

ESTUDO DE CASO: DIFICULDADES, MÉTODOS E TÉCNICAS APLICADAS PARA A CONCRETAGEM DE UM EDIFÍCIO DE 54 PAVIMENTOS NA CIDADE DE GOIÂNIA/GO

Case study: challenges, methods, and techniques applied for the concreting of a 54-story building-complementem

Aline Xavier de Souza ¹, Maria de Jesus Gomides², Taíza Magalhães Freitas ³



PALAVRAS CHAVE:

Verticalização;
Dificuldades;
Concretagem;
Lançamento;
Soluções;

KEYWORDS:

Verticalization;
Challenges;
Concreting;
Casting/Pouring;
Solutions.

RESUMO: Com a crescente verticalização das cidades, cada vez mais a construção de edifícios altos se torna uma realidade no Brasil. Sabe-se que a equipe técnica é desafiada a analisar e assim, propor soluções adequadas para sanar as dificuldades que podem ocorrer ao longo da execução desse tipo de edificação. Com esse objetivo foi realizado um estudo de caso de um edifício de 54 pavimentos, localizado em Goiânia-GO. Inicialmente, investigou-se as dificuldades inerentes ao processo de lançamento do concreto, bem como as soluções aplicadas durante a fase de concretagem. Nesse contexto, é válido relatar que as principais dificuldades foram observadas a partir do trigésimo pavimento, a saber, a ruptura das tubulações de lançamento, a segregação e o retorno do concreto e as complicações com o primeiro tipo de bomba utilizada para o lançamento do concreto. Diante das soluções aplicadas, destaca-se a utilização do medidor de espessura de chapa por ultrassom, a troca do traço utilizado, a utilização do concreto autoadensável e a substituição do tipo de bomba de lançamento.

A pesquisa contribui tanto para o ramo científico, quanto para o ramo tecnológico na Engenharia Civil. Visto que, a partir deste estudo, novas soluções poderão ser identificadas e estudadas, bem como as propostas da pesquisa poderão agregar às execuções futuras desse tipo de construção.

ABSTRACT: With the increasing verticalization of cities, the construction of tall buildings is becoming more and more prevalent in Brazil. It is known that the technical team is challenged to analyze and thus propose suitable solutions to address the difficulties that may arise during the execution of this type of construction. With this objective in mind, a case study was conducted on a 54-story building located in Goiânia-GO. Initially, the inherent challenges in the concrete casting process were investigated, as well as the solutions applied during the concreting phase. In this context, it is worth noting that the main challenges were observed from the thirtieth floor onwards, namely the rupture of the casting pipes, concrete segregation and rebound, and complications with the initial type of pump used for concrete placement. Among the applied solutions, the use of Ultrasonic Plate Thickness Gauge, alteration of the concrete mix design, implementation of self-compacting concrete, and replacement of the pump type stand out. The research contributes to both the scientific and technical branches of Civil Engineering. As a result of this study, new solutions can be identified and studied, and the proposed research findings can enhance future executions of this type of building.

* Contato com os autores:

Publicado em 18 de setembro de 2024

¹e-mail : alinexcivil@gmail.com (SOUZA, A.X.)

Engenheira Civil, bacharela, Instituto Federal de Goiás Campus Aparecida de Goiânia.

²e-mail: maria.gomides@ifg.edu.br (GOMIDES, M.J.)

Doutora na área de Construção Civil, Instituto Federal de Goiás Campus Aparecida de Goiânia.

³e-mail : taizamag@gmail.com (FREITAS, T.M.)

Engenheira Civil, bacharela, Instituto Federal de Goiás Campus Aparecida de Goiânia.

1. INTRODUÇÃO

Töws (2018) relata o quão importante é vincular a verticalização à compreensão da urbanização brasileira. Ele propicia uma reflexão sobre como as edificações altas nos municípios se tornaram rotineiras, e que de modo geral, as pessoas não questionam tanto ou ficam muito impactadas com os mais variados arranha-céus, pelo fato de estarem inerentes ao cotidiano delas. É válido notar como os prédios altos têm se tornado parte dos meios urbanos.

