

VICTOR ANTONIO ORTEGA RIVEROS

**Desenvolvimento e utilização de um método simplificado de coleta de dados
para entender a variação da produtividade na execução de estruturas de
concreto armado**

**São Paulo
2016**

VICTOR ANTONIO ORTEGA RIVEROS

**Desenvolvimento e utilização de um método simplificado de coleta de dados
para entender a variação da produtividade na execução de estruturas de
concreto armado**

Monografia apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Especialista em Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios.

Orientador: Prof. Dr. Ubiraci Espinelli Lemes de Souza.

**São Paulo
2016**

VICTOR ANTONIO ORTEGA RIVEROS

**Desenvolvimento e utilização de um método simplificado de coleta de dados
para entender a variação da produtividade na execução de estruturas de
concreto armado**

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo, para obtenção do título de
Especialista em Tecnologia e Gestão na
Produção de Edifícios.

Área de Concentração: Engenharia Civil

Orientador: Prof. Dr. Ubiraci Espinelli
Lemes de Souza.

São Paulo
2016

A meu pai, Heriberto Riveros.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ter me proporcionado esta oportunidade e pela constante guia.

Ao meu pai Heriberto Riveros, por ter sido sempre um excelente conselheiro, mesmo na distância.

À minha melhor amiga Juliana Delamura, por ser a melhor companhia e apoio em todo momento.

Ao professor e orientador Ubiraci Espinelli Lemes de Souza pela sua precisa e clara orientação, sempre direto ao ponto.

Aos colegas engenheiros André Luiz Laqueli, Carolina Magina, Guilherme Gudjenian, Henrique Rapaci e Ricardo Berni pelo apoio e disponibilização do seu tempo para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores e à coordenação do curso de Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios, pelo excelente trabalho durante toda a especialização.

O que as suas mãos tiverem que fazer, que o façam com toda a sua força, pois na sepultura, para onde você vai, não há atividade nem planejamento, não há conhecimento nem sabedoria.

Eclesiastes 9:10

RESUMO

Este trabalho apresenta um método simplificado de coleta de dados para o estudo da produtividade da mão-de-obra na execução de estruturas reticuladas de concreto armado. Inicialmente foi redigida uma revisão bibliográfica que precede a apresentação de um estudo de caso. A revisão consiste em uma apresentação clara dos processos necessários à execução da estrutura e os conhecimentos necessários para o desenvolvimento do método. O método proposto foi implementado em três obras, localizadas na cidade de São Paulo, com diferentes características. Para o estudo, a execução da estrutura dividiu-se no serviço de fôrma, armação e concretagem, focando nos primeiros dois para a aplicação do método. Os dados necessários foram obtidos e processados de forma que fossem identificados alguns fatores responsáveis por esses resultados. O trabalho traz uma ferramenta de simples aplicação, utilizando dados de fácil acesso, geralmente disponíveis na obra. Ela poderá ser utilizada pelo gestor de obras no processo de tomada de decisões, ou por qualquer outro interessado no acompanhamento da produtividade.

Palavras-Chave: Estrutura reticulada de concreto armado. Fôrmas. Armação. Produtividade.

ABSTRACT

This study presents a simplified method of data collection for studying the labor productivity in the execution of cross-linked structures of reinforced concrete. Initially it was drafted a literature review that precedes the presentation of the case study. The review consists of a clear presentation of the procedures for building the structure and the knowledge necessary for the development of the method. The proposed method was implemented in three construction sites located in the city of São Paulo, with different characteristics. For the study, the execution of the structure was divided into three services that are formwork, framework and concrete placement, focusing on the first two for the application of the method. The necessary data were obtained and processed in order to identify the factors responsible for these overall result. This study brings a tool of simple use, by using data easy to access and usually available. It can be used by the construction manager in the decision-making process, or any other interested in monitoring productivity.

Keywords: Cross-linked structures of reinforced concrete. Formwork. Framework. Labor productivity.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fluxograma de atividades	21
Figura 2 - Esquema genérico da produção de elementos de concreto armado	24
Figura 3 - Nomenclatura básica: Molde.....	28
Figura 4 - Nomenclatura básica: Cimbramento	28
Figura 5 - Nomenclatura básica: Acessórios	29
Figura 6 - Visão geral de um sistema de fôrmas	30
Figura 7 - Fôrma de madeira para pilar.....	33
Figura 8 - Corte de pilar com fôrma de madeira.....	33
Figura 9 - Esquema genérico de fôrmas de madeira para pilar com molde em tábuas	34
Figura 10 - Perspectiva de uma fôrma tradicional para viga, com molde em chapa de compensado estruturado com sarrafos	35
Figura 11 - Diferentes tipos de estruturação e travamento do molde da viga	37
Figura 12 - Corte de fôrma de viga de borda com escoramento/travamento com garfo de madeira e mão-francesa em sarrafo.....	38
Figura 13 - Esquema de fôrma convencional para laje	39
Figura 14 - Esquema de fôrma para laje com escoramento pontual em madeira	39
Figura 15 - Fluxograma de produção das armaduras de estruturas de concreto armado	40
Figura 16 - Fluxograma do processo de armação para recebimento de barras em vergalhões ou rolos e armação para recebimento de barras pré-cortadas e pré-dobradas	41
Figura 17 - Estocagem de barras de aço	44
Figura 18 - Fluxograma esquemático das atividades de armação, contemplando os deslocamentos e estoques, para recebimento de barras em vergalhões ou rolos....	45
Figura 19 - Deslocamentos a considerar para o dimensionamento do sistema de transporte, para recebimento de barras em vergalhões ou rolos	46
Figura 20 - Fluxograma esquemático das atividades de armação, contemplando os deslocamentos e estoques, para recebimento de barras pré-cortadas e pré-dobradas	47
Figura 21 - Deslocamentos a ser considerados para o dimensionamento do sistema de transporte, para recebimento de barras pré-cortadas e pré-dobradas	48

Figura 22 - Equipamentos para corte de vergalhões de aço.....	49
Figura 23 - Bancada com pinos e chave de dobra	50
Figura 24 - Dobradeira mecânica	51
Figura 25 - Espaçadores plásticos: (a) peça para laterais de viga, pilares, pré-moldados e postes; (b) exemplo de aplicação nas barras de aço; (c) peça indicada para armaduras horizontais como laje, fundo de vigas, tela soldada e piso industrial; (d) exemplo de aplicação nas barras de aço. (e) peça indicada para armaduras horizontais, verticais e inclinadas, telas soldadas, lajes, fundo de viga, estrutura pré-moldada e poste padrão; (f) exemplo de aplicação nas barras de aço	52
Figura 26 - Entradas e Saídas.....	59
Figura 27 - Aspectos a padronizar quanto à mensuração da RUP	60
Figura 28 - Alocação usual dos operários ao longo das etapas do fluxograma dos processos.....	61
Figura 29 - Diferentes abrangências quanto à mão-de-obra contemplada.....	62
Figura 30 - Classificação dos fatores influenciadores da produtividade	63
Figura 31 - Levantamento de dados pelo método simplificado	74
Figura 32 - Fachada prevista do empreendimento - Obra SP1	76
Figura 33 - Vista frontal durante a execução - Obra SP1	77
Figura 34 - Distribuição das fôrmas por pavimento - Obra SP1	78
Figura 35 - Preparação do escoramento para a fôrma da laje - Obra SP1	79
Figura 36 - Escoramentos com pé-direito duplo. Obra SP1	80
Figura 37 - Escoramento apoiado em pequenas vigas em balanço - Obra SP1	80
Figura 38 - Travamento de pontalotes com mãos-francesas metálicas - Obra SP1	81
Figura 39 - Distribuição do aço por pavimento - Obra SP1	83
Figura 40 - Grua transportando aço para a laje – Obra SP1	84
Figura 41 - Concretagem com a utilização de bomba - Obra SP1	86
Figura 42 - Distribuição do concreto por pavimento - Obra SP1	87
Figura 43 - Distribuição da fôrma por pavimento x Produtividade - Obra SP1	89
Figura 44 - Variação da produtividade no serviço de fôrmas - Obra SP1.....	90
Figura 45 - Distribuição do aço por pavimento x Produtividade - Obra SP1.....	91
Figura 46 - Variação da produtividade no serviço de armação - Obra SP1.....	91
Figura 47 - Fachada prevista do empreendimento - Obra SP2	92
Figura 48 - Vista durante a execução - Obra SP2.....	93
Figura 49 - Distribuição das fôrmas no pavimento tipo - Obra SP2.....	94

Figura 50 - Macro painéis compostos por painéis modulares manuseáveis de compensado com estrutura de aço - Obra SP2	95
Figura 51 - Fôrmas metálicas circulares preparadas para a concretagem - Obra SP2	95
Figura 52 - Distribuição do aço por pavimento - Obra SP2	97
Figura 53 - Área para estoque de aços dobrados e cortados - Obra SP2.....	98
Figura 54 - Área para estoque de aço pré-cortado e pré-dobrado e armaduras montadas - Obra SP2.....	98
Figura 55 - Pré-montagem das armaduras - Obra SP2.....	99
Figura 56 - Concretagem da laje com o auxílio do <i>Spider</i>	101
Figura 57 - Distribuição do concreto no pavimento tipo - Obra SP2.....	102
Figura 58 - Variação da produtividade no serviço de fôrmas - Obra SP2.....	104
Figura 59 - Variação da produtividade no serviço de armação - Obra SP2.....	105
Figura 60 - Fachada prevista do empreendimento - Obra SP3	106
Figura 61 - Vista lateral durante a execução - Obra SP3	106
Figura 62 - Distribuição das fôrmas no pavimento tipo - Obra SP3.....	107
Figura 63 - Escoramento - Obra SP3	108
Figura 64 - Distribuição do aço por pavimento - Obra SP3	110
Figura 65 - Transporte do concreto mediante jericas içadas por grua - Obra SP3..	112
Figura 66 -- Distribuição do concreto no pavimento tipo - Obra SP3	113
Figura 67 - Variação da produtividade no serviço de fôrmas - Obra SP3.....	115
Figura 68 - Variação da produtividade no serviço de armação - Obra SP3.....	115
Figura 69 - Organização da obra durante a montagem das fôrmas - Obra SP1	116
Figura 70 - Fôrma da laje - Obra SP1	117
Figura 71 - Armaduras das vigas - Obra SP1.....	117
Figura 72 - Pilares redondos com capitéis - Obra SP2	119
Figura 73 - Viga curva - Obra SP2	119
Figura 74 - Vista superior de viga curva - Obra SP2	120
Figura 75 - Fôrmas metálicas para os pilares circulares - Obra SP2	120
Figura 76 - Comparação da RUP do serviço de fôrmas entre as obras estudadas.	122
Figura 77 - Variação da produtividade no serviço de fôrmas	123
Figura 78 - Variação da produtividade no serviço de fôrmas - pré-fabricadas	123
Figura 79 - Variação da produtividade no serviço de fôrmas - fabricadas na obra..	123

Figura 80 - Comparação da RUP do serviço de armação entre as obras estudadas	124
Figura 81 - Variação da produtividade no serviço de armação	124
Figura 82 - Variação da produtividade no serviço armação - aço pré-cortado e pré dobrado	124
Figura 83 - Variação da RUP nas obras.....	125

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Decomposição dos custos de estrutura de concreto armado para edificação de múltiplos pavimentos	25
Tabela 2 - Decomposição dos custos da estrutura de concreto armado para edifício habitacional construído de maneira convencional	26
Tabela 3 - Caracterização dos pavimentos - Obra SP1	76
Tabela 4 - Resumo de fôrma para o Pavimento tipo - Obra SP1	78
Tabela 5- Distribuição das fôrmas em porcentagem - Obra SP1	78
Tabela 6 - Atividades desenvolvidas pela equipe de fôrma - Obra SP1	82
Tabela 7 - Resumo da quantidade de aço por pavimento Obra SP1	83
Tabela 8 - Distribuição do aço por pavimento - Obra SP1	83
Tabela 9 - Atividades desenvolvidas pela equipe de armação - Obra SP1	85
Tabela 10 - Resumo do volume de concreto por pavimento- Obra SP1	86
Tabela 11 - Distribuição do concreto por pavimento - Obra SP1	87
Tabela 12 - Equipe de concretagem - Obra SP1.....	88
Tabela 13 - Dias trabalhados - Obra SP1.....	88
Tabela 14 - RUPs do serviço de fôrma - Obra SP1.....	89
Tabela 15 - RUPs do serviço de armação - Obra SP1	90
Tabela 16 - Resumo de fôrma para o pavimento tipo - Obra SP2.....	93
Tabela 17 - Atividades desenvolvidas pela equipe de fôrma - Obra SP2.....	96
Tabela 18 - Resumo da quantidade de aço por pavimento - Obra SP2	97
Tabela 19 - Distribuição do aço por pavimento - Obra SP2	97
Tabela 20 - Atividades desenvolvidas pela equipe de armação - Obra SP2	100
Tabela 21 - Resumo do volume de concreto por pavimento tipo - Obra SP2.....	101
Tabela 22 - Distribuição da M.O. durante o serviço de concretagem das lajes - Obra SP2.....	102
Tabela 23 - Dias trabalhados - Obra SP2.....	103
Tabela 24 - RUP do serviço de fôrma - Obra SP2	103
Tabela 25 - RUP do serviço de armação - Obra SP2.....	104
Tabela 26 - Resumo de fôrma para o pavimento tipo – Obra SP3.....	107
Tabela 27 - Atividades desenvolvidas pela equipe de fôrma - Obra SP3.....	109
Tabela 28 - Resumo da quantidade de aço por pavimento - Obra SP3	109
Tabela 29 - Distribuição do aço por pavimento - Obra SP3	110

Tabela 30 - Atividades desenvolvidas pela equipe de armação - Obra SP3.....	111
Tabela 31 - Resumo do volume de concreto por pavimento tipo - Obra SP3.....	112
Tabela 32 - Distribuição da M.O. durante o serviço de concretagem das lajes - Obra SP3.....	113
Tabela 33 - Dias trabalhados - Obra SP3.....	114
Tabela 34 - RUPs do serviço de fôrma - Obra SP3.....	114
Tabela 35 - RUPs do serviço de armação - Obra SP3.....	115
Tabela 36 - Comparação inter-obra da RUP de fôrma.....	126
Tabela 37 - Comparação inter-obra da RUP de armação	127

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Normas que se aplicam aos materiais de ERCA.....	23
Quadro 2- Principais materiais utilizados na produção de fôrmas.....	29
Quadro 3 - Subsistemas de fôrmas e seus componentes	31
Quadro 4- Tipos de travamentos das fôrmas dos pilares	32
Quadro 5 - Tipos de travamentos das fôrmas das vigas	36
Quadro 6 - Detalhes e cuidados para cada tipo de fornecimento.....	43
Quadro 7- Tipos de laje segundo o acabamento superficial.....	58
Quadro 8- Períodos de tempo e indicadores associados às mensurações de entradas e saídas.....	63
Quadro 9 - Fatores que influenciam a produtividade.....	64
Quadro 10 - Recomendações para o aumento de produtividade no serviço de fôrmas	65
Quadro 11 - Fatores de conteúdo relacionados ao projeto do produto	66
Quadro 12 - Fatores de contexto relacionados ao método de trabalho.....	67
Quadro 13 - Fatores de contexto ligados à organização do trabalho	68
Quadro 14 - Fatores que podem influenciar a produtividade no serviço de concretagem.....	69
Quadro 15 (Continua)- Trabalhos anteriores sobre produtividade na execução de ERCA	70
Quadro 16 - Caracterização da obra SP1	75
Quadro 17 - Caracterização da obra SP2	92
Quadro 18 - Caracterização da obra SP3	105

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Cic	Cíclica
Cum	Cumulative
ERCA	Estruturas Reticuladas de Concreto Armado
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
RUP	Razão Unitária de Produção
ton	Toneladas

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	19
1.1. OBJETIVO DO TRABALHO	19
1.2. JUSTIFICATIVA.....	19
1.3. MÉTODO DE PESQUISA.....	20
1.4. FLUXOGRAMA DE ATIVIDADES.....	20
1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO	22
2. REVISÃO DA LITERATURA SOBRE ESTRUTURAS RETICULADAS DE CONCRETO ARMADO (ERCA)	23
2.1. FÔRMA.....	24
2.1.1. Sistema de fôrmas	27
2.2. ARMAÇÃO.....	40
2.2.1. Recebimento.....	41
2.2.2. Transporte e estocagem	43
2.2.3. Processamento	48
2.2.4. Posicionamento nas fôrmas.....	53
2.3. CONCRETAGEM.....	54
2.3.1. Concreto e a sua produção.....	54
2.3.2. Execução	55
3. REVISÃO DA LITERATURA SOBRE PRODUTIVIDADE	59
3.1. DEFINIÇÃO	59
3.2. MENSURAÇÃO DA PRODUTIVIDADE	59
3.2.1. Padronização das entradas	61
3.2.2. Padronização das saídas.....	62
3.2.3. Período de tempo do processo produtivo	63
3.3. FATORES QUE INFLUENCIAM A PRODUTIVIDADE	63
3.4. PRODUTIVIDADE NA EXECUÇÃO DE ERCA	64
3.4.1. Fôrma	64
3.4.2. Armação	65
3.4.3. Concretagem	68
3.5. TRABALHOS ANTERIORES SOBRE PRODUTIVIDADE NA EXECUÇÃO DE ERCA	69
4. MÉTODO PROPOSTO E SUA IMPLEMENTAÇÃO	72

4.1.	MÉTODO PROPOSTO.....	72
4.1.1.	Ideias para a concepção do método	72
4.2.	IMPLEMENTAÇÃO DO MÉTODO.....	75
4.2.1.	Obra SP1	75
4.2.2.	Obra SP2	91
4.2.3.	Obra SP3	105
4.3.	ANÁLISE DOS DADOS	116
4.3.1.	Análise dos resultados.....	116
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	128
6.	REFERÊNCIAS	130

1. INTRODUÇÃO

Após o cenário do *boom* imobiliário brasileiro, a atual fase do setor indica no mínimo a necessidade de cautela por parte dos investidores. Este cenário incentiva um campo de batalha interno para redução de custos dentro das empresas de construção civil. Entre 2007 e 2011 houve um crescimento importante do setor como indica a pesquisa realizada em 2014 pela consultoria EY. Por outro lado, o mesmo estudo, realizado com sete das maiores construtoras e incorporadoras do País, revelou uma forte pressão para redução dos custos da construção que crescem em taxas maiores que o crescimento das receitas. Como reflexo, cita-se a redução da margem Ebitda (lucro antes dos juros, impostos, depreciação e amortização, na sigla em inglês), a qual caiu para 16% em 2011, tendo alcançado 21% em 2007. (EY, 2014)

Melhorar a produtividade da mão-de-obra pode ser um dos caminhos para se conseguir essa almejada redução de custos. E, como passo anterior às tomadas de decisão, ter meios adequados para levantar informações que as subsidiem é tido como uma ideia bastante acertada. Em termos de subsistemas que compõem uma edificação, a estrutura aparece como um dos mais importantes no que se refere a custos, além da relevância técnica. Portanto, atuar no sentido de melhorar a produtividade da mão-de-obra no serviço de execução da estrutura de concreto armado pode ser bastante relevante para reforçar a competitividade de uma empresa de construção.

1.1. OBJETIVO DO TRABALHO

Apresentar um método simplificado de coleta de dados para entender a variação da produtividade da mão-de-obra na execução de estruturas de concreto armado

1.2. JUSTIFICATIVA

Um estudo sobre produtividade na construção civil, realizado pela empresa consultora EY no ano de 2014, apresenta um dado alarmante, qual seja, 41% dos entrevistados revelaram não utilizar de forma metódica indicadores de produtividade. Os profissionais entrevistados, provenientes de empresas de pequeno, médio e

grande porte, apontaram como principais razões para isto a dificuldade de coletar dados e de comparar empreendimentos. (EY, 2014)

Com este trabalho pretende-se apresentar um método simplificado no qual será possível obter indicadores confiáveis de produtividade com dados corriqueiros das obras, sem necessidade de um trabalho exaustivo em campo.

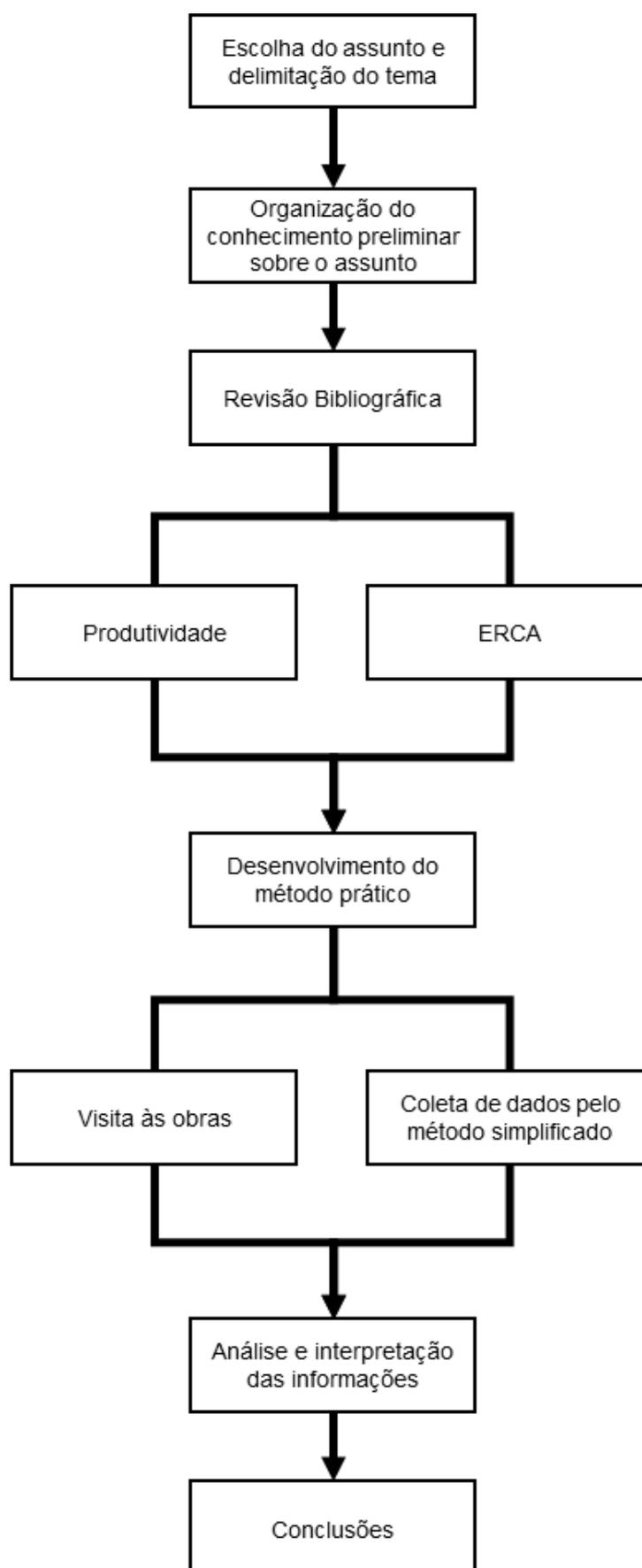
1.3. MÉTODO DE PESQUISA

Para atingir os objetivos propostos, a metodologia desse trabalho está centrada em duas etapas. A primeira se baseia em pesquisas bibliográficas, tendo por base a busca de informações em: livros, revistas, textos de dissertação de mestrado, teses de doutorado além de publicações especializadas elaboradas por entidades atuantes no setor da construção civil. Já a segunda etapa se baseia na montagem e análise crítica de um estudo de caso envolvendo três obras localizadas na cidade de São Paulo. A montagem do caso prático baseou-se em visitas às obras, onde, mediante reuniões com os responsáveis de produção, foram levantadas as informações necessárias para cumprir os objetivos propostos no presente trabalho.

1.4. FLUXOGRAMA DE ATIVIDADES

A Figura 1 apresenta o fluxograma de atividades proposto para o presente trabalho.

Figura 1 - Fluxograma de atividades



1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta monografia tem sua estrutura desenvolvida em seis capítulos. No Capítulo 1 são apresentadas as informações referentes ao objetivo do trabalho e à metodologia que foi utilizada para alcançá-lo, além da justificativa e sua contextualização. Do Capítulo 2 ao Capítulo 4 é feita a revisão bibliográfica sobre as estruturas reticuladas de concreto armado e o estudo da produtividade.

No Capítulo 2 faz-se uma explanação de toda a execução das estruturas de concreto armado. O capítulo inicia com uma definição das estruturas reticuladas e com uma lista das principais normas que se aplicam aos diferentes materiais constituintes do concreto armado. A seguir são apresentadas as diferentes etapas da execução: fôrma, armação e concretagem. Essa discussão passa pela representatividade dos custos de cada etapa, pelas partes constituintes da fôrma, os modos de recebimento e processamento do aço e ainda a produção do concreto e execução da concretagem.

No Capítulo 3 se discute sobre o estudo da produtividade, iniciando com a sua definição e os principais termos utilizados. A seguir explica-se como é feita a mensuração da produtividade e a padronização das entradas e saídas. Partindo desse conhecimento são apresentados os principais fatores que influenciam na produtividade. Finaliza-se o capítulo com um resumo dos principais trabalhos sobre produtividade publicados anteriormente, bem como seus autores e a linha de pesquisa de cada um deles.

O Capítulo 4 trata sobre a apresentação do método proposto e a sua implementação em um estudo de caso realizado em três obras localizadas no estado de São Paulo. São apresentadas as diretrizes que regeram o método proposto e quais dados deveriam ser obtidos nas obras estudadas. Além disso, é feita a exposição desses dados e a apresentação dos resultados obtidos. De posse destes resultados (produtividade dos serviços de fôrma e armação) analisam-se os fatores que contribuíram para os resultados apresentados.

No Capítulo 5 são apresentadas as conclusões e considerações finais sobre esta pesquisa.

2. REVISÃO DA LITERATURA SOBRE ESTRUTURAS RETICULADAS DE CONCRETO ARMADO (ERCA)

Neste capítulo será apresentado um breve levantamento bibliográfico sobre as estruturas reticuladas de concreto armado, desde a definição do sistema estrutural até as etapas de execução da mesma.

“As estruturas reticuladas são aquelas em que a transmissão dos esforços ocorre através de elementos isolados tais como lajes, pilares e vigas ou pórticos”. (BARROS; MELHADO, 1998, p.1) Já o concreto armado, segundo Pinheiro et al (2003, p.3) “é a associação do concreto simples com uma armadura, usualmente constituída por barras de aço”. Além desses materiais são necessários moldes que definam a forma dos elementos.

A produção das estruturas de concreto armado basicamente se divide em três grandes grupos de tarefas, a produção e montagem de fôrmas, das armaduras e a concretagem. A Figura 2 apresenta um esquema genérico da produção de elementos de concreto armado.

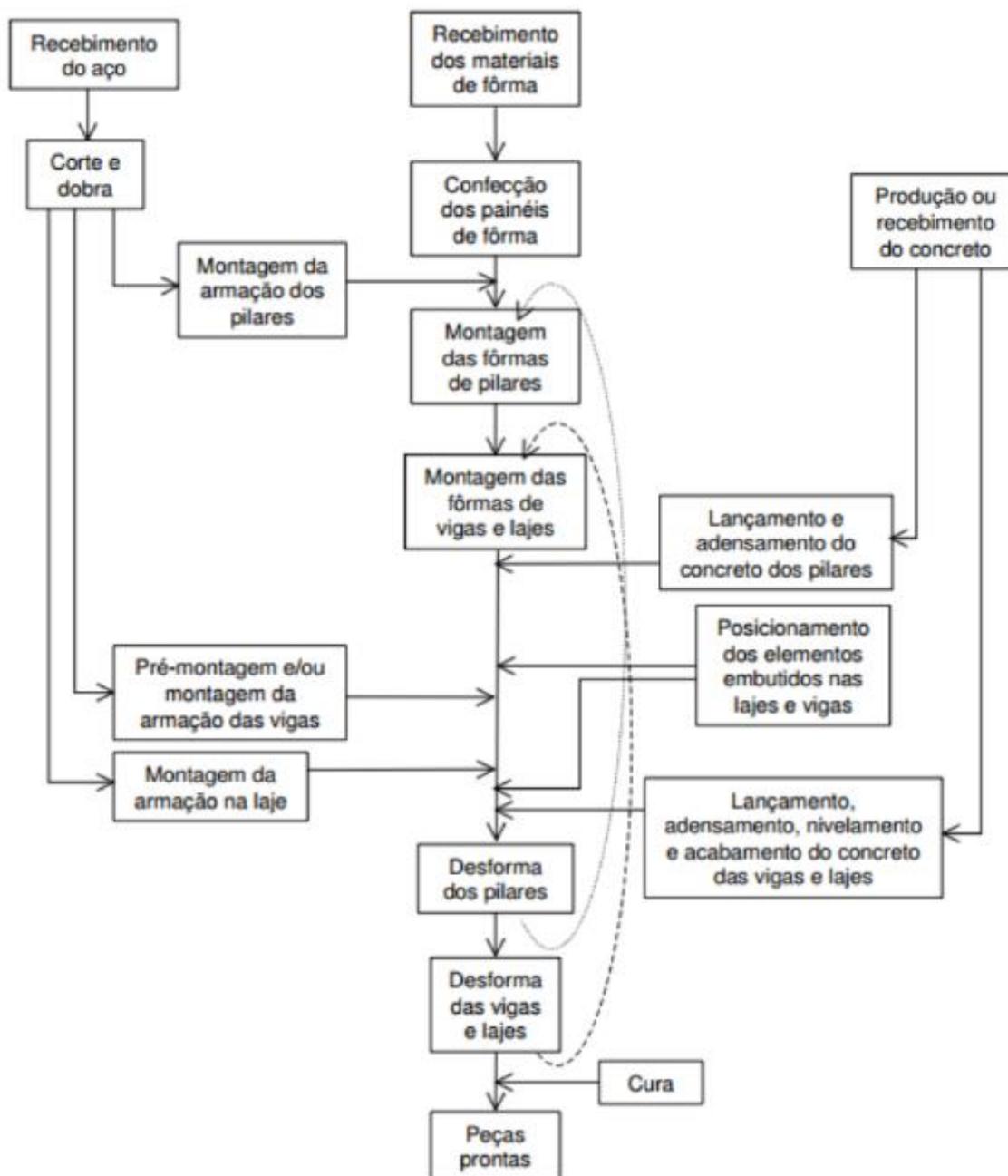
Os requisitos e parâmetros de qualidade que devem ser verificados e atendidos no momento do recebimento são especificados nas normas apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1- Normas que se aplicam aos materiais de ERCA

Material	Normas
Aço	ABNT NBR 7480 ABNT NBR 7481
Material para fôrmas	ABNT NBR ISO 2426-1, 2 e 3 ABNT NBR ISO 2299 ABNT NBR ISO 1096 ABNT NBR 7203 ABNT NBR 15696 ABNT NBR 11700 ABNT NBR 6627
Concreto	ABNT NBR 12654 ABNT NBR 12655 ABNT NBR 7212

A **Error! Not a valid bookmark self-reference.** esquematiza o restante do processo de fabricação de ERCA's, apresentando os passos seguintes ao recebimento dos materiais conforme segue.

