de cada exemplar no estudo de amostragem, por meio de limites mínimos e máximos.

Quadro 9 – Resumo de conformidades por elemento estrutural

Elemento	Tipo de amostragem	fck, est (MPa)	fck (MPa)	Conformidade
Laje e vigas	Total	fck,est \geq 33,8	30	Conforme
Pilares caso 1	Total	fck,est = 28,5	30	Não conforme
Pilares caso 2	Total	fck,est \geq 34,6	30	Conforme
Baldrames	Total	fck,est \geq 34,7	30	Conforme
Estacas	Total	fck,est \geq 33,5	25	Conforme

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Conforme já discutido em 4.2.1, devido ao fato de possuir um exemplar fora de aceitação, o lote referente ao caso 1 de pilares foi dado como não conforme. Todos os outros lotes analisados neste trabalho, por sua vez, apresentaram conformidade.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos demonstraram a importância do controle tecnológico em obras de pequeno e médio porte, a validade dos processos foi atestada por meio da verificação da conformidade dos elementos estudados de forma individual. O estudo realizado mostrou que a edificação abordada nesse trabalho dispõe de segurança, durabilidade e eficiência estrutural.

Conforme análise dos resultados obtidos, pode-se verificar que um dos lotes analisados apresentou resistência inferior a de projeto, fato que levou a uma tomada de decisão junto ao projetista. Este fato demonstrou a importância do controle tecnológico em obra deste porte, visto que é comum apenas usar controle em obra de maior porte.

É válido ressaltar que esse estudo foi realizado para um concreto dosado em central, com condições muito favoráveis e controles de qualidade rigorosos em todas as etapas de produção do concreto fresco. Para os objetivos buscados neste trabalho, não houve a necessidade de estudar determinados impactos acarretados pela falta de controle de qualidade na concretagem, fatores como gastos excessivos e atrasos no cronograma de obra. Salientamos também que apesar de destacar que a falta de um controle de qualidade é uma das causas para origens de patologias estruturais, não foi objetivo deste trabalho se aprofundar no estudo das mesmas, futuras pesquisas na área podem ser realizadas para explorar as manifestações patológicas mais frequentes nesse tipo de situação.

Tendo em vista os aspectos observados neste trabalho, verifica-se que seus objetivos definidos foram alcançados. Respeitando as diretrizes da ABNT NBR 12655, o acompanhamento dos procedimentos de controle de qualidade para aceitação do concreto, bem como a verificação da conformidade ou não conformidade de lotes foram abordados de forma a mostrar a devida eficácia e confiabilidade nos parâmetros definidos em norma. Dessa forma, é possível constatar o quão é importante a existência de uma equipe designada capaz de realizar todas quanto possíveis verificações a respeito do concreto utilizado em obras de pequeno e médio porte, assim como a estudada, para garantir uma segurança estrutural cada vez mais evidenciada.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 67 Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. 1ª. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7584 Concreto endurecido — Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão — Método de ensaio**. 2ª. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7680-1 Concreto - Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto - Parte 1: resistência à compressão axial**. 1ª. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5738 Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. 2ª. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9062 Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado**. 3ª. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5739 Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. 3ª. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7212 Concreto dosado em central - Preparo, fornecimento e controle**. 3ª. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 12655 Concreto de cimento portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento** 4ª. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14931 Execução de estruturas de concreto armado, protendido e com fibras — Requisitos**. 3ª. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6118 Projeto de estruturas de concreto**. 4ª. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA E CONSULTORIA ESTRUTURAL (ABECE). **Recomendação ABECE 001:2015: Recomendação ABECE 001:2015: Análise de Casos de Não Conformidade de Concreto**. São Paulo, 2015.

ANDRADE, Ronaldo Borges de. **Controle tecnológico do concreto e suas implicações de acordo a ABNT NBR 12655: 2015**. Natal, 2020. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Disponível em <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/40440>. Acesso em: 6 setembro 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM DO BRASIL (ABESC). **Manual do concreto dosado em central**. São Paulo, 2007.