Os empreendimentos altos visam aliar conforto e economia. Assim sendo, a segurança dos usuários e das edificações da vizinhança depende de alguns fatores, como a verificação das estruturas. Denota-se que existe uma relação entre o concreto armado e os prédios altos, pois a estrutura reticular do concreto armado é o sistema construtivo predominante nos grandes edifícios que tiram proveito do fato do Brasil possuir uma forte cultura técnica em favor do concreto. E, nesse aspecto, a estrutura moldada *in loco* também permanece. Com base nesta abordagem, deve-se relatar a importância do estudo do concreto a ser empregado em uma obra para garantir um edifício com desempenho e durabilidade. Além disso, os edifícios com 50, 75 ou mais pavimentos são considerados um desafio técnico tanto no aspecto de segurança, quanto conforto e visam o atendimento de um público exigente e com um perfil econômico alto, desejado pelo mundo da construção civil (GEROLLA, 2016).

No Brasil, as edificações já passaram por inúmeras evoluções, sejam elas de acordo com o período histórico, o momento de capital, a densidade populacional e os desenvolvimentos, tanto na arquitetura, quanto na construção civil. Na região Centro-Oeste do país, o edifício Órion é considerado o maior arranha-céu da região, possui 191 metros de altura e 50 pavimentos. Em paralelo, o prédio Kingdom também é referência na região e possui cerca de 180 metros de altura e 52 pavimentos.

Diante disso, faz-se necessário o desenvolvimento de estudos e de tecnologias para que as construções se tornem cada vez mais altas e seguras. Sendo assim, a proposta do trabalho é o relato de alguns desafios da equipe técnica e tecnológica da área de engenharia durante a fase de concretagem das peças estruturais em concreto armado de um prédio de 54 pavimentos, localizado em Goiânia, Capital do estado de Goiás.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. CRESCIMENTO DEMOGRÁFICO E PLANEJAMENTO DO MUNICÍPIO DE GOIÂNIA

Fundada em 24 de outubro de 1933, o primeiro projeto de Goiânia foi desenvolvido pelo arquiteto-urbanista Atilio Correa Lima. A cidade teve seu primeiro código de Edificações no ano de 1947. Este documento serve para controle e a fiscalização do espaço edificado e seu entorno, garantindo a segurança e a salubridade das edificações. Tendo como base esta lei, a aprovação de novos loteamentos seria possível se houvesse a implantação de infraestrutura (água, esgoto e eletricidade) por parte dos empresários. No entanto, este requisito deixou de ser obrigatório com a criação do Decreto nº 16 em 1950, onde a exigência passava a ser a locação e abertura de vias para transporte. Dessa forma o controle por parte do governo sobre o uso do solo na metrópole diminuiu consideravelmente (MOTA, 2004).

2.2 VERTICALIZAÇÃO EM GOIÂNIA

Um novo Plano Diretor foi elaborado pelo arquiteto Luiz Saia na década de 1960, período no qual a cidade experimentou um crescimento acelerado da população e deu início ao processo de verticalização. Em sua perspectiva, a solução ideal para o problema residencial seria a verticalização das áreas aptas a serem adensadas (MOTA, 2004).

A partir da metade da década de 1980, a verticalização continuou expandindo. Desse modo, foi necessário a retomada da definição de leis de planejamento urbano visando reorganizar os espaços da capital, buscando garantir a melhoria da qualidade de vida da população. À vista disso, em 2007 foi aprovado o vigente Plano Diretor de Goiânia, o qual atualmente segue em revisão.

2.3. MÉTODO CONSTRUTIVO ESTRUTURAL

O concreto armado é o material construtivo de maior utilização mundial. Sua aplicação é adotada quando a estrutura precisa resistir aos esforços de compressão e tração. Sendo esse material resultante da mistura de agregados graúdos, agregados miúdos, aglomerantes e água (PORTO; FERNANDES, 2015).

A NBR 8953 (ABNT, 2015) define como concreto estrutural, os concretos cujo desempenho demonstrado, no ensaio de corpo de prova, apresentem como resultado uma resistência característica do concreto à compressão (f_{ck}) igual ou superior a 20 MPa. Além disso, a NBR 8953 (ABNT, 2015) caracteriza a consistência do concreto, como medida de sua trabalhabilidade. A definição das classes de consistência relaciona-se com o mercado de concreto, pois, se tratando de obra vertical, a consistência do concreto varia para que seja possível o bombeamento.

A fim de garantir a resistência à compressão e consistência indicadas em projeto, é necessário atenção quanto ao preparo, controle, recebimento e aceitação do concreto. Sobre tais verificações a NBR 12655 (ABNT, 2022) define as diretrizes a serem seguidas.