Figura 2 - Esquema genérico da produção de elementos de concreto armado



Fonte: Freire (2001)

2.1. FÔRMA

Segundo a ABNT/NBR 15696 (2009) as fôrmas são "estruturas provisórias que servem para moldar o concreto fresco", elas ainda devem resistir "às ações

provenientes das cargas variáveis resultantes das pressões do lançamento fresco até que o concreto se torne autoportante".

Como mencionado anteriormente, em estruturas de concreto armado, a fôrma é um componente não agregado ao produto final, ou seja, ela somente ficará durante o período de cura do concreto, após esse período, será retirada. Apesar de não ser um componente que forme parte da estrutura final, é de grande significância do ponto de vista econômico, como pode ser visto nos dados apresentados na Tabela 1 e Tabela 2.

A Tabela 1 apresenta dados de um empreendimento realizado fora do Brasil, e os dados da Tabela 2 são referentes a um edifício construído na cidade de São Paulo. Chama a atenção que para ambos casos a ordem de relevância dos itens é a mesma, a fôrma representa o item de maior participação no custo da estrutura, seguida por aço e concreto. Dessa forma, nota-se, claramente, a relevância das fôrmas no custo final da estrutura.

Tabela 1 - Decomposição dos custos de estrutura de concreto armado para edificação de múltiplos pavimentos

Item	Custo do material	Custo da mão-de-obra e central de processamento	Participação no custo da estrutura
Fôrma	8%	27%	35%
Aço	19%	6%	25%
Concreto	12%	8%	20%
Outros*	13%	7%	20%
Total	52%	48%	100%

Fonte: Adaptado de Concrete Society¹ (1995) apud Freire (2001)

¹ CONCRETE SOCIETY. **Formwork: a guide to good practice**. 2ª edição. Berkshire, United Kingdom: 1995

Tabela 2 - Decomposição dos custos da estrutura de concreto armado para edifício habitacional construído de maneira convencional

Item	Participação no custo da estrutura
Fôrma + Andaimés	59%
Aço	20%
Concreto	17%
Lançamento	4%
Total	100%

Fonte: Adaptado de Fajesztajn (1987) apud Freire (2001)

Freire (2001) resume o impacto das fôrmas em diferentes aspectos da produção de estruturas de concreto armado, entre eles:

Custos: as fôrmas representam entre 30% a 60% do custo total das estruturas de concreto armado;

Produtividade da estrutura: o serviço de fôrmas dita o ritmo de execução da estrutura, define o início da montagem das armaduras e da concretagem.

Qualidade final da estrutura: o prumo, nível e alinhamento da estrutura dependem da fôrma. Como a estrutura serve de gabarito para outros subsistemas, por exemplo, as vedações verticais, revestimentos e instalações elétricas e hidráulicas, uma estrutura de má qualidade pode acarretar custos adicionais nos demais subsistemas.

De acordo com Maranhão (2000), o custo das fôrmas representa de 40% a 60% do custo total das estruturas de concreto e de 8% a 12% do custo total da edificação. Pode-se perceber, então, a importância que se deve dar ao processo de produção, principalmente às formas, das estruturas de concreto armado.

A variação do custo das formas se deve, principalmente, aos seguintes fatores:

- Sistema de fôrma adotado;
- Número de reaproveitamentos dos materiais, potencializado ou minimizado pela definição arquitetônica ou pelo partido estrutural adotado.
- A produtividade da equipe de mão-de-obra, sendo o custo da mão-de-obra o fator de maior variabilidade, responsável por 50% a 70% do item.

- Prazo de execução, influenciando diretamente a produtividade e o custo dos equipamentos locados. (ASSAHI, 2006)

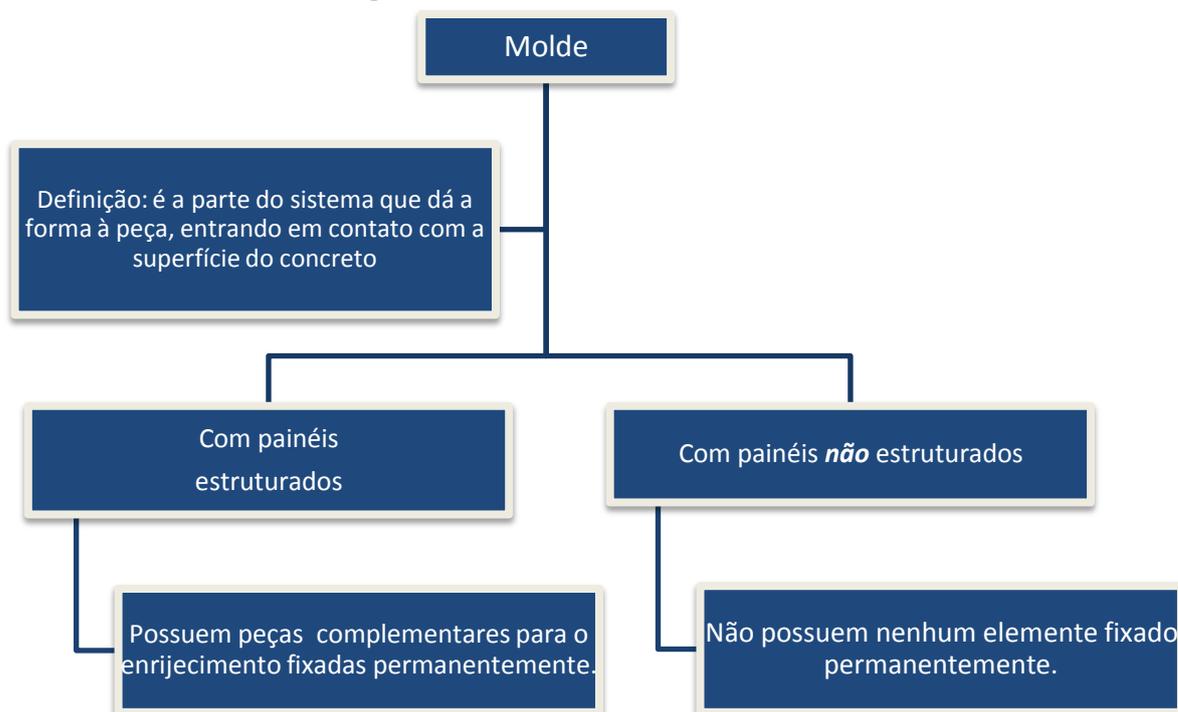
2.1.1. Sistema de fôrmas

Devido à variação de terminologias referentes aos componentes do sistema de fôrmas, para facilitar a compreensão e desenvolvimento do trabalho será adotada a nomenclatura indicada a seguir. O sistema de fôrma será classificado em quatro conjuntos de elementos:

- a) Molde (Figura 3) - é o elemento que está em contato com o concreto. É ele quem define o formato e textura da estrutura final.
- b) Estrutura do molde - é o que dá travamento e sustentação ao molde e, de acordo com Barros e Melhado (1998), “destinada a enrijecer o molde, garantindo que ele não se deforme quando submetido aos esforços originados pelas atividades de armação e concretagem e é constituída comumente por gravatas, sarrafos acoplados aos painéis e travessões”.
- c) Cimbramento (Figura 4) - também chamado de escoramento, o cimbramento é composto pelos elementos que tem por finalidade servir de suporte para a forma até que o concreto se torne auto - portante.
- d) Acessórios (Figura 5) - os acessórios por sua vez são as peças complementares que servem para completar os elementos que compõem a fôrma (MARANHÃO, 2000).

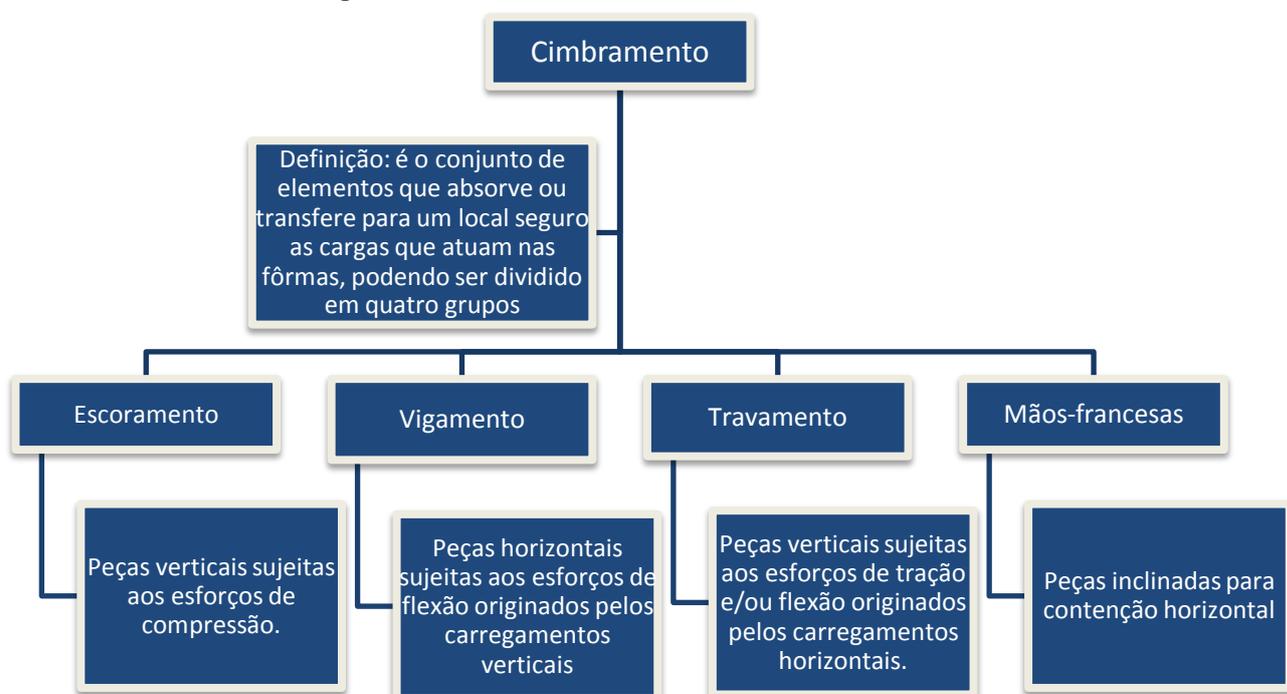
A divisão apresentada nas figuras a seguir foi baseada no trabalho de Freire (2001) e visa facilitar a compreensão e desenvolvimento do trabalho.

Figura 3 - Nomenclatura básica: Molde



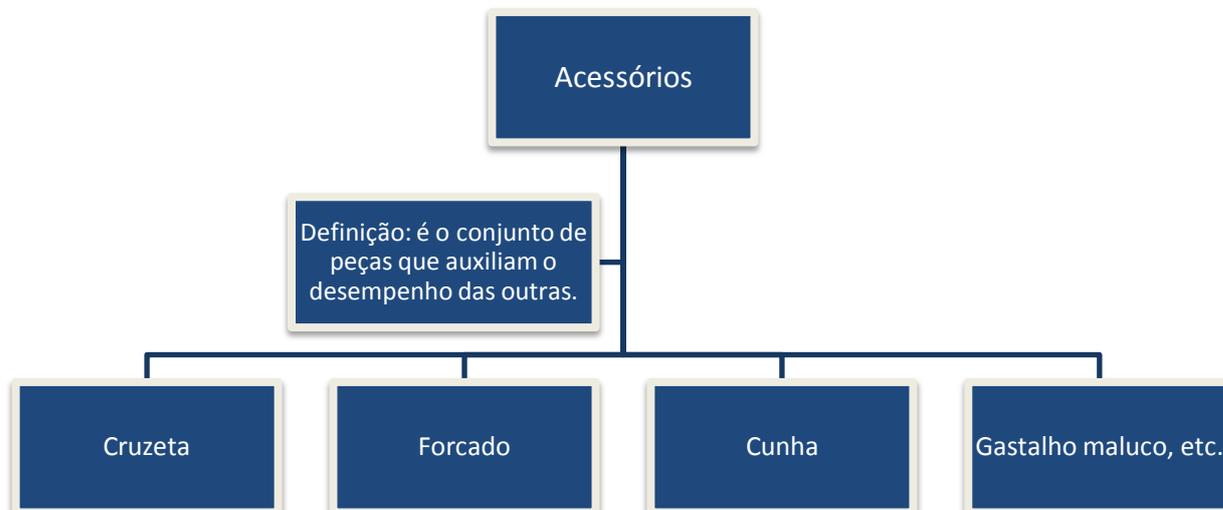
Fonte: Adaptado de Freire (2001)

Figura 4 - Nomenclatura básica: Cimbramento



Fonte: Adaptado de Freire (2001)

Figura 5 - Nomenclatura básica: Acessórios



Fonte: Adaptado de Freire (2001)

Barros e Melhado (1998) apresentam os materiais mais utilizados na produção das fôrmas, conforme segue no Quadro 2.

Quadro 2- Principais materiais utilizados na produção de fôrmas

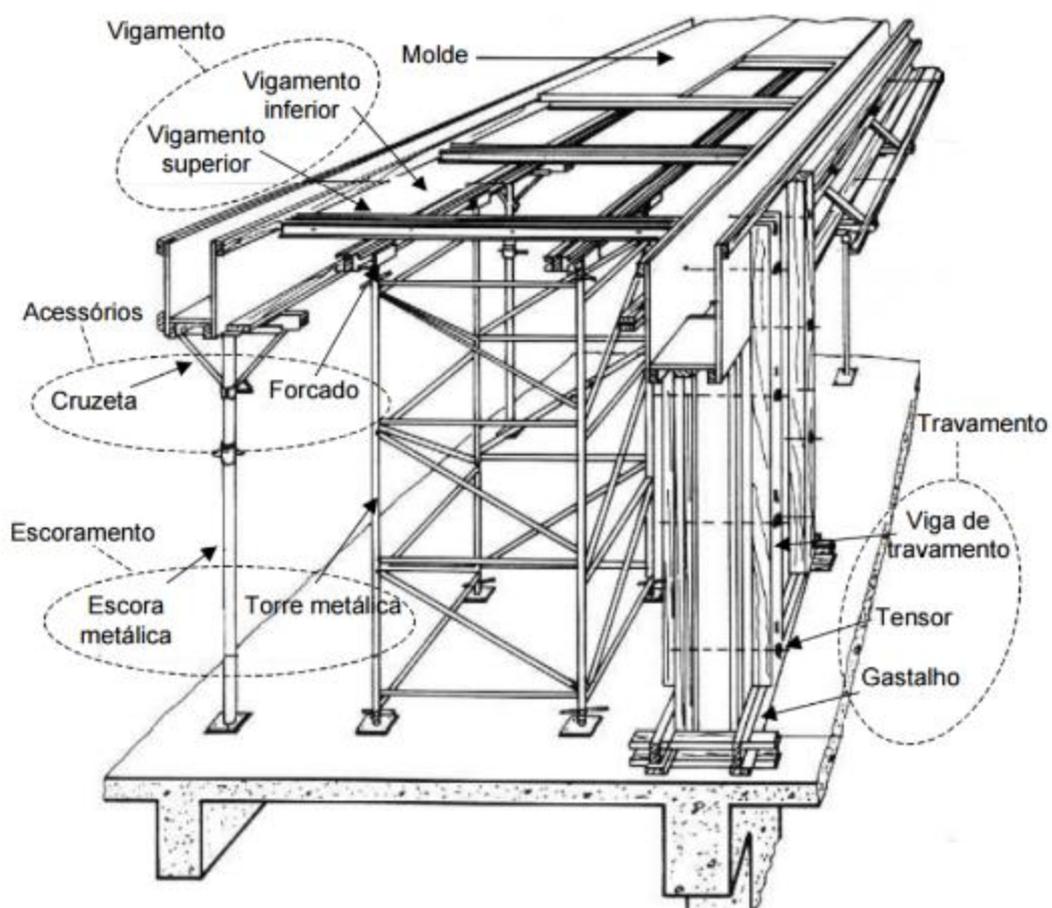
Elemento	Material
Molde	<ul style="list-style-type: none"> • madeira na forma de tábua ou compensado; • materiais metálicos - alumínio e aço; • outros materiais como: concreto, alvenaria, plástico e a fôrma incorporada (por exemplo, o poliestireno expandido).
Estrutura do molde	<ul style="list-style-type: none"> • madeira aparelhada, na forma de treliça ou perfis de madeira colada; • materiais metálicos: perfil dobrado de aço, perfis de alumínio, ou treliças; • mistos: ou seja, uma combinação de elementos de madeira e elementos metálicos.
Cimbramento / Escoramento	<ul style="list-style-type: none"> • madeira bruta ou aparelhada; • aço na forma de perfis tubulares extensíveis e de torres.
Acessórios	<ul style="list-style-type: none"> • elementos metálicos (aço) e cunhas de madeira.

Fonte: Adaptado de Barros e Melhado (1998)

Maranhão (2000) define o subsistema de forma como sendo “o conjunto de peças destinado a moldar partes ou tipos de peças de estrutura de concreto armado do

edifício”. A Figura 6 apresenta uma visão geral do sistema de fôrma e o Quadro 3 aponta, com mais detalhes, as partes do subsistema e seus componentes.

Figura 6 - Visão geral de um sistema de fôrmas



Fonte: Cristiani 1995 apud Freire (2001)

Quadro 3 - Subsistemas de fôrmas e seus componentes

Subsistema	Elementos	Componentes
Pilares	Molde	Painéis laterais
	Estrutura do molde	Guias de amarração e gravatas
	Escoramento	Aprumadores, mão francesa e niveladores
	Acessórios	Para estruturação e nivelamento
Vigas	Molde	Painéis de faces e fundo
	Estrutura do molde	Sarrafos
	Escoramento	Garfos, pontaletes de madeira, escora metálica, torres, etc.
	Acessórios	Para estruturação e nivelamento
Lajes	Molde	Painéis
	Estrutura do molde	Transversinas e longarinas
	Escoramento	Pontaletes de madeira, escoras metálicas, travamentos, torres, contraventamentos, etc.
	Acessórios	Para estruturação e nivelamento

Fonte: Maranhão (2000)

2.1.1.1. Pilares

Em fôrmas de pilares, o molde é composto por painéis laterais e de fundo. Os painéis laterais geralmente são maiores e servem como travamento para os painéis de fundo; por esta razão, um dos painéis laterais é último a ser colocado. Os travamentos são de vital importância para obter uma peça final com qualidade; a seguir, alguns deles são definidos, no Quadro 4 (FREIRE, 2001).

Quadro 4- Tipos de travamentos das fôrmas dos pilares

Travamento	Definição
Gravata	É um tipo de travamento onde as peças que a compõem tem a função de ligar os painéis, e mantê-los assim até a desforma;
Gastalho	Serve para locar os pilares. Além disso, também é o equivalente a uma gravata no pé do pilar, contendo o empuxo produzido pelo concreto na parte inferior do pilar; conseqüentemente é considerado como travamento.
Tensor ou barra de ancoragem	São travamentos que atuam tracionados, resistindo ao empuxo do concreto. Podem ser divididos nos seguintes tipos: <ul style="list-style-type: none"> • Barras de ancoragem com porcas; • Fios de aço ($\Phi=5$ ou $6,3\text{mm}$), presos com cunhas metálicas apelidadas “pererecas”; • Fios de aço CA-25, amarrados em vigas de travamento.
Grades	São formadas por sarrafos e/ou pontaletes distribuídos vertical e horizontalmente;
Vigas de travamento	Peças que podem ser alocadas horizontalmente ou verticalmente, e trabalham à flexão.

Fonte: Adaptado de Freire (2001)

A Figura 7 apresenta a perspectiva de uma fôrma de madeira para pilar constituído por:

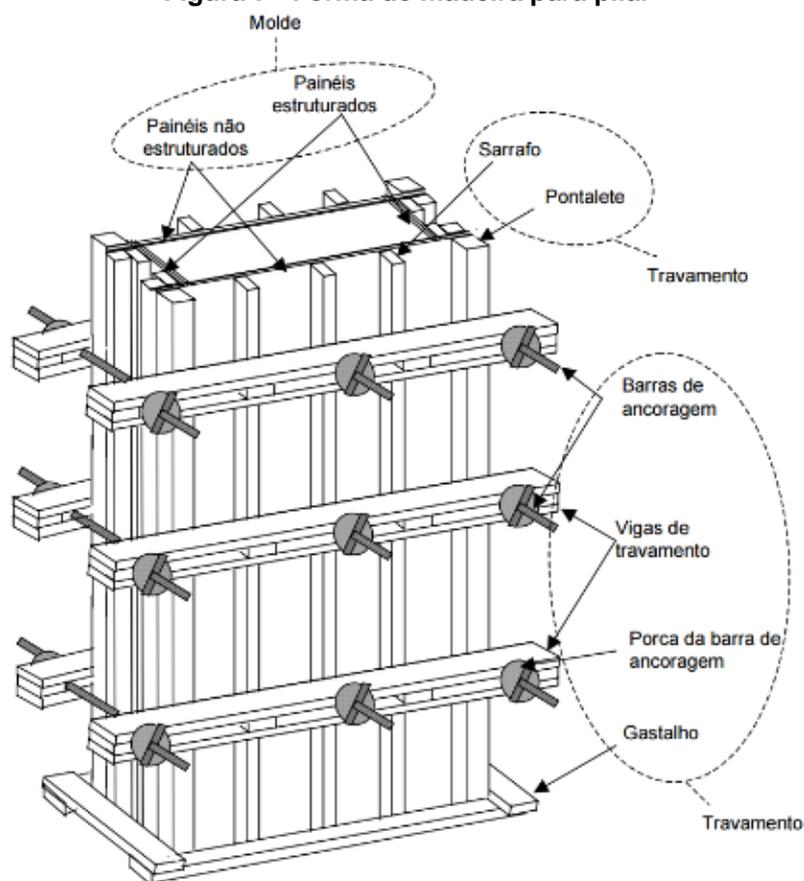
a) Molde, formado por:

- painéis estruturados (painéis menores);
- painéis não estruturados (painéis maiores).

b) Travamento, constituído por:

- sarrafos;
- pontaletes;
- vigas horizontais;
- barras de ancoragem.

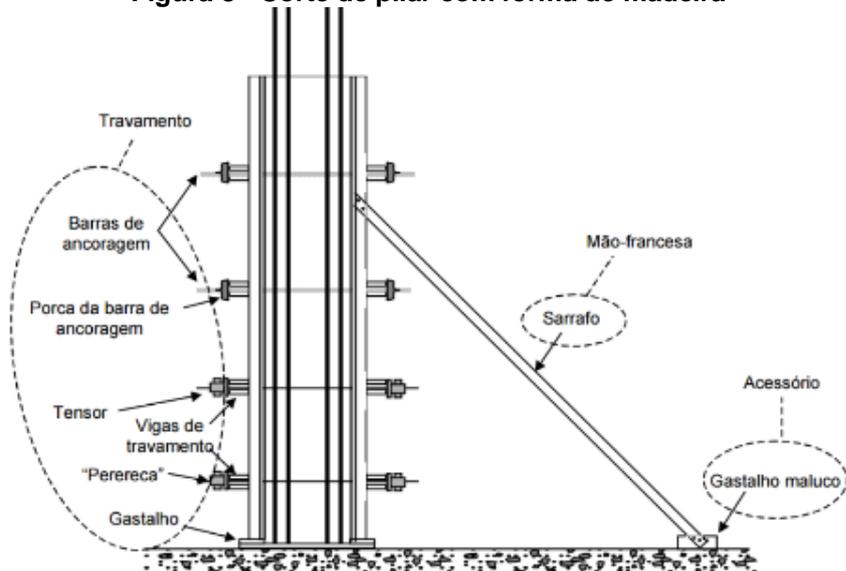
Figura 7 - Fôrma de madeira para pilar



Fonte: Freire (2001)

A Figura 8 apresenta o corte de um pilar com fôrma de madeira e travamentos compostos por mão-francesa com sarrafo, vigas de travamento, tensores e barras de ancoragem.

Figura 8 - Corte de pilar com fôrma de madeira

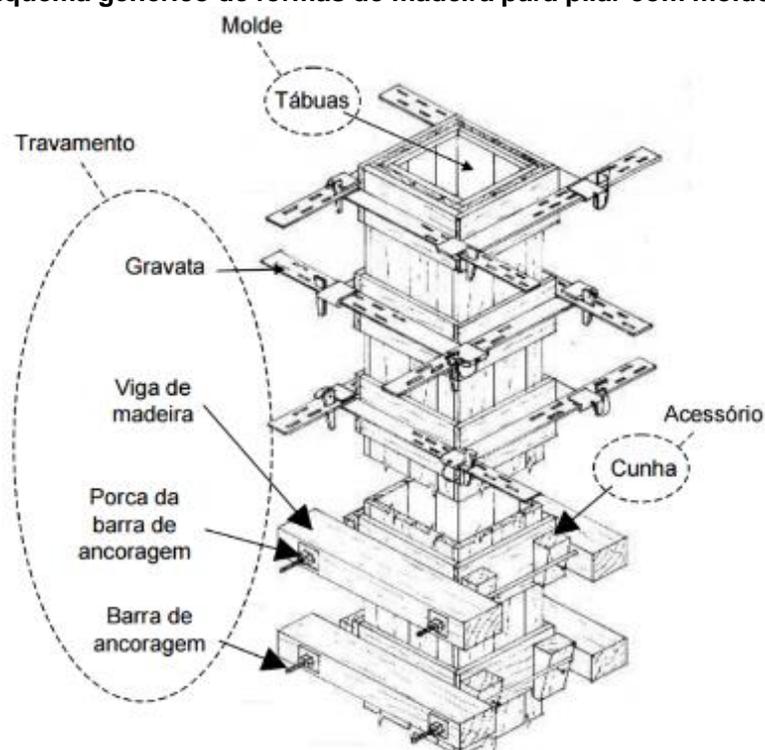


Fonte: Freire (2001)

A Figura 9 apresenta um esquema genérico de fôrma de madeira para pilar constituído por:

- Molde:
 - tábuas de madeira
- Travamento:
 - gravatas metálicas;
 - vigas de travamento em madeira com barras de ancoragem.

Figura 9 - Esquema genérico de fôrmas de madeira para pilar com molde em tábuas



Fonte: Petters², 1991 apud Freire (2001)

2.1.1.2. Vigas

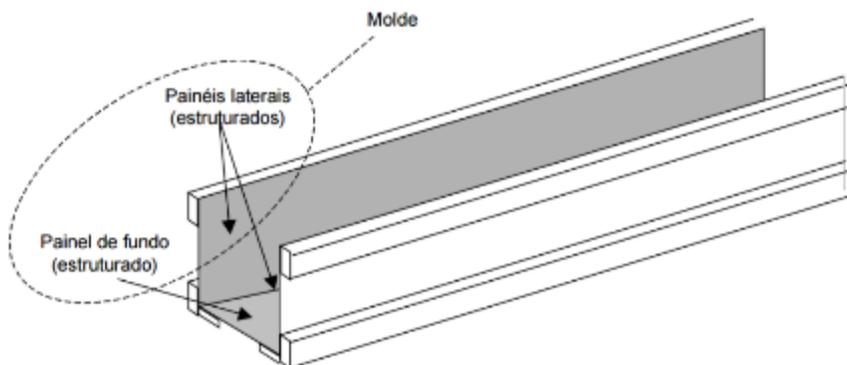
Os elementos que compõem as formas das vigas são: painéis de fundo; painéis laterais; gravata; mãos francesas e sarrafos de pressão. É muito importante que as devidas verificações sejam feitas, no que diz respeito às amarrações, escoramentos

² PETERS, J. B. **Practical timber formwork**. E & FN Spon, 1991.

e contraventamentos, para que não existam deslocamentos e deformações durante o lançamento do concreto (MILITO, 2009)

A Figura 10 apresenta um modelo de molde em chapa de compensado e estruturado com sarrafos.

Figura 10 - Perspectiva de uma fôrma tradicional para viga, com molde em chapa de compensado estruturado com sarrafos



Fonte: Freire (2001)

A estruturação dos painéis das vigas pode ser realizada com sarrafos transversais à direção da viga, sarrafos paralelos na direção da viga, ou ambos. (FREIRE, 2001)

Alguns dos diferentes tipos de travamentos utilizados nas fôrmas de viga serão apresentados no Quadro 5, a seguir.

Quadro 5 - Tipos de travamentos das fôrmas das vigas

Travamento	Definição
Mão-francesa em vigas	Podem existir dois tipos de mão-francesa para vigas. A primeira tem a função de travar o molde (Figura 11a), enquanto que a segunda tem a função de manter a estabilidade de toda a fôrma travando-a com a laje já concretada. (Figura 12).
Gastalhos de viga	Resiste o empuxo do concreto, evitando a fôrma se abrir. O mesmo ocorre no gastalho dos pilares.
Tirantes	Também são utilizados como travamento para as vigas e podem ir presos na estruturação dos moldes, assim como em vigas de travamento.
Garfos	Apresentados na Figura 12, os garfos são utilizados nas vigas de borda, tanto para escorar quanto para travar a fôrma da viga.

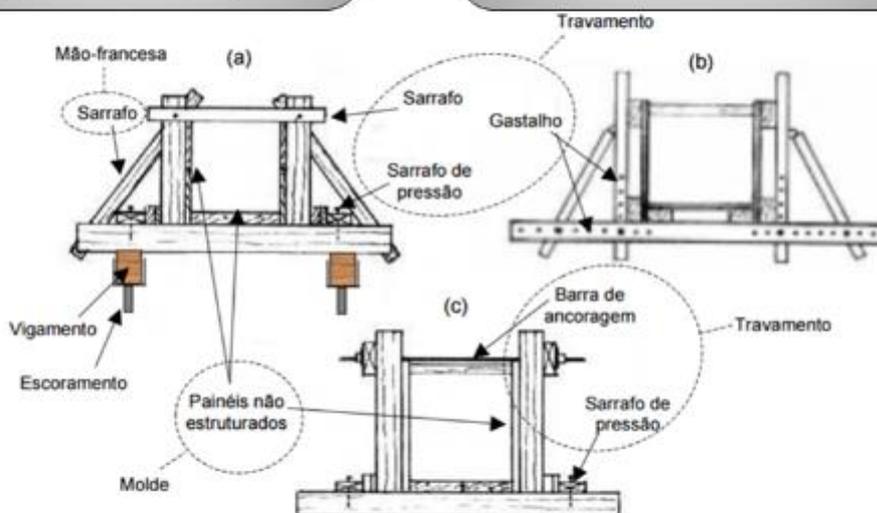
Fonte: Adaptado de Freire (2001)

A Figura 11 exemplifica diferentes tipos de estruturação e travamento do molde da viga.

