



JÚLIA PAULA DE SOUZA

**ANÁLISE DOS DESLOCAMENTOS E DAS TENSÕES DURANTE A
ETAPA CONSTRUTIVA DE EDIFICAÇÕES COM PAREDES DE
CONCRETO**

**LAVRAS-MG
2022**

JÚLIA PAULA DE SOUZA

**ANÁLISE DOS DESLOCAMENTOS E DAS TENSÕES DURANTE A ETAPA
CONSTRUTIVA DE EDIFICAÇÕES COM PAREDES DE CONCRETO**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Civil, para obtenção do título de Bacharel.

Prof. D.Sc. Ígor José Mendes Lemes
Orientador

**LAVRAS-MG
2022**

JÚLIA PAULA DE SOUZA

**ANÁLISE DOS DESLOCAMENTOS E DAS TENSÕES DURANTE A ETAPA
CONSTRUTIVA DE EDIFICAÇÕES COM PAREDES DE CONCRETO**

**ANALYSIS OF DISPLACEMENTS AND STRESSES DURING THE
CONSTRUCTION STAGE OF BUILDINGS WITH CONCRETE WALLS**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Civil, para obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 13 de setembro de 2022.

D. Sc. Igor José Mendes Lemes

D. Sc. Rafael Cesário Barros

B. Sc. Pedro Henrique Andrade Lim



Prof. D.Sc. Igor José Mendes Lemes
Orientador

LAVRAS-MG

2022

*Dedico esse trabalho a todos que
contribuíram com a minha formação.*

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo dom da vida e por me fazer apta a conquistar mais essa vitória.

À minha mãe, Gaide, por todo seu amor e por nunca medir esforços para o meu crescimento.

Ao meu pai, Arnaldo, por ser exemplo de humildade, perseverança e fé.

Aos meus irmãos, Rodrigo e Vinícius, por todo incentivo e apoio durante essa trajetória.

Ao professor Ígor J. M. Lemes por sua sabedoria, paciência e disponibilidade, sendo fundamental para a realização deste trabalho.

À UFLA, pelas inúmeras oportunidades oferecidas, pela qualidade do ensino e pela estrutura ofertada.

Por fim, a todos que contribuíram para minha formação e ajudaram no meu crescimento pessoal e profissional.

RESUMO

Através do Programa Casa Verde e Amarela, a população brasileira, sobretudo a de baixa renda, obteve acesso mais fácil para conquistar a casa própria. Com isso, as construtoras entraram em uma corrida para lançar e construir novos imóveis para atender o programa nacional de habitação. Assim, foi preciso que elas buscassem inovações e encontrassem um método construtivo mais ágil e dinâmico. Uma alternativa para tais necessidades foi o método construtivo através de paredes de concreto, o qual apresenta maior padronização em seus processos, garantindo maior produtividade e agilidade, fazendo com que o tempo de execução das obras seja reduzido. Em vista disso, o presente trabalho visa a elaboração de uma modelagem para validar várias idades de desforma da estrutura, em busca de analisar possíveis deslocamentos excessivos e também analisar as máximas tensões de compressão na estrutura. Com o auxílio de um *software* que utiliza o método dos elementos finitos foi possível implementar a estrutura com suas especificidades em cada idade de desforma e obter os resultados em uma minuciosa análise. Para demonstrar a aceitabilidade dos resultados obtidos foi possível comparar os deslocamentos encontrados com os deslocamentos-limites com efeitos de análise sensorial determinados em norma. Também foram analisadas as tensões fazendo a comparação com a resistência à compressão nas respectivas idades, calculadas através da curva resistência-idade definida pelo ACI-318. Os resultados demonstraram que a desforma realizada a partir de 12 horas, não causa dano à edificação analisada. As tensões de compressão geradas não extrapolam a tensão limite do material. Além disso, uma vez que as cargas durante a etapa construtiva são baixas, os deslocamentos foram suficientemente pequenos para serem desprezíveis em todas as idades simuladas.

Palavras-chave: Parede de Concreto. Desforma. Deslocamento-limite. Tensão de compressão máxima.

Sumário

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Considerações gerais	1
1.2 Motivação	2
1.3 Objetivos	2
2 REFERENCIAL TEÓRICO	3
2.1 Considerações iniciais	3
2.2 Estado da arte	3
2.3 Sistema construtivo	5
2.4 Concreto	8
2.4.1 Propriedades mecânicas	10
2.4.1.1 Resistência à compressão	10
2.4.1.2 Módulo de elasticidade	11
2.4.1.3 Coeficiente de Poisson	12
2.5 Segurança e estados limites	12
2.6 Ações	13
2.6.1 Combinações das ações	13
2.7 Análise estrutural	14
2.8 Dimensionamento	16
2.9 Desforma	16
2.10 Cura do concreto	17
3 METODOLOGIA	20
3.1 Considerações iniciais	20
3.2 Projeto arquitetônico	20
3.3 Determinação das idades	21
3.4 Determinação das cargas correspondentes às idades	21
3.5 Cálculo das propriedades mecânicas	24
3.6 Combinações das ações	24
3.7 Modelagem estrutural	25
4 ANÁLISE DE RESULTADOS	27
4.1 Considerações iniciais	27
4.2 Tensões máximas	27
4.3 Deslocamentos	27
CONCLUSÃO	28
REFERÊNCIAS	29
	31

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações gerais

O Governo Federal apresenta-se empenhado em reduzir o déficit habitacional no país através do programa nacional de habitação. O Casa Verde e Amarela alcançou, entre 2019 e outubro de 2021, a marca de 1,2 milhão de unidades entregues a população [Relatório de Gestão 2021, pág. 5].

Esse fato reflete diretamente na produção das construtoras, que buscam inovações para aumentar a produtividade e entregar suas obras em *lead time record* entre as concorrentes.

Um sistema estrutural de produção que vem se mostrando alinhado a estes princípios e ganhando mais visibilidade no mercado, são as estruturas em parede de concreto. Apesar de ser necessário um gasto inicial elevado, devido aos materiais e à mão de obra específicos, apresentam maior padronização em seus processos, garantindo redução de desperdícios e maior produtividade no canteiro de obras.

No sistema de parede de concreto, a estrutura e as suas vedações compõem um único elemento, que é moldado *in loco*, tendo suas instalações elétricas, hidráulicas e de gás alocadas no seu interior. Apresenta-se como elementos construtivos básicos: as fôrmas, o concreto e o aço. Os procedimentos necessários para a construção de edifícios usando esta solução estrutural são normatizados pela NBR 16055 (ABNT, 2012).

As etapas de concretagem e desforma são importantes no sistema de paredes de concreto. Além da resistência característica do concreto, em 28 dias, esse sistema carece do controle em diversas outras idades determinantes durante o processo construtivo e também de suas propriedades mecânicas.

Em busca de uma melhor gestão de processos, este sistema precisa ser conhecido e estudado. A leitura e a execução exata do projeto é de suma importância para que o desempenho da estrutura não seja comprometido, as resistências desejáveis sejam alcançadas e o sistema apresente a qualidade exigida.

1.2 Motivação

Por ser um sistema construtivo recente no mercado, ainda existem desconfianças sobre a qualidade e a segurança das paredes de concreto, uma vez que seu processo é mais rápido e ágil que os sistemas convencionais, como as estruturas em Alvenaria de Vedação.

Dessa forma, o presente estudo é relevante pois suas análises estão diretamente ligadas à segurança e à estabilidade estrutural, podendo ser identificado possíveis danos futuros à estrutura.

Além disso, esse estudo servirá de auxílio na elaboração da programação de concretagens em obras de edifícios de múltiplos pavimentos, uma vez que definirá as resistências exigidas em cada uma das idades, podendo, até mesmo, minimizar o tempo de espera de uma concretagem à outra.

1.3 Objetivos

O presente trabalho visa a análise das propriedades mecânicas de uma estrutura em parede de concreto, sobretudo a máxima tensão de compressão e os deslocamentos sofridos em diversas idades determinantes no processo construtivo: como idades possíveis de desforma; idade em que será necessário resistir à execução de um pavimento exatamente acima; idades intermediárias; e idade de resistência final, em busca de analisar se as solicitações serão atendidas no tempo estipulado. Para esse estudo, determinou-se uma planta modelo de um edifício residencial e contará com o auxílio de *software* cuja metodologia se baseia no método dos elementos finitos para as análises necessárias.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Considerações iniciais

Esse capítulo tem como objetivo realizar uma revisão bibliográfica acerca do tema e abordar assuntos e determinações normativas que fundamentam a metodologia adotada.

2.2 Estado da arte

Mesmo após enfrentar a pandemia do Covid-19, o mercado da construção civil continuou a se desenvolver. Segundo relatório publicado pela Câmara Brasileira da Indústria da Construção, CBIC, houve um crescimento de 24,59% no lançamento de imóveis e 42,29% na venda de novos imóveis em 2021 em relação a 2019 (CBIC, 2021).

