

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

GUILHERME SARTORI DE OLIVEIRA

**ANÁLISE COMPARATIVA DO PROCESSO CONSTRUTIVO DE
PAREDES ESTRUTURAIS DE CONCRETO REFORÇADO COM
FIBRA DE VIDRO EM RELAÇÃO AO CONCRETO ARMADO
CONVENCIONAL: UM ESTUDO DE CASO EM UMA OBRA DE
CONDOMÍNIO RESIDENCIAL DE HABITAÇÃO POPULAR**

Porto Alegre
Abril de 2023

GUILHERME SARTORI DE OLIVEIRA

**ANÁLISE COMPARATIVA DO PROCESSO CONSTRUTIVO DE
PAREDES ESTRUTURAIS DE CONCRETO REFORÇADO COM
FIBRA DE VIDRO EM RELAÇÃO AO CONCRETO ARMADO
CONVENCIONAL: UM ESTUDO DE CASO EM UMA OBRA DE
CONDOMÍNIO RESIDENCIAL DE HABITAÇÃO POPULAR**

Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Civil da
Escola de Engenharia, da Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, como requisito parcial para a obtenção do
Título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Lucas Alexandre Reginato

Porto Alegre
Abril, 2023

CIP - Catalogação na Publicação

Oliveira, Guilherme Sartori de
ANÁLISE COMPARATIVA DO PROCESSO CONSTRUTIVO DE
PAREDES ESTRUTURAIS DE CONCRETO REFORÇADO COM FIBRA DE
VIDRO EM RELAÇÃO AO CONCRETO ARMADO CONVENCIONAL: UM
ESTUDO DE CASO EM UMA OBRA DE CONDOMÍNIO RESIDENCIAL
DE HABITAÇÃO POPULAR / Guilherme Sartori de Oliveira.
-- 2023.
84 f.
Orientador: Lucas Alexandre Reginato.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de
Engenharia, Curso de Engenharia Civil, Porto Alegre,
BR-RS, 2023.

1. fibra de vidro. 2. concreto reforçado com fibra
de vidro. 3. concreto armado. 4. paredes de concreto.
5. paredes estruturais. I. Reginato, Lucas Alexandre,
orient. II. Título.

GUILHERME SARTORI DE OLIVEIRA

**ANÁLISE COMPARATIVA DO PROCESSO CONSTRUTIVO DE
PAREDES ESTRUTURAIS DE CONCRETO REFORÇADO COM
FIBRA DE VIDRO EM RELAÇÃO AO CONCRETO ARMADO
CONVENCIONAL: UM ESTUDO DE CASO EM UMA OBRA DE
CONDOMÍNIO RESIDENCIAL DE HABITAÇÃO POPULAR**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do
título de ENGENHEIRO CIVIL.

Porto Alegre, 14 de abril de 2023

Orientador: Prof. Lucas Alexandre Reginato
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

BANCA EXAMINADORA

Prof. Lucas Alexandre Reginato
(UFRGS)
Dr. pela Universidade Federal do Rio
Grande do Sul

Prof.a Luciani Somensi Lorenzi
(UFRGS)
Dra. pela Universidade Federal do Rio
Grande do Sul

Anielle Luine Perret Schulte
Enga. pela Universidade Federal do Rio
Grande do Sul

Dedico este trabalho às três mulheres da minha vida,
minha mãe Helena, minha irmã Juliane e minha
madrinha Ana Maria, que são meus exemplos
de força, perseverança e dedicação.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a minha mãe Helena, que nunca mediu esforços pra garantir uma boa educação e para me ajudar a conquistar meus sonhos. Agradeço por sempre ter acreditado em mim e por, mesmo longe, se mostrar tão presente. Obrigado por ter investido seu tempo e amor em mim. Obrigado por ser a melhor mãe que eu poderia ter.

Agradeço a minha irmã, Juliane, por ser minha confidente, e por me ajudar a passar por todas as adversidades que cruzaram meu caminho. Foi contigo que aprendi a sonhar alto e a lutar pelo que eu quero. Obrigado por ser muito mais que uma irmã, mas também uma amiga.

Agradeço a minha segunda mãe e madrinha Ana Maria, carinhosamente chamada de Madi, por me mostrar que o amor não tem limites. Agradeço por me ensinar a valorizar os momentos que vivemos juntos de quem a gente ama, e por demonstrar que um simples abraço pode transmitir um amor tão genuíno.

Agradeço a todos os meus amigos que tornaram o tempo que passei na UFRGS inesquecível, e me ajudaram a aliviar os momentos de estresse com muitas risadas e incentivos. Em especial às minhas duas amigas Júlia Millis e Natália Gindri que me acompanharam desde o primeiro semestre até o último dia de aula, sempre enfrentando os momentos difíceis ao meu lado, e dividindo lágrimas e sorrisos comigo. Obrigado por fazerem parte da minha vida e por me proporcionarem experiências inesquecíveis.

Agradeço ao professor Lucas Alexandre Reginato por topar ser meu orientador, me aceitando como seu primeiro orientando e desbravar esse novo desafio junto comigo. Agradeço pela confiança e pelas horas dedicadas a me auxiliar durante o desenvolvimento do trabalho.

Agradeço à professora Cristiane Sardin Padilla de Oliveira por ser uma referência em dedicação e qualidade no ensino, e ao professor João Ricardo Masuero por se mostrar presente tanto dentro como fora da sala de aula e ser um porto seguro para muitos alunos desesperados com a faculdade. Por ambos sempre trazerem um sorriso no rosto que ajudou a deixar os dias estressantes mais tranquilos, e por terem se tornado mais que professores, amigos. E é com orgulho que os tenho como Professora Paraninfa e Professor Homenageado.

Agradeço a UFRGS por, mesmo enfrentando cortes de orçamento e passando por diversas greves e paralizações, manter a excelência no ensino se provando como uma das melhores do país. E finalmente, a cada um que contribuiu com minha evolução, meu muito obrigado.

Creio que quase sempre é preciso um golpe de loucura
para se construir um destino.

Marguerite Yourcenar

RESUMO

É comum novas tecnologias enfrentarem uma grande resistência para se inserirem num mercado tão tradicional como o da construção civil. Atualmente, os concretos reforçados com fibras estão tomando espaço nas obras e revelando suas diversas vantagens. Um deles, o concreto reforçado com fibra de vidro, se mostrou eficaz na sua utilização em paredes de concreto. Com base nesse novo processo construtivo, o trabalho traz como objetivo a comparação entre o CRFV e o já conhecido concreto armado convencional, detalhando ambas execuções e custos envolvidos. No presente trabalho, fez-se o acompanhamento da implantação do concreto reforçado com fibra de vidro, substituindo o concreto armado convencional, nas paredes de concreto estrutural de uma obra de condomínio residencial de habitação popular, onde o principal índice de aprovação para a Construtora é a redução de custo com preservação da qualidade. Para isso foram acompanhados ambos os sistemas construtivos e analisados seus custos de aplicação em uma mesma obra. Como principal resultado, verificou-se que a substituição do concreto armado convencional pelo concreto reforçado com fibra de vidro simplificou algumas atividades presentes na execução das paredes de concreto, além de tornar a conferência de serviços mais rápida e simples. Porém, mostrou um grande aumento no custo por unidade habitacional, o que causa um grande impacto no custo total da obra. Além disso, é previsto um aumento ainda maior nos custos de controle tecnológico com a publicação de uma nova norma regulamentadora de execução de estruturas de concreto reforçado com fibras. O que, para a Empresa e para obras deste modelo, se mostra uma grande desvantagem.

Palavras-chave: parede de concreto, concreto reforçado com fibras, fibra de vidro, custo.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Etapas do trabalho (elaborado pelo autor).....	23
Figura 2: Pacote de fibras de nylon (Fonte: https://www.reisereis.com.br).....	27
Figura 3: Fibras de polipropileno (Fonte: https://www.neomatex.com.br).....	28
Figura 4: Fibras de aço (Fonte: https://www.solucoesindustriais.com.br).....	29
Figura 5: Fibras de vidro (Fonte: https://revistaadnormas.com.br).	31
Figura 6: Fluxograma da metodologia do trabalho (Elaborado pelo autor).	33
Figura 7: Layout do pavimento (Fonte: fornecido pela Empresa).....	36
Figura 8: Layout arquitetônico do apartamento (Fonte: fornecido pela Empresa).....	37
Figura 9: Layout da obra estudada (Fonte: fornecido pela Empresa).....	38
Figura 10: Esquemática de tombamento de torres (Elaborado pelo autor).....	38
Figura 11: Esquema de divisão da equipe de estrutura (Elaborado pelo autor).	39
Figura 12: Em 10 dias, cada jogo de fôrmas produz 1 torre (estrutura) (Elaborado pelo autor).	40
Figura 13: Torre com atividades de estrutura e acabamentos finalizadas (Fonte: o autor).	41
Figura 14: Solução química HIT-RE 10 ANCORAGEM EPÓXI (Fonte: https://www.hilti.com.br)	45
Figura 15: Execução da fixação dos arranques do radier (Fonte: o autor).....	45
Figura 16: Indicação da parede excêntrica do apartamento adaptado PNE (Fonte: fornecido pela Empresa).	47
Figura 17: Tubulações elétricas embutidas presas na armação da parede (Fonte: o autor)....	48
Figura 18: Levante de armação de uma parte do segundo pavimento (Fonte: o autor)	49
Figura 19: Recorte de projeto de reforço da janela do dormitório (Fonte: fornecido pela Empresa).....	50
Figura 20: Barras de reforços de janela prolongadas até a laje (Fonte: o autor).	51
Figura 21: Moldura de reforço encaixada nos tapa-muros da janela (Fonte: o autor).....	52
Figura 22: Caixa elétrica presa por encaixe na tampa fixada na fôrma (Fonte: o autor).....	53
Figura 23: Caixa elétrica prensada entre duas formas (Fonte: o autor).....	53
Figura 24: Passante do ar condicionado preso por encaixe nas tampas fixadas na fôrma (Fonte: o autor).....	54
Figura 25: Mangueiras elétricas presas nos painéis através de espaçadores (Fonte: o autor). 54	
Figura 26: Fôrmas de alumínio usadas pela empresa (Fonte: o autor).....	55
Figura 27: Superfícies das placas limpas (Fonte: o autor).....	56
Figura 28: Placa com o desmoldante aplicado (Fonte: o autor).	56
Figura 29: Primeiro lado de fôrmas montado (Fonte: o autor).....	57
Figura 30: Colocação das corbatas (Fonte: o autor)	58
Figura 31: Garantir o uso de camisinha para evitar a aderência da gravata ao concreto (Fonte: o autor).....	58
Figura 32: Corbata encunhada tipo I (Fonte: o autor)	59
Figura 33: Corbata encunhada tipo II (Fonte: o autor).....	59
Figura 34: Esquadros de canto (Fonte: o autor)	59
Figura 35: Alinhadores de fôrma (Fonte: o autor).....	59
Figura 36: Realização do ensaio de slump (Fonte: o autor)	61

Figura 37: Concretagem com caminhão betoneira e bomba lança (Fonte: o autor)	61
Figura 38: <i>Flow test</i> do concreto autoadensável (Fonte: o autor).....	63
Figura 39: Fibra de vidro usada como adição no concreto (Fonte: o autor)	63
Figura 40: Retirada do corpo de prova ensaiado da prensa manual (Fonte: o autor)	64
Figura 41: Parede de concreto em fase de desforma (Fonte: o autor).....	64
Figura 42: Materiais de montagem de forma, armação e elétrica acumulados por conta da interferência de atividades (Fonte: o autor)	68
Figura 43: Atividade de embutidos sendo feita durante a montagem das fôrmas (Fonte: o autor)	69
Figura 44: Pontas dos espaçadores expostas na pós-concretagem (Fonte: o autor).....	70
Figura 45: Pontas dos espaçadores cortadas e arrematadas na pós-concretagem (Fonte: o autor)	70
Figura 46: Representação gráfica dos custos de cada sistema construtivo (Elaborado pelo autor)	80
Figura 47: Representação gráfica do percentual de diferença de custos de cada sistema construtivo (Elaborado pelo autor)	80

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Comparação das etapas executivas de cada sistema (Fonte: elaborado pelo autor)	66
Quadro 2: Comparação dos efetivos para a execução plena de cada sistema (Fonte: elaborado pelo autor).....	71
Quadro 3: Quantitativo e custo do controle tecnológico do concreto armado convencional (Fonte: elaborado pelo autor)	72
Quadro 4: Quantitativo e custo do aço usado no concreto armado convencional (Fonte: elaborado pelo autor)	73
Quadro 5: Quantitativo e custo dos itens usados na fôrma no concreto armado convencional (Fonte: elaborado pelo autor)	74
Quadro 6: Quantitativo e custo do tipo de concreto usado no concreto armado convencional (Fonte: elaborado pelo autor)	74
Quadro 7: Quantitativo e custo do controle tecnológico do CRFV (Fonte: elaborado pelo autor).....	75
Quadro 8: Quantitativo e custo do aço usado no CRFV (Fonte: elaborado pelo autor).....	76
Quadro 9: Quantitativo e custo dos itens usados na fôrma no CRFV (Fonte: elaborado pelo autor).....	77
Quadro 10: Quantitativo e custo dos tipos de concreto usados no CRFV (Fonte: elaborado pelo autor).....	78
Quadro 11: Quantitativo e custo da fibra de vidro usada no CRFV (Fonte: elaborado pelo autor).....	78
Quadro 12: Comparativo final de custos entre concreto armado convencional e CRFV (Fonte: elaborado pelo autor).....	79

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	19
2.	DIRETRIZES DA PESQUISA	21
2.1.	QUESTÃO DA PESQUISA	21
2.2.	OBJETIVO DA PESQUISA	21
2.2.1.	Objetivo Principal	21
2.2.2.	Objetivos Secundários.....	21
2.3.	PRESSUPOSTO.....	22
2.4.	DELIMITAÇÕES	22
2.5.	LIMITAÇÕES.....	22
2.6.	DELINEAMENTO	23
3.	FIBRA DE VIDRO COMO REFORÇO ESTRUTURAL NO CONCRETO	25
3.1.	CONCRETO COM FIBRAS	25
3.2.	FIBRAS.....	27
3.2.1.	Fibras de nylon	27
3.2.2.	Fibras de polipropileno.....	28
3.2.3.	Fibras de aço	29
3.2.4.	Fibras de vidro.....	30
4.	METODOLOGIA	33
4.1.	ESTUDO DE CASO	35
4.1.1.	Descrição do sistema e processo construtivo.....	35
4.1.2.	Organização da empresa.....	38
4.2.	ESCOLHA DO OBJETO DE ESTUDO.....	41
5.	PAREDE DE CONCRETO.....	43
5.1.	CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA.....	43
5.2.	ETAPAS CONSTRUTIVAS	43
5.2.1.	Fundações.....	44
5.2.2.	Armação e Embutidos.....	46
5.2.2.1.	Concreto armado convencional.....	46
5.2.2.2.	Concreto reforçado com fibra de vidro	49
5.2.3.	Fôrma	54
5.2.4.	Montagem.....	56
5.2.5.	Concreto	60
5.2.5.1.	Concreto armado convencional.....	60
5.2.5.2.	Concreto reforçado com fibra de vidro	62
5.2.6.	Desforma	64
6.	RESULTADOS.....	65
6.1.	COMPARAÇÃO EXECUTIVA.....	65
6.2.	COMPARAÇÃO DE EFETIVO DE FUNCIONÁRIOS.....	71
6.3.	COMPARAÇÃO DE CUSTOS	72

6.3.1.	Concreto armado convencional.....	72
6.3.2.	Concreto reforçado com fibra de vidro	75
6.3.3.	Comparativo.....	79
6.4.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	81
	REFERÊNCIAS.....	83

1. INTRODUÇÃO

Como sabemos, a construção civil é um dos grandes motores da nossa economia. Em 2019 a construção civil representava 6,7 milhões de postos de trabalho. Isso era o equivalente a 7,3% de todos os empregos no Brasil. Ou seja, um a cada 14 pessoas empregadas, uma trabalha na construção civil (ESTADÃO, 2019). O setor sofreu baixa durante a pandemia de Covid-19, o que resultou em mais de 12 milhões de pessoas desempregadas. No entanto, no começo de 2022, a construção civil começou a dar sinais de recuperação com um crescimento de 150% na geração de empregos em relação a 2021 (DEGANI, 2022).

A pandemia também causou efeitos a longo prazo na produção e custo de insumos da construção civil. O ano de 2021 apresentou um elevado índice de falta de materiais e aumento no seu valor de venda. De acordo com a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC), a alta pode ser comprovada pelo Índice Nacional de Custo da Construção (INCC) para materiais e equipamentos, que acumulou, em 12 meses encerrados em setembro de 2021, alta de 30,24%, um recorde para o período, na era pós-real. “Os insumos que mais influenciaram esse aumento, segundo o INCC, foram os vergalhões e arames de aço, os tubos e conexões de ferro e aço e os tubos e conexões de PVC. A alta de custos é o principal problema da indústria, na visão dos empresários”, informou a CBIC.

Com a alta nos preços dos insumos para a construção civil e o avanço das tecnologias, somado à escassez de alguns recursos naturais, surge a necessidade de reinventar as matérias primas da engenharia. Buscando novos materiais que sejam mais sustentáveis, com menor custo e que apresentem os mesmos benefícios que os usados normalmente. Entre eles, um dos que mais se destacam são as fibras, que promete melhorar características como trabalhabilidade, tenacidade, resistência ao impacto e o controle de fissuração. O interesse pelo concreto reforçado com fibras (CRF) se explica por algumas vantagens práticas oferecidas por este compósito. A principal delas é dispensar grande parte do trabalho de montagem de armaduras como ocorre no concreto armado.

São três os tipos de materiais mais utilizados na fabricação de fibras para concreto: aço, vidro ou polímeros (polipropileno ou nylon). As fabricadas com estes dois últimos materiais são classificadas como sintéticas, enquanto as metálicas são feitas com aço. Vale destacar que sua dosagem em relação ao concreto fabricado dependerá da finalidade da estrutura em questão. Pode ser que o uso seja convencional ou sirva a construção de um pavimento bastante rígido (CARNIO, 2022).

Carnio (2022) diz que a escolha do tipo de fibra para adicionar ao concreto depende da situação do projeto e da sua viabilidade de custo. Uma vez verificado o desempenho da fibra, resta avaliar qual delas será mais vantajosa quanto ao seu custo.

