

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
**ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS**

Departamento de Estruturas

**CONSIDERAÇÕES SOBRE PROJETO E PRODUÇÃO DE**  
**COMPONENTES PRÉ-FABRICADOS DE ARGAMASSA ARMADA**

Eng. Ruy Franco Bentes

Orientador: Prof. Dr. Mounir Khalil El Debs

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de "Mestre em Engenharia de Estruturas".

Outubro/1992

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Amigo e orientador Mounir Khalil El Debs, pelo trabalho desenvolvido e constante interesse.

Ao Prof. João Bento de Hanai, pelas contribuições e importante apoio na carreira profissional.

Ao Engenheiro Archimino Athayde Neto, pela confiança e pelo estímulo ao Mestrado na Escola de Engenharia de São Carlos.

Aos companheiros Arq. Paulo Eduardo F. de Campos, Arq. Luiz A. Engler de Vasconcellos e Eng. Ibsen Puleo Uvo, pelo interesse e contribuições a este trabalho.

Aos professores José Samuel Giongo, Toshiaki Takeya e Osny Pellegrino, pelas contribuições às vezes despercebidas.

Aos colegas de pós-graduação em São Carlos, Narbal Marcellino, Aline e Márcio Barboza, Flávio Lima, João Barbirato, Adriana Magalini, Sydnei Furlan e Ana Paula Batista, pela amizade e apoio.

Aos colegas da Empresa Municipal de Urbanização de São Paulo, pela ajuda em várias fases do trabalho.

À Diretoria de Desenvolvimento da Emurb, na pessoa da Arq. Mayumi de Sousa Lima, pelo apoio a este trabalho.

À CAPES - Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal do Ensino Superior pela bolsa de estudos concedida enquanto residente em São Carlos.

*Este trabalho é dedicado à Yvonne,  
Estrela e Ramiro, minha mãe  
e irmãos, pela confiança  
depositada...*

*E por serem como são.*

*Ao meu pai, Efraim Ramiro Bentes, com a  
gratidão pela formação moral*

*Ao jovem Rodrigo Coutinho Bentes*

## RESUMO

Nos últimos anos, as construções em argamassa armada no Brasil ganharam importância e confirmaram a tendência da industrialização em larga escala de pré-fabricados leves.

Este trabalho analisa as atividades desenvolvidas em usinas de componentes leves abordando as várias etapas do processo executivo de construções pré-fabricadas, desde a sua concepção até sua produção e transporte.

São descritos os procedimentos adotados na etapa de desenvolvimento de produto, relacionados à tecnologia do material e ao processo produtivo utilizado. Apresentam-se alguns exemplos com o objetivo de estudar as situações e esquemas estruturais de sistemas construtivos já realizados.

Procura-se mostrar as rotinas para dimensionamento de usinas de pré-fabricados de argamassa armada com algumas informações relativas àquelas já em operação.

Em seguida, analisa a técnica de produção dos pré-fabricados, comentando várias possibilidades de otimização do processo inclusive com procedimentos alternativos já experimentados. Destaca-se o tema garantia da qualidade na produção, tratado a partir de situações concretas que se observa numa usina.

Por fim, o trabalho propõe procedimentos e temas que merecem ser estudados em função da constante evolução da tecnologia do material argamassa armada.

## **ABSTRACT**

In the last years, ferrocement constructions in Brazil have increased in importance and this confirmed the tendency of large scale industrialization on lightweight components.

This study analyses activities developed in lightweight components plants broaching the various phases of a prefabricated building process, since its conception through its production and transportation.

The proceedings adopted in product development phase, related to material technology and productive process are described in this work. Some examples are presented with the objective of studying situations and structural schemes of building systems already done.

The routines of ferrocement prefabricated plant design are shown with some informations about those already in operation.

After that, the study analyses prefabrication techniques, commenting various possibilities of optimizing processes, including alternative procedures that have been experimented. It is emphasized the production quality assurance, based on concrete situations observed in some plants.

Finally, the study proposes proceedings and themes that deserve to be studied due to the continuous evolution of ferrocement material technology.

# CONTEÚDO

<b>1 - INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 - Argamassa armada .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 - Industrialização da argamassa armada .....</b>	<b>2</b>
<b>1.3 - Objetivo .....</b>	<b>5</b>
<b>2 - DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO .....</b>	<b>6</b>
<b>2.1 - Considerações iniciais .....</b>	<b>6</b>
<b>2.2 - Tecnologia do material argamassa armada .....</b>	<b>9</b>
<b>2.3 - Análise estrutural .....</b>	<b>11</b>
<b>2.3.1 - Considerações iniciais .....</b>	<b>11</b>
<b>2.3.2 - Sistema de canalização de córregos .....</b>	<b>13</b>
Apresentação do sistema	13
Hipóteses de cálculo	16
Ensaio em laboratório	18
Alteração no projeto do sistema	24
<b>2.3.3 - Sistema de equipamentos sociais .....</b>	<b>32</b>
Apresentação do sistema	32
Edificações de um pavimento	34
Edificações de dois pavimentos	40
<b>3 - O PROJETO DA FÁBRICA E DOS EQUIPAMENTOS .....</b>	<b>46</b>
<b>3.1 - Considerações preliminares .....</b>	<b>46</b>
<b>3.2 - Infraestrutura .....</b>	<b>48</b>
<b>3.3 - Mão-de-obra .....</b>	<b>55</b>

<b>3.4 - Fôrmas</b> .....	58
3.4.1 - Projeto	58
3.4.2 - Execução	73
3.4.3 - Inspeção e liberação	74
3.4.4 - Preparo das fôrmas em regime de produção	77
<b>4 - DESCRIÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO</b> .....	79
<b>4.1 - Considerações preliminares</b> .....	79
<b>4.2- Preparo da armadura</b> .....	82
4.2.1 - Fios e barras de aço	82
4.2.2 - Telas de aço soldada	82
4.2.3 - Telas de metal expandido	84
4.2.4 - Fibras de polipropileno	87
4.2.5 - Insertos metálicos	90
4.2.6 - Montagem da armadura	91
<b>4.3 - Produção da argamassa</b> .....	100
4.3.1 - Cimento	100
4.3.2 - Areia	101
4.3.3 - Água	104
4.3.4 - Aditivos	106
4.3.5 - Laboratório de controle tecnológico	107
4.3.6 - Controle da argamassa	108
<b>4.4 - Aplicação da argamassa</b> .....	112
4.4.1 - Transporte e lançamento da argamassa	112
4.4.2 - Adensamento da argamassa	113
<b>4.5 - Cura</b> .....	116
4.5.1 - Cura por imersão	118
4.5.2 - Cura por aspersão	120
4.5.3 - Cura a vapor	121
<b>4.6 - Transporte e manuseio das peças pré-fabricadas</b> .....	126
4.6.1 - Manuseio das peças na desfôrma	126
4.6.2 - Movimentação para a área de cura	127
4.6.3 - Encaminhamento para reparos	129

4.6.4 - Armazenamento e Transporte	129
<b>4.7 - Reparos nas peças</b> .....	132
4.7.1 - Reconstituição	132
4.7.2 - Proteção de armadura exposta	134
4.7.3 - Estucamento	135
<b>4.8 - Garantia da qualidade na produção</b> .....	137
4.8.1 - Estudo do programa de qualidade	139
4.8.2 - Implantação do plano de qualidade	140
4.8.3 - Problemas usuais	142
<b>5 - COMENTÁRIOS FINAIS</b> .....	150
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	153

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1 - A ARGAMASSA ARMADA

Segundo Hanai<sup>01</sup>, "argamassa armada é um material que pode ser visto como tipo particular de concreto armado, composto por armadura finamente subdividida e distribuída em argamassa de cimento e areia, o qual por suas características de desempenho, constitui classe de material, merecendo tratamento à parte daquele normalmente dispensado ao concreto armado".

Tendo sido largamente utilizada por Pier Luigi Nervi nas décadas de 40 e 50, o "ferrocimento" se caracterizou pela leveza das peças e grande resistência à compressão e à tração, chegando a ser considerado, na época, um material infissurável. Na realidade, o material tinha fissuração controlada por uma elevada taxa de armadura, da ordem de 700 kg/m<sup>3</sup> e a alta resistência à compressão se devia ao consumo aproximado de 1000 kg de cimento por m<sup>3</sup> de argamassa.

Em 1960, iniciados os primeiros estudos no Brasil, mais precisamente na Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, tentou-se, segundo relata Hanai<sup>01</sup>, adaptar o material às possibilidades de então, reavaliando as técnicas de construção e viabilizando a diminuição dos seus custos.

Conseguiu-se atingir taxas de cimento e armadura da ordem de 700 kg/m<sup>3</sup> e 300 kg/m<sup>3</sup> respectivamente, sem prejuízos sensíveis do desempenho do material.

A partir de então, várias construções foram realizadas utilizando argamassa armada e grande parte delas está descrita em Hanai<sup>01,02</sup>.

## 1.2 - INDUSTRIALIZAÇÃO DA ARGAMASSA ARMADA NO BRASIL

Devido a algumas características do material argamassa armada, houve a tendência natural, também no Brasil, de se utilizar essa tecnologia na pré-fabricação de componentes leves.

Já de início, torna-se necessário um esclarecimento conceitual sobre a diferença entre elementos pré-moldados e pré-fabricados. Ambas as definições são dadas pela NBR-9062<sup>03</sup>, no seu Capítulo 3 e são, basicamente, as seguintes:

*Elemento pré-moldado: é executado fora do local de utilização definitiva na estrutura, com controle de qualidade conforme estabelece a norma.*

*Elemento pré-fabricado: é um elemento pré-moldado executado industrialmente, mesmo em instalações temporárias em canteiros de obra, sob condições rigorosas de controle de qualidade também definido na norma.*

É inquestionável que o maior divulgador dessa tecnologia, pela industrialização e pelos seus projetos que contemplavam a utilização de tal material foi o arquiteto João Filgueiras Lima, conhecido como Lelé.

Lima se familiarizou com o material junto ao Grupo de São Carlos e em 1980 experimentou a produção de peças pré-moldadas em Salvador-BA. Lá, a fábrica da Renurb - Companhia de Renovação Urbana de Salvador, ligada à prefeitura daquele município produzia, basicamente, peças para infra-estrutura urbana, como canais de drenagem e escadarias drenantes.

Em Brasília, o mesmo Lelé participou da implantação de uma fábrica de pré-moldados pertencente ao Governo do Distrito Federal.