Além disso, foi divulgado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que o Índice Nacional da Construção Civil, Sinapi, apresentou, em 2021, sua maior taxa desde seu início, em 2013, atingindo 18,65% de acumulado no ano. (IBGE, 2021)

O mercado imobiliário e da construção civil está sempre em busca de inovações para superar e aumentar suas metas. Com isso, apesar do método construtivo mais empregado no Brasil ser o de alvenaria convencional, o sistema de parede de concreto armado, ilustrado na Figura 1, apresentou um crescimento nos últimos anos (CIMENTO ITAMBÉ, 2018). Tal fato está relacionado à necessidade de se obter processos com maior nível de padronização, minimizando desperdícios tanto de materiais quanto de mão de obra, tornando o canteiro de obra mais dinâmico, limpo e o prazo de obra ser mais enxuto.

Figura 1 - Edifício em construção em parede de concreto.



Fonte: Da autora (2022).

Há registros de que o uso deste sistema no Brasil iniciou-se na década de 1970.

O primeiro registro da utilização desse sistema construtivo no Brasil foi em 1979, pela empresa COHAB-MG na cidade de Santa Luzia –MG, na execução de 46 unidades habitacionais no Conjunto Habitacional Carreira Comprida, onde foram utilizadas fôrmas metálicas (alumínio) e concreto celular. (Sacht, 2008)

Além do Brasil, países como Chile, Colômbia e México possuem o sistema de parede de concreto moldada *in loco* utilizada em diversos segmentos habitacionais (CONCRETO E CONSTRUÇÕES, 2018).

A princípio, esse método construtivo era baseado em algumas normas que determinam o comportamento do concreto armado, como a ACI 318 (2008), o Eurocódigo 2 (EC2, 2010) e a NBR 6118 (ABNT, 2014), uma vez que ainda não existiam normatizações a respeito das estruturas em parede de concreto em si.

O sistema parede de concreto moldada no local foi homologado na ABNT, através da NBR 16055 (ABNT, 2012) e entre 2012 e 2015 foram construídas mais de 700.000 unidades em parede de concreto, correspondendo a diversos segmentos de mercado, em todos as regiões do Brasil e por várias construtoras (NÚCLEO DE PAREDE DE CONCRETO, 2016).

Mesmo antes do surgimento da norma especificada para estruturas em paredes de concreto, a NBR 16055 (ABNT, 2012), já existiam estudos a respeito deste método construtivo. Como o de Martim (2010), que realizou uma comparação entre critérios de dimensionamento e detalhamento de paredes de concreto moldadas *in loco* em edifícios com até cinco pavimentos, utilizando o critério de taxa de armadura resultando como parâmetro de comparação, tomando por base normas estrangeiras e texto das Práticas Recomendadas, publicado pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2008).

Pouco após a publicação da NBR 16055 (ABNT, 2012), Ponzoni (2013) realizou uma comparação entre o sistema de parede de concreto moldada *in loco*, como aplicado em uma obra, com os requisitos e procedimentos da NBR 16055 (ABNT, 2012). O estudo foi realizado em prédios residenciais multifamiliares construídos com esse sistema, com execução iniciada antes da publicação da norma. Nesse estudo, foi analisado que de 66 itens analisados, 22 itens não estavam de acordo com a NBR 16055 (ABNT, 2012) concluindo que a construtora em análise não seguia alguns procedimentos correspondentes à norma.

Com a norma estabelecida, novos estudos surgiram em busca de analisar o processo construtivo com paredes de concreto moldadas *in loco*, observando todas as etapas de construção, desde a fundação até o acabamento final, como feito por Cambraia (2017).

Mesmo após consolidada a norma, são comuns estudos acerca dos comparativos entre esse sistema e sistemas construtivos mais convencionais, como é o caso da alvenaria estrutural. Macedo (2016) realizou um estudo acerca do processo construtivo de paredes de concreto e seus componentes juntamente com uma breve comparação com o sistema de alvenaria estrutural, concluindo que na comparação qualitativa entre os métodos construtivos, o sistema de paredes de concreto ganha destaque, pela rápida execução e maior racionalização de mão de obra e materiais, possuindo também um menor desperdício de matéria prima. Felipe e Cansilier (2020) também realizaram um comparativo entre esses dois métodos construtivos citados anteriormente para edificações multifamiliares de padrão popular, apresentando como resultado que o sistema em parede de concreto é viável para obras com múltiplos edifícios, salientando que ele apresenta um grande potencial futuro para a construção civil.

Outros estudos também vêm contribuindo para um conhecimento mais sólido desse sistema construtivo que ganha cada vez mais espaço nas construtoras brasileiras. Como, por exemplo, o estudo de Moraes (2017) que visou demonstrar a importância de planejar e acompanhar a execução das estruturas de concreto armado. Além disso, o autor analisou as atividades que envolvem a execução do sistema de paredes de concreto, possibilitando que melhorias fossem propostas no procedimento de execução da atividade.

Sobre a análise estrutural e o dimensionamento do sistema que foco do presente trabalho, alguns estudos merecem destaque. Taglialegna e Muniz (2017) realizaram uma modelagem e dimensionamento das paredes de concreto moldado *in loco* através de um roteiro de cálculo, baseando-se na NBR 16055 (ABNT, 2012). Peixoto (2019) abordou a viabilidade do sistema e estabeleceu diretrizes para a análise e dimensionamento estrutural de uma edificação térrea unifamiliar, a partir de modelos de cálculo e da modelagem numérica. Já Belém e Silva (2018) avaliaram a influência da deformabilidade do solo na redistribuição de esforços entre os elementos estruturais de um edifício de Paredes de Concreto de quatro pavimentos apoiado em fundação rasa. Por fim, Bidese (2020) analisou a influência da dimensão e posição de aberturas quanto à resistência de Paredes de Concreto armado, por meio da verificação de seu comportamento estrutural.

2.3 Sistema construtivo

Nesse sistema construtivo ocorre a execução *in loco* das paredes e das lajes simultaneamente, ambas possuindo função estrutural. São utilizadas fôrmas na qual apresentam em seu interior todos os elementos dispostos em seu local de utilização, como os vãos de esquadrias, as tubulações hidráulicas e os acessórios das instalações elétricas como conduítes, quadros, caixas de passagem e caixinhas de luz, além das armações solicitadas em projeto.

De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland (2008), é necessário que o concreto para esse sistema construtivo apresente boa trabalhabilidade, para que ocorra o completo preenchimento das fôrmas, sem segregações e garantindo um bom acabamento da superfície. Sendo assim, são recomendados quatro tipos de concreto:

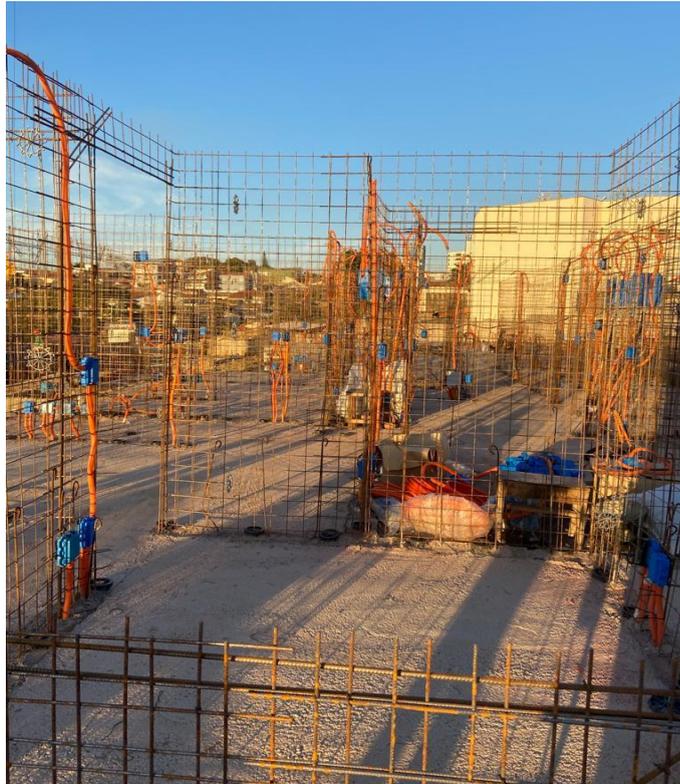
- a) concreto celular (tipo L1): baixa massa específica e bom desempenho térmico e acústico;
- b) concreto com alto teor de ar incorporado até 9% (tipo M): características mecânicas e termoacústicas similares às do concreto celular;
- c) concreto com agregados leves ou com baixa massa específica (tipo L2): bom desempenho térmico e acústico, mas levemente inferior aos dos concretos L1 e M;
- d) concreto convencional ou concreto auto-adensável (tipo N),
 - concreto auto-adensável: sua aplicação é rápida, feita por bombeamento, mistura extremamente plástica dispensando o uso de vibradores.
 - concreto convencional: deve possuir uma trabalhabilidade adequada e evitar a sua segregação.

