

NEWTON BORINI SALOMÃO

**EXECUÇÃO DE ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO
UTILIZANDO LAJES PLANAS MACIÇAS MOLDADAS NO LOCAL
COM PRÉ-VIGAS DE BORDA E ESCADA PRÉ-MOLDADAS NO
PRÓPRIO CANTEIRO DE OBRAS**

**ESTUDO DE CASO DO EMPREENDIMENTO MELIÁ CONFORT
GUARULHOS, RELATIVAMENTE AO PAVIMENTO TIPO**

TECNOLOGIA E GESTÃO DA PRODUÇÃO DE EDIFÍCIOS - MBA

ESP/TGP
Sa36e



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Escola Politécnica - EPBC

001



31200061745

C [1427324] ESP/TGP
Sa 36e

NEWTON BORINI SALOMÃO

**EXECUÇÃO DE ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO
UTILIZANDO LAJES PLANAS MACIÇAS MOLDADAS NO LOCAL
COM PRÉ-VIGAS DE BORDA E ESCADA PRÉ-MOLDADAS NO
PRÓPRIO CANTEIRO DE OBRAS**

**ESTUDO DE CASO DO EMPREENDIMENTO MELIÁ CONFORT
GUARULHOS, RELATIVAMENTE AO PAVIMENTO TIPO**

**Monografia apresentada ao PECE — Programa de
Educação Continuada da Escola Politécnica — sob
a orientação do professor Antonio Carlos Zorzi.**

TECNOLOGIA E GESTÃO DA PRODUÇÃO DE EDIFÍCIOS - MBA

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

NOVEMBRO - 2001

BANCA EXAMINADORA

DEDICATÓRIA

Ao meu pai Nabih, que me mostrou o valor do conhecimento e da perseverança.

À minha mãe Ivonne que, no espelho da sua simplicidade e humildade de ser, me fortaleceu para a realização deste estudo.

À minha esposa Maria do Carmo, que talentosamente congrega as nossas famílias, minha grande amiga, companheira e conselheira incondicional, a quem eu devo meu passado, presente e futuro.

Às minhas filhas Vivian e Flávia, de quem tenho um imenso orgulho, por vê-las apropriando-se do conhecimento para viver com sabedoria, em busca da sua “bem-aventurança”.

AGRADECIMENTOS

Ao Engº Jurandir Bianchi Junior, proprietário da empresa em que trabalho, pela confiança e incentivo que me foram depositados, para que o sistema técnico proposto para o empreendimento em estudo se realizasse no âmbito acadêmico e na realidade empresarial.

Ao Engº José Augusto de Ávila, grande amigo e profissional competente, que acreditou neste sistema construtivo e, com muita habilidade, não mediu esforços em empreendê-lo.

Ao Arqº Antonio Pedreira de Freitas, com quem aprendi o verdadeiro significado da racionalização e produtividade através do uso do pré-moldado.

Ao Engº Ricardo Romano Maciel, da empresa Estrucamp Engenharia em Estruturas Ltda, cujo domínio da tecnologia de execução de estruturas, envolvendo pré-moldados, contribuiu para o sucesso verificado na realização do sistema em estudo.

Ao Engº Antonio Carlos Zorzi, orientador e amigo, que me auxiliou na elaboração deste trabalho.

SUMÁRIO

Introdução	16
capítulo 1	
Considerações de projeto	24
1.1. Viabilidade e características gerais do projeto	24
Capítulo 2	
Descrição do sistema construtivo	37
2.1. Características operacionais	37
Capítulo 3	
Descrição da produção	40
3.1. Características do empreendimento	40
3.2. Implantação do canteiro de obras	42
3.3. Produção de pré-viga e produção de escada pré-moldada	45
3.4. Fôrmas para as pré-vigas	60
3.5. Fôrmas para as colunas	65
3.6. Fôrma e cimbramento da laje	68
3.7. Armação	70
3.8. Lançamento do concreto	71
Capítulo 4	
Descrição do ciclo de execução da estrutura	72

4.1. Montagem das colunas	72
4.2. Concretagem das colunas	77
4.3. Colocação das pré-vigas	79
4.4. Montagem da fôrma da laje	82
4.5. Desforma da laje	89
4.6. Características da mão-de-obra	90

Capítulo 5

Produtividade da mão-de-obra	91
-------------------------------------	-----------

5.1. Fôrmas	91
5.2. Armação	92
5.3. Concretagem	92

<i>Considerações finais</i>	95
------------------------------------	-----------

<i>Referências bibliográficas</i>	100
--	------------

<i>Anexo</i>	102
---------------------	------------

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1. Dados relativos à produtividade na execução de fôrmas

Tabela 5.2. Dados relativos à produtividade no serviço de armação

Tabela 5.3. Dados relativos à produtividade do serviço de concretagem

Tabela 5.4. Análise global das produtividades do serviço de concretagem

Tabela 5.5 Dados relativos às perdas de concreto

LISTA DE FIGURAS

Figura nº 01 – Ligação de pré-viga com coluna

Figura nº 02 – Ligação de pré-viga com pré-viga apoiando

Figura nº 03 – Ligação de pré-viga com pré-viga que serve de apoio

Figura nº 04 – Detalhe genérico do engarrafamento horizontal

Figura nº 05 – Detalhe genérico do engarrafamento vertical

Figura nº 06 – Detalhe genérico do desenho dos testeiros

Figura nº 07 – Detalhe genérico do engarrafamento horizontal e vertical da viga com a armação da coluna

Figura nº 08 – Modelo para desenho de pré-viga

Figura nº 09 – Container de banheiro e de vestiário

Figura nº 10 – Container da engenharia e portaria

Figura nº 11 – Central de fôrmas

Figura nº 12 – Estoque de armaduras de colunas

Figura nº 13 – Fôrma e armação de pré-viga

Figura nº 14 – Fôrma de pré-viga

Figura nº 15 – Pré-viga recém desformada

Figura nº 16 – Estoque de pré-vigas

Figura nº 17 – Detalhe de armadura de pré-viga 01

Figura nº 18 – Detalhe de armadura de pré-viga 02

Figura nº 19 – Detalhe de armadura de pré-viga 03

Figura nº 20 – Detalhe de armadura de pré-viga 04

Figura nº 21 – Detalhe de armadura de pré-viga 05

Figura nº 22 – Detalhe de armadura de pré-viga 06

Figura nº 23 – Pré-viga com eletroduto 01

Figura nº 24 – Pré-viga com eletroduto 02

Figura nº 25 – Pré-viga recém-concretada e desformada, mostrando um eletroduto passante, e os insertos metálicos que farão os dentes na viga, que irão apoiar-se em outras vigas

Figura nº 26 – Armadura e ganchos para transporte da pré-viga

Figura nº 27 – Pré-vigas recém concretadas

Figura nº 28 – Concretagem das pré-vigas

Figura nº 28 (a) – Área de estocagem das pré-vigas

Figura nº 29 – Identificação da pré-viga após a sua concretagem 01

Figura nº 29 (a) – Identificação da pré-viga após a sua concretagem 02

Figura nº 30 – Transporte da pré-viga com treliça metálica e grua

Figura nº 31 – Concretagem da escada com a fôrma metálica na lateral

Figura nº 32 – Desforma da escada pré-moldada

Figura nº 33 – Escada pré-moldada com o molde

Figura nº 34 (a) – Corte esquemático da fôrma antes do posicionamento das armaduras

Figura nº 34 (b) – Corte esquemático das armaduras posicionadas nas fôrmas das pré-vigas

Figura nº 35 (a) – Fôrma das pré-vigas com as armaduras posicionadas, e os ganchos para o içamento

Figura nº 35 (b) – Detalhe da fôrma lateral e dos testeiros das pré-vigas

Figura nº 36 (a) – Corte esquemático do travamento das fôrmas das pré-vigas

Figura nº 36 (b) – Posicionamento dos painéis laterais das fôrmas das pré-vigas

Figura nº 37 – Corte esquemático da interface pré-viga com o assoalho da laje

Figura nº 38 (a) – Detalhe do guarda-corpo na concretagem e fôrma da coluna

Figura nº 38 (b) – Detalhe do guarda-corpo e a laje sendo concretada

Figura nº 38 (c) – Detalhe do posicionamento do guarda-corpo

Figura nº 38 (d) – Detalhe da fixação do guarda-corpo com a barra de ancoragem

Figura nº 39 – Detalhe da aba da pré-viga periférica à estrutura

Figura nº 40 – Detalhe genérico de uma seção de coluna

Figura nº 41 – Montagem de uma coluna

Figura nº 42 (a) – Pré-viga apoiando na fôrma da coluna

Figura nº 42 (b) – Pré-viga apoiando na fôrma da coluna

Figura nº 43 – Fôrma de coluna

Figura nº 44 (a) – Escora metálica com *drophead*, sustentando as longarinas principais e secundárias

Figura nº 44 (b) – Assoalhamento da laje com chapas de compensado sobre as longarinas

Figura nº 45 (a) – Assoalhamento da laje

Figura nº 45 (b) – Escoras e longarinas metálicas montadas

Figura nº 45 (c) – Chapas de compensado do assoalho da laje, numeradas para identificação

Figura nº 46 – Central de aço 01

Figura nº 47 – Central de aço 02

Figura nº 48 – Gastalho sobre a laje

Figura nº 49 – Gastalho de canto externo

Figura nº 50 – Apoio de gastalho para coluna de canto

Figura nº 51 – Armação da coluna transportada pela grua

Figura nº 52 – Marcação do nível da primeira chapa do painel da coluna na grade

Figura nº 53 – Detalhe esquemático do posicionamento do gastalho, da grade e das chapas de compensado da fôrma da coluna

Figura nº 54 – Andaime metálico e caçamba tipo funil, com mangueira flexível utilizadas nas concretagens das colunas

Figura nº 55 – Limpeza da coluna com jato de água após a concretagem

Figura nº 56 – Transporte da pré-viga com a grua 01

Figura nº 57 – Transporte da pré-viga com a grua 02

Figura nº 58 – Colocação da pré-viga na fôrma da coluna, com auxílio da treliça metálica e grua

Figura nº 59 – Pré-viga apoiada na fôrma da coluna

Figura nº 60 – Montagem da longarina de alumínio sobre a cabeça da escora metálica

Figura nº 61 – Assoalhamento da laje 01

Figura nº 62 – Assoalhamento da laje 02

Figura nº 63 – Compensado do assoalho sob a aba da pré-viga

Figura nº 64 – Armação negativa da pré-viga e a armação positiva da laje 01

Figura nº 65 – Armação negativa da pré-viga e a armação positiva da laje 02

Figura nº 66 (a) – Armação negativa da laje com caranguejos

Figura nº 66 (b) – Armação positiva da laje com distanciador plástico

Figura nº 67 – Peça de eletroduto passante na laje

Figura nº 68 – *Metalon* apoiado em bases plásticas, fazendo mestras para o concreto

Figura nº 69 – Escoras posicionadas após a retirada das longarinas

***O que sabemos é uma gota.
O que ignoramos é um oceano.***

Isaac Newton

(1643 – 1727)

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo registrar os procedimentos executivos e os resultados obtidos na execução da estrutura de concreto armado do empreendimento Meliá Confort Guarulhos, pela empresa J.Bianchi Construtora Ltda, envolvendo, na sua construção, a aplicação de concreto fluido sobre elementos pré-moldados.

Para maior entendimento da abrangência que o sistema proporciona, são apresentados as principais definições, premissas e conceitos que envolvem elementos pré-moldados, bem como as principais características de desempenho da estrutura após a aplicação do concreto no local, numa segunda etapa, constituindo a denominada "*estrutura composta*".

Também são abordados os aspectos relativos aos projetos executivos e aos projetos de produção de pré-moldados, com enfoques nas ligações dos elementos e no detalhamento gráfico das peças.

Na primeira parte do trabalho apresenta-se um breve histórico sobre o surgimento da utilização de pré-moldado como ferramenta de racionalização e produtividade, bem como as descrições sobre o sistema construtivo.

Na segunda parte tecem-se algumas considerações sobre o cálculo do projeto estrutural, enfocando as distribuições dos esforços nos nós e nas peças pré-moldadas quando estas estão submetidas a situações diversas de comportamento.

Na terceira parte resgatam-se os procedimentos práticos de execução da estrutura de concreto armado em um sistema de lajes planas com pré-vigas de borda e escada pré-moldada, em uma central de pré-moldados instalada no próprio canteiro de obras.

Na quarta e última parte, apresentam-se os resultados obtidos na obra pesquisada, os quais são comparados com os índices coletados em cinco obras no Estado de São Paulo, no ano de 1998, fruto de pesquisas realizadas pela equipe de engenheiros da EPUSP, bem como um breve comparativo entre Estruturas Reticuladas de Concreto Armado moldado no local e o sistema que será apresentado, com vistas à racionalização e à produtividade.

INTRODUÇÃO

No início da década de 90, por imposição do mercado de construção de edificações verticalizadas residenciais e comerciais, as empresas construtoras se viram na necessidade de rever seus sistemas e métodos construtivos, objetivando o aumento da produtividade da mão-de-obra, redução de perdas, redução de desperdícios, aumento da competitividade, culminando com a necessidade de reduzir o custo global de produção da construção.

Na busca da produtividade e da racionalização, as empresas construtoras se viram obrigadas a investir em pesquisas de sistemas e produtos que pudessem proporcionar uma evolução no seu meio de produção.

Logo, chegou-se à conclusão de que a industrialização da construção civil seria inevitável e que a produção deveria deixar de ser artesanal, ou pelo menos diminuiria a quantidade de mão-de-obra convencional e, mais que isso, a edificação deveria ser conceituada como uma **empresa integradora** de subsistemas, semelhantemente às montadoras de automóveis.

Com a baixa inflação, com a estabilidade da nossa economia consoante o valor da moeda estrangeira, e com a abertura de mercado para importação de programas em softwares de cálculo estrutural, de produtos e de equipamentos, promovida pelo governo Fernando Collor, inúmeros recursos foram disponibilizados e viabilizados para uso na construção civil. Em 1992, dá-se o início da internacionalização da economia.

As mudanças nas empresas começaram de várias maneiras e com enfoques diferentes umas das outras, mas todas objetivavam, principalmente, uma adequação da sua própria cultura tecnológica a uma outra mais versátil e mais eficaz.

Sabbatini (1989:01-19), em sua tese de doutorado, conceituou **INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO** como sendo um processo evolutivo que, através de ações organizacionais e da implementação de inovações tecnológicas, métodos de trabalhos e técnicas de planejamento e controle, tem por objetivo incrementar a produtividade e o nível de produção e aprimorar o desempenho da atividade construtiva.

Este trabalho, por se tratar de um estudo de caso de execução de uma “**Estrutura Composta**” de concreto moldado no local e concreto pré-moldado, tem por objetivo registrar e demonstrar a importância e a veracidade da conceituação feita por Sabbatini (op. cit.) mencionada acima, detalhando os procedimentos de execução e mostrando os conceitos básicos contemplados nos projetos e canteiros de obras.

A industrialização está essencialmente associada aos conceitos de organização e de produção em série, os quais deverão ser entendidos analisando de forma mais ampla as relações de produção envolvidas e a mecanização dos meios de produção. A história de industrialização identifica-se, num primeiro tempo, com a história da mecanização, isto é, com a evolução das ferramentas e máquinas para a produção de bens.

Na Europa ocorreram fenômenos diversos que ensejaram o emprego do sistema pré-fabricado, em um contexto voltado, de início, para a racionalização. Um deles foi a extrema necessidade de reconstrução após a Segunda Guerra Mundial. Assim, o período de 1945 a 1950 caracterizou-se pela extraordinária demanda de construções, notadamente de habitação.

Segundo El Deds (2000:05-16), a **pré-moldagem** é caracterizada como um processo de construção em que a obra, ou parte dela, é moldada fora do seu local de utilização definitivo. Frequentemente, a pré-moldagem é relacionada a outros dois termos: a pré-fabricação e a industrialização da construção.

Entre as várias formas de definir a **industrialização da construção**, destaca-se aqui aquela apresentada pelo Instituto Eduardo Torroja de la Construcción Y Del Cemento,

segundo a qual a “...*industrialização da construção é o emprego, de forma racional e mecanizada, de materiais, meios de transporte e técnicas construtivas, para se conseguir uma maior produtividade*”. É preciso registrar que tem sido empregada a denominação **Modernização da Construção** para expressar, em linhas gerais, essa mesma idéia.

Aproveitando, ainda, a reunião de definições apresentadas no livro de Fernández Ordóñez para a **pré-fabricação** é destacada aquela apresentada por T. Koncz. Segundo ele, “...*pré-fabricação é um método industrial de construção em que os elementos fabricados, em grandes séries, por métodos de produção em massa, são montados na obra, mediante equipamentos e dispositivos de elevação*”.

Como se depreende dessas definições, a industrialização das construções, a pré-fabricação e a pré-moldagem são conceitos distintos, ainda que relacionados entre si. A grosso modo, pode-se dizer que a pré-moldagem aplicada à produção em grande escala resulta na pré-fabricação que, por sua vez, é uma forma de buscar a industrialização da construção.

Cabe também destacar que a industrialização da construção se estende a todas as suas partes e independe dos materiais empregados. Já a pré-fabricação e a pré-moldagem correspondem a estruturas, fechamentos ou elementos acessórios em concreto.

A ABNT, por meio da NBR-9062/85 – *Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado*, faz distinção entre elemento pré-fabricado e elemento pré-moldado diferente da apresentada anteriormente. Essa diferenciação é feita com base no controle de qualidade da execução do elemento.

Segundo a citada norma, o elemento pré-fabricado é aquele “...*executado industrialmente, mesmo em instalações temporárias em canteiro de obra, sob condições rigorosas de controle de qualidade*”. Já o elemento pré-moldado, segundo a mesma referência, é aquele “...*executado fora do local de utilização definitiva na estrutura*”, com o controle de qualidade menos rigoroso que o do elemento pré-fabricado.

Os elementos pré-moldados podem ser classificados de diversas formas como, por exemplo, quanto à seção transversal, quanto ao processo de execução, e quanto à sua função estrutural.

Neste trabalho abordaremos o **pré-moldado de seção parcial**, que é aquele inicialmente moldado apenas com parte da seção resistente final, posteriormente completado na posição de utilização definitiva com concreto moldado no local. Com esse tipo de elemento, tem-se o **elemento composto**, e a estrutura resultante deste tipo de pré-moldado também tem sido chamada de **estrutura composta**.

A NBR 9062/85, no item 3.1.1, define que *peças compostas* são elementos de concreto executados em moldagens distintas e interligados de forma a atuar em conjunto sob o efeito das ações aplicadas após a sua junção. A seção transversal de tal peça é denominada “*seção composta*”

Com base nas reflexões comparativas que envolveram o conceito de Industrialização da Construção e da Construção Artesanal Tradicional, surgiu a alternativa de um sistema construtivo que congrega valores intrínsecos à mudança organizacional e cultural, que incrementa e aprimora a produtividade e o desempenho da atividade construtiva, sem, entretanto, abandonar os valores já consolidados com o uso dos velhos métodos de se construir.

Podemos afirmar que essas mudanças estão presentes quando executamos uma estrutura de concreto armado, utilizando-se elementos compostos de concreto moldado no local e peças pré-moldadas.

A iniciação à arte do pré-moldado exige de todos os profissionais envolvidos na área de projetos ou de produção um comprometimento muito maior que no Sistema Convencional, pois não se admite esquecimento ou erros com o pré-moldado de concreto, enquanto admitem-se, embora sendo muito onerosos, artifícios corretivos no Sistema Convencional.

As empresas se organizaram e consolidaram novas premissas consistentes para as áreas de Gestão, Tecnologia e Produção, objetivando:

- . melhoria da técnica executiva;
- . melhoria da qualidade geométrica e dimensional das peças;
- . aumento da racionalização;
- . aumento da produtividade;
- . redução de custos;
- . redução nos prazos de execução.

Novas pesquisas foram processadas com vistas à viabilização e competitividade entre estruturas em lajes planas maciças com vigas de borda e estrutura reticulada convencional, abrindo caminhos para esta mudança. Para se obter sucesso na implantação do Sistema de Lajes Planas Maciças, utilizando Pré-Vigas de borda e Escada, pré-moldadas no próprio canteiro, é essencial que existam projetos e planejamentos extremamente precisos e que se disponha de um Sistema de Gestão e Controle adequado.

Enfim, o que determina o grau de competitividade entre os sistemas é a excelência dos seus projetos, planejamento e gestão da produção.

Ao viabilizar a execução de uma estrutura no Sistema de Lajes Planas Maciças com Pré-vigas de borda, fica determinada a obrigatoriedade do uso da grua, equipamento de alto investimento financeiro que, via de regra, é locado por um valor elevado, exigindo, portanto, um planejamento detalhado nas suas ações operacionais e programações temporais.

Ao final dos anos 70, ao iniciar a implantação no Brasil de um Sistema de Painéis Portantes de origem alemã, o arquiteto Antonio C.L. Pedreira de Freitas, buscando efetuar adaptações às condições brasileiras e à luz das concepções apresentadas nos sistemas

franceses, desenvolveu a Pré-Laje de concreto armado, especificamente para empreendimentos prediais residenciais.

Objetivando executar apenas a metade inferior da laje pré-moldada, evitando-se as fôrmas de madeira e com alívio significativo no cimbramento em estruturas reticuladas de concreto armado, surgiu então um problema: o apoio da Pré-Laje na fôrma de madeira da viga acarretava deformações que prejudicavam o alinhamento final da peça concretada. O reforço da fôrma, além de oneroso, não se mostrou tão eficiente.

No início dos anos 80, a empresa Pedreira de Freitas S/C Ltda, com os mesmos conceitos utilizados na execução de Pré-Laje, passou a fazer uso da **pré-viga**, onde apenas parte inferior da viga (altura total da viga menos espessura da laje) era concretada, também servindo de apoio para a pré-laje, em estruturas de edifícios de multipavimentos.

Segundo o Arqº Pedreira, já foram executados com desempenho comprovado mais de 50 edificações de 4 a 21 pavimentos, utilizando o sistema de Pré-Viga com Pré-Laje em Estrutura Reticulada de Concreto Armado.

As premissas básicas que nortearam a concepção e produção do sistema foram a manutenção do monolitismo e a hiperestaticidade da estrutura, bem como a racionalização do processo, fazendo uso do pré-moldado sem, contudo, desprezar as condições culturais do Brasil.

Quando se utiliza um sistema que possui elementos pré-moldados e moldados “in loco”, há necessidade de um número muito grande de detalhes, que devem ser contemplados nos projetos.

A compatibilização entre os diversos projetos executivos é fundamental para a obtenção do sucesso na produção.

Semelhantemente ao sistema de Pré-Laje com Pré-Viga em Estrutura Reticulada de Concreto Armado, abordaremos, neste trabalho, as características de projeto, gestão e produção de Estrutura de Concreto Armado em Lajes Planas Maciças moldadas “in loco”, associadas às Pré-Vigas de borda e Escadas Pré-moldadas, o que se denominou de *estrutura composta*.

Pesquisando diversos canteiros de obras, constatamos que o grande número de vigas das E.R.C.A. era, em parte, um limitador para a melhoria da qualidade, da produtividade, da racionalização e, até mesmo, um limitador à redução do custo global do empreendimento.

Questionamentos foram feitos quanto ao suposto maior consumo de concreto e aço nos projetos cuja estrutura era concebida em Lajes Planas Maciças, quando comparado com a E.R.C.A. convencional.

Os estudos comparativos de custo apontavam para um ganho no tocante às fôrmas de madeira, escada pré-moldada com fôrma de madeira ou metálica, sensível redução na perda de concreto e aço, e redução da mão-de-obra por consequência do aumento da produtividade, a favor da **estrutura composta em lajes planas**.

Na realidade, descobrimos que qualquer que seja o estudo comparativo de custo entre os sistemas e subsistemas de uma edificação, deverá ser abrangente e analisado de maneira global no empreendimento, nunca parcialmente.

Desta feita, podemos detectar e registrar os ganhos com a qualidade, redução no consumo dos materiais, redução de perdas de materiais e mão-de-obra e, conseqüentemente, uma redução de entulho gerado.

Não podemos desconsiderar os novos requisitos a serem exigidos na modalidade de contratação de mão-de-obra terceirizada, tradicionalmente feita com base no preço por metro

cúbico do concreto aplicado, tendo em vista os ganhos mencionados anteriormente e, ainda, maior facilidade de lançamento com maior volume de concreto em função da maior espessura da laje, e ganho com a utilização de grua, quer seja na redução de mão-de-obra auxiliar, quer seja na versatilidade que o equipamento proporciona.

O estudo de viabilidade técnica e econômica do Sistema de Laje Plana com Pré-moldado envolve aspectos gerenciais diretamente relacionados com a cultura da empresa e, principalmente, com os aspectos do projeto estrutural e arquitetônico, os quais são determinantes para a viabilização do sistema.

CAPÍTULO 1

CONSIDERAÇÕES DE PROJETO

1.1. Viabilidade e características gerais de projeto

Nem todo projeto é viável, técnica e economicamente, para ser executado no S.L.P.M.¹ As características geométricas do projeto arquitetônico pré-definem o partido estrutural no lançamento das colunas e vigas, prefixando as dimensões das peças estruturais.

Após a compatibilização do projeto arquitetônico com o projeto estrutural, novos elementos e dados são levantados, possibilitando quantificar estimativamente os materiais necessários à execução da estrutura.