Em 1983, Lelé coordenou um projeto que implantaria algumas usinas de pré-moldados no estado de Goiás. Tal projeto, conforme ele mesmo descreve<sup>04</sup>, surgiu da necessidade de construir escolas transitórias naquela região, que pudessem ser desmontadas e montadas novamente em outro local, sazonalmente, de acordo com a necessidade.

A seguir, em 1984, outra fábrica foi instalada no Rio de Janeiro produzindo peças de equipamentos sociais, para canalização de córregos e de mobiliário urbano.

Em 1987 em Salvador-BA, a FAEC- Fábrica de Equipamentos Comunitários, também vinculada à prefeitura daquela cidade atuou intensamente na produção de pré-moldados de argamassa armada para diversas finalidades, tais como equipamentos sociais de um e dois pavimentos, passarelas, etc.

Em 1990, com o acompanhamento técnico do Grupo de São Carlos e do arquiteto João Filgueiras Lima, entrou em operação, na cidade de São Paulo e vinculada à prefeitura desse município, o Cedec - Centro de Desenvolvimento de Equipamentos Urbanos e Comunitários da Emurb - Empresa Municipal de Urbanização, produzindo componentes pré-fabricados de argamassa armada.

Em relação à tecnologia desse material no Brasil e, particularmente, aos processos produtivos utilizados na sua industrialização, o Cedec atuou e atua de forma significativa ao buscar o desenvolvimento das técnicas utilizadas e mesmo da tecnologia do material propriamente dita.

A utilização da cura a vapor e de fôrmas fixas na produção de pré-fabricados de argamassa armada, são algumas das evoluções ou otimizações de processo levadas a efeito pelo Cedec.

São importantes, igualmente, as experiências realizadas com tela de metal expandido e fibras (multi-filamentos cortados) de polipropileno, todas elas incorporadas ao processo produtivo da usina.

O Projeto Minha Gente, organizado pelo Governo Federal em 1991 para a construção de 5000 Centros Integrados de Apoio à Criança - CIAC's, muito influenciou na divulgação, em larga escala e à nível nacional, do material argamassa armada.

Entretanto, mais do que propagar o material, o Programa serviu para popularizar a idéia da construção industrializada, as edificações em pré-moldados de concreto armado e similares. Isto pode ser considerado como a maior - e provavelmente a única - contribuição dos CIAC's à construção civil de uma maneira geral no Brasil.

Essa afirmativa se baseia em observações feitas pelo autor e por técnicos da área de pré-fabricação e de argamassa armada. Desde o lançamento do referido Programa até a inauguração dos primeiros Centros Integrados no país, o que se tem notado é a grande preocupação com o impacto político das obras em questão, ficando relegados a planos com menor importância questões essenciais tais como qualidade de fabricação e montagem e coerência do sistema construtivo utilizado.

Infelizmente, é grande a possibilidade de que muitos serão os trabalhos de manutenção e recuperação que precisarão ser feitos nos CIAC's de uma maneira geral e já em um curto prazo.

Enquanto sistema construtivo, o projeto dos Centros Integrados utilizava, originalmente, aproximadamente 150 tipos de peças pré-moldadas em argamassa armada nas edificações de um e de dois pavimentos e no ginásio de esportes. Em muitas situações, era evidente que a opção pela utilização da argamassa armada não era a mais indicada do ponto de vista técnico e econômico, tanto que muitos dos CIAC's construídos o foram com um sistema "flexibilizado", permitindo soluções tecnológicas alternativas em certas partes do conjunto. Ainda assim, percebe-se que poucos foram os estudos realizados para tal "flexibilização".

A argamassa armada não é um material que deva ser utilizado indiscriminadamente na totalidade dos componentes de uma edificação, considerados o custo e as propriedades do material. Existem, entretanto, algumas situações nas quais, apesar de um maior custo de produção, a sua utilização pode ser considerada vantajosa, uma vez que a leveza dos componentes pré-moldados resulta na montagem em menores prazos, significando economia nos gastos com mão-de-obra e equipamentos.

Entretanto, houve uma popularização da idéia de se utilizar pré-moldados, e em função disso, espera-se um grande desenvolvimento do setor em questão, principalmente no que diz respeito aos chamados pré-moldados leves.

### **1.3 - OBJETIVO**

O objetivo do presente trabalho é analisar criticamente situações de projeto e produção de componentes pré-fabricados de argamassa armada. Simultaneamente, contribuir fornecendo informações obtidas com o acompanhamento do dimensionamento de usinas de pré-fabricados leves e da operação das mesmas, tendo em vista a experiência profissional do Autor na área em questão.

Pretende-se abordar diversas etapas do processo de produção dos pré-fabricados de argamassa armada, analisando criticamente - quando for o caso - os procedimentos adotados por empresas da área em questão.

A idéia de realizar este estudo surgiu da possibilidade de verificar, no cotidiano de uma usina de pré-fabricados, as condições do projeto estrutural de peças e sistemas de argamassa armada.

Assim, fatores só verificados na prática, seriam analisados, avaliando-se suas influências e interferências no projeto inicial dos componentes, através de processo de retro-alimentação de informações.

No entanto, percebeu-se que, uma vez disponíveis alguns dados e características importantes relativos à operação de uma indústria de pré-fabricados leves, poderia-se estudá-los de forma ampla, desde o projeto dos componentes até a montagem dos mesmos, passando pelo dimensionamento da infra-estrutura da usina e pelo processo produtivo utilizado.

Entende-se como importantes as questões apresentadas neste trabalho, principalmente, por serem de aplicação prática imediata, e baseadas em estudos e avaliações experimentais.

## **CAPÍTULO 2**

# **DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO**

### **2.1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

Por desenvolvimento de produto, entende-se todas as etapas envolvidas direta ou indiretamente com o projeto de uma peça ou sistema de peças pré-moldadas, que se relacionam e resultam em um mecanismo de inter-dependência.

Assim, os projetos de arquitetura, estrutura, fôrmas e produção são desenvolvidos em conjunto, de maneira que, a qualquer momento, qualquer um deles pode ser responsável por uma alteração no componente projetado.

Mais aplicado nas indústrias e motivo de pouca preocupação na construção civil, o desenvolvimento de produto está bastante presente na construção industrializada. Principalmente devido a esta última estar intimamente ligada à racionalização, o que envolve simplificação dos processos de produção e montagem com a conseqüente redução de custos.

O que se pretende, neste capítulo, é, simplesmente, descrever o processo que se desenvolve nas áreas de projeto das indústrias de pré-fabricados, sejam de concreto ou argamassa armada. Dar-se-á ênfase, entretanto, aos chamados pré-moldados leves, uma vez que esta categoria de componentes é a que parece ter maior potencial de desenvolvimento.

A fase inicial do projeto de um componente ou sistema pré-fabricado, onde se analisa as exigências de projeto em todos os seus níveis, é igual à desenvolvida em edificações convencionais, devendo-se tentar obter uma solução satisfatória no que diz respeito à funcionalidade e eficiência do projeto arquitetônico.

A concepção do projeto, entretanto, difere bastante daquela relacionada a construções convencionais, uma vez que deve-se estar atento às possibilidades de modulação da edificação.

É fundamental, segundo Richardson<sup>05</sup>, ter em mente que os elementos a serem projetados para a pré-moldagem o devem ser exclusivamente para este fim, e não peças modificadas da prática da construção convencional, ou seja, moldadas "in situ".

O ideal no desenvolvimento do produto é que, desde o seu início, a equipe responsável incorpore técnicos das áreas de arquitetura e engenharia, estrutural e de produção, podendo-se analisar os componentes em todas as etapas do processo, desde o projeto arquitetônico até a sua produção e montagem, passando pelo dimensionamento e verificação da eficiência estrutural do mesmo.

É conveniente e usual, quando se lida com pré-moldados, a montagem de um *mock-up* - um protótipo- como parte de uma avaliação do desempenho do componente projetado<sup>06</sup>.

Devido, principalmente, ao elevado número de encaixes e ligações existentes entre as peças pré-moldadas em um sistema construtivo, o sucesso (ou não) do *mock-up* tem suma importância no desenvolvimento do produto em questão.

Certamente que, uma vez montado o protótipo, pode-se avaliar não só a parte construtiva como também o desempenho estrutural das peças, ligações e do conjunto, verificando o grau de segurança que a edificação proporcionará aos usuários.

Como principais itens a serem observados, tem-se:

- aparência e detalhes da superfície das peças;
- sequência de montagem;
- funcionalidade das ligações escolhidas;
- modo de manuseio e montagem das peças.

Na produção dos *mock-ups* é comum se utilizar fôrmas de madeira aproveitando o baixo custo das mesmas e a conseqüente facilidade de alteração caso a análise dos protótipos assim recomende. Ainda por serem de madeira, tais fôrmas não requerem mão-de-obra tão especializada na sua confecção.

Poderia-se pensar em fluxograma, como o da Figura 2.1, que serve como ilustração do desenvolvimento de produto de peças pré-moldadas leves, para mobiliário urbano desenvolvido para a cidade de São Paulo<sup>07</sup>.

Após compilarem as informações que servirão de base para o desenvolvimento do produto, ou seja, as premissas de projeto, os técnicos definem a forma arquitetônica em um nível de ante-projeto.

Se o mesmo for aprovado do ponto de vista do desempenho estrutural e da facilidade de incorporação ao processo produtivo, cria-se um modelo com maior riqueza de detalhes e já se desenvolve o projeto de um protótipo.

Após a execução e os testes com o protótipo é feita uma reavaliação do projeto para, só então, considerá-lo concluído.

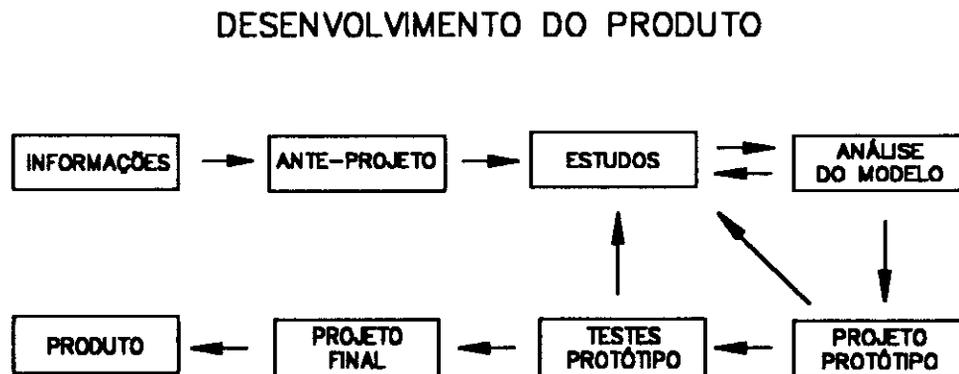


Figura 2.1 – Fluxograma das fases de projeto de peças de mobiliário urbano utilizado no Cedec/Emurb.