Embora o concreto tenha boa resistência à compressão, ele possui baixa resistência à tração. Tal fato implica na necessidade de dispor um material com boa resistência à tração nas regiões onde o concreto simples é deficiente.

No sistema de paredes de concreto, a armação é composta por telas soldadas dispostas no plano vertical da parede, conforme ilustrado na Figura 2. Em locais onde possuem vãos de portas e janelas, e nas bordas deve conter reforços de telas ou barras de armadura convencional. As paredes devem receber duas camadas de telas soldadas posicionadas na vertical e reforços verticais nas extremidades quando os edifícios forem mais altos (MISURELLI e MASSUDA, 2009).

Segundo Misurelli e Massuda (2009), as armaduras precisam resistir aos esforços de flexo-torção, controlar a retração do concreto, além de fixar os elementos de instalações hidráulica, elétrica e de gás.

Figura 2 - Representação das telas de armação com os elementos hidráulicos e elétricos alocados.



Fonte: Da autora (2022)

Para que o concreto seja moldado e estancado, são utilizadas fôrmas (Figura 3), que também garantam a planicidade da estrutura.

Figura 3 - Representação das fôrmas aguardando concretagem.



Fonte: Da autora (2022)

Os tipos de fôrmas mais utilizadas são: as metálicas, metálicas mais compensado, as de plástico e as trepantes (Comunidade da Construção, pág. 84).

Além disso, as fôrmas devem contar com peças de união das paredes e das lajes, gravatas, faquetas, espaçadores, pinos, cunhas, alinhadores, tensores para os vãos e escoras.

Para a determinação do tipo de fôrma deve-se levar em conta alguns fatores como: produtividade da mão-de-obra na operação, peso por m² dos painéis, número de peças que compõem o sistema de fôrmas, durabilidade da chapa e número de reutilizações, durabilidade da estrutura, modulação dos painéis, flexibilidade do sistema de fôrma a diversas soluções de projetos (ABCP, 2008).

2.4 Concreto

O concreto simples é um material que apresenta em sua composição: cimento, água, agregados graúdos e agregados miúdos, além disso, conforme a necessidade do projetista, são adicionados aditivos que afetam as propriedades físicas e químicas do concreto.

Conforme disposto por Leonhardt e Mönnig (1977), existem alguns aditivos utilizados no traço do concreto e suas funções são:

- a) Plastificantes: para melhorar a trabalhabilidade, contribuindo para o aumento da resistência à compressão;
- b) Retardadores: para retardar a pega;
- c) Incorporadores de ar: para aumentar a capacidade contra o congelamento;
- d) Impermeabilizantes: para diminuir a permeabilidade à água;
- e) Aceleradores: para acelerar o endurecimento e a pega;
- f) Anti congelantes: para baixar o ponto de congelamento.

Entretanto, para estruturas de concreto armado, o uso de aditivos químicos deve ser feito em conformidade com a NBR 11768 (ABNT, 2019).

Para a produção do concreto com necessidade de alta resistência inicial, o cimento portland CP-V é altamente recomendado, uma vez que ele apresenta alta reatividade nas primeiras horas de aplicação e fica resistente em um curto espaço de tempo. Assim, este cimento é indicado em casos onde a desforma é rápida, como é o caso do sistema de paredes de concreto.

É necessário que os cuidados sejam tomados durante a execução das estruturas de concreto, pois muitos fatores podem alterar as propriedades do concreto solicitado em projeto. Tais cuidados vão desde a fabricação, o transporte, o lançamento (Figura 4), até as

intempéries como temperaturas extremas, chuvas, ventos fortes, que podem gerar reações químicas indesejáveis, fazendo com que se perca o controle de qualidade do processo.

Figura 4 - Concretagem do sistema de Parede Concreto.



Fonte: Da autora (2022)

O concreto fresco é moldado em formas e, geralmente, adensado com vibradores. Segundo Leonhardt e Mönnig (1977), o endurecimento do concreto começa após poucas horas e de acordo com o tipo de cimento atinge, aos 28 dias, cerca de 60 a 90% de sua resistência.

2.4.1 Propriedades mecânicas

2.4.1.1 Resistência à compressão

Sabe-se que o concreto, por si só, apresenta bom comportamento quando submetido a deformações de compressão.

As classes são determinadas pela NBR 8953 (ABNT, 2015) em função das tensões resistentes à compressão característica do concreto definidas em MPa e classificados em Grupos I e II, conforme especificado na Tabela 1.

Tabela 1 – Classes de resistência de concretos estruturais.

Classe de resistência Grupo I	Resistência característica à compressão (MPa)	Classe de resistência Grupo II	Resistência característica à compressão (MPa)
C20	20	C55	55
C25	25	C60	60
C30	30	C70	70
C35	35	C80	80
C40	40	C90	90
C45	45	C100	100
C50	50		

Fonte: ABNT NBR 8953:2015 página 2.

A resistência à compressão é determinada através dos ensaios normatizados pela NBR 5738 (ABNT, 2015) e NBR 5739 (ABNT, 2018), sendo eles, respectivos à moldagem e rompimento de corpos de prova cilíndricos.

Todavia, os valores das resistências obtidas nos ensaios de rompimento podem apresentar variações entre os corpos de prova, visto que pode ocorrer variações na composição do concreto, além da influência de intempéries.

Para estruturas de concreto armado, o controle desta propriedade mecânica do concreto é imprescindível. Sendo assim, é necessário que se obtenha a resistência à compressão para a idade de desforma, compatível com o ciclo de concretagem, a resistência à compressão característica de 28 dias (f_{ck}), a classe de agressividade conforme NBR 12655 (ABNT, 2022) e a trabalhabilidade, medida pelo abatimento do tronco de cone ou pelo espalhamento do concreto, conforme determinado pela NBR NM 67 (ABNT, 1998) (ABNT NBR 6118:2014).

2.4.1.2 Módulo de elasticidade

O módulo de elasticidade é uma propriedade mecânica que relaciona a deformação de um material devido a um estado de tensão.

O concreto apresenta características heterogêneas, dessa forma, a sua curva tensão-deformação ocorre de maneira não linear. Como descrito na NBR 6118 (ABNT, 2014), a deformação elástica do concreto depende da composição do traço do concreto, especialmente da natureza dos agregados.

O módulo de elasticidade tangente inicial (E_{ci}) pode ser estimado pela Equação 1 quando não forem realizados ensaios.

$$E_{ci} = \alpha_E \cdot 5600 \cdot \sqrt{f_{ck}} \text{ para } f_{ck} \text{ de 20 MPa a 50 MPa;} \quad (1)$$

em que, α_E é um coeficiente que correlaciona o tipo de agregado com o módulo de elasticidade e f_{ck} é a resistência característica à compressão do concreto aos 28 dias, em MPa.

Vale salientar que, para Estruturas de Paredes de Concreto, é normatizada pela NBR 16055 (ABNT, 2012) a utilização de concretos somente até 40 MPa.

O módulo de deformação secante pode ser estimado pela Equação 2 ou obtido pelo método de ensaio determinado na NBR 8522 (ABNT, 2021).

$$E_{cs} = \alpha_i \cdot E_{ci} \quad (2)$$

$$\alpha_i = 0,8 + 0,2 \cdot \frac{f_{ck}}{80} \leq 1,0 \quad (3)$$

A Tabela 2 (NBR 6118 (ABNT, 2014)) apresenta os valores estimados arredondados para serem utilizados em projetos estruturais.

Tabela 2 – Valores estimados de módulo de elasticidade em função da resistência característica à compressão do concreto (considerando o uso de granito como agregado graúdo).

Classe de resistência	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C60	C70	C80	C90
E_{ci} (GPa)	25	28	31	33	35	38	40	42	43	45	47
E_{cs} (GPa)	21	24	27	29	32	34	37	40	42	45	47
α_i	0,85	0,86	0,88	0,89	0,90	0,91	0,93	0,95	0,98	1,00	1,00

Fonte: ABNT NBR 6118:2014 página 25.

Determinado pela NBR 6118 (ABNT, 2014), o módulo de elasticidade em uma idade menor que 28 dias pode ser avaliado pela Equação 4, para concretos com f_{ck} de 20 MPa a 45 MPa, substituindo f_{ck} por f_{cj} :

$$E_{ci}(t) = \left(\frac{f_c(t)}{f_c}\right)^{0,5} \cdot E_{ci} \quad (4)$$

no qual, $E_{ci}(t)$ é a estimativa do módulo de elasticidade do concreto em uma idade entre 7 dias e 28 dias; e $f_c(t)$ é a resistência à compressão do concreto na idade em que se pretende estimar o módulo de elasticidade, em megapascal (MPa).

2.4.1.3 Coeficiente de Poisson

O coeficiente de Poisson (ν) é a relação entre a deformação transversal e a deformação longitudinal que o concreto sofre quando aplica-se uma força sobre ele.

Conforme determinado pela NBR 6118 (ABNT, 2014), o coeficiente de Poisson será igual a 0,2 quando as tensões de compressão forem menores que $0,5 f_c$ e as tensões de tração menores que f_{ct} .