O cálculo estrutural não pode prescindir da verificação da estabilidade global quanto à incidência dos ventos predominantes, bem como limitar as deformações das lajes e vigas, em níveis aceitáveis e compatíveis com a capacidade de deformação dos subsistemas, que irão agregar-se à estrutura.

O escritório de projeto estrutural deve utilizar-se de softwares e de teorias modernas, como elementos finitos para verificação da estabilidade global e limites de deformações da estrutura.

Para melhorar a visualização e o entendimento das características previstas para o desempenho da estrutura, o escritório de projeto estrutural deve apresentar plantas contendo

¹ Sistema de Laje Plana com Pré-moldado

desenhos dos Deslocamentos Horizontais do Pórtico e dos Deslocamentos Verticais do Pavimento Tipo (Planta de Isodeformações).

Em edificações de multipavimentos, a densidade de armadura será maior quanto maior for o número de pavimentos, principalmente nas colunas, tornando-se um limitador ao uso de pré-vigas.

De acordo com o Arquiteto Pedreira, os edifícios com desempenho comprovado no Brasil, *utilizando pré-vigas e pré-lajes*, possuíram no máximo 21 pavimentos. A estrutura de concreto do empreendimento, que é objeto do nosso estudo, possui 33 pavimentos e *foi executada com pré-vigas de borda composta com laje plana maciça moldadas no local*. O enrijecimento da estrutura se dá na região das colunas dos poços dos elevadores, das colunas da escada e com o posicionamento favorável das demais colunas do pavimento.

No estudo de caso em pauta, as alvenarias externas foram executadas com bloco de concreto e, internamente, com divisórias em gesso acartonado, do tipo Dry Wall, não sendo considerado, no cálculo estrutural, a alvenaria contribuindo para o contraventamento da estrutura.

Na ligação pré-viga com coluna, o principal detalhe de dimensionamento que deve ser observado é quando a pré-viga chega à menor dimensão da coluna e quando não for possível fazer a ancoragem da pré-viga com armadura positiva reta, ou seja, sem ganchos.

O gancho deve ser sempre evitado, a fim de não dificultar a acomodação de todas as armaduras que convergem para o nó composto de coluna e pré-viga.

Logo, deve-se diminuir a tensão da armadura no apoio, diminuindo o comprimento de ancoragem da armadura positiva, conforme expressão indicada na NBR 6118.

$l_b = \varnothing/4 \times F_{yd}/\tau_{bu} \times A_{scal}/A_{se}$, onde $A_{se} > A_{scal} \Rightarrow l_b$ menor

l_b = comprimento de ancoragem

A_{se} = área existente

A_{scal} = área da seção da armadura, calculada com o esforço a ancorar

τ_{bu} = tensão de escorregamento (aderência)- Este valor é prescrito no item 5.3.1.2c desta NBR, e em situação de boa aderência deve-se utilizar o item 4.1.6.1. – Escorregamento

$\tau_b = 1,15.b_w/U_s.\tau_{wd}$

F_{yd} = resistência de cálculo da armadura

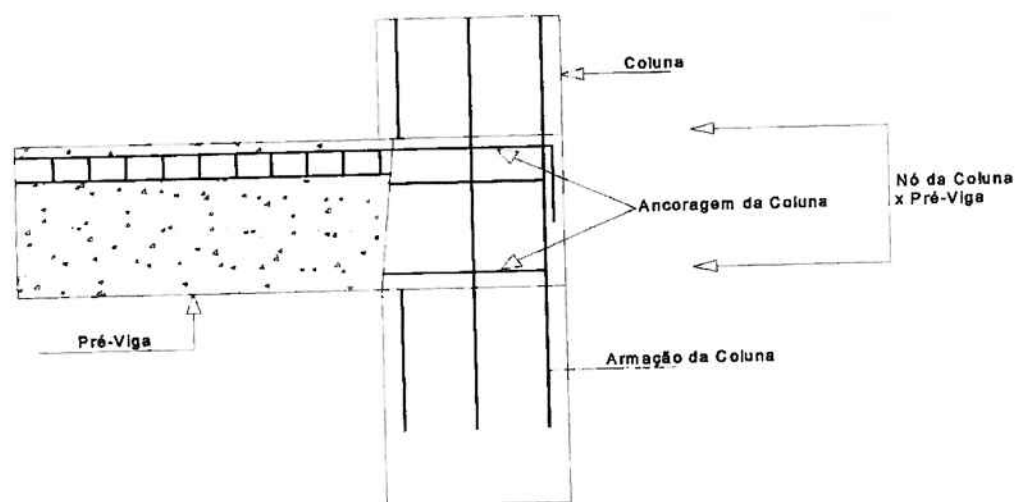


Figura nº 01 – Ligação pré-viga com coluna

Na ligação pré-viga com pré-viga, faz-se necessário um dimensionamento especial, uma vez que não há um monolitismo completo.

No caso da pré-viga que está apoiando, temos uma estrutura semelhante a um consolo, denominado dente de apoio, cujo dimensionamento se dá segundo o disposto em 7.4. da N.B.R. 9062 – “Ligações por meio de recortes nas extremidades das vigas”.



Figura nº 02 – Ligação pré-viga com pré-viga apoiando

A pré-viga que serve de apoio tem uma estrutura que se assemelha a um furo em viga com carga vertical concentrada aplicada. O dimensionamento deve levar em conta o furo na viga, visto que este se manterá após o monolitismo da estrutura.

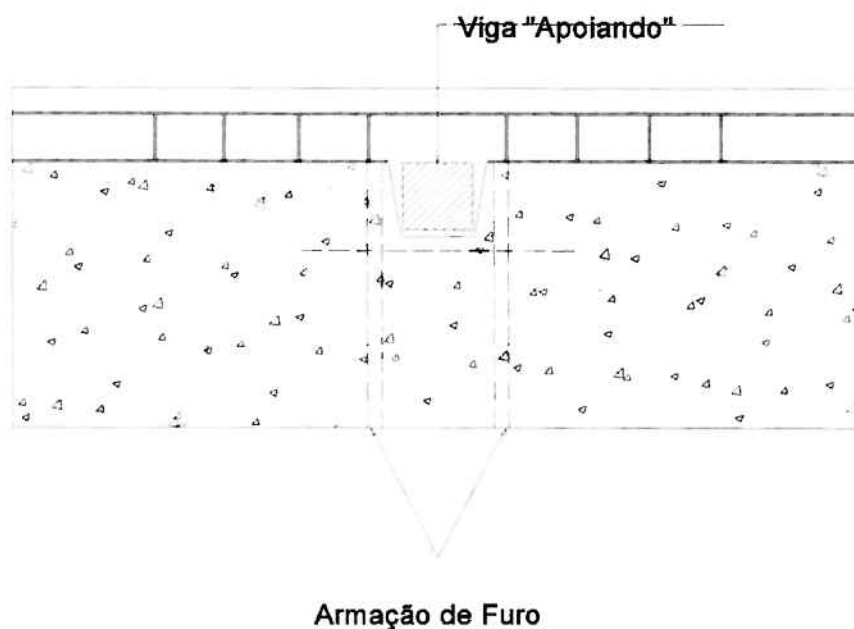


Figura nº 03 – Ligação pré-viga com pré-viga que serve de apoio

A introdução de pré-moldado no sistema construtivo impõe um comprometimento muito forte entre os projetistas, coordenador de projetos e equipe de produção. Todos os detalhes conceptivos e de produção devem ser rigorosamente analisados e registrados em forma de **Projeto para Produção**.

Podemos destacar os principais projetos para produção:

- A) Detalhes geométricos da peça de concreto e armaduras;
- B) Fôrmas de madeira e/ou metálica para a confecção das peças pré-moldadas;
- C) Caminhamento, subida, descida de eletrodutos e caixinhas de passagens, demarcadas por cotas acumuladas, a partir dos eixos de execução da obra;
- D) Planta de fôrmas do pavimento, com cotas acumuladas, a partir dos eixos de execução da obra, com furações e shafts demarcados;
- E) Planta de montagem, cimbramento e escoramentos permanentes;
- F) Furações para passagens dos componentes das instalações hidráulicas e outras instalações, também por cotas acumuladas;
- G) Manual básico de apresentação do sistema, manual para produção de pré-moldados, montagem e concretagem.

Para ilustrar o Manual Básico para desenho de pré-viga, descreveremos um modelo sugerido por Freitas, Pedreira S/C Ltda.:

- a: medida do vão livre entre pilares
- b: largura normal da viga
- h: altura da viga menos a altura da laje
- c: distância dos içadores : $1/10$ do vão da pré-viga

Estribos: Não sofre nenhuma alteração em relação ao projeto convencional.

Quando a pré-viga tiver saída de ferros iguais e, existindo a possibilidade de ser montada pelos dois lados, deve-se tomar o cuidado de detalhar os estribos de forma simétrica.

Porta Estribos: T1 Funções:

- 1) Posicionar os estribos, visto que a armadura negativa somente será colocada na montagem da laje;
- 2) Absorver o esforço de tração no banzo superior, no momento da desfôrma;
- 3) Atuar como costela, dependendo da altura da viga, podendo inclusive ser posicionado em mais de uma camada.

Armação Principal: T2

Este ferro segue o detalhado para a armadura convencional, podendo ser reduzido o comprimento de ancoragem, com as inclusões dos ferros extras **T4 e T5**. Se houver “patas”, o comprimento é indicado no projeto convencional.

Quando a saída do aço **T2** for “saída alta”, significa que há um engarrafamento vertical, para não haver interferência com a armadura da outra viga.

Armação Principal: T3

Este ferro corresponde à armação complementar da armação principal, dado pelo corte do diagrama de momentos fletores.

Quando a medida “d” é indicada de forma negativa, significa que o ferro T3 está saindo da peça, no lado esquerdo.

Aços Extras: T4 e T5

Estes ferros são utilizados quando se deseja diminuir o comprimento de ancoragem.

Furos em vigas:

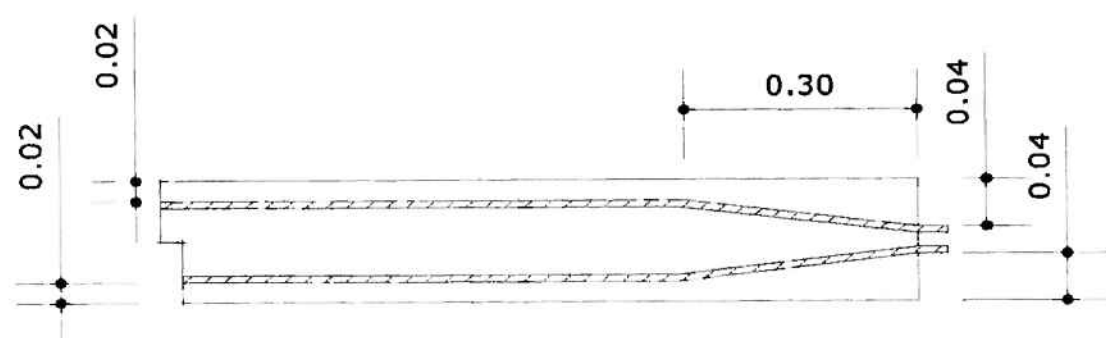
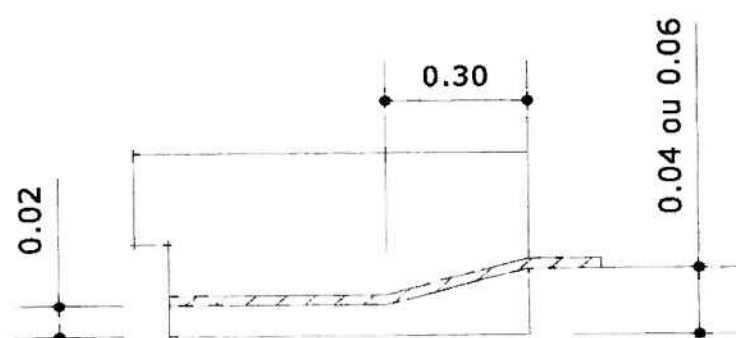
Nas vigas de periferia em que temos apoio de laje em somente um dos lados, devem ser previstos furos horizontais nas vigas, utilizando-se tubos de PVC marrom e terminal cônico de plástico na montagem das peças.

Estes furos devem ser posicionados a 15 cm da face superior das pré-vigas e na horizontal, sendo que, entre eles, o espaçamento máximo deve ser de 120 cm.

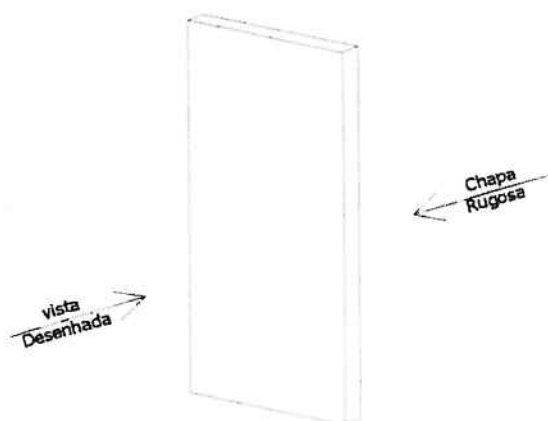
Testeiros:

Devem ser detalhados os testeiros A e B, indicando:

- 1) Ferros que saem da peça;
- 2) A distância das faces de concreto até os ferros que saem das peças, cuidando para não haver interferência física com os outros ferros de outras vigas e colunas. Desta forma, lança-se mão de engarrafamentos horizontais e verticais.

DETALHE GENÉRICO DO ENGARRAFAMENTO HORIZONTAL**DETALHE GENÉRICO DO ENGARRAFAMENTO VERTICAL**

DETALHE GENÉRICO DO DESENHO DOS TESTEIRO



NOTA: EXECUTAR TESTEIRO COM CHAPA METÁLICA RUGOSA NUMA DAS FACES OU CHAPA DE MADEIRA, CRIANDO RUGOSIDADE POR MEIO DE JATO DE ÁGUA

OBS.: 1 - "A" E "B" CORRESPONDEM A POSIÇÃO DO TESTEIRO CONFORME INDICADO NA FOLHA DE PRODUÇÃO DA PRÉ-VIGA
2 - DIÂMETRO DOS FUROS DEVEM SER SUFICIENTES PARA PASSAGEM DOS FERROS INDICADOS NAS FOLHAS DE PRODUÇÃO

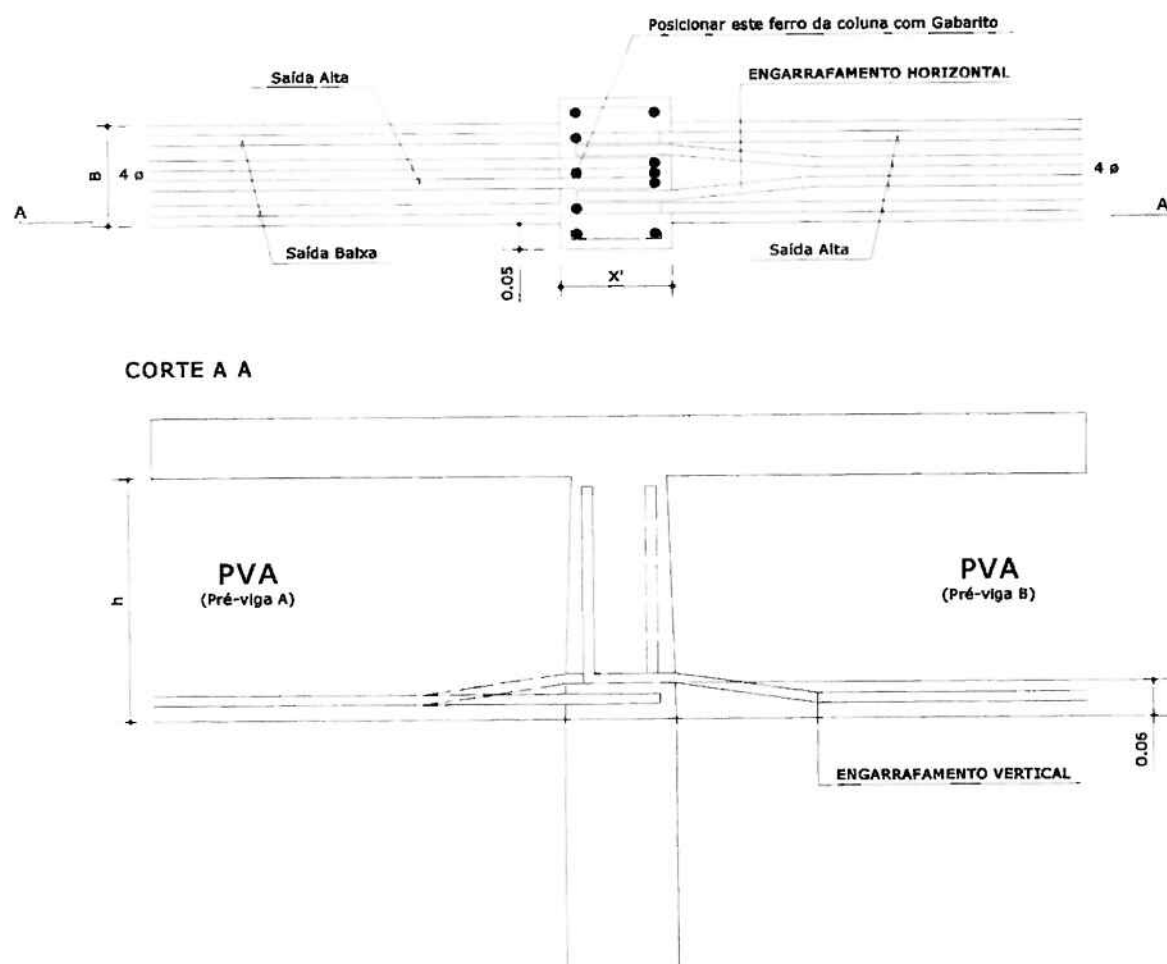


Figura nº 07 – Detalhe genérico do engarramento horizontal e vertical da viga com a armação da coluna

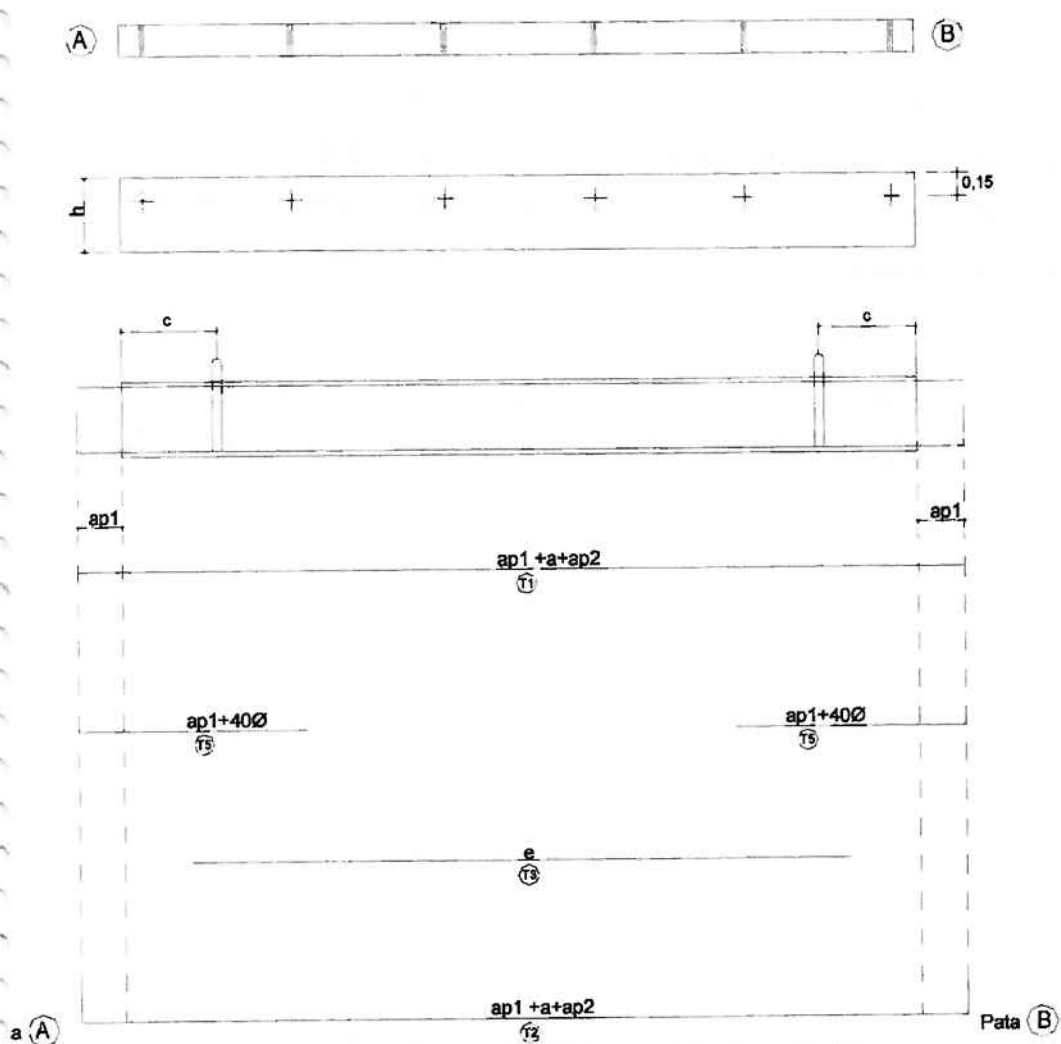


Figura nº 08 – Modelo para desenho de pré-viga

Conforme abordado, os elementos compostos são aqueles executados com elementos pré-moldados de seção parcial, cuja seção resistente é completada com concreto moldado no local.

O comportamento estrutural da seção composta é governado, fundamentalmente, pela transferência das tensões de cisalhamento na interface entre o concreto pré-moldado e o concreto moldado no local.

O cisalhamento na interface entre dois concretos ocorre sempre que há tendência de deslizamento na superfície de contato. Este fenômeno se faz presente quando se trata de concretos com idades diferentes, como é o caso da interface entre o elemento pré-moldado e o concreto moldado no local, e quando os concretos de mesma idade são separados por fissura.

Nesses dois casos, a transferência de cisalhamento pela interface pode ser dividida em transferência por meio da superfície de contato e transferência por meio de armadura cruzando a superfície de contato.

Os principais fatores que influenciam a resistência ao cisalhamento na interface entre dois concretos são a **resistência do concreto e a rugosidade da superfície de contato**, ou seja, a resistência ao cisalhamento aumenta com o aumento da resistência do concreto e com as superfícies mais rugosas. **A armadura que cruza a interface e a tensão normal** à interface são outros fatores que influem diretamente na resistência ao cisalhamento.

A NBR 9062, (1985), no item 6.3.1 para dimensionamento da ligação do concreto novo com o concreto pré-moldado, permite-se considerar a peça composta como sendo monolítica, verificando se a tensão de aderência de cálculo τ_{sd} satisfaz a condição:

$$\tau_{sd} \leq \beta_s \times F_{yd} \times A_s / b \times s \times \beta_c \times F_{td} , \text{ onde}$$

A_s = área da armadura que atravessa a interface

S = espaçamento da armadura

B = largura da interface

F_{yd} = resistência de cálculo da armadura

F_{td} = segundo a NBR 6118 para o menos resistente dos concretos em contato

β_s = coeficiente de minoração aplicado à armadura

β_c = coeficiente de minoração aplicado ao concreto

$$\tau_{sd} = F_{md} / (a_v \times b) , \text{ onde}$$

F_{md} = valor médio da força de compressão ou de tração acima da ligação ao longo do comprimento a_v

a_v = distância entre os pontos de momento nulo e máximo, respectivamente, na peça

Para os casos usuais, a própria armadura de cisalhamento é suficiente para estas tensões.

CAPÍTULO 2

DESCRIÇÃO DO SISTEMA CONSTRUTIVO

2.1. Características operacionais

O sistema construtivo é dirigido à execução de uma estrutura de concreto armado composto por peças semi pré-moldadas.

As peças são complementadas por concretagem da laje “in loco”, obtendo-se ligações monolíticas.

As pré-vigas são pré-moldadas no próprio canteiro e elas têm a altura total da viga menos a espessura da laje, sendo que os estribos ficam salientes, os quais serão consolidados com a complementação da armadura positiva, negativa e o concreto da laje.

Para a pré-moldagem de peças de concreto no próprio canteiro, há necessidade de se dispor de uma área mínima de 50 m², nivelada para a instalação da central de produção das pré-vigas e escada.

As colunas são moldadas “in loco” e solteiras.² Com a necessidade de não se perder a racionalização do sistema e permitir o apoio da pré-viga, desenvolveu-se uma fôrma racionalizada para a execução de colunas. Somente após a concretagem da laje, ocorre a desforma das colunas.

² Sistema onde as colunas são concretadas com ajuda de um andaime posicionado ao lado, sem a prévia montagem da viga pré-moldada e da fôrma da laje. A concretagem é executada até o fundo da viga ou laje mais baixa que chega na coluna. O restante da coluna (cabeça) é concretada juntamente com a concretagem da laje.

A escada é totalmente pré-moldada e assentada em consolos e abas, executadas nas pré-vigas e colunas, possibilitando o seu uso logo após a sua montagem, inclusive para acesso ao pavimento em execução.