Figura 11 - Diferentes tipos de estruturação e travamento do molde da viga

a) Painéis não estruturados em tábuas, mão francesa em sarrafo e travamento com sarrafo pregado na parte superior e sarrafo de pressão.

b) Painéis em chapa de compensado estruturados com sarrafos e travamento com gastejo metálico.



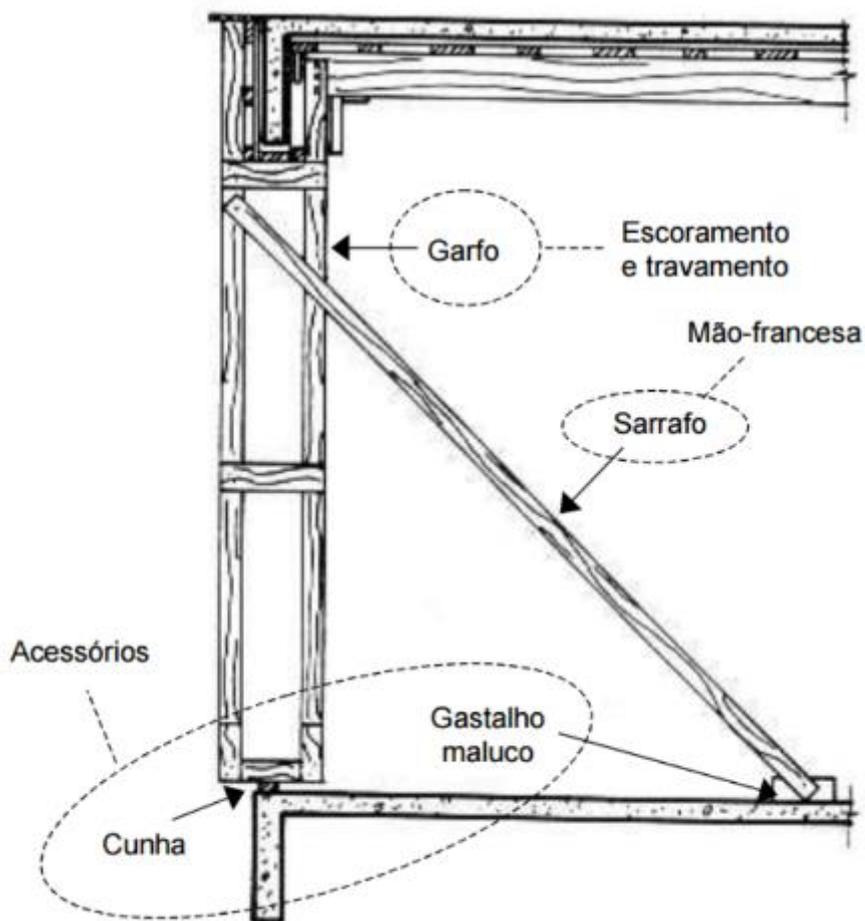
c) Painéis em tábuas estruturados com pontaletes e travamento com sarrafo de pressão e barra de ancoragem.

Fonte: Adaptado de N Petters, 1991 apud Freire (2001)

A Figura 12 apresenta o esquema do escoramento da fôrma de uma viga de borda.

Nela é possível visualizar os diferentes componentes do sistema, como eles estão dispostos no sistema e a forma de uso de cada um.

Figura 12 - Corte de fôrma de viga de borda com escoramento/travamento com garfo de madeira e mão-francesa em sarrafo



Fonte: Cristiani³, 1994 apud Freire (2001)

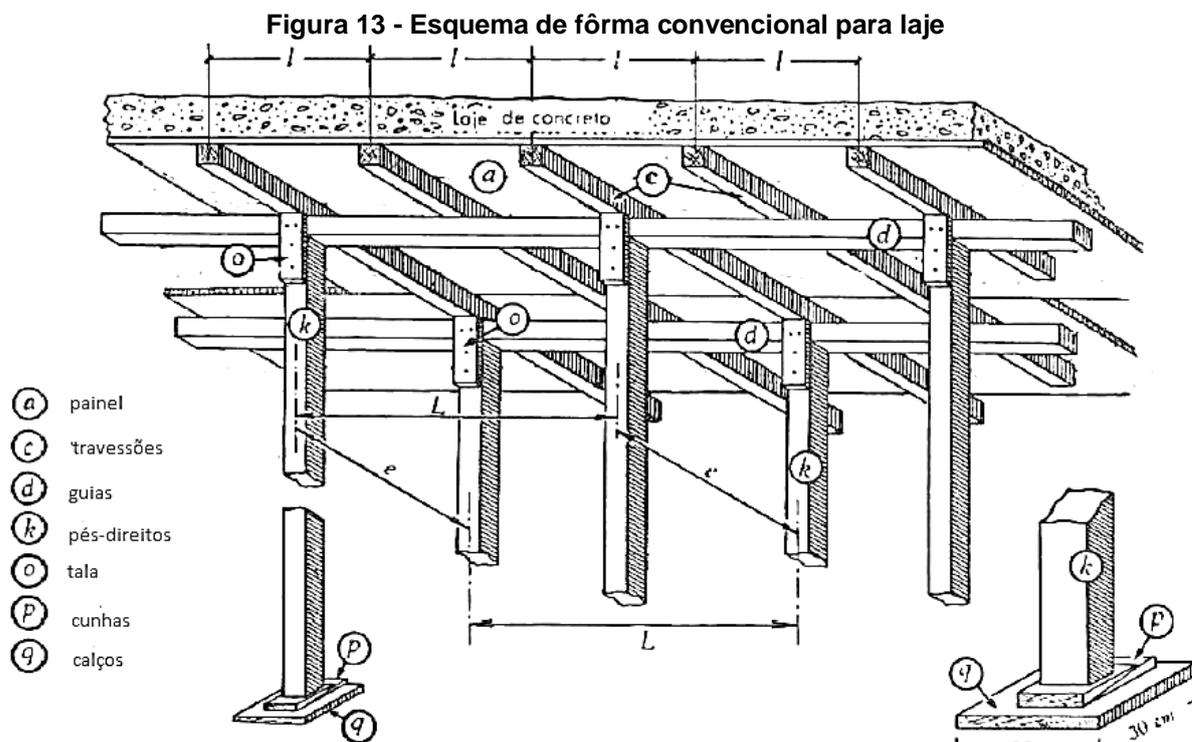
2.1.1.3. Lajes

Os principais elementos são: painéis, travessões, guias, pés-direitos, talas, cunhas e calços que estão ilustrados na Figura 13.

Segundo Freire (2001), o molde da fôrma de laje pode ir apoiado em vigamentos superiores e inferiores (Figura 14), assim como em vigamento único. Por sua vez, os vigamentos podem se apoiar em escoras simples, assim como em torres, podendo ser metálicas ou de madeira.

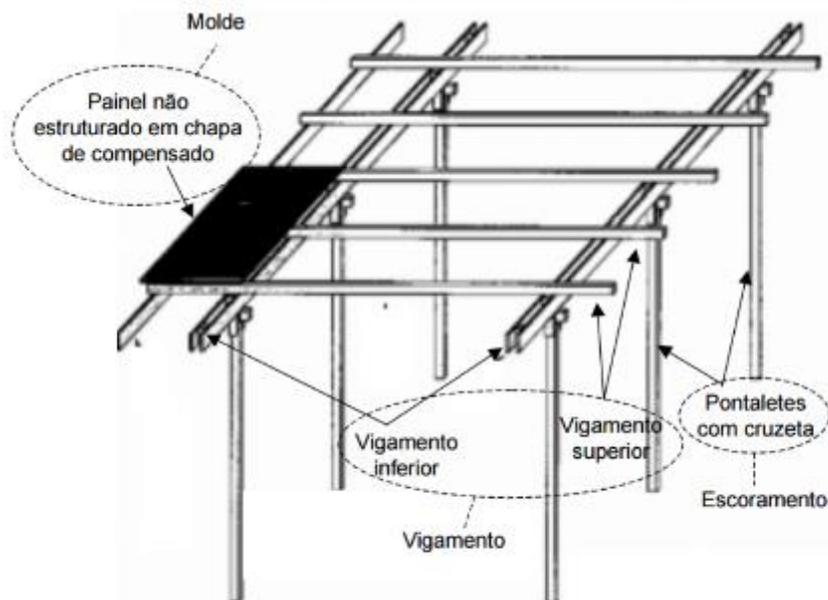
³ CRISTIANI, J.E.R. **Fôrmas de madeira para concreto - um longo caminho para a racionalização e uma visão geral no mercado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: 1994. Dissertação (Mestrado) - FAU-UFRJ.

Algumas variações podem existir no método tradicional dos sistemas de formas de lajes, como a adição de componentes pré-fabricados (lajes mistas e pré-lajes). Essas variações são consideradas uma melhoria no ramo já que podem gerar a racionalização do processo, aperfeiçoar o emprego da mão-de-obra e de materiais e reduzir o uso de formas e cimbramento (BARROS E MELHADO, 1998).



Fonte: Cimento e Concreto: Boletim de informações, 1944 apud Barros e Melhado (1998)

Figura 14 - Esquema de fôrma para laje com escoramento pontual em madeira



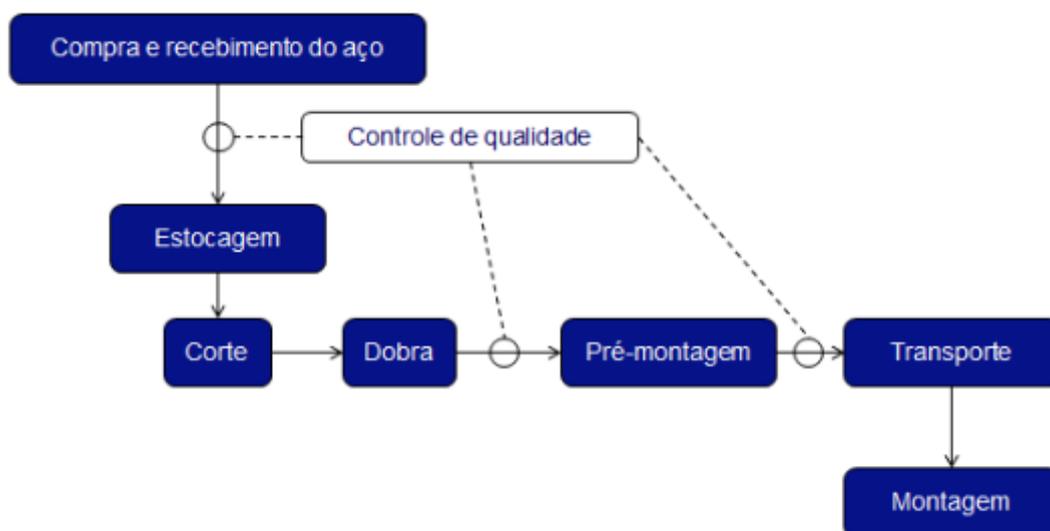
Fonte Freire (2001)

2.2. ARMAÇÃO

O aço utilizado nas armaduras de concreto armado é uma liga composta de ferro e carbono em pequenas quantidades (entre 0,18% e 0,25%). É importante que esse aço apresente resistência e ductilidade, já que o concreto é um material frágil e pouco resistente à tração. Sendo assim, a principal função do emprego do aço no concreto armado, é que ele absorva as tensões de tração e cisalhamento, e também melhorar a capacidade resistente dos elementos de concreto (PINHEIRO et al, 2003; BARROS E MELHADO, 1998).

No tocante à produtividade das armaduras, deve-se levar em consideração o processo de produção que será utilizado na confecção das mesmas. A Figura 15 apresenta um fluxograma contendo os processos envolvidos na confecção das armaduras.

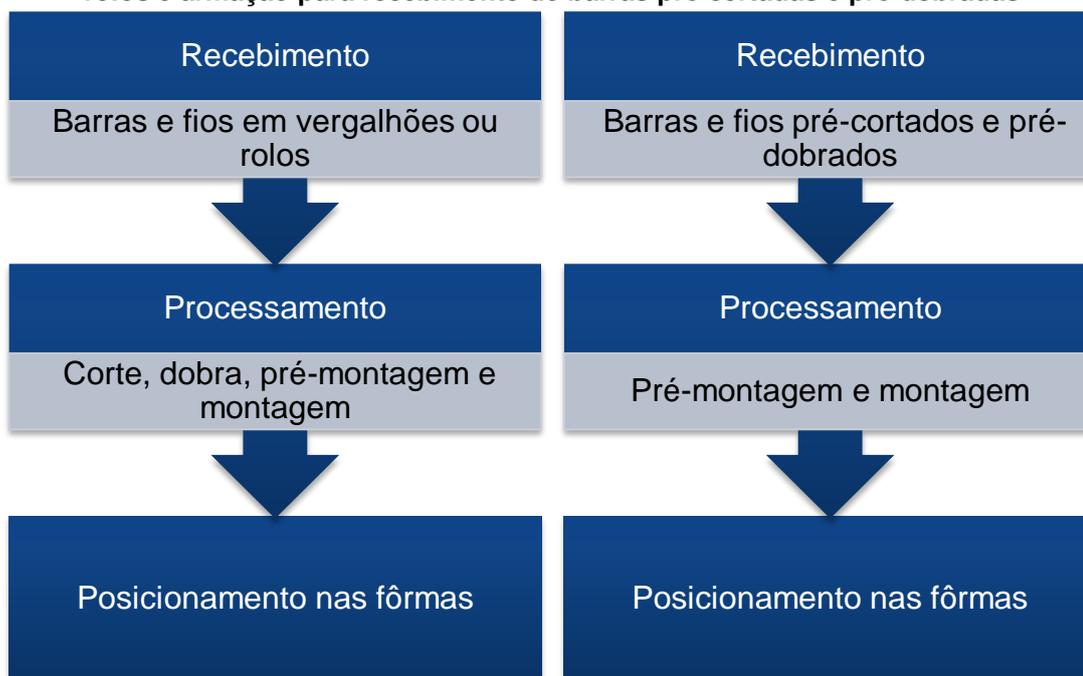
Figura 15 - Fluxograma de produção das armaduras de estruturas de concreto armado



Fonte: Adaptado de Barros e Melhado (1998)

Freire (2001) apresenta dois processos diferentes de produção das armaduras, exemplificados na Figura 16, sendo que a diferença entre ambos é a etapa de processamento, pois caso o aço venha pré-cortado e pré-dobrado, essa etapa não precisa ser feita na obra.

Figura 16 - Fluxograma do processo de armação para recebimento de barras em vergalhões ou rolos e armação para recebimento de barras pré-cortadas e pré-dobradas



Fonte: Adaptado de Freire (2001)

2.2.1. Recebimento

Conforme apresentado anteriormente, será abordado o processo de armação para dois tipos de fornecimento de aço, que apresentam certas diferenças. No tocante ao recebimento, ressalta-se que, o aço recebido pré-cortado e pré-dobrado vem separado em feixes e etiquetados conforme o elemento estrutural, enquanto que, aquele recebido em vergalhões chega em barras de grandes dimensões (FREIRE, 2001).

A ABNT/NBR 7480 (2007), nos itens 4, 6 e 7, especifica os parâmetros que devem ser verificados no recebimento das armaduras. É dito que o comprador deve ter livre acesso ao local em que as peças encomendadas ficam estocadas e também tem o direito de inspecioná-las. Para a aceitação das peças encomendadas devem ser verificados defeitos, tais como: esfoliação, manchas de óleo, redução de seção, fissuras transversais e corrosão. No caso da identificação de alguns desses defeitos, o material deve ser rejeitado ou submetido a ensaios que comprovem suas propriedades. Além disso, é de extrema importância que as barras tenham as devidas marcações que identifiquem nome e/ou marca do produtor, categoria do material e o diâmetro nominal, para que na obra seja fácil fazer a diferenciação entre barras.

Ainda de acordo com a ABNT/NBR 7480 (2007), os produtos recebidos em feixes ou rolos deve conter etiqueta firmemente afixada com, no mínimo as seguintes informações:

- Nome do produtor e identificação da unidade produtora;
- Categoria;
- Diâmetro nominal em milímetros;
- Comprimento, em metros, quando aplicável;
- Massa em quilograma ou número de peças;
- Identificação para a rastreabilidade ao processo produtivo.

Os ensaios de tração e dobramento também devem apresentar resultados satisfatórios. Para aceitação do recebimento os ensaios de aderência e fadiga não são necessários. A ABNT NBR 7481 (1990), no item 7, apresenta os parâmetros que devem ser observados no recebimento de telas soldadas, que são, geralmente, utilizadas como armadura para as lajes de concreto armado.

O Quadro 6 apresenta detalhes e cuidados para cada tipo de fornecimento, baseados em Freire (2001).

Quadro 6 - Detalhes e cuidados para cada tipo de fornecimento

Fornecimento	Transporte	Descarga	Cuidados
a) Barras e fios em vergalhões ou rolos	Carreta ou caminhão	Feita pela obra, manualmente ou com grua.	<ul style="list-style-type: none"> • Conferir o material com o romaneio, a nota fiscal e o pedido; • Verificar a quantidade de cada bitola; • Verificar as bitolas, que geralmente é feita visualmente.
b) Barras e fios pré-cortados e pré-dobrados	Caminhão	Feita pela obra, manualmente ou com grua.	<ul style="list-style-type: none"> • Conferir o romaneio do pedido com a nota fiscal e as etiquetas de cada feixe; • Conferir as etiquetas, verificando as bitolas, formas, dimensões e quantidades.

2.2.2. Transporte e estocagem

a) Recebimento de barras em vergalhões ou rolos

Quando o aço é recebido em vergalhões ou rolos, é necessária uma área de grande comprimento, onde as barras de 12m possam ser organizadas em feixes por bitola e estocadas. A localização deste estoque deve ser devidamente planejada, de modo que não interfira nos demais serviços.

As NR 18 e ABNT NBR 14931 (2004) determinam os condições gerais de estocagem de material incluindo as instruções sobre a armazenagem dos vergalhões:

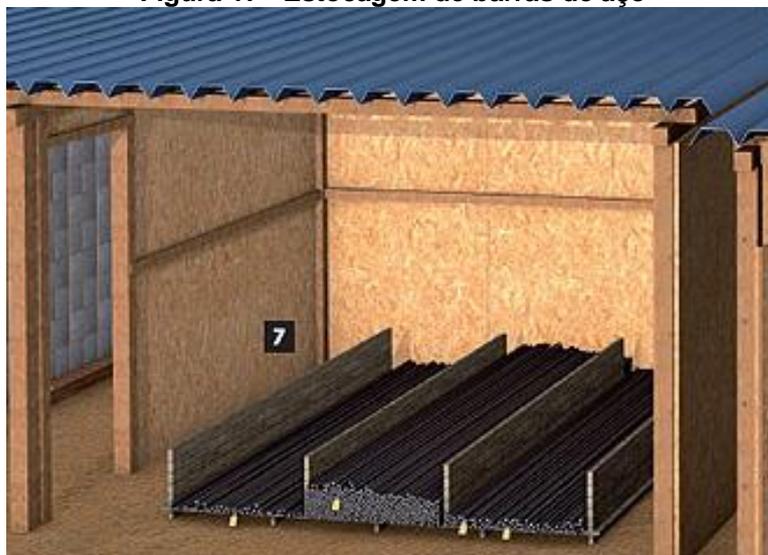
- “as barras devem ser estocadas de forma a manterem inalteradas suas características geométricas e suas propriedades, desde o recebimento na obra até seu posicionamento final na estrutura”.

- “cada tipo e classe de barra, tela soldada, fio ou cordoalha utilizado na obra deve ser claramente identificado logo após seu recebimento, de modo que não ocorra troca involuntária quando de seu posicionamento na estrutura”.
- “a estocagem deve ser feita de modo a impedir o contato com qualquer tipo de contaminante (solo, óleos, graxas, entre outros)”.

A Figura 17 apresenta a forma correta de se armazenar barras de aço, sendo que se deve dar atenção ao:

- Local - seco, protegido de intempéries, que não impeçam a movimentação de pessoas e equipamentos, organizados conforme a bitola, sendo separados por peças de madeira e não fazer uso de perfis metálicos para evitar a oxidação das barras.
- Espaço - é necessário uma área de cerca de 3 x 15 m, pois o aço vem em barras de 12 m e é necessária uma folga para a movimentação do material (MEDEIROS, 2011).

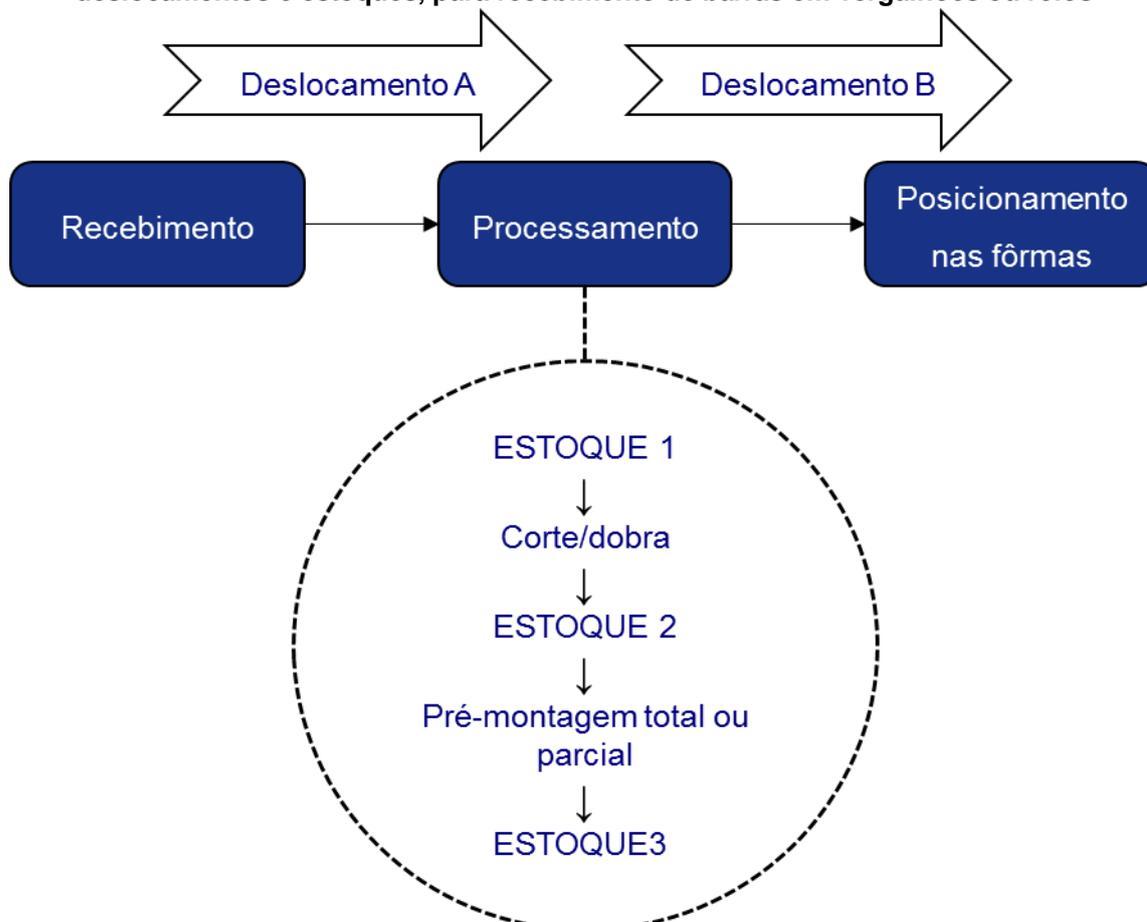
Figura 17 - Estocagem de barras de aço



Fonte: Medeiros (2011)

A Figura 18 apresenta o fluxograma esquemático das atividades de armação, contemplando os deslocamentos e estoques, para recebimento de barras em vergalhões ou rolos (FREIRE, 2001).

Figura 18 - Fluxograma esquemático das atividades de armação, contemplando os deslocamentos e estoques, para recebimento de barras em vergalhões ou rolos



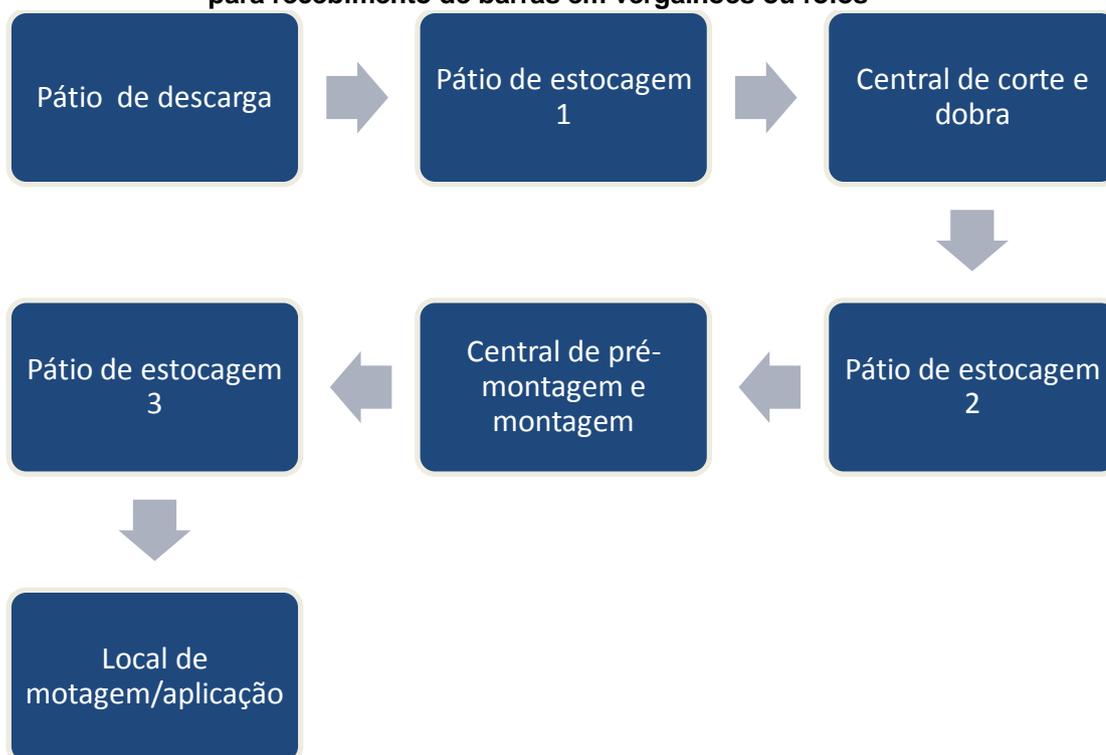
Fonte: Adaptado de Freire (2001)

Na Figura 18, Freire (2001), apresenta dois deslocamentos principais no processo de armação:

- o deslocamento A ocorre entre o recebimento e o processamento que depende da necessidade da obra de liberação do pátio de descargas;
- o deslocamento B acontece do processamento até a colocação final das armaduras. O ritmo é ditado pelo cronograma da obra, ou seja, pela necessidade de aço no lugar da aplicação.

Segundo Freire (2001) diminuir as distâncias que serão percorridas é de vital importância para obter velocidade na obra e para isso deve-se realizar uma análise prévia da localização dos pontos no canteiro entre os quais ocorrerão os deslocamentos. Para o caso de recebimento de barras em vergalhões ou rolos a Figura 19 apresenta os pontos a serem considerados.

Figura 19 - Deslocamentos a considerar para o dimensionamento do sistema de transporte, para recebimento de barras em vergalhões ou rolos



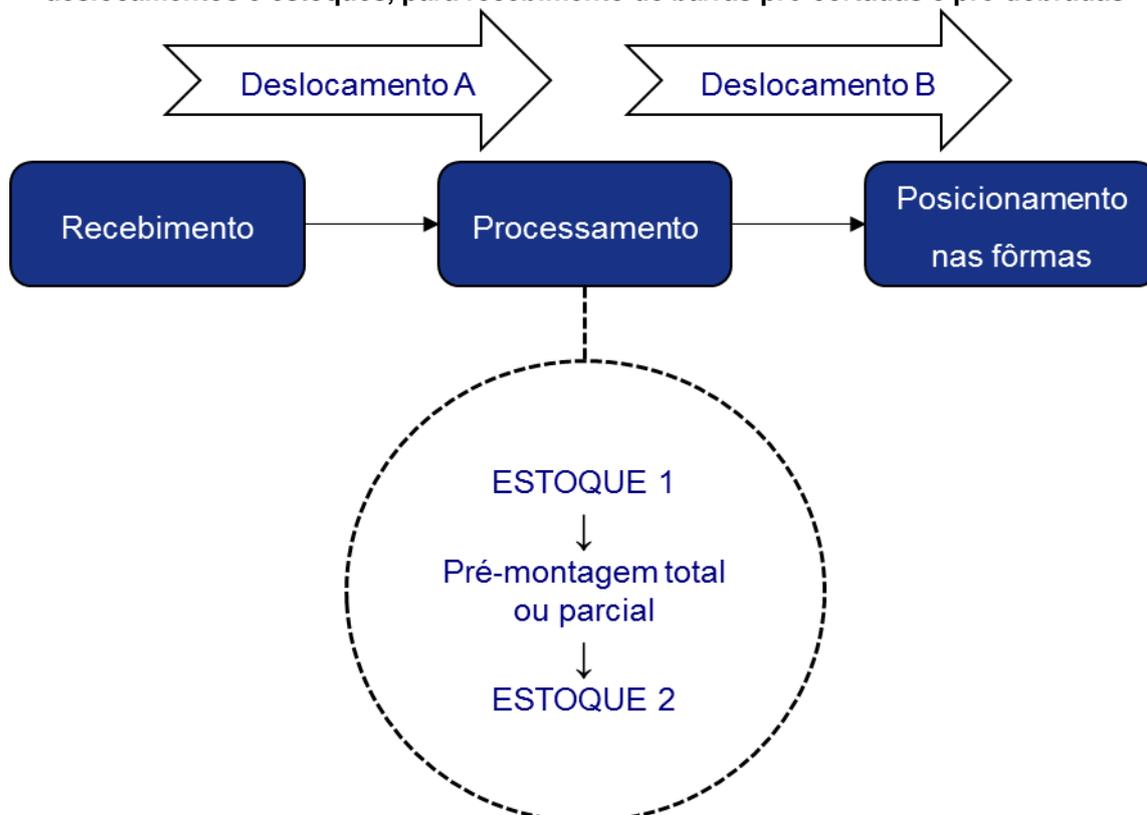
Fonte: Baseado em Freire (2001)

b) Recebimento de barras pré-cortadas e pré-dobradas

Os cuidados e procedimentos de recebimento e estocagem das barras pré-cortadas e pré-dobradas são, de forma geral, os mesmo das barras recebidas em vergalhões ou rolos. No entanto deve-se levar em consideração que, na maioria das vezes, o espaço necessário para a estocagem é maior, pois elas já possuem as dobras especificadas no projeto (PEINADO et al, 2013).