2.5 Segurança e estados limites

A NBR 6118 (ABNT, 2014) estabelece que, em estruturas de concreto, faz-se necessário a análise da influência de todas as ações que possam gerar efeitos significativos para a segurança da estrutura, levando em consideração os possíveis estados-limites últimos e os de serviço.

São diversos os estados-limites últimos que devem ser verificados para garantir a segurança das estruturas de concreto, mas todos analisam o esgotamento da capacidade resistente da estrutura.

Por outro lado, os estados-limites de serviço estão relacionados ao conforto do usuário, bem como a durabilidade, aparência e boa utilização da estrutura, garantindo que a estrutura suporte sua utilização.

2.6 Ações

As ações são classificadas em permanentes, variáveis e excepcionais, de acordo com a NBR 8681 (ABNT, 2003). Vale salientar que as ações devem respeitar as particularidades de cada construção.

A NBR 6118 (ABNT, 2014) determina que, para as ações permanentes, e em função da segurança devem ser considerados valores representativos mais desfavoráveis. As ações permanentes são subdivididas em diretas e indiretas. São classificadas como ações permanentes diretas o peso próprio da estrutura, o peso dos elementos construtivos fixos, das instalações e dos empuxos permanentes. Enquanto as ações permanentes indiretas são compostas pela retração e fluência do concreto, os deslocamentos dos apoios, imperfeições geométricas, globais e locais, pelo momento mínimo e pela protensão. Ou seja, as ações

permanentes apresentam, durante a vida da construção, valores constantes ou que aumentam possuindo um valor-limite constante.

São classificadas como ações variáveis diretas as cargas acidentais previstas para o uso da construção, ação do vento, ação da água e ações variáveis durante a construção. Por outro lado, as ações variáveis indiretas são determinadas pelas variações uniformes e não uniformes de temperatura e ações dinâmicas (NBR 6118 (ABNT, 2003)).

E por fim, a última classificação de ações são as ações excepcionais, que são aquelas cujos seus efeitos não podem ser controlados por outros meios. Como por exemplo: incêndios, explosões, abalos sísmicos (NBR 6118 (ABNT, 2003)).

2.6.1 Combinações das ações

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014) um carregamento é definido pela combinação das ações não desprezíveis de atuarem simultaneamente sobre a estrutura, durante um período preestabelecido.

As combinações das ações devem ser feitas de forma que possam ser determinados os efeitos mais desfavoráveis para a estrutura. Assim, a verificação da segurança em relação aos estados-limites últimos deve ser realizada em função das combinações últimas, enquanto a verificação em relação aos estados-limites de serviço deve ser realizada em função das combinações de serviço (NBR 6118 (ABNT, 2003)).

As combinações últimas são classificadas em: normal, especial ou de construção e excepcional. Enquanto as combinações de serviço são classificadas em quase permanentes, frequentes e raras (NBR 8681 (ABNT, 2003)).

2.7 Análise estrutural

Através das análises estruturais devem-se obter os esforços internos, tensões, deslocamentos e deformações em um elemento ou em toda a estrutura, com a finalidade de verificar corretamente os estados-limite último e de serviço (ABNT NBR 16055:2012 p. 11).

O modelo estrutural a ser analisado é composto pelos elementos estruturais básicos da edificação, como a geometria dos elementos estruturais, os carregamentos atuantes, as

condições de contorno, as características e respostas dos materiais, garantindo que sistemas estruturais resistentes sejam formados e os caminhos percorridos pelas ações até os apoios sejam representados de maneira clara (NBR 6118 (ABNT, 2003)).

Além disso, a NBR 16055 (ABNT, 2012) especifica que para estruturas de parede de concreto, a análise estrutural deve considerar o equilíbrio de todos os seus elementos e da estrutura como um todo, contemplando também as interferências com outros subsistemas.

A NBR 16055:2012 (ABNT, 2012) instaura que devem ser analisadas as ações no modelo de análise através de combinações raras, frequentes, quase permanentes e as relativas à segurança. Adicionalmente, esta mesma norma institui como hipóteses básicas a análise elástico-linear para obtenção dos esforços solicitantes e para a análise das situações de serviço no sistema de Paredes de Concreto. Para as análises em estado limite-último pode-se admitir a utilização dos esforços solicitantes obtidas também pela análise linear, com o objetivo de se obter as resultantes das tensões solicitantes, que devem ser utilizadas no dimensionamento. As paredes do sistema estrutural de contraventamento podem ser representadas como elemento linear, todavia devem ser consideradas as deformações por flexão e a deformação por cisalhamento. Por fim, no modelo de análise, deve ser considerado também a interação das paredes que se interceptam, distinguindo a posição do centro de gravidade e do centro de cisalhamento da seção transversal composta.

Para a execução do sistema construtivo de paredes de concreto, faz-se necessário o cumprimento de algumas premissas básicas, prescritas pela NBR 16055 (ABNT, 2012), como:

- para serem caracterizados como elementos de parede de concreto, o comprimento da parede deve ser maior ou igual a dez vezes a sua espessura. Quando essa premissa não for atendida, deve-se ser dimensionado como elemento linear de pilar, pilar parede ou viga-parede;
- a espessura da parede deve ser igual ou maior que 10 cm;
- a resistência característica à compressão do concreto (f_{ck}) deve ser menor ou igual a 40 MPa e deve atender aos requisitos de durabilidade em função da classe de agressividade ambiental, o qual é representada na Tabela 6.1 da NBR 6118 (ABNT, 2014);

- no dimensionamento deve ser considerado os esforços causados pelas restrições causadas pelos efeitos da variação volumétrica por retração e dilatação térmica;
- deve ser feita a análise dos esforços de torção, quando o centro de gravidade não coincidir com o centro de torção, no caso da utilização de modelos de barras para as paredes;

Visto que se refere a uma análise linear, o comportamento dos materiais é determinado como elástico linear. A NBR 16055 (ABNT, 2012) determina que na análise global, as características geométricas podem ser determinadas pela seção bruta de concreto, enquanto na análise local deve-se considerar eventuais fissuras no cálculo dos deslocamentos.

2.8 Dimensionamento

Prescrito pela NBR 16055 (ABNT, 2012), as paredes devem ser construídas monoliticamente e com armadura de ligação, levando em consideração as armaduras mínimas. Elementos pré-moldados não podem invadir a seção da parede a fim de preservar os efeitos do diafragma rígido e garantir a continuidade das paredes. As paredes devem ter extremidades com travamentos de no mínimo três vezes a sua espessura, além de haver a necessidade de travamento sempre que o comprimento da parede entre os travamentos ultrapassar duas vezes a sua altura geométrica.

2.9 Desforma

Segundo a NBR 16055 (ABNT, 2012), é necessário a realização do controle tecnológico do concreto fresco e endurecido.

Para o concreto em seu estado fresco, deve ser realizado o abatimento do tronco de cone, ou seja, o *Slump Test* e o *Slump Flow Test* (Figura 5), com as determinações das normas NBR NM 67 (ABNT, 1998) e NBR 12655 (ABNT, 2022), para garantir que a consistência do concreto que chega na obra é a especificada em projeto. Caso o concreto utilizado seja o autoadensável, após a incorporação do aditivo superplastificante, devem ser realizados ensaios previstos pela NBR 15823 (ABNT, 2017).

Figura 5 – Realização do Slump Flow Test em campo.



Fonte: Da autora (2022)

Já para o concreto em seu estado endurecido, deve-se comprovar a resistência de desforma na idade prevista em projeto, e posteriormente, comprovar a resistência característica do concreto (f_{ck}) em 28 dias.

Sendo assim, a desforma ocorre quando a estrutura atinge a resistência de projeto, ou seja, as fôrmas devem ser retiradas de forma que não ocasione fissuras e que nem prejudique o desempenho das paredes e lajes já concretadas. Portanto, as estruturas provisórias só serão retiradas quando a estrutura suportar sua própria carga, não sofrer deformações acima do limite de tolerância e suportar as sobrecargas de execução, ou seja, a carga da operação de trabalhadores e até mesmo da fôrma e materiais do pavimento superior a ser concretado.

2.10 Cura do concreto

Segundo Mehta e Monteiro (2014), a cura do concreto envolve uma combinação de condições que promovem a hidratação do cimento, como tempo, temperatura e umidade, consideradas imediatamente depois do lançamento de uma mistura de concreto na fôrma.

Enquanto não atingir o endurecimento satisfatório, o concreto deve ser protegido contra agentes que lhe são prejudiciais: mudanças bruscas de temperatura, secagem, vento, chuva forte, água torrencial, agentes químicos, choques e vibrações de intensidade que

possam produzir fissuração na massa do concreto ou afetar sua aderência à armadura. (COMUNIDADE DA CONSTRUÇÃO, 2008)

Especificado pela NBR 12645 (ABNT, 1992), deve-se sempre executar a cura do concreto e que seu início seja logo após a desforma, evitando-se assim a secagem prematura do concreto, minimizando as possibilidades de surgirem fissuras nas superfícies.