BASTOS, Paulo Sérgio. **Fundamentos do concreto Protendido**. Bauru/SP: Universidade Estadual Paulista–UNESP, 2019. Disponível em [Ap._Protendido_-_UNESP20190921-109013-1qwntay-libre.pdf\(d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net\)](https://repositorio.unesp.br/handle/11362-40001/109013-1qwntay-libre.pdf(d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net)). Acesso em: 6 setembro 2023.

BAUER, L. A; FALCÃO. **Materiais de Construção**. 5 ed. Uberlândia-MG; Editora LTC, 2000.

BARBOZA, Lucas da Silva et al. **Influência do tempo máximo de mistura e transporte especificado pela ABNT NBR 7212:2012 na resistência a compressão de concretos usados**. Revista de Engenharia Civil IMED, Passo Fundo, v. 4, n. 2, p. 20-33, dez. 2017. ISSN 2358-6508. Disponível em: <https://seer.atitus.edu.br/index.php/revistaec/article/view/2075/1386>. Acesso em: 08 set. 2024.

CATUSO, Amanda; MENNUCCI, Marina; ANDRADE, Jairo; DAL MOLIN, Denise. **Influência da exsudação na profundidade de carbonatação em concretos**. Bonito/MS, 2015. Disponível em https://www.researchgate.net/publication/325465016_INFLUENCIA_DA_EXSUDACAO_NA_PROFUNDIDADE_DE_CARONATACAO_EM_CONCRETOS_Influence_of_exudation_in_the_depth_of_carbonation_in_concrete. Acesso em: 11 outubro 2023.

COUTO, João P.; COUTO, Armanda M. **Importância da revisão dos projectos na redução dos custos de manutenção das construções**. In: Congresso Construção. 2007. p. 2007. Disponível em <https://core.ac.uk/download/pdf/55609044.pdf>. Acesso em: 25 setembro 2023.

DALLABRIDA, Ana Paula Piaia; VEIGAS, Camila. **Avaliação da resistência à compressão do concreto usinado: comparação entre o método de moldagem remota e moldagem in loco**. 2014. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2014. Disponível em <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/14395>. Acesso em: 11 outubro 2023.

FIORITI, C.; CHRISTÓFANI, M. P.; TSUTSUMOTO, N.; OKIMOTO, F. **Um Estudo das Manifestações Patológicas em Vigas e Lajes de Concreto: Edificações da FCT/UNESP**. Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada, v. 2, n. 3, 28 ago. 2017. Disponível em <http://revistas.poli.br/index.php/rep/article/view/681>. Acesso em: 16 julho 2024.

GOMIDE, Tito Lívio Ferreira. **Profissionalismo na Construção Civil em tempos de Certificação do Desempenho Edilício**. Instituto de Engenharia, 2015. Disponível em <https://www.institutodeengenharia.org.br/site/2015/01/06/profissionalismo-na-construcao-civil-em-tempos-de-certificacao-do-desempenho-edilicio/>. Acesso em: 11 novembro 2023.

GONÇALVES, Eduardo Albuquerque Buys. **Estudo de patologias e suas causas nas estruturas de concreto armado de obras de edificações**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades e Estados - Palmeira dos Índios**. Disponível em <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/al/palmeira-dos-indios.html>. Acesso em: 06 setembro 2024.

MARTINS, Danilo Gomes. **Influência do tamanho do corpo de prova nos resultados de ensaios de módulo de deformação e resistência à compressão e suas correlações para concretos produzidos em Goiânia-GO**. Goiânia: UFG, 2008.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 3.ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

MILAGRES, Eduardo Araújo et al. **Retração e secagem do concreto: estudo da retração do concreto e o aparecimento de patologias**. Belo Horizonte, 2019. Disponível em <http://hdl.handle.net/1843/34122>. Acesso em: 10 novembro 2023.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do Concreto**. Tradução de Ruy Alberto Cremonini. 5^a.ed. Porto Alegre: Bookman, 2016. Disponível em: <https://pdfcoffee.com/ediao-pdf-free.html>. Acesso em: 18 setembro 2023.

PACHECO, J.; HELENE, P. **Boletín Técnico: Controle da resistência do concreto Brasil.** ALCONPAT, 2013, 18p.