A área necessária para estocagem do aço recebido pré-cortado e pré-dobrado, vai depender do planejamento de compra deste material e do espaço disponível no canteiro. O recebimento do material pode ser programado para cada dois pavimentos ou para toda a obra, em função disso será determinada a área de estocagem necessária. A organização do estoque pode ser feita por elemento estrutural (pilares, vigas, lajes, escadas) ou por pavimento. A Figura 20 apresenta o fluxograma esquemático das atividades de armação, contemplando os deslocamentos e estoques, para recebimento de barras pré-cortadas e pré-dobradas (FREIRE, 2001).

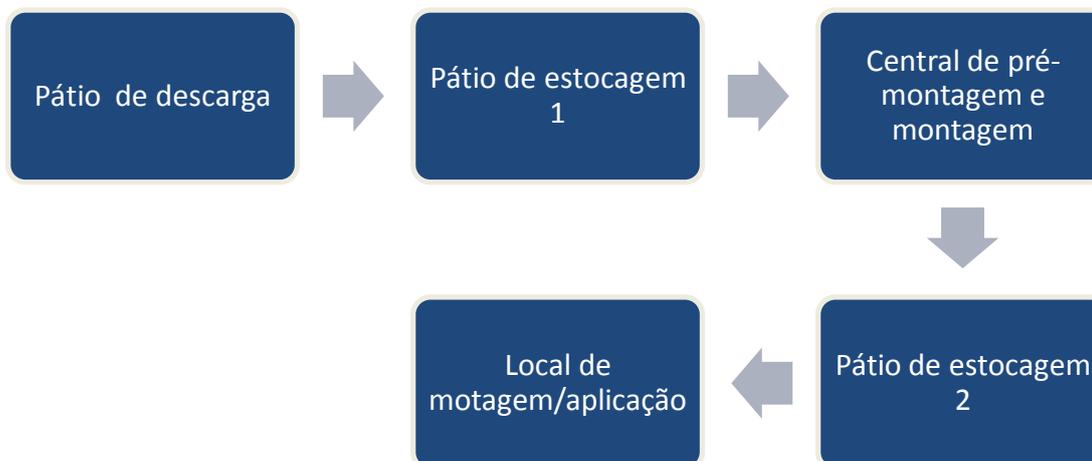
Figura 20 - Fluxograma esquemático das atividades de armação, contemplando os deslocamentos e estoques, para recebimento de barras pré-cortadas e pré-dobradas



Fonte: Adaptado de Freire (2001)

Na compra de aço pré-processado (pré-cortado e pré-dobrado) é possível obter uma racionalização do processo. Ao se eliminarem as etapas de corte e dobra e consequentemente a necessidade de uma central para este processo, é diminuído o número de deslocamentos e locais de estoques. A Figura 21 apresenta os deslocamentos a serem considerados no dimensionamento do sistema de transporte. Nesta figura é possível notar a diminuição de deslocamentos necessários em obra, se comparado ao aço recebido em vergalhões ou rolos.

Figura 21 - Deslocamentos a ser considerados para o dimensionamento do sistema de transporte, para recebimento de barras pré-cortadas e pré-dobradas



Fonte: Baseado em Freire (2001)

2.2.3. Processamento

Freire (2001, p. 123) define o processamento como “a etapa de transformação das barras e fios de aço em elementos que atendem aos projetos estruturais”. O corte, dobra, e a montagem das armaduras formam parte desta etapa. A montagem pode ocorrer fora do local final do elemento; para este caso o processo é chamado de pré-montagem, de acordo com Salim (2009). O autor também ressalta que a pré-montagem contempla desde a ida do armador ao estoque das peças de aço, até a montagem das armaduras e a sua estocagem.

a) Recebimento de barras em vergalhões ou rolos

O processamento, para este caso, ocorre na seguinte ordem de tarefas: corte, dobra, pré-montagem e montagem.

- Corte

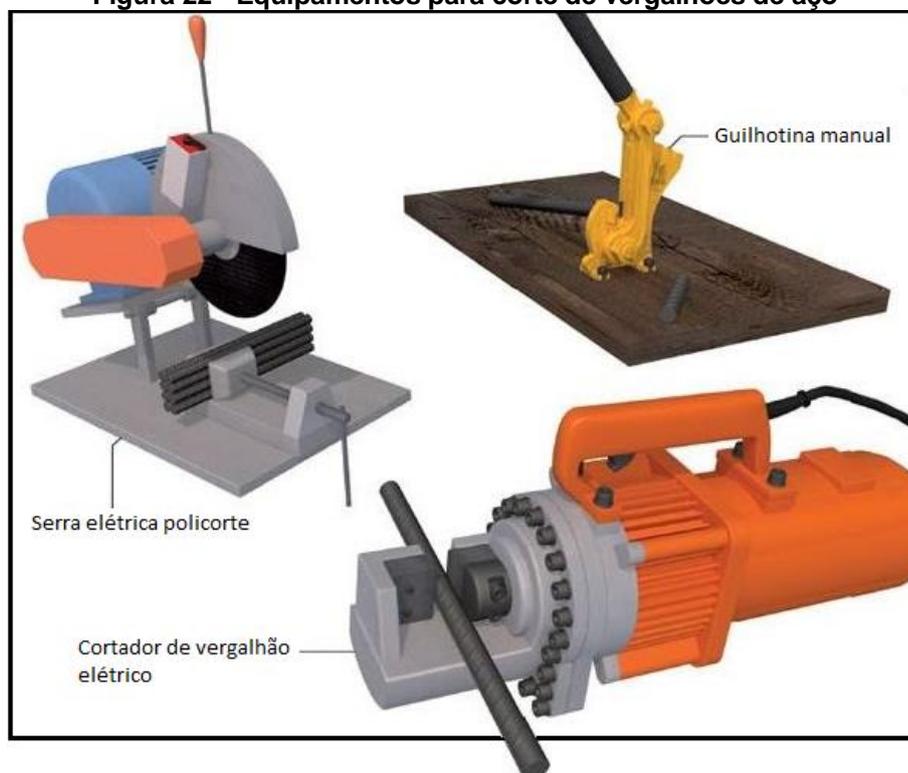
O corte pode ser realizado utilizando serras elétricas, conhecidas como policorte, tesourões manuais ou máquinas manuais. A policorte é a mais comum na maioria das obras de médio e grande porte, já que contribui para a velocidade e precisão nos cortes e possui elevado rendimento (BARROS E MELHADO, 1998).

Devem-se evitar grandes perdas provenientes do mau aproveitamento no corte dos vergalhões e sempre buscar a racionalização do processo. A maioria das perdas segundo Freire (2001) é proveniente da falta de capacidade de utilização das pontas. Como os vergalhões chegam à obra com comprimento fixo, e o comprimento das barras necessárias para cada elemento é variável, o aproveitamento das pontas é um desafio. Além disso, este trabalho geralmente fica a cargo dos profissionais de armação, e a falta de motivação, interesse ou experiência podem trazer ainda maiores perdas de material.

Nas armaduras de pilares, para otimizar o uso das barras de aço, pode ser adotada a utilização de pé-direito duplo, em que os vergalhões de 12 m serão cortados em peças de 6 m, diminuindo assim a necessidade de transpasse e a perda de material (FREIRE, 2001; BARROS E MELHADO 1998).

A Figura 22 apresenta alguns equipamentos que podem ser utilizados para cortar vergalhões de aço.

Figura 22 - Equipamentos para corte de vergalhões de aço



Fonte: <http://blogs.pini.com.br/posts/Engenharia-custos/dimensionamento-da-central-de-armacao-342499-1.aspx> Acesso em 09/06/2016

- Dobra

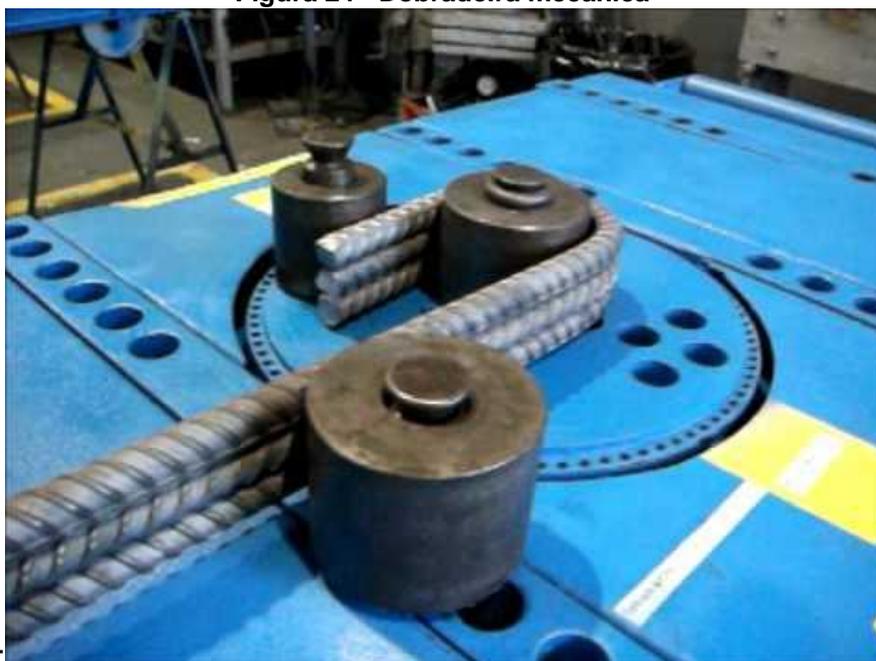
É o projeto que define o formato final das barras que serão necessárias para cada elemento estrutural. Para obter esse formato, em muitas ocasiões, será necessário efetuar algumas dobras na barra original. Este processo pode ser realizado com o uso de máquinas específicas, ou manualmente em bancadas com pinos e chave de dobra.

A Figura 23 apresenta a ilustração de uma bancada de dobra com pinos e como o serviço é realizado, enquanto que Figura 24 apresenta uma dobradeira mecânica.

Figura 23 - Bancada com pinos e chave de dobra



Fonte: <http://blogs.pini.com.br/posts/Engenharia-custos/dimensionamento-da-central-de-armacao-342499-1.aspx> Acesso em: 03/12/2015

Figura 24 - Dobradeira mecânica

Fonte: <http://www.pecaforte.com.br/> Acesso em: 03/12/2015

- Pré-montagem e montagem

Logo após o serviço de corte e dobra, as barras precisam ser montadas, respeitando o projeto estrutural, para compor as armaduras, que serão utilizadas nos elementos estruturais. Como já comentado a montagem pode ser realizada no local de aplicação ou fora dele. Também pode ser realizada uma pré-montagem parcial se assim for conveniente, por exemplo, em situações em que o transporte da armadura apresente parâmetros limitantes, ou quando há sobreposição de elementos estruturais.

b) Recebimento de barras pré-cortadas e pré-dobradas

Para o caso de recebimento de barras pré-cortadas e pré-dobradas, o processo de corte e dobra é realizado por uma empresa especializada. Dessa forma os projetos e especificações das armaduras devem ser enviados para a empresa contratada, afim de que o serviço seja executado conforme o projeto. Apenas o processo de montagem e pré-montagem é que será realizado na obra e (FREIRE, 2001; SALIM, 2009).

Além disso, o cobrimento especificado no projeto deve ser respeitado; para isto, são utilizados espaçadores. A Figura 25 apresenta alguns exemplos de espaçadores.

Figura 25 - Espaçadores plásticos: (a) peça para laterais de viga, pilares, pré-moldados e postes; (b) exemplo de aplicação nas barras de aço; (c) peça indicada para armaduras horizontais como laje, fundo de vigas, tela soldada e piso industrial; (d) exemplo de aplicação nas barras de aço. (e) peça indicada para armaduras horizontais, verticais e inclinadas, telas soldadas, lajes, fundo de viga, estrutura pré-moldada e poste padrão; (f) exemplo de aplicação nas barras de aço



(a)



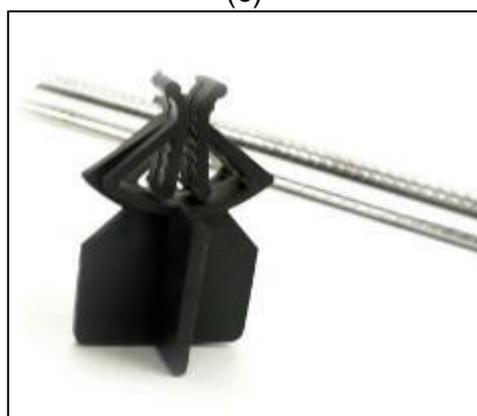
(b)



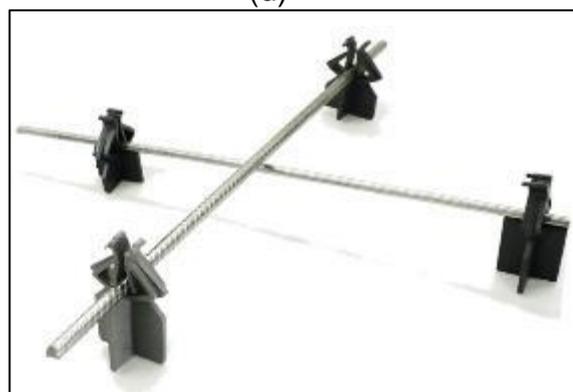
(c)



(d)



(e)



(f)

Fonte: <http://eplas.com.br/produtos/> Acesso em: 07/12/2015

O revestimento serve para proteger as barras de aço das ações do meio ambiente que podem causar sua corrosão, como poluição e umidade. Ele é definido pela ABNT NBR 6118 (2014) em função da classe de agressividade ambiental que a estrutura será construída. Por exemplo, para a classe de agressividade 2, dita moderada, é

necessário um cobrimento de 25 mm para lajes e de 30 mm para pilares e vigas de concreto armado.

2.2.4. Posicionamento nas fôrmas

Os procedimentos aplicados nessa etapa serão os mesmos para o aço recebido pré-processado e para aquele recebido em vergalhões, já que nessa etapa ambos apresentam as mesmas características (FREIRE, 2001).

Pilares

- Armado no local definitivo

Segundo Freire (2001), quando o pilar for armado no local definitivo, primeiro amarram-se as barras, de forma individual, junto aos arranques com arame recozido. Esta amarração não possui função estrutural em nenhum dos casos, servem somente para manter os componentes unidos. Depois de colocadas as barras, montam-se os estribos ao redor delas, amarrando-os a algumas das barras. Os espaçadores devem ser colocados nas barras da armadura de forma a garantir o cobrimento mínimo exigido.

Pré-armado

O procedimento para este caso é parecido a quando o pilar é armado no local definitivo. Para fixar a armadura, as barras são amarradas junto aos arranques do pilar. Às vezes é conveniente, para facilitar o processo, amarrar os estribos da parte inferior somente depois de encaixada completamente a armadura (FREIRE, 2001).

Vigas

As armaduras das vigas são posicionadas dentro das fôrmas, adentrando nas fôrmas dos pilares extremos. Armaduras que por alguma restrição, como tamanho ou peso, não possam ser montadas na central de armação, deverão ser montadas perto do local definitivo. Para casos de interseção entre vigas, recomenda-se posicionar primeiramente a viga de maior complexidade, deixando na interseção, espaço suficiente para a armadura da outra viga.

Os espaçadores devem ser colocados na armadura antes do posicionamento final na fôrma. Para casos onde isto não é possível, a instalação dos espaçadores deve ser realizada com o uso de ganchos ou alavancas, sempre tomando a precaução de não danificar as fôrmas.

Lajes

Uma vez finalizado o posicionamento das armaduras das vigas, são distribuídas sobre o assoalho as ferragens da armadura positiva da laje. Para facilitar o processo, geralmente é marcado no assoalho, com o uso de giz de cera ou gesso, o posicionamento final das armaduras, respeitando o espaçamento indicado no projeto. Na continuação do processo, de modo geral, é posicionada a armadura transversal e, logo em seguida, por cima, a longitudinal. À medida que é feita a montagem, as barras devem ser amarradas com arame recozido, de modo a manter o espaçamento e evitar que saiam da sua posição original. Os espaçadores devem ser instalados sob a armadura inferior e em posições que garantam o cobrimento exigido em toda a laje (FREIRE, 2001).

2.3. CONCRETAGEM

Esta é a última etapa do ciclo de execução de uma estrutura e é a de menor duração de tempo, porém exige um bom planejamento para, dessa forma, evitar desperdícios e melhorar o aproveitamento dos recursos. Esta etapa engloba as atividades de produção, transporte, recebimento e aplicação do concreto.

Em levantamentos de campo realizados foi constatada uma grande discrepância nos índices de perda de material e de produtividade de da mão de obra. Esta variação foi de 2 a 23% para a perda de materiais e 1,38 a 15 Hh/m³ para a produtividade da mão de obra. Isto revela o potencial de racionalização que existe no serviço (FREIRE, 2001).

2.3.1. Concreto e a sua produção

Segundo Isaia (2005) o concreto é o material mais utilizado na construção civil, com consumo em massa igual ao dobro da soma de todos os outros materiais utilizados na construção. Este material é basicamente composto pela mistura de um

aglomerante, geralmente o cimento Portland, agregados miúdos e graúdos, como areia e brita, e água (MEHTA & MONTEIRO, 2004).

O concreto pode ser produzido na obra ou em usina. No primeiro caso, é necessário prever no planejamento do canteiro as áreas de estocagem dos materiais e produção do concreto. No concreto usinado é importante o controle do concreto no recebimento (MILITO, 2009; ABNT NBR 12655, 2015).

A ABNT NBR 12655 (2015) é a norma que estabelece os requisitos para as propriedades do concreto fresco e endurecido, a composição, modos de preparo e controle, bem como os procedimentos para aceitação e recebimento do concreto. Para os concretos dosados em central a norma ABNT NBR 7212 é que define os requisitos e propriedades requeridas para essa modalidade.

2.3.2. Execução

Segundo Freire (2001), as tarefas no serviço de concretagem são:

- a) Produção ou recebimento;
- b) Transporte;
- c) Aplicação
 - Lançamento;
 - Espalhamento;
 - Adensamento;
 - Nivelamento;
 - Acabamento;
 - Cura.

Como tem se tornado cada vez mais comum o uso de concreto usinado serão abordadas, a seguir, as etapas citadas considerando concreto produzido em usina.

2.3.2.1. Recebimento

O recebimento do concreto deve ser realizado por profissional qualificado que deverá verificar se o volume e a resistência característica que consta na nota fiscal correspondem com as solicitadas. Além disso, deverá verificar a integridade do lacre, para assim garantir que o concreto não foi despejado no trecho da usina à

obra. Se a obra possui balança, poderá ser utilizada para controle da quantidade real de concreto que foi despejado na obra. Uma vez que os itens citados acima forem conferidos, é necessário verificar a consistência do concreto, geralmente através do ensaio de abatimento do tronco de cone, que deverá ser realizado por operário treinado ou empresa especializada (FREIRE, 2001).

2.3.2.2. Transporte

O transporte pode ser realizado basicamente de duas maneiras, com decomposição do movimento ou sem. No caso de transporte decomposto, a movimentação horizontal pode ser realizada por meio de carrinhos de mão, não muito recomendados para o transporte de concreto, ou por meio de jericas. Neste caso, são montadas passarelas sobre a laje, para facilitar a movimentação até o local da concretagem e também para evitar danos aos embutidos e as armações. Enquanto que o transporte vertical pode ser realizado por meio de elevador de carga. Transporte por meio de bombeamento ou por grua são considerados como sem decomposição de movimentos (FREIRE, 2001).

2.3.2.3. Aplicação

- Lançamento

Esta etapa consiste em lançar o concreto nas fôrmas, geralmente é realizado utilizando o mesmo equipamento de transporte, com a ajuda da mão de obra. Alguns critérios devem ser observados, como por exemplo, a altura máxima de lançamento não deve superar os 2 metros de altura, e sempre procurar lançar o concreto mais próximo a sua posição final. A altura da camada também deve respeitar o limite de 50 cm, para que dessa forma a saída das bolhas de ar seja mais fácil (FREIRE, 2001; MILITO, 2009).

- Espalhamento

Após o lançamento, espalha-se o concreto por todo o elemento estrutural, buscando preencher as regiões de difícil acesso, para isso geralmente são utilizadas enxadas ou pás. Esta etapa não necessariamente acontece em todos os casos, é possível suprimi-la em concretagens mais lentas, em que é possível lançar o concreto mais uniformemente sobre a superfície (FREIRE, 2001).

- Adensamento

Esta etapa tem por objetivo eliminar os vazios no concreto, e desta forma colaborar com o aumento da resistência e vida útil do elemento. Segundo a ABNT/NBR 14931 (2004) o concreto pode ser vibrado ou apiloado. Quando vibrado, geralmente utilizam-se vibradores de imersão. A mesma norma cita os cuidados que devem ser considerados durante esta etapa como: evitar o contato do vibrador com a fôrma para evitar a formação de bolhas de ar na superfície e evitar vibrar as armaduras, pois podem formar-se bolhas de ar ao redor e assim prejudicar a aderência. A ABNT/NBR 6118 (2014) ressalta que a distribuição das armaduras não somente deve atender à função estrutural, mas também as condições para uma correta execução. Para isto o espaçamento deve ser dimensionado considerando o espaço necessário para a entrada do vibrador.

- Nivelamento

Após o adensamento do concreto, é feito o nivelamento, geralmente utilizando um sarrafo apoiado em mestras que irão definir espessura final da laje. É importante também verificar o nível da forma durante a concretagem, pois esta pode sair do nível inicial (FREIRE, 2001).

- Acabamento superficial

Nesta etapa define-se a textura final da laje. Em varias obras esta etapa não é realizada, deixando a laje somente sarrafeada. As lajes em que é realizada esta etapa são conhecidas como “laje zero” ou “contra piso zero”. Nestes casos, visando eliminar o uso de camadas de regularização, existe um maior rigor no controle do nivelamento e planeza da laje.

No Quadro 7 é apresentada uma classificação das lajes considerando o seu acabamento superficial.

Quadro 7- Tipos de laje segundo o acabamento superficial

Tipo de laje	Descrição
Convencional	O nivelamento e rugosidade da laje não são controlados;
Nivelada	Existe um controle do nivelamento da laje, de modo que a espessura do contrapiso siga as dimensões indicadas em projeto;
Acabada	Dispensa a camada de contrapiso, já que possui as condições adequadas para a direta aplicação da camada final de piso.

Fonte: Baseado em Souza (1996) apud Freire (2001)

- Cura

Segundo Carvalho (2014), a hidratação do concreto acontece de forma acelerada após o início da pega, e então a água presente na mistura tende a sair pelos poros e se evaporar. A perda de água pode afetar as reações de hidratação do cimento e que por sua vez provoca uma retração no concreto maior que o usual, resultando em fissuras, devido a pouca resistência do concreto nesta idade.

Para evitar a aparição dessas fissuras, que irão diminuir a resistência final do concreto, é necessário evitar a perda acelerada de água do concreto. Para isto, é feita a cura do concreto. Entre os métodos usuais de cura, citam-se os seguintes: represamento ou borrifamento de água sobre a superfície da laje, uso de revestimentos saturados de água e aplicação de filme permeável.

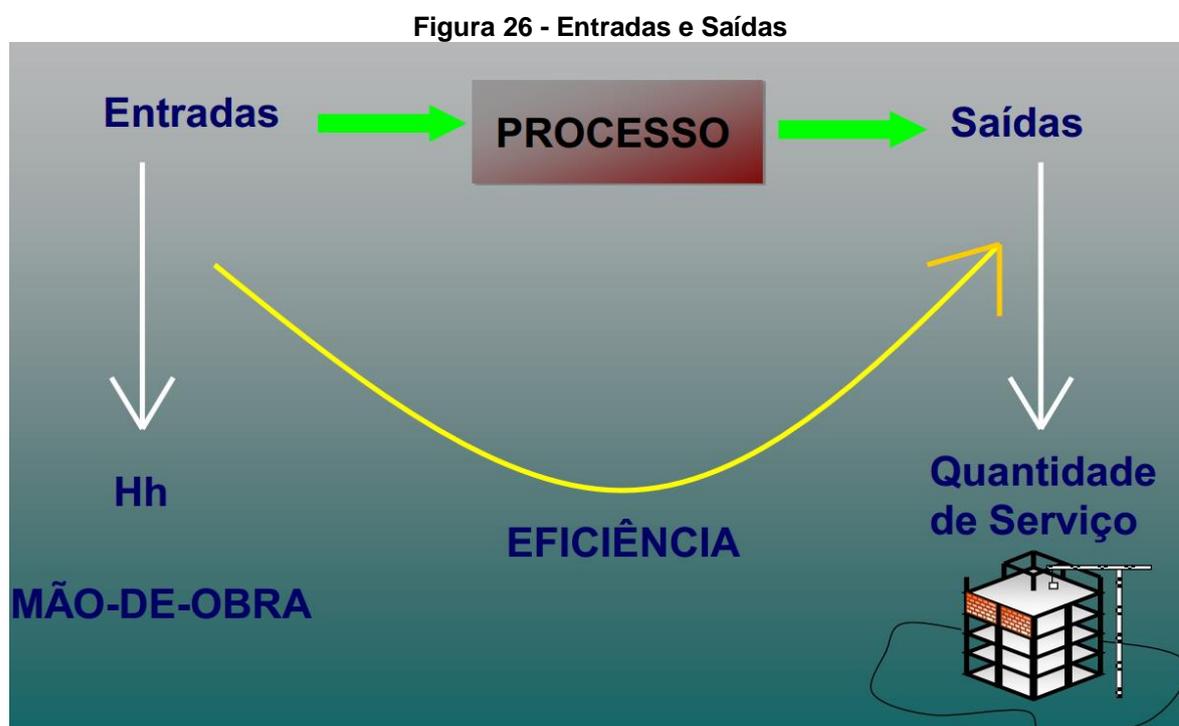
3. REVISÃO DA LITERATURA SOBRE PRODUTIVIDADE

3.1. DEFINIÇÃO

Chama-se produtividade à eficiência envolvida no processo de transformação de recursos no produto final (SOUZA, 2001).

Souza (2001) explica que no processo de criação de um produto existem recursos de naturezas diferentes. Por exemplo, a mão de obra e os materiais podem ser considerados como recursos físicos, enquanto que, o dinheiro para adquiri-los, como recursos financeiros.

Na produtividade dá-se o nome entrada aos recursos que passarão por um processo, e terão como saída um produto. Considerando recursos de naturezas físicas, e mais especificamente, mão de obra, a Figura 26 apresenta um exemplo, em que a entrada é a quantidade de horas trabalhadas, e a saída, a quantidade de serviço realizado.



Fonte: Souza (2014)

3.2. MENSURAÇÃO DA PRODUTIVIDADE

Obtendo os dados das entradas e saídas já é possível mensurar de forma objetiva quão eficiente foi o processo de transformação. SOUZA (2001) apresenta o

indicador denominado razão unitária de produção (RUP) que relaciona estes dois dados, de modo a obter uma referência padronizada que possa ser utilizada para comparar resultados de diferentes equipes de produção.

Desta forma, a relação entre as entradas e saídas serve como um indicador de quão eficiente foi o processo de transformação. A equação (1) apresenta esta relação.

$$RUP = \frac{Hh}{\text{Quantidade de serviço}} \quad (1)$$

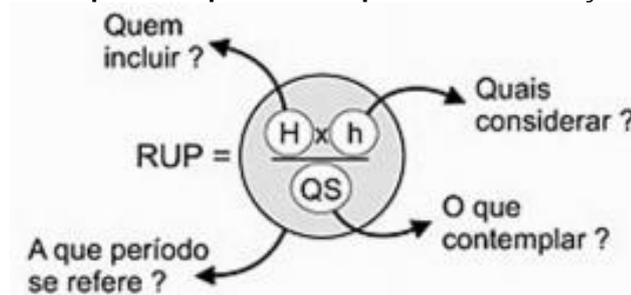
“Hh - Homem hora” é a quantidade de horas da mão de obra investidas no processo, e a “quantidade de serviço” é o resultado desse processo. Desta forma, para uma mesma quantidade de serviço, quanto maior é a RUP, pior é a produtividade, já que significa que é gasto maior quantidade de recursos - homens hora - para um mesmo produto.

Souza (2001) ressalta a importância da padronização da RUP para que possa ser utilizada como indicador e cita três aspectos importantes para que a padronização aconteça:

- a) a padronização das entradas (Homens-hora);
- b) a padronização das saídas (serviço)
- c) a definição do período de tempo ao qual as mensurações de entrada e saída se referem. (SOUZA, 2001)

A estes aspectos devem-se adicionar quais operários serão considerados para a mensuração. A Figura 27 apresenta um resumo dos os aspectos que devem ser padronizados para a mensuração da RUP.

Figura 27 - Aspectos a padronizar quanto à mensuração da RUP



Fonte: Souza (2006)

3.2.1. Padronização das entradas

Com relação à contagem das horas disponíveis para realização do serviço, Souza (2001) distingue três itens a serem considerados:

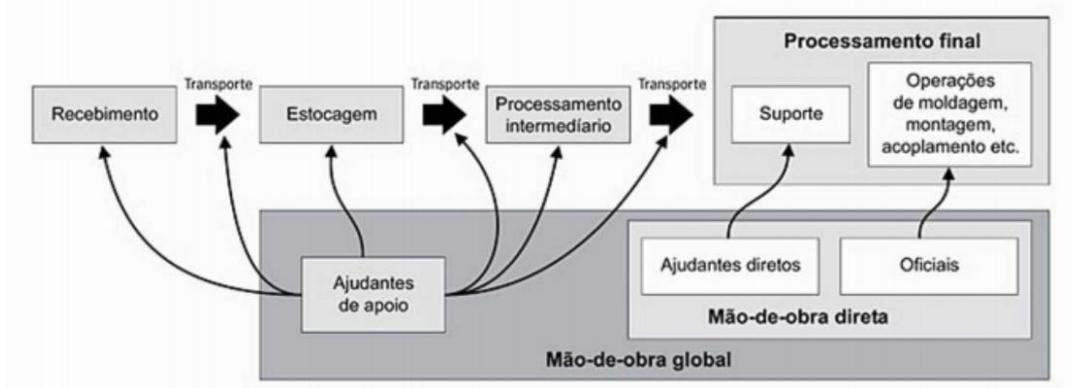
- não distinguir horas produtivas das improdutivas;
- não computar horas-prêmio;
- não considerar o absenteísmo.