Além disso, a NBR 16055 (ABNT, 2012) determina que enquanto o concreto não atingir endurecimento satisfatório, ele deve ser curado e protegido contra agentes prejudiciais para evitar a perda de água pela superfície exposta, assegurar uma superfície com resistência adequada e assegurar a formação de uma capa superficial durável.

A NBR 14931 (ABNT, 2004) prescreve que o endurecimento do concreto pode ser acelerado, tanto por meio de tratamento térmico, quanto pelo uso de aditivos que não contenham cloreto de cálcio em sua composição e seja devidamente controlado, não dispensando de medidas de proteção contra a secagem.

De acordo com a NBR 12655 (ABNT, 2022), os elementos estruturais de superfície devem ser curados até que atinjam resistência característica à compressão (f_{ck}), igual ou maior que 15 MPa.

Uma outra alternativa para o processo de cura é a cura química, utilizada em obras onde há uma área muito grande exposta, sendo executada logo após a retirada das fôrmas.

Conforme apontado por Curti (2014), ao realizar a cura química em estruturas de paredes de concreto, deve-se deixar a película aplicada sobre o concreto por, no mínimo, sete dias. Os agentes de cura são à base de parafinas, ceras ou acrílicos que podem dificultar a aderência de argamassas de revestimentos, logo, antes de realizar o acabamento e revestimentos das paredes, o agente de cura precisa ser removido.

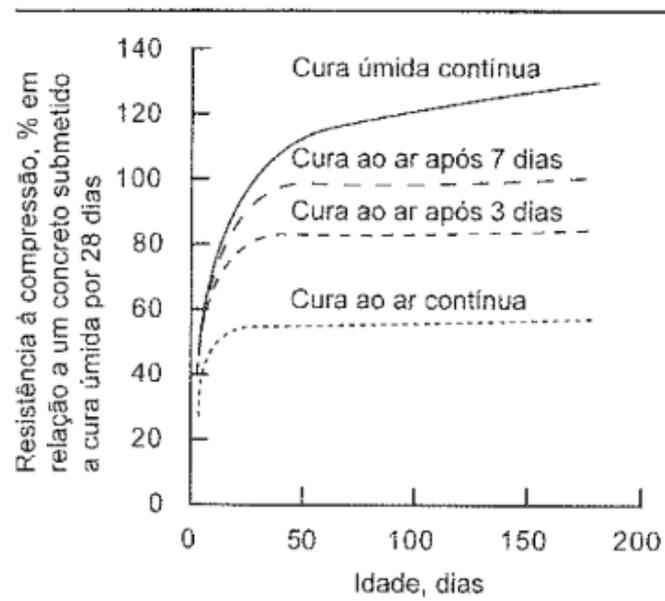
A não realização da etapa de cura do concreto pode ocasionar patologias, como fissuras de retração, além da perda de resistência do concreto.

Para o presente trabalho, é de suma importância avaliar a relação entre a resistência à compressão do concreto e o seu tempo de cura, em busca de garantir maior produtividade nesse parâmetro e garantindo que as solicitações sejam supridas.

A ACI Committee 209 recomenda, para concretos com cura úmida feita com cimento comum (ASTM Type I), cuja relação consiste na Equação 5 e está representada na Figura 6.

$$F_{cm} = f_{ck} 28 \cdot \left(\frac{t}{4+0,85t} \right) \quad (5)$$

Figura 6 – Influência das condições de cura sobre a resistência do concreto e suas idades.



Fonte: Mehta e Monteiro (2014)

3 METODOLOGIA

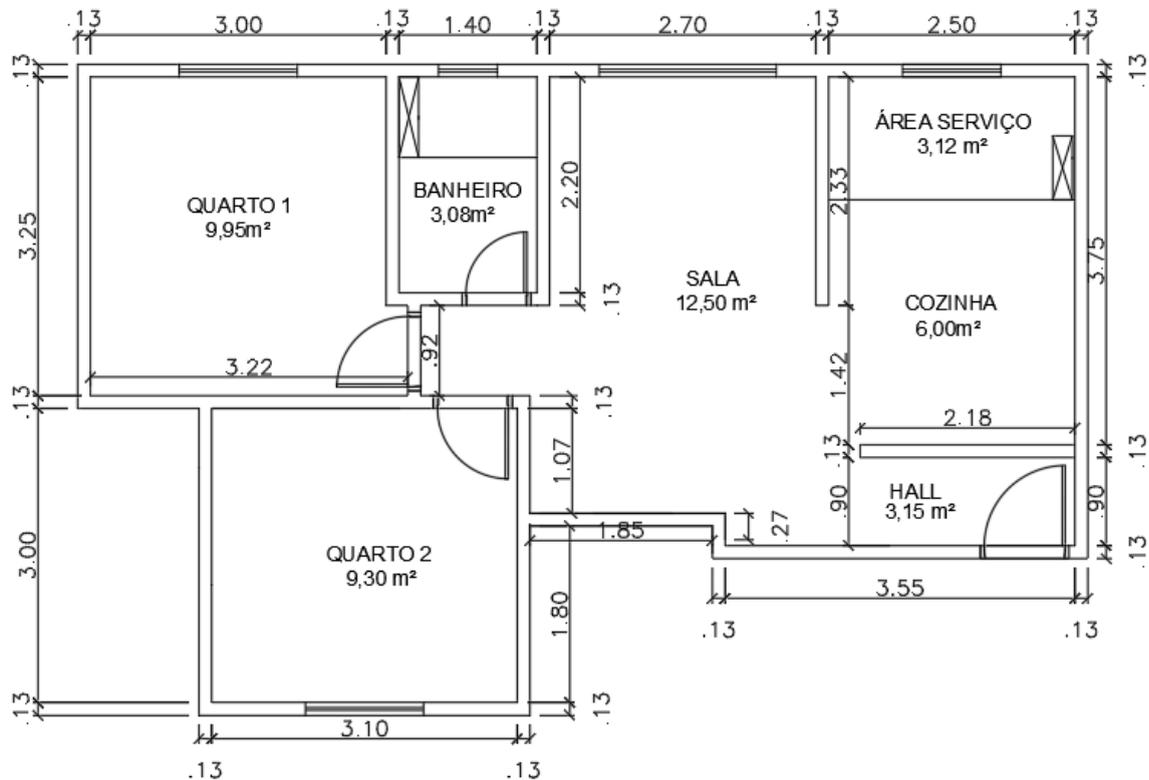
3.1 Considerações iniciais

Esse capítulo tem como objetivo descrever as análises realizadas e os métodos utilizados para obtenção dos resultados.

3.2 Projeto arquitetônico

Para a realização do estudo proposto, foi determinada uma planta baixa de um edifício residencial similar aos empreendimentos do programa de habitação, conforme demonstrado na Figura 7. Por considerá-lo um pavimento tipo, sua replicação para andares superiores foi realizada a fim de determinar novos pesos e solicitações.

Figura 7 - Representação da planta do edifício residencial com suas devidas cotas em metros.



Fonte: Da autora. (2022)

3.3 Determinação das idades

As propriedades mecânicas da estrutura serão analisadas nas seguintes idades: 6 horas, 12 horas, 2 dias, 3 dias, 7 dias, 14 dias, 21 dias e 28 dias. Tais idades referem-se respectivamente à desforma no mesmo dia da concretagem, desforma no dia seguinte à concretagem, concretagem do pavimento imediatamente acima, desforma com pausa de dias não úteis (finais de semana), três análises intermediárias e idade final para alcance do f_{ck} requerido. Vale salientar que as análises das idades intermediárias fazem-se necessárias para mensurar o ganho de resistência com o tempo, em busca de atender as solicitações em tempo reduzido em relação a idade final. A relação das idades e suas descrições constam na Tabela 3.

Tabela 3 – Relação entre idades e suas respectivas descrições.

Idade do concreto (dias)	Descrição
0,25	Desforma no mesmo dia da concretagem.
0,50	Desforma no dia seguinte da concretagem.
2	Concretagem do pavimento exatamente acima.
3	Desforma com pausa para dias não úteis.
7	Análise intermediária.
14	Análise intermediária.
21	Análise intermediária.
28	Análise em idade final para alcance do f_{ck} requerido.

Fonte: Da autora (2022).

Essa programação foi determinada de forma que um pavimento seja dividido em duas fases, ou seja, para executar um pavimento completo, faz-se duas concretagens. Assim, um pavimento é construído em um ciclo de dois dias. Além disso, nessa programação determinou-se que as concretagens aconteceriam apenas em dias úteis, ou seja, de segunda-feira a sexta-feira.

3.4 Determinação das cargas correspondentes às idades

Conforme a planta modelo elaborada (Figura 7), tem-se que um pavimento da edificação apresenta área de 48 m², perímetro de 64,20 metros e pé direito de 2,80 metros.

Conforme especificado pela NBR 6120 (ABNT, 2019), utilizou-se o peso específico do concreto armado como 25 kN/m³.