Segundo Carnio (2022), as fibras têm as mesmas funcionalidades, mas nem sempre entregam os mesmos resultados. Por exemplo, em algumas situações de edificações portentosas, a escolha certamente deve ser pela fibra de aço, pois a resistência final oferecida ao compósito juntamente com o concreto é a maior entre todas as fibras.

Esse interesse em novas tecnologias foi o que originou o foco deste estudo, que é a comparação entre dois processos construtivos diferentes, concreto armado convencional e concreto reforçado com fibra de vidro, em uma obra de um condomínio residencial de baixa renda.

2. DIRETRIZES DA PESQUISA

As diretrizes para o desenvolvimento do trabalho são descritas nos próximos itens.

2.1. QUESTÃO DA PESQUISA

A questão da pesquisa deste trabalho surge da curiosidade em comparar dois processos construtivos diferentes, um mais convencional e comumente aplicado (concreto armado), e o outro com um destaque mais recente e conhecido como alternativo (concreto reforçado com fibra de vidro), aplicados em paredes estruturais de um condomínio residencial de habitação popular. E pode ser representada pela seguinte pergunta: quais são as vantagens e desvantagens de substituir o concreto armado convencional pelo concreto reforçado com fibra de vidro em paredes de concreto estrutural de empreendimentos residenciais de baixo padrão e execução rápida?

2.2. OBJETIVO DA PESQUISA

Os objetivos deste trabalho estão classificados em principal e em secundários e serão apresentados nos próximos itens.

2.2.1. Objetivo Principal

O objetivo principal do trabalho é analisar e comparar o processo construtivo de paredes estruturais de concreto reforçado com fibra de vidro (CRFV) em relação ao concreto armado convencional, aplicados a uma obra residencial de habitação popular. Para, assim, compreender as vantagens e desvantagens de cada alternativa.

2.2.2. Objetivos Secundários

Como objetivos secundários, o trabalho pretende:

- a. Levantar o quantitativo de materiais e mão-de-obra de cada processo construtivo.
- b. Comparar e analisar os custos, praticados pela construtora, de ambos processos.
- c. Avaliar a aceitação dessa alternativa como substituição ao concreto armado convencional.

2.3. PRESSUPOSTO

Considera-se como pressuposto deste trabalho a conclusão acerca da viabilidade da aplicação da tecnologia alternativa CRFV, como substituto do concreto armado convencional em futuras obras da Empresa. Além disso, pode trazer novas ideias relacionadas a esses processos construtivos alternativos que são pouco usados e aceitos atualmente no mercado de construção civil.

2.4. DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se a estudar a realidade de uma empresa cuja estratégia é a produção em larga escala de habitações multifamiliares de baixo padrão através do uso de paredes estruturais de concreto moldado in loco com fôrma de alumínio. Onde a rapidez na produção e a redução de custos envolvidos são as premissas para o aumento do lucro da incorporadora. Deste modo, os resultados não podem ser generalizados a todos os tipos de construções e empresas do ramo. Delimita-se, também, à descrição técnica de processos construtivos de paredes estruturais de concreto e à comparação de custos utilizando dados fornecidos pela Empresa. Delimita-se ainda, a análise de equipes padrão, isto é, equipes que são responsáveis pelos mesmos processos construtivos em todas as obras da empresa.

2.5. LIMITAÇÕES

O trabalho limita-se ao processo construtivo de paredes estruturais de concreto, não analisando o processo construtivo das lajes. Também, não serão aprofundadas as propriedades físicas dos materiais e nem feitos ensaios em laboratório. Além disso, limita-se aos custos praticados e fornecidos pela Empresa, não utilizando dados de custos de outras bibliografias.

2.6. DELINEAMENTO

O trabalho seguiu as etapas descritas a seguir, e representadas na Figura 1:

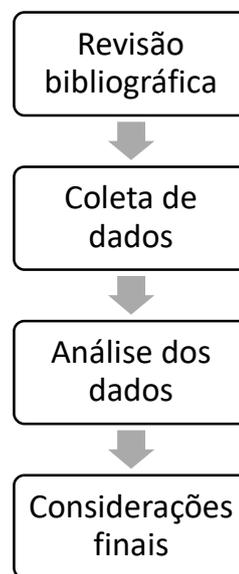


Figura 1: Etapas do trabalho (Elaborado pelo autor).

a) **Revisão bibliográfica:** como embasamento para a realização do trabalho, utilizou-se livros, artigos e outros trabalhos acadêmicos encontrados na internet, que abordam temas sobre paredes de concreto ou fibra de vidro. Os custos de materiais e mão-de-obra foram fornecidos pela empresa.

- b) Coleta de dados: através do estudo de caso, foi possível realizar o acompanhamento do processo construtivo de uma empresa construtora que utiliza paredes estruturais de concreto moldado in loco. Os dados apresentados incluirão caracterização da Empresa, bem como um diagnóstico de processos e operações. Os dados coletados correspondem ao período de dezembro de 2022 a fevereiro de 2023.
- c) Análise integrada: pretende-se identificar e analisar as vantagens e desvantagens do concreto reforçado com fibra de vidro comparado ao concreto armado convencional e os custos envolvidos em sua implementação.
- d) Considerações finais: apresentação de conclusões obtidas ao final do trabalho e sugestões de continuidade de pesquisa.

3. FIBRAS COMO REFORÇO ESTRUTURAL NO CONCRETO

O concreto reforçado com fibras é uma tecnologia ainda pouco utilizada no mercado da construção civil, que apresenta carência de normatização técnica nacional em alguns pontos. Atualmente, os concretos reforçados com fibra de vidro são contemplados pela diretriz SINAT nº 001.

3.1. CONCRETOS COM FIBRAS

A ideia fundamental dos concretos com fibras tem seu marco inicial com a tese de Krenchel (1964, apud AGOPYAN, 1983) na Dinamarca, seguido de Goldfein (1965), nos Estados Unidos da América, onde são apresentadas ideias básicas fundamentadas em amplos trabalhos experimentais.

A análise conceitual de um concreto com fibras fundamenta-se na teoria dos compósitos, em que se tem uma matriz, que, neste caso particular, é constituída de pasta de cimento, argamassa ou concreto, e a incorporação de fibras, vegetais ou artificiais.

As principais propriedades desses concretos podem ser assim resumidas (DANTAS, 1987, apud FREIRE; BERALDO, 2003):

- A massa específica resultante do compósito é praticamente definida pela da matriz;
- Observa-se normalmente uma redução da resistência à compressão axial;
- Normalmente se tem um aumento da relação entre a resistência à tração na flexão e a resistência à compressão axial;
- Há uma mudança no comportamento das curvas tensão x deformação, conferindo ao compósito uma maior ductilidade que aquela da matriz;
- Aumento da resistência ao impacto, sendo essa a maior interferência no comportamento do compósito endurecido.

Atualmente, a prática de utilização do CRF no Brasil pode ser descrita como uma atividade basicamente empírica, pois é muito frequente a utilização de teores fixos de fibras e a total ausência de procedimentos de controle da qualidade do compósito (FIGUEIREDO, 2011). A pesquisa sobre o CRF, no âmbito mundial, é liderada pela Europa e Estados Unidos. Nestes países realidade é bem distinta dos demais, e do Brasil em particular, começando por uma normalização bem estabelecida, o que é um empecilho para a utilização dessa tecnologia aqui no país.

No principal evento internacional da área do CRF (7th International RILEM Symposium on Fibre Reinforced Concrete - BEFIB, 2008), a grande maioria dos trabalhos publicados abordava o uso de fibras no concreto autoadensável, nos concretos de alta e muito alta resistência e os CRF de elevados teores de fibras. Como exemplo deste enfoque, o trabalho experimental apresentado por Destrée (2008, apud FIGUEIREDO, 2011) que utilizou o CRF como reforço de lajes suspensas de edifícios, demandando um consumo de fibras de 100 kg/m³. Numa aplicação como esta, o custo do metro cúbico do concreto seria multiplicado por cerca de cinco vezes. Isto praticamente inviabiliza sua aplicação para cenários de mercado como o brasileiro, por exemplo (FIGUEIREDO, 2011).

Um outro grande campo de investimento em pesquisa recente é o da modelagem do comportamento do CRF. Este é um tema muito importante atualmente por possibilitar melhores orientações para o desenvolvimento do material e, inclusive, para direcionar a pesquisa tecnológica. As pesquisas são, em sua maioria, de modelagem numérica e, futuramente, poderão gerar modelos de dimensionamento para inúmeras aplicações dos CRF. A falta de modelos consistentes de dimensionamento gera uma pluralidade de métodos de ensaio propostos para o controle do CRF. Ironicamente, mesmo havendo essa grande diversidade de métodos de ensaio no exterior, é frequente a omissão do uso de qualquer método de ensaio para a verificação do comportamento do material nas obras brasileiras. Ou seja, a realidade brasileira é bem distinta da dos países desenvolvidos e, por isso, merece uma atenção específica.

3.2. FIBRAS

Segundo Figueiredo (2011), o CRF pode ser considerado um compósito, onde as fibras tem um papel essencial. As fibras são elementos descontínuos, e seu comprimento é bem maior que a maior dimensão da seção transversal. As fibras que são utilizadas no reforço do concreto são chamadas genericamente de macrofibras. Há também as microfibras, poliméricas em geral, cujo emprego não foca o reforço do concreto. Dentre as fibras artificiais mais comumente usadas como reforço de matrizes cimentantes, estão as fibras de nylon, polipropileno, aço e vidro.

3.2.1. Fibras de nylon

Fibras de nylon, de densidade específica de $1,14 \text{ kg/dm}^3$, foram utilizadas por Nascimento et al. (1997, apud FREIRE; BERALDO, 2003) como reforço de argamassas de cimento:cal:areia lavada de traço 1:2:8, em volume. As microfibras foram adicionadas à razão de 500 g/m^3 de argamassa, com relação água-cimento igual a 0,67. Os autores observaram que a incorporação de microfibras de nylon conferiu à argamassa notável redução de retração por secagem, pequenos acréscimos no valor da resistência à compressão simples (para maiores idades) e praticamente nenhum efeito sobre a resistência à tração simples. Quando incorporadas no concreto fresco, elas ajudam na redução do surgimento de microfissuras na fase de retração inicial (FREIRE; BERALDO, 2003).



Figura 2: Pacote de fibras de nylon (Fonte: <https://www.reisereis.com.br>).

3.2.2. Fibras de polipropileno

De forma semelhante ao experimento citado acima, Dafico et al. (1997, apud FREIRE; BERALDO, 2003) utilizaram fibras de polipropileno em argamassas de assentamento de blocos cerâmicos com furos na vertical, adicionando quatro teores de fibra (0,0%, 0,5%, 1,0% e 1,5%) à argamassa de cimento:cal:areia média de traço 1:2:6, em volume. O cimento usado foi o CP I S-32. Ao final, os autores concluíram que o teor de 0,5% de fibras de polipropileno foi suficiente para garantir à argamassa fresca suficiente trabalhabilidade, para evitar seu deslizamento para dentro dos furos dos blocos cerâmicos com a qual eram assentados. Observou-se também pequena redução na compressão diametral dos corpos de prova moldados (FREIRE; BERALDO, 2003).

As fibras plásticas de polipropileno (Figura 3) são fibras resistentes aos ácidos, álcalis, água do mar e produtos químicos, possuem, ainda, segundo a literatura especializada, grande resistência à quebra e à abrasão e são menos predispostas ao desgaste e ao rasgo. Quando incorporadas ao concreto ainda fresco, as fibras atuam no sentido de reduzir a formação de microfissuras na fase de retração inicial. Depois de endurecido o concreto, todavia, essas fibras deixam de ter qualquer efeito sobre o controle de fissuras e de reforço (FREIRE; BERALDO, 2003).



Figura 3: Fibras de polipropileno (Fonte: <https://www.neomatex.com.br>).

3.2.3. Fibras de aço

Fibras de aço (Figura 4) são fabricadas com base em fios de aço trefilados e apresentam-se com as extremidades dobradas para favorecer a ancoragem dentro da matriz cimentante.

A qualidade dos concretos reforçados com fibras de aço depende basicamente do fator de forma (relação entre o comprimento e o diâmetro da fibra), de tal modo que, quanto maior for esse fator, melhor será o seu desempenho. Esse conceito de fator de forma é semelhante ao índice de esbeltez. O desempenho das fibras depende, ainda, da dosagem e de outras características próprias, como sua resistência à tração e ancoragem (FREIRE; BERALDO, 2003).

Com as fibras de aço é possível controlar a propagação de fissuras no concreto, além de garantir maior durabilidade das estruturas; sua aplicação é rápida e fácil, uma solução eficaz e econômica (Belgor Mineira Bekaert Arames S.A.).



Figura 4: Fibras de aço (Fonte: <https://www.solucoesindustriais.com.br>).

Armelin (1993, apud FREIRE; BERALDO, 2003) dedicou-se ao estudo do concreto projetado reforçado com fibras de aço, realçando o fato de que o comprimento das fibras tende a ser um fator limitante das operações de mistura e transporte pneumático do concreto. Embora, na construção civil, sejam mais utilizadas fibras de aço de relação de aspecto na faixa de 30 a 150, e comprimentos e diâmetros usualmente compreendidos, respectivamente na faixa de 0,1 cm a 7,62 cm e 0,13 mm a 0,9 mm, o autor admitiu que o comprimento ideal está em torno de 2,54 cm e o teor máximo de fibra empregado no concreto projetado está limitado a 2%. O teor usual encontra-se abaixo de 1%.

Para Armelin (1993, apud FREIRE; BERALDO, 2003), no caso do concreto projetado reforçado com fibras de aço, mais importante do que melhorar as propriedades mecânicas de resistência à compressão e à tração, é alterar o comportamento pós-fissuração do material, garantindo-lhe um comportamento mais dúctil.

O concreto projetado reforçado com fibras de aço vem sendo usado na Europa desde a metade da década de 1970. As vantagens técnicas associadas a ele são, de acordo com Grondziel (1993, apud FREIRE; BERALDO, 2003), aumentos nas resistências à tração, à tração na flexão, na força de aderência, uma considerável redução na fissuração por retração e um enorme aumento na resistência ao impacto.

3.2.4. Fibras de vidro

As fibras de vidro, obtidas pela fusão e fiberização de uma mistura de óxidos metálicos, são muito usadas como reforço não apenas em matrizes de cimento e gesso, mas principalmente como reforço em resinas termoplásticas e/ou termofixas. De acordo com Carvalho (1993, apud FREIRE; BERALDO, 2003), as fibras de vidro apresentam as seguintes características: baixo coeficiente de dilatação térmica, consideráveis propriedades mecânicas, manutenção dessas propriedades mecânicas sob altas temperaturas, grande alongamento na ruptura, facilidade de processamento e baixo custo.

Silva et al. (1996, apud FREIRE; BERALDO, 2003) pesquisaram o desenvolvimento de painéis de cimentos de escória de alto forno de baixa alcalinidade, reforçados com fibras de vidro E (E Glass), uma vez que tais fibras não podem ser usadas em mistura com o cimento Portland comum devido à sua alta alcalinidade, que provoca rápida deterioração no vidro E. Para os autores, o que se pretende alcançar com o emprego de fibras dúcteis, como as de vidro, em matrizes de aglomerantes minerais, é não apenas melhorar algumas propriedades mecânicas dessas matrizes, mas também superar o problema de sua ruptura frágil.

As fibras de vidro (Figura 5), especialmente as álcali-resistentes, são utilizadas há muito tempo no reforço de materiais cimentícios mais conhecidos como GRC (Glass fiber reinforced cement) (BENTUR, MINDESS, 2007). Neste caso são utilizadas microfibras de vidro. As microfibras têm um comprimento máximo de 30 mm e diâmetro de até 0,30 mm (Prática Recomendada IBRACON/ABECE, 2017b). As principais aplicações das microfibras de vidro, como já mencionado, são em painéis de GRC, porém também são encontradas em pisos de concreto, barras e outras aplicações estruturais.



Figura 5: Fibras de vidro (Fonte: <https://revistaadnormas.com.br>).

Existem, também, as macrofibras de vidro com dimensões superiores a 30 mm de comprimento e 0,30 mm diâmetro (Prática recomendada IBRACON/ABECE, 2017b). Seu uso é mais recente e tem sua principal aplicação em concretos, desenvolvidos como material alternativo às fibras de aço ou sintéticas. Além da utilização em pavimentos industriais e elementos pré-moldados, essas macrofibras foram objeto de avaliação do SINAT (Sistema Nacional de Avaliação Técnica) para aplicação em paredes de concreto moldadas no local para a construção de unidades habitacionais de interesse social.

Com o crescimento da utilização das fibras de vidro é fundamental conhecer o material, suas características e as propriedades mecânicas. A prática recomendada publicada pelo IBRACON/ABECE (Prática Recomendada IBRACON/ABECE, 2017b), apresentou as definições, especificações e conformidades para a caracterização das macrofibras de vidro, nos requisitos geométricos, físico e mecânicos do compósito. No Brasil, isso representou uma importante evolução na sua utilização e caracterização. O ensaio de resistência a tração é realizado no fio de vidro, tornando-o um processo bastante complicado para o consumidor final, pois ficam restritos a disponibilidade do fabricante. Por isso, métodos alternativos de caracterização onde o ensaio de tração é realizado diretamente na macrofibra se tornaram mais procurados.

4. METODOLOGIA

A metodologia de pesquisa utilizada para a realização do trabalho foi o estudo de caso. Yin (2001) explica que os estudos de caso podem seguir dois destinos diferentes: podem ser designados ao ensino ou à pesquisa, sendo que os “estudos de caso que se destinam ao ensino não precisam se preocupar com a apresentação justa e rigorosa dos dados empíricos; os que se destinam à pesquisa precisam fazer exatamente isso”. Conforme Caulley & Dowdy (1987, apud YIN, 2001) os “critérios para se desenvolver bons casos para ensino” ...” são bem diferentes dos critérios para se realizar pesquisa”. Os casos para estudo, também chamados de método de caso, “são reconstruções de situações problemáticas gerenciais ou organizacionais para fins didático-educacionais” (ROESCH E FERNANDES, 2007, apud CLEMENTE JR, 2012).