É interessante observar que cada uma das fases posterior ao projeto arquitetônico inicial, pode ser responsável por uma alteração no desenho da peça.

## 2.2 - A TECNOLOGIA DO MATERIAL ARGAMASSA ARMADA

A argamassa armada, na maneira como é utilizada atualmente na pré-fabricação de peças, é resultado de estudos realizados pelo chamado Grupo de São Carlos, onde se buscou, dentre outras otimizações, reduzir as taxas de armadura utilizadas, mantendo as pequenas espessuras finais das peças.

Entretanto, muito se questiona sobre a durabilidade das peças ou obras em argamassa armada, sendo as principais contestações relacionadas às pequenas espessuras obtidas. Os cobrimentos mínimos estabelecidos pela NBR-11173<sup>08</sup> são de 4mm e 6mm, respectivamente para ambientes protegidos e não protegidos, sendo que, no caso de peças em ambientes agressivos, devem ser tomadas medidas especiais de proteção.

A maior parte dessas contestações muito provavelmente se baseiam no fato de se observar, em algumas usinas de pré-moldados de argamassa armada, o pouco cuidado dispensado à garantia dos cobrimentos mínimos exigidos - supostamente resolvidos com o estucamento superficial das peças - e à quantidade de água adicionada à mistura, pouco ou nada controlada.

Sem dúvidas, e como constatado por Libório<sup>09</sup>, existem problemas em algumas obras que se utilizam da tecnologia da argamassa armada, entretanto não se pode avaliar um material tendo como referência apenas parte do universo das suas aplicações já levadas a efeito. Assim o fosse, a significativa quantidade de problemas patológicos ocorridos em obras de concreto armado nos últimos 15 anos levaria a crer se tratar de material problemático - o que está longe de ser verdade, se tomados os cuidados necessários de tecnologia, projeto e execução.

Especificamente em relação ao material argamassa armada, a equipe técnica do Cedec/Emurb tentou otimizar a técnica e o custo do processo produtivo utilizado na sua pré-fabricação.

A aplicação de vapor na cura das peças, a produção com fôrmas fixas e até a substituição da tela eletrosoldada por tela de chapa de aço expandida ou por fibras de polipropileno resultaram em êxito com ganhos significativos de qualidade e custo. Esses assuntos serão abordados no Capítulo 4.

Em relação ao projeto propriamente dito, é fundamental ter em mente uma das características mais importantes do material argamassa armada: a resistência pela forma.

Sem dúvida, esse é um fator relevante na eficiência do projeto, principalmente no que se refere ao custo final do sistema.

A experiência adquirida pelo autor indica que, mantendo-se as espessuras das peças da ordem de 20 a 25 mm e conformando-as de modo a apresentarem desempenho estrutural satisfatório, é possível desenvolver-se sistemas construtivos de baixo custo com a qualidade e durabilidade desejadas. Pode-se tentar listar os cuidados necessários por ocasião da determinação da forma das peças:

a) a espessura deve variar, na maioria das situações, entre 20 e 25 mm, dependendo da solicitação e espessura da armadura, grau de exposição às intempéries e da estanqueidade - quando necessária;

b) a forma da peça deve contemplar um eficiente desempenho estrutural, tanto no que diz respeito à quantidade de aço necessária quanto às deformações e deslocamentos verificados em função das solicitações mecânicas.

c) após a primeira definição das seções das peças, é importante a realização de ajustes com a introdução de alargamentos, chanfros, arredondamentos, etc., cuja função é a de facilitar o posicionamento e acomodação da armadura na fôrma e o preenchimento desta última.

Enquanto aspecto tecnológico, pode-se afirmar que, se bem executada, uma peça de argamassa armada é satisfatoriamente impermeável. Entretanto, e como será comentado no Capítulo 4, devido à esbeltez das peças, é comum ocorrerem fissuras por torção no transporte das peças. Assim, dependendo da forma e da finalidade de determinado componente, é conveniente que se proporcione uma impermeabilização superficial ao mesmo.

## 2.3 - ANÁLISE ESTRUTURAL

### 2.3.1 - Considerações Iniciais

No projeto de um elemento pré-moldado de concreto ou argamassa armada, a participação do engenheiro de estruturas não se resume somente ao cálculo estrutural propriamente dito de uma peça já projetada. Mais que isso, e como já foi comentado anteriormente, envolve o acompanhamento de todo o processo do desenvolvimento do produto desde a sua concepção, tendo participação na determinação da forma e dimensões da peça, sistema estrutural a ser adotado, tipos de ligações entre pré-moldados, etc.

Pode-se considerar que uma das particularidades da análise estrutural de elementos pré-fabricados em comparação com a de estruturas de concreto convencionais, é a existência de ligações entre as peças ou entre peças e estruturas moldadas "in loco". Particularmente nas construções que se utilizam de pré-fabricados leves, essas ligações ocorrem de forma intensa.

Principalmente por serem realizadas, de um modo geral, no local da obra, e conseqüentemente - e supostamente - com um controle de qualidade menos eficiente em relação ao executado na usina de pré-fabricados, a NBR-9062<sup>03</sup> é exigente no dimensionamento e execução das ligações. Assim, existem limitações significativas, com ênfase às ligações de importância estrutural para a estabilidade global da edificação.

O projeto estrutural de uma peça pré-moldada engloba, além do dimensionamento e detalhamento convencional das estruturas de concreto, alguns procedimentos específicos ao processo de produção, tais como modo de desforma e manuseio e estocagem da peça, e à montagem da mesma no seu local definitivo de utilização na edificação.

A resistência mínima da argamassa por ocasião da desfôrma ( $f_{cj}$ ) é definida em projeto, sendo esta, quase sempre, mais importante que a resistência aos 28 dias ( $f_{ck}$ ). Portanto, em função da forma da peça e dos esforços mecânicos oriundos da desmoldagem, essa resistência mínima é estimada e, em sua função,

definido o traço a ser utilizado na mistura e o tipo de cura a ser proporcionado à peça.

No caso da utilização de protensão, também é definida, no projeto estrutural, a sequência de alívio dos vários cabos, além da resistência mínima do concreto ou argamassa por ocasião dessa operação.

Ainda na desfôrma, deve-se especificar o procedimento a ser adotado, os pontos de içamento da peça e a resistência dos cabos e outros dispositivos utilizados na operação.

Para efeito de movimentação e transporte do componente, também deve ser especificada a maneira de içamento (se for diferente da utilizada na desfôrma) e de paletização, com as quantidades máximas de empilhamento de cada tipo de peça, a maneira de uma peça se apoiar em outra abaixo e os cuidados a serem tomados no transporte das peças em caminhão, bem como o arranjo das mesmas sobre a carroceria.

Finalmente, são detalhados o processo e os materiais utilizados nas ligações a serem executadas na obra.

Os esforços solicitantes a serem considerados no dimensionamento estrutural das peças pré-moldadas, são determinados, basicamente, para duas situações distintas:

a) cada elemento solicitado por esforços que atuarão em situação de serviço ou por esforços oriundos do processo de montagem, seja devido a solicitações não previstas ou devido a um eventual esquema estático estrutural diferente do que irá existir em definitivo;

b) cada peça sujeita aos esforços oriundos da desfôrma, manuseio e transporte, considerando-se, para essas situações, a resistência da argamassa nas diferentes idades das solicitações.

Comentados alguns detalhes relativos ao dimensionamento das peças, apresentar-se-á, então, as situações e hipóteses adotadas e, em linhas gerais, os procedimentos de cálculo estrutural de algumas peças e sistemas pré-fabricados de argamassa armada, em produção ou já produzidos pelo Cedec.

### 2.3.2 - Sistema de canalização de córregos

Este sistema foi desenvolvido a partir de um modelo adotado pelo Arquiteto João Filgueiras Lima nas usinas de pré-fabricados de argamassa armada por ele conduzidas nas cidades de Salvador e Rio de Janeiro, e se constitui em um canal a céu aberto com largura e altura iguais a 2 m com paredes em balanço, conforme ilustra a Figura 2.2.

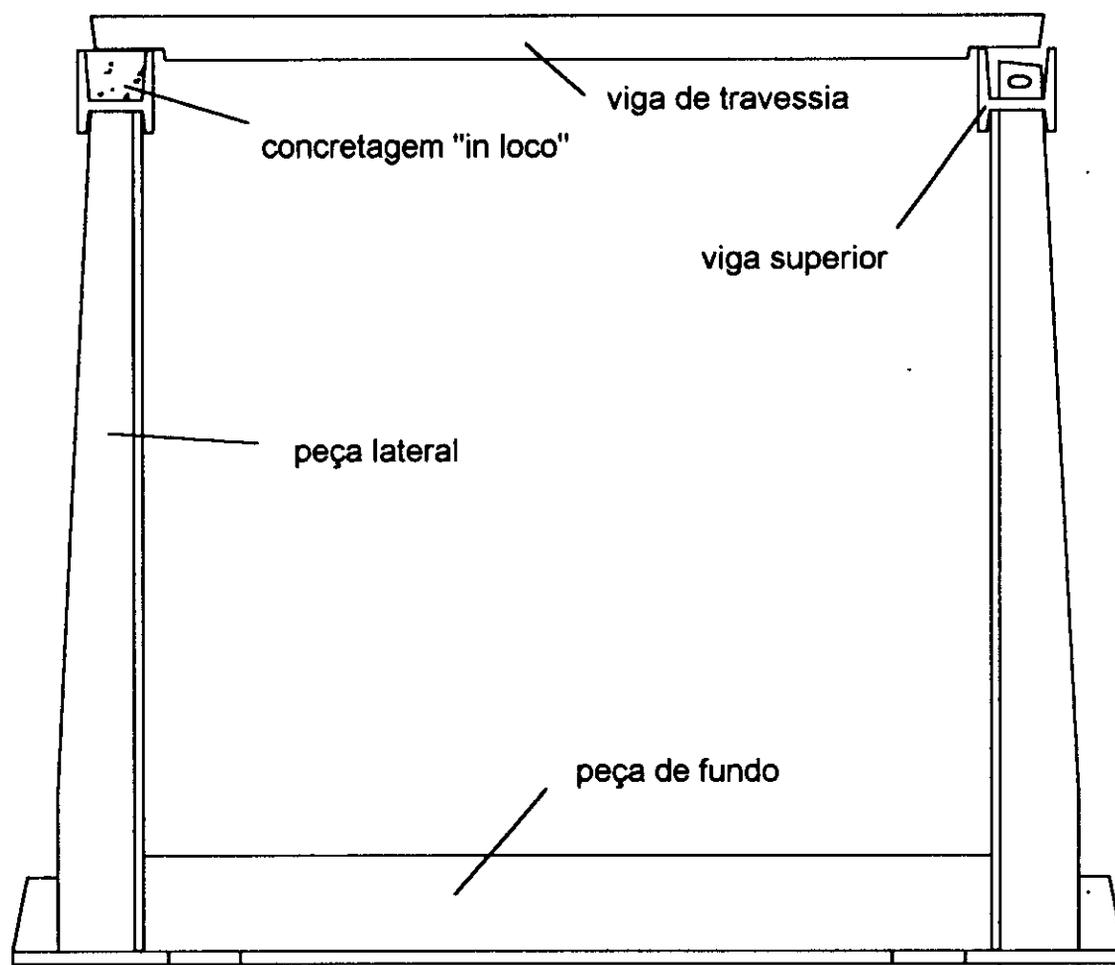


Figura 2.2 - Esquema do sistema de canalização de córregos produzido pelo Cedec/Emurb

O canal propriamente dito, é composto por dois elementos laterais e uma peça de fundo, em módulos de 40 cm de largura.