Além disso, foram estipuladas algumas cargas referentes aos materiais de construção que serão armazenadas nas lajes da estrutura, com base em prévia experiência da autora deste trabalho no canteiro de obras. Para isso, foram verificados projetos e manuais de fabricantes dos seguintes materiais, levando em consideração quantidades médias de execução. A Tabela 4 determina a carga total referente aos materiais construtivos para um único pavimento da edificação.

Tabela 4 - Armazenamento de materiais construtivos referentes a um pavimento,

Materiais	Quantidade	Peso (kg)	Peso total (kg)	Carga (kN/cm²)
Argamassa	36 sacos	20	360	$7,5 \times 10^{-6}$
Piso cerâmico	42 caixas	29,45	1236,90	$2,577 \times 10^{-5}$
Tinta	1 balde	19,5	19,5	$4,1 \times 10^{-7}$
Massa corrida	10 barricas	40	400	$8,33 \times 10^{-6}$
Argamassa cimentícia	6 sacos	15	90	$1,88 \times 10^{-6}$
TOTAL				$4,389 \times 10^{-6}$

Fonte: Da autora (2022).

A definição dessas cargas são específicas dessa análise, pois elas podem ser modificadas conforme a metragem quadrada do projeto, o padrão do empreendimento e as etapas da fase de acabamento e revestimento da estrutura.

As cargas mencionadas anteriormente serão armazenadas em conjunto e permanecerão alocadas até 28 dias após a concretagem da sua respectiva laje, como forma de padronizar as análises.

Como esse sistema construtivo é dinâmico e ágil, enquanto um pavimento encontra-se em etapa de desforma, outro já se apresenta em fase de montagem de armação. Logo, é preciso levar em conta a montagem das armações e o fechamento das fôrmas em andares superiores, bem como o peso das escoras, possuindo a carga total dessa execução para um pavimento representado na Tabela 5.

Tabela 5 - Materiais referentes ao início da etapa construtiva de um pavimento.

Materiais	Carga (kN/cm²)
Fôrmas (BKS, 2022)	$2,74 \times 10^{-5}$
Armações (parede+laje)	$1,312 \times 10^{-5}$
Escoras	$6,48 \times 10^{-6}$
TOTAL	$4,7 \times 10^{-5}$

Fonte: Da autora (2022).

Em seguida, também foi determinada a movimentação de pessoas nas lajes da estrutura, devendo-se levar em consideração que em cada laje haverá 2 funcionários, incidindo uma força de 1kN cada, conforme Tabela 6.

Tabela 6 - Carga referente a movimentação de trabalhadores nas lajes.

Trabalhadores	Carga (kN/cm²)
2	$4,17 \times 10^{-6}$

Fonte: Da autora (2022).

Vale salientar que, através de uma determinação comum em projetos, todas as cargas foram calculadas de forma distribuída por toda área da laje.

Para o presente trabalho, foi determinada uma programação de obra no qual haverá concretagem a cada dia útil, considerando que um pavimento completo é feito em dois dias, não levando em consideração possíveis imprevistos na programação. Com isso, foi possível especificar as cargas atuantes na estrutura em cada uma das suas idades.

Para 6 horas, ou seja, 0,25 dias, será considerado uma possível desforma suportando apenas o seu peso próprio.

Para 12 horas, ou seja, 0,5 dias, também será considerado a desforma convencional das construtoras, suportando o seu peso próprio e trânsito de pessoas estipulado.

Para 48 horas, ou seja, 2 dias, inicia-se a concretagem do pavimento imediatamente superior, sendo necessário considerar o peso próprio da estrutura, além dos materiais da etapa construtiva e circulação de pessoas nessa laje.

Para 3 dias, será resultante de pausas na programação quando houver dias não úteis, ou seja, será considerado o peso próprio da estrutura e circulação de trabalhadores, não havendo montagem de fôrmas e nem concretagem.

Para 7 dias, haverá a execução do segundo pavimento acima, ou seja, haverá a carga referente a etapa construtiva, circulação de trabalhadores em todas as lajes e armazenamento de materiais em um único pavimento.

Para 14 dias, haverá a execução do quinto pavimento acima, circulação de trabalhadores em todas as lajes e armazenamento de materiais nas lajes intermediárias.

Para 21 dias, haverá a execução do sétimo pavimento acima, circulação de trabalhadores em todas as lajes e armazenamento de materiais nas lajes intermediárias.

Para 28 dias, será considerada a execução do décimo pavimento acima, circulação de trabalhadores em todas as lajes e armazenamento de materiais nas lajes intermediárias.

Na Tabela 7 constam a relação entre as idades do concreto, a descrição das cargas que vão incidir na estrutura e o valor número das cargas, em kN/cm².

Tabela 7 - Materiais referentes ao início da etapa construtiva de um pavimento.

Idade do concreto (dias)	Descrição das cargas	Somatória das cargas (kN/cm²)
0,25	-	-
0,50	(1x) circulação de trabalhadores	4,17x10-6
2	(1x) circulação de trabalhadores + (1x) carga construtiva	5,12x10-5
3	(1x) circulação de trabalhadores	4,17x10-6
7	(1x) circulação de trabalhadores + (1x) carga construtiva + (1x) carga armazenada	5,31x10-5
14	(5x) circulação de trabalhadores + (1x) carga construtiva + (4x) carga armazenada	7,31x10-5
21	(7x) circulação de trabalhadores + (1x) carga construtiva + (6x) carga armazenada	8,52x10-5
28	(10x) circulação de trabalhadores + (1x) carga construtiva + (9x) carga armazenada	1,04x10-4

Fonte: Da autora (2022).

3.5 Cálculo das propriedades mecânicas

A fim de atingir um f_{ck} de 25 MPa em 28 dias, utilizando a Equação 5, foram analisadas quais resistências seriam atingidas em cada uma das idades do estudo.

Em seguida, foram calculados os valores de f_{cd} , ou seja, o coeficiente de resistência do concreto em fase de construção, representado pela Equação 6.

$$Fcd(t) = \frac{f_{cm}}{1,2} \quad (6)$$

O cálculo do Módulo de elasticidade foi realizado através da Equação 4, uma vez que o E_{ci} para concretos de 25 MPa é de 28 GPa.

Os resultados referentes aos processos anteriormente citados constam na Tabela 8.

Tabela 8 - Cálculo do f_{cm} , f_{ci} e E_{ci} .

Idade do concreto (dias)	f_{ck} (MPa)	f_{cm} (MPa)	f_{cd} (MPa)	E_{ci} (GPa)
0,25	25	1,484	1,236	6,82189
0,50	25	2,825	2,354	9,41233
2	25	8,772	7,310	16,58583
3	25	11,450	9,512	18,9491
7	25	17,588	14,656	23,4853
14	25	22,013	18,344	26,27408
21	25	24,027	20,022	27,44971
28	25	25,180	20,983	28,10061

Fonte: Do autor (2022).

3.6 Combinações das ações

Na análise para verificação de tensões serão utilizadas as combinações últimas especiais ou de construção (F_d), descrita na Equação 7. Nesta equação, tem-se o peso próprio da estrutura sua ação permanente direta (F_{gk}) e as ações variáveis diretas (F_{qk}) são determinadas pelo armazenamento dos materiais, trânsito de pessoas e materiais da etapa de execução. Vale salientar que para a análise proposta serão menosprezadas as ações indiretas permanentes ($F_{\varepsilon_{gk}}$), como a retração, e as variáveis ($F_{\varepsilon_{qk}}$), como a temperatura, uma vez que essas não são determinantes durante a etapa construtiva da edificação.

$$F_d = \gamma_g \cdot F_{gk} + \gamma_{\varepsilon g} \cdot F_{\varepsilon_{gk}} + \gamma_q (F_{q1k} + \sum \psi_{oj} F_{qjk}) + \gamma_{\varepsilon q} \psi_{o\varepsilon} F_{\varepsilon_{qk}} \quad (7)$$

Conforme Tabela 11.1 da NBR 6118 (ABNT, 2014), os coeficientes γ_g e γ_q para combinações últimas especiais ou de construção, considerando condições desfavoráveis, são respectivamente 1,3 e 1,2. O coeficiente ψ_o representa o fator de redução de combinação para as ações variáveis, sendo o ψ_{oj} referente a uma carga variável secundária e o $\psi_{o\varepsilon}$ referente às ações indiretas, como a retração e temperatura.