O içamento da peça é feito com uma grua e com auxílio de uma treliça espacial, desenvolvida especificamente para esta finalidade, conferindo maior rapidez na movimentação da peça, sem causar danos.

A montagem da estrutura se torna muito simples, graças aos trabalhos desenvolvidos nos escritórios.

A execução da estrutura se dá através de um ciclo composto, basicamente, por três equipes de trabalho. Duas equipes se encarregam da produção das peças pré-moldadas e a outra equipe se incumbem da execução das colunas, da colocação das pré-vigas e escada pré-moldadas e da montagem e concretagem das lajes.

Os operários das equipes estão constantemente interagindo-se nas etapas do ciclo, promovendo racionalização e produtividade da mão-de-obra aplicada.

Após a colocação das pré-vigas e montagem do assoalho da laje, são colocadas no interior dos estribos salientes as armaduras positivas e negativas das lajes, bem como as armaduras negativas das pré-vigas.

Desta forma, a concretagem da laje ocorre simultaneamente à concretagem do complemento da pré-viga, estabelecendo o monolitismo e a hiperestaticidade da estrutura.

Com o projeto muito bem resolvido e definido, os responsáveis pela execução se dedicam exclusivamente à qualidade da estrutura que está sendo montada.

Os complementos de montagem, como escoras provisórias e escoras permanentes, proteções, entre outros, também são detalhados no projeto.

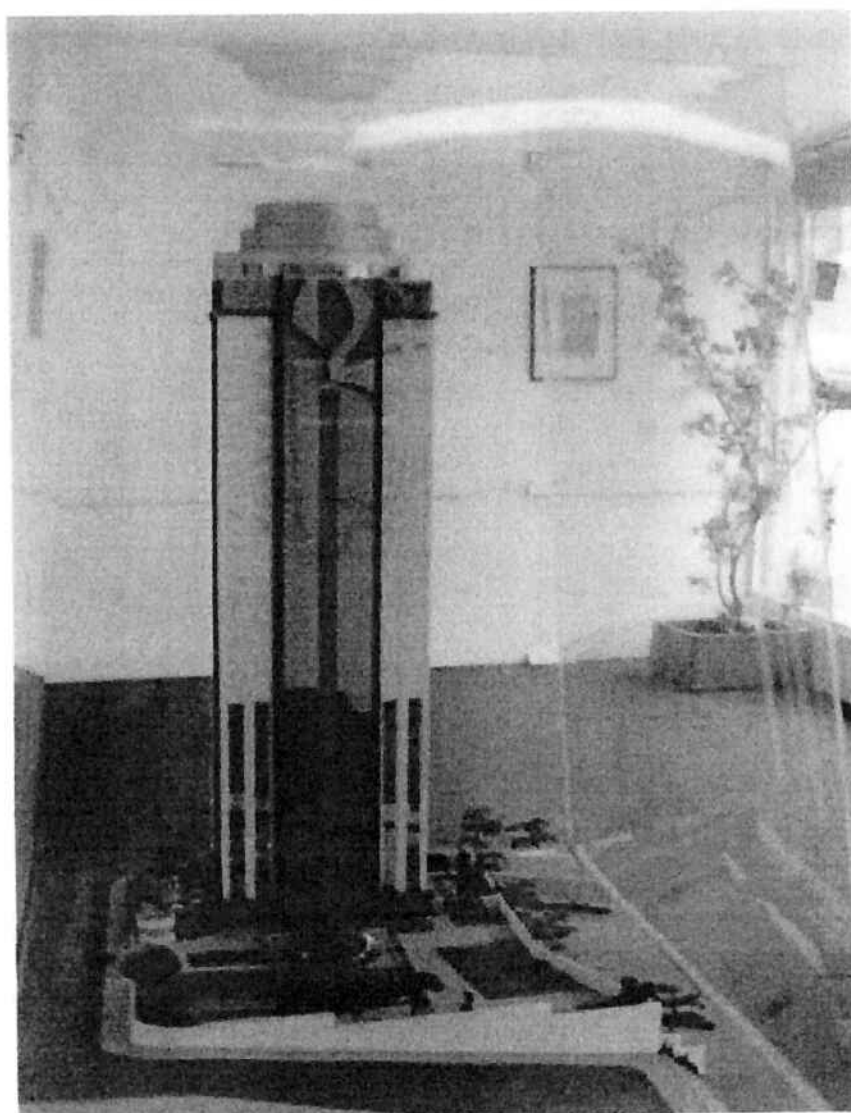
O processo de racionalização da *estrutura composta em laje plana* não termina com a montagem da estrutura. Outros processos executivos de subsistemas foram incorporados, aproveitando-se da exatidão da estrutura, para dar continuidade ao processo de racionalização, tais como, paletização dos blocos para elevação das alvenarias, projeto para produção das alvenarias, utilização de porta pronta, contra-marco de micro-concreto, etc.

Os registros apresentados a seguir, tiveram como base o estudo de caso da obra Meliá Confort Guarulhos, abrangendo as diversas etapas da execução da estrutura de concreto armado, como os trabalhos realizados na produção de pré-moldados no próprio canteiro de obras, na execução das fôrmas, montagem dos cimbramentos, montagem das armações, das concretagens e instalações elétricas embutidas, relativamente aos pavimentos tipo, tornando o estudo de caso uma representação fiel da realidade.

CAPÍTULO 3

DESCRIÇÃO DA PRODUÇÃO

3.1. Caracterização do empreendimento



- . Tipo do empreendimento: Hotel
- . Nº de pavimentos: 2 subsolos, 1 térreo, 1 intermediário, 28 tipos e 2 coberturas
- . Área do pavimento tipo: 477,00 m²
- . Período de estudo da obra: ano 2000

Dados da estrutura de concreto armado

Sistema estrutural: corpo da edificação em lajes planas com espessura de 16 cm, em concreto armado moldado no local, vigas de borda, vigas nos poços de elevadores e caixa de escada.

Área de fôrma do pavimento tipo

- . Colunas: 295,95 m²
- . Vigas: 160,65 m²
- . Laje: 347,62 m²
- . Escada: 14,41 m²
- . Área total: 818,63 m²

Peso das armaduras do pavimento tipo

- . Colunas: 5.500 kg
- . Vigas: 1.630 kg
- . Lajes: 3.628 kg
- . Escada: 101 kg
- . Peso total: 10.859 kg

Volumes de concreto do pavimento tipo

- . Colunas: 30,05 m³
- . Vigas: 14,84 m³
- . Lajes: 58,23 m³
- . Escada: 1,21 m³
- . Volume total: 104,33 m³

Indicadores de consumo:

- . Espessura média de concreto do pavimento tipo = 23,0 cm
- . Taxa de aço do pavimento tipo = 22,76 kg/m² ou 104,09 kg/m³
- . Taxa de aço do empreendimento = 18,84 kg/m²

3.2. Implantação do canteiro de obras

Por exigência dos preceitos municipais, o projeto foi aprovado com recuos de cinco metros em todo o perímetro do terreno, a partir dos alinhamentos junto aos passeios. Estes recuos permitiram que a obra acomodasse containers metálicos para os escritórios, banheiros, vestiários, central de fôrmas, estoque de aço, portaria, stand de vendas, entrada de energia elétrica, etc.

O início dos serviços se deu com a escavação e remoção parcial de terra, execução das vigas guias e paredes diafragmas.

Na sequência houve a 2ª fase da remoção do solo, concomitantemente com a execução dos tirantes provisórios.

Bancadas e equipamentos pertinentes à execução destes trabalhos foram improvisados e instalados na área escavada, com o acesso de pessoas feito através de uma escada de madeira provisória.

Após a escavação final, uma grua foi instalada para atender ao fluxo de materiais necessários à execução dos trabalhos de fundação, de estrutura e de elevação das alvenarias.

Este canteiro foi suficiente para atender às necessidades de execução dos serviços iniciais como escavação, parede diafragma, tirantes provisórios, caixa d'água enterrada, fundação em sapata, o concreto do piso do 2º subsolo e a implantação da central de pré-moldados, que ocupou uma área de aproximadamente 60 m².

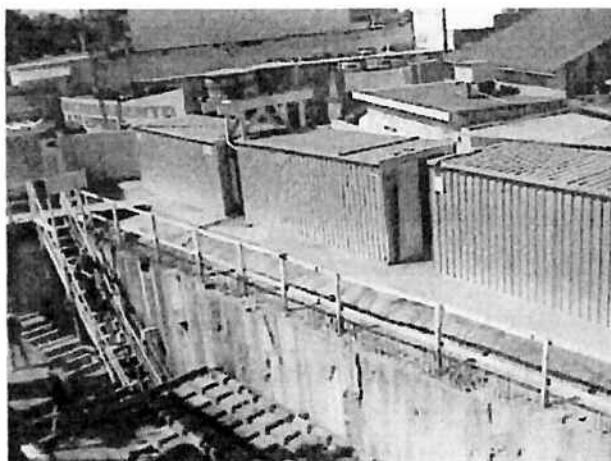


Figura nº 09 - Container banheiro e vestiário

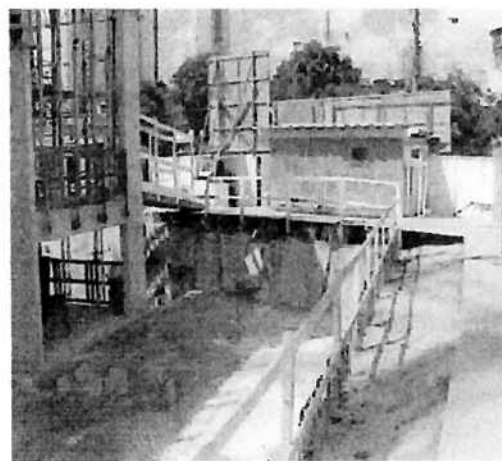


Figura nº 10 - Container engenharia e portaria



Figura nº 11 - Central de fôrmas

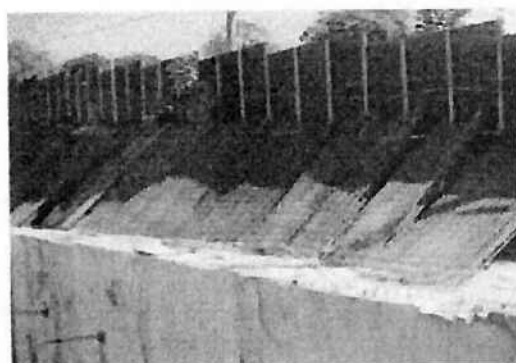


Figura nº 12 - Estoque de armaduras de colunas

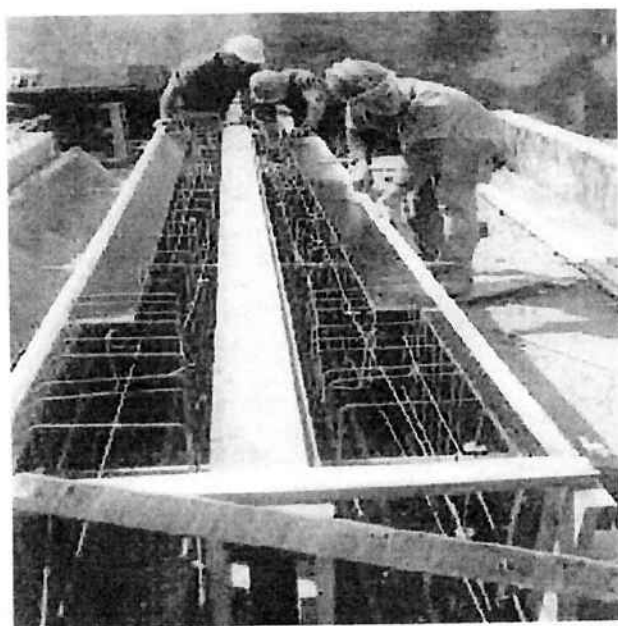


Figura nº 13 - Fôrma e armação de pré-viga

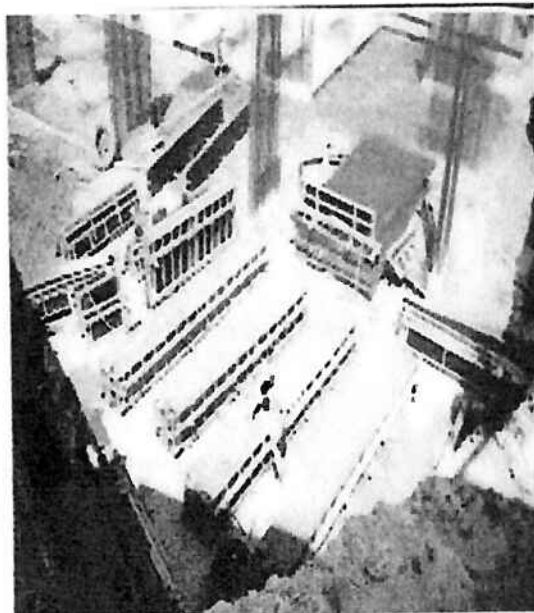


Figura nº 14 - Fôrma de pré-viga

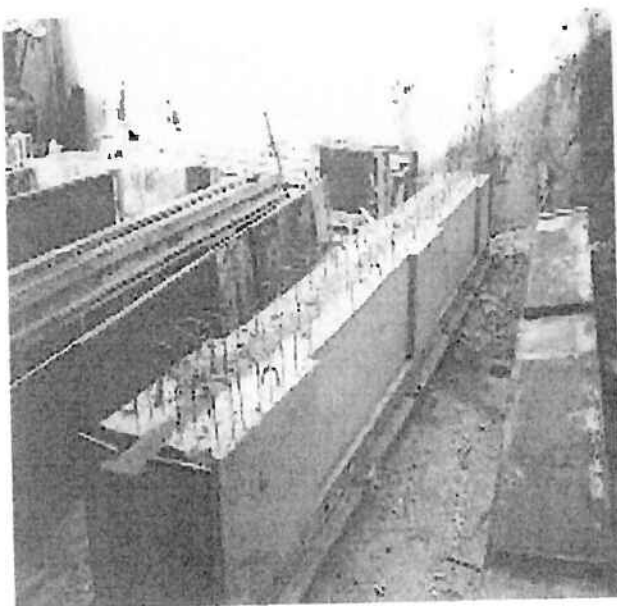


Figura nº 15 - Pré-viga recém-desformada

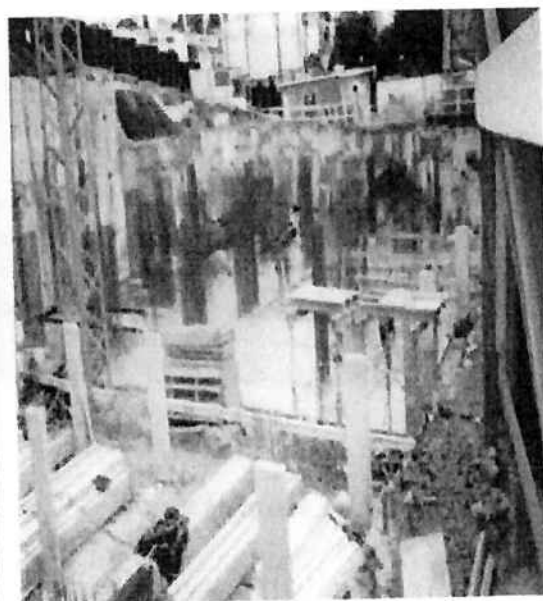


Figura nº 16 - Estoque de pré-vigas

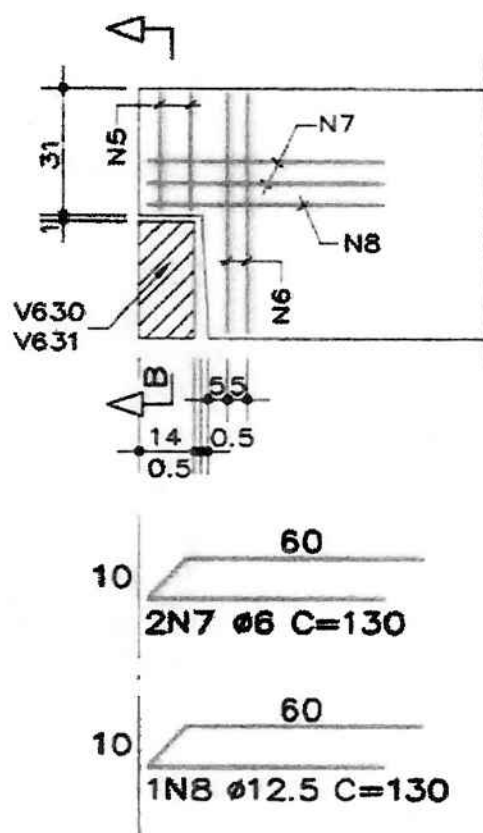
3.3. Produção de pré-viga e produção de escada pré-moldada

É de extrema importância na produção de pré-moldado ou semi-pré-moldado que se tenha um projeto de produção bem elaborado, o qual fornece a segurança e garantia de que todos os projetos foram verificados e compatibilizados. Anexo ao projeto deve acompanhar um manual explicativo das etapas e seqüências que deverão ser seguidas para realização do ciclo de produção.

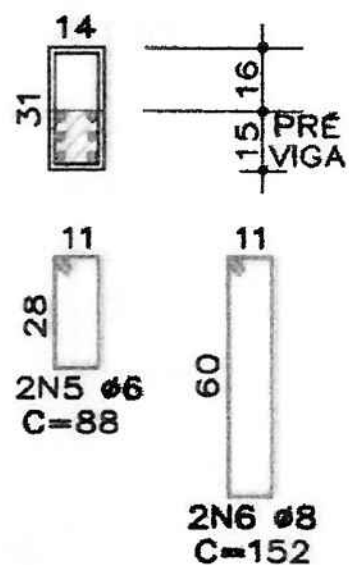
O detalhamento das peças no tocante à armadura, fôrma e procedimento para produção, é apresentado em formato A4, facilitando o entendimento e manuseio pela equipe de produção e, ainda, de custo inferior às cópias plotadas.

Seguem modelos de detalhamento de armadura:

DET.1



Corte B

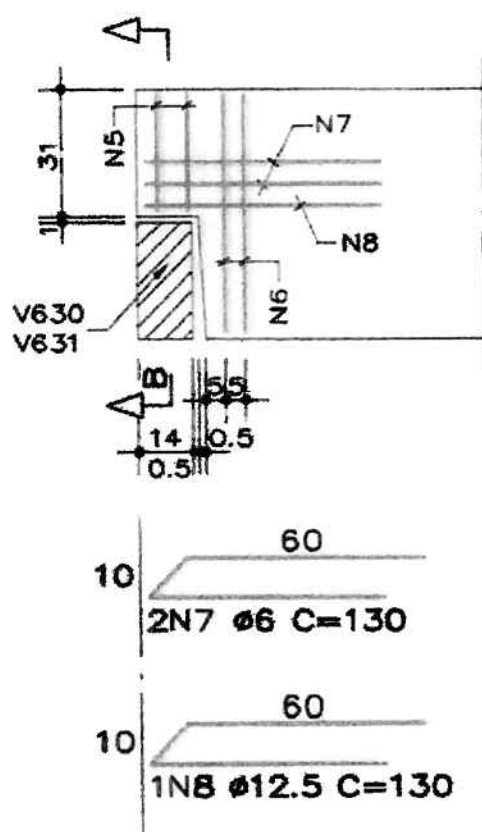


LEGENDA

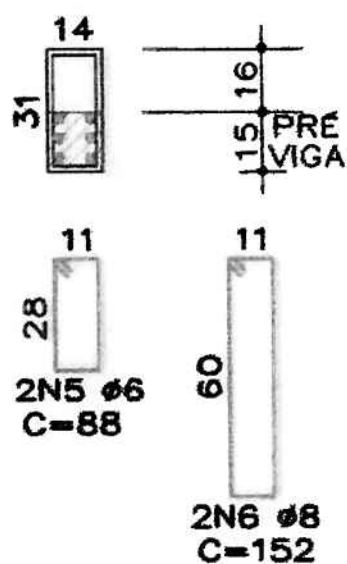
- FERRO "IN LOCO"
- FERRO PRÉ VIGA

Figura nº 17 – Detalhe de armadura de pré-viga 01

DET.1



Corte B



LEGENDA

- FERRO "IN LOCO"
- FERRO PRÉ VIGA

Figura nº 18 – Detalhe de armadura de pré-viga 02

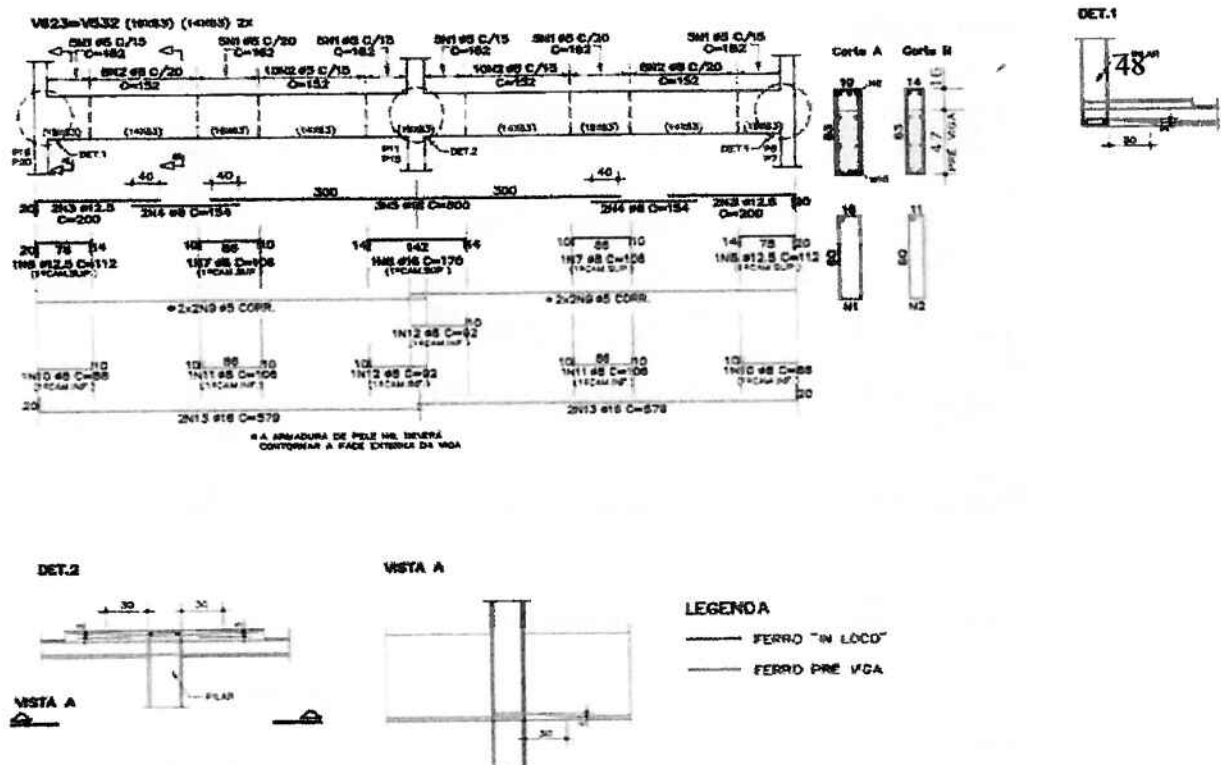


Figura nº 19 – Detalhe de armadura de pré-viga 03

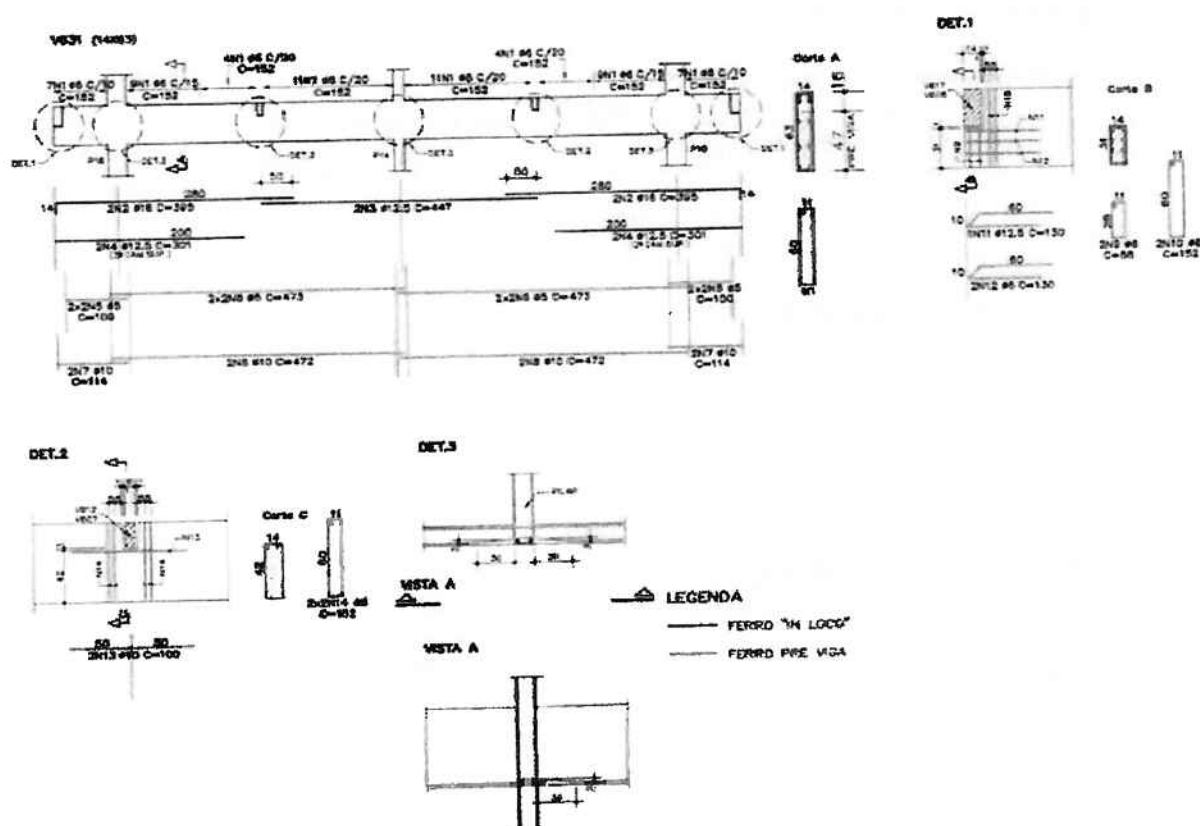


Figura nº 20 - Detalhe de armadura de pré-viga 04

V624 (14X63)