A metodologia desenvolvida adota o estudo comparativo, este estudo consiste em comparações entre dois ou mais enfoques específicos. Segundo Rauen (2006, p. 181):

Geralmente seguem os passos do método comparativo, descrevendo, explicando e comparando os fenômenos. Podemos apresentar como exemplos: a comparação entre estruturas organizacionais; o comportamento de homens e mulheres diante de um cargo ocupado; o comportamento das pessoas em filas de banco com ou sem senhas e espaço adequado para a espera até serem atendidos.

A metodologia deste trabalho está descrita no fluxograma na Figura 6:

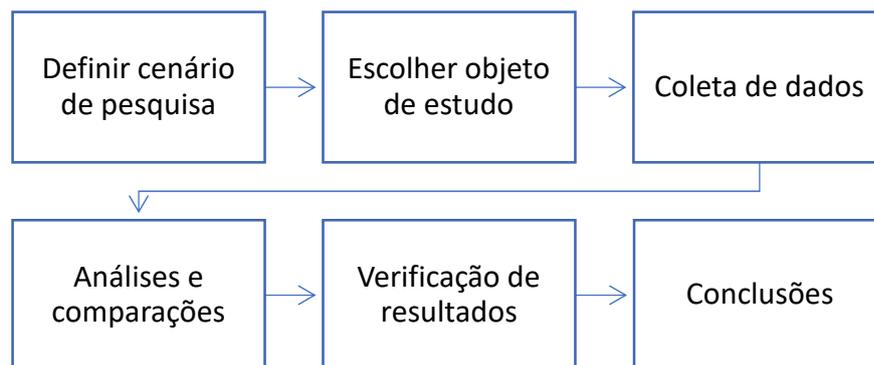


Figura 6: Fluxograma da metodologia do trabalho (Elaborado pelo autor)

Conforme a Figura 6, o primeiro passo do trabalho foi definir o cenário da pesquisa. A descrição organizacional da Empresa compreende à sua situação atual no mercado da construção civil, logística de produção, processos construtivos, descrição do produto, bem como o canteiro de obras e organizações locais.

A segunda parte foi a escolha do objeto de estudo. Devido a mudança do processo construtivo na empresa, surgiu o intuito de entender, comparar e verificar as vantagens de cada alternativa.

Para o terceiro passo, a coleta de dados, foram previstas as seguintes atividades:

- Acompanhamento das atividades desempenhadas nas etapas de pré-concretagem e concretagem de ambos processos construtivos;
- Registros fotográficos;
- Acesso às especificações técnicas desenvolvidas pela Empresa em arquivos digitais;
- Acesso aos custos de compras de insumos e contratação de serviços.

A quarta etapa foi a realização de observações sobre os dados coletados por meio da comparação, com enfoque no processo construtivo e custo. Contando com o apoio de instruções técnicas de trabalho e registros de orçamentos e compras fornecidos pela Empresa.

Em seguida, será feita a verificação dos resultados a partir da comparação dos dados coletados. Assim, constatando qual das alternativas se mostra mais interessante e vantajosa para este tipo de empreendimento. A solução poderá ser padronizada e adotada nas outras obras.

4.1. ESTUDO DE CASO

Para aplicar a metodologia de estudo de caso em um empreendimento, é necessário conhecer a organização e sistema de produção da empresa responsável, e entender seus valores e metas de curto e longo prazo.

4.1.1. Descrição do sistema e processo construtivo

A construtora atua no mercado há mais de 53 anos e exerce função nas etapas de desenvolvimento de produto, incorporação, planejamento e execução do empreendimento. A empresa atua em mais de 70 cidades, espalhadas por 9 estados. E desde sua fundação, o foco foi a construção de habitações de baixo padrão (a caracterização do padrão da unidade habitacional é descrita na ABNT NBR – 12721:2006 levando em conta condições de acabamento, área construída, número de pavimentos). A empresa tem como processo construtivo o Sistema Parede de Concreto, e atesta o nível de qualidade através do Sistema de Gestão da Qualidade NBR ISO 9001:2000 e o Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat PBQP-H:2000 Nível A SIQ CONSTRUTORA.

Devido ao sistema de produção em larga escala, é necessário haver, dentro da empresa, uma padronização de processos formalizada pela área da Qualidade mantendo uniformidade em todas as regionais do país. Dentro deste padrão também existem subdivisões com tipologias diferentes, cada uma com suas particularidades, mas sem variações expressivas que influenciem no escopo deste trabalho. Para garantir o cumprimento de procedimentos e avaliar a qualidade do produto, periodicamente, são feitas auditorias internas que pontuam cada obra e geram relatórios com as não conformidades. Neste último caso, como penalização, são descontados valores pré-estabelecidos do centro de custo da obra e repassados ao setor de manutenção e assistência pós entrega da Empresa. Além disso, como forma de incentivo ao comprometimento com a qualidade e com os procedimentos, foi criado um Programa de Excelência de Fábrica (PEF) que bonifica a gestão das obras de acordo com a colocação da sua fábrica (filial) em nível nacional.

Para evitar que as fôrmas de fabricação das paredes de concreto nunca estejam paradas, a empresa se organizou tratando as regiões metropolitanas como um grande canteiro de obras, então sempre que a equipe responsável pela montagem das fôrmas e concretagem das paredes termina suas atividades em uma obra, já existe outra pronta para recebê-la. Diferente da maioria das incorporadoras, a empresa tem a maior parte da mão de obra própria, e desenvolveu um layout padrão de apartamento (Figuras 7 e 8) aumentando a qualidade do produto e diminuindo o tempo de mobilização/desmobilização entre obras, pelo princípio da curva de aprendizado proveniente da repetição.

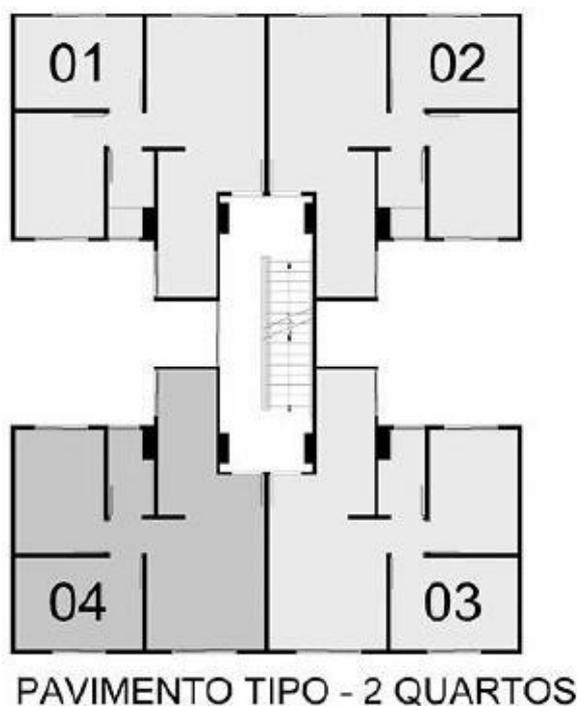


Figura 7: Layout do pavimento (Fonte: fornecido pela Empresa).



Figura 8: Layout arquitetônico do apartamento (Fonte: fornecido pela Empresa).

Cada apartamento possui sala, cozinha com área de serviço, dois dormitórios e banheiro, totalizando 42m². Cada torre possui 04 apartamentos por pavimento e um total de 5 pavimentos (Térreo+4) por torre. Uma vez finalizadas as fundações, com resistência final adquirida, dá-se o início ao processo construtivo da Parede de Concreto. Na obra estudada, optou-se por radiers (lajão estrutural) em conjunto de estacas de hélice contínua (aproximadamente 64 estacas por radier, profundidade de 20m). O empreendimento estudado terá um total de 13 torres (Figura 9), 8 delas com apartamento adaptado para pessoas portadoras de deficiência, no pavimento térreo.

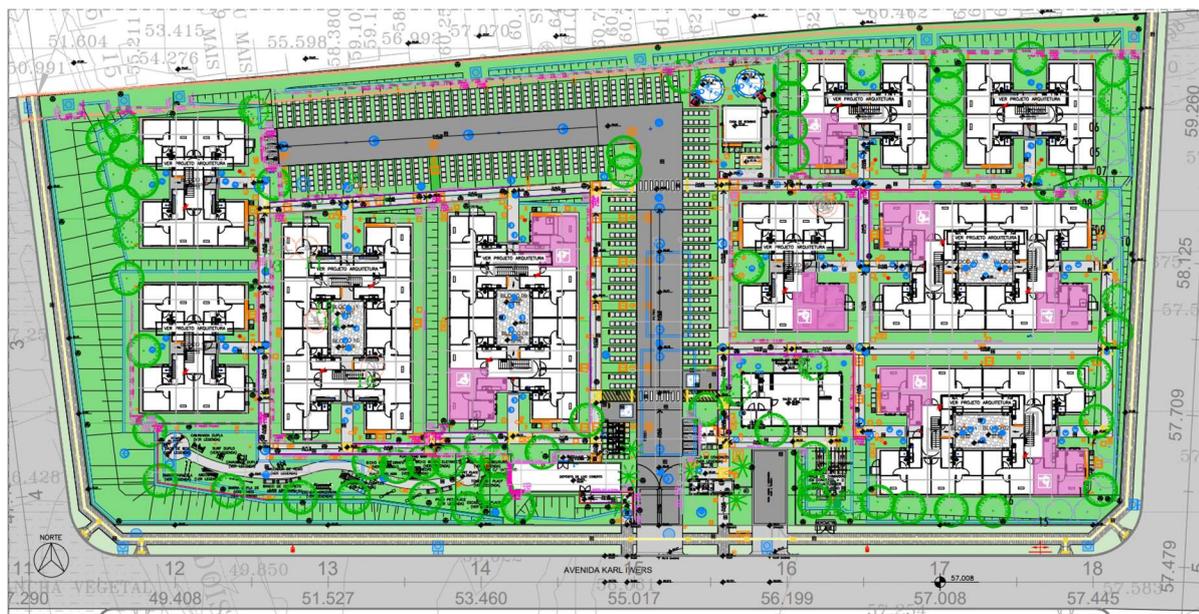


Figura 9: Layout da obra estudada (Fonte: fornecido pela Empresa).

A construtora conta com 2 jogos de forma trabalhando simultaneamente na execução das paredes de concreto. A sequência de construção das torres segue conforme a Figura 10.



Figura 10: Esquemática de tombamento de torres (Elaborado pelo autor).

4.1.2. Organização da Empresa

A Empresa busca se orientar pelo takt time, ritmo de produção determinado a partir da demanda de vendas. O ritmo takt 2 é correspondente a produção de 2 apartamentos completos por dia, e no takt 4 são 4 unidades por dia. As atividades da equipe de estrutura se iniciam assim que as fôrmas de alumínio chegam na obra. A equipe é separada em duas frentes de serviço, e cada frente é dividida em quatro grupos, apresentados na Figura 11.

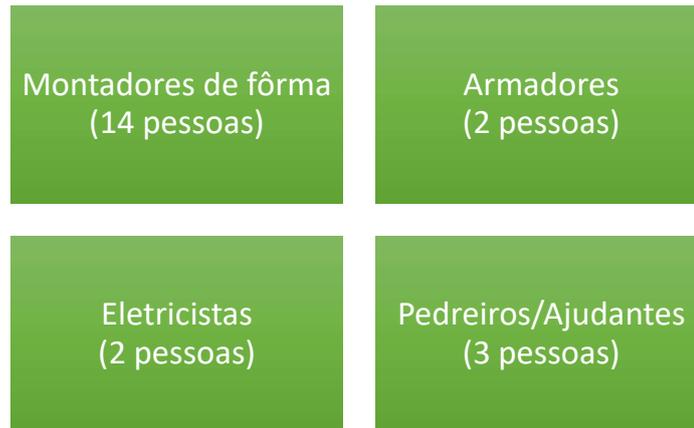


Figura 11: Esquema de divisão da equipe de estrutura (Elaborado pelo autor).

As principais funções de cada grupo são:

- Armadores: locação das linhas das paredes no piso, movimentação de telas soldadas e corte e dobra, fixação das barras de armaduras de parede e das telas na laje.
- Montadores: montagem, desmontagem e limpeza de fôrmas.
- Eletricistas: fixação de embutidos nas fôrmas.
- Pedreiros/ajudantes: etapa de concretagem e reparos pós concretagem.

Na obra onde foi feito o estudo, a demanda de produção era de 4 apartamentos/dia, onde cada jogo de fôrma é capaz de produzir dois apartamentos/dia (Figura 12). Deste modo, são necessários dois jogos de fôrmas para conseguir manter o takt time.

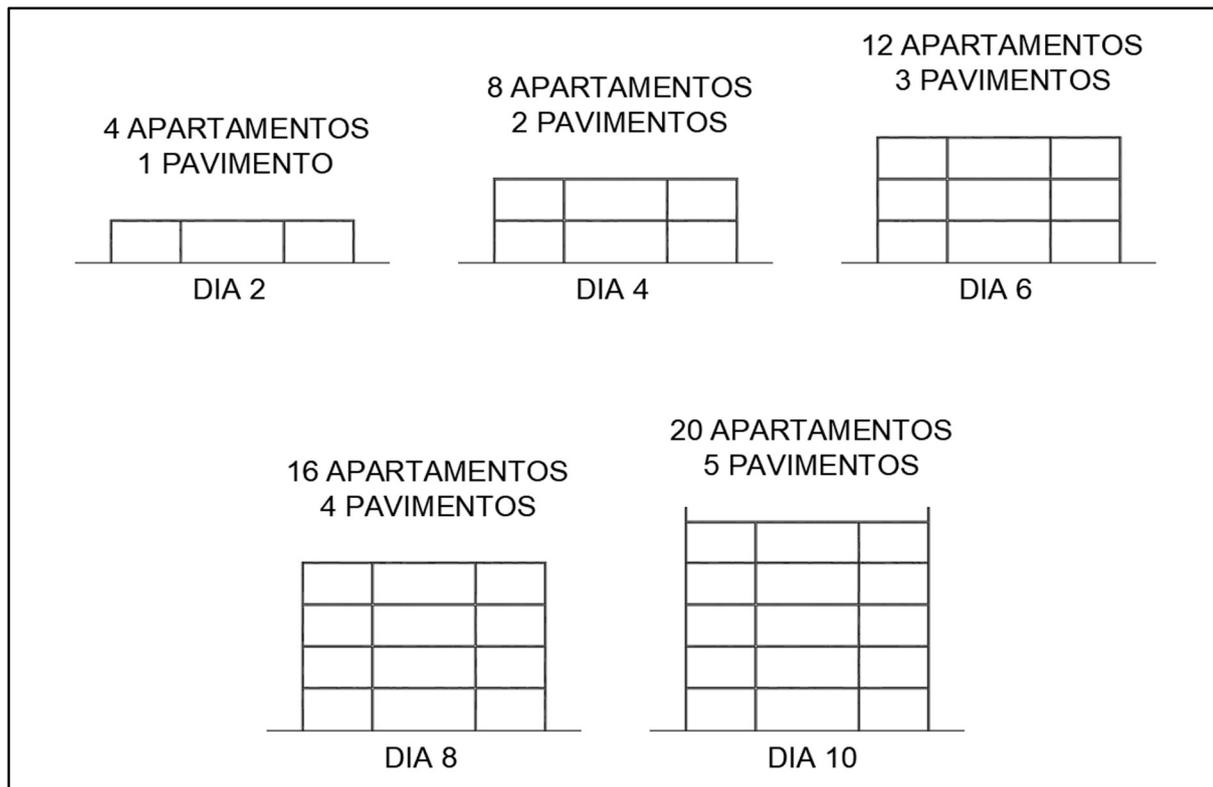


Figura 12: Em 10 dias, cada jogo de fôrmas produz 1 torre (estrutura) (Elaborado pelo autor).

Uma vez definido o ritmo, as atividades de instalações e acabamentos subsequentes devem acompanhar a meta de executar um pavimento de serviço por dia. Se o ritmo for maior que da fôrma, no momento que as equipes de instalações alcançarem a estrutura, estas ficarão ociosas por ter que esperar mais produção de estruturas. E se o ritmo for menor que da fôrma, começará ter estoque de apartamentos sem instalações/acabamentos. Assim, fica perceptível que o gargalo da produção é a estrutura, pois é ela quem ditará o ritmo de produção de todos os outros serviços, inclusive da equipe responsável pela execução das fundações que irá recebê-la.

As atividades de instalações e acabamentos iniciam na primeira torre assim que a quarta torre de estrutura for concluída. O ritmo de produção permanece constante independente da atividade, por exemplo, deve-se executar um pavimento de acabamentos elétricos por dia, um pavimento de fundo de massa branca por dia, um pavimento de arremates de estrutura por dia, e assim por diante. Dessa forma, em 41 dias, é possível realizar todas as instalações e acabamentos deixando a torre pronta para a entrega ao cliente (Figura 13). Mesmo com a torre pronta, as vistorias dos apartamentos e posterior entrega ao cliente só ocorrem após todo empreendimento estar concluído e todas equipes e materiais desmobilizados.

Por ser uma empresa de produção constante e ritmo liderado pela equipe de estrutura (paredes de concreto), após a última concretagem de uma obra, a empresa tem um dia para desmobilização de materiais e equipes para a próxima obra (setup). Com o material e equipes mobilizados na nova obra, é possível dar o start na estrutura e iniciar um novo ciclo de concretagem. Normalmente as duas equipes de montagem de fôrmas entram em dias diferentes na obra, como estratégia de facilitar a organização e zelar pela segurança, isso só influencia no fato das equipes não estarem executando o mesmo pavimento (andar) em torres diferentes, o que não impacta no processo construtivo.



Figura 13: Torre com atividades de estrutura e acabamentos finalizadas (Fonte: o Autor).

4.2. ESCOLHA DO OBJETO DE ESTUDO

O objeto de estudo do presente trabalho é analisar a transição entre o processo construtivo das paredes de concreto armado convencional para paredes de concreto reforçado com fibra de vidro. Para essa escolha, foi realizado o acompanhamento na obra e identificados pontos críticos dessa substituição que podem afetar diretamente a decisão de continuidade do novo processo ou retorno ao processo convencional. Também foram considerados os aspectos que influenciam na viabilidade do estudo, como as etapas construtivas que poderiam ser acompanhadas no período e o tempo disponível para desenvolvimento do trabalho.