Para o recebimento e controle do concreto, devem ser realizados os ensaios de consistência pelo abatimento do tronco de cone (*Slump test*) e de resistência à compressão. Com respeito ao ensaio de consistência, para o concreto preparado em concreteira, deve ser realizado o ensaio a cada betonada. Com relação ao ensaio de resistência à compressão, este deve ser utilizado para aceitar ou rejeitar os lotes de concreto. Ao profissional responsável pela execução da obra cabem atribuições para garantir o controle e qualidade do concreto. Dentre estas atribuições, pode-se relatar, o recebimento e a aceitação do concreto, bem como a realização e a documentação da rastreabilidade do concreto lançado na estrutura NBR 12655 (ABNT, 2022).

3. METODOLOGIA

A metodologia consistiu na análise dos documentos inerentes à obra. Para tais verificações, foram coletadas amostras dos documentos a cada dez pavimentos. O empreendimento do estudo em questão é composto por 54 pavimentos. Sendo, 45 pavimentos-tipo, 2 subsolos, 1 térreo, 2 mezaninos garagem, 1 mezanino lazer, 1 mezanino técnico, 1 terraço/*rooftop*, 1 pavimento com a casa de máquinas e o reservatório superior; totalizando 27.600,90 m² de área construída.

Primeiro houve o levantamento e análise dos projetos estruturais da referida edificação. Sendo observado nos projetos as dimensões das peças estruturais, como também a localização dessas na edificação de 174 metros de altura.

Em segundo plano, foram investigados e analisados os tipos de concretos e os respectivos traços utilizados durante a fase de concretagem das peças estruturais, havendo assim, a averiguação dos documentos inerentes ao controle tecnológico dos concretos. Também, foi averiguado o tipo de bomba utilizado na fase de concretagem do edifício. A partir do estudo das especificações técnicas da bomba, conduziu-se a verificação dos fatores que direcionaram a concreteira a indicar e definir o equipamento mais adequado para o bombeamento do concreto para a obra em questão.

O levantamento com relação aos cuidados adotados para a liberação da concretagem, bem como as verificações feitas para o recebimento dos concretos foram analisados. Nesta fase, foram verificados os romaneios dos caminhões betoneiras e a liberação de concretagem.

Em continuidade ao estudo, foram enumeradas e investigadas as dificuldades durante as etapas de lançamento de concreto da edificação. Para isso, os registros técnicos da edificação foram estudados, a saber: mapas de concretagens e os registros fotográficos. Os imprevistos e/ou falhas que interferiram negativamente na concretagem da obra também foram verificados. Com relação a isso, pode-se relatar o ruptura de tubulação sob pressão, o retorno do concreto na tubulação conectada e a segregação do concreto.

4. RESULTADOS

4.1. DEMANDA DOS PROJETOS ESTRUTURAIS EXECUTIVOS

Com a análise dos projetos estruturais, disponibilizados pelo engenheiro responsável da edificação, tornou-se possível compreender o real porte da obra, as dimensões das peças estruturais, bem como o local em que foram dispostas no empreendimento de 27.600,90 m² de área construída.

Constatou-se, com a leitura dos projetos estruturais, que vigas com seções diversificadas foram necessárias, de acordo com as exigências de cada ambiente da edificação. A partir da análise dos projetos foi possível observar também os locais de execução das vigas e dos pilares, de modo a compreender seus posicionamentos em cada pavimento.

Em consonância com a análise das dimensões das peças estruturais do prédio, pode-se averiguar que tanto as resistências à compressão (f_{ck}), quanto os módulos de elasticidade (Ecs) do concreto variaram de acordo com a projeção de cada andar. Desse modo, tornou-se exequível analisar tais variações e o que as influenciaram. Sendo que tanto as resistências à compressão, quanto os módulos de elasticidade do concreto tiveram valores mais altos nos primeiros pavimentos, por se tratar dos ambientes base do prédio. Já a partir do 21º pavimento tipo, essas propriedades foram reduzidas, visto que as estruturas de concreto integravam a parte superior da edificação.

Assim, é válido ressaltar as dificuldades ao gerir obras como o edifício objeto deste artigo, com variações de resistência à compressão e módulo. Dado que, faz-se necessário rastrear, organizar e documentar os levantamentos realizados, de modo que sejam verificados e alinhados garantindo assim um eficiente controle durante toda a evolução da obra.

Os registros de documentação da edificação durante a sua evolução foram feitos de forma impressa e arquivados junto a equipe gestora da obra. Após a conclusão da obra essa documentação será conduzida para o acervo de registros da empresa, servindo também como base para edificações futuras como essa.