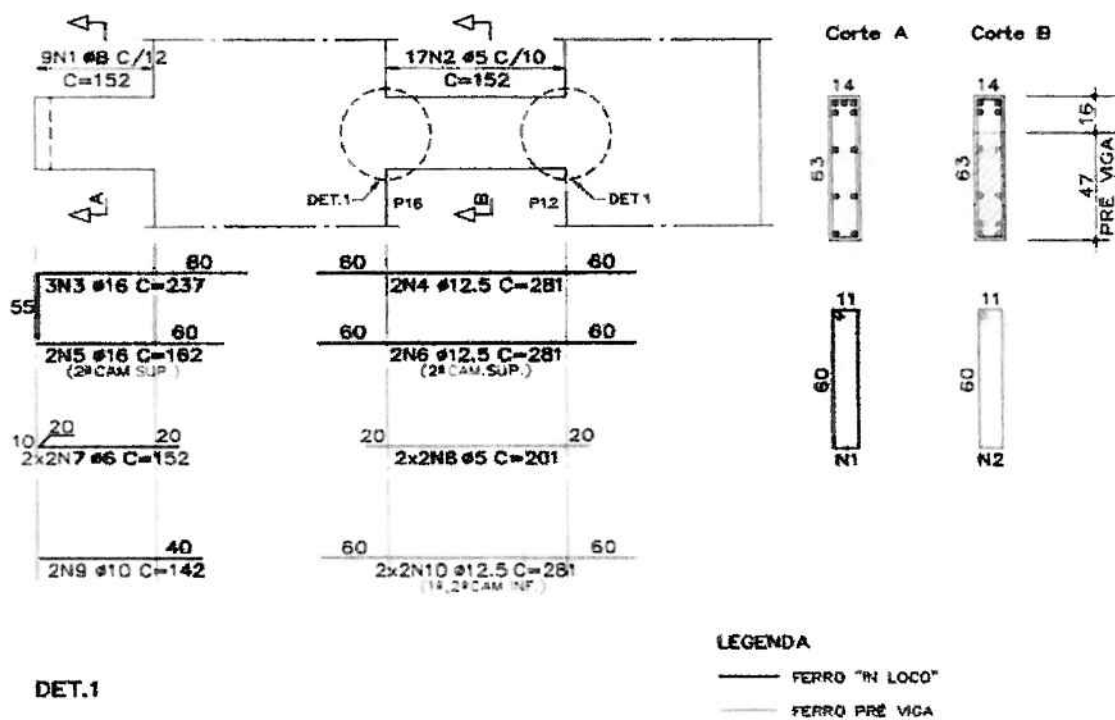


Figura nº 21 – Detalhe de armadura de pré-viga 05

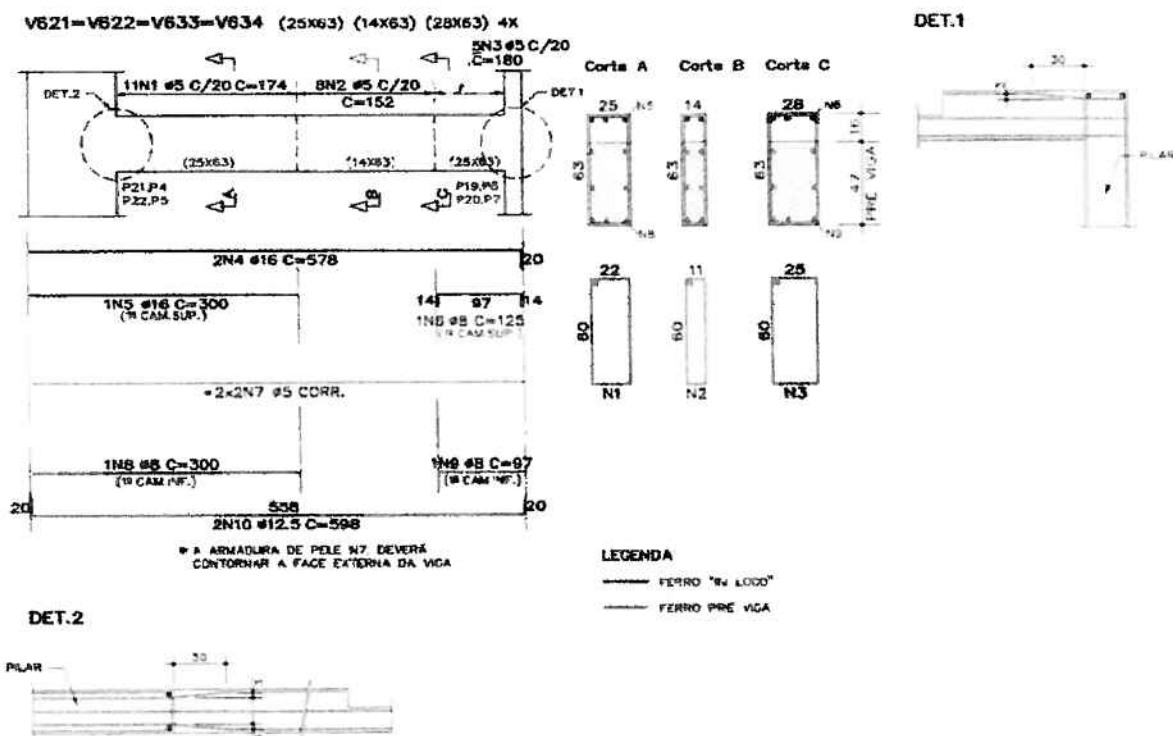


Figura nº 22 – Detalhe de armadura de pré-viga 06

Uma vez posicionadas as fôrmas, as etapas básicas e sequenciais para a produção são:

- 1º Limpeza das fôrmas;
- 2º Aplicação de desmoldante;
- 3º Colocação das armaduras;
- 4º Colocação dos espaçadores nas armaduras, para garantir o recobrimento de concreto;
- 5º Colocação dos insertos metálicos e/ou embutidos de instalações elétricas;
- 6º Conferência geral, segundo o projeto e o manual de produção;
- 7º Fechamento dos painéis e travamento destes, com auxílio de barras de ancoragem;
- 8º Concretagem das peças com o uso de vibrador de imersão;
- 9º Colocação da etiqueta de identificação da peça, na parte superior da pré-viga recém-concretada;
- 10º Lavagem com água pressurizada dos testeiros e da parte superior das pré-vigas após, aproximadamente três horas da concretagem, tornando estas partes rugosas;
- 11º Dobragem do aço fazer o gancho vertical ou desvio de armadura respeitando o detalhe de projeto, após um mínimo de quatro dias da concretagem.

A limpeza da fôrma foi feita com uma espátula, removendo todos os resíduos de concreto e, com muito cuidado, para não danificar o filme do compensado, almejando um maior número de reutilizações.

A grade de madeira (“espinha dorsal”) é fixada e aprumada com auxílio de um prumo de face. O nível da face superior da pré-viga é demarcado na grade de madeira e a montagem se inicia com o posicionamento do fundo e uma face lateral da pré-viga, fixando-as na grade.

A conferência no encontro das faces é feita com esquadro metálico, garantindo a ortogonalidade.

Os painéis deverão ser identificados com pintura em tinta esmalte, cuja numeração é a que consta do projeto estrutural, bem como identificada a posição que deverá ser utilizada na montagem, ou seja, qual é a face interna e qual é a face externa.

Na produção das escadas com o molde metálico foi utilizado um desmoldante especial, denominado Repelmold Ferro, que é uma emulsão de óleos minerais e parafinas em água, sendo fornecido pré-diluído em água 1:1 até 1:2. O Repelmold Ferro é especialmente indicado para a construção industrializada de pré-moldados, apresenta um rendimento de 4 a 5 m²/litro de solução diluída e protege a fôrma contra oxidação.

Para as fôrmas de madeira foi utilizado o desmoldante tradicional, denominado Repelmold Madeira, para proteção contra o ressecamento e danos causados pela aderência do concreto.

A aplicação foi feita com o auxílio de um rolo de lã ou pulverizador.

Nas peças com reentrâncias ou detalhes construtivos que dificultam a desforma, foi aplicada vaselina sólida comum, com auxílio de uma espátula, em substituição ao desmoldante tradicional, facilitando a desforma e protegendo o compensado.

A armadura montada era transportada pela grua, diretamente da central de aço até a fôrma da peça, na central de pré-moldados. Quando necessário, colocava-se a armadura complementar, para depois ajustá-la.

Cabe ressaltar que os ferros nas extremidades da armadura eram todos retos, para que, na montagem da fôrma, pudessem ser colocados os testeiros da peça, com os respectivos furos passantes. A dobra dos ganchos era feita posteriormente à concretagem, com o concreto já envelhecido e resistente, e com o auxílio de chave comum de dobra de aço. Tendo em vista que a armadura positiva previa recobrimento de apenas 2 cm de concreto, cuidados

específicos foram tomados para não quebrar ou trincar este recobrimento , no momento da dobra.

A dobra era feita por dois armadores e a armação devia ficar bem calçada na face inferior, para que um armador segurasse firmemente a armadura, pressionando-a para baixo, enquanto o outro armador executava a dobra com uma chave de dobrar armação.

Também fundamental a colocação dos ganchos de aço que servirão futuramente para içamento e movimentação da peça, nas posições definidas no projeto e manual de produção.

Os espaçadores, os insertos metálicos, os distanciadores e os embutidos de elétrica eram posicionados e fixados adequadamente à armadura. Os eletrodutos embutidos na pré-viga eram passantes em 5 cm do fundo da fôrma e, na face superior, finalizassem com uma curva fechada com *caps* roscável, para proteção contra penetração de materiais, os quais eram direcionados para serem interligados com os eletrodutos sobrepostos na laje em montagem. Ainda na pré-viga, podia ocorrer que o eletroduto fosse passante à face inferior e à face superior, devendo, nesta situação, proceder-se também à proteção da extremidade do eletroduto contra a penetração de resíduo de concreto , no momento da concretagem da peça.

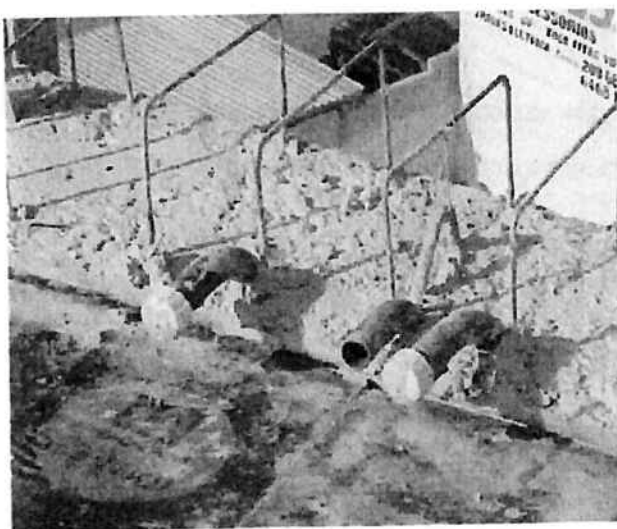


Figura nº 23 – Pré-viga com eletroduto 01

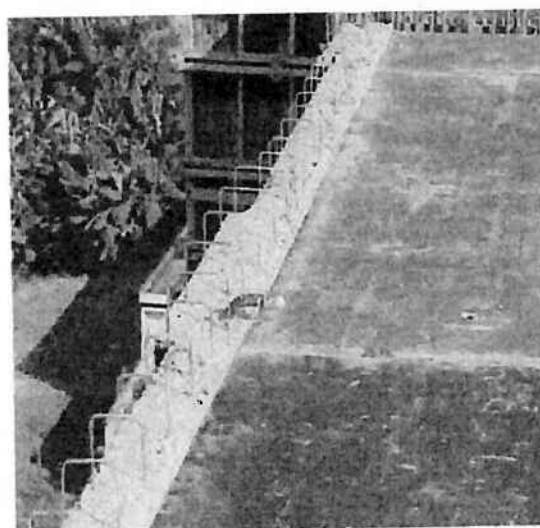


Figura nº 24 – Pré-viga com eletroduto 02

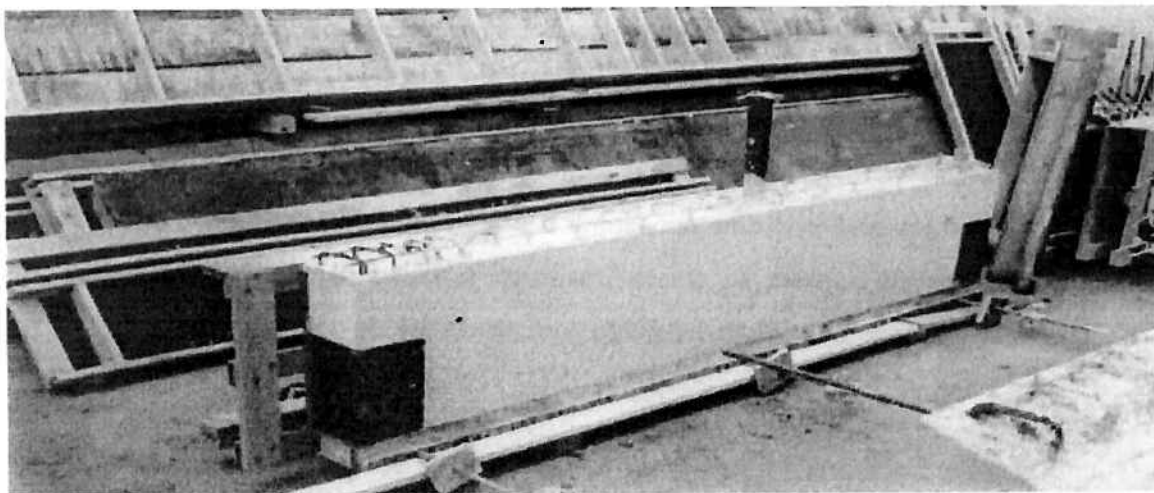


Figura nº 25 - Pré-viga recém-concretada e desformada, mostrando um eletroduto passante e os insertos metálicos que farão os dentes na viga e que apoiar-se-ão em outras vigas

Graziano (2001), recomenda “encamisar” o eletroduto passante, com tubo de aço carbono do tipo SAE 1020 sem costura, objetivando absorver e transferir esforços para as áreas adjacentes à seção de concreto, evitando, desta forma, o aparecimento de fissuras e enfraquecimento da peça nesta região.

Os insertos metálicos têm a função de criar os nichos nas pré-vigas, constituindo encaixes entre vigas, ou seja, uma pré-viga serve de apoio para a outra pré-viga.

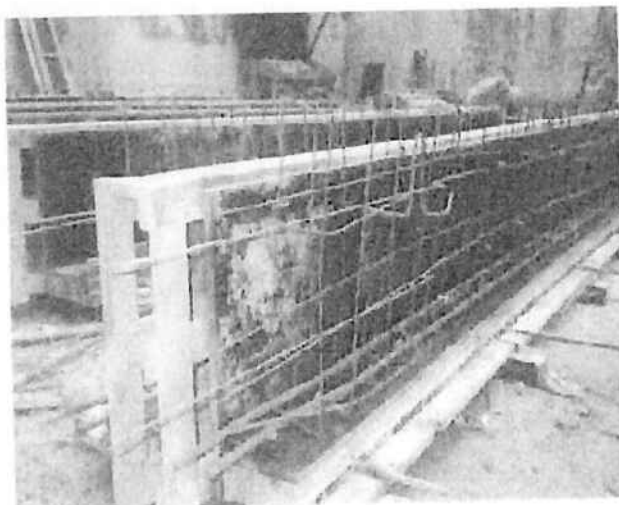


Figura nº 26 - Armadura e ganchos para transporte da pré-viga

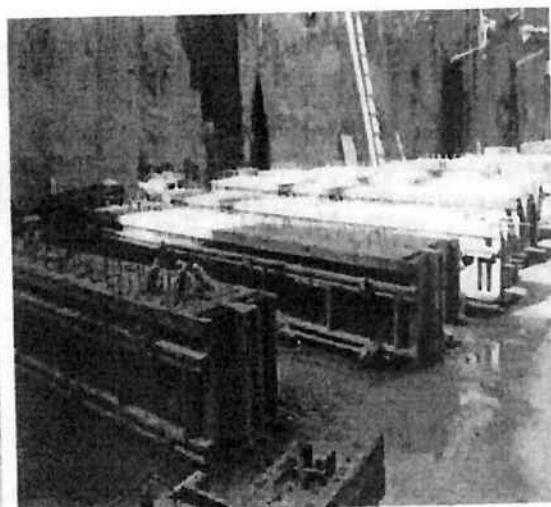


Figura nº 27 - Pré-vigas recém concretadas

Após a montagem completa da armação, insertos metálicos e testeiros, eram conferidos:

- . bitola e comprimento dos ferros longitudinais;
- . bitolas, quantidades e espaçamento dos estribos;
- . reforços especiais devido aos *inserts*;
- . posição dos ferros na saída dos testeiro;
- . comprimento dos arranques para fora do testeiros;
- . altura do estribo acima do nível de parada do concreto;
- . altura dos pontos de içamento acima do nível que ficará o concreto, fixado ao mínimo de 3 cm e ao máximo de 6 cm.

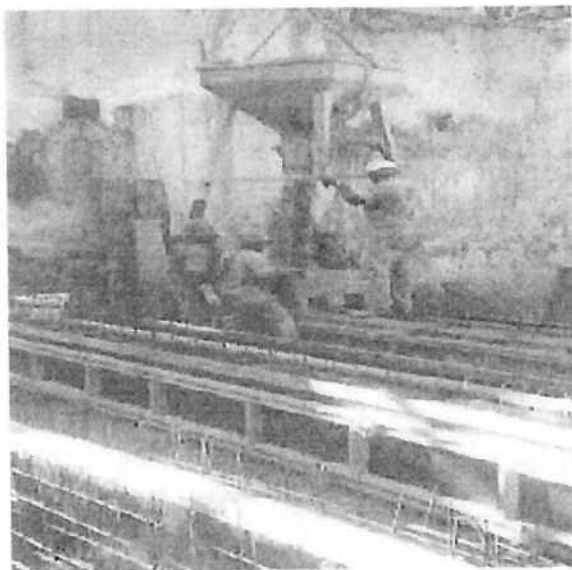
A posição dos ferros de saída do testeiro e o recobrimento dos estribos eram fundamentais para uma boa montagem.

A concretagem das peças foi feita com o uso da grua, movimentando uma caçamba metálica com formato de um funil, com capacidade para transportar 0,50 m³ de concreto, que possuía um dispositivo de acionamento do braço de abertura e uma mangueira plástica flexível na sua extremidade, proporcionando o despejo do concreto no interior da fôrma, sem ocorrer qualquer tipo de perda. Imediatamente após a concretagem, colocava-se a etiqueta de identificação da peça concretada.

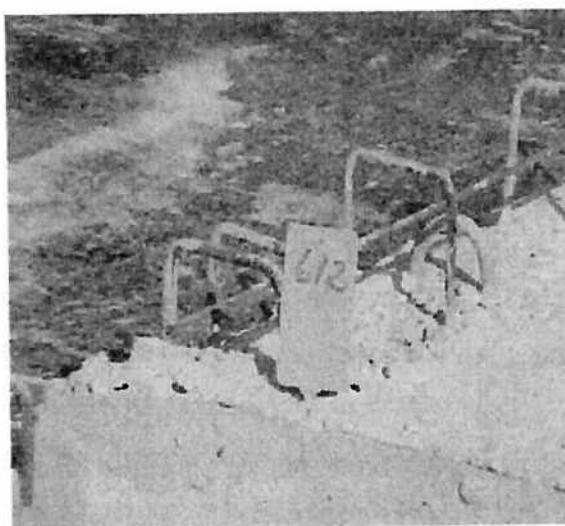
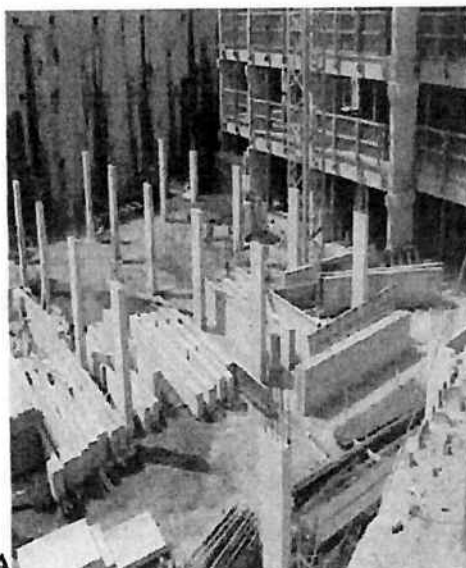
As desformas das pré-vigas ocorriam após o 3º dia da concretagem. Primeiramente, soltavam-se as porcas das barras de ancoragem e, em seguida, eram retirados os painéis laterais.

Depois de desformadas, as vigas eram transportadas para uma área destinada à estocagem, que inicialmente foi o piso do 2º subsolo e, posteriormente, transferida para o pavimento térreo descoberto.

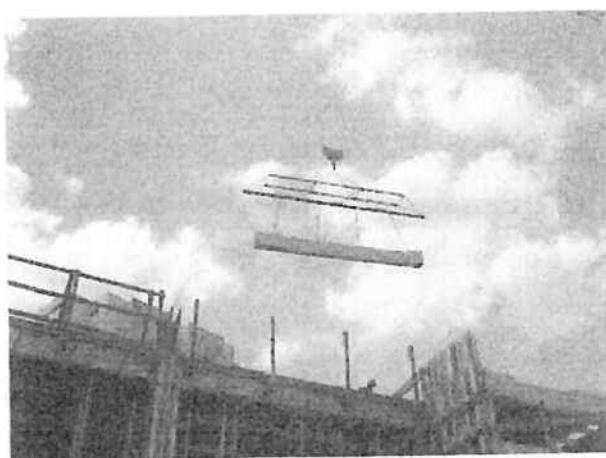
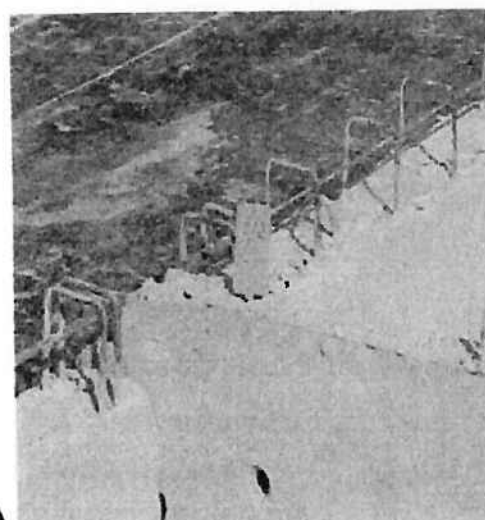
A grua fazia o transporte com auxílio de uma treliça metálica presa ao moitão, que içava uma peça de cada vez, através dos quatro ganchos que foram previstos e executados na produção da pré-viga.



28 28A



29 29A



30

As fotos acima estão identificadas respectivamente da seguinte maneira:

Figura nº 28 - Concretagem das pré-vigas

Figura nº 28 A – Área de estocagem das pré-vigas

Figura nº 29 – Identificação da pré-viga após a sua concretagem 01

Figura nº 29 A – Identificação da pré-viga após a sua concretagem 02

Figura nº 30 – Transporte da pré-viga com treliça metálica e grua

O concreto era lançado obedecendo às boas condutas de concretagem, uma vez que os elementos a serem concretados não diferiam em nada do convencional, a não ser pelo fato de estarem isoladas.

O adensamento do concreto era feito por intermédio de vibrador de imersão, com agulha de 45 ou 35 mm.

Um procedimento muito importante, que **Graziano (2001)** denominou de “*junta verde*” e que devia ser realizado após, aproximadamente, 2 horas da concretagem, foi retirar a fôrma dos testeiros e esfregar uma escova de aço e jato de água pressurizada, utilizando uma máquina do tipo Wap ou Karcher, para deixar estas superfícies rugosas. Este procedimento deve ser aplicado também na face superior da pré-viga, caso seja constatado que o concreto vibrado tenha ficado muito liso.

Estas áreas rugosas dos testeiros e da face superior da pré-viga contribuem com uma maior aderência e resistência ao cisalhamento entre a superfície do concreto agora lançado e o concreto futuro, favorecendo a consolidação e monolitização da pré-viga, coluna e laje.