Pode-se formar ainda muros de arrimo, onde se aproveita a peça lateral associada a uma base retangular (Figura 2.3). A maior parte desta base fica sob o talude a ser contido, em um situação que favorece a estabilidade do conjunto no que se refere ao tombamento.

Em qualquer das duas situações, existe uma viga de seção "H" colocada sobre as peças laterais cuja função é, servir de fôrma para a concretagem de solidarização no local, visando distribuir esforços e uniformizar os deslocamentos de peças adjacentes.

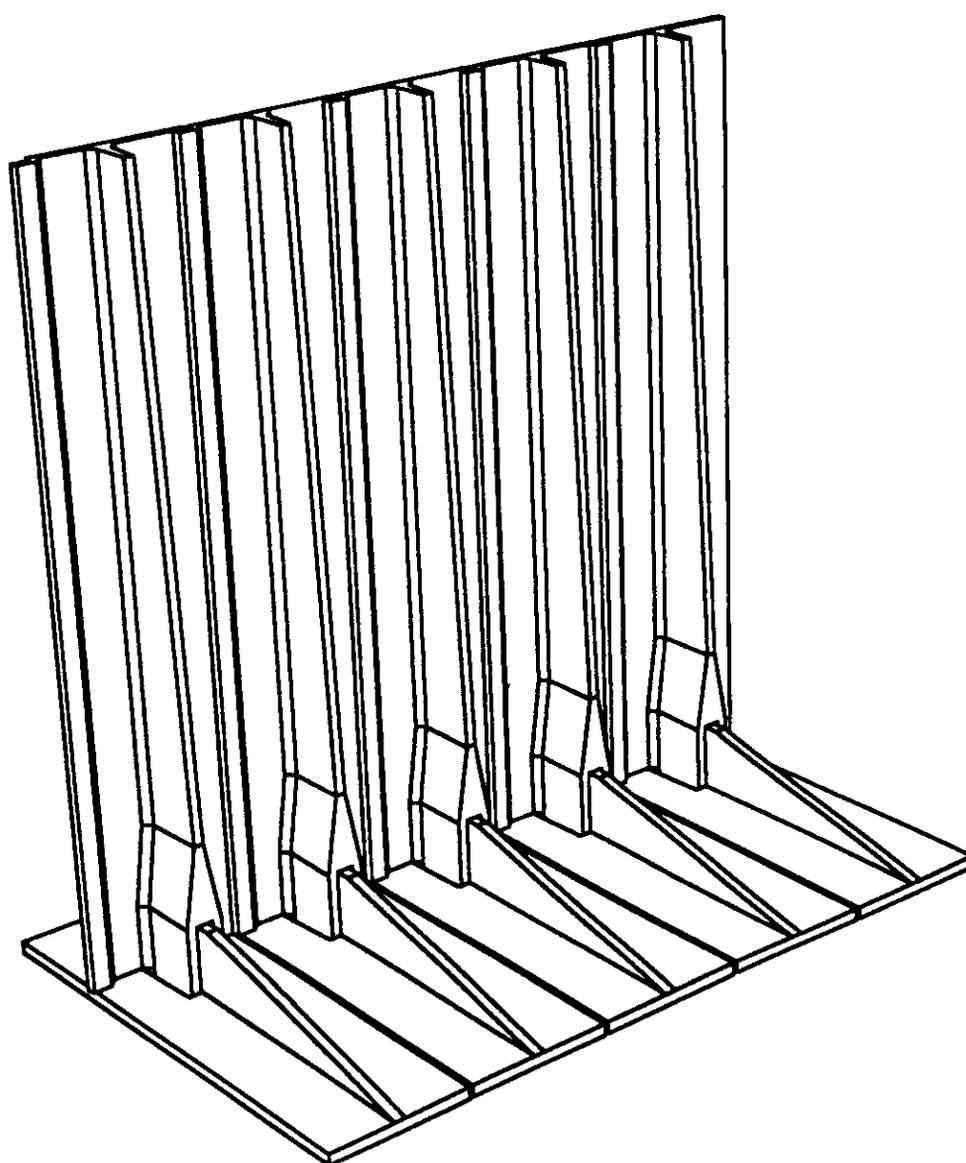


Figura 2.3 - Perspectiva do muro de arrimo.

O sistema de arrimo pode ser utilizado isoladamente ou em conjunto com a canalização. Esta combinação é particularmente interessante para as situações de montante e juzante do córrego, onde estão localizadas as galerias.

Nessas situações, quando do alargamento da seção molhada, simplesmente substitui-se os módulos de canal por módulos de muro de arrimo, sendo que, aparentemente, não se percebe qualquer mudança, uma vez que as peças laterais - únicas visíveis - são exatamente as mesmas.

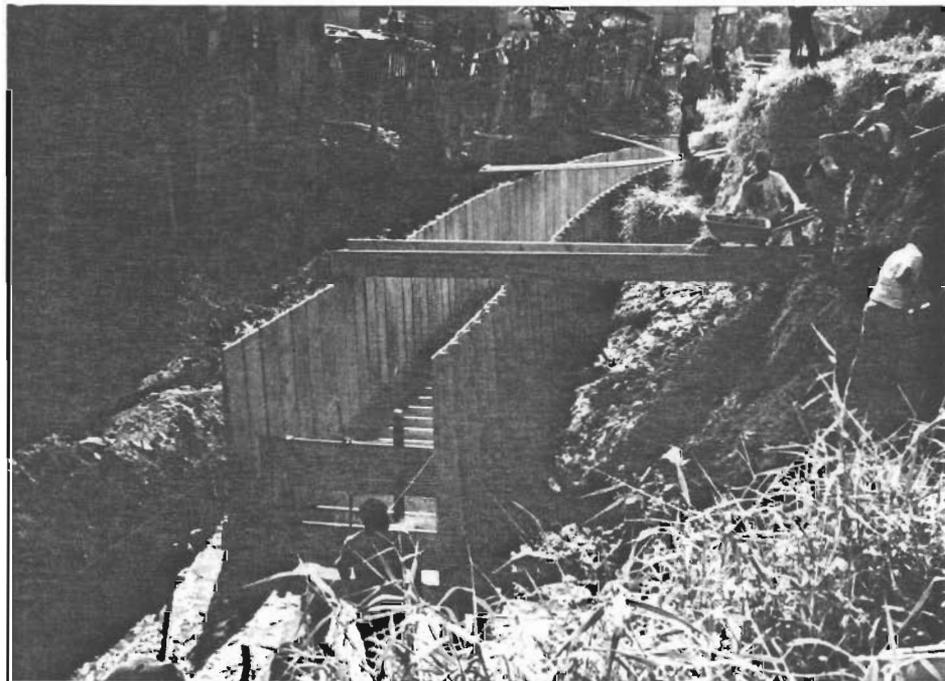


Foto 2.1 - Montagem do sistema de canalização..

Os módulos do sistema são formados por duas peças laterais e uma de fundo, todas elas com seção transversal em "T". As duas primeiras são encaixadas nesta última e suportadas através de engaste resultante de um binário de forças que se forma no momento da montagem, pelo simples encaixe das duas peças.

Estes módulos são posicionados sequencialmente ao longo de um eixo predeterminado de maneira a formar o canal. Acima das peças laterais, é colocada a pré-fôrma de argamassa armada.

Para a execução de trechos curvos no canal, utiliza-se módulos próprios com largura variável de 40 cm em uma extremidade a 30 cm na outra. Com a combinação sequencial ou de forma intercalada desses módulos de curva, consegue-se uma ampla gama de raios possíveis, sendo o raio mínimo igual a 7,00 m no eixo do canal.



Foto 2.2 – Obra de canalização já concluída.

### **Hipóteses de cálculo**

Neste caso, como em qualquer outra estrutura, os esforços a serem suportados pelo sistema são determinados conforme a utilização que se deseja dar ao mesmo.

Entretanto, por se tratarem de peças de pequenas dimensões e em grande escala de produção (caso do Cedec/Emurb), é comum a determinação de uma

situação de carregamento típica para servir de base para o dimensionamento estrutural das mesmas.

Para o sistema de canalização, então, fez-se uma avaliação dos possíveis locais em que os mesmos poderiam ser implantados e, a partir dessa informação, determinou-se os parâmetros a serem utilizados no cálculo, tais como ângulo de atrito do solo, características do talude (se existente), sobrecarga nas regiões laterais ao canal, etc.

A padronização da armadura utilizada na produção das peças garante um custo menor de produção, mesmo considerando eventuais situações em que as peças pré-moldadas ficam superdimensionadas.

Ensaio realizados no Laboratório do Departamento de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos, apontaram alguns pontos importantes que deveriam ser reavaliados para um desempenho estrutural eficiente das peças do sistema.

Primeiramente, as considerações relativas ao tipo do solo a ser contido pela estrutura eram otimistas em relação às reais situações de utilização.

Como parâmetro de cálculo, tinha sido utilizado ângulo de atrito do solo de  $30^\circ$ , desconsiderando, ainda, a existência de talude. Entretanto, a grande maioria dos possíveis córregos a receber o sistema em questão, apresenta solo com ângulo de atrito situado entre  $22^\circ$  e  $25^\circ$ .