O Quadro 1 apresenta as resistências à compressão e os módulos de elasticidade dos concretos utilizados nas peças estruturais de cada pavimento analisado da edificação em estudo.

QUADRO 1: Resistências à compressão e módulos de elasticidade dos concretos utilizados nas peças estruturais de cada pavimento da edificação.			
Pavimento	Elementos	Resistência à compressão de projeto (f_{ck}) (MPa ²)	Módulo de elasticidade (Ecs) (MPa)
1º Pavimento	Pilares	70	42
20º Pavimento	Vigas/ Lajes	50	37
30º Pavimento	Todos	50	37
40º Pavimento	Todos	35	29
45º Pavimento	Todos	35	29
Cobertura	Todos	35	29

Fonte: Dados de projetos estruturais fornecidos pelo responsável pela obra, 2022.

Destaca-se também que as resistências à compressão e os módulos especificados no projeto apresentam variações. No primeiro pavimento, por exemplo, a resistência de 70 MPa está acima da média, que geralmente varia entre 50 e 70 MPa para edifícios de grande altura. Por outro lado, nos demais pavimentos essa variação se alinha aos módulos que comumente são solicitados em projeto, com variação entre 35 e 50 MPa. Para esta edificação, decidiu-se utilizar concreto convencional até o 40º pavimento. A partir desse ponto, fase de intensificação das dificuldades quanto a concretagem, optou-se pela utilização do concreto autoadensável, conforme pode ser observado nos tópicos subsequentes.

4.2. COMPOSIÇÃO DOS CONCRETOS

De acordo com a NBR 12655 (ABNT, 2022), em conjunto com a NBR 7212 (ABNT, 2012), a responsabilidade pelo cumprimento das normas relacionadas ao concreto preparado por empresas de serviços de concretagem recai sobre a concreteira contratada. Além disso, toda a documentação necessária para garantir o atendimento a essas prescrições deve ser disponibilizada ao responsável pela obra.

Foi possível analisar os tipos de concretos utilizados durante a fase de concretagem das peças estruturais da edificação. Para esta análise foram examinados os documentos inerentes ao controle dos concretos, a saber, mapas de concretagem, romaneios dos caminhões betoneiras e relatórios técnicos.

Durante a análise dos romaneios dos caminhões betoneiras do 1º pavimento, observou-se que o traço de concreto convencional utilizado para a concretagem dos pilares, vigas e lajes continha a adição mineral sílica ativa e os aditivos do tipo superplastificante (viscocrete e polifuncional plastocrete). Esses aditivos foram inseridos para auxiliar na redução de água de mistura e no melhoramento da fluidez do concreto. Os traços são apresentados no Quadro 2 e no Quadro 3.

QUADRO 2: Traço do concreto convencional empregado nos pilares do 1º pavimento.

Cimento CII-F (kg/m ³)	Areia de brita (kg/m ³)	Areia média (kg/m ³)	Brita 0 (kg/m)	Brita 1 (kg/m)	Sílica ativa (kg/m ³)	Água (kg/m ³)	Aditivo superplastificante (Viscocrete) (kg/m ³)	Aditivo polifuncional (Plastocrete) (kg/m ³)
542	319	206	321	743	96	188	3,51	4,78

Fonte: Nota fiscal número 89942 do romaneio caminhão betoneira - data da emissão: 18/08/2020

QUADRO 3: Traço do concreto convencional empregado nas vigas e lajes do 1º pavimento.

Cimento CII-F (kg/m ³)	Areia de brita (kg/m ³)	Areia média (kg/m ³)	Brita 0 (kg/m)	Brita 1 (kg/m)	Sílica ativa (kg/m ³)	Água (kg/m ³)	Aditivo superplastificante (Viscocrete) (kg/m ³)	Aditivo polifuncional (Plastocrete) (kg/m ³)
360	285	513	308	714	40	180	1,40	3,60

Fonte: Nota fiscal número 90073 do romaneio caminhão betoneira - data da emissão: 21/08/2020

A principal diferença em termos de resistência à compressão e módulo entre os quadros, está diretamente relacionada à maior durabilidade do concreto. Tendo em vista que há uma exigência de melhor eficiência para os pilares seguidos das vigas e lajes do primeiro pavimento. Desse modo, é possível observar que o aumento inserção dos aditivos, juntamente com os agregados indicados acarreta nas diferenças em termos de resistência à compressão.