Para a confecção da escada, utilizou-se uma fôrma metálica. A fôrma da escada foi projetada para ser concretada “de lado” (foto nº 31). Com vistas a conseguir um bom acabamento dos patamares e degraus, a fôrma foi desenvolvida de tal maneira que as pisadas

destes patamares e degraus ficassem em contato com a chapa metálica. A fôrma desenvolvida também permitia a concretagem simultânea de duas partes da escada.

A fôrma da escada também foi projetada para adaptar complementos metálicos, adequando-se para o uso de lances de escadas diferentes do pavimento tipo.

A escada pré-moldada era colocada no pavimento que se encontrava em montagem, e nascia acabada nos patamares e degraus, assim como na face inferior (teto), suprimindo a necessidade de revesti-la.



Figura nº 31 - Concretagem da escada com a fôrma metálica na lateral

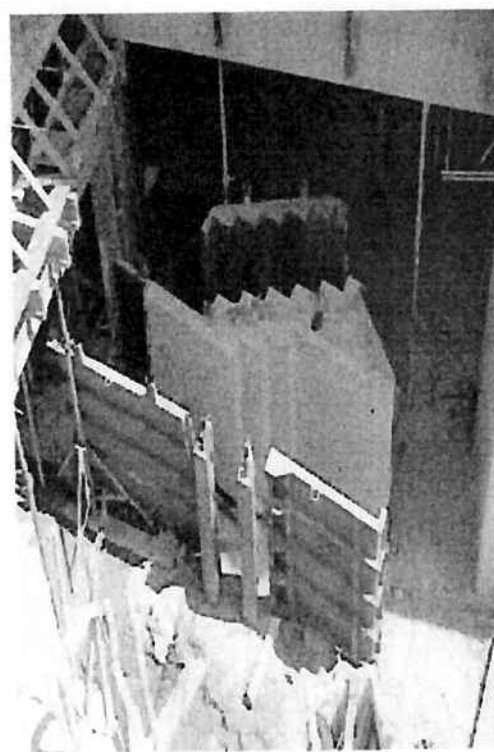


Figura nº 32 - Desforma da escada pré-moldada



Figura nº 33 – Escada pré-moldada ainda com o molde

3.4. Fôrmas para as pré-vigas

Os painéis de fôrma das pré-vigas e das colunas foram fabricados na central de fôrmas instalada no próprio canteiro. Inicialmente foram transportados para a central de pré-moldados, situada na região da periferia do 2º subsolo, quando as lajes ainda não haviam sido executadas, o que viabilizou o acesso da grua.

Após a execução das lajes periféricas, a central de pré-moldados foi transferida para o pavimento térreo externo, próximo à grua, facilitando, sobremaneira, as operações com a pré-viga até o final da execução da estrutura.

A montagem dos painéis foi feita por intermédio de uma “espinha dorsal”, constituída de pontaletes e sarrafos, que permaneciam presos ao piso limpo e nivelado, suficiente para garantir o alinhamento e prumo. Sobre esta “espinha dorsal” eram posicionados os painéis de compensado que comporiam a fôrma da pré-viga de cada lado, permitindo a produção simultânea de duas peças e, ainda, com a possibilidade de moldar vigas com comprimentos variados, sendo necessário apenas um ajuste nos testeiros.

Para a execução dos 33 pavimentos do empreendimento, foi utilizado somente um jogo de fôrma.

As concretagens das pré-vigas eram feitas em uma única etapa.

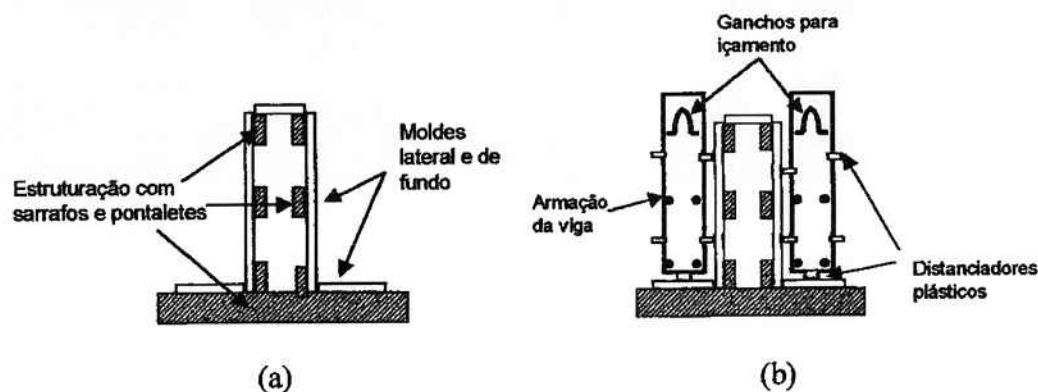
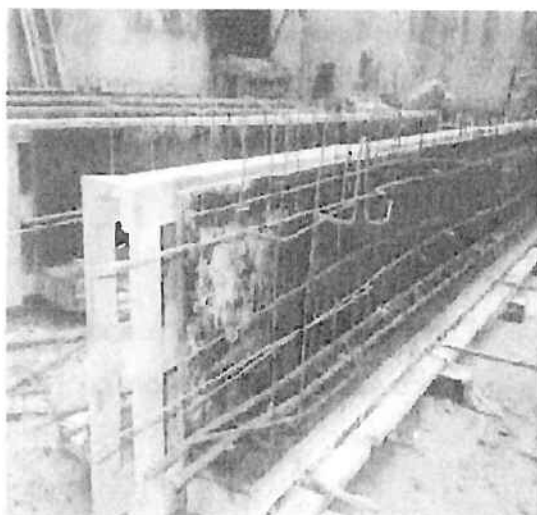
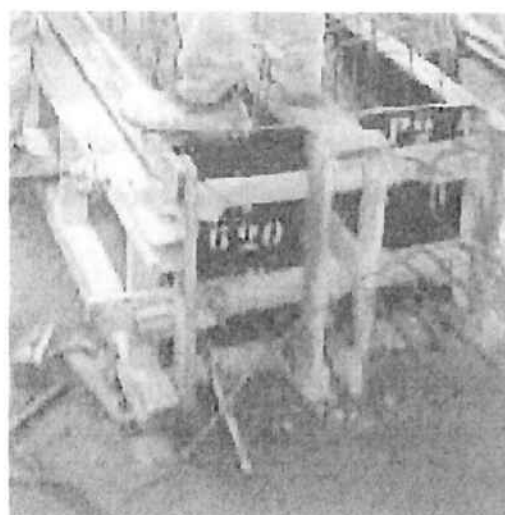


Figura nº 34 (a) – Corte esquemático da fôrma antes do posicionamento das armaduras

(b) - Corte esquemático das armaduras posicionadas nas fôrmas das pré-vigas



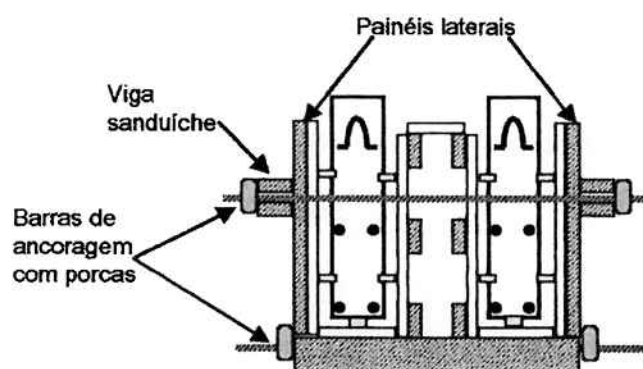
(a)



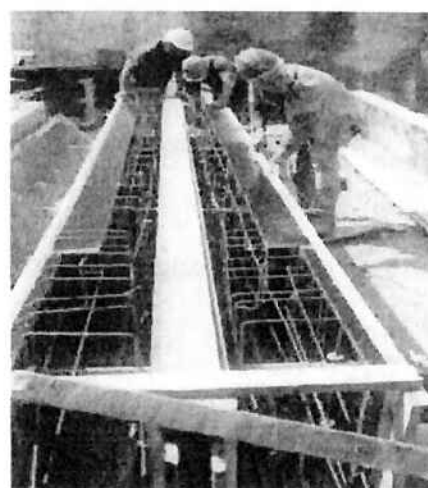
(b)

Figura nº 35 (a) - Fôrmas das pré-vigas com as armaduras posicionadas e os ganchos para içamento

(b) – Detalhe da fôrma lateral e dos testeiros das pré-vigas



(a)



(b)

Figura nº 36 (a) - Corte esquemático do travamento das fôrmas das pré-vigas

(b) – Posicionamento dos painéis laterais das fôrmas das pré-vigas

O projeto de produção das fôrmas das pré-vigas apresentava um detalhe que criava uma aba de 2 x 2 cm de concreto, para ser posicionada de maneira que a sua face inferior coincida com o mesmo nível da cota de fundo da laje, auxiliando na conferência do nivelamento do assoalho e na estanqueidade da nata de concreto proveniente da concretagem da laje. (figura nº 37)

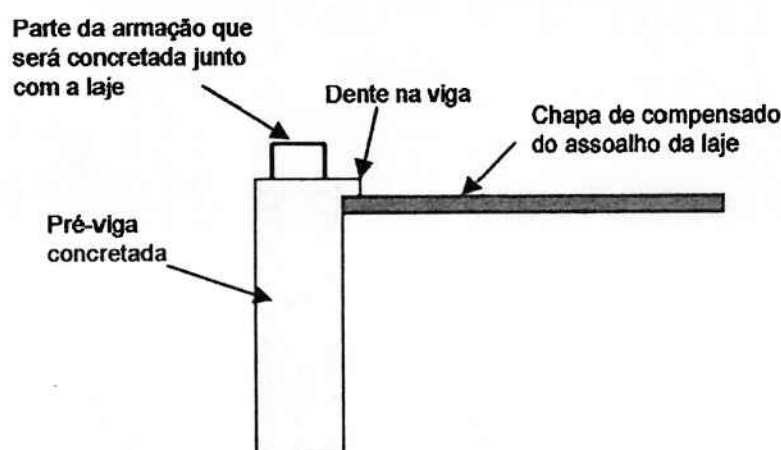
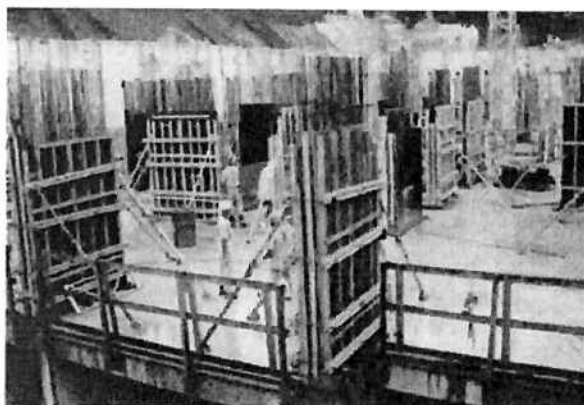


Figura nº 37 - Corte esquemático da interface pré-viga com o assoalho da laje.

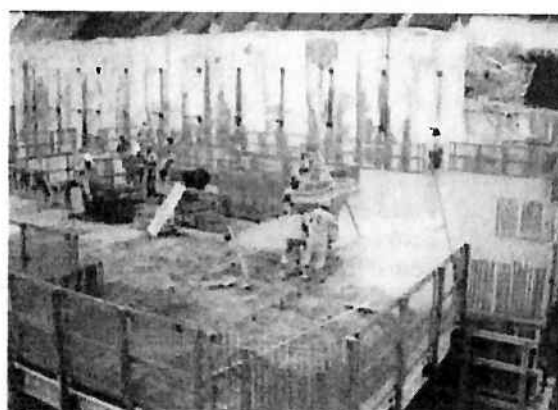
Em todas as fôrmas das pré-vigas periféricas à estrutura, e antes da concretagem destas, eram colocados espaçadores de PVC, muito bem alinhados e posicionados, pois os furos deixados após a concretagem e desforma eram utilizados para fixação dos sarrafos e compensado que constituiriam a fôrma periférica, necessária à contenção do concreto da laje sobre a pré-viga. Esta fôrma periférica era encaixada entre os suportes que serviriam de

guarda-corpo, no momento da concretagem da laje. Devia-se ter especial atenção no nivelamento desta fôrma, quando da sua montagem, visto que este nível serviria de mestra para o desempenho do concreto da laje.

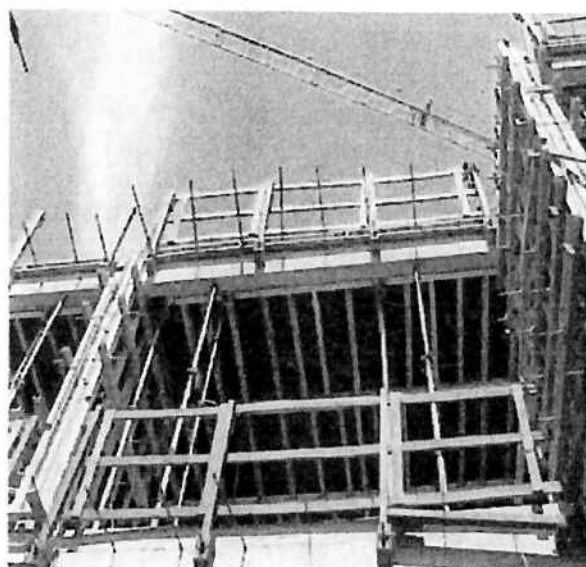
Esta proteção era feita de pontaletes e sarrafos de madeira e revestida com tela perfurada de material semelhante ao PVC, e permaneciam fixadas nos pavimentos intermediários entre as bandejas metálicas de proteção. Estas proteções eram presas com barras de ancoragens, utilizando os furos das vigas. As proteções eram retiradas no momento da execução das alvenarias externas.



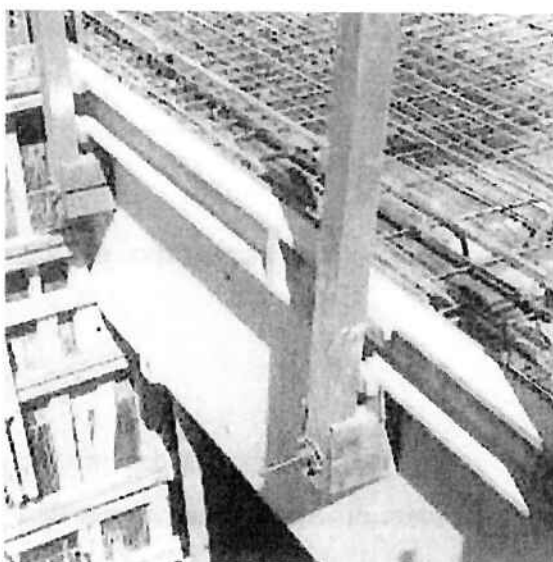
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura nº 38 (a) – Detalhe do guarda corpo na concretagem e fôrma de coluna

(b) – Detalhe do guarda corpo e da laje sendo concretada

(c) – Detalhe do posicionamento do guarda-corpo

(d) – Detalhe da fixação do guarda corpo com a barra de ancoragem

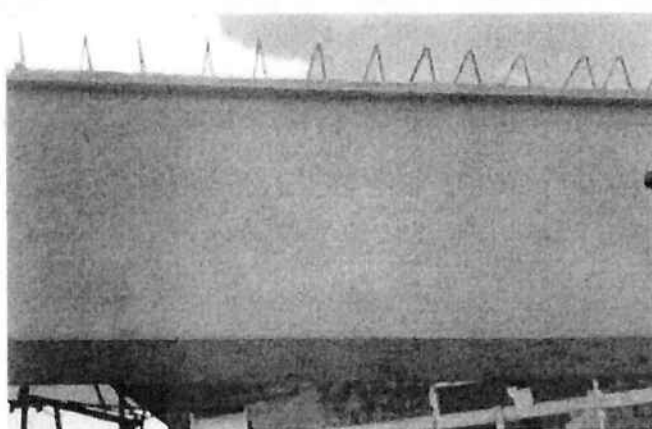


Figura nº 39 – Detalhe da aba da pré-viga periférica à estrutura

3.5. Fôrmas para as colunas

Um conceito fundamental para a confecção das fôrmas das colunas é possuir um detalhe que possibilite o apoio da pré-viga no momento da colocação da peça, e montagem posterior do assoalho da laje, bem como permitir que a sua desforma se dê após a concretagem da laje.

Assim sendo, o compensado da face maior da coluna foi dividido em três partes, de maneira que, durante a desforma, as pressões superiores não danifiquem a fôrma.

Para a estruturação deste painel, utilizaram-se grades constituídas de pontaletes e sarrafos de madeira.

As chapas de compensado do painel eram fixadas à grade com pregos de cabeça dupla, visando facilitar a desforma.

Após a colocação da armadura, dos espaçadores de PVC e dos painéis de fechamento, o travamento era feito com o auxílio de barrotes metálicos e barras de ancoragem.

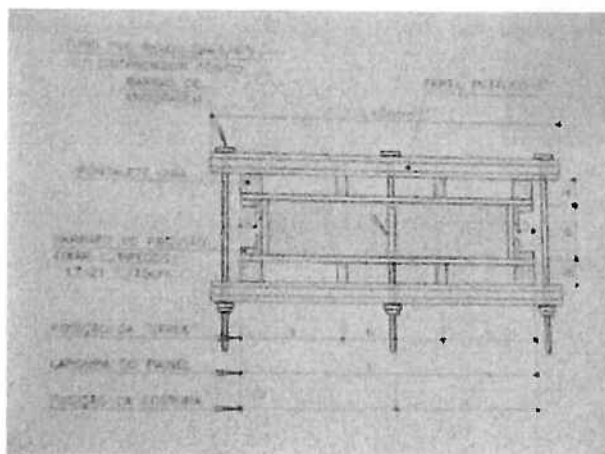


Figura nº 40 – Detalhe genérico de uma seção de coluna

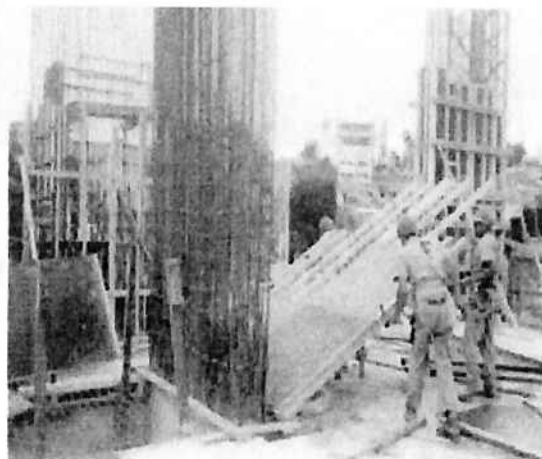
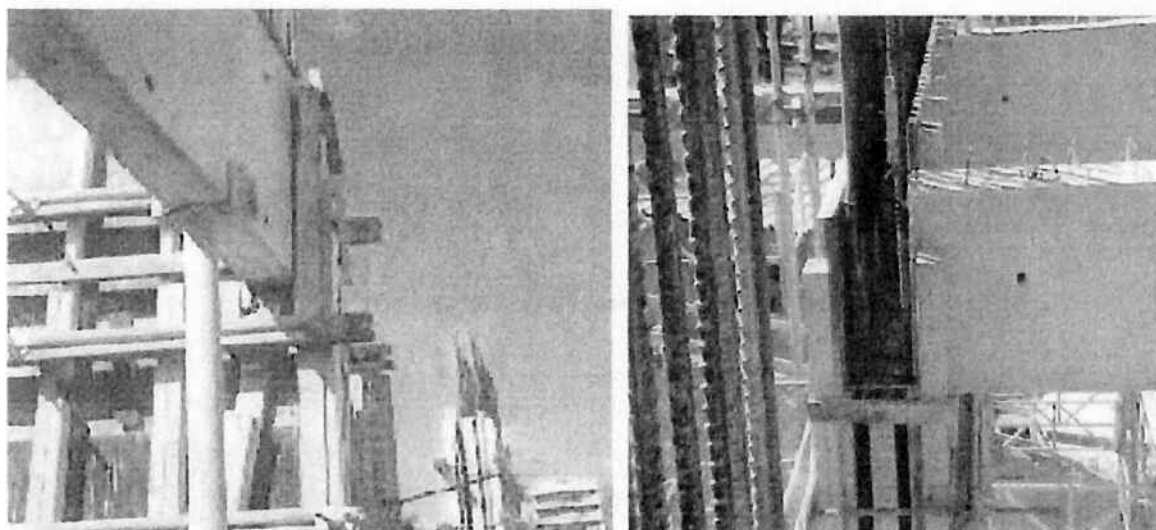


Figura nº 41 - Montagem de uma coluna



(a)

(b)

Figura nº 42 (a) - Pré-vigas apoiando na fôrma da coluna

(b) – Pré-viga apoiando na fôrma da coluna

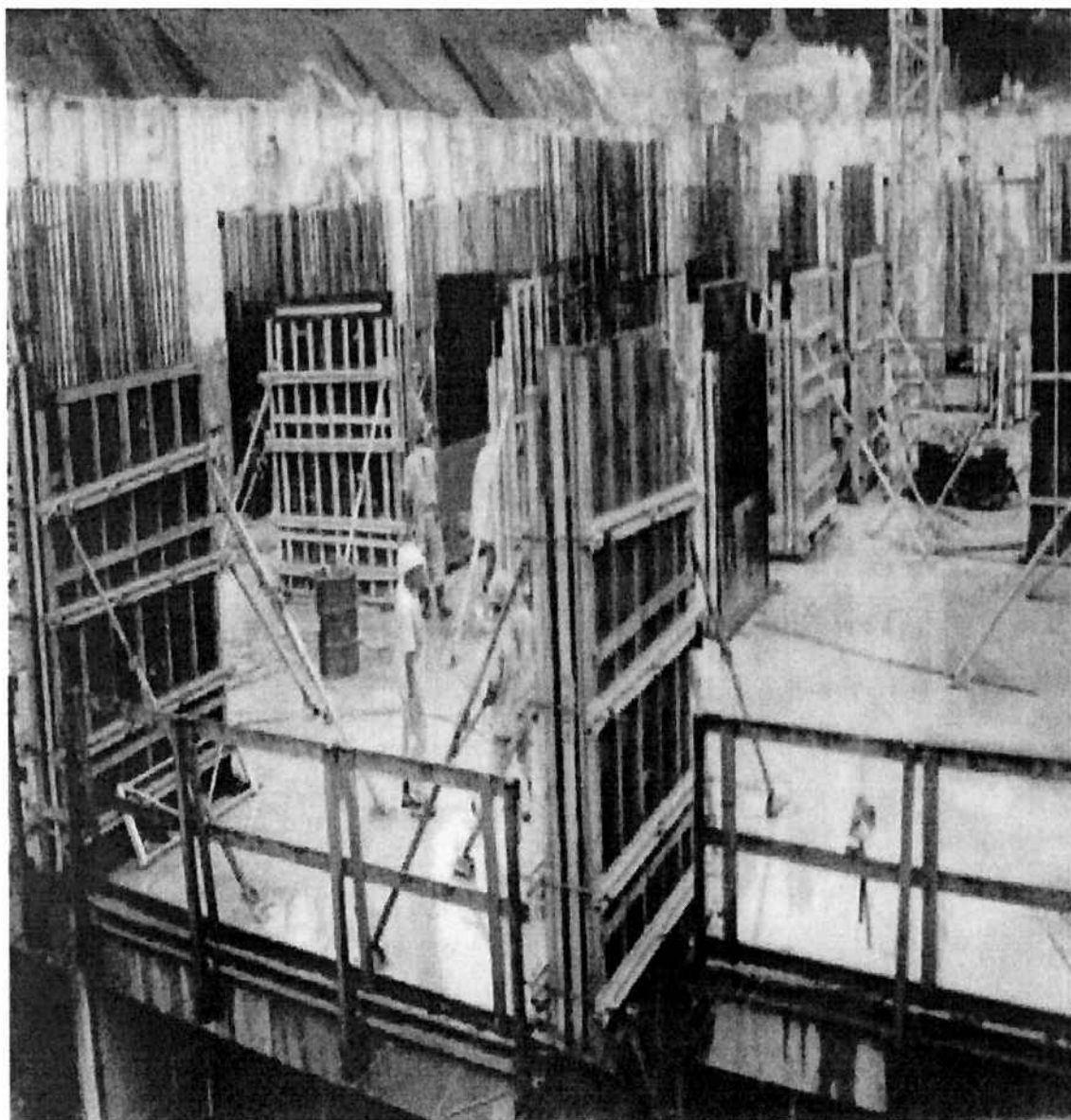


Figura nº 43 – Fôrma de coluna

3.6. Fôrma e cimbramento da laje

A J.Bianchi, empresa construtora do empreendimento, quando concebe um projeto estrutural utilizando o sistema de lajes planas maciças, parte de algumas premissas para execução da estrutura, que são controladas de maneira rigorosa no canteiro de obras.

A primeira premissa mais importante é não permitir o reescoramento das lajes e vigas. As escoras de montagem da laje permanecem imobilizadas em 100%, por um período mínimo de 28 dias.

A segunda premissa é proceder a uma cuidadosa cura úmida no concreto aplicado, por um período mínimo de 4 dias.

Diversos controles como bitola e espaçamento do aço, recobrimento de concreto sobre o aço, espaçamento entre escoras, resistência do concreto, entre outros, garantem os limites de deformações previstas no cálculo estrutural, bem como conferem qualidade, durabilidade e bom desempenho da estrutura durante a sua vida útil.