Na Empresa estudada, a utilização de paredes de concreto armado vem sendo feita desde suas primeiras obras, então é um processo conhecido e dominado pela equipe de estrutura. A mudança por uma tecnologia nova enfrentou muita resistência e desconfiança por parte dos trabalhadores. E requiriu uma grande dedicação e empenho, do setor da engenharia, para a resolução de problemas e eventuais obstáculos que surgiram no caminho.

Outra adaptação importante foi feita pela usina fornecedora do concreto usinado utilizado nas concretagens. Uma série de testes e adaptações no traço do concreto e escolha e dosagem de aditivo teve que ser feita para garantir uma boa trabalhabilidade, baixa segregação e correta resistência do concreto.

Vale ressaltar que a mudança do processo construtivo de concreto armado convencional para CRFV foi feita apenas nas paredes. A laje continuou sendo executada segundo seu processo original, com algumas adaptações de projeto nas ligações laje/paredes, para garantir a transmissão de esforços e engaste entre os corpos estruturais.

5. PAREDE DE CONCRETO

Por ser um sistema construtivo racionalizado, o sistema Parede de Concreto permite fazer um planejamento completo e detalhado da obra. Nele as instalações e esquadrias são parcialmente embutidas, reduzindo atividades artesanais e improvisações, o que contribui para diminuir o número de operários no canteiro de obra.

5.1. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA

Uma das principais características do sistema é a moldagem in loco dos elementos estruturais e de vedação. A NBR-16055 (2022) define o sistema como:

Todas as paredes de cada ciclo construtivo de uma edificação são moldadas em uma única etapa de concretagem, permitindo que, após a desforma, as paredes já contenham, em seu interior, vãos para portas e janelas, dutos que possibilitem a manutenção, elementos de fixação para coberturas e outros elementos específicos, quando for o caso.

As instalações com tubos de grande diâmetro (maior que 50% da espessura da parede) não são embutidas nas paredes.

A aprovação quanto ao embutimento das instalações nas paredes deve ser do projetista estrutural, de forma a não comprometer o sistema construtivo. Além disso, tal decisão deve considerar os requisitos de manutenibilidade das instalações hidrossanitárias e elétricas ao longo da vida útil da edificação.

As soluções em concreto reforçado com fibras (CRF) a serem utilizadas nos edifícios devem atender ao desempenho da parede em condições de incêndio, avaliado como estabelecido pela ABNT NBR 15575-4.

(NBR-16055, 2022, p. 4)

Combinando uma mão de obra qualificada com uma produção em larga escala, velocidade de produção e padronização, melhora-se os indicadores de produtividade e aumentam as margens do negócio. E a sistematização de processos garante o cumprimento do cronograma físico- financeiro, o que traz segurança comercial ao empreendedor (MISURELLI e MASSUDA, 2009).

5.2. ETAPAS CONSTRUTIVAS

As principais etapas presentes na execução das paredes de concreto, são as fundações, armação e embutidos, montagem da fôrma, concretagem e desforma. Cada uma delas está detalhadamente descrita nos itens seguintes.

5.2.1. Fundações

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (2013), não há restrições na escolha das soluções de engenharia adotadas para a fundação devido aos diferentes tipos de solo e resistências. No entanto, algumas diretrizes devem ser seguidas (FARIA, 2009, apud LOPES, 2016):

A locação e o nivelamento das fundações devem estar de acordo com o projeto arquitetônico e as fôrmas;
Devem-se tomar todas as precauções para evitar que a umidade do solo migre para a edificação;
Recomenda-se a utilização da cura úmida do concreto por um período mínimo de sete dias para as fundações em laje do tipo radier;
A concretagem das fundações tipo radier é feita de forma convencional, diretamente do caminhão-betoneira sobre uma lona plástica que cobre uma camada nivelada de brita, com espessura mínima de 3 cm.
(LOPES, 2016, p. 26)

A Empresa responsável pelo empreendimento faz o uso, normalmente, de fundações superficiais como o radier e o “lajão”, e quando necessário, combina essas estruturas com fundações profundas como estacas de hélice contínua. No empreendimento acompanhado, foi feito o uso de radier estaqueado, com estacas de hélice contínua, na fundação de todas as 13 torres.

Para promover a ligação e ancoragem entre as fundações e as paredes de concreto, após a marcação das linhas de eixo das paredes, a equipe de armadores realiza a furação do radier ao longo do eixo marcado. Em seguida, uma solução química de ancoragem (Figura 14) é injetada nos furos e são fixados vergalhões de aço de 45 cm, como mostra a Figura 15.

Este sistema executivo de fundações e ancoragem é feito de acordo com os projetos e instruções técnicas de trabalho da Empresa, e é válido para ambos os processos construtivos de paredes de concreto (concreto armado convencional e CRFV) que serão diferenciados nos itens seguintes.



Figura 14: Solução química HIT-RE 10 ANCORAGEM EPÓXI (Fonte: <https://www.hilti.com.br>).

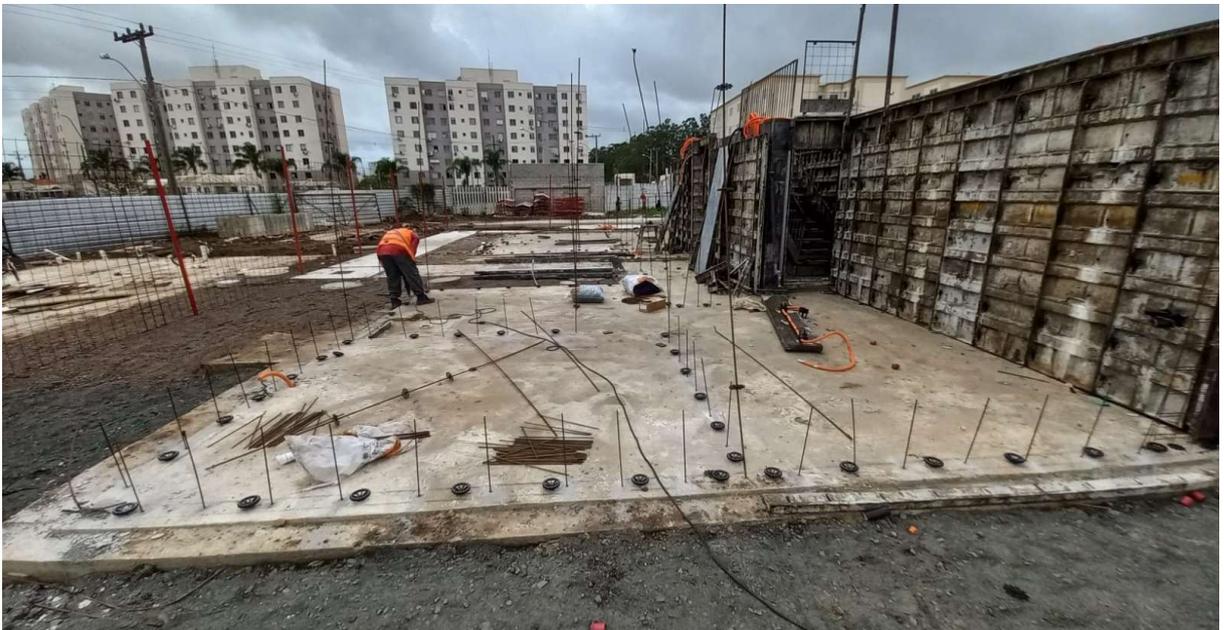


Figura 15: Execução da fixação dos arranques do radier (Fonte: o autor).

5.2.2. Armação e embutidos

Essa seção se divide entre os dois sistemas construtivos para um melhor entendimento.

5.2.2.1. Concreto armado convencional

O sistema Parede de Concreto utiliza a tela soldada como armação. Comumente são posicionadas nos eixos das paredes, além de reforços em pontos específicos. As armaduras têm três requisitos básicos: resistir a esforços de flexo-torção nas paredes, controlar a retração do concreto e estruturar/fixar tubulações de instalações elétrica, hidráulica e gás (MISURELLI e MASSUDA, 2009).

No sistema construtivo da Empresa, a sequência de execução inicia-se com o chamado “levantar” das armações, onde os armadores fixam as telas nos arranques da fundação, se estiverem executando o térreo, ou nos arranques dos pavimentos inferiores ao que se está executando, quando nos pavimentos 1 ao 4, que são as próprias telas do pavimento de baixo que ultrapassam a laje concretada para exercer essa função. As telas estão, assim, posicionadas no eixo das paredes e amarradas, tanto nos arranques como entre elas, com fios de arame recozido. As telas de aço utilizadas são classificadas como Q92, e possuem um espaçamento entre barras de 15 cm em ambos sentidos e um diâmetro de barras de 4,2 mm; além disso, são cortadas com uma altura de 3,0 m com o objetivo de ultrapassar o pé direito de 2,6 m mais os 0,1 m de laje, resultando em um arranque de 30 cm no pavimento superior para ancoragem das novas paredes.

Neste momento, também são colocadas as barras de reforço nos pontos indicados, conforme projeto estrutural de armações, usualmente localizadas ao redor das aberturas (portas, janelas e passantes) e na parede excêntrica do apartamento adaptado para pessoas com necessidades especiais (onde o banheiro ocupa o local onde seria um dormitório, deslocando a parede do outro dormitório, conseqüentemente criando a excentricidade) indicada na Figura 16. Uma vez finalizados os reforços, a equipe de armação prende espaçadores plásticos de 10 cm nas telas, garantindo a centralização destas em toda a extensão e altura das paredes. Por possuírem o diâmetro constante, os espaçadores garantem que não haverá deslocamento das armações durante a execução da concretagem, além de garantir cobertura mínimo das armaduras (MARMITT, 2017).

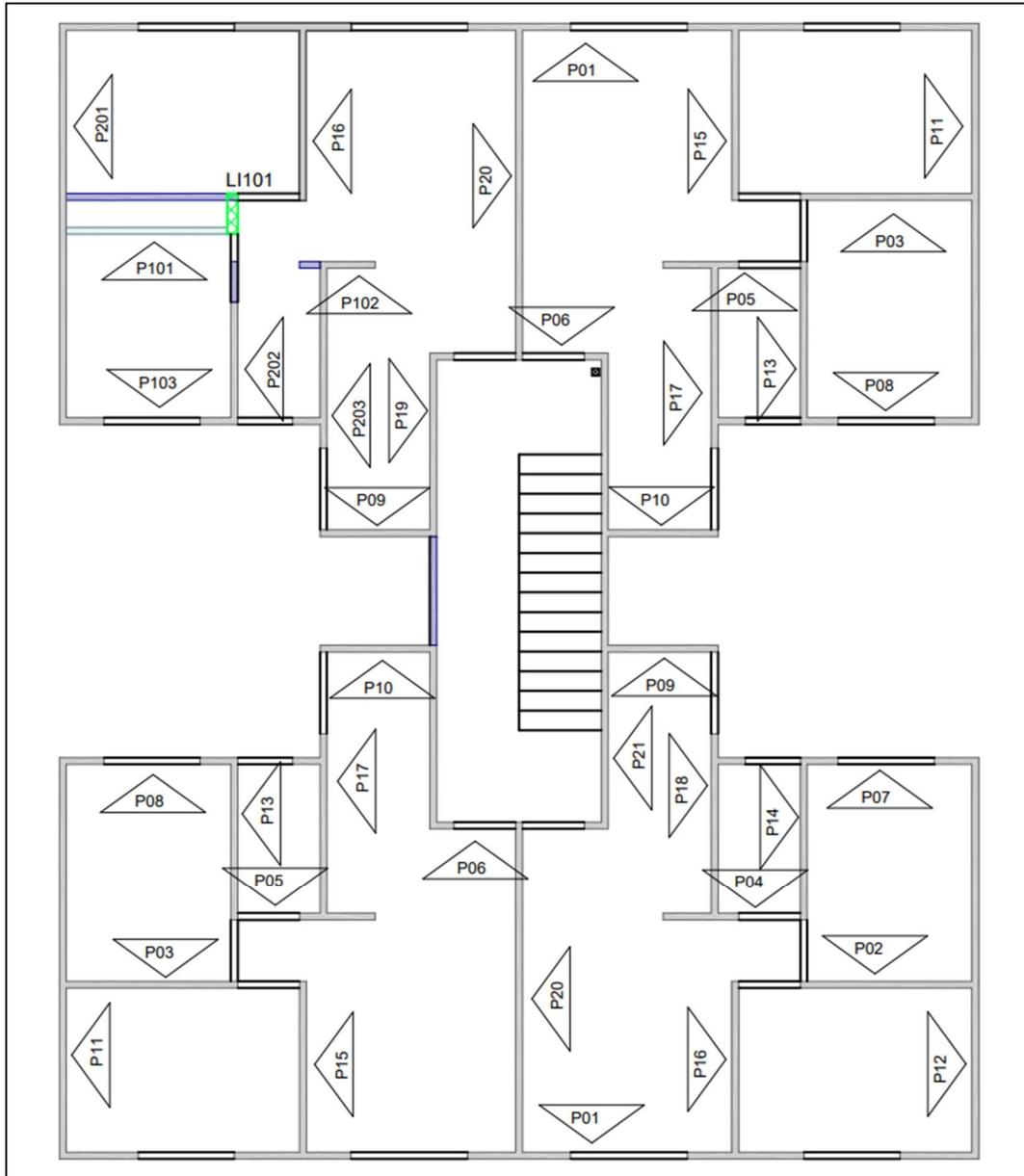


Figura 16: Indicação da parede excêntrica do apartamento adaptado PNE (Fonte: fornecido pela Empresa).

A NBR16055 permite que tubulações de instalações com diâmetros pequenos sejam embutidas nas paredes de concreto, ou que estejam alojadas em shafts. A locação das tubulações e de acessórios (caixas elétricas, tomadas, pontos de iluminação) é executada conforme as especificações do projetista, e deve-se tomar cuidado durante sua instalação para que não haja abertura em nenhum dos elementos embutidos, o que pode possibilitar a entrada de concreto.

Sucedendo as armações, a equipe de embutidos se dirige à torre com os kits elétricos - preparados, na central de kits da própria Empresa, por um funcionário treinado que segue as especificações conforme o projeto elétrico - já montados, e separados por cômodo e pavimento. Faz-se o uso de arame recozido para a fixação das caixas elétricas, respeitando a altura indicada no projeto, e fitas hellerman para prender as mangueiras na tela (Figura 17).



Figura 17: Tubulações elétricas embutidas presas na armação da parede (Fonte: o autor).

5.2.2.2. Concreto reforçado com fibra de vidro

O concreto reforçado com fibra de vidro é uma solução que, nesse sistema construtivo, acabou por substituir as telas de aço pela adição das fibras. Assim, trouxe mudanças para a equipe de armadores, que foram instruídos e apresentados ao novo projeto de armação das paredes, o qual permaneceu apenas com os reforços, redimensionados pelo projetista, nos cantos e encontros de paredes e nas aberturas. Além disso, também conta com os reforços na parede excêntrica do apartamento adaptado PNE.

Referente à execução da atividade, o processo seguiu as mesmas premissas da armação do processo convencional: no térreo as barras são presas nos arranques posicionados no eixo das paredes, e, nos pavimentos superiores, são amarradas nas extremidades das próprias barras de reforço do pavimento inferior que atravessam a laje concretada. Todas as amarrações são feitas utilizando fio de arame recozido. A Figura 18 mostra o levante de armação do pavimento 2 de uma das torres.

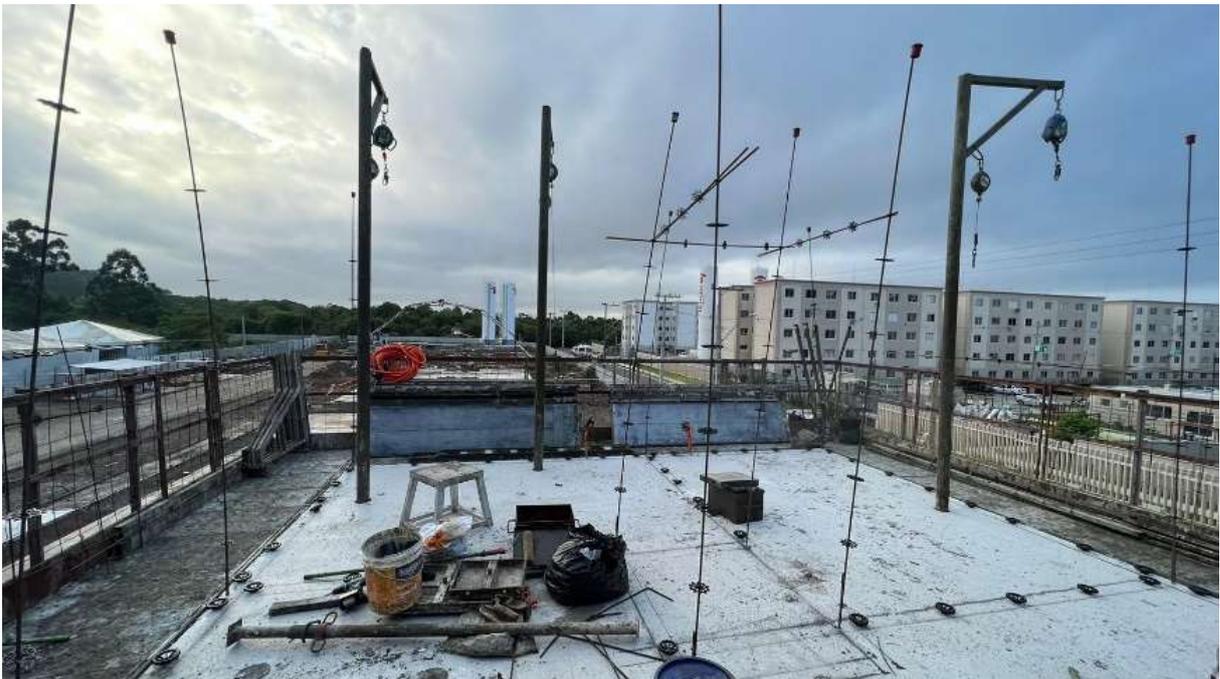


Figura 18: Levante de armação de uma parte do segundo pavimento (Fonte: o autor).

Inicialmente os armadores mostraram uma resistência em aceitar e confiar nesse processo alternativo, visto que nenhum deles tinha trabalhado com o material antes. Porém, com o passar dos dias e com o esclarecimento das suas dúvidas, essa relutância foi passando. E, até mesmo, sua execução foi sofrendo alterações e adaptações por sugestão da própria equipe em acordo com o projetista.