Outro aspecto a definir é quais operários serão considerados. Basicamente existem três possibilidades:

- oficiais: considera somente os oficiais diretamente envolvidos;
- direta: considera os oficiais e ajudantes diretos;
- global: considera, além dos oficiais e os ajudantes diretos, os operários do grupo de apoio.

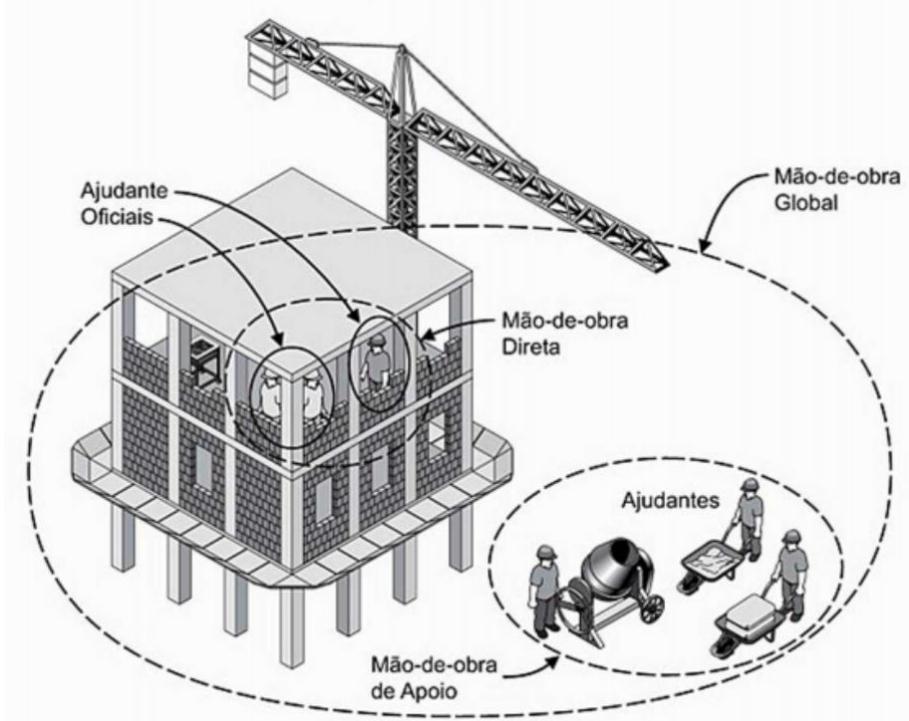
A Figura 28 apresenta a alocação usual dos operários mencionados acima, durante as diferentes etapas do processo de produção, e a Figura 29 apresenta a diferença entre a mão-de-obra direta e a equipe de apoio e global.

Figura 28 - Alocação usual dos operários ao longo das etapas do fluxograma dos processos



Fonte: Souza (2006)

Figura 29 - Diferentes abrangências quanto à mão-de-obra contemplada



Fonte: Souza (2006)

Por último, Souza (2014) destaca a importância de padronizar as fontes de informação, que podem ser:

- a) Observação contínua;
- b) Folhas de pagamento;
- c) Informações do encarregado.

3.2.2. Padronização das saídas

Souza (2001) sugere medir a quantidade de serviço líquida realizada e não utilizar a quantidade bruta, utilizada muitas vezes na forma de pagamento. Sendo assim, para o serviço de alvenaria, por exemplo, deve-se medir a real quantidade de alvenaria executada, descontando os vãos inclusive.

Em cada serviço, variam a unidade de mensuração mais adequada, como exemplo, o serviço de concretagem, em geral, é medido em volume, enquanto o de alvenaria costuma ser medido em área (SOUZA, 2001).

3.2.3. Período de tempo do processo produtivo

O Quadro 8 baseado em Souza (2001, p. 24) apresenta os “diferentes períodos de tempo aos quais se associarão as mensurações de entradas e saídas”, assim como o indicador de produtividade respectivo.

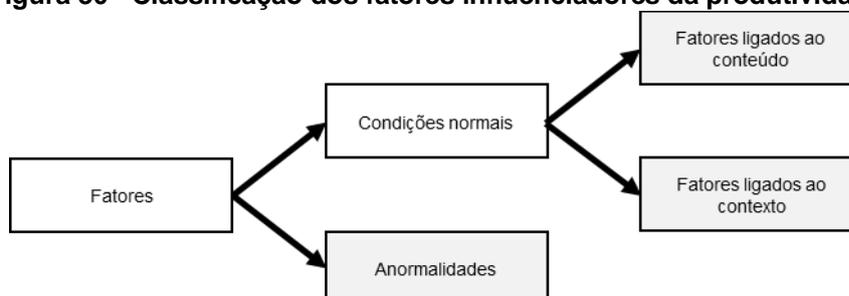
Quadro 8- Períodos de tempo e indicadores associados às mensurações de entradas e saídas

Período de observação	Indicador de produtividade
Dia de trabalho	RUP diária (RUPd)
Período acumulado	RUP cumulativo (RUPcum)
Ciclo do serviço	RUP cíclica (RUPcic)

3.3. FATORES QUE INFLUENCIAM A PRODUTIVIDADE

Souza (2001) explica que, de acordo com o Modelo de Fatores proposto por H. Randolph Thomas, se esses fatores permanecessem constantes ao longo do tempo, a produtividade também permaneceria constante. Estes fatores podem ser classificados em basicamente três grupos, apresentados na Figura 30.

Figura 30 - Classificação dos fatores influenciadores da produtividade



Fonte: Adaptado de Souza (2006)

O Quadro 9, baseado em Souza (2014), exemplifica a classificação de fatores apresentada anteriormente.

Quadro 9 - Fatores que influenciam a produtividade

Fatores	Exemplos
Ligados ao conteúdo	<ul style="list-style-type: none"> a) Para a alvenaria: tamanho e peso do componente, altura e comprimento da parede; b) Para as fôrmas: material constituinte do molde, tamanho e peso dos painéis, sistema de fixação, tamanho das peças enformadas; c) Para a armação: diâmetro e comprimento das barras, número de dobras; d) Para a concretagem: esbeltez das peças, altura do pavimento, tipo de peça.
Ligados ao contexto	<ul style="list-style-type: none"> a) Condições meteorológicas; b) Formação e tamanho da equipe; c) Motivação pessoal; d) Forma de pagamento; e) Tipo de equipamento de transporte.
Anormalidade	<ul style="list-style-type: none"> a) Chuva torrencial; b) Falta de material; c) Falta de instrução; d) Falta de equipamento; e) Falta de frente de trabalho.

3.4. PRODUTIVIDADE NA EXECUÇÃO DE ERCA

3.4.1. Fôrma

No referente ao aumento da produtividade nos serviços de fôrmas, Souza (1996) cita alguns pesquisadores que escreveram alguns conselhos. Entre eles estão Hurd (1989) e Qabbani (1987); o Quadro 10 apresenta as recomendações feitas por estes autores.

Quadro 10 - Recomendações para o aumento de produtividade no serviço de fôrmas

Quesito	Recomendação
Concepção	<ul style="list-style-type: none"> a) Adotar vigas e pilares simples; b) Não variar a largura e altura das vigas; c) Não variar a espessura das lajes; d) Não variar o pé-direito dos pavimentos e) Projetar as dimensões de tal forma a fazer uso de componentes comercialmente disponíveis.
Construtibilidade	<ul style="list-style-type: none"> a) Pensar no reaproveitamento; b) Usar dimensões comerciais; c) Simplificar o projeto.
Recomendações ao empreiteiro	<ul style="list-style-type: none"> a) Revisar o planejamento da execução das fôrmas em relação ao empreendimento como um todo, para evitar interferência de transporte, atrasos na montagem e mudanças de programação; b) Manter o ritmo dos operários; c) Definir juntas de construção de maneira a limitar o tamanho de macro painéis e a área de cada unidade de montagem; d) Utilizar um sistema compatível com as habilidades da mão-de-obra disponível.

3.4.2. Armação

Araújo (2005) apresentou uma série de fatores que acredita que possam ter influência na produtividade da mão-de-obra do serviço de armação. Os Quadro 11, Quadro 12 e Quadro 13 apresentam alguns desses fatores.

Quadro 11 - Fatores de conteúdo relacionados ao projeto do produto

Fatores de conteúdo relacionados ao projeto do produto

Pilares: taxa de armadura, porcentagem de armaduras servindo dois pavimentos, porcentagem de peças transversais, massa mediana das armaduras dos pilares e das peças longitudinais, porcentagem (em massa) de estribos com diâmetro >5mm, número de peças totais (dos pilares) pela massa total, diâmetro equivalente das peças das armaduras e das peças longitudinais, número de ganchos por metro linear de pilar, comprimento total das peças por metro linear, número de estribos por metro linear de pilar;

Vigas: taxa de armadura, porcentagem de estribos, massa mediana das peças que compõem a viga, massa mediana das peças longitudinais, massa mediana dos estribos, porcentagem (em massa) de estribos com diâmetro > 5mm, número de peças totais das vigas pela massa total da viga, diâmetro equivalente das peças das armaduras da viga, número de interseções entre pilar e viga, porcentagem de vigas com seção variável, comprimento total das peças por metro linear de viga, número de estribos por metro linear de viga;

Lajes: soma do comprimento linear das vigas (quanto maior a soma, maior a interferência na montagem da armadura da laje), taxa de armadura, número de peças por kg de armadura, relação entre comprimento das peças por m² de área de laje, massa mediana das peças, massa das armaduras das lajes por m² da área da laje, média das áreas das lajes armadas, porcentagem das armaduras negativas das lajes, diâmetro equivalente das peças das armaduras das lajes, diâmetro equivalente das peças positivas e negativas das armaduras.

Fonte: Adaptado de Araújo (2005)

Quadro 12 - Fatores de contexto relacionados ao método de trabalho

Operação	Fatores de contexto relacionados ao método de trabalho
Recebimento	Tipo de aço recebido; predominância de barras ou de aço cortado e dobrado; carregamento preparado para o descarregamento; sistema de etiquetas para identificação dos feixes; acessibilidade do caminhão ao canteiro; conferência dos feixes e descarregamento.
Estocagem	Distância entre as áreas de descarregamento e estocagem; estoques intermediários até a estocagem definitiva; acessibilidade à área de estocagem; restrições de áreas no canteiro; nível geral da organização das armaduras e peças;
Corte	Distância entre área de estoques e bancada de corte; configuração/disposição da bancada de corte; equipamentos de corte das barras; planejamento prévio das peças a serem cortadas; ordem de corte; separação/identificação das peças cortadas.
Dobra	Distância entre áreas de estoques e bancadas de dobra; configuração/disposição das bancadas de dobra; uso de equipamentos com sistema de dobramento; planejamento prévio das peças a serem dobradas; ordem da dobra, separação/identificação das peças dobradas.
Pré-montagem	Porcentagem da armadura de pilares, vigas e lajes pré-montadas; configuração/disposição das áreas destinadas à pré-montagem; condição de trabalho dos armadores; sistema de transporte vertical, posicionamento das armaduras.
Montagem	Posicionamento da armadura de pilares com fôrma (três fases) montada; porcentagem total da armadura de pilares e vigas complementada após o posicionamento da gaiola; configuração/disposição dos espaçadores para armadura negativa; montagem das vigas no momento seguinte à concretagem dos pilares.

Fonte: Adaptado de Araújo (2005)

Quadro 13 - Fatores de contexto ligados à organização do trabalho

Aspecto	Fatores de contexto ligados à organização do trabalho
Provisão	Regime de contratação, experiência profissional, política de contratação;
Aplicação	Dimensionamento das equipes, alocação das equipes, jornada de trabalho diária, realocação nos momentos de ociosidade do ciclo;
Manutenção	Aditivos salariais, nível salarial, horas ociosas no ciclo, benefícios, motivação;
Desenvolvimento	Leitura e interpretação de projetos, programas de reciclagem profissional, profissionalização;
Monitoração	Apontamento dos operários para pagamentos/controles de custos ou para subsidiar a gestão.

Fonte: Adaptado de Araújo (2005)

3.4.3. Concretagem

A concretagem abrange os serviços de produção, transporte e aplicação do concreto. Cada um desses serviços pode ser subdividido. A produção envolve a dosagem e a mistura dos materiais. Nas demais fases estão incluídas as operações de lançamento, adensamento, acerto geométrico, acabamento e cura. O nível de esforço da mão de obra depende do tipo de material que será utilizado e da peça a ser moldada (SOUZA, 2007).

Araújo (2000) cita, no Quadro 14, uma série de fatores que considera relevantes para a variação da produtividade no serviço de concretagem.

Quadro 14 - Fatores que podem influenciar a produtividade no serviço de concretagem

Fatores que podem influenciar a produtividade - Concretagem	
Características do produto	O grau de industrialização do processo construtivo, o padrão de acabamento da estrutura e a tipologia dos elementos estruturais (pilar, viga laje e escada) são relevantes para o estudo da produtividade.
Materiais e componentes	Neste item, o material estudado é somente o concreto. A característica que se relaciona com a variação da produtividade da mão-de-obra é a trabalhabilidade do mesmo.
Equipamentos e ferramentas	Todos os equipamentos, desde os utilizados no transporte até os que serão utilizados no acabamento do serviço afetam a produtividade.
Mão de obra	Como a concretagem geralmente é um serviço que utiliza mão de obra das outras equipes, o não planejamento e acompanhamento por pessoal técnico pode afetar negativamente a produtividade.
Organização da produção	Erros simples, como uma falha na comunicação entre a obra e a concreteira pode derrubar drasticamente a produtividade. Outro fator muito importante a considerar é o tamanho das equipes.

Fonte: Baseada em Araújo (2001)

3.5. TRABALHOS ANTERIORES SOBRE PRODUTIVIDADE NA EXECUÇÃO DE ERCA

O Quadro 15 apresenta um resumo dos principais trabalhos publicados sobre a produtividade na execução de ERCA e os objetivos alcançados.

Quadro 15 (Continua)- Trabalhos anteriores sobre produtividade na execução de ERCA

Referência	Trabalho	Objetivos alcançados
	Tese de doutorado: Metodologia para o estudo da produtividade da mão-de-obra no serviço de fôrmas para estrutura de concreto armado.	Sistematização do levantamento da produtividade da mão-de-obra.
SOUZA, (1996)		
	Convênio de pesquisa firmado entre a USP e 7 construtoras de SP (Produtividade da mão-de-obra nos serviços de estrutura de concreto armado).	Conhecimento dos níveis de produtividade praticados pelo mercado e dos motivos que determinam.
SOUZA; ARAÚJO (1999)		
	Dissertação de mestrado: Método para a previsão da produtividade da mão-de-obra.	Consolidação de um método padronizado para previsão e controle da produtividade da mão-de-obra envolvida na execução de formas, armação e concretagem passível de aplicação contínua em obras de Construção Civil.
ARAÚJO, (2000)		
	Dissertação de mestrado: Produção de estruturas de concreto armado, moldadas in loco, para edificações: caracterização das principais tecnologias e formas de gestão adotadas em São Paulo	Caracterização das principais tecnologias e formas de gestão da produção adotadas na execução de estruturas de concreto armado na região de Grande São Paulo
FREIRE, (2001)		

Quadro 15 (conclusão) - Trabalhos anteriores sobre produtividade na execução de ERCA

Referência	Trabalho	Objetivos alcançados
SOUZA, (2001)	Tese de livre docência.	Muniu a Construção Civil, subsegmento Edifícios, de procedimentos para se estimar a produtividade da mão-de-obra e o consumo unitário de materiais, (serviços de formas, armação concretagem, entre outros), e fomentou uma ampla e contínua discussão do assunto.
ARAÚJO. (2005)	Tese de doutorado: Método para a proposição de diretrizes para melhoria da produtividade da mão-de-obra na produção de armaduras	Apresentação de um método para proposição de diretrizes para aumentar a eficiência ao longo do processo de produção e orientar projetistas na concepção de projetos de detalhamento de armaduras mais favoráveis sob o ponto de vista da construtibilidade, com o intuito de melhorar a produtividade da mão-de-obra no processo de produção das armaduras.
SALIM NETO (2009)	Dissertação de mestrado Diretrizes de projeto para melhorar a produtividade na montagem de componentes pré-cortados e pré-dobrados de aço para estruturas de concreto armado de edifícios	Contribuiu com diretrizes para a concepção de projeto de armadura que levassem à melhoria da produtividade na produção da mesma.

Fonte: Adaptado de Araújo (2005)

4. MÉTODO PROPOSTO E SUA IMPLEMENTAÇÃO

Neste trabalho estudou-se a produtividade da mão-de-obra na execução de estruturas reticuladas de concreto armado.

Para o estudo da produtividade da mão-de-obra registraram-se as horas trabalhadas pelas equipes de fôrma e armação. Para mensuração da produtividade foi utilizado o indicador RUP - (Razão Unitária de Produção), apresentado por Souza (2001). Este indicador relaciona a quantidade de horas trabalhadas com a quantidade de serviço realizado, gerando um índice que pode ser utilizado para avaliar a produtividade de diferentes serviços. Chama-se a atenção para o fato de que quanto maior a RUP, pior a produtividade.

4.1. MÉTODO PROPOSTO

4.1.1. Ideias para a concepção do método

O ciclo da estrutura é composto por uma série de serviços executados ao longo do tempo, que deriva em um produto, no caso, a estrutura de um pavimento. Esses serviços de modo geral podem ser resumidos em: serviço de fôrma, armação e concretagem. Ao estudar tais serviços considerando um ciclo da estrutura, é possível realizar uma quantificação objetiva da quantidade de serviço realizado. Desta forma optou-se por considerar como período de observação o ciclo da estrutura. Sendo assim, para a mensuração da produtividade o método adota a RUP_{cic} (cíclica) ao invés da RUP_d (diária).

Souza (2006, p. 62) declara que a RUP_d “demanda maior esforço de coleta, na medida em que, a cada dia ter-se-iam de computar Hh e QS”, sendo Hh homem-hora e QS Quantidade de Serviço. No método simplificado somente será necessário computar, de forma diária, a quantidade de homem-hora, para logo somar e encontrar as horas gastas durante um ciclo. Enquanto que, o levantamento da quantidade de serviço é realizado considerando um ciclo completo.

Como comentado na justificativa, este estudo apresenta um método que pretende simplificar o trabalho de levantamento de dados, e que proporcione informações úteis para a avaliação da produtividade. Por esta razão adotou-se a RUP_{cic} , de modo

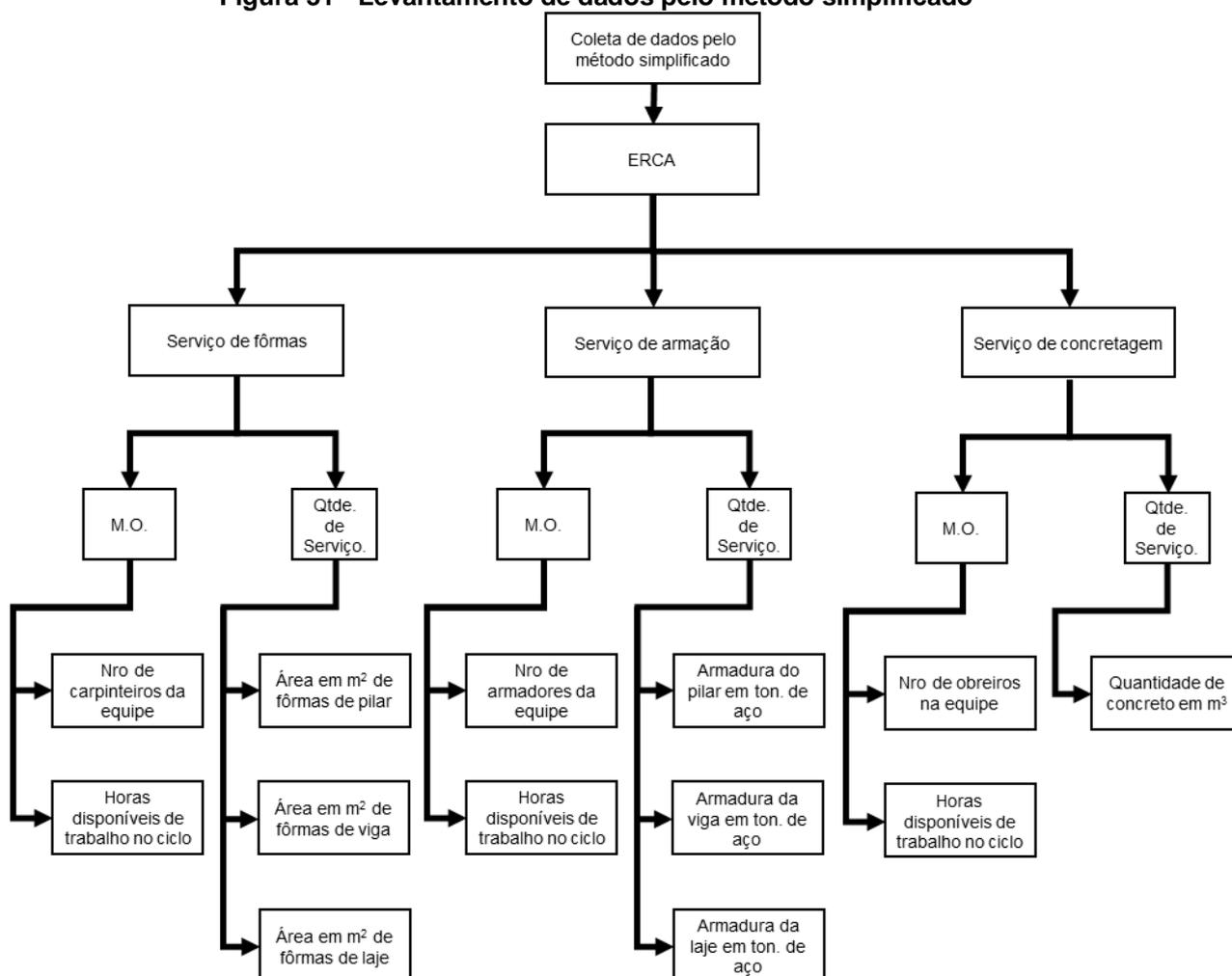
que a etapa de levantamento de dados seja simplificada, mas sem prejudicar a confiabilidade dos resultados.

4.1.1.1. Apresentação do método

O método proposto neste trabalho tem como principal objetivo facilitar o acompanhamento e estudo da produtividade mediante uma apropriação simplificada dos dados. O levantamento será realizado olhando o ciclo completo da execução de um pavimento, que pode ser realizado diretamente através do projeto, ou através de dados disponíveis na obra.

A Figura 31 apresenta um esquema dos dados a serem levantados. A execução da estrutura será apresentada detalhando os serviços de fôrma, armação e concretagem, porém para a análise da produtividade somente serão considerados os serviços de fôrma e armação. A quantidade de serviço de fôrma foi mensurada em função da quantidade de m^2 executados e o serviço de armação pela quantidade de aço em toneladas. Para determinar a quantidade de homem-hora disponibilizada no ciclo, é computada a equipe diária e as horas trabalhadas.

Figura 31 - Levantamento de dados pelo método simplificado



4.1.1.1.1. Padronização das entradas e saídas

Como comentado no levantamento bibliográfico, para a obtenção de um indicador que possa ser utilizado na comparação da produtividade de um mesmo serviço, é necessário fazer a padronização das entradas e das saídas. Isto é, deve-se definir quais dados serão levantados e como será feito este levantamento. Para facilitar o entendimento, os aspectos a serem padronizados serão apresentados a seguir, respondendo às perguntas da Figura 27 do capítulo 3.

1. A que período se refere?

O período de estudo escolhido é o ciclo de execução de um pavimento.

2. Qual a fonte de informação?

A apropriação dos dados foi realizada mediante informação proveniente do engenheiro encarregado da obra. Esta informação também pode ser obtida mediante observação contínua, folhas de pagamento, etc.

3. Quem incluir? (Entradas)

Definiu-se que seria realizado o levantamento da quantidade de horas de trabalho da mão-de-obra de oficiais disponíveis para cada equipe. Segundo Souza (2006, p. 61) a RUP dos oficiais “está associada à avaliação da maior ou menor dificuldade nas operações finais do serviço”.

4. Quais horas considerar? (Entradas)

As horas disponíveis para o trabalho, sem descontar as horas improdutivas.

5. O que contemplar? (Saídas)

A quantidade de fôrma em m², a quantidade de aço em toneladas.

4.2. IMPLEMENTAÇÃO DO MÉTODO

A implementação do método foi feita em três obras, com características diferentes, localizadas no estado de São Paulo. Foi escolhido para análise o pavimento tipo, porém em uma das obras todos os pavimentos são diferentes, o que a torna interessante para comparação.

4.2.1. Obra SP1

4.2.1.1. Caracterização da obra

Esse empreendimento não apresenta pavimento tipo, ou seja, todos os pavimentos são diferentes entre si. O Quadro 16 apresenta uma descrição geral da obra SP1.

Quadro 16 - Caracterização da obra SP1

Localização:	São Paulo-SP
Tipo do empreendimento:	Residencial
Tipologia estrutural:	Estrutura reticulada de concreto armado
Número de pavimentos	5 subsolos + Térreo + 8 pavimentos
Regime de contratação da obra	Administração

A Tabela 3 apresenta algumas características dos pavimentos estudados nesta obra. Como se pode notar, existe variação do volume de concreto, área superficial, espessura média e pé direito em todos os pavimentos.

Tabela 3 - Caracterização dos pavimentos - Obra SP1

Pavimento	Concreto (m ³)	Área dos pavimentos (m ²)	Espessura média (m ³ /m ²)	Pé direito (m)
2º	126,28	482,58	0.26	3,20
3º	117,6	426,28	0.28	3,28
4º	114,84	425,99	0.27	3,28
5º	101,42	395.91	0.26	3,20

Na Figura 32, que apresenta a fachada prevista para este empreendimento, pode-se perceber a peculiaridade de sua arquitetura. A Figura 33 mostra a vista lateral da torre durante a construção.

Figura 32 - Fachada prevista do empreendimento - Obra SP1



Figura 33 - Vista frontal durante a execução - Obra SP1



4.2.1.2. Caracterização da estrutura

Neste item serão apresentadas as características e quantitativos dos serviços empregados na execução da estrutura de concreto armado sendo eles: fôrma, armação e concretagem.

4.2.1.2.1. Fôrma

A Tabela 4 apresenta o resumo de fôrma para os pavimentos da obra SP1.

Tabela 4 - Resumo de fôrma para o Pavimento tipo - Obra SP1

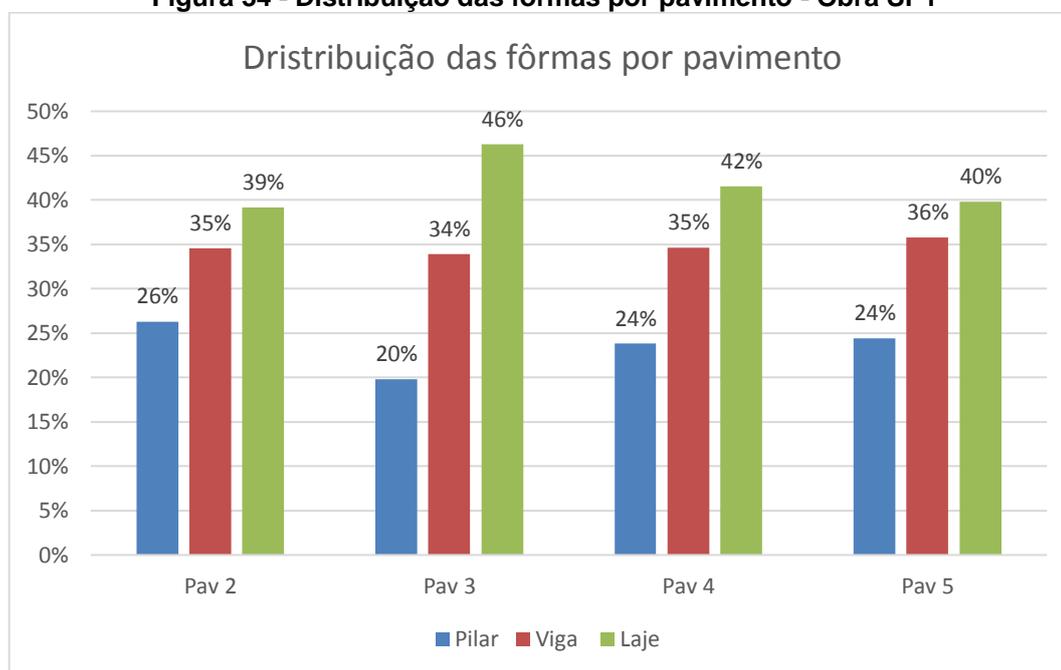
Pavimento	Pilar (m ²)	Viga (m ²)	Laje (m ²)	Total (m ²)
2 ^o	232,55	305,12	346,16	883,83
3 ^o	178,43	305,43	416,32	900,18
4 ^o	182,83	265,76	319,08	767,67
5 ^o	181,33	265,69	295,54	742,56

A Tabela 5 e a Figura 34 detalham a quantidade, em porcentagem, de fôrmas de pilares, vigas e lajes em função do total.

Tabela 5- Distribuição das fôrmas em porcentagem - Obra SP1

Pavimento	Pilar (%)	Viga (%)	Laje (%)
2 ^o	26%	35%	39%
3 ^o	20%	34%	46%
4 ^o	24%	35%	42%
5 ^o	24%	36%	40%

Figura 34 - Distribuição das fôrmas por pavimento - Obra SP1



A fôrma utilizada nesta obra foi fabricada no próprio canteiro. Como molde foi utilizado chapas de compensado plastificado. O escoramento utilizado foi metálico, formado basicamente por torres metálicas e escoras simples (Figura 35).

O fato de esta obra possuir uma arquitetura atípica, fez com que seja necessário o uso de escoramentos com pé direito duplo e escoramentos apoiados em vigas balanço, como apresentado na Figura 36 e na Figura 37 respectivamente. A Figura 38 apresenta o travamento dos pilares.