Com relação a adição mineral presente no traço do concreto convencional apresentado nas tabelas anteriores, sabe-se que a sílica ativa pode promover maior durabilidade ao concreto. Já que propicia a diminuição da permeabilidade desse material, protegendo o seu interior e aumentando a sua

vida útil com relação à corrosão do aço, resultando também em maior resistência a cloretos e à carbonatação.

Sobre o aditivo viscocrete, este possui efeito plastificante, interferindo na melhoria da fluidez, no lançamento e no adensamento do concreto. Quanto ao aditivo polifuncional plastocrete, este possui várias funções, como, permitir a redução da água de amassamento; otimizar a manutenção da trabalhabilidade sem retardar, significativamente a pega do concreto; influenciar na melhoria das resistências mecânicas e na durabilidade do concreto; minimizar o potencial para a exsudação e a segregação do concreto; e aprimorar a bombeabilidade e o acabamento superficial do concreto.

Ao analisar os resultados obtidos dos relatórios quanto aos ensaios de resistência à compressão (f_{ck}), aos 28 dias, notou-se que as exigências solicitadas no projeto estrutural foram cumpridas. Cabe ressaltar que o concreto utilizado nas vigas e pilares do referido pavimento, superou em torno de 13% a resistência à compressão requerida em projeto.

No Quadro 4 está apresentado o traço inerente ao concreto convencional utilizado para concretagem dos pilares, vigas e lajes do 20º pavimento.

QUADRO 4: Traço do concreto de pilares, vigas e lajes do 20º pavimento.								
Cimento CII-F (kg/m ³)	Areia de brita (kg/m ³)	Areia média (kg/m ³)	Brita 0 (kg/m)	Brita 1 (kg/m)	Sílica ativa (kg/m ³)	Água (kg/m ³)	Aditivo superplastificante (Viscocrete) (kg/m ³)	Aditivo polifuncional (Plastocrete) (kg/m ³)
360	285	513	308	714	40	180	1,40	3,60

Fonte: Nota fiscal número 94601 do romaneio caminhão betoneira - data da emissão:30/03/2021

Observa-se no Quadro 4 que os volumes dos materiais empregados no traço do concreto convencional utilizado no 20º pavimento permaneceu igual ao utilizado nas vigas e lajes do 1º pavimento, conforme o Quadro 3. A mudança quanto ao traço foi com relação aos pilares, atendendo as exigências do projeto estrutural. Visto que o projeto estrutural especifica a resistência à compressão mínima de 50 MPa para os pilares, sendo obtida uma resistência à compressão de 64,5 MPa, superando em 29% o solicitado. Com relação as vigas e lajes, a resistência à compressão adquirida superou em 32,72% o especificado em projeto.

Com o objetivo de adequar o traço do concreto convencional para buscar uma solução inerente as dificuldades determinadas durante a fase de concretagem, que estavam interferindo diretamente no cronograma da obra, alteraram-se a composição do concreto, de acordo com o demonstrado no Quadro 5 e no Quadro 6. Alteração essa necessária, em decorrência dos problemas constatados a partir do 30º pavimento, a saber, o retorno do concreto na tubulação conectada, a segregação do material e o rompimento da tubulação sob pressão.

QUADRO 5: Traço de concreto convencional dos pilares do 30º pavimento.								
Cimento CII-F (kg/m ³)	Areia de brita (kg/m ³)	Areia média (kg/m ³)	Brita 0 (kg/m)	Brita 1 (kg/m)	Sílica ativa (kg/m ³)	Água (kg/m ³)	Aditivo superplastificante (Viscocrete) (kg/m ³)	Aditivo polifuncional (Plastocrete) (kg/m ³)
270	360	536	302	700	48	175	1,62	2,42

Fonte: Nota fiscal número 96498 do romaneio caminhão betoneira - data da emissão:02/07/2021

Para a concretagem de vigas e lajes do 30º pavimento, foi utilizado concreto convencional dosado de acordo com a composição demonstrada no Quadro 6, a seguir.

QUADRO 6: Traço de concreto convencional das vigas e lajes do 30º pavimento.