Como, por exemplo, os reforços de janelas e passantes, que se revelaram um problema logo nos primeiros dias de uso do CRFV. O novo projeto considerou os mesmos reforços usados no processo convencional (Figura 19), porém não previu que não haveria a tela no eixo da parede para servir de apoio para a amarração das barras. Então, como não era possível as barras apenas ficarem “flutuando” no seu local correto, foi realizada a primeira adaptação. Em comum acordo com a Empresa e o projetista, foi validada a extensão das barras verticais até a laje, amarrando-as nos arranques e garantindo a estabilidade do reforço, a Figura 20 apresenta um reforço de janela adaptado com essa solução.

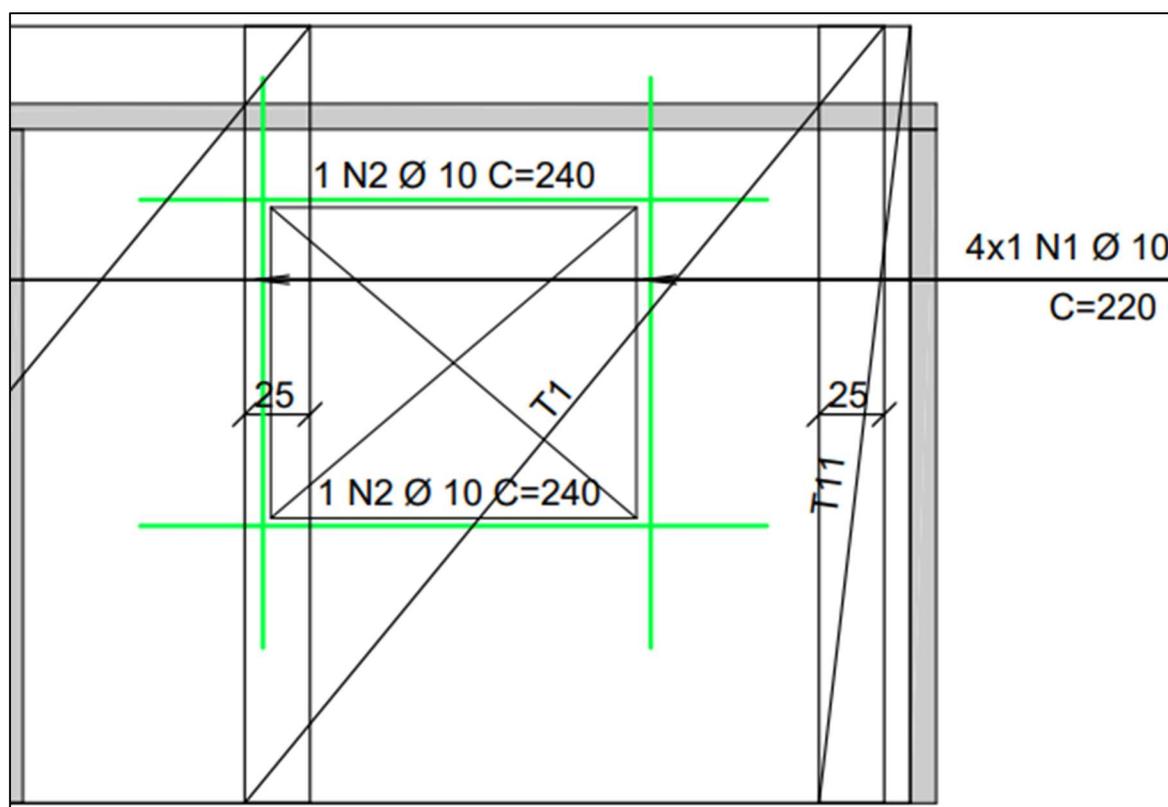


Figura 19: Recorte de projeto de reforço da janela do dormitório (Fonte: fornecido pela Empresa).



Figura 20: Barras de reforços de janela prolongadas até a laje (Fonte: o autor).

A solução apresentada acima, entretanto, foi validada apenas para as cinco primeiras torres, por conta de ser uma adaptação que aumentou o consumo do aço previamente estimado para a obra. Então a equipe de engenharia se juntou com os armadores para pensarem numa outra forma de resolver o problema. Dessa forma, a segunda e atual adaptação surgiu, mantendo as dimensões originais, do projeto, das barras de reforço e modificando o momento de sua colocação para durante a montagem das fôrmas. De forma simplificada, a equipe de armação deixa as “molduras” das janelas já prontas (amarradas e com os espaçadores presos), e quando os chamados “tapa-muros” da forma já estão montados, essas molduras são encaixadas na abertura (Figura 21); esse encaixe combinado com os espaçadores garantem o posicionamento e cobrimento correto das barras. Os “tapa-muros” são as peças da fôrma que fecham as faces das aberturas das janelas.

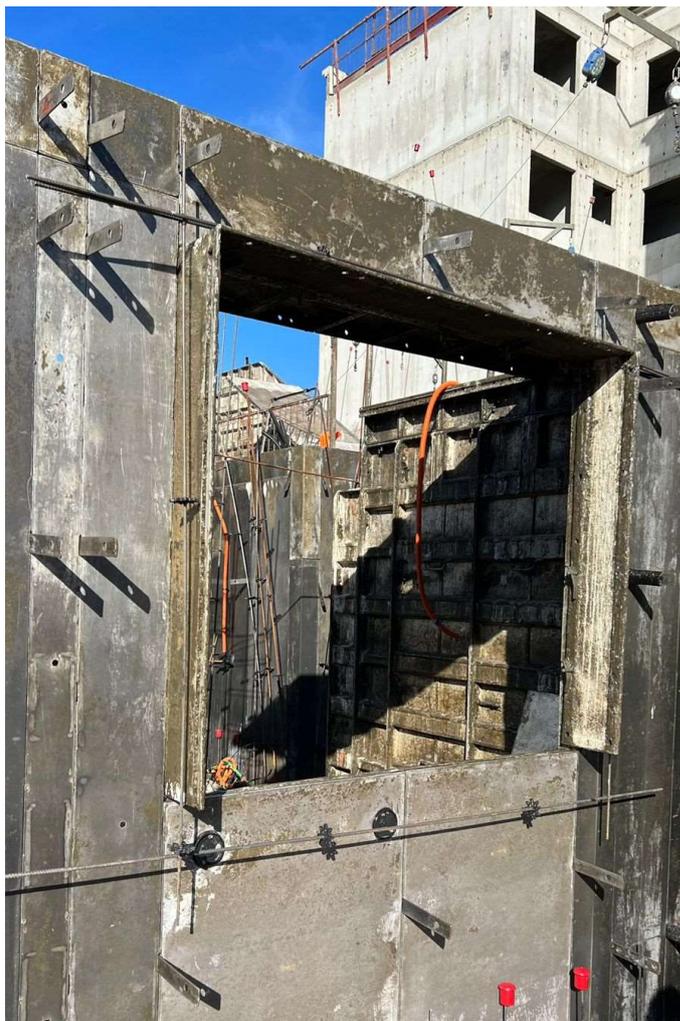


Figura 21: Moldura de reforço encaixada nos tapa-muros da janela (Fonte: o autor).

Outra mudança bem significativa, que se mostrou necessária desde o início, foi a fixação das mangueiras e caixas elétricas. Assim como as barras de reforço da armação, estas mangueiras e caixas também eram presas nas telas das paredes, e, conseqüentemente, também ficaram sem local de apoio para sua fixação. Da mesma forma que as “molduras” das janelas, já citadas, foi alterado o momento de execução da atividade de embutidos. O serviço passou a andar concomitantemente com a montagem das fôrmas, pois sua fixação foi adaptada para as placas de alumínio. Através de tampas de caixinhas elétricas parafusadas nas fôrmas, já locadas nas posições corretas, é possível prender as caixas por encaixe (Figura 22), reforçando sua fixação com o fechamento dos painéis de alumínio (Figura 23).



Figura 22: Caixa elétrica presa por encaixe na tampa fixada na fôrma (Fonte: o autor).

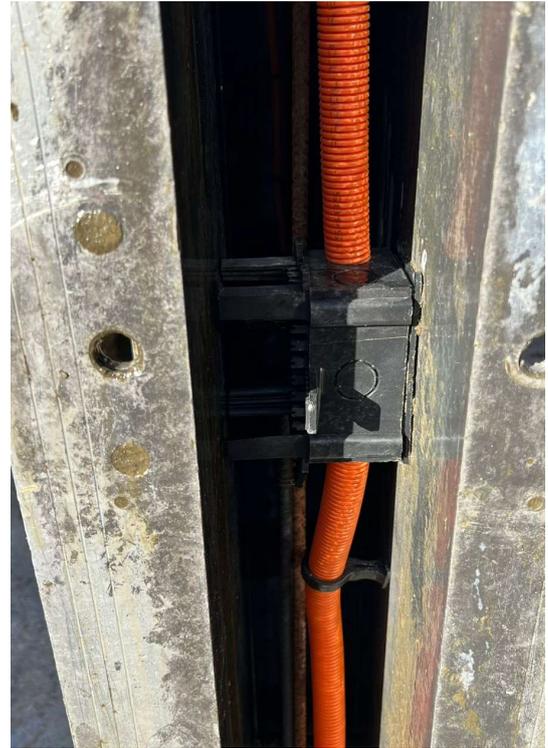


Figura 23: Caixa elétrica prensada entre duas formas (Fonte: o autor).

Vale observar, que esse mesmo modo de fixação foi usado para os passantes de ar condicionado, que igualmente são embutidos nas paredes, como apresentado na Figura 24. Por permanecerem parafusadas nas fôrmas, as tampinhas das caixas elétricas e do passante do ar condicionado apresentam desgaste após um tempo, sendo necessária a sua remoção e fixação de tampas novas. Já a Figura 25 mostra como são presas as mangueiras elétricas, prendendo os espaçadores plásticos especiais em furos pré feitos nas fôrmas.



Figura 24: Passante do ar condicionado preso por encaixe nas tampas fixadas na fôrma (Fonte: o autor).



Figura 25: Mangueiras elétricas presas nos painéis através de espaçadores (Fonte: o autor).

5.2.3. Fôrma

Segundo Viana (2016), as formas têm como premissa o fato de que devem ser elementos temporários, estanques, com geometria precisa das peças e resistentes à pressão exercida pelo concreto. Existem pelo menos três tipos de formas disponíveis para paredes de concreto:

- Fôrmas metálicas: fôrmas que usam quadros e placas metálicas tanto para estruturação quanto para acabamento da peça concretada.
 - Fôrmas Metálicas + Compensado: usam-se quadros metálicos para a estruturação e placas de madeira compensada ou material sintético para o acabamento da peça concretada.
 - Fôrmas Plásticas: quadros e chapas feitas de plástico reciclável, tanto para estruturar quanto para dar acabamento nas peças concretas. Necessário garantir o contraventamento através de uma estrutura metálica.
- (VIANA, 2016, p.6)

A Empresa possui, atualmente, 2 jogos de fôrmas metálicas de alumínio (Figura 26). De acordo com o fornecedor¹, fôrmas de alumínio são mais rápidas que outros sistemas, pois, devido ao peso reduzido dos painéis (aprox. 20Kg/m²), são de fácil montagem. As maiores dimensões em painéis de parede são de 90x240cm (42,1Kg) e em painéis de laje 90x120cm (19,65Kg), isso permite o transporte manual das fôrmas de um pavimento ao outro sem a necessidade de guindastes. Cada jogo de fôrmas é capaz de produzir entre 1500 e 2000 unidades habitacionais, dependendo do uso e cuidado no manuseio dos materiais.

Por fazer uso da estratégia de ter apenas uma equipe de estrutura que trabalha sazonalmente de obra em obra, o armazenamento de fôrmas não se mostra muito necessário. Uma vez que no dia seguinte do término das atividades da equipe em uma obra, já estão programadas atividades em outra. Então, logo após a última desforma, a cada um da equipe é responsável por organizar as suas fôrmas em paletes, envolvendo-as com plástico filme e as prendendo com fitas próprias para essa função. Depois de terminados, esses paletes são transportados por um caminhão munck até a próxima obra.

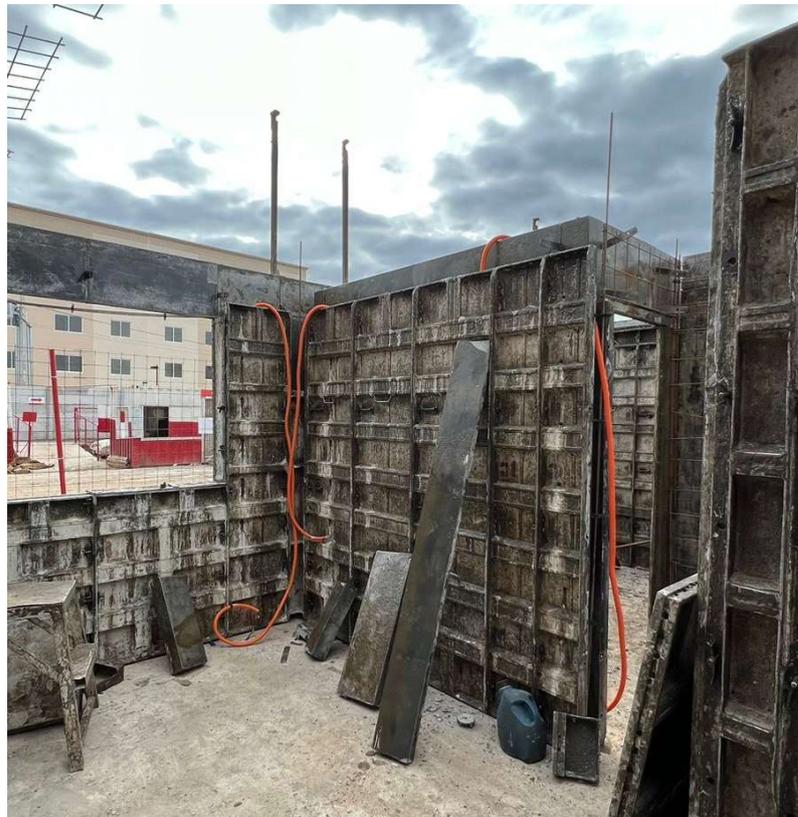


Figura 26: Fôrmas de alumínio usadas pela empresa (Fonte: o autor).

¹ Especificações técnicas entregues à empresa construtora.

5.2.4. Montagem

A empresa tem o dever de desenvolver projetos específicos de montagem e desmontagem de fôrmas, fixação de acessórios e escoramento, e estes devem ser rigorosamente seguidos.

O sequenciamento de montagem dos painéis é específico de cada projeto, mas a ordenação geral de serviços é descrita abaixo, conforme instruções fornecidas pela empresa fabricante à obra:

- I. As fôrmas devem estar limpas e isentas de resíduos sobre a sua superfície (Figura 27).
- II. Passar óleo desmoldante, na superfície e laterais do painel, para evitar a aderência do concreto à fôrma, a alteração das características físicas e químicas do concreto e a deterioração da placa, e promover a fácil remoção dos painéis sem comprometer o acabamento da peça concretada (Figura 28).



Figura 27: Superfícies das placas limpas
(Fonte: o autor).



Figura 28: Placa com o desmoldante aplicado
(Fonte: o autor).

III. Posicionar o primeiro lado de fôrmas, prendendo-as entre si com o auxílio de pinos e cunhas (Figura 29).



Figura 29: Primeiro lado de fôrmas montado (Fonte: o autor).

IV. Inserir e prender as corbatas (elemento metálico usado para o travamento dos painéis) nas aberturas específicas, e colocar as camisinhas (proteção usada para impedir a aderência das gravatas ao concreto) sobre elas (Figuras 30 e 31).



Figura 30: Colocação das corbatas (Fonte: o autor).



Figura 31: Garantir o uso de camisinha para evitar a aderência da gravata ao concreto (Fonte: o autor).

V. Fechar as fôrmas² com a segunda fileira de painéis, garantindo encunhamento de corbatas (Figuras 32 e 33).

² Na execução do CRFV, antes do fechamento das fôrmas são encaixadas as molduras de reforço de janela e fixados os embutidos.



Figura 32: Corbata encunhada tipo I (Fonte: o autor).



Figura 33: Corbata encunhada tipo II (Fonte: o autor).

VI. Fixar os esquadros internos para garantir ângulo reto (Figura 34) e os alinhadores para impedir a abertura e movimentação de placas (Figura 35).

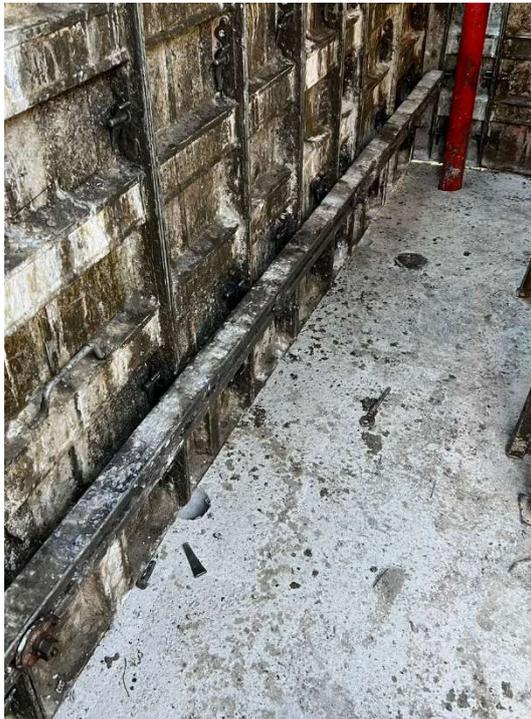


Figura 34: Esquadros de canto (Fonte: o autor).



Figura 35: Alinhadores de fôrma (Fonte: o autor).

5.2.5. Concreto

Essa seção se divide entre os dois sistemas construtivos para um melhor entendimento.

5.2.5.1. Concreto armado convencional

O acompanhamento e controle sobre as especificações do concreto é de suma importância para o sistema. Segundo a NBR16055 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2022), o concreto, para o sistema construtivo, deve estabelecer resistência mínima à compressão para desforma compatível com o ciclo de concretagem e resistência final adquirida aos 28 dias. Além disso, suas especificações devem levar em consideração a agressividade do local de implantação da estrutura, a trabalhabilidade desejada e o uso de aditivos e/ou adições.