POSSAN, Edna; MUNARO, Raquel. **Análise da falha de concretagem de pilares de uma edificação: Estudo de caso.** Revista Técnico-Científica do CREA-PR, v. 1, 2017. Disponível em https://www.researchgate.net/profile/Edna-Possan/publication/321135007_ANALISE_DA_FALHA_DE_CONCRETAGEM_DE_PILARES_DE_UMA_EDIFICACAO_ESTUDO_DE_CASO/links/5a0f1361a6fdccd95db8dd98/ANALISE-DA-FALHA-DE-CONCRETAGEM-DE-PILARES-DE-UMA-EDIFICACAO-ESTUDO-DE-CASO.pdf. Acesso em: 10 novembro 2023.

SANTIAGO, Wagner Carvalho. **Estudo da (não-) conformidade de concretos produzidos no Brasil e sua influência na confiabilidade estrutural.** SÃO CARLOS, 2011. Disponível em <https://www.teses.usp.br/teses/originais/18/18134/tde-06022012-081447/wagnersantiago.pdf>. Acesso em: 6 setembro 2023.

SOBRAL, Hernani Sávio. **Propriedades do concreto fresco.** Ass. Bras. Cim. Portland, S. Paulo, 2000. Disponível em ET15_PROPRIEDADE_DO_CONCRETO_FRESCO-libre.pdf (d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net). Acesso em: 10 outubro 2023.

TEIXEIRA, R. B.; PELISSER, F. **Análise da perda de resistência à compressão do concreto com adição de água para correção da perda de abatimento ao longo do tempo.** Revista de Iniciação Científica da UNESC, Vol. 5, No 1, 2007.

VILELA, Diego TN et al. **Estudo do controle tecnológico do concreto em obras civis na cidade de Ouro Branco, MG.** Anais do, v. 60, 2018. Disponível em ESTUDO-DO-CONTROLE-TECNOLOGICO-DO-CONCRETO-EM-OBRAS-CIVIS-NA-CIDADE-DE-OURO-BRANCO.pdf (researchgate.net). Acesso em: 10 outubro 2023.

ZAGO, Cassiano. **Concreto, Argamassa ou Pasta de Cimento?** ZEng. Campinas, 2019. Disponível em: <https://www.zengprojetos.com/post/concreto-argamassa-ou-pasta-de-cimento>. Acesso em: 24 Julho 2023.

ZALAF, R. SCHMALTZ; MAGALHÃES FILHO, SAULO RIBEIRO; BRAZ, THIAGO CARVALHO. **Estudo do controle tecnológico e recebimento do concreto em obra.** Trabalho de Conclusão de Curso, Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás–UFG, Goiânia, 2014.

APÊNDICES

APÊNDICE A: CONTROLE DE CONCRETAGEM DA CONSTRUTORA

CONTROLE DE CONCRETAGEM													
Obra:				Nº da Obra: Data:				Identificação do moldador:					
Fornecedor:				Lançamento: () Convencional () Bombeável				Ass. Engenharia:					
Fck:				Abatimento: _10__mm ± 2__mm									
Nº do Lacre	Quant de CP	Nota Fiscal nº	Nº do C.P.	Horário (h:min)				Tempo total (h:min)	Concreto aplicado (m³)		Abat. medido (mm)	Resist. (28 dias)	Elemento e/ou Local Concretado
				Transporte		Descarga			Unitário	Acum.			
				Início mist.	Chegada à Obra	Início	Término						
											AP ()		
											RP ()		
											AP ()		
											RP ()		
											AP ()		
											RP ()		
											AP ()		
											RP ()		
											AP ()		
											RP ()		
Data	Problema			Solução				Resp. pela solução		Reinspeção		Ass. Resp. pela verificação	
										Status: () JAP () JRP			
										Data:			
										Status: () JAP () JRP			
										Data:			
										Status: () JAP () JRP			
										Data:			
Legenda: AP – Aprovado; RP – Reprovado													
Identificação	Armazenamento			Proteção		Recuperação		Tempo de retenção		Descarte			
FORM.29/02	Saia do Engenheiro Administrador de Obras			Pasta suspensa		Pasta Indexada por data		Até o final da obra		—			
	Arquivo permanente			Caixa Box		Caixa por Obra		Minimamente 5 anos		Lixo			

Fonte: Disponibilizado pela construtora, 2022.