Cimento CII-F (kg/m ³)	Areia de brita (kg/m ³)	Areia média (kg/m ³)	Brita 0 (kg/m)	Brita 1 (kg/m)	Sílica ativa (kg/m ³)	Água (kg/m ³)	Aditivo superplastificante (Viscocrete) (kg/m ³)	Aditivo polifuncional (Plastocrete) (kg/m ³)
325	342	496	215	853	-	150	1,62	1,30

Fonte: Nota fiscal número 96591 do romaneio caminhão betoneira - data da emissão:06/07/2021

Com relação aos resultados obtidos com os relatórios de ensaios do concreto, constatou-se uma melhora significativa no ensaio de abatimento do tronco de cone, resultando em um concreto um pouco mais fluido, se comparado ao empregado no 20º pavimento. Se tratando da resistência à compressão aos 28 dias, obteve-se para os pilares o valor de 44,74 MPa e para as vigas e lajes o de 40MPa, sendo a resistência à compressão solicitada em projeto para as peças estruturais de 35 MPa.

4.3 SISTEMA DE BOMBAS UTILIZADAS NA FASE DE CONCRETAGEM

É sabido que, ao escolher o equipamento para o lançamento do concreto, diversos fatores devem ser considerados. No caso em questão, os principais aspectos avaliados na decisão incluíram a distância de lançamento do concreto (tanto horizontal quanto vertical), o volume e o traço especificado no projeto, além de características como consistência, relação água/cimento e a distribuição do concreto.

Outro fator considerado, foi a pressão de bombeamento, já que esta aumenta de acordo com a distância de bombeio. Portanto, quanto maior a distância para concretagem, maior é a potência requerida para a bomba.

Inicialmente, verificou-se que a bomba selecionada para a concretagem fora uma autobomba. Entretanto, não foram disponibilizados registros quanto aos dados técnicos da mesma ou informações quanto às especificações técnicas do modelo.

Em decorrência da pressão insuficiente da primeira bomba para lançar o concreto convencional para o 30º pavimento, trocou-se o modelo da bomba de lançamento para a autobomba para concreto SPL 2000. A partir dos dados técnicos deste modelo, verificou-se que a pressão máxima no concreto teórico poderia atingir 108 bar (10800 KPa), alcançar uma distância máxima de bombeamento vertical de 150 metros de altura e capacidade de bombeio de até 90 m³/h. Como consequência, houve uma diminuição do retorno do concreto, permitindo o seu lançamento e, portanto, garantindo o bom desempenho da bomba.

Quanto às tubulações instaladas para o lançamento do concreto, estas possibilitaram um bom desempenho até o 35º pavimento. As tubulações utilizadas para o transporte do concreto foram de material do tipo rígido, fabricadas em aço de diâmetro 150 mm e sistema de abraçadeiras aparafusados. A escolha deste material é justificável pela capacidade de resistir ao desgaste abrasivo e às altas pressões internas presentes nas linhas de transporte e bombeio do concreto empregado.

Outro quesito relevante neste cenário foi a conexão da linha de bombeio à auto bomba estacionária de concreto. A fixação da linha de transporte do concreto foi feita pela lateral do equipamento e o bombeamento também foi realizado pela lateral. Tal procedimento favoreceu o aumento de flexibilidade em torno da bomba e acesso mais fácil para o caminhão betoneira. Além disso, houve o cuidado em montar a tubulação a no mínimo 6 metros de distância da primeira curva, sendo que essa primeira curva foi fundida em um bloco de concreto, como ilustrado na Figura 1, com o intuito de eliminar qualquer movimentação da linha de transporte/bombeio.



FIGURA 1: Linha de bombeio fundida no bloco de concreto
FONTE: disponibilizada pelo engenheiro responsável pela obra, março de 2022.

A partir do 36º pavimento, as tubulações começaram a se romper na linha de bombeio e após a saída do concreto. Tais rupturas foram ocasionados devido à pressão que as tubulações estavam submetidas, diretamente relacionada ao aumento da altura da edificação.

Como solução para este problema, as tubulações foram substituídas por novas de mesma especificação, passando a serem verificadas com o auxílio do Medidor de Espessura de Chapa por Ultrassom (Figura 2). Este aparelho, adquirido pela construtora, cujo modelo anteriormente já fora utilizado por esta em outra edificação, é responsável por medir espessuras de chapas metálicas a partir do contato direto com estas. A medição é feita com o auxílio de glicerina permitindo a aderência do bloco de acoplamento do medidor à chapa metálica. Dessa forma, a análise das linhas de transporte e o bombeamento do concreto, fora realizada por meio de um colaborador especializado, tornando, assim factível substituir as peças necessárias antes de se danificarem. Tais verificações eram realizadas em um intervalo de, no máximo, dois meses, sendo que a partir de espessuras inferiores à mínima estabelecida pelos fabricantes, os tubos eram substituídos por novos.



FIGURA 2: Medidor de Espessura de Chapa por Ultrassom.
FONTE: autoras, 2022.