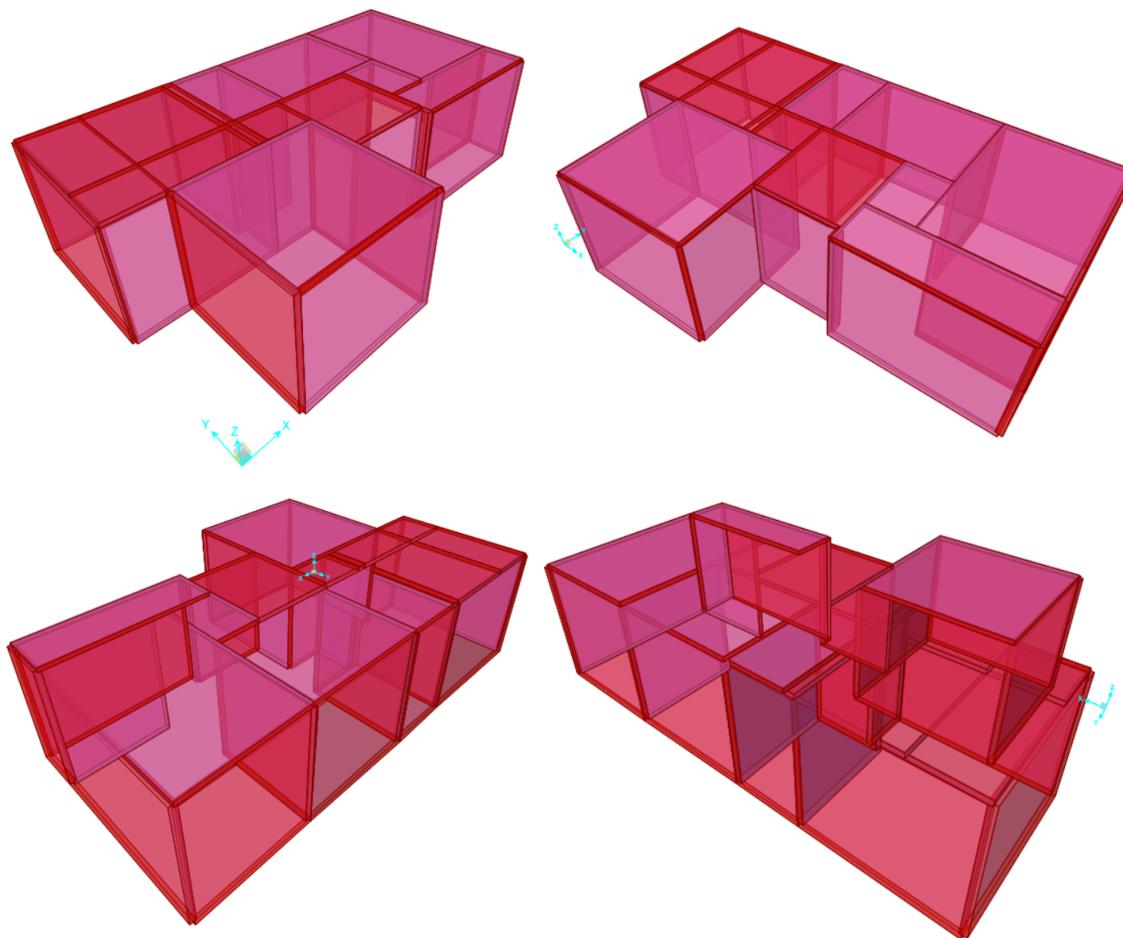
Em virtude das cargas não terem sido minoradas, a verificação de possíveis deslocamentos será feita através das combinações raras de serviço, uma vez que foram calculadas (Item 3.4) as cargas existentes durante o processo construtivo, ou seja, elas são mantidas por um de curto período de tempo, quando comparado com a vida útil da estrutura.

$$F_{d, ser} = \sum F_{gik} + F_{qik} + \sum \psi_{1j} F_{qjk} \quad (7)$$

3.7 Modelagem estrutural

Foi realizada a modelagem estrutural das paredes e das lajes com auxílio de um *software*. Em seguida, as condições de contorno foram impostas, juntamente com a definição dos materiais e das seções transversais. A estrutura resultante do procedimento citado anteriormente consta na Figura 8.

Figura 8 - Representação da modelagem das paredes e lajes da estrutura proposta.



Fonte: Da autora. (2022)

Com a estrutura modelada e suas especificações configuradas, foi possível realizar as análises conforme as combinações descritas anteriormente em todos os pontos da estrutura para todas as idades.

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1 Considerações iniciais

Neste capítulo serão apresentados os resultados e as análises provenientes da metodologia exposta. Será englobada a análise dos efeitos da desforma em cada uma das idades definidas, sendo determinados os deslocamentos e as tensões atuantes na estrutura.

4.2 Tensões máximas

As tensões máximas de compressão foram obtidas no *software*, utilizando as combinações últimas especiais ou de construção. Foram levantados dois valores para cada idade, sendo um deles para a maior solicitação na laje do pavimento em análise e a maior solicitação nas paredes de toda a estrutura, dentro do pavimento analisado. Os dados encontram-se dispostos na Tabela 9.

Após serem determinadas as tensões de compressão foi possível realizar um comparativo com os valores de f_{cd} anteriormente calculados pela Equação 6.

Tabela 9 - Maiores valores de tensão de compressão obtidos.

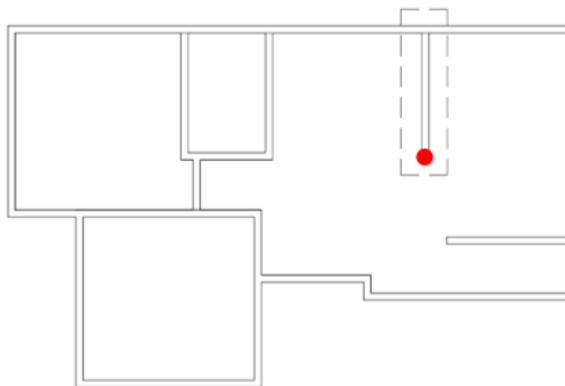
Idade do concreto (dias)	Tensão de compressão - Lajes (MPa)	Tensão de compressão - Paredes (MPa)	f_{cd} (MPa)
0,25	1,94158	1,17550	1,236
0,50	1,94158	1,14976	2,354
2	1,97330	1,17562	7,310
3	1,51995	0,85146	9,512
7	1,74686	0,69638	14,656
14	1,85877	0,98202	18,344
21	2,16569	1,37123	20,022
28	1,89846	1,56509	20,983

Fonte: Do autor (2022).

Foi possível perceber que a desforma em 6 horas não é viável, uma vez que pode ocorrer o esmagamento do concreto na laje, pois a tensão máxima de compressão ultrapassou o valor da resistência à compressão naquela idade. Por outro lado, todas as demais idades em análise, com as cargas pré-definidas para este projeto, são passíveis de desforma, uma vez que suas tensões atuantes são menores que sua resistência à compressão.

Através da análise das tensões atuantes nas lajes, foi notório que em todas as idades, a maior tensão de compressão atuou no mesmo ponto. O mesmo ocorreu na análise das tensões atuantes na parede. O ponto de maior solicitação encontra-se destacado na Figura 9.

Figura 9 - Localização da maior tensão de compressão.



Fonte: Da autora. (2022)

4.3 Deslocamentos

Os deslocamentos foram obtidos através do *software* utilizando as combinações raras de serviço para obtenção dos resultados. Os resultados constam na Tabela 10.

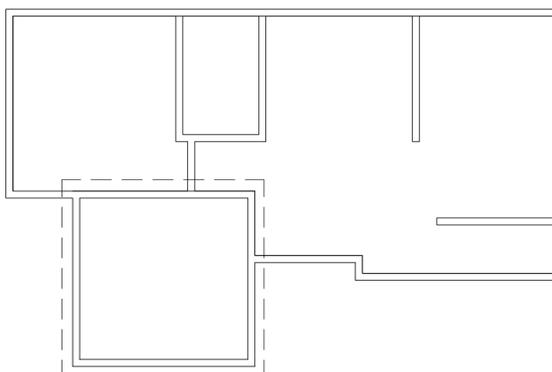
Tabela 10 - Deslocamentos das lajes da estrutura em análise.

Idade do concreto (dias)	Deslocamentos na laje (cm)
0,25	0,01717
0,50	0,05266
2	0,02988
3	0,01886
7	0,02359
14	0,02957
21	0,02176
28	0,02377

Fonte: Da autora (2022).

Ao analisar o deslocamento nas lajes, pôde-se perceber que o maior deslocamento, em todas as idades, consistiu no centro da mesma laje, o qual está representada na Figura 10.

Figura 10 - Localização da laje que sofreu maior deslocamento em seu centro.



Fonte: Da autora. (2022)

Dessa forma, foi analisado o deslocamento-limite com efeitos de análise sensorial conforme Equação, descrita na NBR 6118 (ABNT, 2014).

$$\text{deslocamento limite} = \frac{l}{250} \quad (8)$$

Onde l é o comprimento do menor vão da laje, em centímetros.

O comprimento do menor vão da laje que mais deslocou é 313 centímetros, sendo assim, utilizando a Equação 8, o deslocamento limite para todas as idades será de 1,252 cm. Nota-se que os deslocamentos obtidos são significativamente menores do que o valor limite. É importante salientar que para uma análise de flecha excessiva, dever-se-ia analisar os deslocamentos com cargas que atuarão ao longo de toda a vida útil da edificação, não apenas com as cargas de construção. Com isso, pôde-se perceber que com as cargas calculadas, os deslocamentos para todas as idades são pequenos perante ao deslocamento limite, podendo serem considerados desprezíveis.