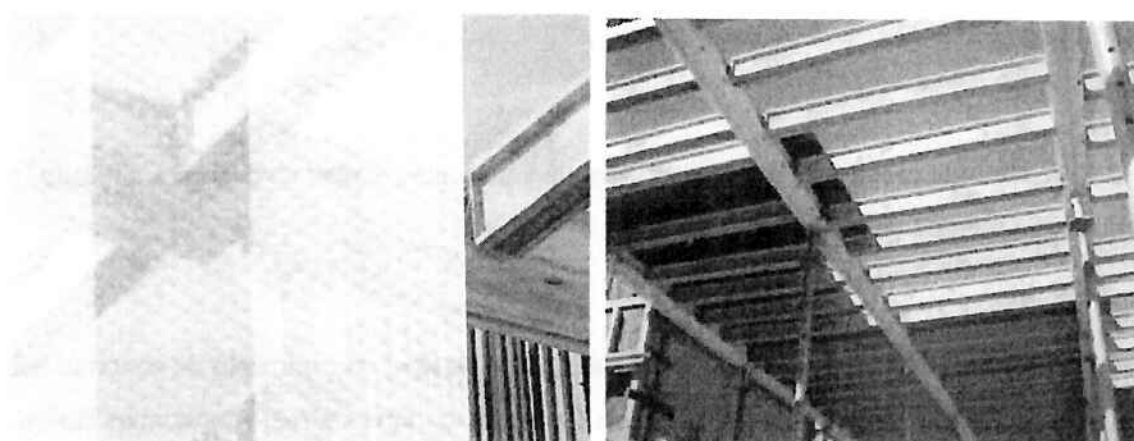
Ao limitarmos as deformações da estrutura aos níveis previstos no cálculo estrutural, estamos propiciando condições sadias ao desenvolvimento do empreendimento, tendo em vista que após a execução dos demais subsistemas como alvenaria, revestimentos, etc., os componentes destes subsistemas deverão acompanhar a movimentação total da estrutura.

Ao conceber uma estrutura em lajes planas, sabemos que esta é uma estrutura mais deformável do que uma estrutura reticulada, o que vem reforçar, ainda mais, os cuidados que devemos ter com os procedimentos e controles na sua execução.

O sistema de escoramento adotado para o empreendimento em estudo foi um sistema misto, constituído de longarinas principais e secundárias de aço, apoiadas em pontos pontuais.

As chapas de compensado lastificado do assoalho da laje tinham uma espessura de 18 cm e foram posicionadas sobre as longarinas.

Para permitir a desmontagem e reescoramento, foram utilizados três jogos adicionais de escoras e de escoras metálicas com *Drophead*³.



(a)

(b)

Figura nº 44 (a) – Escora metálica com *drophead*, sustentando as longarinas principais e secundárias

(b) - Assoalhamento da laje com as chapas de compensado sobre as longarinas

As chapas de compensado utilizadas no assoalho da laje eram numeradas de modo a serem usadas sempre na mesma posição, permitindo a inserção das faixas de escoramento permanente e o encaixe preciso entre as chapas.

³ Dispositivo que permite descer o cimbramento sem a necessidade de movimentar as escoras.

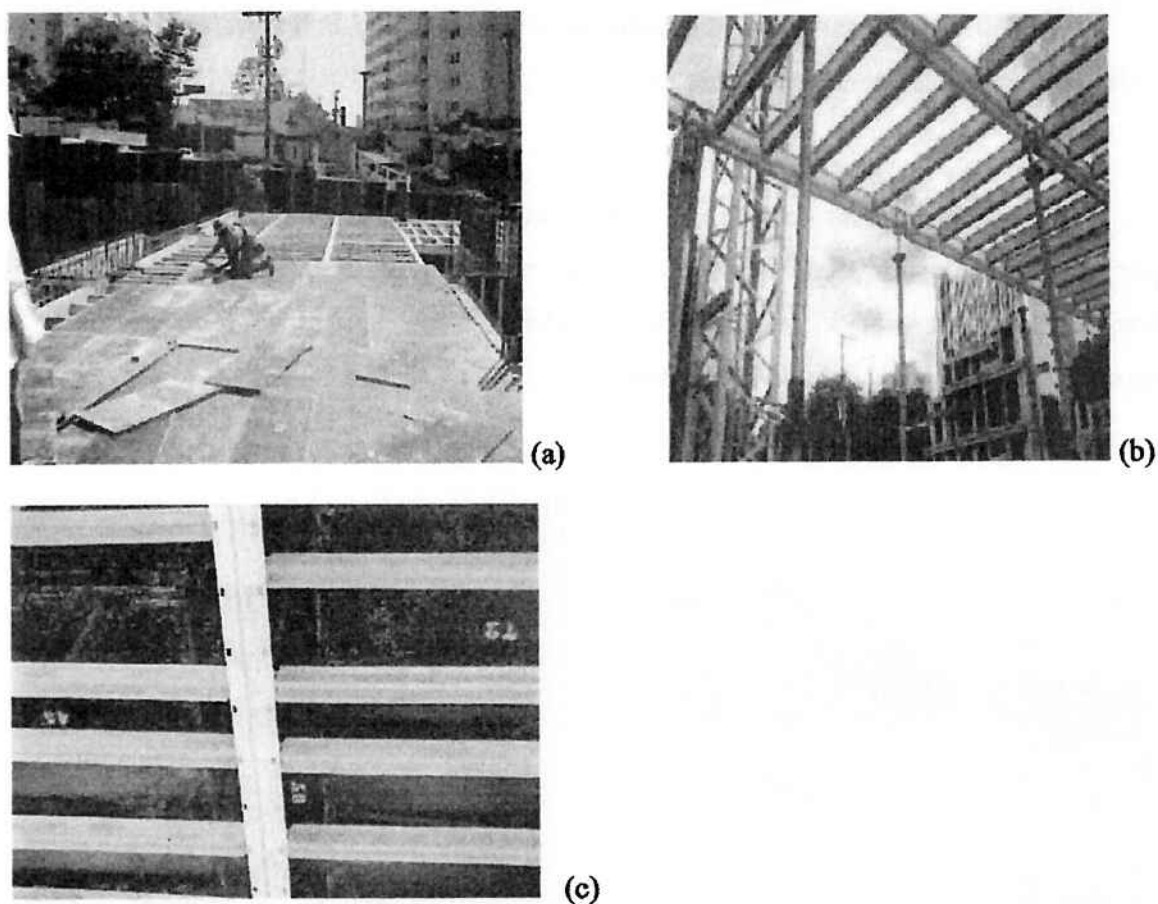


Figura nº 45 (a) – Assoalhamento da laje

(b) – Escoras e longarinas metálicas montadas

(c) – Chapas de compensado do assoalho da laje, numeradas para identificação

3.7. Armação

O processamento das barras de aço era feito na central de armação que, inicialmente, situava-se no 2º subsolo.

A central era composta de uma serra de bancada do tipo Policorte, uma bancada para dobra manual e uma dobradeira mecânica.

Depois de cortadas as barras de aço, dobradas e montadas, a armação era identificada por meio de etiqueta plástica, segundo a sua utilização no elemento estrutural e então, transportada para o pátio, também no 2º subsolo, onde aguardava o momento de ser transportada até o local definitivo de aplicação.



Figura nº 46 – Central de aço 01

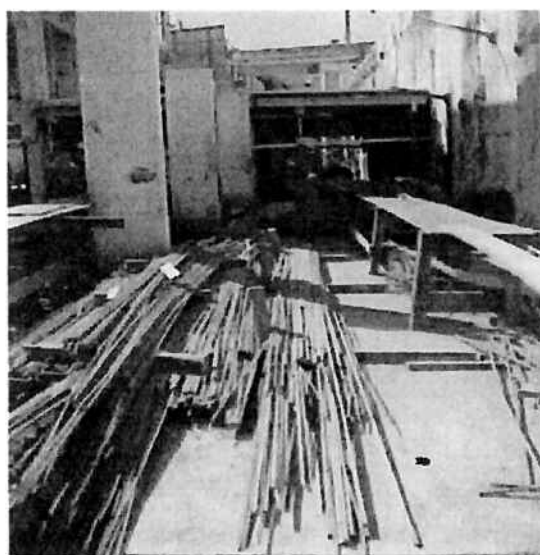


Figura nº 47 – Central de aço 02

3.8. Lançamento do concreto

O concreto utilizado nas fundações e na estrutura foi pré-misturado em usina externa à obra, com resistência especificada em projeto de $f_{ck} = 25 \text{ Mpa}$. Não houve produção de concreto no canteiro.

CAPÍTULO 4

Descrição do ciclo de execução da estrutura

4.1. 1ª Fase: Montagem das colunas

A transferência dos eixos e a locação eram feitos no dia útil subsequente à concretagem da laje inferior. Inicialmente, o ciclo de execução de um pavimento foi de seis dias trabalhados e, a partir do 10º pavimento tipo, a equipe de produção foi reduzida em dois oficiais de carpintaria e o ciclo passou para cinco dias úteis.⁴

Os trabalhos iniciavam com a transferência dos eixos da estrutura do pavimento inferior para o pavimento a ser montado, por intermédio de um aparelho *Laser*, que possuía uma base de apoio, fixada no recuo do empreendimento, localizado no pavimento térreo fora da estrutura. Este aparelho era colocado deitado, de maneira a fornecer o plano vertical próximo à estrutura e de onde pudesse ser transportado e demarcado no gancho de aço implantado na laje recém-concretada.

O projeto estrutural contemplava três eixos, dois paralelos e um ortogonal, os quais foram utilizados para representação gráfica e numérica por cotas acumuladas, em todas as faces das peças da estrutura. Estes eixos e cotas acumuladas foram muito úteis na montagem e conferência dos trabalhos, uma vez que os operários da equipe de produção não precisavam fazer somatórias e subtrações de cotas, aumentando significativamente a velocidade da marcação e a precisão da montagem e, conseqüentemente, a qualidade da estrutura final quanto aos alinhamentos, prumos e esquadros.

⁴ A redução de dois carpinteiros deveu-se à divisão da equipe inicial em duas. Cada equipe era responsável por 50% da execução do ciclo, executando sempre as mesmas colunas e os mesmos trechos de montagem da laje, o que gerou maior produtividade em função da repetitividade e até mesmo pela competição estabelecida entre as equipes.

Cabe ressaltar que estes eixos foram únicos para todos os projetos, e nasceram com o desenvolvimento dos projetos executivos de arquitetura, de fundações e estrutura, sendo empregados, posteriormente, para a elaboração dos projetos de produção, entre eles, o projeto de fôrmas para produção da estrutura de concreto.

Feita a transferência e a demarcação dos eixos, linhas de náilon eram esticadas para auxiliar na locação dos gualhos das colunas.

Os gualhos eram pregados sobre sarrafos de madeira deixados previamente no piso da laje concretada.

Os gualhos eram locados segundo a planta de locação de gualhos, com o auxílio de uma trena de aço de 30 metros de comprimento total.

Cabe ressaltar que as medidas indicadas no projeto de produção da estrutura não se referiam às faces das colunas, e sim à face interna do sarrafo do gualho, levando-se em consideração as espessuras do molde e da estruturação da fôrma, facilitando significativamente a execução do serviço e aumentando a precisão dimensional das colunas.

A locação e fixação dos gualhos era feita por dois carpinteiros e o mestre-de-obras da empreiteira, que gastavam aproximadamente três horas para executar estes serviços.

Não era permitido nenhum outro serviço simultâneo a estes, a fim de não haver qualquer tipo de interferência.

Para a montagem do gualho, quando a coluna era de canto, ou seja, com faces externas ao corpo do prédio, e tendo em vista que este não tinha a superfície da laje para servir de apoio aos sarrafos do gualho, utilizavam-se de tocos de pontaletes auxiliares que

serviam de apoio, sendo estes tocos fixados na coluna do pavimento inferior com auxílio de barra de ancoragem e furos existentes. (figura nº 49 e 50)



Figura nº 48 – Gastalho sobre a laje

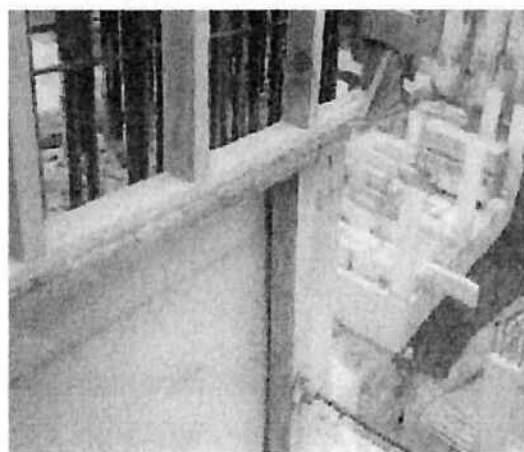


Figura nº 49 – Gastalho de canto externo

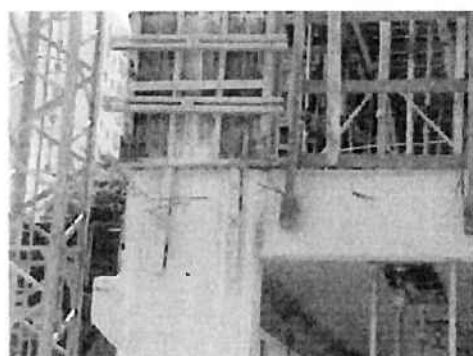


Figura nº 50 - Apoio de gastalho para coluna de canto

Simultaneamente à locação e execução dos gastalhos, 50% das colunas do pavimento inferior eram desformadas, de maneira que, ao final da execução dos gastalhos, as fôrmas estavam preparadas para iniciar a montagem das novas colunas.

A equipe de trabalho sobre a laje, que realizou os 65% finais da estrutura, era composta de seis carpinteiros e dois ajudantes. Eles faziam a desforma, a limpeza e o transporte dos painéis para o pavimento superior.

Inicialmente, soltavam-se as flanges das barras de ancoragens e estas eram retiradas, juntamente com os barrotes metálicos, liberando a grade de madeira de estruturação da fôrma da coluna. Em seguida, com auxílio de cunhas de madeira, as chapas de madeira compensada eram soltas.

Na medida em que a desforma era processada, os materiais eram armazenados para facilitar o transporte e a reutilização na laje seguinte.

Uma plataforma metálica sempre estava presente na borda da laje que estava sendo desformada, e os materiais eram transportados pela grua, fazendo uso desta plataforma.

A armação das colunas também era transportada pela grua, já montada com todos os estribos e posicionada antes da colocação dos painéis de fôrma.



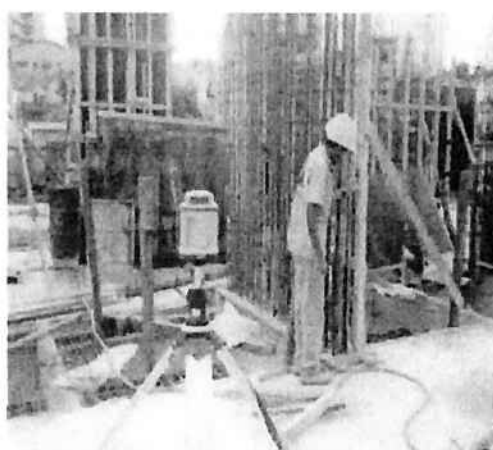
Figura nº 51 - Armação da coluna transportada pela grua

Ao posicionar a armadura, as barras de aço eram amarradas com arame recozido aos arranques existentes, de maneira a proporcionar estabilidade e rigidez à armadura.

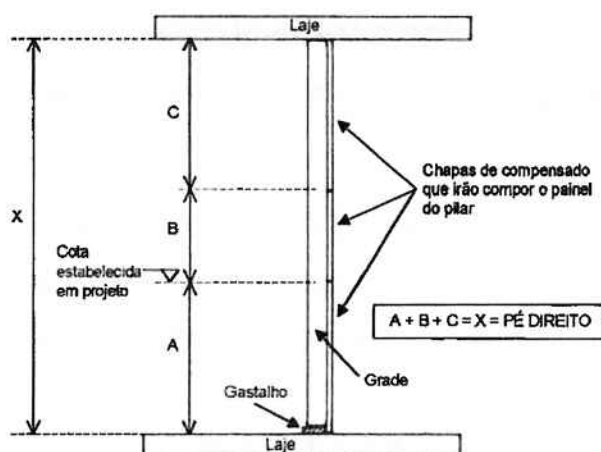
Colocadas as armações das colunas, iniciava-se a montagem das fôrmas.

A primeira atividade era o posicionamento da grade para estruturar o painel maior da coluna sobre o gualho, aprumando-a e nivelando-a, visto que o gualho não havia sido previamente nivelado, travando-a na posição com mãos-francesas de sarrafos de madeira.

Na sequência, com o uso do aparelho *Laser*, demarcava-se na grade, o nível da parte superior da chapa inferior de compensado, de acordo com o projeto de fôrmas. (figura nº 52) O nivelamento da grade e o posicionamento da primeira chapa, visavam garantir a cota e o nivelamento dos fundos de vigas e lajes, visto que as chapas superiores tinham dimensões pré-definidas, e que somadas ao nivelamento anterior, resultariam no pé-direito estabelecido em projeto. (figura nº 53)



52



53

Figura nº 52 – Marcação na grade do nível da primeira chapa do painel da coluna

Figura nº 53 – Detalhe esquemático do posicionamento do gualho, da grade e das chapas de compensado da fôrma da coluna

Anteriormente à fixação das demais chapas na grade, era aplicado o desmoldante com um rolo de espuma ou pulverizador. O procedimento se repetia para os painéis menores da coluna.

Enquanto os carpinteiros fixavam e aprumavam a grade, os armadores colocavam os espaçadores plásticos nos estribos, de modo a garantir o recobrimento de projeto.

As barras de ancoragem foram passadas pelos furos do primeiro painel, esperando o fechamento completo da fôrma para serem fixadas. Dentro da coluna, as barras de ancoragem ficavam “encamisadas” em tubo de PVC e com distanciadores cônicos plásticos nas pontas, de maneira a assegurar a largura da coluna e facilitar a retirada destas barras após a concretagem.

Em seguida, eram colocados os painéis menores, obedecendo aos níveis dos demais painéis e, então, o segundo painel maior, passando as barras de ancoragem pelos seus furos.

As barras de ancoragem eram posicionadas por entre os barrotes metálicos horizontais que, posteriormente, eram presas com as flanges roscáveis sem, no entanto, dar o aperto final.

Na seqüência, a coluna era aprumada, prendendo-se no seu topo um sarrafo que sustentava um peso, que permitia conferir a verticalidade da coluna, medindo-se as distâncias horizontais entre o arame e o painel, na parte inferior e superior desta.

Depois de concluída a montagem da fôrma de cada coluna, o mestre procedia à conferência de prumo e nivelamento do topo de todas elas.

4.2. Concretagem das colunas

As colunas foram concretadas “solteiras”, ou seja, antes de iniciar a colocação das pré-vigas e a montagem da laje.

O lançamento e adensamento do concreto foram feitos com auxílio de um andaime metálico, montado com vigas de madeira do tipo H 20 e tubos metálicos com roldanas de movimentação, solução adotada especificamente para este fim. (figura nº 54)



Figura nº 54 - Andaime metálico e caçamba tipo funil, com mangueira flexível, utilizados nas concretagens das colunas.

Apesar de possuir roldanas, a estrutura do andaime permitia que a grua também fizesse a sua movimentação de uma coluna para a outra.

Havia duas frentes de trabalho, permitindo que duas colunas fossem concretadas simultaneamente, com o transporte das caçambas com concreto alternando entre as duas frentes.

Para cada frente de trabalho havia um pedreiro no andaime, fazendo o lançamento e o adensamento do concreto, enquanto um carpinteiro acompanhava a eventual ocorrência de desvio de prumo.

Após a concretagem das colunas, um ajudante procedia à lavagem da parte externa da fôrma e da base da coluna com água pressurizada, conservando os materiais e facilitando a desforma. (figura nº 55)



Figura nº 55 - Limpeza da coluna com jato de água após a concretagem

4.3. Colocação das pré-vigas

As pré-vigas eram transportadas pela grua, com o auxílio de uma treliça espacial metálica, especialmente confeccionada para este fim e para transporte de feixes de aço e afins. (figura nº 56 e 57)

A pré-viga era transportada da área de armazenamento e apoiada sobre a fôrma dos painéis das colunas e sobre duas escoras metálicas com forçado. (figuras nº 42 (a) e (b))

Ao apoiar-se na fôrma da coluna, esta já se apresentava nivelada, não havendo necessidade da utilização de cunhas ou enchimentos.

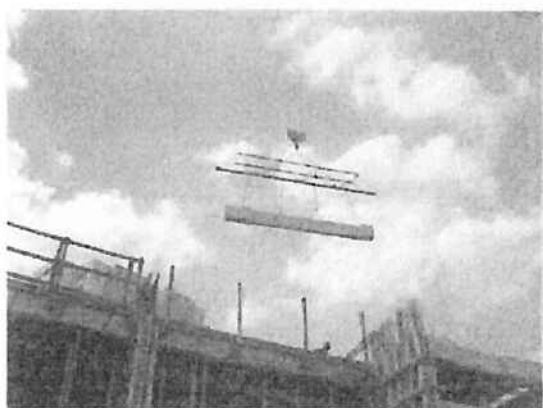


Figura nº 56 - Transporte da pré-viga 01

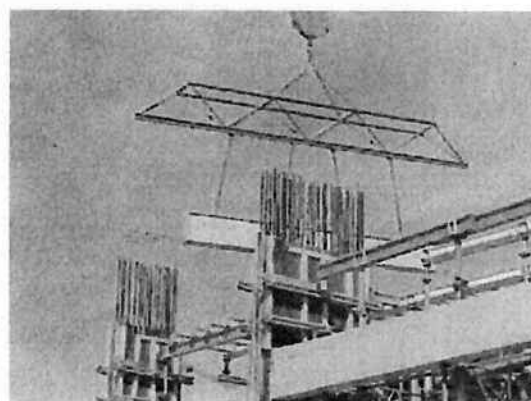


Figura nº 57 - Transporte de pré-viga 02

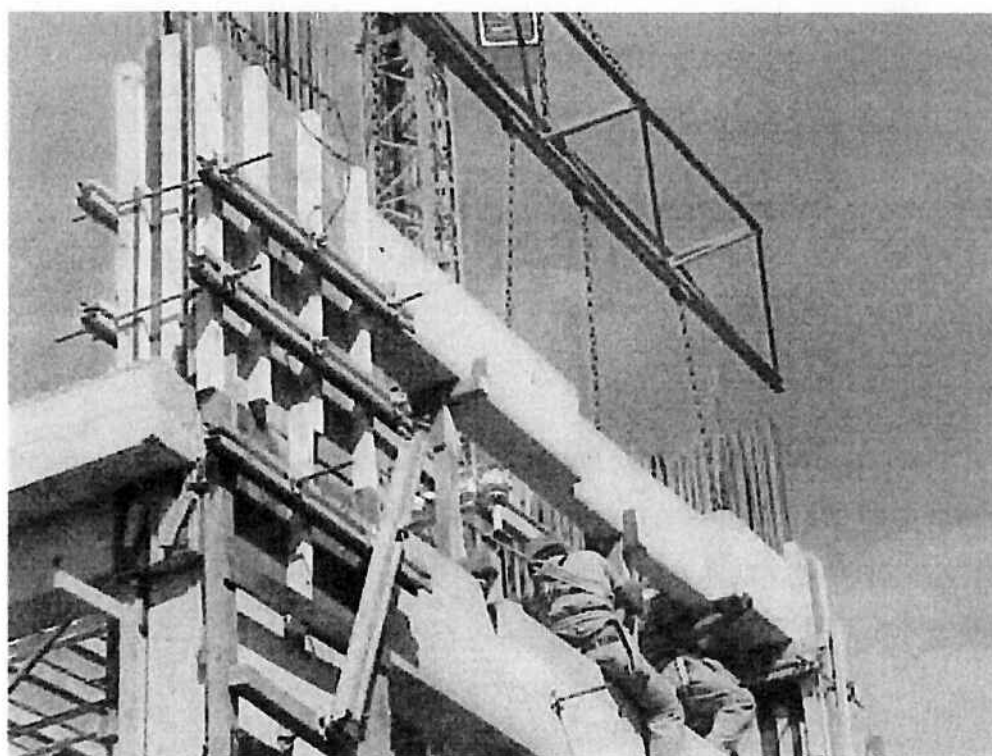


Figura nº 58 - Colocação da pré-viga na fôrma da coluna, com auxílio da treliça metálica e grua

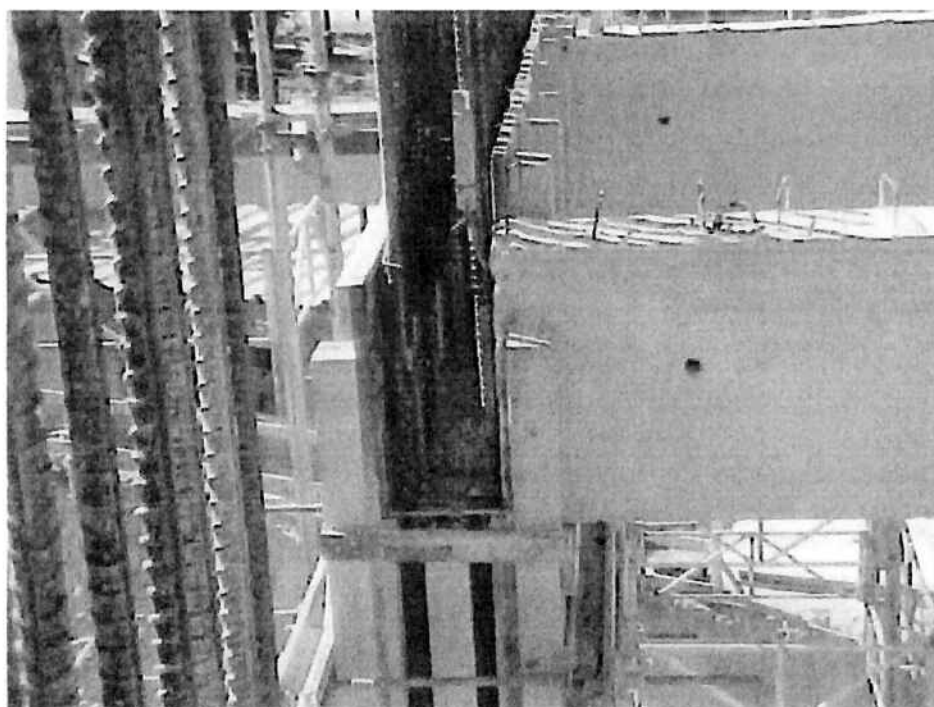


Figura nº 59 - Pré-viga apoiada na fôrma da coluna

Cabe ressaltar que, apesar do projeto de produção das pré-vigas contemplar desvios nas armaduras que convergem para o apoio, pela alta densidade de armadura devido à altura do empreendimento, em alguns casos as barras se chocavam e havia a necessidade de ajustes por parte dos armadores.