Por conta do grande volume de concreto utilizado no sistema e a necessidade de um controle da dosagem do traço, o uso de concreto usinado é a melhor alternativa. O lançamento é feito por bombeamento dos caminhões betoneira, controlado pela própria usina fornecedora de concreto. O concreto, fornecido pela usina, utiliza cimento CII-F com adição de pozolana, areia artificial grossa e areia fina, brita 0, uma pequena quantidade de fibras de polipropileno, água e aditivos de aceleração de pega e plastificante.

Antes mesmo do lançamento iniciar, assim que o caminhão betoneira chega na obra, uma equipe terceirizada é responsável por fazer o controle tecnológico do concreto, retirando amostras, moldando corpos de prova e testando o slump (Figura 36).



Figura 36: Realização do ensaio de slump (Fonte: o autor).

O mangote da bomba deve ficar o mais próximo possível da fôrma, evitando incrustação de argamassa no exterior dos painéis de alumínio (KACZYNSKI, 2014) (Figura 37).



Figura 37: Concretagem com caminhão betoneira e bomba lança (Fonte: o autor).

5.2.5.2. Concreto reforçado com fibra de vidro

De maneira similar ao concreto convencional, o concreto reforçado com fibra de vidro deve atender às especificações. Vários testes com a concreteira fornecedora tiveram que ser feitos para chegar no resultado esperado. Apesar de não ser feito o uso de telas nas paredes e ter mais espaço livre dentro das formas para o concreto fluir com mais liberdade, utilizou-se um traço de concreto autoadensável. Essa decisão foi feita por conta da perda de trabalhabilidade causada pela adição da fibra de vidro no concreto. O concreto autoadensável diminuiu esses efeitos e ajudou a garantir um melhor acabamento final da estrutura. O traço do novo concreto é constituído dos mesmos materiais que o já utilizado anteriormente: cimento CII-F com adição de pozolana, areia artificial grossa e areia fina, brita 0, uma pequena quantidade de fibras de polipropileno, água e aditivos; porém suas quantidades e tipos de aditivos são divergentes.

A execução da concretagem é de forma muito parecida ao concreto armado convencional, apenas se diferencia pelo tipo de concreto e adição da fibra. Logo quando chegam na obra, os caminhões betoneira são recebidos pela equipe terceirizada e são retiradas amostras do concreto e moldados corpos de prova. Uma diferença, em relação ao outro processo construtivo, é que, substituindo o slump, é feito o teste de espalhamento (flow test) (Figura 38), que consiste em medir o quanto a amostra se espalha na placa metálica, analisando a classe de fluidez do concreto autoadensável. Esse teste é realizado antes e depois da adição da fibra de vidro (Figura 39), que é feita no próprio local, misturando a fibra na matriz de concreto com a ajuda do caminhão betoneira. O bombeamento e lançamento do CRFV se faz de forma semelhante ao já citado no processo convencional, porém com a proibição do uso de vibrador, pois o equipamento promove a segregação das fibras de vidro.



Figura 38: *Flow test* do concreto autoadensável (Fonte: o autor).



Figura 39: Fibra de vidro usada como adição no concreto (Fonte: o autor).

5.2.6. Desforma

O concreto deve ser protegido de fatores prejudiciais à cura, como mudanças de temperatura, fluxo turbulento de água, choque e vibração, enquanto ainda não alcançou resistência (MARMITT, 2017). O projeto deve prever a resistência e elasticidade mínimas do concreto e deve ser monitorado por controles técnicos por meio de ensaios de compressão axial (KACZYNSKI, 2014). Uma vez que o concreto tenha atingido a resistência, pode-se iniciar a desforma seguindo o procedimento projetado para o tipo de estrutura.

A desforma é feita logo no início da manhã, após o resultado dos testes de resistência feitos pela empresa terceirizada (Figura 40). As formas vão sendo retiradas da estrutura concretada (Figura 41) e montadas nos próximos apartamentos, e assim é iniciado um novo ciclo de concretagem.



Figura 40: Retirada do corpo de prova ensaiado da prensa manual (Fonte: o autor).



Figura 41: Parede de concreto em fase de desforma (Fonte: o autor).

6. RESULTADOS

A seguir serão feitas algumas comparações envolvendo esses dois processos construtivos, evidenciando a execução, efetivo de funcionários e custos de materiais e serviços envolvidos.

6.1. COMPARAÇÃO EXECUTIVA

Uma vez descritos os processos construtivos de paredes de concreto armado convencional e paredes de concreto reforçado com fibra de vidro, é possível fazer a análise comparativa e levantar suas principais diferenças. No quadro comparativo abaixo (Quadro 1), ficam evidentes as particularidades de cada sistema. Em azul estão as semelhanças e em amarelo as diferenças.

Comparação - Execução dos métodos construtivos em paredes de concreto		
	Concreto Armado Convencional	Concreto Reforçado com Fibra de Vidro
Fundações	Superficiais: Radier ou lajão Profundas: Estacas (normalmente hélice contínua) Ancoragem com a estrutura através de arranques	Superficiais: Radier ou lajão Profundas: Estacas (normalmente hélice contínua) Ancoragem com a estrutura através de arranques
Armação	Uso de telas de aço no eixo das paredes	Não utiliza telas de aço
	Reforço com barra de aço nos encontros de paredes	Reforço com barra de aço nos encontros de paredes
	Reforço com barra de aço nas aberturas de portas, preso nos arranques e nas telas de aço com arame recozido	Reforço com barra de aço nas aberturas de portas, preso nos arranques com arame recozido
	Reforço com barra de aço nas aberturas de janelas, preso nas telas de aço com arame recozido	Reforço com barra de aço nas aberturas de janelas, através de molduras encaixadas nos "tapa-muros" da fôrma
	Reforço com telas de aço na parede excêntrica do apartamento adaptado PNE	Reforço com telas de aço na parede excêntrica do apartamento adaptado PNE
	Toda execução feita antes do início da montagem das fôrmas	Majoria da execução feita antes do início da montagem das fôrmas, e parte durante a montagem
Embutidos	Uso de caixinhas elétricas de plástico e mangueiras corrugadas	Uso de caixinhas elétricas de plástico e mangueiras corrugadas
	Caixinhas elétricas e passantes de ar condicionado presos nas telas com arame recozido	Caixinhas elétricas e passantes de ar condicionado presos nas fôrmas através do encaixe em suas próprias tampas já parafusadas nos painéis, reforçado pelo fechamento das fôrmas
	Mangueiras corrugadas presas nas telas com fita hellerman	Mangueiras corrugadas presas nas fôrmas através de espaçadores especiais encaixados em furos pré feitos nos painéis
Montagem de fôrmas	Uso de fôrmas metálicas de alumínio	Uso de fôrmas metálicas de alumínio
	Montagem feita sem interferência de outras atividades	Montagem feita com interferência de outras atividades
Concreto	Concreto usinado fornecido por concreteira terceirizada	Concreto usinado fornecido por concreteira terceirizada
	Concreto convencional com cimento CPII-F, areia artificial grossa, areia fina, brita 0, pozolana, fibra polipropileno, água e aditivos	Concreto autoadensável com cimento CPII-F, areia artificial grossa, areia fina, brita 0, pozolana, fibra polipropileno e fibra de vidro, água e aditivos
	Retirada de amostras, moldagem de corpos de prova, ensaio de abatimento do concreto (<i>slump</i>)	Retirada de amostras, moldagem de corpos de prova, ensaio de espalhamento do concreto (<i>flow</i>)
	Permitido uso de aditivo multifuncional (acelerador de pega e plastificante)	Permitido uso de aditivo multifuncional (acelerador de pega e plastificante)
	Adição de pozolana e fibra de polipropileno (na usina)	Adição de pozolana, fibra de polipropileno (na usina) e fibra de vidro (na obra)
	Permitido uso de vibrador durante a concretagem	Proibido uso de vibrador durante a concretagem, para evitar a segregação da fibra de vidro
	Controle tecnológico feito por empresa terceirizada	Controle tecnológico feito por empresa terceirizada
Desforma	Liberada após rompimento dos corpos de prova resultando na resistência necessária	Liberada após rompimento dos corpos de prova resultando na resistência necessária

Quadro 1: Comparação das etapas executivas de cada sistema (Fonte: elaborado pelo autor).

Pode-se observar, que de todas as etapas que envolvem a execução de paredes de concreto, apenas duas atividades não sofrem mudança: fundações e desforma. A inalterabilidade da atividade de fundações, que é realizada pela equipe de infraestrutura, se mostra um ponto positivo, pois significa que a mudança do processo construtivo, por parte da equipe de estrutura, não afeta os serviços de outra equipe. Assim, essa equipe de infraestrutura não sofre com alterações de projeto, pedidos de materiais ou de efetivo de funcionários. E por ser um setor que trabalha com contratação de serviços terceirizados, evita, também, a necessidade de busca por novos fornecedores de mão de obra especializada.

A constância de execução na desforma não apresenta tantos pontos de vantagem como a anterior, só poupou os funcionários de mais uma adaptação.

Partindo para as atividades em que foi preciso, ao menos, uma adaptação, a armação se mostrou o maior desafio. Primeiramente, ao retirar as telas, que eram tão presentes na rotina dos armadores, enfrentou-se a desconfiança por parte da equipe, que logo foi esclarecida e eliminada por meio de explicações dos projetos e tecnologias envolvidas. Mas, essa retirada diminuiu a quantidade de espaço usado para armazenamento de telas de aço no canteiro de obras, restando apenas o estoque de telas usadas nas lajes, escadas e reforço do apartamento PNE, liberando a área para o armazenamento de outros materiais. Além disso, a carga de material que requer transporte mecânico até o local da atividade se tornou menor, a qual anteriormente era formada principalmente pelas telas de parede.

Assim, restou apenas a armação de reforço para ser executada pelos armadores, que consiste em barras de aço de bitolas diferentes para cada tipo de reforço. A parte que envolve os reforços de encontros de paredes e de aberturas de portas sofre quase nenhuma alteração, apenas eliminou a amarração das barras nas telas. O que não causou impactos, porque as barras são de uma bitola suficientemente considerável que permita sua estabilidade. Já os reforços de janela passaram por duas validações até padronizar sua execução, primeiro pela solução estendendo as barras até a laje e a segunda montando molduras de aço e encaixando durante a montagem da fôrma. Consequentemente gerando interferências entre as atividades (Figura 42).

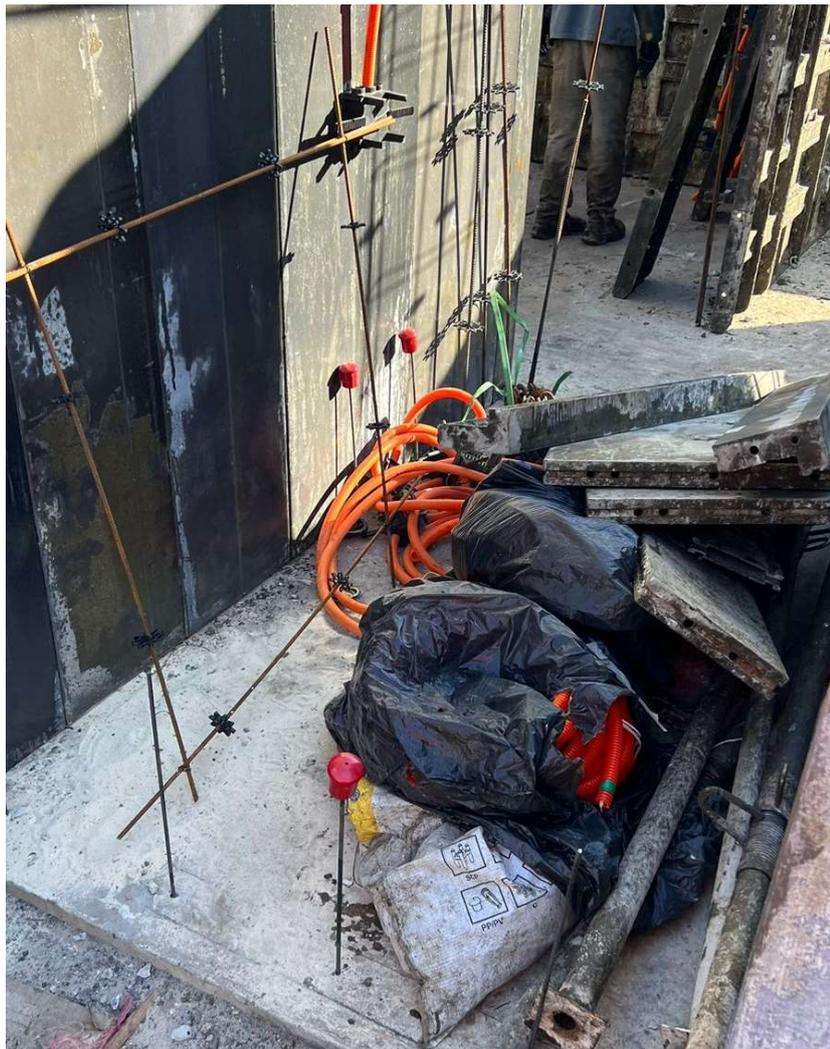


Figura 42: Materiais de montagem de forma, armação e elétrica acumulados por conta da interferência de atividades (Fonte: o autor).

Algo semelhante aconteceu com os embutidos, que também passaram a ser executados durante a montagem da fôrma, ao invés de serem finalizados antes. Causada pela retirada das telas da parede, a adaptação de prender as caixinhas e mangueiras na própria fôrma trouxe muitas reclamações da equipe de montagem que, a princípio, se sentiu prejudicada com a interferência desse serviço (Figura 43). Porém, com o passar dos dias, a execução da atividade foi aprimorada e agilizada, e os protestos acabaram.

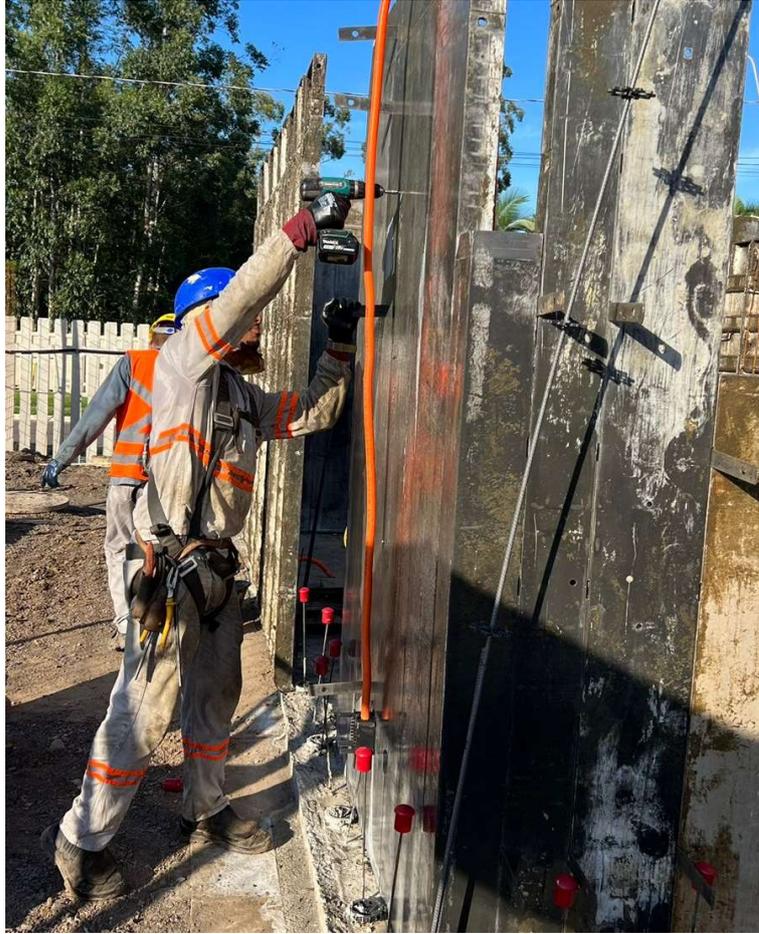


Figura 43: Atividade de embutidos sendo feita durante a montagem das fôrmas (Fonte: o autor).

Como consequência do novo método de fixação das mangueiras e caixas elétricas, observou-se uma diminuição no número de correções de pontos elétricos no pós-concretagem. Por serem presas na própria fôrma, e a mesma fôrma ser usada sempre na mesma posição no mesmo cômodo, a posição das caixinhas permanece sempre a mesma, praticamente eliminando problemas de locação errada de pontos elétricos. Um ponto a ressaltar, é que os espaçadores especiais, que prendem as mangueiras na fôrma, ultrapassam a espessura dos painéis e ficam com suas pontas para fora (Figura 44), e essas precisam ser quebradas e arrematadas no pós-concretagem como apresenta a Figura 45.

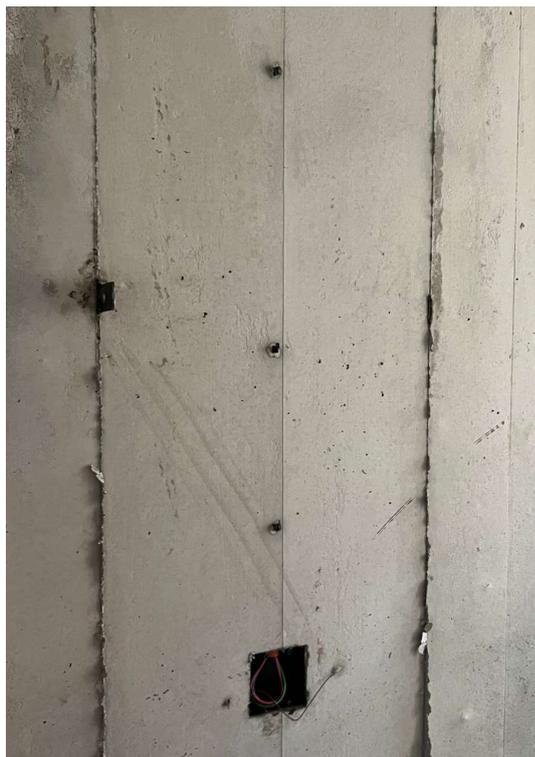


Figura 44: Pontas dos espaçadores expostas na pós-concretagem (Fonte: o autor).



Figura 45: Pontas dos espaçadores cortadas e arrematadas na pós-concretagem (Fonte: o autor).