### Memória de Cálculo - Solicitações mecânicas

determinação das solicitações:

$$K_a = \tan^2(45 - \varphi/2) = 0,33$$

$$p_1 = k \cdot q = 0,333 \cdot 10 \text{ kN/m}^2 = 3,33 \text{ kN/m}^2$$

$$p_2 = k(\gamma \cdot h + q) = 0,333 \cdot (18 \cdot 2 + 10) = 15,21 \text{ kN/m}^2$$

$$E = (P_1 + P_2) \cdot h/2 = (15,21 + 3,33) \cdot 2/2 = 18,54 \text{ kN/m}$$

$$M = P_1 \cdot h^2/2 + (P_2 - P_1)/2 \cdot h^2/6 = 14,58 \text{ kN.m/m}$$

para peças com 40 cm de largura:

$$E = 7,42 \text{ kN}$$

$$M = 5,83 \text{ kN.m}$$

ponto de aplicação, em relação ao centro do engaste:

$$y = M/E = 5,83/7,42 = 0,79 \text{ m}$$

$K_a$  = coeficiente de empuxo ativo

$p_1$  e  $p_2$  = valores de pressão devido ao empuxo (Figura 2.5)

$E$  = valor da força de empuxo

$M$  = momento fletor na base da peça lateral devido ao empuxo.

Quadro 2.1 - Determinação dos esforços solicitantes nas paredes laterais do sistema.

Da mesma maneira, também é frequente a ocorrência de taludes, pois a situação usual dos córregos em favelas é uma grande vala com casas nas duas laterais, como mostrado na Figura 2.4. Na mesma figura, aparece a situação da favela com o canal já implantado. Após a conclusão da obra, há um ganho na

área adjacente ao córrego, o que possibilita a urbanização do local, com a formação de taludes.

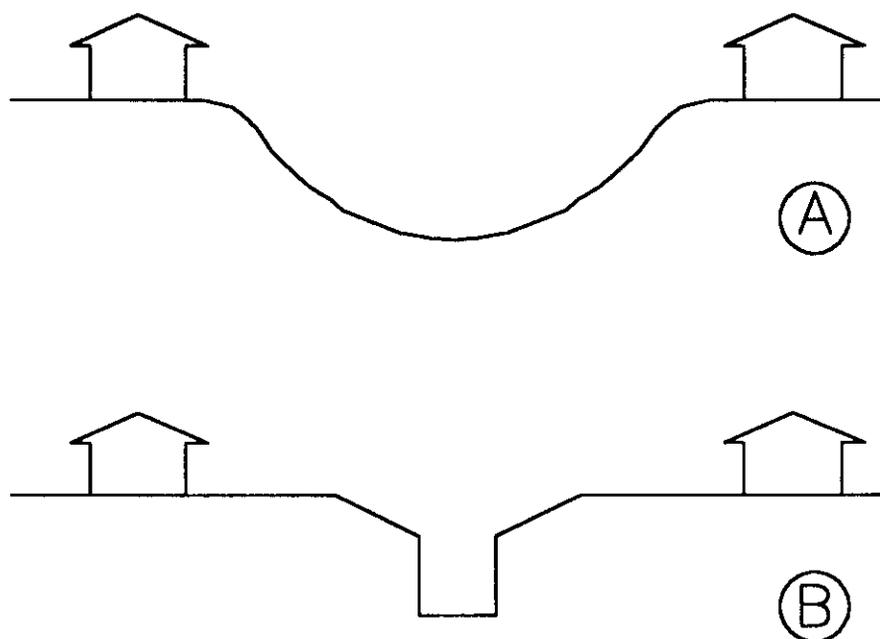
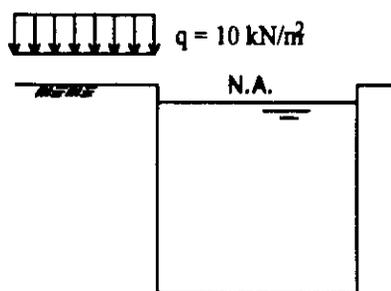


Figura 2.4 - Situação esquemática, em corte, das favelas, antes e depois da implantação da canalização do córrego.

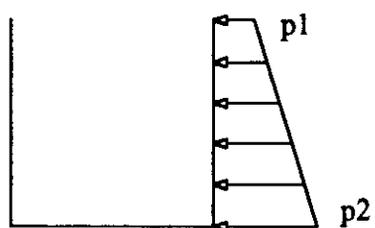
Essas diferenças nas considerações para o cálculo estrutural das peças resultaram em um significativo aumento dos esforços solicitantes. O momento fletor máximo para a primeira situação,  $M_k=4,6$  kN.m para cada módulo de 40 cm de canal, é equivalente a 60% do momento fletor calculado para uma situação de carregamento efetivamente existente na maioria das situações práticas ( $M_k=7,8$  kN.m).

Entretanto, mesmo com considerações otimistas para a situação de carregamento, as tensões de contato na região do engaste entre as peças pré-fabricadas eram demasiado elevadas, provocando ruptura da ligação entre peças por fendilhamento em uma das superfícies comprimidas.  $\phi\gamma$

Por esses motivos, foram realizados os ensaios descritos a seguir.



SITUAÇÃO REAL



SITUAÇÃO EM LABORATÓRIO

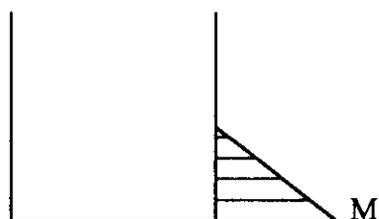
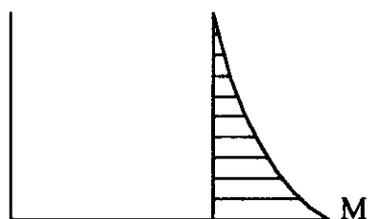
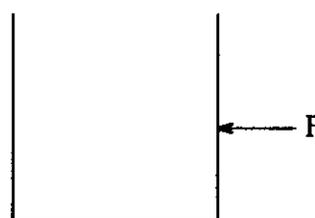


Figura 2.5 - Esquema de carregamento, empuxo ativo e diagrama de momento fletor na peça lateral do sistema.

## O primeiro ensaio em laboratório

O esquema de carregamento adotado para a realização dos ensaios laboratoriais mostra cada uma das peças laterais sendo solicitada por uma força concentrada em um ponto da nervura situado a 90 cm da extremidade inferior da mesma. A correta definição do ponto de aplicação da carga era importante para garantir que o sistema fosse solicitado como foi imaginado em projeto. Uma ação aplicada próxima ao topo do canal provocaria uma ruptura da peça lateral enquanto a peça de fundo e a ligação entre elas ainda estariam pouco solicitadas. Da mesma maneira, uma ação próxima ao engaste geraria grandes esforços na ligação e na peça inferior, não dando condições de se avaliar o comportamento estrutural da parede lateral.

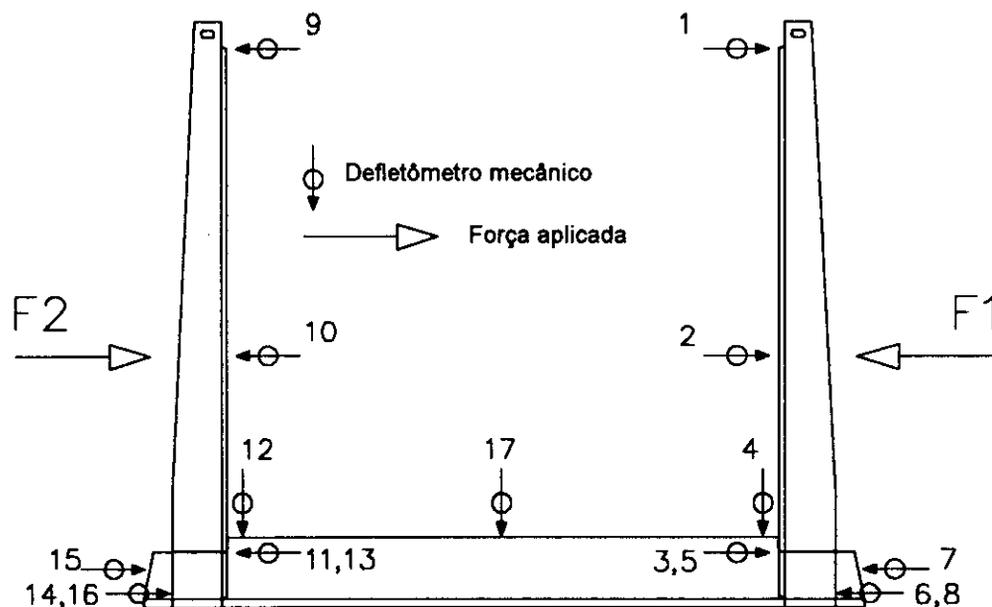


Figura 2.6 - Esquema de aplicação de cargas nos ensaios no Laboratório de Estruturas da EESC-USP

O objetivo do ensaio foi, então, observar o comportamento estrutural do módulo de canal submetido a um sistema de forças laterais correspondente ao empuxo de terra. Considerou-se como um dos aspectos mais importantes a se analisar, o desempenho das ligações efetuadas por encaixe a seco, sobretudo no que se referia à segurança estrutural. O processo de fissuração dos elementos foi

cuidadosamente acompanhado, marcando-se a posição das fissuras nas diversas etapas de carregamento.

A análise do esforço cortante não se fez necessária uma vez que, já em projeto, se constatava não ser esse um ponto problemático.

A deformabilidade da estrutura e em especial das ligações foi observada, medindo-se deslocamentos lineares em diversos pontos, por meio de defletômetros mecânicos, conforme indicado na Figura 2.6., sendo que as forças foram aplicadas nos elementos laterais em etapas de carga da ordem de 1/10 da força última estimada por cálculo.

Analisando os resultados obtidos, verificou-se três tipos distintos de ruptura comentados a seguir.

Tipo de ruptura apresentado	Solução
Ruptura da peça lateral por insuficiência de armadura	Aumento da armadura na seção transversal da peça
Altas tensões de contato na região do engaste	Necessidade de aumento das áreas de contato nas regiões superior e inferior do engaste, envolvendo mudanças na geometria das peças
"Corte" da região inferior da peça lateral devido a cobrimento excessivo da armadura	Diminuição do cobrimento - correção no processo produtivo

Quadro 2.2 – Tipos de ruptura verificados nos ensaios das peças componentes do sistema de canalização.