Figura 35 - Preparação do escoramento para a fôrma da laje - Obra SP1



Figura 36 - Escoramentos com pé-direito duplo. Obra SP1



Figura 37 - Escoramento apoiado em pequenas vigas em balanço - Obra SP1

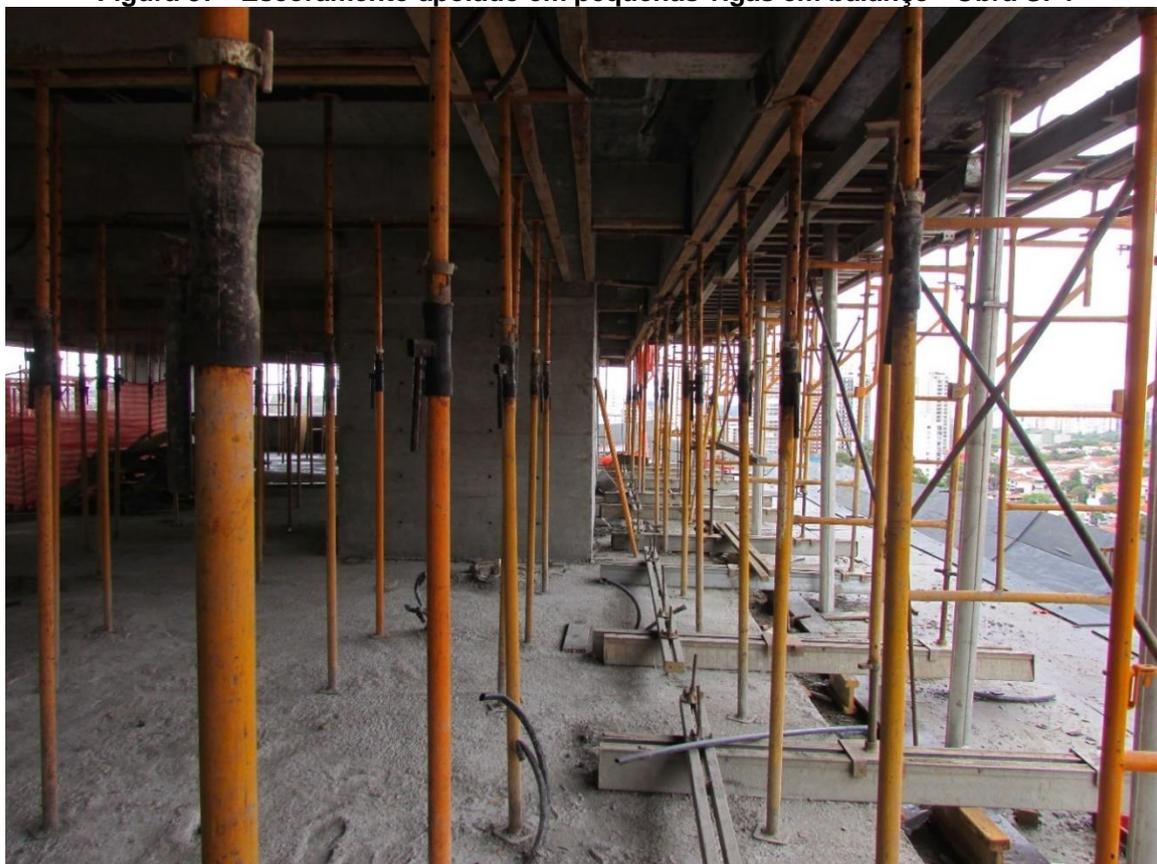


Figura 38 - Travamento de pontaletes com mãos-francesas metálicas - Obra SP1



A Tabela 6 apresenta as atividades de um ciclo completo do serviço de fôrmas, as jornadas de trabalho e o total de oficiais da equipe de fôrmas. Cabe ressaltar que o número de oficiais pode apresentar variação durante o ciclo, devido à falta ou locação de oficiais em atividades fora do pavimento. A Tabela 6 não considera estas variações, apresenta somente a equipe dimensionada para trabalhar no pavimento. Porém no levantamento de dados as variações citadas serão consideradas.

Tabela 6 - Atividades desenvolvidas pela equipe de fôrma - Obra SP1

Dia do Ciclo do Pavimento	Atividade	Jornada de Trabalho	Equipe
1º	<ul style="list-style-type: none"> Desforma de pilares do andar anterior; Colocação de gualdrões de pilares. 	9 horas	
2º	<ul style="list-style-type: none"> Desforma de pilares do andar anterior; Montagem das 3 faces de pilar. 	9 horas	
3º	<ul style="list-style-type: none"> Colocação da 4º face, correção do prumo dos pilares; Desforma de lateral de vigas do pavimento anterior. 	9 horas	
4º	<ul style="list-style-type: none"> Montagem do escoramento, fundo e lateral de vigas; Desforma de lateral de vigas do pavimento anterior. 	9 horas	
5º	<ul style="list-style-type: none"> Montagem do escoramento, fundo e lateral de vigas, montagem de torres de lajes; Desforma de lajes do pavimento anterior. 	9 horas	21 carpinteiros
6º	<ul style="list-style-type: none"> Montagem do escoramento e fundo e lateral de vigas; Montagem de torres de lajes; Assoalho de lajes; Desforma de lajes do pavimento anterior. 	9 horas	
7º	<ul style="list-style-type: none"> Colocação de assoalho de lajes; Acertos finais de pilares (conferências). 	4 horas	
	<ul style="list-style-type: none"> Concretagem dos pilares. 		
8º	<ul style="list-style-type: none"> Acertos finais para a concretagem de lajes e vigas. 	9 horas	
9º	<ul style="list-style-type: none"> Acertos finais para a concretagem de lajes e vigas. 	9 horas	
10º	<ul style="list-style-type: none"> Concretagem de lajes/vigas. 		

4.2.1.2.2. Armação

A Tabela 7 apresenta o resumo da quantidade de aço para o pavimento tipo da obra.

Tabela 7 - Resumo da quantidade de aço por pavimento Obra SP1

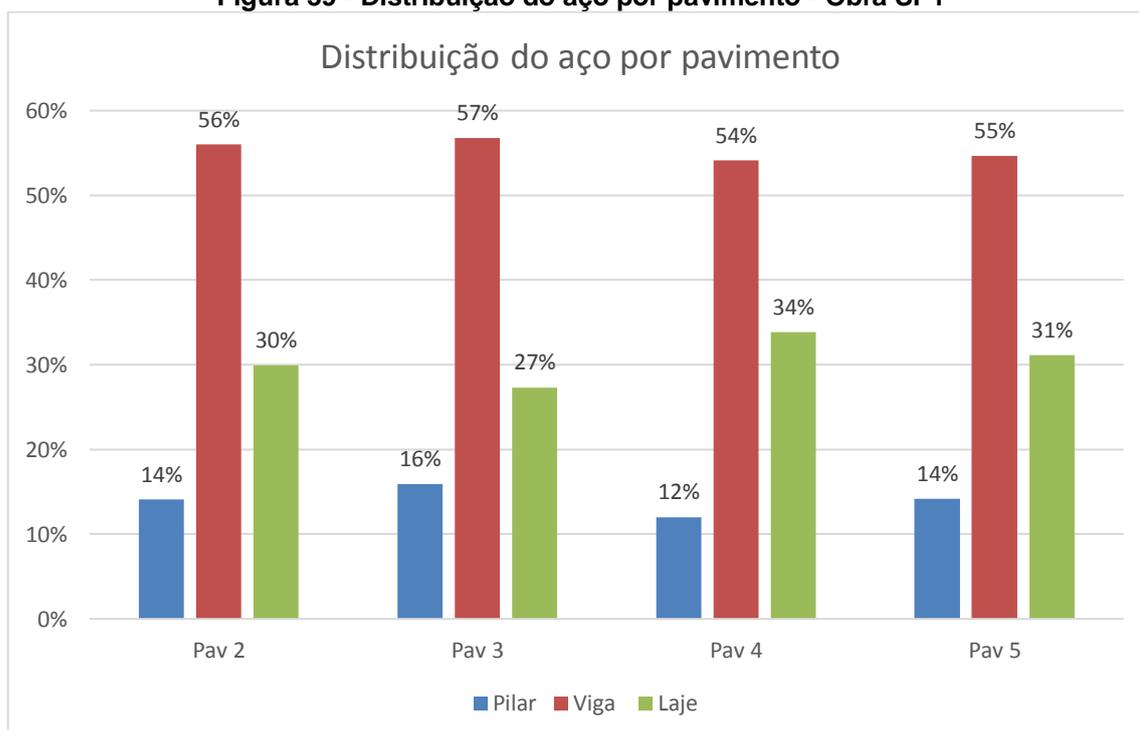
Pavimento	Pilar (ton.)	Viga (ton.)	Laje (ton.)	Total (ton.)
2º	2,13	8,459	4,517	15,11
3º	2,13	7,588	3,655	13,37
4º	1,69	7,606	4,764	14,06
5º	1,69	6,529	3,721	11,94

A Tabela 8 e a Figura 39 detalham a porcentagem de aço para pilares, vigas e lajes do pavimento em função do total.

Tabela 8 - Distribuição do aço por pavimento - Obra SP1

Pavimento	Pilar (%)	Viga (%)	Laje (%)
2º	14%	56%	30%
3º	16%	57%	27%
4º	12%	54%	34%
5º	14%	55%	31%
Mediana	14%	55%	31%

Figura 39 - Distribuição do aço por pavimento - Obra SP1



Nesta obra, foi adotado o recebimento de aço pré-cortado e pré-dobrado, os pilares e vigas eram pré-montados e transportados ao pavimento com utilização de grua (Figura 40).

Figura 40 - Grua transportando aço para a laje – Obra SP1



A Tabela 9 detalha as atividades realizadas, as jornadas de trabalho e o total de operários da equipe de armação.

Tabela 9 - Atividades desenvolvidas pela equipe de armação - Obra SP1

Dia do Ciclo do Pavimento	Atividade	Jornada de Trabalho	Equipe
1º	• Pré-montagem de pilares.	8 horas	
2º	• Transporte e montagem final de pilares.	9 horas	
3º	• Pré-montagem de vigas.	9 horas	
4º	• Organização de aço no canteiro.	9 horas	
5º	• Organização de aço no canteiro.	9 horas	
6º	• Pré-montagem de pilares do pavimento seguinte.	9 horas	11 armadores
7º	• Transporte de vigas pré-montadas para o pavimento de execução.	4 horas	
	• Concretagem dos pilares.		
8º	• Transporte de aço para a laje e montagem final de viga.	9 horas	
9º	• Montagem final da laje.	9 horas	
10º	• Concretagem de lajes/vigas.		

4.2.1.2.3. Concreto

Nesta obra optou-se pela utilização de concreto usinado. O transporte do concreto até o pavimento era realizado com a utilização de bomba-lança, como mostra a Figura 41.

Figura 41 - Concretagem com a utilização de bomba - Obra SP1



A Tabela 10 apresenta o resumo do volume de concreto por pavimento.

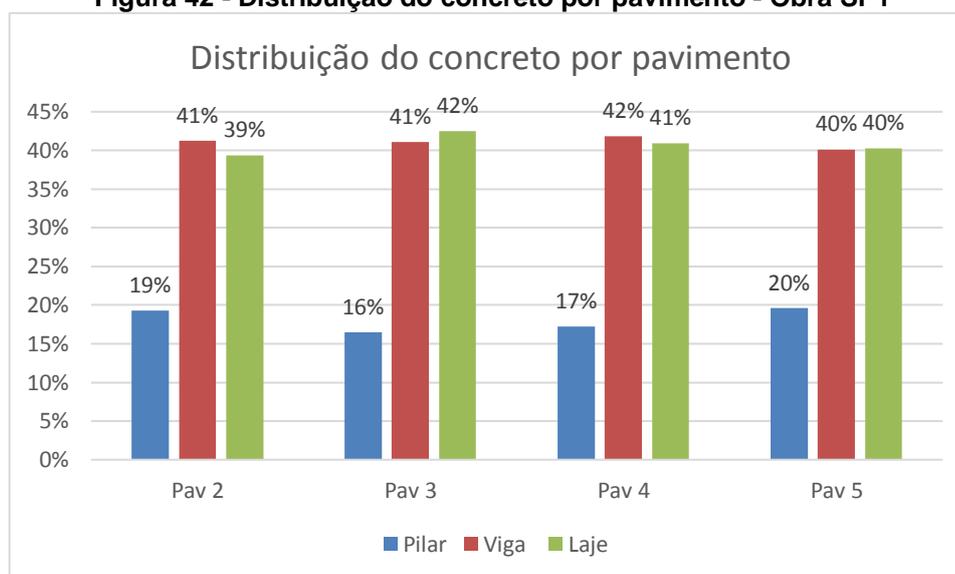
Tabela 10 - Resumo do volume de concreto por pavimento- Obra SP1

Pavimento	Pilar (m ³)	Viga (m ³)	Laje (m ³)	Total (m ³)
2º	24,4	52,14	49,74	126,28
3º	19,36	48,28	49,96	117,6
4º	19,82	48,03	46,99	114,84
5º	19,87	40,71	40,84	101,42

Tabela 11 - Distribuição do concreto por pavimento - Obra SP1

Pavimento	Pilar (%)	Viga (%)	Laje (%)
2º	19%	41%	39%
3º	16%	41%	42%
4º	17%	42%	41%
5º	20%	40%	40%
Mediana	18%	41%	41%

Figura 42 - Distribuição do concreto por pavimento - Obra SP1



A equipe básica para a concretagem da laje era composta por 21 pessoas, dividindo-se conforme apresentado na Tabela 12.

Tabela 12 - Equipe de concretagem - Obra SP1

Atividade	Função	M.O
Acompanhamento da concretagem.	Funcionários da concreteira	2
Acompanhamento da concretagem embaixo da laje.	Carpinteiro	2
Vibração do concreto.	Carpinteiro	2
Movimentação do mangote.	Carpinteiro	2
Movimentação do mangote.	Ajudante	3
Molhar a laje.	Ajudante	1
Verificação da armação.	Armador	1
Verificação das instalações elétricas durante a concretagem.	Eletricista	1
Sarrafeamento e nivelamento da laje	Pedreiro	5
Mapeamento do concreto.	Estagiário	1
Acompanhamento da concretagem no nível da laje.	Mestre da construtora	1
Total		21

4.2.1.3. Estudo da produtividade

O total de dias trabalhados e as datas de início e fim do ciclo de cada pavimento são expostos a seguir na Tabela 13.

Tabela 13 - Dias trabalhados - Obra SP1

Pavimento	Data de Início	Data de Fim	Dias Trab.
2º	08-10-2014	20-10-2014	11
3º	21-10-2014	03-11-2014	12
4º	04-11-2014	17-11-2014	12
5º	18-11-2014	04-12-2014	15

4.2.1.3.1. Fôrma

O levantamento dos dados referentes à quantidade de horas trabalhadas na montagem das fôrmas, a quantidade de fôrma montada em m² e a RUP seguem na

Tabela 14. Os dados apresentados na coluna B da tabela a seguir são referente às horas totais de carpinteiros no serviço de concretagem, considerando a execução de todos os elementos da estrutura do pavimento.

Tabela 14 - RUPs do serviço de fôrma - Obra SP1

RUP - Serviço de fôrma					
Pavimento	A Hh	B Hh (Carpinteiros na concretagem)	C=A-B Hh Final (serviço de fôrma)	D m ² de fôrma	E=C/D Hh/m ² de fôrma
2 ^o	1848	76	1772	883.83	2.00
3 ^o	2016	76	1940	900.18	2.16
4 ^o	2112	76	2036	767.67	2.65
5 ^o	2400	76	2324	742.56	3.13
Maior					3,13
Mediana					2.41
Menor					2,00

A Figura 43 apresenta a distribuição, em porcentagem, da fôrma por elemento estrutural e a produtividade em cada pavimento.

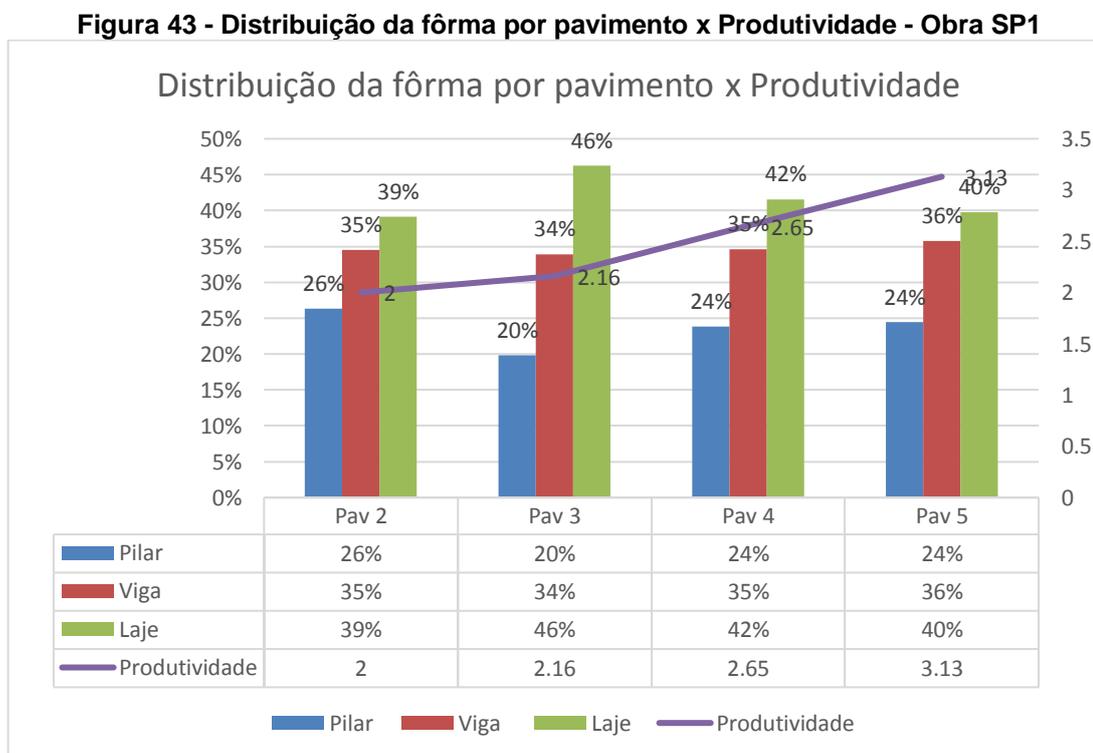
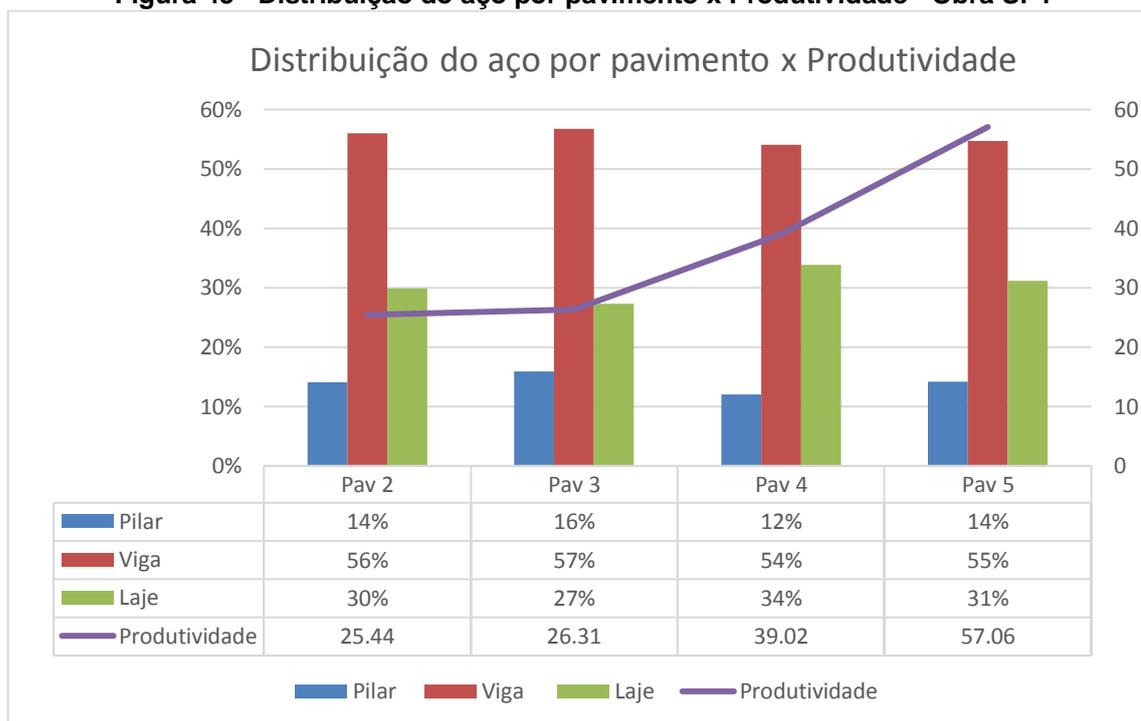
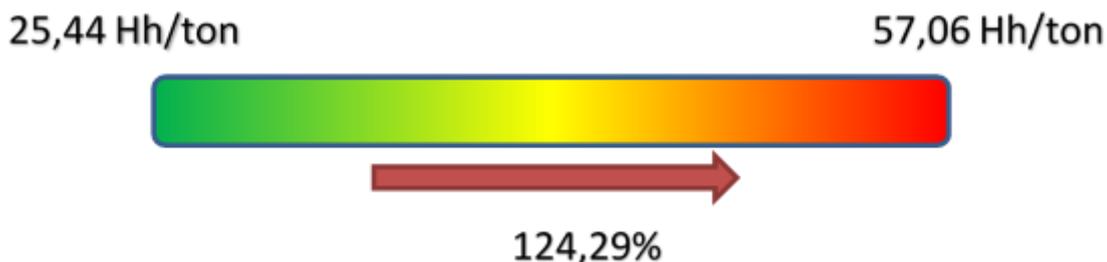


Figura 45 - Distribuição do aço por pavimento x Produtividade - Obra SP1



A RUP do serviço de armação, apresentou uma diferença de 124,59% na comparação entre o melhor e o pior valor dos quatro pavimentos acompanhados (Figura 46).

Figura 46 - Variação da produtividade no serviço de armação - Obra SP1



4.2.2. Obra SP2

4.2.2.1. Caracterização da obra

Este empreendimento possui poucas vigas, sendo praticamente formado por lajes planas com vigas de borda. O Quadro 17 apresenta uma descrição das características gerais da obra SP2.

Quadro 17 - Caracterização da obra SP2

Localização:	São Paulo-SP
Tipo do empreendimento:	Residencial
Tipologia estrutural:	Estrutura reticulada de concreto armado
Área do pavimento tipo	695 m ²
Espessura média	0,36m ³ /m ²
Número de pavimentos	3SS+T + 2 Atípico +22. Tipo +1 Duplex
Pé direito Pavimento tipo.	3,42m
Regime de contratação da obra	Administração

A Figura 47 apresenta a fachada prevista para este empreendimento, e a Figura 48 mostra a vista frontal da torre durante a construção.

Figura 47 - Fachada prevista do empreendimento - Obra SP2

Figura 48 - Vista durante a execução - Obra SP2



4.2.2.2. Caracterização da estrutura

Neste item serão apresentadas as características e quantitativos dos serviços empregados na execução da estrutura de concreto armado sendo eles: fôrma, armação e concretagem.

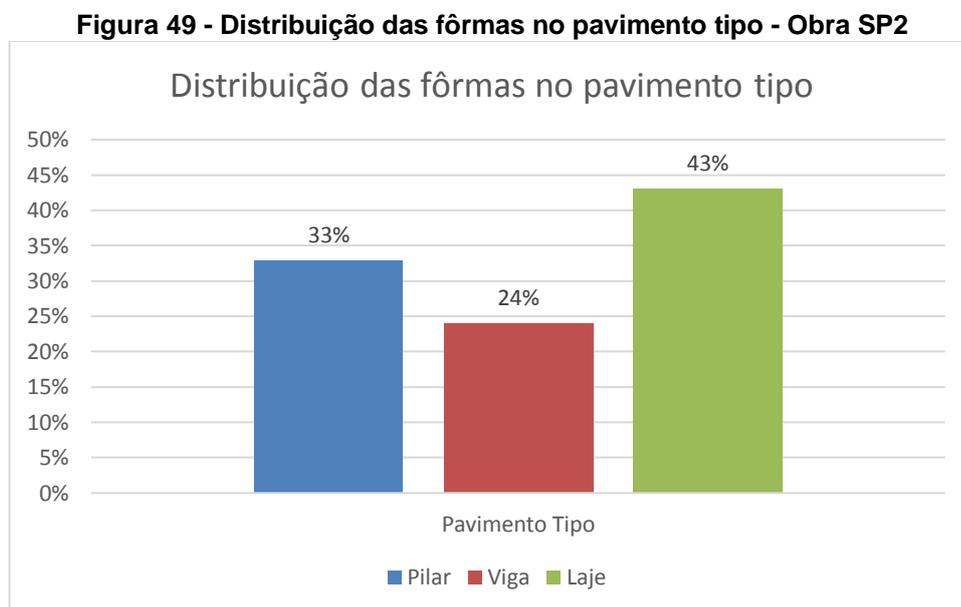
4.2.2.2.1. Fôrma

A Tabela 16 apresenta o resumo de fôrma para o pavimento tipo da obra SP2.

Tabela 16 - Resumo de fôrma para o pavimento tipo - Obra SP2

Elemento	Área (m²)
Pilar	441.86
Viga	322.56
Laje	577.57
Total	1341,99

A Figura 49 apresenta um gráfico da distribuição, em porcentagem, das formas nos elementos pilar, viga e laje para pavimento tipo da obra SP2.



Nesta obra as fôrmas eram recebidas prontas, o escoramento utilizado foi todo metálico, com exceção de algumas vigas em que foram utilizadas garfos de madeira.

Para os pilares, optou-se por:

- Fôrmas prontas de madeira formadas por compensado plastificado;
- Painéis modulares manuseáveis de compensado com estrutura de aço (Figura 50);
- Fôrmas metálicas circulares (Figura 51);

Figura 50 - Macro painéis compostos por painéis modulares manuseáveis de compensado com estrutura de aço - Obra SP2



Figura 51 - Fôrmas metálicas circulares preparadas para a concretagem - Obra SP2



A Tabela 17 detalha as atividades realizadas, as jornadas de trabalho e o total de operários da equipe de fôrmas.

Tabela 17 - Atividades desenvolvidas pela equipe de fôrma - Obra SP2

Dia do Ciclo do Pavimento	Atividade	Jornada de Trabalho	Equipe
1º	<ul style="list-style-type: none"> • Desformar 50% das vigas e Montagem de 50% dos fundos; • Levantar grade de pilar e lateral das formas - Iniciar pelos pilares P10 e P11; • Fechar e aprumar os pilares metálicos; • Apicoar pé de pilar, marcar gualho; • Fechamento dos pilares. 		
2º	<ul style="list-style-type: none"> • Concretagem dos pilares metálicos P5, P6, P14 e P17. • Desformar restante das vigas (50%) e Montagem de 50% das Vigas de Fundo; • Montagem 50% da laje; • Fechamento dos pilares P10 e P11; • Desformar pilares metálicos P5, P6, P14 e P17. 	8 horas	22 carpinteiros
3º	<ul style="list-style-type: none"> • Desformar restante da laje; • Montar 50% da laje, jogar 100% do assoalho e assoalhar 30%. 		
4º	<ul style="list-style-type: none"> • Assoalhar 70% da laje; • Conferência de 100% dos pilares; • Montar 100% dos capitéis; • Montagem das vigas de borda na área de protensão. 		
5º	<ul style="list-style-type: none"> • Concretagem dos pilares - início as 7:00hs. 		
6º	Conferência geral - forma, alinhamento, armação, prumos, etc.		
7º	<ul style="list-style-type: none"> • Início Concretagem da laje na área oposta à área de protensão; • Área de protensão liberada para concretagem. 		

4.2.2.2.2. Armação

O aço para as armaduras era recebido pré-cortado e pré-dobrado, os pilares e vigas eram pré-montados e transportados ao pavimento com utilização de grua. A Tabela 18 apresenta o resumo da quantidade de aço para o pavimento tipo da obra.

Tabela 18 - Resumo da quantidade de aço por pavimento - Obra SP2

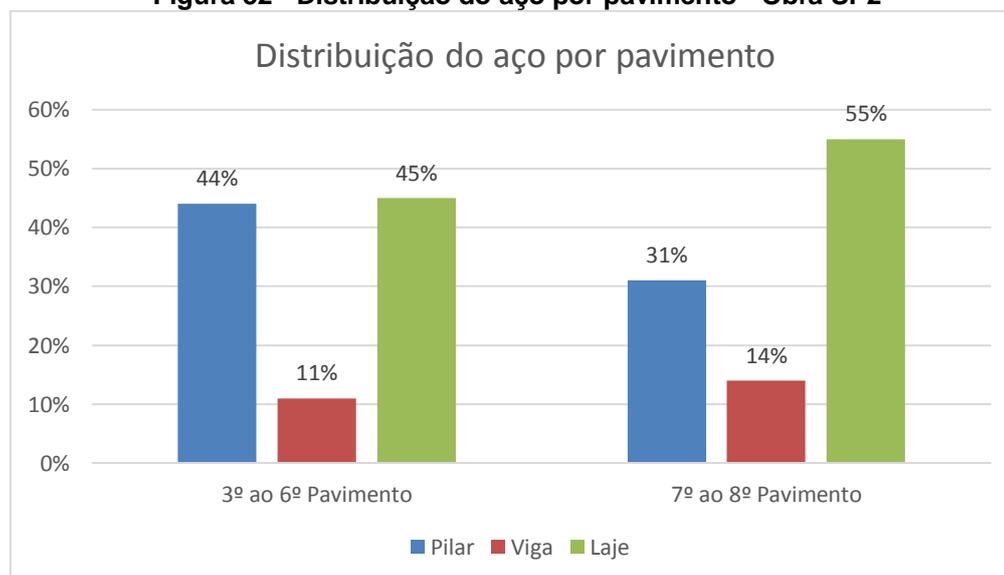
Pavimento tipo	Pilar (ton.)	Viga (ton.)	Laje (ton.)	Total (ton.)
3º PAV.	11,53	2,86	11,77	26,16
4º PAV.	11,53	2,86	11,77	26,16
5º PAV.	11,53	2,86	11,77	26,16
6º PAV.	11,53	2,86	11,77	26,16
7º PAV.	6,63	2,96	11,77	21,36
8º PAV.	6,63	2,96	11,77	21,36

A Tabela 19 e a Figura 52 detalham a porcentagem de aço para pilares, vigas e lajes do pavimento em função do total.