Não houve modificação no sistema de fornecimento do concreto, a Empresa seguiu fazendo a contratação de concreto usinado com o mesmo fornecedor. Entretanto, como citado anteriormente, vários testes de um diferente tipo e traço de concreto foram feitos, em parceria da Empresa construtora com a concreteira, com a adição da fibra de vidro até ser atingido o resultado esperado. Mesmo assim, o traço usado é composto com os mesmos insumos, mas com quantidades diferentes.

As principais mudanças, em relação ao concreto, ocorreram no controle tecnológico. O ensaio de slump foi trocado pelo flow test, feitos no recebimento dos caminhões betoneira. E ensaios de resistência à tração na flexão foram incluídos no escopo, quando adotado o concreto reforçado com fibra de vidro. Esse ensaio requer corpos de prova em forma de pequenas vigas, que são rompidos com 28 dias. Para ambos processos, são realizados ensaios de resistência à compressão simples, para cada caminhão betoneira utilizado, com 2 corpos de prova para cada idade de rompimento (14h, 5d e 28d).

6.2. COMPARAÇÃO DE EFETIVO DE FUNCIONÁRIOS

Quando partimos para uma comparação do número de funcionários que atuam, em campo, na execução desses dois processos construtivos (Quadro 2), vemos que a mudança é unicamente na quantidade de armadores. Por conta da simplificação dos projetos de armação, eliminando as telas, a atividade se tornou menos complicada e trabalhosa. Por conseguinte, não são necessários tantos armadores quanto antes, reduzindo um funcionário em cada jogo de fôrma.

Comparação - Efetivo para a execução dos métodos construtivos em paredes de concreto (por jogo de fôrma)		
	Concreto Armado Convencional	Concreto Reforçado com Fibra de Vidro
Fundações	Equipe terceirizada	Equipe terceirizada
Armação	3 Armadores	2 Armadores
Embutidos	2 Eletricistas	2 Eletricistas
Montagem de fôrmas	14 Montadores*	14 Montadores*
Concreto	3 Pedreiros/Ajudantes	3 Pedreiros/Ajudantes
Desforma	14 Montadores*	14 Montadores*

* Mesmos montadores trabalhando na montagem e desforma.

Quadro 2: Comparação dos efetivos para a execução plena de cada sistema (Fonte: elaborado pelo autor).

6.3. COMPARAÇÃO DE CUSTOS

Após a análise de todo processo construtivo e do efetivo necessário, pode-se elaborar um levantamento de custos dos materiais utilizados em cada processo, bem como dos serviços associados a cada atividade. Nos quadros a seguir, as quantidades de cada serviço ou material incluem as paredes de concreto e as lajes, pois muitos itens são usados em ambas estruturas e fazem parte dos mesmos projetos, além de serem peças estruturais dependentes uma da outra que são executadas e concretadas em conjunto. Porém isso não interfere no resultado final, uma vez que a execução e custo das lajes se mantém a mesma nos dois sistemas construtivos.

Os preços unitários foram consultados no próprio sistema da Empresa, considerando o valor mais atualizado dos últimos pedidos realizados. Além disso, o valor total de cada atividade foi dividido pela quantidade de unidades habitacionais (apartamentos) total da obra (260 u.h.), afim de se obter um valor comparativo que pode ser utilizado para estimar futuras obras com a quantidade de unidades diferente da obra estudada.

6.3.1. Concreto armado convencional

O contrato do serviço de controle tecnológico da empresa terceirizada é dividido de acordo com o Quadro 3, de forma que todos os ensaios de resistência a compressão simples e de módulo de elasticidade que sejam necessários estão inclusos no custo mensal do laboratorista.

Item	Descrição do serviço	Qtd. a contratar	Un.	Qtd. a contratar p/ unidade	Preço unitário	Subtotal
CONTROLE TECNOLÓGICO						
1	MENSALIDADE CONTAINER LABORATORIO DE CONCRETO OBRA	3,00	mês	0,01	R\$ 4.202,00	R\$ 12.606,00
2	MENSALIDADE DE LABORATORISTA - ENSAIOS	3,00	mês	0,01	R\$ 6.580,00	R\$ 19.740,00
3	MOBILIZACAO/DESMOBILIZAÇÃO DE EQUIPAMENTOS/EQUIPE	1,00	un	0,00	R\$ 1.800,00	R\$ 1.800,00
TOTAL						R\$ 34.146,00
TOTAL P/ APTO:						R\$ 131,33

Quadro 3: Quantitativo e custo do controle tecnológico do concreto armado convencional (Fonte: elaborado pelo autor).

Foram estimados 3 meses de mensalidade de aluguel do container laboratório e do laboratorista pois, com dois jogos de fôrma, a cada 10 dias trabalhados são levantadas 2 torres, assim 13 torres demandam 70 dias trabalhados, com 25 dias de trabalho por mês, resultando em 2,8 meses. E apenas uma mobilização/desmobilização foi considerada, pois o container de laboratório sai de uma obra direto para a outra no mesmo dia.

Item	Descrição do serviço	Qtd. a contratar	Un.	Qtd. a contratar p/ unidade	Preço unitário	Subtotal
AÇO						
1	VERGALHÃO DE AÇO CORTADO NERVURADO CA60 5,0MM	2413,00	kg	9,28	R\$ 7,76	R\$ 18.732,41
2	VERGALHÃO DE AÇO CORTADO NERVURADO CA50 6,3MM	4093,00	kg	15,74	R\$ 6,49	R\$ 26.547,48
3	VERGALHÃO DE AÇO CORTADO NERVURADO CA50 10,0MM	30539,00	kg	117,46	R\$ 6,31	R\$ 192.576,49
4	TELA DE AÇO NERVURADA CA60 EQ92 4,2MM 15X15CM 2,45X6M	250,00	un	0,96	R\$ 126,33	R\$ 31.582,50
5	TELA DE AÇO NERVURADA CA60 Q92 4,2MM 15X15CM 2,45X6M	2600,00	un	10,00	R\$ 134,17	R\$ 348.842,00
6	TELA DE AÇO NERVURADA CA60 Q138 4,2MM 10X10CM 2,45X6M	1200,00	un	4,62	R\$ 199,39	R\$ 239.268,00
7	TELA DE AÇO NERVURADA CA60 Q283 6MM 10X10CM 2,45X6M	140,00	un	0,54	R\$ 406,05	R\$ 56.847,00
8	TELA DE AÇO NERVURADA CA60 L503 8MM 15X15CM 2,45X6M	60,00	un	0,23	R\$ 475,43	R\$ 28.525,80
TOTAL						R\$ 942.921,68
TOTAL P/ APTO:						R\$ 3.626,62

Quadro 4: Quantitativo e custo do aço usado no concreto armado convencional (Fonte: elaborado pelo autor).

Para o levantamento do aço, as quantidades foram retiradas de uma tabela quantificadora usada pela própria Empresa, que tem como base os valores indicados nos projetos específicos de cada tipologia de torre. As telas são compradas por unidade em feixes de 50 nos tipos EQ92, Q92 e Q138, em feixes de 20 no tipo Q283 e em feixes de 10 no tipo L503. Por conta disso, suas quantidades foram arredondadas para cima fechando o feixe correspondente. Já os vergalhões são comprados por quilo, então suas quantidades chegam mais perto do valor real, e são apenas acrescidas de uma porcentagem de perda de 6 a 7%, dependendo do seu diâmetro.

Item	Descrição do serviço	Qtd. a contratar	Un.	Qtd. a contratar p/ unidade	Preço unitário	Subtotal
CONSUMO FÔRMA						
1	ABRACADEIRA CINTA AUTO TRAV PA 283X4,8MM	119600,00	un	460,00	R\$ 0,18	R\$ 21.528,00
2	ESPAÇADOR BOLACHA PARA LAJE 100MM	36400,00	un	140,00	R\$ 0,71	R\$ 25.844,00
3	CAMISINHAS PARA CÔRBATAS MODELO PRETO	79820,00	un	307,00	R\$ 0,72	R\$ 57.470,40
4	ESPAÇADOR CENTOPÉIA DE LAJE 20MM	32500,00	un	125,00	R\$ 0,44	R\$ 14.300,00
5	ESPAÇADOR TORREZINHA CGB-60 ARMAÇÃO NEGATIVA	13000,00	un	50,00	R\$ 0,73	R\$ 9.490,00
6	ESPAÇADOR DE PAREDE DPC 100 TELA Q92	104000,00	un	400,00	R\$ 0,23	R\$ 23.920,00
TOTAL						R\$ 152.552,40
TOTAL P/ APTO:						R\$ 586,74

Quadro 5: Quantitativo e custo dos itens usados na fôrma no concreto armado convencional (Fonte: elaborado pelo autor).

Os itens gerais usados durante a montagem e fechamento das fôrmas são reunidos no Quadro 5, e suas quantidades seguem valores já conhecidos e pré-estabelecidos pela Empresa, para cada unidade habitacional, que são oriundos da observação e controle do consumo destes materiais em obras anteriores. Pode-se observar a alta quantidade de abraçadeiras, que são muito usadas na fixação das mangueiras elétricas nas telas, tanto das paredes quanto das lajes. Também há uma quantidade significativa de espaçadores de parede para tela Q92, justamente por conta do uso de telas nas paredes, onde é preciso respeitar o posicionamento e cobrimento de projeto das telas de aço.

Item	Descrição do serviço	Qtd. a contratar	Un.	Qtd. a contratar p/ unidade	Preço unitário	Subtotal
CONCRETO						
1	CONCRETO CONVENCIONAL FCK 25MPA	3680,00	m ³	14,15	R\$ 439,14	R\$ 1.616.035,20
TOTAL						R\$ 1.616.035,20
TOTAL P/ APTO:						R\$ 6.215,52

Quadro 6: Quantitativo e custo do tipo de concreto usado no concreto armado convencional (Fonte: elaborado pelo autor).

No sistema de concreto armado convencional, é usado apenas um tipo de concreto tanto nas paredes como nas lajes. Seu quantitativo teórico pode ser facilmente calculado através do volume das paredes e lajes, mas a prática evidencia que o volume real é diferente do teórico. Então, para esse levantamento, usou-se o volume usualmente pedido diariamente pela equipe, que corresponde a um pavimento completo, multiplicado pelo número de pavimento totais somado com o volume de concreto usado também nas platibandas de cada torre.

6.3.2. Concreto reforçado com fibra de vidro

Para o CRFV, os quantitativos seguem os mesmos formatos dos levantamentos citados no concreto armado convencional. Então, nesta parte, o trabalho irá se ater a apontar as diferenças significativas entre os dois sistemas, sejam elas entre tipos de materiais, tipos de serviço ou quantidades.

Item	Descrição do serviço	Qtd. levantada	Un.	Qtd. levantada p/ unidade	Preço unitário	Subtotal
CONTROLE TECNOLÓGICO						
1	MENSALIDADE CONTAINER LABORATORIO DE CONCRETO OBRA	3,00	mês	0,01	R\$ 4.202,00	R\$ 12.606,00
2	MENSALIDADE DE LABORATORISTA - ENSAIOS	3,00	mês	0,01	R\$ 6.580,00	R\$ 19.740,00
3	MOBILIZACAO/DESMOBILIZAÇÃO DE EQUIPAMENTOS/EQUIPE	1,00	un	0,00	R\$ 1.800,00	R\$ 1.800,00
4	ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO	312,00	un	1,20	R\$ 35,00	R\$ 10.920,00
TOTAL						R\$ 45.066,00
TOTAL P/ APTO:						R\$ 173,33

Quadro 7: Quantitativo e custo do controle tecnológico do CRFV (Fonte: elaborado pelo autor).

No controle tecnológico notamos a adição de um novo item, o ensaio de resistência à tração na flexão, que requer uma amostragem de, no mínimo, 3 exemplares com 2 corpos de prova a cada 50m³. Por ser um ensaio diferente dos usualmente feitos e demandar outro equipamento, ele é contratado separadamente e cobrado por unidade. Essa mudança acaba por gerar um aumento de R\$ 42,00 por unidade habitacional.

Item	Descrição do serviço	Qtd. levantada	Un.	Qtd. levantada p/ unidade	Preço unitário	Subtotal
AÇO						
1	VERGALHÃO DE AÇO CORTADO NERVURADO CA60 5,0MM	2365,00	kg	9,10	R\$ 7,76	R\$ 18.359,78
2	VERGALHÃO DE AÇO CORTADO NERVURADO CA50 6,3MM	4877,00	kg	18,76	R\$ 6,49	R\$ 31.632,56
3	VERGALHÃO DE AÇO CORTADO NERVURADO CA50 8,0MM	13771,00	kg	52,97	R\$ 6,49	R\$ 89.320,22
4	VERGALHÃO DE AÇO CORTADO NERVURADO CA50 10,0MM	17735,00	kg	68,21	R\$ 6,31	R\$ 111.835,49
5	TELA DE AÇO NERVURADA CA60 Q92 4,2MM 15X15CM 2,45X6M	550,00	un	2,12	R\$ 134,17	R\$ 73.793,50
6	TELA DE AÇO NERVURADA CA60 Q138 4,2MM 10X10CM 2,45X6M	1200,00	un	4,62	R\$ 199,39	R\$ 239.268,00
7	TELA DE AÇO NERVURADA CA60 Q283 6MM 10X10CM 2,45X6M	140,00	un	0,54	R\$ 406,05	R\$ 56.847,00
8	TELA DE AÇO NERVURADA CA60 L503 8MM 15X15CM 2,45X6M	60,00	un	0,23	R\$ 475,43	R\$ 28.525,80
TOTAL						R\$ 649.582,35
TOTAL P/ APTO:						R\$ 2.498,39

Quadro 8: Quantitativo e custo do aço usado no CRFV (Fonte: elaborado pelo autor).

Observa-se, no Quadro 8, que houve uma redução de R\$ 1.128,23 por unidade habitacional com a adoção do concreto reforçado com fibra de vidro. Isso se deu, principalmente, pela eliminação do uso de telas Q92 e EQ92 nas paredes. Esses dois modelos de tela foram quase que totalmente reduzidos, sobrando apenas uma parte de telas Q92 que são usadas na ligação das juntas de concretagem e como cantoneiras de reforço nas lajes. Já as telas Q138, Q283 e L503 não sofreram quaisquer alterações, pois seguem sendo utilizadas na execução das lajes, platibandas e escadas, respectivamente.

Em relação aos vergalhões de aço, nota-se pouca diferença nos diâmetros 5,0 e 6,3 mm. Essas barras seguiram sendo utilizadas como reforços e arranques, da mesma forma que no concreto armado convencional, com mínimas mudanças nos projetos. Ao contrário dos vergalhões de 10 mm, que sofreram grande redução, sendo boa parte desse número substituído por barras de 8mm nos reforços de parede e laje. Se considerado apenas o custo dos vergalhões de aço, percebe-se que houve um pequeno aumento de valor, mas esse acréscimo é compensado pela redução do número de telas de aço.

Partindo para os materiais de consumo da fôrma, vê-se o surgimento de três novos itens na lista (Quadro 9), que correspondem aos espaçadores de vergalhão, de tamanho e cobertura diferentes, e ao espaçador de eletroduto. Estes três espaçadores surgem, justamente, pela ausência de telas nas paredes de concreto, que antes serviam de base para a fixação dos eletrodutos e dos espaçadores de parede. Assim, os vergalhões de aço, de diâmetro de 10 mm e 8 mm, usados no reforço de paredes e aberturas utilizam os espaçadores roseta de cobertura de 40 mm e 25 mm, respectivamente. E as mangueiras elétricas, que no CRFV são presas nos painéis da fôrma metálica, necessitam dos espaçadores específicos para eletrodutos. Justificando, assim, as quantidades levantadas.

Item	Descrição do serviço	Qtd. levantada	Un.	Qtd. levantada p/ unidade	Preço unitário	Subtotal
CONSUMO FÔRMA						
1	ABRACADEIRA CINTA AUTO TRAV PA 283X4,8MM	83200,00	un	320,00	R\$ 0,18	R\$ 14.976,00
2	ESPAÇADOR BOLACHA PARA LAJE 100MM	36400,00	un	140,00	R\$ 0,71	R\$ 25.844,00
3	CAMISINHAS PARA CORBATAS MODELO PRETO	79820,00	un	307,00	R\$ 0,72	R\$ 57.470,40
4	ESPAÇADOR CENTOPÉIA DE LAJE 20MM	32500,00	un	125,00	R\$ 0,44	R\$ 14.300,00
5	ESPAÇADOR TORREZINHA CGB-60 ARMAÇÃO NEGATIVA	13000,00	un	50,00	R\$ 0,73	R\$ 9.490,00
6	ESPAÇADOR DE PAREDE DPC 100 TELA Q92	3900,00	un	15,00	R\$ 0,23	R\$ 897,00
7	ESPAÇADOR ROSETA COBRIMENTO 40MM PARA VERG 10MM	39000,00	un	150,00	R\$ 0,25	R\$ 9.750,00
8	ESPAÇADOR ROSETA COBRIMENTO 25MM PARA VERG 8MM	26000,00	un	100,00	R\$ 0,12	R\$ 3.120,00
9	ESPAÇADOR ELETRODUTOS PAREDE COM FIBRA	39000,00	un	150,00	R\$ 0,55	R\$ 21.450,00
TOTAL						R\$ 157.297,40
TOTAL P/ APTO:						R\$ 604,99

Quadro 9: Quantitativo e custo dos itens usados na fôrma no CRFV (Fonte: elaborado pelo autor).

Os espaçadores bolacha e centopeia e as camisinhas para corbatas seguem com as mesmas quantidades, pois são aplicados na execução da laje e na proteção das corbatas, nessa ordem. Diferente desses, as abraçadeiras e espaçadores de tela tiveram uma significativa baixa nas suas quantidades, por conta da falta de telas nas paredes. Por conta disso, as abraçadeiras ficaram de uso exclusivo da execução da laje. Já os espaçadores de tela são utilizados apenas nas telas de ligação das juntas de concretagem.

Toda essa mudança no levantamento resultou num sucinto aumento no valor por unidade habitacional de R\$ 18,25. O qual, praticamente, não interfere na comparação de custo final.