A verificação dos níveis da estabilidade e da segurança do escoramento era feita posteriormente, pelo mestre da obra.

O projeto de produção e detalhamento das pré-vigas apresentava uma tabela contendo um plano sequencial para a sua montagem. O planejamento da execução do ciclo determinava a sequência de montagem da laje, à medida que as pré-vigas fossem sendo liberadas.

4.4. Montagem da fôrma da laje

No segundo dia do ciclo, com 50% das colunas concretadas, dava-se início à colocação das pré-vigas e ao início da montagem da laje no trecho correspondente. Simultaneamente eram montadas e concretadas as demais colunas do pavimento.

O início da montagem da laje se dava com a locação das escoras, em obediência ao projeto de fôrmas. Este posicionamento era muito importante tendo em vista que o sistema de cimbramento era do tipo modular, com distâncias entre escoras pré-determinadas e moduladas com o comprimento das longarinas.

Para demarcar os alinhamentos das escoras utilizou-se de uma linha de sisal, de pó Xadrez e de lápis carpinteiro.

Para equilibrar as escoras foram usados tripés e, à medida que iam sendo posicionadas, estas já apresentavam o seu nivelamento “grosso”, pois os operários sabiam e deixavam o pino de travamento sempre preso no 7º furo da flauta telescópica.

Em seguida, as longarinas eram colocadas por dois operários, ou seja, um ia passando a peça para o outro, e este a encaixava na cabeça da escora. (figura nº 60)



Figura nº 60 - Montagem da longarina de alumínio sobre a cabeça da escora metálica

Após a montagem de duas linhas paralelas de longarinas principais, iniciava-se a colocação da longarinas secundárias, as quais encaixavam-se lateralmente às principais e possuíam o mesmo nível na face superior.

A seqüência se repetia até o 3º dia, quando toda a extensão da laje estava coberta.

No 3º dia do ciclo, enquanto uma equipe montava a 2ª etapa do cimbramento, a outra equipe iniciava o assoalhamento da laje com compensado, começando por um ponto bem definido da laje e obedecendo ao projeto de fôrmas, que posicionava todas as chapas, através de demarcação numerada. (figuras nº 61 e 62)

As chapas de compensado eram pregadas nas longarinas, deixando a cabeça do prego para fora da chapa, de modo a facilitar possíveis ajustes nas posições.



Figura nº 61 - Assoalhamento da laje 01



Figura nº 62 - Assoalhamento da laje 02

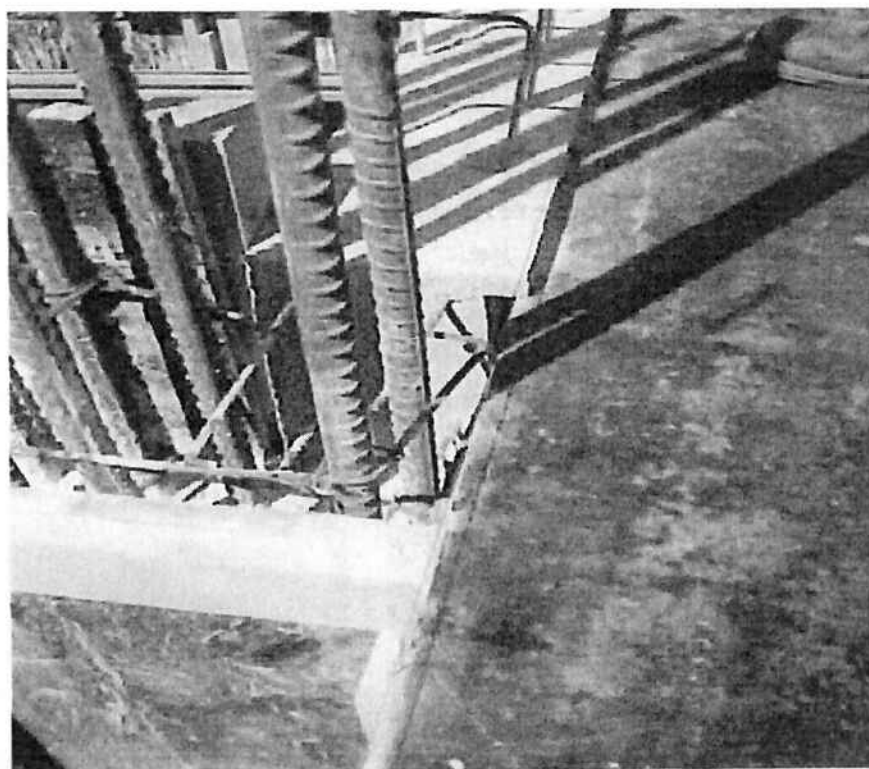


Figura nº 63 - Compensado do assoalho sob a aba da pré-viga

Depois de concluída a colocação das chapas, nivelava-se todo o conjunto com aparelho a *laser* pela face inferior da fôrma do assoalho, rebatendo-se os pregos.

Após o assoalhamento da laje com compesado a armação, devidamente identificada, era transportada pela grua. Esta identificação era feita com etiquetas de madeira.

Neste momento, as caixinhas elétricas de passagem e de interligação de eletrodutos eram posicionadas e fixadas no compensado por meio de compressor elétrico e grampo.

Para fazer a demarcação da posição do aço no assoalho, este foi riscado com pedaço de gesso, facilitando a montagem das armaduras positivas longitudinais e transversais, com os seus respectivos espaçamentos.

Simultaneamente à demarcação da armação da laje, um armador distribuía a ferragem transversal e, a seguir, a longitudinal. Um outro armador amarrava as barras com arame recozido, colocando também os distanciadores plásticos sob a armação positiva, de modo a garantir o recobrimento de concreto especificado no projeto. (figuras nº 64, 65 e 66)

Na sequência, a armação negativa da laje era posicionada e apoiada sobre “caranguejos” e complementada a armação das vigas com a colocação das barras da armação negativa. (figuras nº 64, 65 e 66)

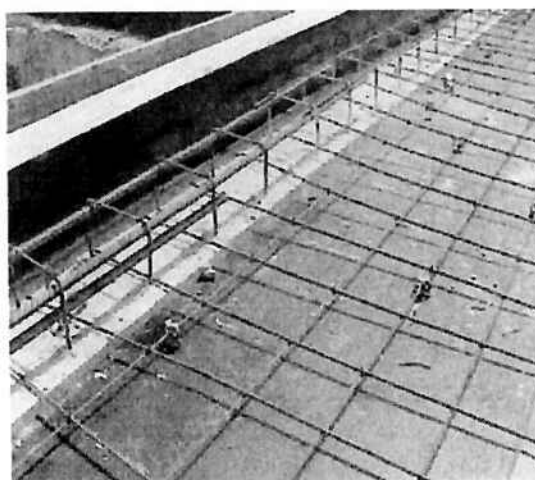
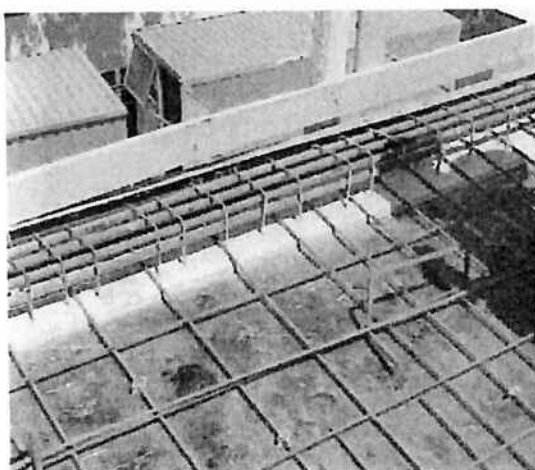


Figura nº 64 - Armação negativa da pré-viga e armação positiva da laje 01

Figura nº 65 – Armação negativa da pré-viga e armação positiva da laje 02

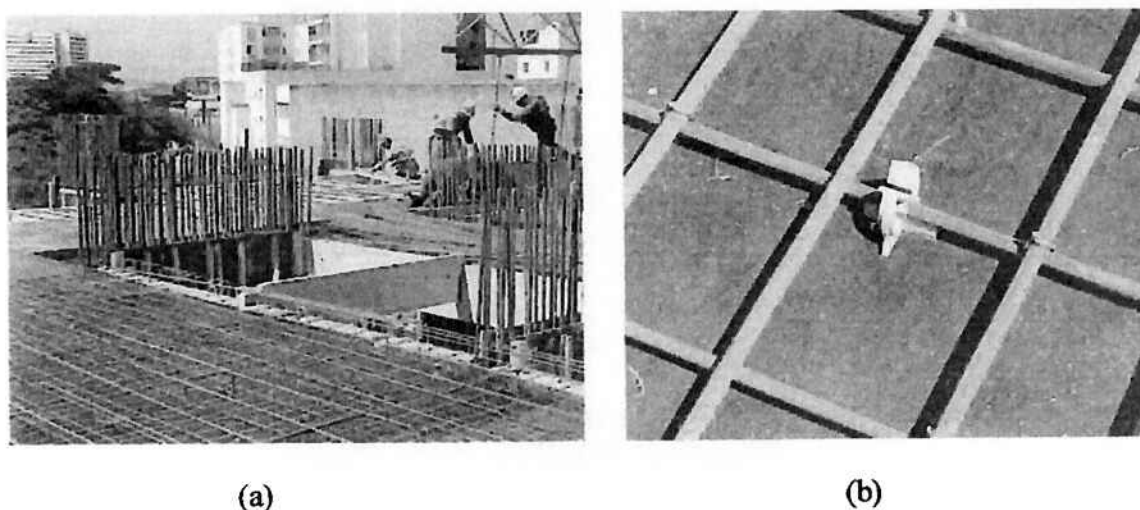


Figura nº 66 (a) - Armação negativa da laje com caranguejos

(b) – Armação positiva da laje com distanciador plástico

Após a colocação da armadura positiva, as equipes das instalações elétricas e hidráulicas iniciavam a distribuição dos eletrodutos e demais trabalhos.

A equipe de carpinteiros, em seguida, posicionava e fixava pedaços de eletroduto verticalmente à laje, de maneira a conseguir ficar passante após a concretagem do pavimento. Este furo passante serviria, posteriormente, para prender os aprumadores metálicos das colunas.



Figura nº 67 – Peça de eletroduto passante na laje

O pedaço de eletroduto era encaixado em uma peça plástica triangular, a qual era fixada por meio de grampo, sob pressão de um compressor elétrico. (figura nº 67)

Na sequência, colocavam-se as golas, ou seja, os sarrafos para complemento de fôrma de pré-viga periférica para contenção do concreto da laje, juntamente com o guarda-corpo de proteção.

Estas golas eram fixadas por meio de barras de ancoragem passantes nos furos deixados nas pré-vigas, conforme relatado anteriormente, no item de produção de pré-moldados. A gola era nivelada e fixada através de cunhas e servia de mestra para o sarrafeamento do concreto da laje.

As mestras que serviriam para sarrafeamento do concreto da laje eram feitas com barras metálicas *metalon* colocadas sobre base plástica triangular, que também eram fixadas com grampo sob pressão de compressor elétrico. As mestras distavam entre si dois metros, para permitir o alcance da régua de alumínio, quando do sarrafeamento.

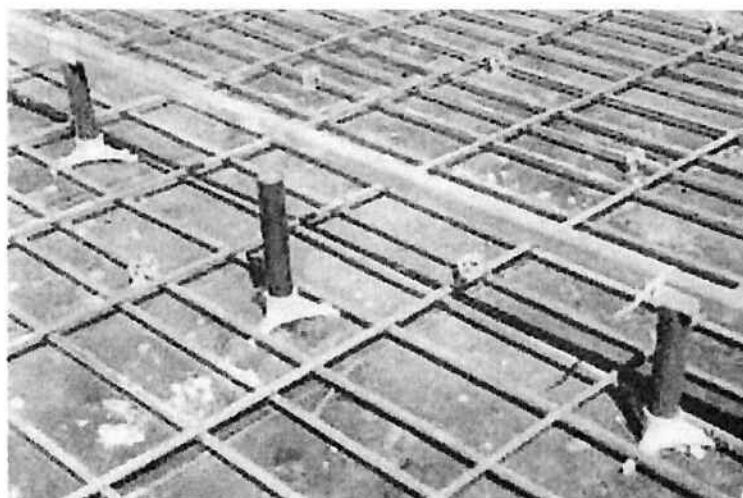


Figura nº 68 - Metalon apoiado em bases plásticas, fazendo a mestra para o concreto

Após estar tudo preparado para a concretagem, a fôrma era molhada por aspersão mecânica de água.

A concretagem, com a grua foi feita até o 14º pavimento, utilizando duas caçambas de 500 litros cada uma. Em virtude do maior percurso para o transporte do concreto, o tempo de concretagem aumentou significativamente, tornando mais viável o uso de concreto bombeado, o que ocorreu a partir do 15º pavimento.

A concretagem iniciava-se em um dos cantos do pavimento e terminava junto à caixa de escada, por onde os operários saíam ao final dos serviços.

Após o adensamento com vibrador de agulha, o nivelamento era feito sarrafeando o concreto. Com o concreto nivelado, as barras de *metalon*, que serviram de mestras, eram retiradas do concreto e colocadas em outras bases onde o concreto ainda não havia sido lançado. As bases plásticas ficavam oclusas na laje, definitivamente.

Durante a concretagem, o encarregado de fôrmas procedia à conferência do nivelamento inferior da laje, utilizando o aparelho a *Laser* e, quando necessário procedendo ajustes.

Não era feita a conferência do nivelamento da face superior da laje, tendo em vista que o assoalho era rigorosamente nivelado e as alturas das mestras eram precisas.

4.6. Desforma da laje

A desforma iniciava-se abaixando as cabeças descendentes das escoras, batendo com um martelo na lateral da cabeça. Como as longarinas principais eram apoiadas nas “cabeças” e as secundárias apoiadas nas principais, ambas também desciam com o abaixamento das “cabeças” descendentes. Com o auxílio de cavaletes, retiravam-se as longarinas secundárias e, posteriormente, as longarinas principais, empilhando-as organizadamente de modo a facilitar o transporte para o pavimento superior.

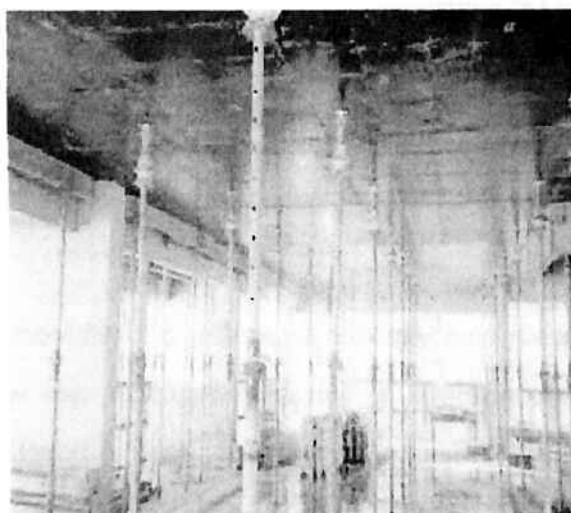


Figura nº 69 – Escoras posicionadas após a retirada das longarinas

A figura nº 69 mostra a desforma da laje com a retirada das longarinas, sem mexer com as escoras, que ficavam permanentes por 28 dias. Notar que estas escoras estão sob tiras de compensado, as quais permaneciam presas pelas escoras.

Para evitar a queda brusca das chapas de compensado quando da desforma, utilizou-se de corda amarrada em colunas e escoras, fazendo-se uma espécie de rede, que amorteciam a queda destas chapas, evitando que tocassem a laje. Este procedimento preservava a qualidade da chapa e, conseqüentemente, obteve-se vida útil maior.

O escoramento permanente era mantido em 100% nos três pavimentos abaixo da laje em montagem.

4.7. Características da mão-de-obra

A mão-de-obra para a execução da estrutura era empreitada. A equipe de produção era composta por um encarregado que recebia salário fixo, sem “tarefa”⁵. Os demais operários eram “tarefados”, porém a “tarefa” não era medida apenas pela produção.

A avaliação do cumprimento da “tarefa” era feita pelo encarregado, pelo mestre e pelo engenheiro, e contemplava diretrizes com percentuais variados, cujos valores eram relativos à qualidade do serviço (25%), produtividade (25%), limpeza e organização (15%), reaproveitamento de material (15%) e segurança do trabalho (20%), juntamente com a atribuição de notas de 0 a 10 que, multiplicadas pelos seus pesos, eram somadas e multiplicadas por 100 horas-prêmio, resultando no valor a ser pago como “tarefa”.

A equipe administrativa da empreiteira era composta por um engenheiro, um mestre-de-obras e um encarregado administrativo.

⁵ Modalidade de pagamento muito utilizado junto às equipes de carpinteiros, onde se negocia antecipadamente o número de horas a serem pagas ao trabalhador para a execução do serviço.

CAPÍTULO 5

Produtividade da mão-de-obra

5.1. Fôrmas

Freire, (2001), discorreu sobre a produtividades nos serviços de fôrma, armação e concretagem, apropriadas por ele neste empreendimento no ano 2000.

Segundo Freire, (op.cit.) , os dados relativos à produtividade na execução das fôrmas são relativos a um pavimento tipo e um trecho de periferia. Ressalta-se que para o cálculo das horas trabalhadas, não foi computado o encarregado de fôrmas, mas apenas as equipes de carpinteiros e serventes da torre, da periferia e da produção das pré-vigas e escadas.

No estudo de produtividade no serviço de fôrmas, o Engº Freire levantou os dados indicados na tabela 5.1.

Tabela 5.1: Dados relativos à produtividade na execução das fôrmas

LOCAL ESTUDADO	HORAS TRABALHADAS (Hh)	ÁREA EXECUTADA (m2)	RUP ⁶
Torre – 5º pavimento	439	848,63	0,52
Periferia – Térreo	430	444,73	0,97

Segundo Souza, 1996, a **RUP** é a Razão Unitária de produção, ou seja, é um índice de produtividade que corresponde à relação entre a quantidade de horas gastas e a quantidade de serviço executada em um determinado período.

⁶ Indicador utilizado para o cálculo da produtividade da mão-de-obra e que corresponde à relação entre a quantidade de horas gastas e a quantidade de serviço executada em um determinado período.(Souza, 96)

5.2. Armação

Como a equipe de armadores era a mesma para a torre e para a periferia, a produtividade do serviço constante na tabela considerava um trabalho único, englobando os dois locais a que a armação se destinava. Neste caso, também não foi computado o encarregado de armação nas horas trabalhadas; apenas os armadores e serventes.

Os dados obtidos são indicados na tabela 5.2.

Tabela 5.2: Dados relativos à produtividade no serviço de armação

LOCAL ESTUDADO	HORAS TRABALHADAS (Hh)	kg DE ARMAÇÃO (kg)	RUP (Hh/kg)
Torre (4º e 5º pavimentos) + Periferia (térreo)	820	14.787	0,055

5.3. Concretagem

No estudo da produtividade no serviço de concretagem, a tabela 5.4 apresenta uma análise global da produtividade da torre e da periferia. A tabela 5.3 apresenta os dados separados em pilares, lajes e vigas da torre, e pilares e lajes da periferia. As horas dedicadas aos serviços consideraram: preparação inicial (limpeza, colocação de mestras e molhagem), lançamento, espalhamento, adensamento, nivelamento e acabamento com desempenadeira *Bull-float*, além do servente que ficava junto ao caminhão betoneira, trocando as caçambas de concreto.

As horas foram computadas desde o momento em que os operários ficavam disponíveis para o serviço, até a conclusão do acabamento superficial.

Tabela 5.3: Dados relativos à produtividade do serviço de concretagem

LOCAL ESTUDADO	MÉTODO DE TRANSPORTE DO CONCRETO	HORAS TRABALHADAS (Hh)	VOLUME CONCRETADO (m ³)	RUP (Hh/m ³)
Pilares da torre (4º ao 5º pavimento)	Grua	60	30	2,0
Pré-vigas da torre	Grua	10,5	15,0	0,7
Laje da torre (5º pavimento)	Grua	100	58,5	1,71
Pilares da periferia	Grua	2	5,5	0,36
Laje da periferia (1º subsolo)	Grua	20	17,0	1,17
Laje da periferia (térreo)	Bombeamento	21	47,5	0,44

Tabela 5.4: Análise global das produtividades do serviço de concretagem

LOCAL ESTUDADO	TOTAL DE HORAS TRABALHADAS (H/h)	VOLUME CONCRETADO (m ³)	RUP (Hh/m ³)
Torre – pilares + vigas + laje	170,5	103,5	1,65
Periferia – pilares + lajes	43	70,0	0,61

A tabela 5.5 apresenta os dados relativos ao consumo de concreto nas concretagens de laje, vigas e escadas pré-moldadas. Para se obter o valor das perdas de concreto, fez-se uma relação entre o volume teoricamente necessário e o volume real, que foi o volume efetivamente adquirido pela obra, obtido através das notas fiscais.

Tabela 5.5: Dados relativos às perdas de concreto

LOCAL ESTUDADO	MÉTODO DE TRANSPORTE DO CONCRETO	VOLUME NECESSÁRIO (m ³)	VOLUME REAL (m ³)	PERDA %
Laje da torre (5º pavimento) + escada e vigas pré-moldadas (6º pavimento)	Grua	74,31	75,5	1,6

Abaixo estão reproduzidos índices de produtividade de mão-de-obra nos serviços de fôrma, armação e concretagem de estruturas reticuladas de concreto armado, cujos dados foram coletados em cinco obras, no Estado de São Paulo, pela equipe de pesquisa da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (1998):

SERVIÇO DE FÔRMAS

Obra SP 101 – RUP global 0,69 Hh/m² de fôrma

Obra SP 115 – RUP global 0,81 Hh/m² de fôrma

Obra SP 120 – RUP global 0,58 Hh/m² de fôrma

SERVIÇO DE ARMAÇÃO

Obra SP 101 – RUP global 0,05 Hh/kg (aço pré-cortado e pré-dobrado)

Obra SP 115 – RUP global 0,05 Hh/kg (aço pré-cortado e pré-dobrado)

Obra SP 120 – RUP global 0,07 Hh/kg (aço pré-cortado e pré-dobrado)

SERVIÇO DE CONCRETAGEM – Concreto bombeado

Obra SP 101 – RUP global Pilares + escadas – 2,96 Hh/m³

Vigas e lajes - 2,58 Hh/m³

Obra SP 115 – RUP global Pilares + escadas – 2,47 Hh/m³

Vigas e lajes - 2,47 Hh/m³

Obra SP 120 – RUP global Pilares + escadas - 1,91 Hh/m³

Vigas e lajes - 2,50 Hh/m³

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho procurou evidenciar que a racionalização e a produtividade de materiais e de mão-de-obra têm um fundamento muito forte, enquanto a utilização dos preceitos do pré-moldado constitui um valioso recurso de *Industrialização da Construção Civil*.

Por meio de nossas análises, objetivamos comprovar que a *Industrialização da Construção Civil* é o caminho pelo qual as empresas construtoras deverão seguir, em um futuro muito próximo, se quiserem melhorar as suas condições de trabalho, rumo à redução de custos e prazos na execução das obras.

O campo de aplicação do concreto pré-moldado é bastante amplo, abrangendo praticamente toda a Construção Civil, tais como construção de pontes, viadutos, túneis, obras portuárias, usinas geradoras de energia, diversas obras civis de infra-estrutura urbana, hospitais, terminais rodoviários e ferroviários, bem como edificações industriais, comerciais e habitacionais.