- Ruptura da peça lateral por insuficiência de armadura:

Este tipo de ruptura ocorreu devido a uma área de aço insuficiente na nervura da peça lateral. Eliminou-se esse problema com o simples aumento da referida área de aço.

- Ruptura da peça de fundo por fendilhamento do dente superior comprimido:

O problema existente nessa situação foi a alta tensão de contato entre as peças lateral e de fundo, justamente nas regiões que resistem ao binário de forças, que ocorre em função do engaste criado no encaixe das peças.

Esse tipo de ruptura se caracteriza por não ter bem definido o valor da tensão última, uma vez que esta, muito dependerá de fatores tais como a irregularidade das superfícies, posicionamento da armadura, etc.. No caso das peças ensaiadas, ocorreram rupturas desse tipo tanto para  $\sigma_{\text{cont}} = 17 \text{ MPa}$  quanto para  $\sigma_{\text{cont}} = 36 \text{ MPa}$ .

- Ruptura da peça lateral por "corte" na sua região inferior:

Quando do encaixe da peça lateral na peça de fundo, a face inferior daquela fica situada 10 mm abaixo da face inferior da peça de fundo, sendo que a altura da região de contato é de 25 mm.

Dessa maneira, deve-se garantir que a armadura da peça lateral esteja posicionada de forma correta no que se refere ao cobrimento até sua face inferior. Entretanto, isso não estava ocorrendo e chegou-se a verificar cobrimentos da ordem de 30 mm.

Essa situação resultava em uma região totalmente frágil justamente no local mais solicitado da peça. O "corte" que ocorria era decorrente dessa fragilidade.

A solução foi controlar de modo eficaz durante o processo de produção da peça, o correto posicionamento da armadura no fechamento da fôrma.

A seguir, estão apresentados os valores das forças últimas obtidas em cada um dos conjuntos avaliados, os tipos de ruptura ocorridos e as tensões de contato nas regiões superior e inferior do engaste por ocasião da ruptura.

Protótipo	Tipo de Ruptura	$F_m$ (kN)	M (kN.m)	$\sigma_{\text{cont,sup}}$	$\sigma_{\text{cont,inf}}$
1 C	a	10,45	8,36	30,0	23,1
2 C	a/f	9,71	7,77	27,9	21,4
3 C	a/f	11,05	8,84	31,7	24,4
4 C	c/f	11,89	9,51	34,1	26,2
1 M	f	8,00	6,40	23,0	17,7
2 M	c	6,00	4,80	17,2	13,2
3 M	a/f	12,85	10,28	36,9	35,5
4 M	c	7,27	5,82	20,9	16,1

- (a) - ruptura da armadura de tração - peça lateral  
 (f) - fendilhamento no dente superior - peça de fundo  
 (c) - corte da região inferior - peça lateral

Quadro 2.3 - Valores da força de ruptura de cada um dos protótipos ensaiados, sendo C=Canal e M=Muro de arrimo.

### O projeto da nova peça de fundo

Uma das conclusões da primeira série de ensaios foi relativa à necessidade de aumento da área de contato na ligação entre a peça de fundo e o elemento lateral. Assim, desenvolveu-se o projeto de uma ligação com as características necessárias para atender os requisitos relativos à segurança estrutural do sistema.

Estudando as peças componentes do sistema, optou-se por alterar o desenho da peça de fundo, uma vez que se fazia possível, modificando somente este elemento, resolver o problema da ligação.

As mudanças resultaram, basicamente, no aumento do dente superior de compressão, que passou a funcionar como um consolo curto e no surgimento de uma área de compressão na parte posterior da ligação, aliviando a tensão e eliminando o problema de lascamento do garfo da peça lateral, que ocorria quando a armadura de tração ficava com cobertura acima do especificado.

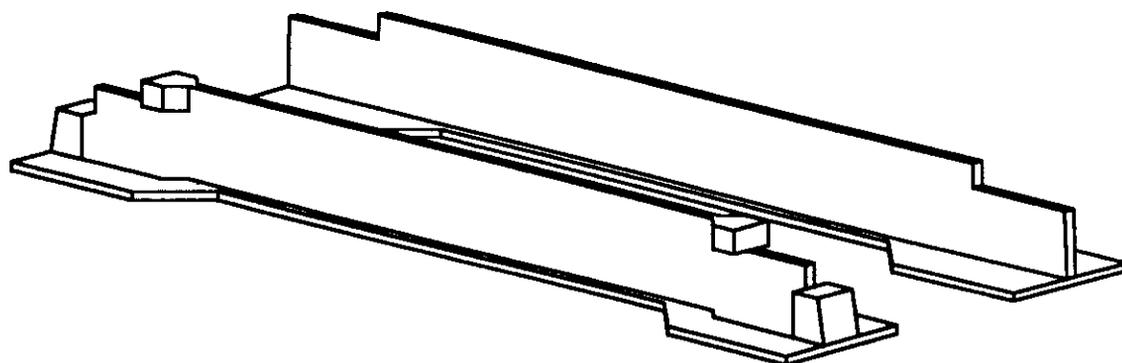


Figura 2.7 – Perspectiva da peça de fundo original ao lado da nova peça, já provendo maiores áreas de contato com o elemento lateral.

Foram, então, produzidos alguns protótipos deste novo modelo, e enviados ao Laboratório de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos para uma nova série de ensaios.

A metodologia adotada para a realização desta segunda bateria de ensaios foi - e não poderia ser de outra forma - absolutamente igual à adotada nos anteriores. Entretanto, desta feita, por já se conhecer o comportamento global do sistema, as atenções estiveram voltadas para a ligação entre as peças pré-moldadas.

O primeiro lote não teve a eficiência esperada por uma falha no arranjo da armadura, tendo apresentado ruptura justamente por escorregamento da armadura, e descolamento do consolo posterior da peça (protótipos 5 e 6).

O segundo lote, com este problema solucionado, atingiu plenamente as expectativas. As paredes laterais do protótipo 7, por uma deficiência da fôrma, apresentavam sinais de torção ao longo da sua altura mas, mesmo assim, foram ensaiadas e apresentaram comportamento satisfatório.

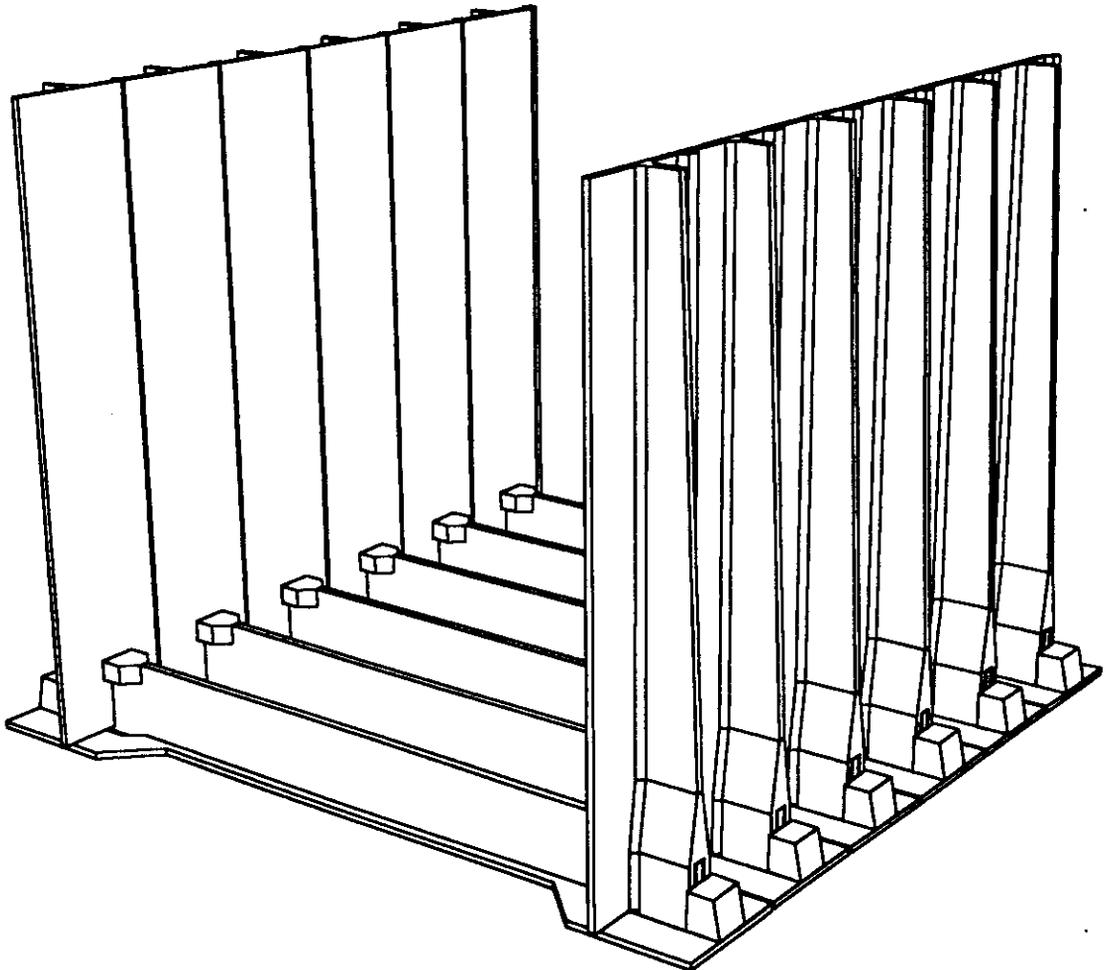


Figura 2.8 – Perspectiva das peças lateral e de fundo já posicionadas.

Protótipo	Tipo de Ruptura	$F_m$ (kN)	M (kN.m)	$\sigma_{cont,sup}$	$\sigma_{cont,inf}$
5 C	e	9,30	7,44	7,2	6,7
6 C	e	10,67	8,54	8,3	7,7
7 C	d	15,00	12,00	11,6	10,8
8 C	i	19,00	15,20	14,7	13,7

(e) - escorregamento da armadura - peça de fundo

(d) - rompimento dos consolos - peça de fundo

(i) - instabilidade lateral - peça de fundo

Quadro 2.4 – Valores da força de ruptura de cada um dos protótipos ensaiados, sendo C=Canal.

Os resultados obtidos com esta otimização do sistema de canalização, permitiram considerá-lo eficiente do ponto de vista estrutural. Conseguiu-se, assim, dispensar uma solução paliativa que vinha sendo adotada nos canais já implantados ou em implantação: o travamento superior das paredes laterais, desconfigurando a situação de balanço até então existente, com o intuito de aliviar os esforços na região de encaixe entre os pré-moldados.