Item	Descrição do serviço	Qtd. levantada	Un.	Qtd. levantada p/ unidade	Preço unitário	Subtotal
CONCRETO						
1	CONCRETO CONVENCIONAL FCK 25MPA	1080,00	m ³	4,15	R\$ 439,14	R\$ 474.271,20
2	CONCRETO AUTOADENSÁVEL FCK 25MPA	2600,00	m ³	10,00	R\$ 483,26	R\$ 1.256.476,00
TOTAL						R\$ 1.730.747,20
TOTAL P/ APTO:						R\$ 6.656,72

Quadro 10: Quantitativo e custo dos tipos de concreto usados no CRFV (Fonte: elaborado pelo autor).

Como citado anteriormente nesse trabalho, foi necessário a contratação de um novo traço de concreto para a utilização das fibras de vidro na mistura. Esse novo concreto é utilizado somente na concretagem das paredes e escada, mantendo-se o mesmo traço do concreto armado convencional para a execução da laje e platibanda. Isso implica em pedidos diários com dois tipos de concretos diferentes. Por conta desses pontos, o quantitativo levantado seguiu como base os pedidos diários de concreto e a divisão de volumes entre os caminhões e tipos de concreto, chegando aos valores do Quadro 10. Observa-se que o concreto autoadensável, usado com a fibra de vidro, corresponde ao maior volume contratado, além de possuir um valor mais elevado que o concreto convencional. Por conseguinte, há um aumento de R\$ 441,20 por unidade habitacional em relação ao outro sistema construtivo.

Quando o valor da fibra é colocado em evidência, o acréscimo no custo se torna maior ainda (Quadro 11), pois é um material adicionado que não tem um comparador direto com o concreto armado convencional.

Item	Descrição do serviço	Qtd. levantada	Un.	Qtd. levantada p/ unidade	Preço unitário	Subtotal
FIBRA						
1	MACROFIBRA DE VIDRO	15600,00	kg	60,00	R\$ 24,50	R\$ 382.200,00
TOTAL						R\$ 382.200,00
TOTAL P/ APTO:						R\$ 1.470,00

Quadro 11: Quantitativo e custo da fibra de vidro usada no CRFV (Fonte: elaborado pelo autor).

6.3.3. Comparativo

Após todas os levantamentos de materiais e custos apresentados nos quadros anteriores, é possível reunir os resultados em um comparativo final simplificado (Quadro 12). Além dos valores dos materiais e serviços já descritos, também foi incluído a economia resultante da redução da equipe de armadores de 3 para 2 funcionários por jogo de fôrma (valor de acordo com a folha de pagamento vigente).

Item	Custo do concreto armado convencional (R\$/u.h)	Custo do CRFV (R\$/u.h)	Diferença de custo*
Controle Tecnológico	R\$ 131,33	R\$ 173,33	R\$ 42,00
Aço	R\$ 3.626,62	R\$ 2.498,39	-R\$ 1.128,23
Concreto	R\$ 6.215,52	R\$ 6.656,72	R\$ 441,20
Consumo Fôrma	R\$ 586,74	R\$ 604,99	R\$ 18,25
Fibra	R\$ -	R\$ 1.470,00	R\$ 1.470,00
Redução de MO	R\$ -	-R\$ 151,91	-R\$ 151,91
Σ	R\$ 10.560,21	R\$ 11.251,52	R\$ 691,31

* Com base no valor do concreto convencional

Quadro 12: Comparativo final de custos entre concreto armado convencional e CRFV (Fonte: elaborado pelo autor).

Ao analisar o quadro acima, podemos verificar quais são os itens que mais impactam nessa diferença de valor. Liderando a fila, temos o aumento referente à fibra de vidro e a economia proveniente da baixa na quantidade de aço. Por mais que sejam valores bem significativos, o custo da fibra anula a redução de custo do aço, e ainda acresce a diferença dessa subtração no valor final. O aumento na contratação do concreto vem logo em seguida, apresentando um grande incremento. No total, para um empreendimento de um condomínio residencial de habitação popular, a substituição do sistema construtivo de paredes de concreto armado convencional para paredes de concreto reforçado com fibra de vidro, resulta em um aumento de R\$ 691,31 por unidade habitacional. Na obra em que foi realizado o estudo, o impacto no custo foi de R\$ 179.741,07.

Logo abaixo, foram feitas duas representações gráficas (Figuras 46 e 47) dessa diferença de custo, uma com valores por item (em R\$) e outra mostrando os percentuais de acréscimo ou economia da diferença dos custos.

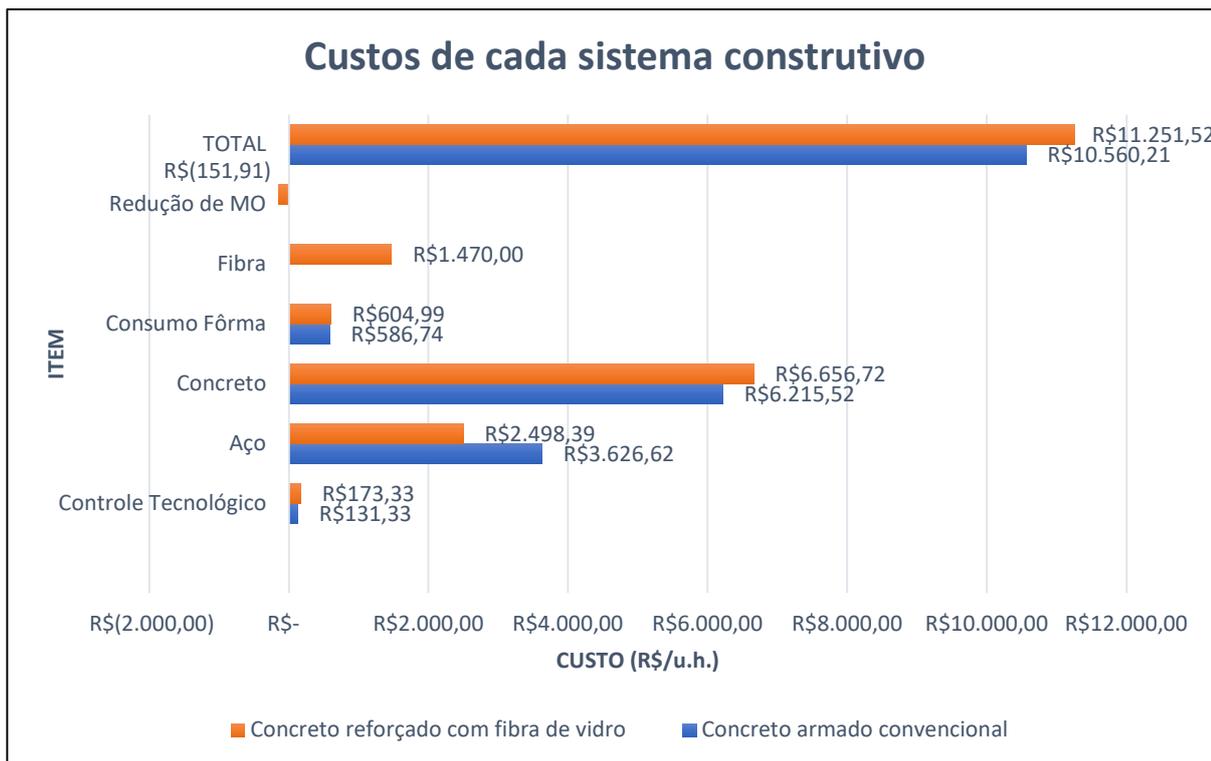


Figura 46: Representação gráfica dos custos de cada sistema construtivo (Elaborado pelo autor).

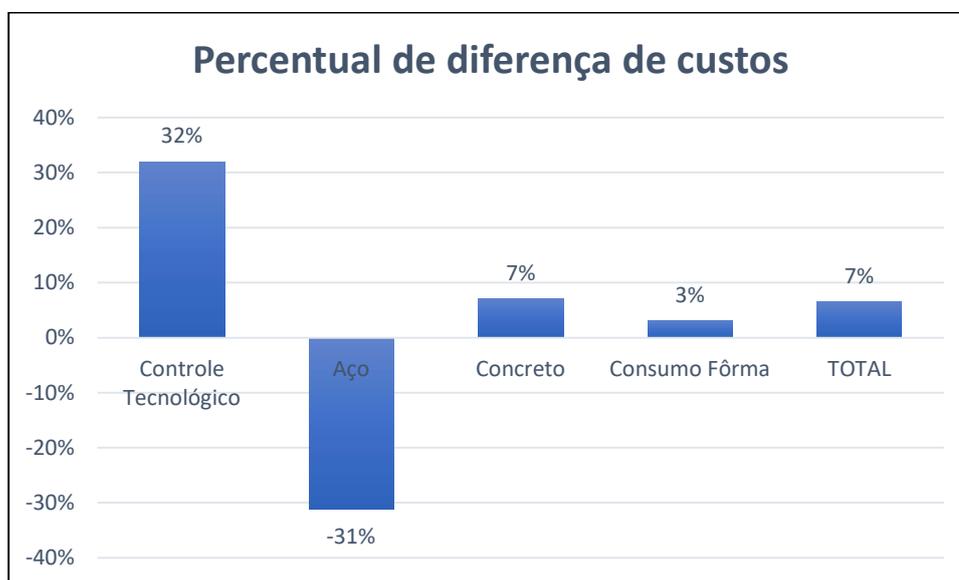


Figura 47: Representação gráfica do percentual de diferença de custos de cada sistema construtivo (Elaborado pelo autor).

Considerando a diferença percentual dos custos de cada sistema, nota-se novamente que a maior economia está na alta redução das telas de aço. Mas desta vez o maior aumento está no controle tecnológico, que demandou um novo ensaio de resistência para o CRFV.

Além disso, é esperada, logo mais, a publicação da norma regulamentadora de execução de estruturas de concreto reforçado com fibras. No conteúdo dessa norma, está sendo prevista a exigência de um outro ensaio no controle tecnológico do concreto, o ensaio de resistência residual ao duplo puncionamento. Esse ensaio foi orçado pela Empresa construtora, e tem um custo extremamente elevado, chegando próximo dos R\$ 1.000,00 por corpo de prova. Se tornando uma situação impossível de manter com a verba programada para o empreendimento.

6.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O principal objetivo da pesquisa foi identificar as vantagens e desvantagens da adoção do sistema construtivo de paredes de concreto feito com concreto reforçado com fibra de vidro, em obras de condomínios residenciais de habitação popular. E, também, avaliar se essa adoção se mostraria vantajosa para a empresa construtora responsável pelo empreendimento.

A metodologia empregada, utilizando a comparação da execução e dos custos de ambos os sistemas construtivos, trouxe resultados que evidenciam melhorias na produtividade do processo estudado. Mas, ao mesmo tempo, mostrou uma desvantagem enorme em relação ao custo desta substituição. Desta forma, o autor deste trabalho espera ter respondido à pergunta: “quais são as vantagens e desvantagens de substituir o concreto armado convencional pelo concreto reforçado com fibra de vidro em paredes de concreto estrutural de empreendimentos residenciais de baixo padrão e execução rápida?”. As percepções que justificam a impressão do autor do trabalho são as evidências apresentadas a seguir.

O processo construtivo do concreto reforçado com fibra de vidro mostrou a simplificação de algumas atividades, principalmente no serviço de armação. O que resultou em uma redução no efetivo de funcionários, passando de três para dois o número de armadores necessários para a execução. Além disso, por se tornar um processo mais simples, a margem para erros diminuiu, e a conferência dessas atividades se tornou mais fácil e rápida, refletindo um ganho na qualidade do produto. A diminuição de telas de aço, também apresentou a vantagem de diminuir o espaço de armazenamento de materiais ocupado no canteiro de obras.

No entanto, quando entramos no quesito custo, percebeu-se que a economia gerada pela eliminação das telas de aço das paredes e pela diminuição do efetivo é anulada, e superada, pelo custo da fibra combinado com o aumento do valor do concreto, do controle tecnológico e dos demais itens utilizados na execução do sistema. Essa diferença de custo corresponde a um aumento de R\$ 691,31 no valor por unidade habitacional, o que em grandes empreendimentos, como o estudado, causa um impacto enorme no orçamento da obra.

Outro fator importante que deve ser destacado é a falta de normatização deste novo processo construtivo. Porém, é esperado que, em breve, a ABNT faça a publicação de uma norma regulamentadora de execução de estruturas de concreto reforçado com fibras, e essa norma pode trazer mais custos em relação ao controle tecnológico do concreto. O que aumentaria, ainda mais, o custo de aplicação do CRFV.

Com base nos valores apresentados e na previsão de um aumento ainda maior no custo, sugere-se que a empresa mantenha o processo construtivo do concreto armado para as paredes de concreto, porque a diferença de custo do CRFV não compensa as vantagens oferecidas pela adoção desse sistema.

REFERÊNCIAS

- ARCELORMITTAL E BEKAERT. **Belgo Arames**, © 2022. Soluções inovadoras em arames. Disponível em: <<https://www.belgo.com.br>>. Acesso em: 08 março 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM; INSTITUTO DE TELAS SOLDADAS. **Parede de Concreto - Coletânea de Ativos**. São Paulo: [s.n.], 2013. 110 p. Disponível em: <<https://abcp.org.br/coletanea-de-ativos-em-paredes-de-concreto-2011-2013/>>. Acesso em: 5 março 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR16055 - Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações - Requisitos e procedimentos**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2022. 44 p.
- BENTUR, A.; MINDESS, S. **Fibre reinforced cementitious composites**. New York: Taylor & Francis, 2007.
- BONIFÁCIO, J. S. R.; GODINHO, D. S. S. **Estudo do efeito das fibras de vidro e polipropileno nas propriedades mecânicas do concreto**. Criciúma: UNESC, 2016. 19 p. Disponível em: <<http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/3028/1/JéssicaSpricigoRochaBonifácio.pdf>>. Acesso em: 10 abril 2023.
- CARNIO, M. A. Paredes moldadas no local em concreto reforçado com fibras. **CONCRETO & CONTRUÇÕES**, v. 90, p. 47-52, 2018. Disponível em: <https://www.google.com/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=0CAMQw7AJahcKEwiw1cmy-JP-AhUAAAAAHQAAAAAQAw&url=https%3A%2F%2Ffibracon.org.br%2Fsite_revista%2Fconcreto_construcoes%2Fpdfs%2Frevista90.pdf&psig=AOvVaw0DNK5qVGZ-IKX9yP8HcfMM&ust=1680825266398694>. Acesso em: 12 abril 2023.
- CLEMENTE JR, S.S. **Estudo de Caso x Casos para Estudo**: Esclarecimentos a cerca de suas características e utilização. São Paulo: USP, 2012. 12 p. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/57688204-Estudo-de-caso-x-casos-para-estudo-esclarecimentos-a-cerca-de-suas-caracteristicas-e-utilizacao-1-sergio-dos-santos-clemente-junior-2.html>>. Acesso em: 10 abril 2023.
- DEGANI, J. O impacto e a importância da construção civil no Brasil. **Sienge**, 2022. Disponível em: <<https://www.sienge.com.br/blog/construcao-civil-no-pais/>>. Acesso em: 04 abril 2023.
- EM quatro anos, emprego cai 34% na construção. **Estadão**, 2019. Disponível em: <<https://www.estadao.com.br/opiniao/em-quatro-anos-emprego-cai-34-na-construcao/>>. Acesso em: 07 março 2023.
- FIGUEIREDO, A. D. **Concreto reforçado com fibras**. Tese (Livre-Docência). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. 248p. São Paulo, 2011.
- FREIRE, W. J.; BERALDO, A. L. **Tecnologias e materiais alternativos de construção**. São Paulo: Editora da Unicamp, 2003.

KACZYNSKI, R. S. **Sistemas parede de concreto armada moldada no local**: alternativa construtiva para empreendimento habitacional na realidade contemporânea. Porto Alegre: [s.n.], 2014. 86 p. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/110060>>. Acesso em: 17 março 2023.

LOPES, F. A. **Utilizando paredes de concreto moldadas “in loco”** – estudo de caso. Belo Horizonte: UFMG, 2016. 79 p. Disponível em: <<https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/31882/1/Filipe%20Araujo%20Lopes%20-%20TCC%20pós%20-%20R02.pdf>>. Acesso em: 28 abril 2023.

MANZIONE, J. A. P. **Caracterização de concretos com macrofibras de vidro para aplicações estruturais**. São Paulo: USP, 2019. 113 p. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3153/tde-07022020-120011/publico/JoelmaAparecidaPereiraManzioneCorr19.pdf>>. Acesso em: 24 abril 2023.

MARMITT, D. R. **Estudo de Caso Análise de não conformidade pós-ocupação em um empreendimento habitacional de interesse social executado com parede de concreto armado moldadas in loco**. Porto Alegre: [s.n.], 2017. 102 p. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/169866>>. Acesso em: 17 março 2023.

MENDONÇA, A. W. (Org.). **Metodologia para Estudo de Caso**. Palhoça: UnisulVirtual, 2014. 102 p. Disponível em: <<https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/21932/1/fulltext.pdf>>. Acesso em: 05 abril 2023.

MISURELLI, H.; MASSUDA, C. Paredes de Concreto. **Revista Técnica**, n. 147, p. 10, junho 2009.

NASCIMENTO, L. Falta de material e custos impactam a indústria da construção. **Agência Brasil**, 2021. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2021-10/falta-de-material-e-custos-impactam-industria-da-construcao>>. Acesso em: 04 abril 2023.

Prática recomendada IBRACON/ABECE. **Macrofibras de vidro álcali resistentes (ar) para concreto destinado a aplicações estruturais**: Definições, especificações e conformidade. Ed. IBRACON/ABECE, 1ª Edição, 2017b. 26p.

PRINCIPAIS tipos de fibra para concreto e sua utilização. **Belgo arames**, 2022. Disponível em: <<https://blog.belgo.com.br/engenharia/construcao-civil/tipos-fibra-para-concreto/>>. Acesso em: 10 março 2023.

RAUEN, Fábio José. **Roteiros de pesquisa**. Rio do Sul, SC: Nova Era, 2006.

SOUZA, A. P. P.; FERNANDES, T. S. **Paredes de concreto**: utilização, características, viabilidade e execução. Caratinga: DOCTUM, 2015. 49 p. Disponível em: <<https://dspace.doctum.edu.br/bitstream/123456789/1064/1/TCC%202%20-%20Angelo%20e%20Tharley%20-%20Paredes%20de%20concreto%20Utilizacao%20caracteristica%20viabilidade%20e%20execucao.pdf>>. Acesso em: 20 abril 2023.

YIN, R.K. **Estudo de caso**: planejamento e métodos. Porto Alegre: Bookman, 2005.