Tabela 19 - Distribuição do aço por pavimento - Obra SP2

Pavimento tipo	Pilar (%)	Viga (%)	Laje (%)
3º PAV.	44%	11%	45%
4º PAV.	44%	11%	45%
5º PAV.	44%	11%	45%
6º PAV.	44%	11%	45%
7º PAV.	31%	14%	55%
8º PAV.	31%	14%	55%

Figura 52 - Distribuição do aço por pavimento - Obra SP2



As seguintes figuras mostram o espaço destinado ao estoque e montagem das armaduras e do aço recebido cortado e dobrado.

Figura 53 - Área para estoque de aços dobrados e cortados - Obra SP2

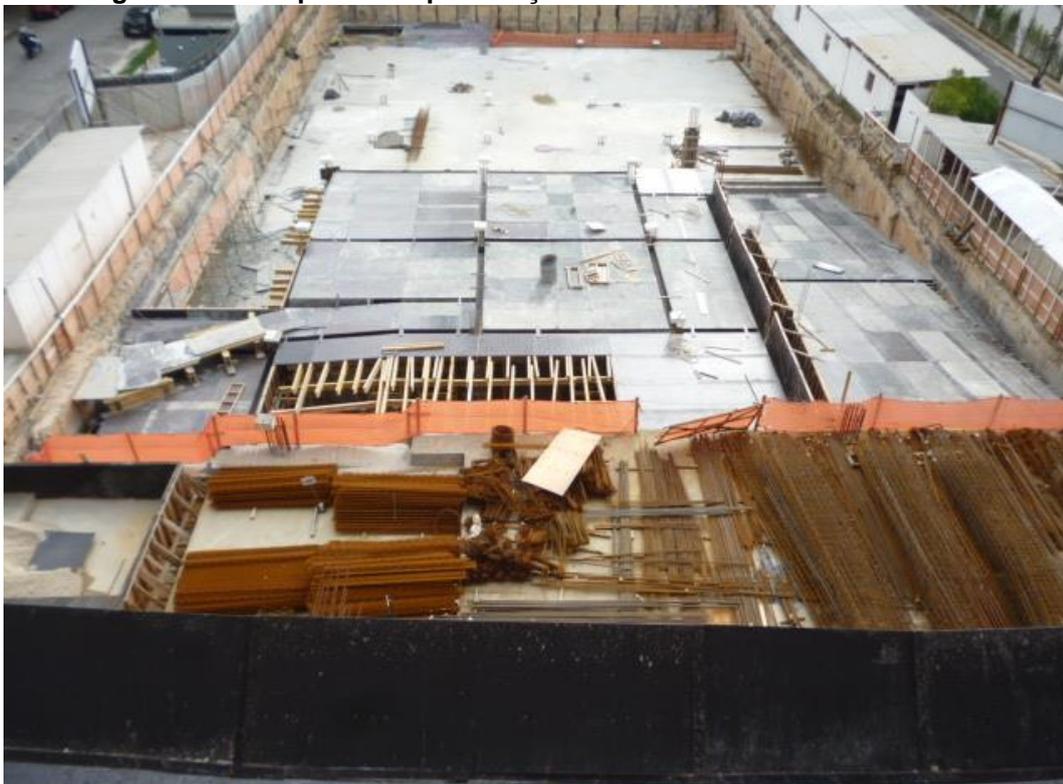


Figura 54 - Área para estoque de aço pré-cortado e pré-dobrado e armaduras montadas - Obra SP2



Figura 55 - Pré-montagem das armaduras - Obra SP2



A Tabela 20 detalha as atividades realizadas, as jornadas de trabalho e o total de operários da equipe de armação. Cabe ressaltar que o número de oficiais pode apresentar variação durante o ciclo, devido à falta ou locação de oficiais em atividades fora do pavimento. A Tabela 20 não considera estas variações, apresenta somente a equipe dimensionada para trabalhar no pavimento. Porém no levantamento de dados as variações citadas serão consideradas.

Tabela 20 - Atividades desenvolvidas pela equipe de armação - Obra SP2

Dia do Ciclo do Pavimento	Atividade	Jornada de Trabalho	Equipe
1º	<ul style="list-style-type: none"> • Pré-montagem de pilares; • Montagem da armação dos pilares circulares com fôrma metálica: P5, P6, P14 e P17; • Transporte e montagem final de pilares. <hr/> <ul style="list-style-type: none"> • Concretagem dos pilares circulares com fôrma metálica: P5, P6, P14 e P17. 		
2º	<ul style="list-style-type: none"> • Transporte e montagem final de pilares; • Pré-montagem de vigas. 		
3º	<ul style="list-style-type: none"> • Armação das vigas de borda na área da protensão; • Após a concretagem dos pilares início da armação positiva na área de protensão; • Após o positivo, iniciar o lançamento dos cabos de protensão. <hr/> <ul style="list-style-type: none"> • Concretagem dos pilares - início as 7:00hs. 	8 horas	12 armadores
4º	<ul style="list-style-type: none"> • Pré-montagem de pilares do pavimento seguinte; • Armação positiva e negativa da laje; • Amarração dos cabos de protensão; • Finalização dos negativos após a amarração dos cabos de protensão. 		
5º	<ul style="list-style-type: none"> • Finalização dos negativos após a amarração dos cabos de protensão; • Conferência dos negativos na área de protensão; • Concretagem dos pilares. 		
6º	<ul style="list-style-type: none"> • Transporte de aço para a laje e montagem final de viga. 		
7º	<ul style="list-style-type: none"> • Montagem final da laje. • Concretagem de lajes/vigas. 		

4.2.2.2.3. Concreto

A concretagem da laje foi realizada com ajuda de um mastro mecânico de distribuição de concreto, conhecido como *Spider* (Figura 56). A utilização deste equipamento, contribuiu na diminuição de mão de obra durante a concretagem.

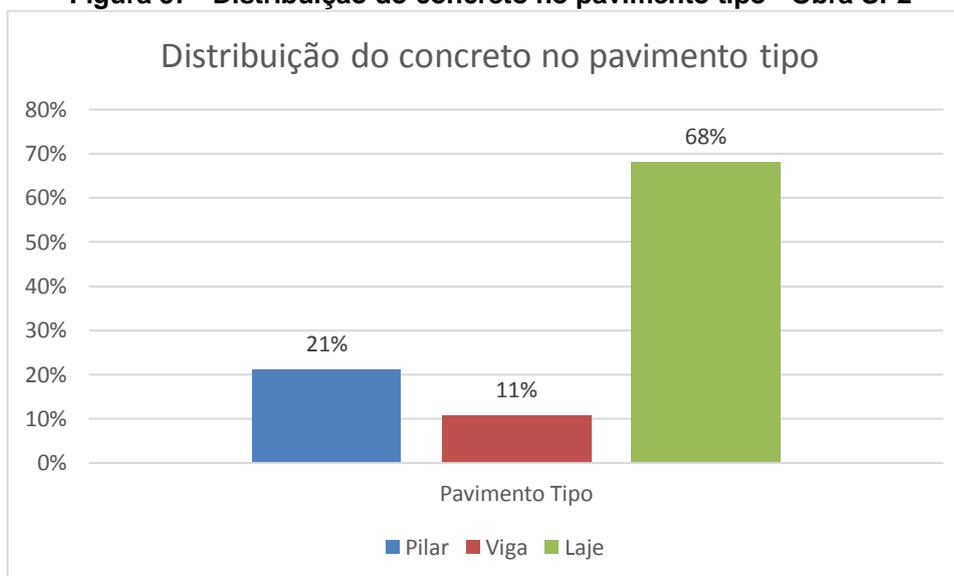
Figura 56 - Concretagem da laje com o auxílio do *Spider*



A Tabela 21 apresenta o resumo do volume de concreto por pavimento tipo, e a Tabela 22 detalha as atividades realizadas, as jornadas de trabalho e o total de operários da equipe de concretagem. A Figura 57 ilustra graficamente as porcentagens da distribuição do concreto considerando pilares, vigas e lajes.

Tabela 21 - Resumo do volume de concreto por pavimento tipo - Obra SP2

Elemento	Volume (m³)	Distribuição (%)
Pilar	51.88	21%
Viga	26.38	11%
Laje	166.85	68%
Total	245,11	100%

Figura 57 - Distribuição do concreto no pavimento tipo - Obra SP2**Tabela 22 - Distribuição da M.O. durante o serviço de concretagem das lajes - Obra SP2**

Atividade	Função	M.O.
Acompanhamento da concretagem embaixo da laje	Mestre da empreiteira	1
Acompanhamento da concretagem embaixo da laje	Carpinteiro	2
Vibração do concreto	Carpinteiro	2
Colocação do <i>Spider</i> com a grua	Operador de grua	1
Movimentação do <i>Spider</i>	Ajudante	2
Responsável pelo <i>Spider</i>	Funcionário da locadora	1
Acompanhamento da concretagem	Funcionário da concreteira	2
Molhar a laje	Ajudante	1
Encarregado de fôrma	Encarregado de fôrma	1
Encarregado de armação	Encarregado de armação	1
Verificação da armação	Armador	1
Verificação das instalações elétricas durante a concretagem	Eletricista	1
Sarrafeamento e nivelamento da laje	Pedreiro	4
Mapeamento do concreto	Estagiário	1
Total		21

4.2.2.3. Estudo da produtividade

A Tabela 23 apresenta as datas de início e fim do ciclo de cada pavimento e o total de dias trabalhados.

Tabela 23 - Dias trabalhados - Obra SP2

Pavimento	Data de Início	Data de Fim	Dias Trab.
3º	11-08-2014	21-08-2014	10
4º	22-08-2014	30-08-2014	8
5º	01-09-2014	08-09-2014	7
6º	09-09-2014	16-09-2014	7
7º	17-09-2014	24-09-2014	7
8º	25-09-2014	02-10-2014	7

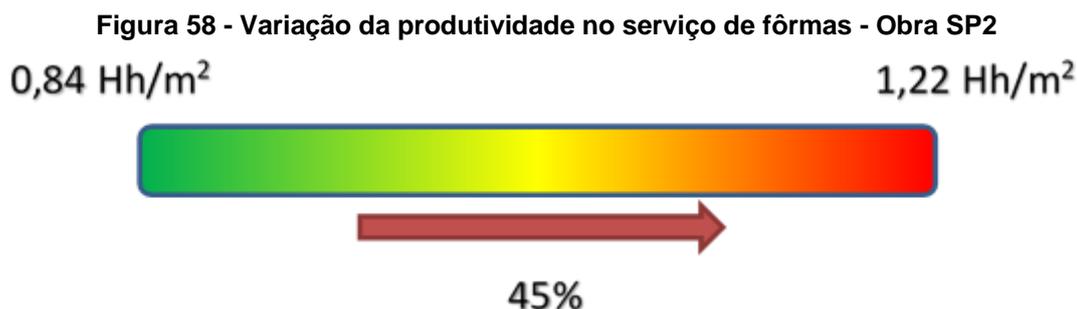
4.2.2.3.1. Fôrma

O levantamento dos dados referentes à quantidade de horas trabalhadas na execução das fôrmas e a RUP por metro quadrado de fôrma seguem na Tabela 24. Os dados apresentados na coluna B da tabela a seguir são referentes às horas totais de carpinteiros no serviço de concretagem, considerando a execução de todos os elementos da estrutura do pavimento.

Tabela 24 - RUP do serviço de fôrma - Obra SP2

Pavimento	RUP - Serviço de fôrma				
	A Hh	B Hh (Carpinteiros na concretagem)	C=A-B Hh Final (serviço de fôrma)	D m ² de fôrma	E=C/D Hh/m ² de fôrma
3º	1760	53	1707	1399,16	1,22
4º	1408	53	1355	1399,16	0,97
5º	1232	53	1179	1399,16	0,84
6º	1232	53	1179	1399,16	0,84
7º	1232	53	1179	1399,16	0,84
8º	1232	53	1179	1399,16	0,84
					Maior 1,22
					Mediana 0,84
					Menor 0,84

A Figura 58 mostra faixa de variação da produtividade que apresentou o serviço de fôrma na obra SP2.



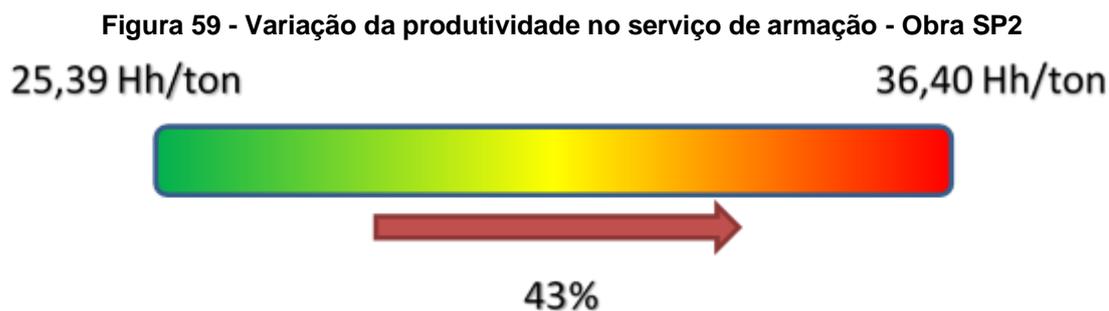
4.2.2.3.2. Armação

Os dados levantados referentes à quantidade de horas trabalhadas na montagem das armaduras e a RUP por tonelada de aço seguem na Tabela 25. Os dados apresentados na coluna B da tabela a seguir são referentes às horas totais de armadores no serviço de concretagem, considerando a execução de todos os elementos da estrutura do pavimento.

Tabela 25 - RUP do serviço de armação - Obra SP2

Pavimento	RUP - Serviço de armação				
	A Hh	B Hh (Armadores na concretagem)	C=A-B Hh Final (serviço de armação)	D Aço (ton.)	E=C/D Hh/ton de aço
3º	960	8	952	26,155	36,40
4º	768	8	760	26,155	29,06
5º	672	8	664	26,155	25,39
6º	672	8	664	26,155	25,39
7º	672	8	664	21,360	31,09
8º	672	8	664	21,360	31,09
			Maior		36,40
			Mediana		30,07
			Menor		25,39

A RUP do serviço de armação, apresentou uma diferença de 43% na comparação entre o melhor e o pior valor dos quatro pavimentos acompanhados (Figura 59).



4.2.3. Obra SP3

4.2.3.1. Caracterização da obra

Esta obra é a que possui arquitetura mais convencional entre as três estudadas. O Quadro 18 apresenta uma descrição das características gerais da obra SP3.

Quadro 18 - Caracterização da obra SP3

Localização:	São Paulo-SP
Tipo do empreendimento:	Residencial
Tipologia estrutural:	Estrutura reticulada de concreto armado
Área do pavimento tipo	516,10m ²
Espessura média	0,19m ³ /m ²
Número de pavimentos	2SS+T + 1 Pav. Atípico + 17 Pav. Tipo
Pé direito Pavimento tipo.	2,80m
Regime de contratação da obra	Administração

A Figura 60 mostra a fachada prevista para este empreendimento, e a Figura 61 a vista lateral da torre durante a construção.

Figura 60 - Fachada prevista do empreendimento - Obra SP3

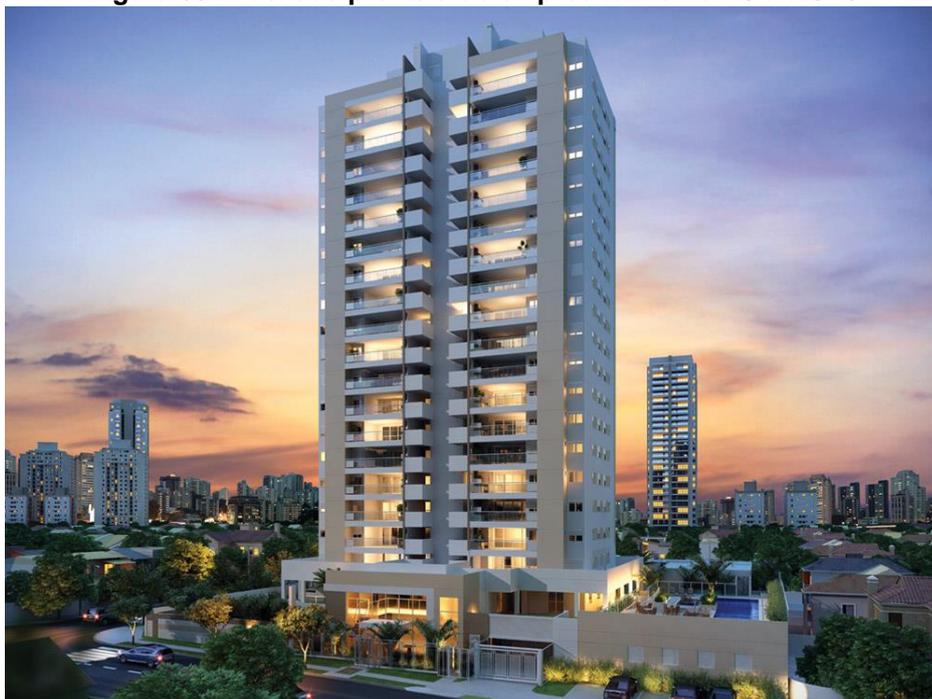


Figura 61 - Vista lateral durante a execução - Obra SP3



4.2.3.2. Caracterização da estrutura

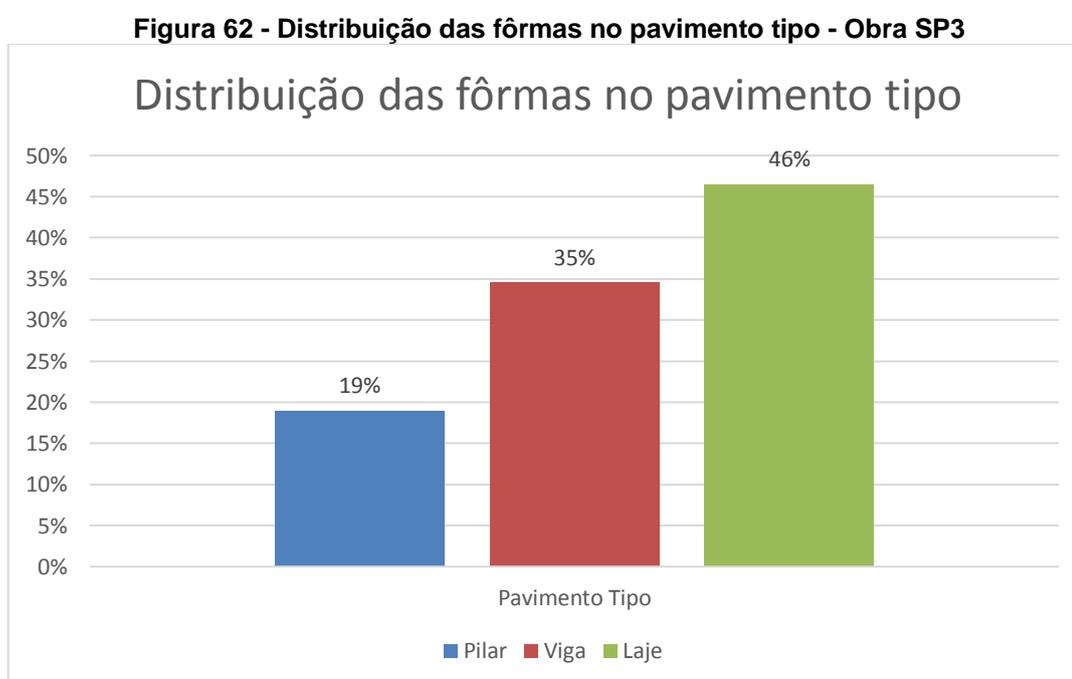
Neste item serão apresentadas as características e quantitativos dos serviços empregados na execução da estrutura de concreto armado sendo eles: fôrma, armação e concretagem.

4.2.3.2.1. Fôrma

A Tabela 26 apresenta o resumo de fôrma para o pavimento tipo da obra SP3.

Elemento	Área (m²)	Distribuição (%)
Pilar	201	19%
Viga	366	35%
Laje	492	46%
Total	1059	100%

A Figura 62 apresenta um gráfico da distribuição, em porcentagem, das formas nos elementos pilar, viga e laje para pavimento tipo da obra SP3.



Nesta obra as fôrmas foram pré-fabricadas por uma empresa terceirizada, fora do canteiro de obra. O escoramento utilizado foi misto, escoramento metálico para as

lajes e garfos de madeira para as vigas. A Figura 63 mostra o escoramento feito com os garfos de madeira sendo utilizados nas vigas de borda.

Figura 63 - Escoramento - Obra SP3



A Tabela 27 detalha as atividades realizadas, as jornadas de trabalho e o total de operários da equipe de fôrmas.

Tabela 27 - Atividades desenvolvidas pela equipe de fôrma - Obra SP3

Dia do ciclo do pavimento	Atividade	Jornada de trabalho	Equipe
1º	<ul style="list-style-type: none"> Desforma dos pilares do pavimento anterior; Apicoar pé de pilar, marcar gualho; Fechamento 80% dos pilares. 		
2º	<ul style="list-style-type: none"> Desformar 100% das vigas e realizar 50% do cimbramento da laje; 		
3º	<ul style="list-style-type: none"> Assoalhar 100% da laje; Painéis de viga da lateral. 	8 horas	7 carpinteiros
4º	<ul style="list-style-type: none"> Concretagem de 100% dos pilares - Duração: 4hs; Nivelamento dos assoalhos e alinhamento das vigas 		
5ª	<ul style="list-style-type: none"> Nivelamento dos assoalhos, alinhamento das vigas Detalhes construtivos (passagens etc.) 		
6º	<ul style="list-style-type: none"> Concretagem da laje e vigas - Duração: 8hs 		

4.2.3.2.2. Armação

O aço para as armaduras era recebido pré-cortado e pré-dobrado, os pilares e vigas eram pré-montados e transportados ao pavimento com utilização de grua. A Tabela 28 apresenta o resumo da quantidade de aço para o pavimento tipo da obra.

Tabela 28 - Resumo da quantidade de aço por pavimento - Obra SP3

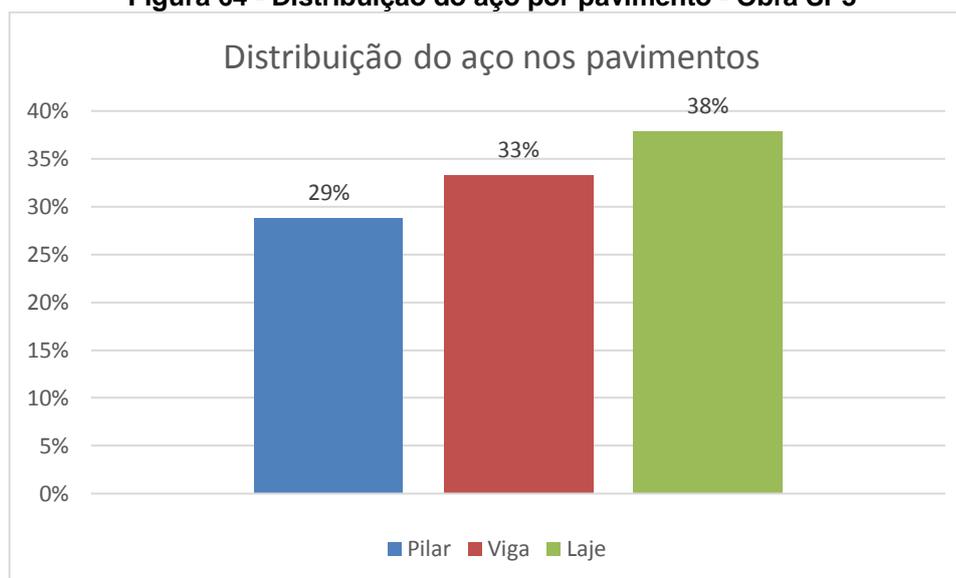
Pavimento tipo	Pilar (ton.)	Viga (ton.)	Laje (ton.)	Total (ton.)
2º PAV.	2,86	3,30	3,75	9,91
3º PAV.	2,86	3,30	3,75	9,91
4º PAV.	2,86	3,30	3,75	9,91

A Tabela 29 e a Figura 64 detalham a porcentagem de aço para pilares, vigas e lajes do pavimento em função do total.

Tabela 29 - Distribuição do aço por pavimento - Obra SP3

Pavimento	Pilar (%)	Viga (%)	Laje (%)
2º PAV.	29%	33%	38%
3º PAV.	29%	33%	38%
4º PAV.	29%	33%	38%

Figura 64 - Distribuição do aço por pavimento - Obra SP3



A Tabela 30 detalha as atividades realizadas, as jornadas de trabalho e o total de oficiais da equipe de armação. Cabe ressaltar que o número de oficiais pode apresentar variação durante o ciclo, devido à falta ou locação de oficiais em atividades fora do pavimento. A Tabela 30 não considera estas variações, apresenta somente a equipe dimensionada para trabalhar no pavimento. Porém no levantamento de dados as variações citadas serão consideradas.

Tabela 30 - Atividades desenvolvidas pela equipe de armação - Obra SP3

Dia do ciclo do pavimento	Atividade	Jornada de trabalho	Equipe
1º	<ul style="list-style-type: none"> • Transporte e posicionamento das armaduras dos pilares. 		
2º	<ul style="list-style-type: none"> • Pré-montagem de vigas; • Organização do aço no canteiro. 		
3º	<ul style="list-style-type: none"> • Pré-montagem de vigas; • Recebimento e estocagem de aço do andar superior; • Organização do aço no canteiro; 		
4º	<ul style="list-style-type: none"> • Concretagem de 100% dos pilares - Duração: 4hs; • Pré-montagem da armadura negativa (meio dia); • Posicionamento das armaduras de vigas. 	8 horas	6 carpinteiros
5ª	<ul style="list-style-type: none"> • Armação positiva e negativa da laje; • Detalhes construtivos (reforços, etc.). 		
6º	<ul style="list-style-type: none"> • Pré-montagem de pilares do pavimento seguinte. • Concretagem das lajes e vigas - Duração: 8hrs. 		

4.2.3.2.3. Concreto

Nesta obra optou-se pela utilização de concreto usinado. O transporte foi feito com a utilização de jericas e grua para a concretagem de toda a estrutura (Figura 65). Duas jericas, eram içadas pela grua, intercaladamente, até o pavimento.

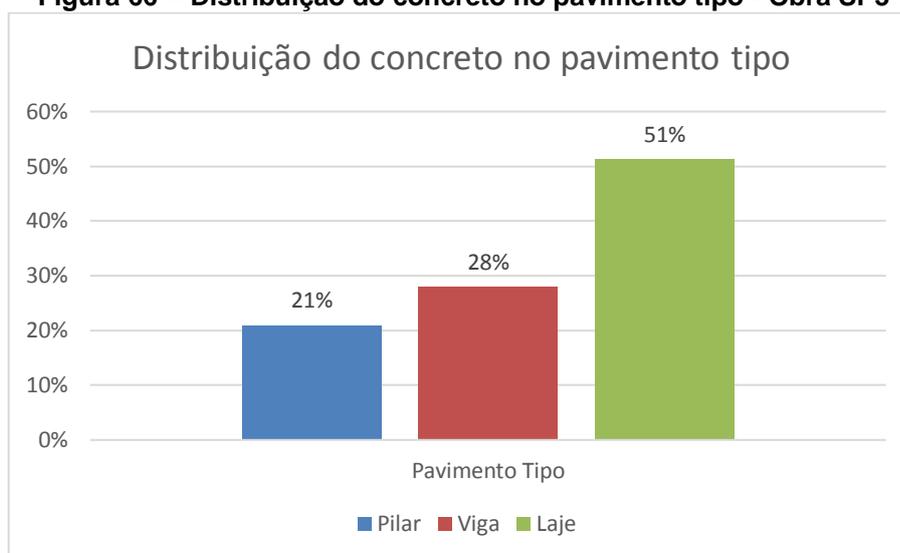
Figura 65 - Transporte do concreto mediante jericas içadas por grua - Obra SP3



A Tabela 31 apresenta o resumo do volume de concreto por pavimento tipo, e a Tabela 32 detalha as atividades realizadas, as jornadas de trabalho e o total de operários na equipe de concretagem. A Figura 66 apresenta a distribuição do concreto considerando pilares, vigas e lajes.

Tabela 31 - Resumo do volume de concreto por pavimento tipo - Obra SP3

Elemento	Volume (m³)	Distribuição (%)
Pilar	20,53	21%
Viga	27,41	28%
Laje	50,33	51%
Total	98,27	100%

Figura 66 -- Distribuição do concreto no pavimento tipo - Obra SP3**Tabela 32 - Distribuição da M.O. durante o serviço de concretagem das lajes - Obra SP3**

Atividade	Função	M.O.
• Acompanhamento da concretagem embaixo da laje.	Encarregado da empreiteira-fôrma	1
• Acompanhamento da concretagem embaixo da laje.	Carpinteiro	1
• Vibração do concreto.	Carpinteiro	2
• Molhar a laje.	Ajudante	1
• Verificação da armação.	Armador	1
• Verificação das instalações elétricas durante a concretagem.	Eletricista	1
• Sarrafeamento e nivelamento da laje.	Pedreiro	2
• Mapeamento do concreto.	Estagiário	1
• Abertura e fechamento da caçamba para despejo do concreto.	Carpinteiro	2
• Abertura e fechamento da caçamba para despejo do concreto.	Ajudante	2
• Acompanhamento da concretagem no nível da laje.	Mestre da construtora	1
Total		15

4.2.3.3. Estudo da produtividade

A Tabela 33 apresenta as datas de início e fim do ciclo de cada pavimento e o total de dias trabalhados.

Tabela 33 - Dias trabalhados - Obra SP3

Pavimento	Data de Início	Data de Fim	Dias Trabalhados
2º	11-04-2015	23-04-2015	10
3º	24-04-2015	30-04-2015	6
4º	04-05-2015	09-05-2015	6

4.2.3.3.1. Fôrma

O levantamento dos dados referentes à quantidade de horas trabalhadas na execução das fôrmas e a RUP por metro quadrado de fôrma seguem na Tabela 34. Os dados apresentados na coluna B da tabela a seguir são referentes às horas totais de carpinteiros no serviço de concretagem, considerando a execução de todos os elementos da estrutura do pavimento.

Tabela 34 - RUPs do serviço de fôrma - Obra SP3

Pavimento	RUP - Serviço de fôrma				
	A Hh	B Hh (Carpinteiros na concretagem da laje e dos pilares)	C=A-B Hh Final (serviço de fôrma)	D m² de fôrma	E=C/D Hh/m² de fôrma
2º	560	44	516	1059	0,49
3º	336	44	292	1059	0,28
4º	336	44	292	1059	0,28
		Maior			0,49
		Mediana			0,28
		Menor			0,28

A Figura 67 mostra faixa de variação da produtividade que apresentou o serviço de fôrma na obra SP3.