A seguir, apresenta-se alguns gráficos com todos os deslocamentos medidos no ensaio do protótipo 8, e um outro com a comparação de alguns deslocamentos do protótipo 8 com o protótipo 3.

Os números que aparecem nas legendas dos gráficos se referem ao defletômetro (Figura 2.6) onde se mediu tais deslocamentos.

## Elemento Lateral 1

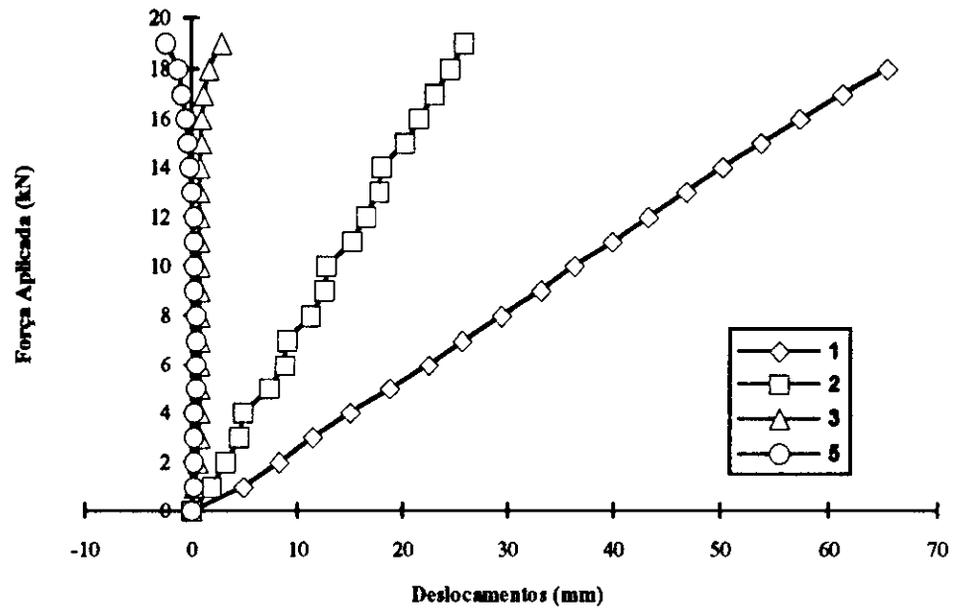


Figura 2.9 – Gráfico Força x Deslocamento medido no elemento lateral 1 do protótipo 8.

## Elemento Lateral 2

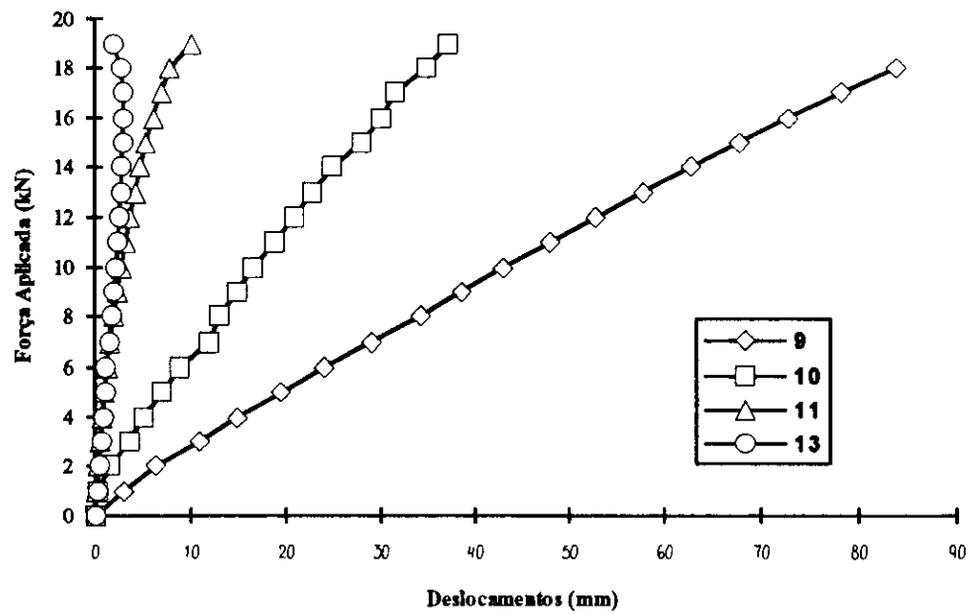


Figura 2.10 – Gráfico Força x Deslocamento medido no elemento lateral 2 do protótipo 8.

## Ligação Lateral 1 – Fundo

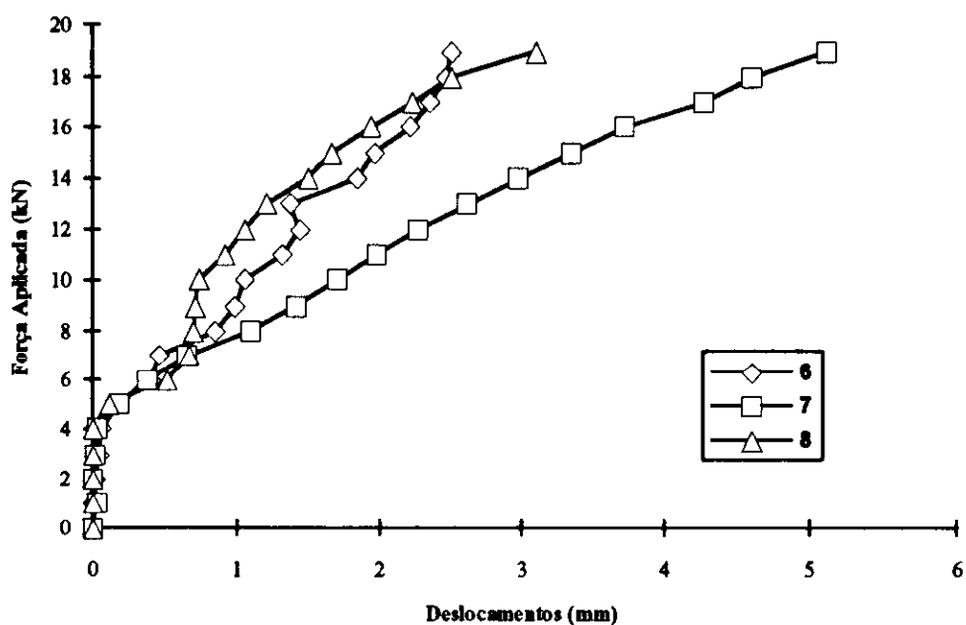


Figura 2.11 – Gráfico Força x Deslocamento medido na ligação do elemento lateral 1 com a peça de fundo do protótipo 8.

## Ligação Lateral 2 – Fundo

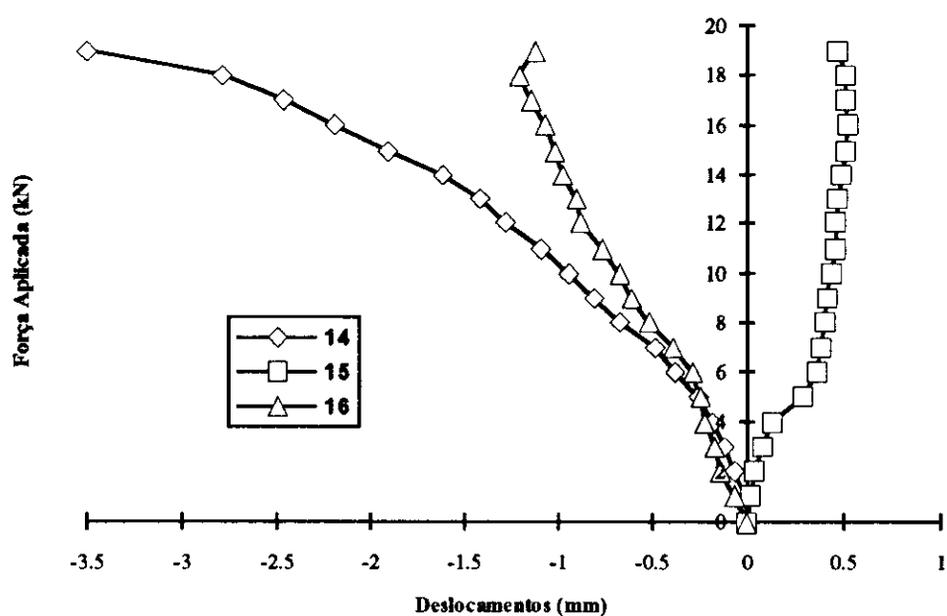


Figura 2.12 – Gráfico Força x Deslocamento medido na ligação do elemento lateral 2 com a peça de fundo do protótipo 8.

## Elemento de Fundo

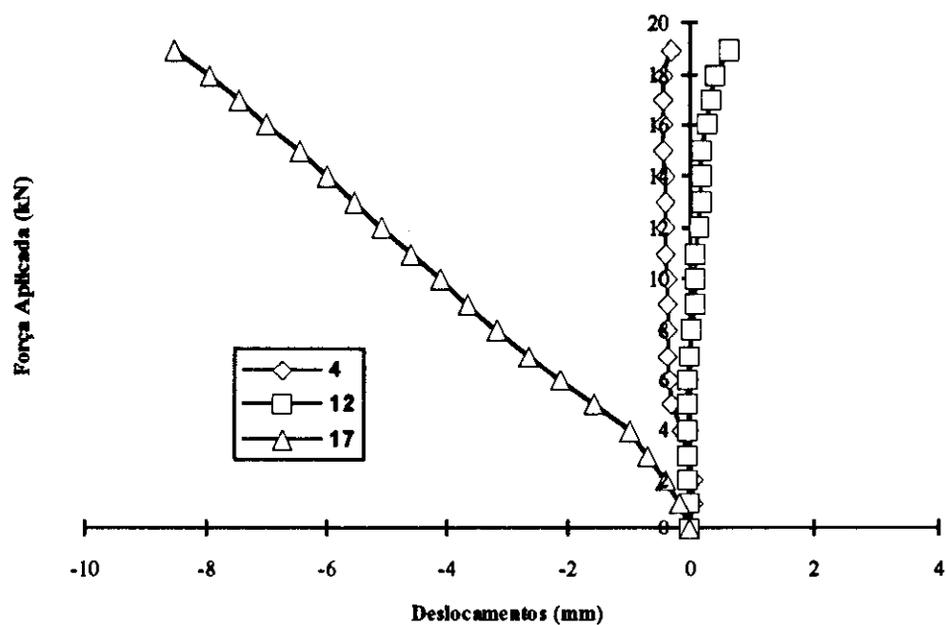


Figura 2.13 – Gráfico Força x Deslocamento medido na peça de fundo do protótipo 8.