Em princípio, o emprego da pré-moldagem aumenta com o grau de desenvolvimento tecnológico e social do país, pois este acarreta maior oferta de equipamentos, valorização da mão-de-obra e exigências mais rigorosas em relação à qualidade dos produtos. Desta forma, acreditamos que as perspectivas são de aumento do emprego do concreto pré-moldado, em países em desenvolvimento como o Brasil.

Constituiu, inicialmente, objeto de nossa análise a introdução do uso do pré-moldado, ainda que de forma acanhada e não industrializada, porém potencializado, associado ao concreto moldado no local.

Durante todo o transcorrer do nosso trabalho, pautamo-nos pela visão de que, fundamentalmente, a mudança cultural tecnológica voltada à pré-moldagem nos levaria a uma reflexão pormenorizada sobre o emprego dos materiais e da mão-de-obra aplicados a um determinado empreendimento de maneira sistêmica e, comparativamente, ao sistema convencional.

Também nos interessou, sobremaneira, as premissas básicas que devem ser incorporadas por toda a equipe técnica quando enfocamos a pré-moldagem. O comprometimento das equipes com a execução dos projetos e a execução da obra é muito maior que o verificado quando utilizamos os sistemas convencionais. Tais comprometimentos, associados à versatilidade do sistema construtivo, certamente nos proporcionaram alcançar os nossos objetivos, que são maior qualidade, menor custo e menor prazo.

Primeiramente partimos da premissa de que a racionalização e produtividade passam, necessariamente, pelo processo de industrialização. Em seguida abordamos as características de projeto estrutural e de produção, consignando que, mantido o monolitismo e a hiperestaticidade da estrutura, estávamos produzindo um produto semelhante àquele que sempre fizemos, e de cujo desempenho somos conhecedores.

Na maior parte dos livros sobre concreto pré-moldado é relacionada uma série de vantagens da pré-moldagem. No entanto, a consideração do que é vantagem e do que é desvantagem ou inconveniente é um assunto que se torna, muitas vezes, polêmico.

Nós nos limitamos, neste trabalho, a comentar somente os ganhos verificados especificamente no empreendimento estudado, relativamente a uma estrutura reticulada de concreto armado moldada no local.

Com base nos dados apresentados anteriormente, podemos concluir que os índices de produtividade observados no empreendimento em estudo são melhores que os apropriados nas outras obras pesquisadas.

Entretanto, destacamos que os ganhos com a produtividade devem ser analisados em conjunto com outras características e desempenho que o sistema proporciona, tais como:

1. Escada pré-moldada

- 1.1. Servem de auxílio à concretagem da laje em execução;
- 1.2. Redução de etapas executivas, pois, após a pré-moldagem, apresenta patamares, degraus e tetos acabados, ou seja, não necessitam de revestimentos para acabamento.

2. Estrutura, alvenaria e revestimento

- 2.1. As eliminações das imprecisões e garantia de execução da obra de acordo com o projeto permite a redução do custo final da obra.
- 2.2. Face à exatidão dos elementos pré-moldados e à variação mínima do prumo da estrutura, obtém-se uma redução no custo, com a diminuição de revestimento das paredes internas e externas, proporcionada pela utilização de espessura mínima permitida por norma para revestimentos de fachada e o mínimo necessário para os revestimentos internos.
- 2.3. Variação mínima de concreto e aço devido às condições de trabalho.
- 2.4. Com a redução da perda decorre, automaticamente, uma redução no entulho gerado.
- 2.5. Reduz a quantidade de cimbramento das vigas e escada.

- 2.6. Possibilita o uso de componentes industrializados, como proteções periféricas de pavimento.
- 2.7. Tendo em vista o baixo peso das peças pré-moldadas do sistema, o equipamento de içamento (grua) pode ser de pequena capacidade.
- 2.8. A mão-de-obra especificada constitui-se, em média, menor que a mão-de-obra utilizada no sistema convencional.
- 2.9. Nas estruturas com lajes sem vigas internas, ficam diminuídas as interferências com os outros subsistemas. Executando-se as alvenarias internas com esquadro e prumo, não há necessidade de engrossamento de revestimento, devido à ausência de vigas. Os engrossamentos, via de regra, são decorrentes das dificuldades de se executar vigas moldadas no local, com qualidade.
- 2.10. Cabe ressaltar que a central de pré-moldados no canteiro é muito simples de ser implantada. Ela é funcional, racional e garante uma ótima qualidade dimensional e geométrica das peças, e não está sujeita a recolhimento de impostos.
- 2.11. Maior facilidade de realizar controle de qualidade.
- 2.12. Diminui o número de acidentes de trabalho.
- 2.13. Evita a improvisação.
- 2.14. Ocasiona a economia de tempo.
- 2.15. É uma valiosa ferramenta de planificação.

Quanto aos supostos inconvenientes, podemos citar:

1. Necessita de equipamentos mais caros, como grua ou guindaste, para a produção e montagem.
2. Quanto maior a altura do edifício, maior a densidade de aço nas colunas e, conseqüentemente, maior dificuldade de execução.
3. Mão-de-obra mais qualificada.
4. Exige maior comprometimento dos fornecedores de materiais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

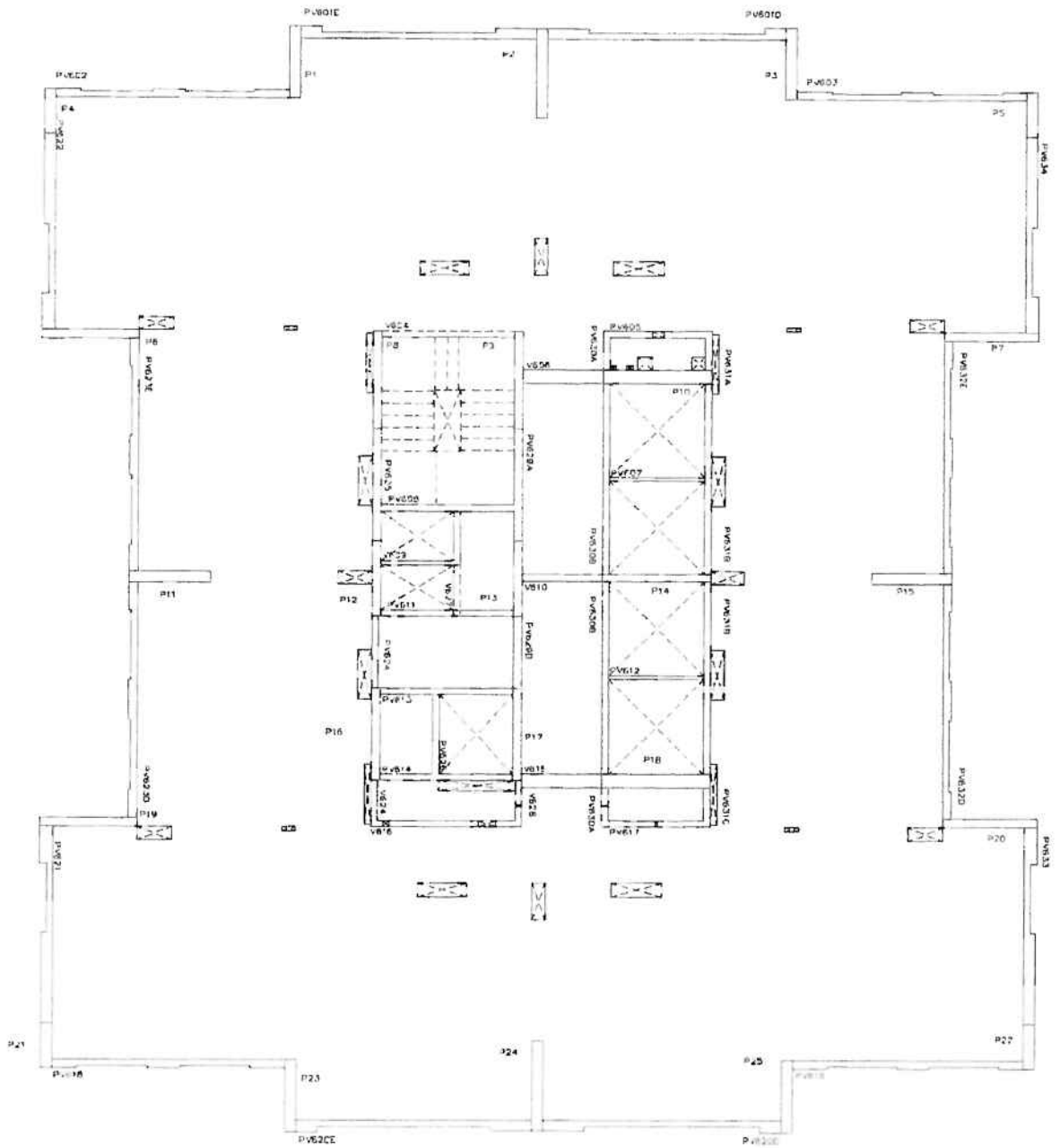
- 1.1 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA. (1986). *Manual técnico de pré-fabricados de concreto*.
- 1.2 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1980). NBR 6118 – *Projeto e execução de obras de concreto armado*.
- 1.3 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1985). NBR 9062 – *Projeto e execução de estrutura de concreto pré-moldado*.
- 1.4 AVILA, J. A. de (1999). *Projeto e cálculo estrutural*
- 1.5 BOCHILE, C. Quando o canteiro vira fábrica. In: *Revista Tèchne nº 53*, ag. 2001, p. 44-7.
- 1.6 EL DEBS, M. K. (2000). *Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações*. São Carlos: EESC – USP
- 1.7 FREIRE, T. M. (2001). *Execução de estrutura de concreto armado*. Dissertação de mestrado, São Paulo: EPUSP
- 1.8 GRAZIANO, F. (2001). Entrevista pessoal.
- 1.9 PEDREIRA, F. S/C LTDA. (1994). *Sistema construtivo Pré-viga / Pré-laje*.
- 1.10 PEDREIRA, F. S/C LTDA. (1995). *Manual básico para desenho das pré-vigas*.
- 1.11 PEDREIRA, F. S/C LTDA. (1997). *Modelo de manual do sistema construtivo Pré-viga / Pré-laje*.

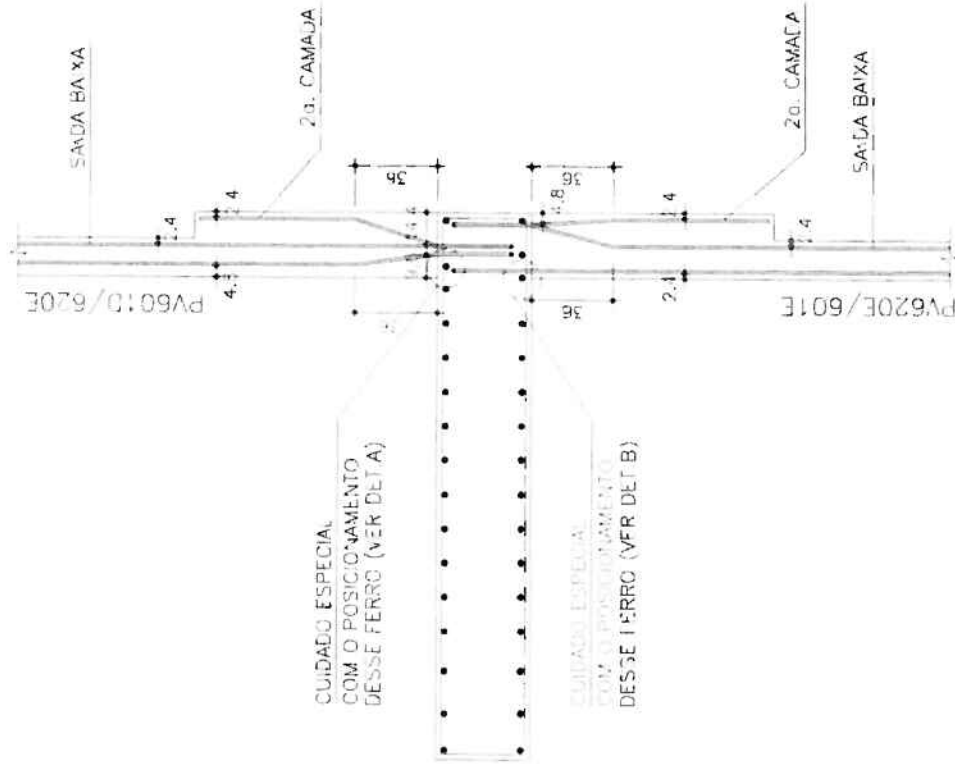
- 1.12 SABBATINI, F. H. (1998). *A industrialização e o processo de produção de vedações: utopia ou elemento de competitividade empresarial*. In: SEMINÁRIO VEDAÇÕES VERTICAIS, 1º, São Paulo: EPUSP/PCC, p.1-19.
- 1.13 SOUZA, U. E. L. (1999). *Produtividade da mão-de-obra na construção civil*. In: Projeto de pesquisa nacional da produtividade da mão-de-obra na construção civil, São Paulo: EPUSP

ANEXO

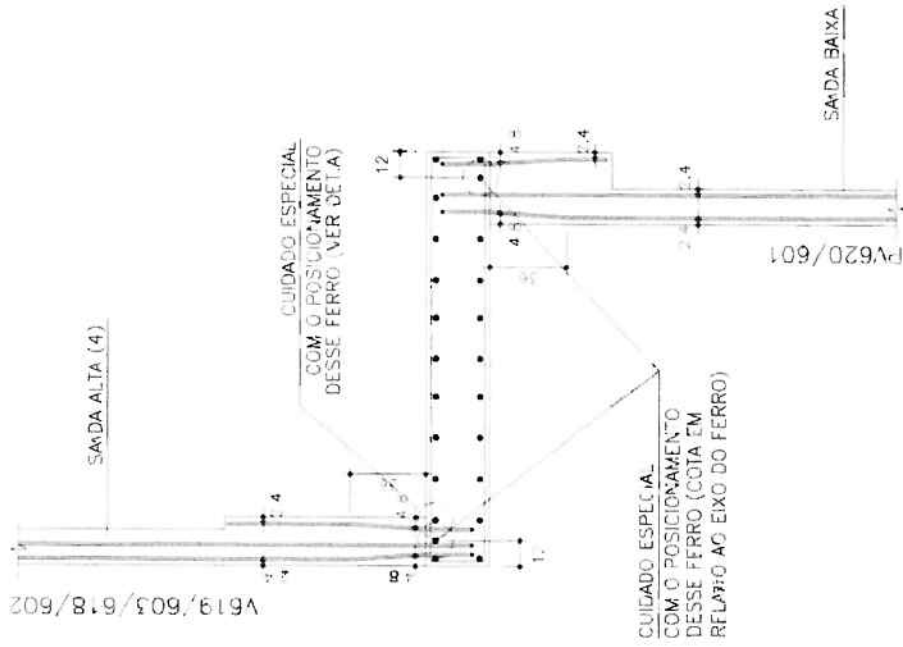
TABELA DA SEQUENCIA DE MONTAGEM
DAS PRV-VIGAS

PRV634/633/622/621
PRV61E/627E
PRV61D/630D
PRV602/603/619/619
PRV632E/623E
PRV632D/623D
PRV631A/630A
PRV631B/630B
PRV630C
PRV603/607/611/617
PRV629A/625
PRV629B/624
PRV605/611/613/614
PRV61E
PRV628

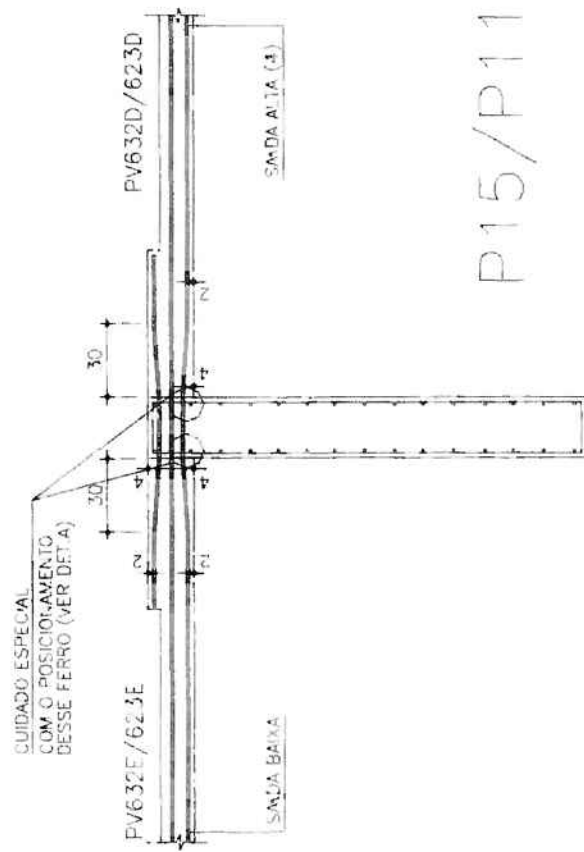
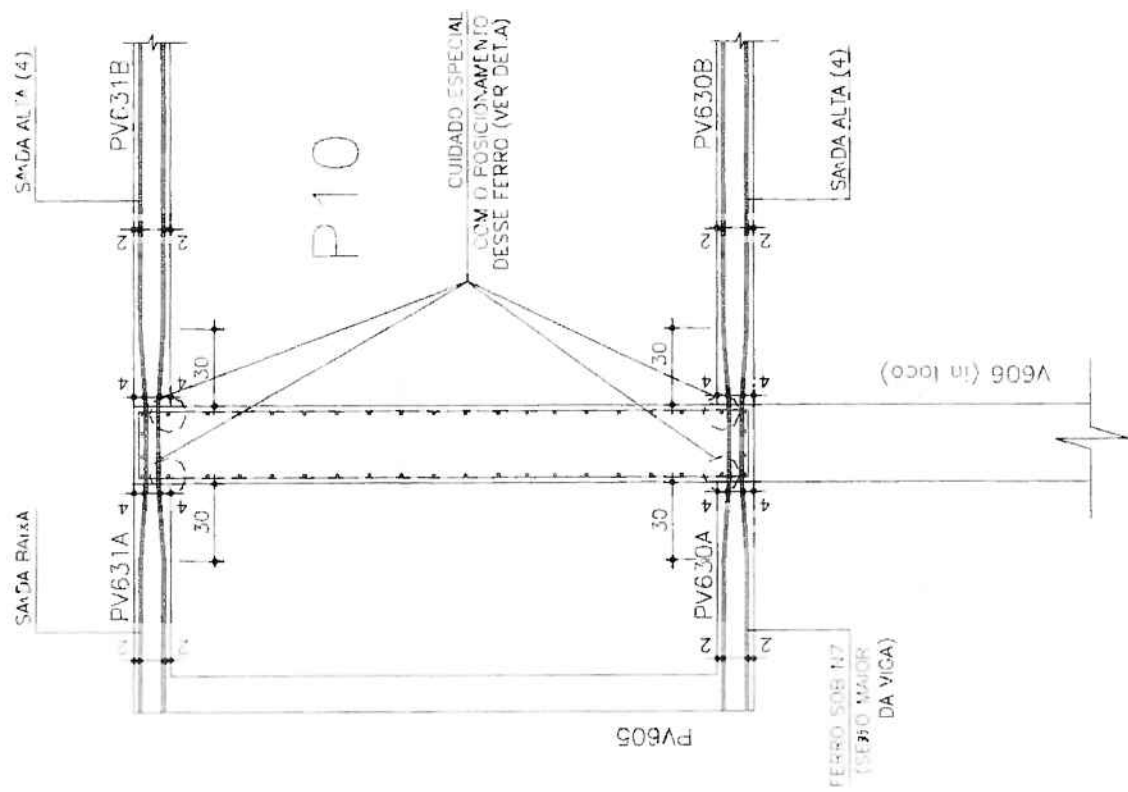


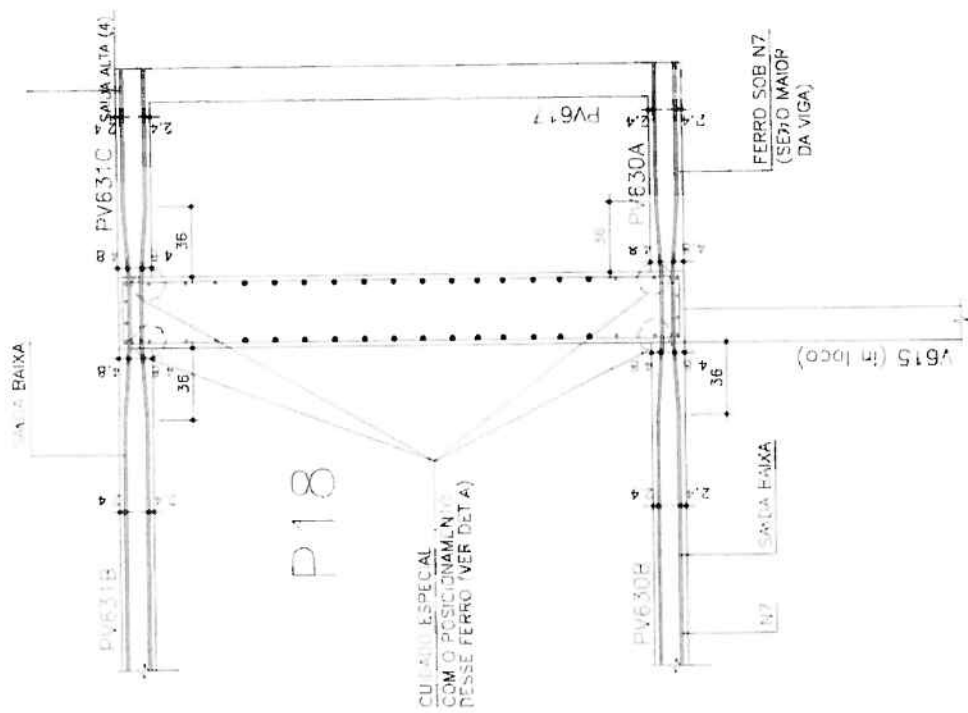
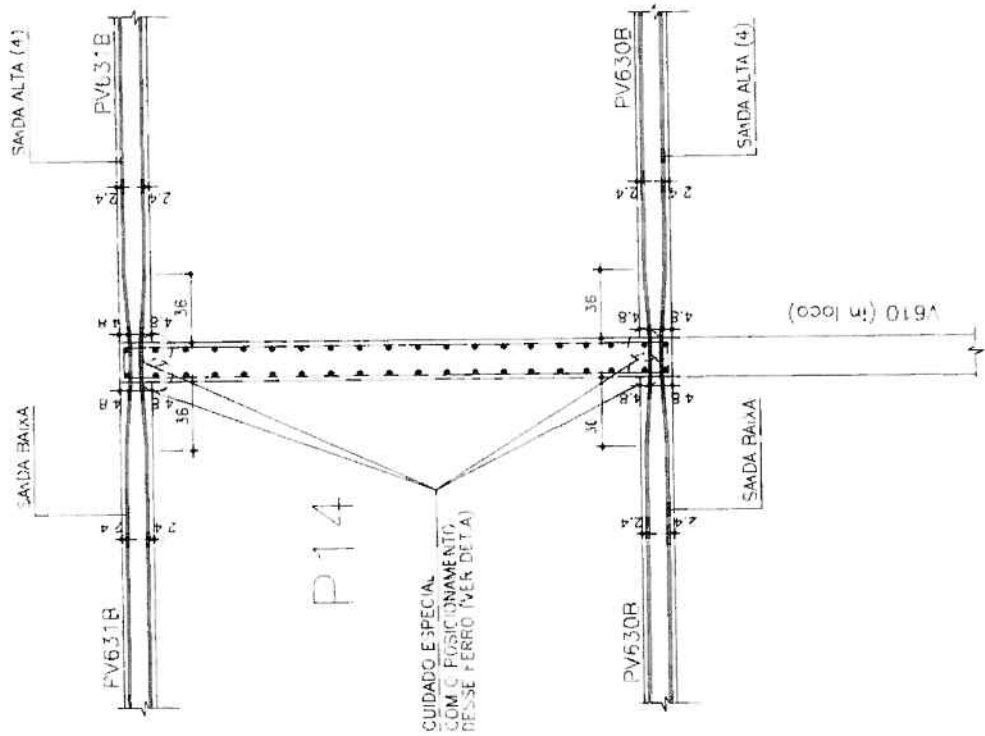


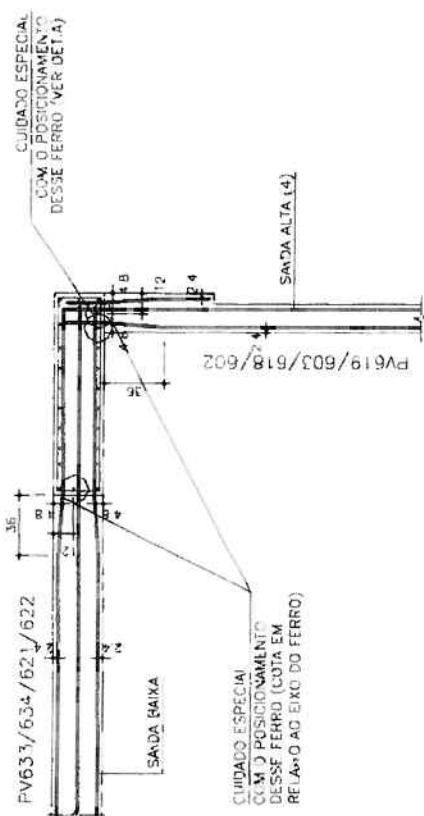
P24/P2



P25/P3/P23/P1







P22/P5/P21/P4