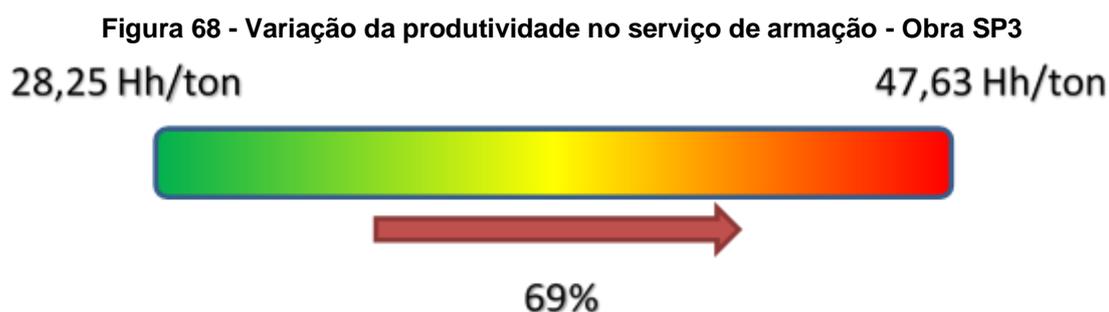
4.2.3.3.2. Armação

Os dados levantados referentes à quantidade de horas trabalhadas na montagem das armaduras e a RUP por tonelada de aço seguem na Tabela 35. Os dados apresentados na coluna B da tabela a seguir são referentes às horas totais de armadores no serviço de concretagem, considerando a execução de todos os elementos da estrutura do pavimento.

Tabela 35 - RUPs do serviço de armação - Obra SP3

Pavimento	RUP - Serviço de armação				
	A Hh	B Hh (Armadores na concretagem)	C=A-B Hh Final (serviço de armação)	D Aço (ton.)	E=C/D Hh/kg de aço
2 ^o	480	8	472	9,91	47,63
3 ^o	288	8	280	9,91	28,25
4 ^o	288	8	280	9,91	28,25
		Maior			47,63
		Mediana			28,25
		Menor			28,25

A RUP do serviço de armação, apresentou uma diferença de 69% na comparação entre o melhor e o pior valor dos quatro pavimentos acompanhados (Figura 68).



4.3. ANÁLISE DOS DADOS

4.3.1. Análise dos resultados

4.3.1.1. Intra-Obra

A seguir, serão ressaltados alguns fatores que podem ter colaborado para a variação da produtividade comparando apenas os pavimentos de uma mesma obra.

4.3.1.1.1. Obra SP1

- Arquitetura atípica;
- Ausência de pavimento tipo;
- Fôrma produzida na obra;
- Maior área de fôrma de viga, quase alcançando a quantidade de fôrma da laje;
- Pé-direito variável de um pavimento a outro,
- A desorganização na obra também pode ter colaborado com a piora da produtividade;

As seguintes figuras mostram algumas características desta obra.

Figura 69 - Organização da obra durante a montagem das fôrmas - Obra SP1



Figura 70 - Fôrma da laje - Obra SP1**Figura 71 - Armaduras das vigas - Obra SP1**

4.3.1.1.2. Obra SP2

- Um fator que ajudou na produtividade foi a pouca quantidade de vigas, sendo quase uma laje plana. Por outro lado, acredita-se que se, para essa obra, tivesse sido adotada uma solução para eliminar algumas vigas no contorno da estrutura, poderia ter sido viabilizado o uso de fôrmas tipo mesa voadora, o que provavelmente iria contribuir ainda mais com a melhoria da produtividade.
- Percebeu-se que, a partir do quinto pavimento foi possível alcançar o ciclo de 7 dias buscado pela construtora. Para isto foram necessários alguns ajustes na

execução. Inicialmente optou-se por utilizar seis pilares com a fôrma modular metálica apresentada anteriormente. Esta solução foi inicialmente escolhida visando à melhoria da produtividade, porém, durante a execução notou-se que isto não estava acontecendo. Segundo os oficiais demorava muito para montar os painéis, já que os micros-painéis eram pequenos. Então se optou pela utilização desta fôrma em somente quatro pilares, e o restante em fôrma convencional de madeira, esta mudança trouxe uma melhoria na produtividade

- Um fator importante foi o processo de aprendizagem, sobre qual seria a melhor distribuição das tarefas de execução no ciclo de cada pavimento. No decorrer dos primeiros pavimentos percebeu-se qual seria o caminho crítico da execução da estrutura. Este caminho crítico incluía quatro pilares circulares que deveriam ser desformados antes da montagem do assoalho da laje. Desta forma priorizou-se a concretagem destes pilares para que a seguinte etapa fosse liberada (Figura 72). Inicialmente optou-se por concretar todos os pilares no mesmo dia, isto trouxe um atraso no ciclo, devido à necessidade de desformar os pilares circulares antes da montagem do assoalho da laje na região. Então foi decidido que a melhor opção seria mudar a sequência e concretar estes pilares logo no primeiro dia, e assim foi possível desforma-los a tempo sem atrasar a seguinte sub-tarefa.

As figuras seguintes mostram algumas características desta obra.

Figura 72 - Pilares redondos com capitéis - Obra SP2



Figura 73 - Viga curva - Obra SP2



Figura 74 - Vista superior de viga curva - Obra SP2

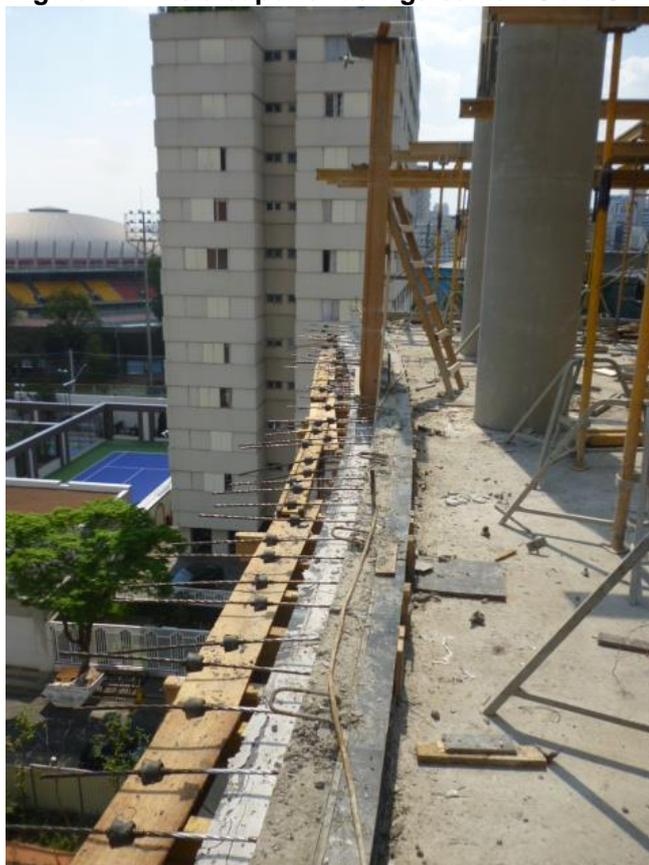


Figura 75 - Fôrmas metálicas para os pilares circulares - Obra SP2



4.3.1.1.3. Obra SP3

- O primeiro ciclo do pavimento tipo mostrou uma produtividade inferior às subsequentes, acredita-se que um fator que explicaria essa melhoria foi a curva de aprendizagem dos trabalhadores. Na obra SP2 percebeu-se também a influencia desse fator, que pode ser influenciado tanto pelos membros da equipe de execução, quanto pelos planejadores do processo. Durante a execução do primeiro pavimento tipo ajustam-se detalhes e os trabalhadores ganham familiaridade com o projeto. Isto cria um potencial de melhora da produtividade nos ciclos seguintes.

4.3.1.2. Inter-Obra

4.3.1.2.1. Comentários

- Nas obras estudadas, a estrutura foi executada por mão de obra terceirizada. Percebeu-se que neste tipo de contratação, é muito difícil a mudança de hábitos da equipe contratada. Além disso, uma melhoria da produtividade da equipe, proveniente de iniciativas da construtora, muito raramente trarão descontos no valor pago pelo serviço. Nestes casos a construtora se preocupa, prioritariamente, pelo cumprimento do prazo do ciclo do pavimento inicialmente definido, e não necessariamente na eficiência da mão de obra.
- Entre as obras estudadas a SP3 foi a mais convencional, com geometria regular e sem maiores desafios arquitetônicos. Na SP2 a fachada possuía uma viga curva que ia de extremo a extremo, e na SP1 todos os pavimentos possuíam características diferentes.
- A obra SP3 foi a única obra com pé-direito convencional, de 2,80m a obra SP1 possuía pé-direito que variava entre 3,20 m e 3,28 m, e a SP2 possuía pé-direito de 3,42 m.
- Percebeu-se uma grande variação da produtividade entre as obras estudadas, e também chamou a atenção esta variação ocorrer entre os pavimentos de uma mesma obra.
- Na Obra SP3 aconteceu a maior mudança de produtividade no serviço de fôrma, houve uma variação de 75%. E ao mesmo tempo foi a que apresentou a maior melhora tendo como base a execução do primeiro pavimento. A menor

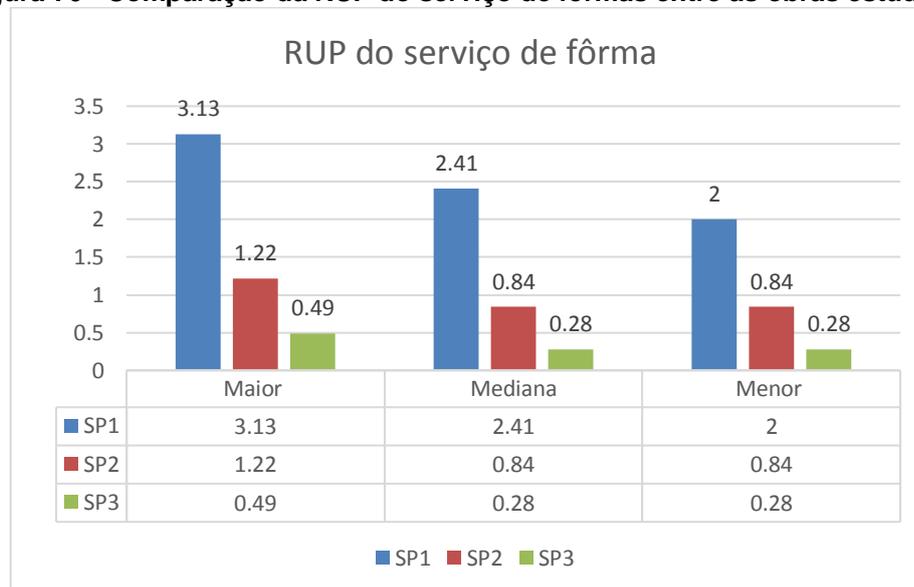
produtividade foi registrada na execução do primeiro pavimento tipo, que logo em seguida foi melhorando. Na obra SP2 também foi possível perceber uma melhoria à medida que ia aumentando o número de repetições do ciclo. Isto pode ser devido à curva de aprendizagem. Por outro lado na SP1 a produtividade foi piorando à medida que avançava nos pavimentos; isto pode ser devido à necessidade de varias reformas nas fôrmas em cada pavimento, já que esta obra não possuía pavimento tipo.

4.3.1.2.2. Análise

Para efetuar a comparação entre os resultados, foi elaborado um conjunto de gráficos e tabelas que facilitem o entendimento e expressem visualmente os resultados.

A Figura 76 apresenta uma comparação da RUP do serviço de fôrmas entre as obras estudadas, e a variação da produtividade que aconteceu em cada obra.

Figura 76 - Comparação da RUP do serviço de fôrmas entre as obras estudadas



Fica clara, pelo gráfico, a enorme diferença entre os resultados da RUP da obra SP1 e da SP3.

A Figura 77 mostra a variação que houve entre o ciclo de melhor e o de pior produtividade no serviço de fôrmas, considerando todas as obras estudadas. Mesmo apresentando uma variação elevada, os valores estão bem próximos dos intervalos de produtividade apresentados na TCPO (2010). No entanto, é importante ressaltar

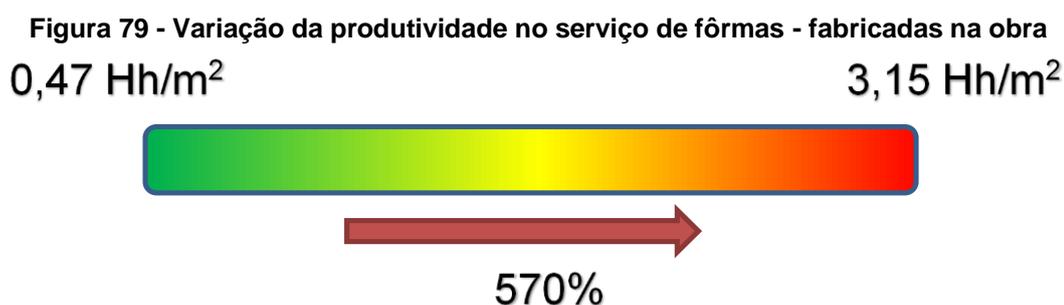
que a publicação considera os quatro elementos da estrutura, enquanto que este trabalho considera somente pilares vigas e lajes, desconsiderando as escadas.



A Figura 78 e Figura 79 ilustram a variação da produtividade para o serviço de fôrmas apresentada na TCPO (2010), para fôrmas pré-fabricadas e fabricadas na obra, respectivamente.



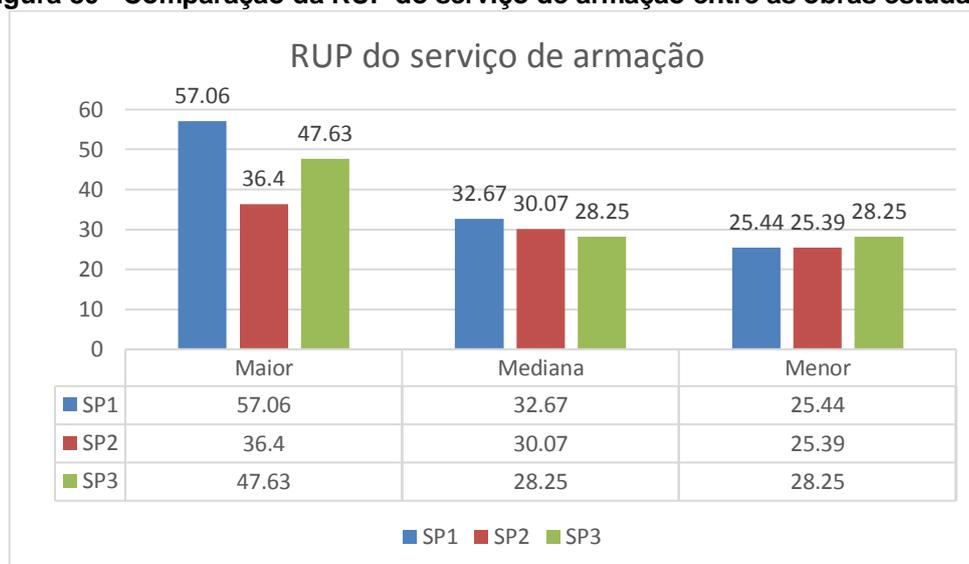
Fonte: Adaptado de TCPO (2010)



Fonte: Adaptado de TCPO (2010)

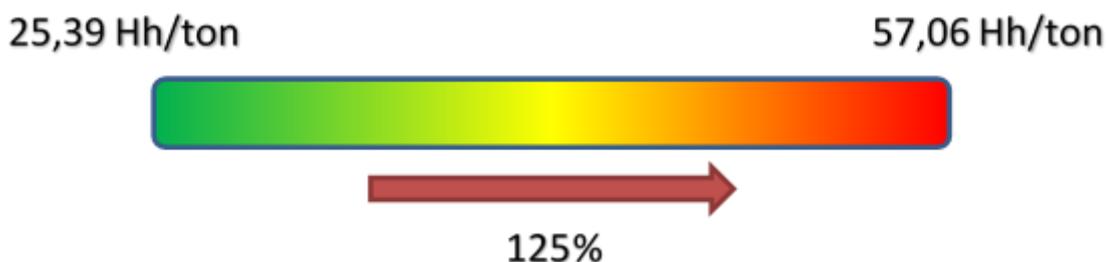
A Figura 80 apresenta a mesma comparação da Figura 76, mas agora considerado o serviço de armação. Apesar de os valores inferiores e medianos estarem bem equilibrados, para a obra SP1 ainda se pode notar um valor consideravelmente superior que as demais, quando a comparação é feita entre os piores rendimentos das obras.

Figura 80 - Comparação da RUP do serviço de armação entre as obras estudadas



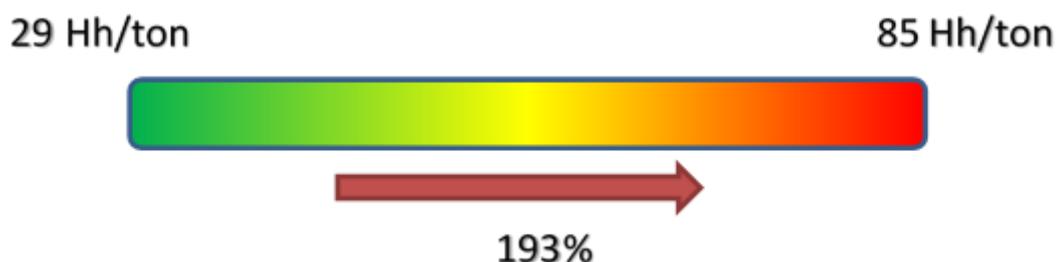
A Figura 81 mostra a variação que houve entre o ciclo de melhor e o de pior produtividade no serviço de armação, considerando todas as obras estudadas. A variação neste serviço foi muito inferior à do serviço de fôrmas, e apresenta valores próximos aos da TCPO (2010). E mais uma vez, deve-se levar em conta que a publicação considera os quatro elementos da estrutura, enquanto que este trabalho considera somente pilares vigas e lajes, desconsiderando as escadas.

Figura 81 - Variação da produtividade no serviço de armação



A Figura 82 ilustra a variação da produtividade para o serviço de armação apresentada na TCPO (2010), para aço pré-cortado e pré-dobrado.

Figura 82 - Variação da produtividade no serviço armação - aço pré-cortado e pré dobrado



Fonte: Adaptado de TCPO (2010)

A Figura 83 apresenta uma comparação das variações entre os valores máximos e mínimos de produtividade de ocorrerem em cada obra. Para as obras SP2 e SP3 os valores ficam em torno de 45% e 70%, tanto para o serviço de fôrma quanto para o serviço de armação. Mais uma vez a obra SP1 apresenta grande variabilidade na produtividade, provavelmente em virtude dos fatores apresentados na Tabela 36 e Tabela 37. Estas tabelas contêm a comparação entre as obras que apresentaram o melhor e o pior resultado quanto à RUP de fôrma e armação respectivamente, e também observações sobre os possíveis fatores que levaram a esse resultado.

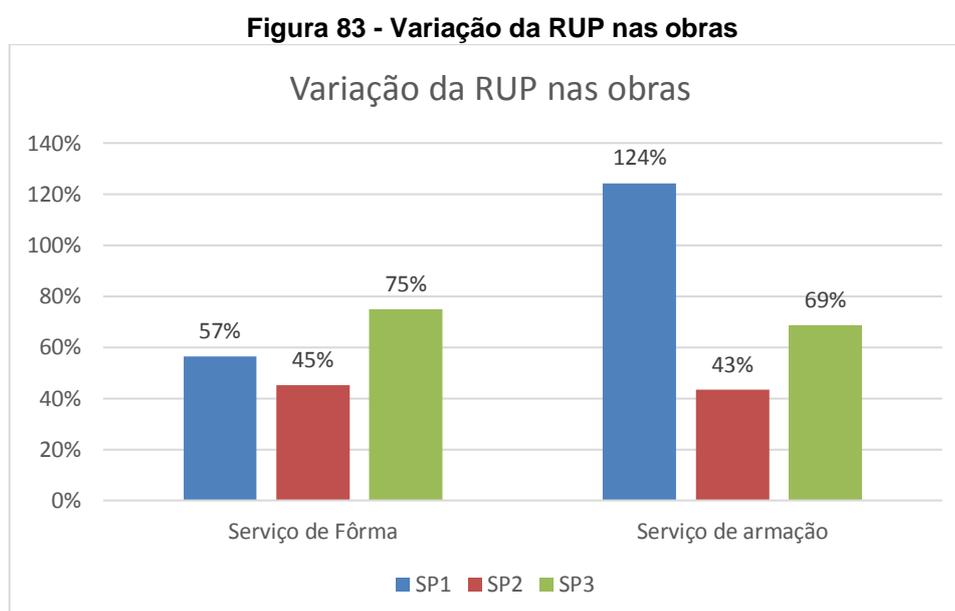


Tabela 36 - Comparação inter-obra da RUP de fôrma

	Pior	Melhor	Observações
RUP de fôrmas	SP1	SP3	<p>Entre as três obras, a SP1 apresentou uma diferença negativa gritante da RUP em comparação com as demais, isto pode ser devido a os seguintes fatores:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fôrma produzida na obra; • Variação do pé direito entre pavimentos; • Necessidade de varias adaptações na fôrma para reutilização em cada pavimento. <p>A obra SP3 apresentou a melhor RUP no serviço de fôrma e coincidentemente apresenta todos os aspectos contrários aos citados sobre a obra SP1:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fôrma pronta; • Pé-direito constante entre pavimentos; • Pouca ou nenhuma adaptação necessária para reutilização das fôrmas;

Tabela 37 - Comparação inter-obra da RUP de armação

	Pior	Melhor	Observações
RUP de armação	SP1	SP2/SP3	<p>Entre outros fatores a diferença de produtividade no serviço de armação pode ser explicada pela distribuição do aço entre os elementos em cada obra.</p> <p>Na comparação da mediana da RUP de armação (Figura 80), pode-se notar que os valores são muito próximos para as três obras, no entanto os valores das obras SP2 e SP3 ainda são inferiores ao da obra SP1, e portanto apresentam melhor produtividade. Quando se compara os maiores valores da RUP nota-se que essa variação nos valores é ainda mais expressiva.</p> <p>Percebeu-se uma diferença significativa na quantidade de armadura de viga, entre as obras de maior e menor RUP de armação. Na obra SP1 a armação da viga representa entre 54% e 57% da quantidade total de aço da estrutura, enquanto que para a obra SP2 este valor varia entre 11% e 14%, uma diferença de 43% entre elas. Na obra SP3, a armação da viga representa 33% do aço da estrutura, o que significa uma diferença de mais de 20% em relação à obra SP1. A maior dificuldade no processo de armação e colocação de vigas pode ter sido responsável por esta diferença na produtividade.</p>

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho cumpriu com o objetivo proposto. O método foi apresentado e aplicado com sucesso como se pode notar nos capítulos anteriores.

Os valores de produtividade encontrados neste estudo estão bem próximos daqueles apresentados pela TCPO (2010), tanto para o serviço de fôrmas quanto para o de armação. Sendo assim, de certa forma, este fato valida o levantamento dos dados por meio do método simplificado apresentado.

Sobre a análise do método, percebeu-se acima de tudo a sua facilidade para aplicação na obra. A seguir, são apresentados alguns pontos relacionados:

- Comparando com o método em que a quantidade de serviço é medida diariamente, a ferramenta proposta mostrou-se menos trabalhosa, já que o levantamento da quantidade de fôrma e aço pôde ser realizado diretamente dos projetos considerando o pavimento inteiro. Além disso, estes dados geralmente já estão disponíveis nas obras, pois são necessários para outros fins.
- Referente à quantidade de homens-hora trabalhadas, o único dado com necessidade de levantamento diário, este pode ser levantado dedicando poucos minutos ao dia.
- O método facilita o acompanhamento do processo de execução da estrutura. Percebeu-se que, muitas vezes, devido a diversas responsabilidades, o gestor não acompanha de perto o processo de produção. Através deste método simplificado, utilizando dados de fácil acesso, o responsável consegue ter um indicador objetivo da produtividade, que poderá ajudá-lo a tomar decisões melhores e chamar a sua atenção a fatores que poderiam passar despercebidos.

Nos pavimentos estudados a variação da equipe diária devido às faltas ou outros fatores foi muito pequena. Considerando isto, acredita-se que para casos em que não seja possível realizar um levantamento diário da mão-de-obra, a quantidade de homens-hora poderia ser estimada utilizando a equipe inicialmente dimensionada para trabalhar no pavimento. Ou seja, a quantidade de homens-hora, tendo o cuidado em considerar os dias em que a jornada de trabalho é atípica, poderia ser calculada da seguinte maneira:

Hh= Dias trabalhados x Jornadas de trabalho x Equipe prevista

Por último, como crítica ao método, poder-se-ia ressaltar que, apesar de prover dados confiáveis que podem ajudar no processo de tomada de decisão, acredita-se que para casos em que é preciso uma análise detalhada da produtividade e dos fatores que a influenciam, seja necessário o acompanhamento da obra mediante um método em que a quantificação do serviço seja feita diariamente, já, que vários fatores que afetam a produtividade poderiam não sair à luz com o método proposto.

6. REFERÊNCIAS

ARAÚJO, L. O. C. **Método para a proposição de diretrizes para melhoria da produtividade da mão-de-obra na produção de armaduras.** São Paulo. 2005. 503p Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

ARAÚJO, L. O. C. **Método para previsão e controle da produtividade da mão-de-obra na execução de fôrmas, armação, concretagem e alvenaria.** São Paulo. 2000. 385p Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

ASSAHI, P.N. **Sistema de Fôrma para Estrutura de Concreto.** PCC/USP. São Paulo/SP, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 12655 - Concreto de cimento Portland - Preparo, controle e recebimento - Procedimentos.** Rio de Janeiro, 2015. 23p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 14931 - Execução de estruturas de concreto - Procedimentos.** Rio de Janeiro, 2004. 59p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 15696 - Fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto - Projeto, dimensionamento e procedimentos executivos.** Rio de Janeiro, 2009. 27p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto - Procedimentos.** Rio de Janeiro, 2014. 238p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 7212 - Execução de concreto dosado em central - Procedimentos.** Rio de Janeiro, 2012. 16p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 7480 - Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado - Especificação.** Rio de Janeiro, 2007. 7p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 7481 - Tela de aço soldada - Armadura para concreto - Especificação.** Rio de Janeiro, 1990. 7p.

BARROS, M.M.S.B.; MELHADO, S.B. **Recomendações para a produção de estruturas de concreto armado em edifícios.** Texto Técnico. PCC - Escola Politécnica - USP. São Paulo, 1998, 40 p.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 18 - Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção.** Disponível em: <<http://www.mtb.gov.br/Temas/SegSau/Legislacao/Normas/Download/NR18.zip>>. Acesso em: 22-06-2016.

EY. **Estudo sobre produtividade na construção civil: desafios e tendências no Brasil.** 2014. Disponível em: [http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY_Estudo_Produtividade_na_Construcao_Civil/\\$FILE/Estudo_Real_Estate.pdf](http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY_Estudo_Produtividade_na_Construcao_Civil/$FILE/Estudo_Real_Estate.pdf). Acesso em: 01-07-2016.

FREIRE, T. M. **Produção de estruturas de concreto armado, moldadas *in loco*, para edificações: caracterização das principais tecnologias e formas de gestão adotadas em São Paulo.** São Paulo. 2001. 325p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

ISAIA, G. C. **O concreto da era clássica à era contemporânea.** In: Geraldo C. Isaia. (Org.). **Concreto: Ensino Pesquisa e Realizações.** 1 ed. São Paulo: Ibracon, 2005, v. 1, p. 01-45.

MARANHÃO, G. M. **Fôrmas para concreto: subsídios para a otimização do projeto segundo a NBR 7190/97** - Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2000.

MEDEIROS, H. **Estoques sob controle.** Construção e Mercado, Editora Pini, São Paulo, n. 121, Ago. 2011

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M.. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais.** São Paulo: Pini, 1994.

MILITO, J.A. **Técnicas da construção civil - Detalhes de execução em obras com concreto armado.** Apostila das disciplinas de Técnicas das Construções Cíveis e Construções de Edifícios da Faculdade de Ciências Tecnológicas da PUC Campinas e Construção Civil da FACENS. 2009. Disponível em: <<http://demilito.com.br/11-detalhes%20obras%20CA-rev.pdf>>. Acesso em: 28-06-2016.

PEINADO, H.S.; MORI, L.M.; MIOTTO, J.L. **Aço cortado e dobrado de fábrica para estruturas de concreto armado.** Técnica, Editora Pini, São Paulo, n. 195, p. 75-80 jun. 2013

PINHEIRO, L.M.; MUZARDO, C.D.; SANTOS, S.P. **Fundamentos do concreto e projeto de edifícios.** São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos - USP, Departamento de Engenharia de Estruturas, 2003, 265p.

PINHEIRO, M. L; MUZARDO, C. D.; SANTOS, S. P. **Fundamentos do concreto e projeto de edifícios.** São Paulo: USP, 2003.

SALIM NETO, J. J. **Diretrizes de projeto para melhorar a produtividade na montagem de componentes pré-cortados e pré-dobrados de aço para estruturas de concreto armado de edifícios.** 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-04112009-092418/>>. Acesso em: 28-06-2016.

SOUZA, U.E.L. **Como aumentar a eficiência da mão de obra: manual de gestão da produtividade na construção civil.** São Paulo : Editora Pini, 2006.

SOUZA, U.E.L. **Método para a previsão da produtividade da mão-de-obra e do consumo unitário de materiais para os serviços de fôrmas, armação, concretagem, alvenaria, revestimentos com argamassa, contrapiso,**

revestimentos com gesso e revestimentos cerâmicos. São Paulo. 2001. 357p. Tese (Livre Docência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

SOUZA, U.E.L. **Metodologia para o estudo da produtividade da mão-de-obra no serviço de fôrmas para estruturas de concreto armado.** São Paulo. 1996. 280p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

SOUZA, U.E.L. **Produtividade da concretagem.** Equipe de Obra, Editora Pini, São Paulo, n. 9, p. 37, Jan. 2007

SOUZA, U.E.L.; AGOPYAN, V. **Estudo da produtividade da mão-de-obra no serviço de fôrmas para estruturas de concreto armado.** BT 00165. Escola Politécnica da USP. São Paulo, 1996.

SOUZA, U.E.L.; NETO, J. B. **Gestão da mão-de-obra, materiais e equipamentos [slide].** São Paulo. 2014. 27 slides. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

TCPO, **Tabela de composição de preços para orçamentos.** 13. ed., São Paulo : Editora Pini, 2010.