Apesar das soluções adotadas descritas anteriormente, o problema com relação a segregação e a dificuldade de bombeamento do concreto ainda permaneceram, acarretando desperdício de material, retrabalho e relançamento do concreto.

Para solucionar essas dificuldades na fase de concretagem, fez-se necessário estudos para a modificação tanto do tipo, quanto do traço do concreto empregado. Como resultado, o concreto autoadensável foi adotado a partir de 143 metros da edificação (40º pavimento), sendo o traço apresentado no Quadro 7.

QUADRO 7: Traço de concreto autoadensável dos pilares, vigas e lajes do 40º pavimento.

Cimento CII-F (kg/m ³)	Areia de brita (kg/m ³)	Areia média (kg/m ³)	Brita 0 (kg/m)	Brita 1 (kg/m)	Sílica ativa (kg/m ³)	Água (kg/m ³)	Aditivo superplastificante (Viscocrete) (kg/m ³)	Aditivo polifuncional (Plastocrete) (kg/m ³)
361	359	521	916	-	-	206	3,07	1,63

Fonte: Nota fiscal número 99230 do romaneio caminhão betoneira- data da emissão:14/10/2021

O projeto estrutural definiu a resistência à compressão mínima 35 MPa para os pilares, vigas e lajes. Obteve-se a resistência à compressão de 39 MPa para essas peças estruturais.

Com relação ao ensaio flow test, ensaio que mede a capacidade de espalhamento do concreto na forma sem o adensamento (ensaio mais adequado para o concreto autoadensável), o referido traço não promoveu as características propícias necessárias para o bombeamento do concreto, apresentando como valor para flow test de 24 mm. Sendo assim, foi necessário um novo ajuste para a composição do traço do concreto autoadensável, visando melhorar a fluidez e garantir a alta trabalhabilidade, conforme solicita a NBR NM 67: 1998.

O traço de concreto autoadensável utilizado para concretagem dos pilares, vigas e lajes do 45º pavimento, possui a composição descrita no Quadro 8.

QUADRO 8: Traço de concreto autoadensável dos pilares, vigas e lajes do 45º pavimento.

Cimento CII-F (kg/m ³)	Areia de brita (kg/m ³)	Areia média (kg/m ³)	Brita 0 (kg/m)	Brita 1 (kg/m)	Sílica ativa (kg/m ³)	Água (kg/m ³)	Aditivo superplastificante (Viscocrete) (kg/m ³)	Aditivo polifuncional (Plastocrete) (kg/m ³)
369	320	576	879	-	-	210	1,85	2,21

Fonte: Nota fiscal número 100682 do romaneio caminhão betoneira - data da emissão: 09/12/2021

Ao analisar o Quadro 7 com o Quadro 8, é possível verificar quanto a mistura do traço, uma redução do volume da areia de brita, brita 0, do aditivo líquido superplastificante e do aditivo polifuncional. As diferenças quanto aos volumes das composições visaram melhorar a capacidade de espalhamento do concreto, adquirindo assim, maior fluidez.

A melhoria quanto a capacidade de espalhamento foi verificada, tendo como valor obtido 61,6 mm (*flow test*). Por fim, com relação a resistência à compressão, o projeto estrutural especifica o mínimo 35 MPa para as peças estruturais, sendo obtido aos 28 dias a resistência à compressão de 46,23 MPa para pilares e 59,40 MPa para vigas e lajes.

Por último, o traço do concreto autoadensável utilizado nas peças estruturais da cobertura está apresentado no Quadro 9.

QUADRO 9: Traço de concreto autoadensável dos pilares, vigas e lajes da cobertura.

Cimento CII-F (kg/m ³)	Areia de brita (kg/m ³)	Areia média (kg/m ³)	Brita 0 (kg/m)	Brita 1 (kg/m)	Sílica ativa (kg/m ³)	Água (kg/m ³)	Aditivo redutor de água (sika pump) (kg/m ³)	Aditivo superplastificante (Viscocrete) (kg/m ³)
378	389	564	796	-	-	215	0,11	2,83

Fonte: Nota fiscal número 102361 do romaneio caminhão betoneira- data da emissão: 09/02/2022

Observa-se a inclusão do aditivo sika pump cujo possui como principal objetivo facilitar o bombeamento de concretos e argamassas ao reduzir a viscosidade e melhorar a fluidez destes materiais, além disso, esse aditivo é muito indicado para bombear concreto em grandes alturas visto que reduz a fricção e reduz os riscos de vazamentos. Para a correta utilização desse aditivo, foi realizada a confirmação da sua conformidade com as normas específicas através de sua documentação técnica. Dessa forma, esse aditivo foi inserido para auxiliar na proteção dos equipamentos e das tubulações, como também diminuir o desgaste excessivo gerado pela concretagem na linha de bombeio, auxiliando no bombeamento em longas distâncias. Com relação as resistências à compressão definidas em projeto, os resultados obtidos aos 28 dias superaram o proposto que era de 35 MPa.