5 CONCLUSÃO

O método construtivo em paredes de concreto armado apresenta grandes vantagens, entre elas: a padronização, o dinamismo e a agilidade dos processos. Assim, o presente trabalho analisou a desforma da estrutura de forma a garantir possíveis idades onde não há danos consideráveis à estrutura.

A metodologia consistia em, através de um *software* que utiliza elementos finitos, modelar uma edificação com *layout* semelhante ao implementado em estruturas de parede de concreto armado, juntamente com suas especificidades, ou seja, seu peso próprio, módulo de elasticidade, resistência à compressão do concreto e suas combinações últimas e de serviço para possíveis idades de desforma, sendo essas fixadas em: 6 horas, 12 horas, 2 dias, 3 dias, 7 dias, 14 dias, 21 dias e 28 dias. As cargas foram determinadas com base em materiais construtivos, circulação de trabalhadores e materiais solicitados para a execução desse método construtivo. Assim, com base nas idades e no plano de concretagem, foi determinado qual o acúmulo de carga em cada uma das idades de desforma. Dessa forma, foi realizado uma minuciosa análise no *software* das máximas tensões de compressão nas lajes e nas paredes do edifício e também analisar os deslocamentos das lajes da estrutura proposta.

Com a análise das tensões máximas de compressão, foi possível observar que o ponto de maior solicitação encontrou-se na mesma região, tanto nas lajes quanto nas paredes, para todas as idades de desforma da estrutura proposta. Além disso, através do comparativo com os valores de resistência do concreto em fase de construção, foi possível concluir que a desforma não é viável em 6 horas após a concretagem, uma vez que os seus valores obtidos via análise no *software* são inferiores ao limite estabelecido pelo f_{cd} . Na análise também foi possível determinar os deslocamentos sofridos pelas lajes da edificação, sendo o maior deles estabelecidos em 12 horas de desforma, com o valor de 0,05266 cm, na laje que apresenta o maior vão do pavimento tipo.

Dessa forma, foi possível determinar que a desforma após 12 horas não causa danos à edificação analisada, uma vez que as tensões máximas de compressão geradas não ultrapassam os valores da tensão limite do material em fase de construção. Todavia, vale salientar que as cargas estipuladas para essa análise são cargas durante a etapa construtiva, ou seja, são cargas baixas, diferente de uma análise utilizando cargas de utilização, no qual apresentaria maiores solicitações.

Como sugestão para trabalhos futuros, tem-se a análise da fissuração permanente que poderia aparecer nas paredes e nas lajes em função da desforma precoce; estudo da taxa de

armadura necessária para o aumento de produtividade tanto para a etapa construtiva (controle de fissuração) quanto para a capacidade resistente no estado limite último; estudo do custo de execução considerando as possíveis idades abordadas no presente trabalho.

6 REFERÊNCIAS

Agência IBGE. Custos da construção sobem 18,65% em 2021, maior taxa em nove anos. Editoria: Estatísticas econômicas - Alerrandre Barros. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/32719-custos-da-construcao-sobem-18-65-em-2021-maior-taxa-em-nove-anos#:~:text=O%20%C3%8Dndice%20Nacional%20da%20Constru%C3%A7%C3%A3o,com%20desonera%C3%A7%C3%A3o%2C%20iniciada%20em%202013>> Acesso em: 17 jun. 2022

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, Building Code Requirements for Structural Concrete, **ACI 318 R-95**, Farmington Hills, 369p, 1995.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto - Ensaios de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8522**: Concreto - Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681**: Ações e segurança nas estruturas - Procedimentos. Rio de Janeiro, 2003.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11768**: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland - Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12645**: Execução de parede de concreto celular espumoso moldado no local. Rio de Janeiro, 1992.

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 14931: Execução de Estruturas de Concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15266: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland - Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15823: Concreto autoadensável - Parte 1: Classificação, controle e recebimento no estado fresco. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16055: Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações. Rio de Janeiro, 2012.

BAZANT, Z. P., BAWEJA, S. Creep and shrinkage prediction model for analysis and design of concrete structures (Model B3). Report by ACI Committee 209, feb, 1995.

BKS, 2022. **Formas metálicas de Paredes e Lajes para Prédios de Concreto - Característica da forma FMP.** Disponível em: <<http://www.bks.ind.br/formas-metalicas-para-predios/>> Acesso em: 20 jun. 2022

CIMENTO ITAMBÉ. 2018. Altair Santos. **Cresce uso de paredes de concreto entre países latinos.** Disponível em: <<https://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/cresce-uso-de-paredes-de-concreto-entre-paises-latinos/>> Acesso em: 17 jun. 2022

CONCRETO & CONSTRUÇÃO - Sistemas construtivos, paredes de concreto, alvenaria estrutural e pré-fabricados de concreto. ED.90 - Abril-Junho - 2018.

CURTI, R.; A cura do concreto e a sua importância. **Núcleo de Parede de Concreto.** 2014 Disponível em: <<https://nucleoparededeconcreto.com.br/a-cura-do-concreto-e-sua-importancia/>> Acesso em: Julho de 2022.

BELEM J. V. F.; SILVA L. B. C.; **Análise do comportamento estrutural de edifícios em Paredes de Concreto armado moldadas in loco considerando o efeito da interação solo-estrutura.** Monografia, Escola de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, 2018.

BIDESE, C.; **Análise da influência de aberturas em Paredes de Concreto Armado.** Monografia, Área do conhecimento de Ciências Exatas e Engenharias, Universidade de Caxias do Sul, Bento Gonçalves, RS, 2020.

CAMBRAIA, M. N.; **Processo construtivo de Paredes de Concreto moldadas in loco em fôrmas de alumínio.** Monografia, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2017.

Associação Brasileira de Cimento Portland, ABCP. **COMUNIDADE DA CONSTRUÇÃO**, Coletânea de Ativos em Paredes de Concreto (2007/2008). 2008. Disponível em <<https://www.abcp.org.br/cms/download/?search=Parede%20de%20Concreto>>. Acesso em: Junho 2022.

FELIPE, A.M; CANSILIER, C.S.; **Estudo de viabilidade financeira comparando o sistema de Parede de Concreto armado e Parede de Alvenaria convencional em edificações multifamiliares de padrão popular.** Monografia, Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, SC, 2020.

LEONHARDT, F., MÖNNING, E. **Construções de concreto.** 1 ed. Volumes 1. Editora Interciência, 1977.

MACÊDO, J.S.; **Um estudo sobre o sistema construtivo formado por paredes de concreto moldadas no local.** Monografia, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Paraíba, João Pessoa, PB, 2016.

MARTIN, L.M.; **Paredes de concreto: Comparação entre critérios de dimensionamento adotados.** Monografia, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2010.

MEHTA, K.; MONTEIRO, P. J. M.; **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais.** 2 ed. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade da Califórnia em Berkeley, Estados Unidos. 2014.

MISSURELI, H.; MASSUDA, C.; **Como construir Paredes de concreto.** In: *Téchne*. Edição 147, ano 17, p. 74-80, 2009. Acesso em: 16 junho 2022.

MORAIS, G.M.; **Planejamento da Execução de Paredes de Concreto Armado: Um Estudo de Caso.** Monografia, Escola de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, 2017.

NP EN 1992-1-1:2010. **Eurocódigo 2 – Projeto de Estruturas de Betão – Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios.** Instituto Português da Qualidade.

Núcleo de Parede de Concreto. 2016. POR QUE PAREDE DE CONCRETO? Disponível em: <<https://nucleoparededeconcreto.com.br/por-que-parede-de-concreto/>> Acesso em: 17 jun. 2022.

PEIXOTO, L.K.S; **Análise e dimensionamento de Paredes de Concreto armado par\ fins de casas populares.** Monografia, Centro de Engenharias, Universidade Federal Rural do Semi-árido Mossoró, RN, 2019.

PONZONI, J.; **Paredes de Concreto moldadas in loco: verificação do atendimento às recomendações da norma NBR 16055/2012 nos procedimentos executivos em obra de edifício residencial.** Monografia, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2013.

Relatório de Gestão 2021 - Ministério do desenvolvimento regional. Disponível em <https://www.gov.br/mdr/pt-br/acesso-a-informacao/auditorias/relatorio_gestao_2021.pdf>. Acesso em: Julho de 2022.

SACHT, H. M. **Painéis de vedação de concreto moldado in loco: avaliação do desempenho térmico e desenvolvimento de concretos.** Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2008

SENAI, CBIC. **Construção Civil: desempenho 2021 e cenário para 2022**. Banco de Dados CBIC Dezembro/2021. Disponível em: <<https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2021/12/construcao-civil-desempenho-2021-e-cenarios-2022.pdf>> Acesso em: 17 jun. 2022.

TAGLIALEGNA, H.M.; MUNIZ, L.H.O.; **Sistema construtivo de Parede de Concreto: Análise, modelagem e dimensionamento de estruturas moldadas in loco**. Monografia, Centro Universitário CESMAC, Maceió, AL, 2017.