5. CONCLUSÕES

O conhecimento com relação às técnicas para a concretagem de edifícios altos é imprescindível. As estratégias adotadas diante de qualquer dificuldade relacionada à aplicação do concreto, podem estar diretamente relacionadas ao porte da edificação, ao clima, ao tipo de bomba de lançamento utilizada, ao tipo e traço de concreto adotado, bem como ao acompanhamento para análise do estado dos tubos de lançamento do concreto, de acordo com a evolução da obra.

O estudo em questão permitiu diagnosticar quais os cuidados foram primordiais durante a concretagem do edifício de 174 metros de altura. Dentre eles, a escolha da bomba ideal, de forma que atendesse tanto a fase de concretagem inicial, quanto a fase final da edificação. Inicialmente, optou-se pela autobomba e, posteriormente, a partir do 30º pavimento, empregou-se a auto bomba para concreto SPL 2000, que tem como especificação técnica a pressão máxima no concreto teórico podendo atingir 108 bar (10800 KPa), alcance de distância máxima de bombeamento vertical de 150 metros de altura e capacidade de bombeio de até 90m³/h.

Outro fator levado em consideração, foi o estado físico das tubulações que integravam a linha de bombeio. As tubulações instaladas para o lançamento do concreto, possibilitaram um bom desempenho até o 35º pavimento, sendo que a partir do 36º pavimento, as tubulações foram substituídas por novas de mesma especificação. Além disso, o rastreamento das tubulações de lançamento do concreto teve o auxílio do medidor de espessura, permitindo o acompanhamento e as trocas das linhas de bombeio e de transporte desse material, antes mesmo que se rompessem. Problema esse, decorrente do uso, desgaste e pressão em elevadas alturas das tubulações.

Tendo em vista os aspectos observados durante a execução da obra, o traço de concreto convencional passou por diferentes ajustes, conseguindo atender a concretagem até o 35º pavimento. Sendo que a partir do 40º pavimento passou-se a ser utilizado o concreto autoadensável. A definição do tipo e traço do concreto adequado ao porte da obra é de extrema relevância, devendo apresentar características de consistência para evitar a segregação e facilitar o seu transporte ao longo da linha de bombeio.

Por fim, cabe relatar que a logística adotada, bem como as adaptações feitas no decorrer da obra, foram fundamentais para a construção da edificação de 54 pavimentos. Diante das dificuldades

vivenciadas, as técnicas adotadas foram aplicadas em tempo hábil, permitindo a continuidade da execução da obra e, principalmente, a execução do concreto do sistema estrutural.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8953: Concreto para fins estruturais: classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência.** Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento.** Rio de Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7212: Execução de concreto dosado em central – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2012.

GEROLLA, Giovanni. Superedifícios brasileiros, Construções com mais de 150 metros de altura se multiplicam no País. Projetistas falam da complexidade de cálculo para segurança e estabilidade. **Téchne: a revista do engenheiro civil**, São Paulo, ano 24, Edição 237 p. 22-29, 24 dez. 2016.

MOTA, J. C. **Planos Diretores de Goiânia, década de 60: A inserção dos arquitetos Luís Saia e Jorge Wilhelm no campo do planejamento urbano.** São Carlos, 2004. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18131/tde-16042007-163916/publico/Dis_Juliana_Mota.pdf. Acesso em: 20 nov. 2022.

PORTO, T.B; FERNANDES, D.S.G. **Curso básico de CONCRETO ARMADO conforme NBR6118/2014.** São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2015. Disponível em: <http://ofitexto.arquivos.s3.amazonaws.com/Curso-basico-concreto-armado-DEG.pdf>. Acesso em: 22 mai. 2022.

TÖWS, Ricardo Luiz. O processo de verticalização das cidades brasileiras: legado conceitual e alguns encaminhamentos de pesquisa. **Geingá: Revista do Programa de Pós- Graduação em Geografia (PGE/UEM)**, v. 10, n. 2, p. 141-162, 2018.