## Comparação dos Ensaios

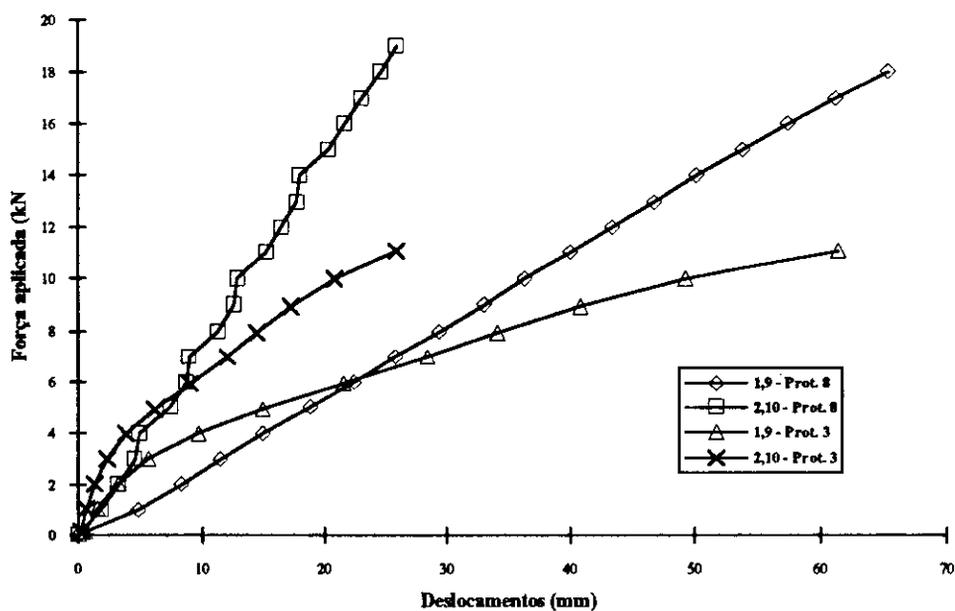


Figura 2.14 – Comparação das deformações verificadas nos ensaios dos protótipos # 3 e # 8, medidas nos defletômetros 1,9 e 2,10.

Finalmente, e a título de complemento das informações sobre o sistema, mostra-se no Quadro 2.4 as peças padrão utilizadas com seus volumes, quantidades de aço em fios e em tela e as respectivas taxas de armadura.

Esses valores, assim como outros abordados mais adiante, serão úteis por ocasião das estimativas de custos de produção do sistema.

PEÇA	DESCRIÇÃO	VOL. (m <sup>3</sup> )	CA-60 (kg)	CA-50 (kg)	TELA (kg)	AÇO (kg/m <sup>3</sup> )	TELA (kg/m <sup>3</sup> )
F	Fundo	0.032	2.0	2.0	2.6	127	83
LD	Lateral	0.031	0.7	1.8	3.8	81	124
MA	Muro de Arrimo	0.018	0.8	1.0	1.5	98	82
VS	Viga Superior	0.023	0.3	0.0	2.7	13	117

Quadro 2.5 - Quantitativos referente às peças que compõem o sistema de canalização de córregos.

O consumo de tela soldada, como pode-se esperar, aumenta em peças com maior superfície, enquanto o consumo de aços (em fios e barras) expressa o grau de solitação estrutural da peça.

Um fator que influencia os volumes de consumo de aço é a geometria, ou mais precisamente, a espessura da peça. Como mostra o Quadro 2.5, a peça F (fundo do canal) apresenta um consumo de aço maior que a LD (lateral) devido ao fato que a primeira é uma peça muito esbelta, com pouco volume de argamassa - o que faz elevar a relação aço/m<sup>3</sup> de argamassa.

### **2.3.3 - Sistema de equipamentos sociais**

#### **Apresentação do sistema construtivo**

Este tipo de sistema adotado pelo Cedec é, na realidade, uma das evoluções do projeto do Arq. Lima, sendo que a primeira utilização desse sistema foi para a construção de escolas transitórias<sup>04</sup> em Abadiânia - GO, em 1981.

Quando da industrialização em larga escala na fábrica do Rio de Janeiro, em 1984, foi utilizada uma segunda versão daquele sistema. Esta evolução teve continuidade com a introdução, na fábrica de Salvador - BA, de um novo projeto, que foi o mesmo adotado para a produção na Emurb em São Paulo, em 1990.

Após esta versão surgiram ainda mais duas: uma que seria implantada por uma fábrica em Campinas-SP e outra que foi utilizada pelo governo federal na construção dos Centros Integrados de Assistência à Criança - CIACs.

Esse sistema construtivo apresenta uma boa versatilidade de utilização, sendo que as implantações mais usuais são em escolas, creches, postos de saúde, centros de convivência, etc..

Mesmo assim, e pelas experiências anteriores terem sido realizadas em locais de clima tipicamente quente, algumas modificações foram realizadas para adequar o sistema construtivo a uma região de clima frio, como São Paulo e também para diminuir os custos de produção através da redução da quantidade de peças utilizadas e mesmo da racionalização do sistema.

Esta redução de peças foi fundamental para a implantação das linhas de produção do sistema construtivo, uma vez que permitiu uma redução substancial da quantidade de fôrmas metálicas necessárias e, em consequência, da área necessária à produção.

Originalmente o sistema previa a utilização de pórticos formados por dois pilares e duas vigas com balanço nas extremidades. Esta situação é racional do ponto de vista estrutural, mas limita bastante as possibilidades de adequação aos terrenos disponíveis. Por isso, foi criada uma viga intermediária às duas de extremidade, para proporcionar uma maior versatilidade na modulação possível. Simultaneamente, aumentou-se as opções de comprimentos de balanços nas

vigas, permitindo-se a utilização de dimensões de 250, 187,5 e 125 cm. Estas alterações facilitaram sobremaneira a implantação das edificações em terrenos com formas não convencionais.



Foto 2.3 – Edificação em São Paulo construída com o sistema de equipamentos sociais.

Uma das alterações no sistema construtivo foi no tipo de piso utilizado, sendo que, em substituição às placas de argamassa posicionadas sobre areia, optou-se por um contra-piso de concreto. Esta alternativa proporcionaria maior conforto ao usuário, evitando a percolação da umidade do solo, principalmente em épocas de frio. Posteriormente adotou-se a solução de placas de piso pré-fabricadas, mas com duas variantes: as mesmas eram produzidas em concreto, pois a espessura de 35 mm assim o permitia, em função de um menor custo de produção; e essas placas só eram adotadas em áreas externas das edificações.

Como isolante térmico de cobertura era utilizado um componente de argamassa armada, que foi substituído por uma placa de concreto celular autoclavado, com resultado técnico equivalente a um custo bem menor.

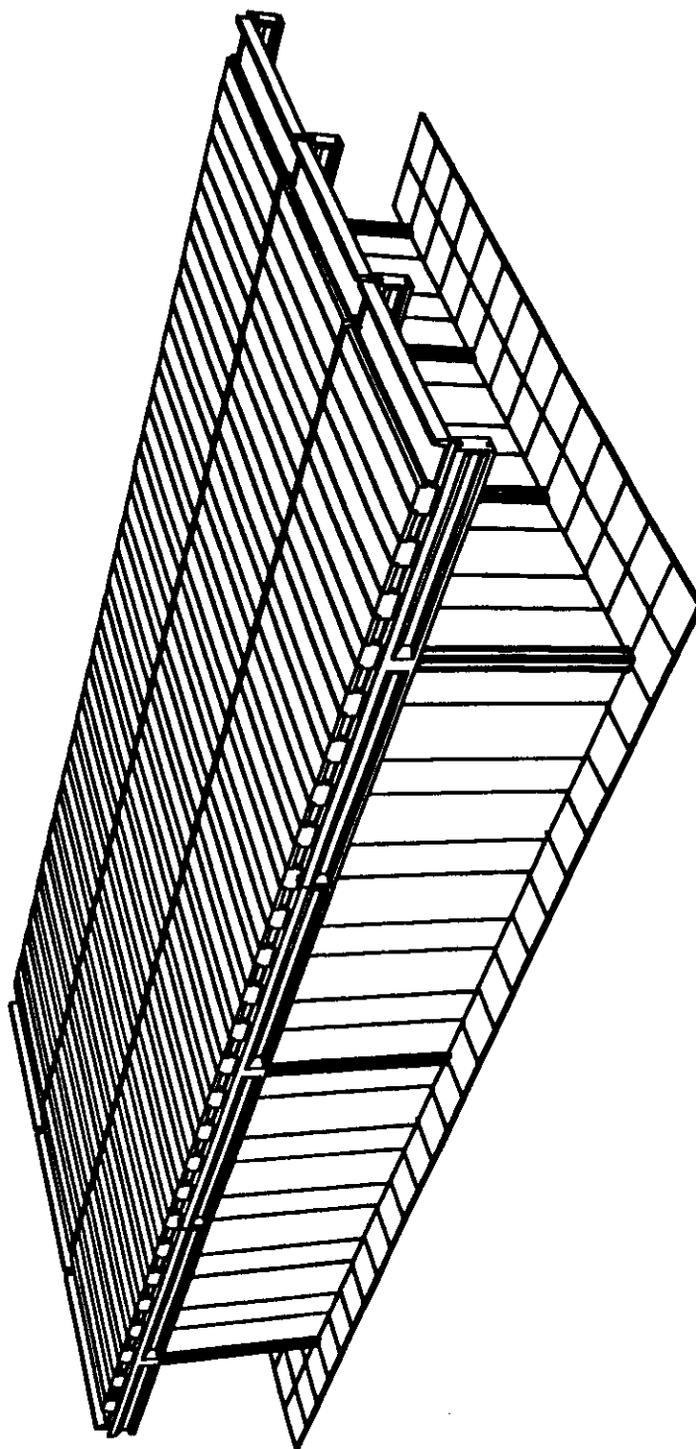


Figura 2.14 – Perspectiva de uma edificação protótipo montada com o sistema de equipamentos sociais.

### Esquema estrutural das edificações térreas

A fundação tipo é um cálice e funciona como elemento de transição entre o pilar e a fundação propriamente dita (Figura 2.15), que normalmente é constituída de sapatas isoladas. Existe a opção de se adotar uma viga de transição quando a solução de fundação é em estacas.

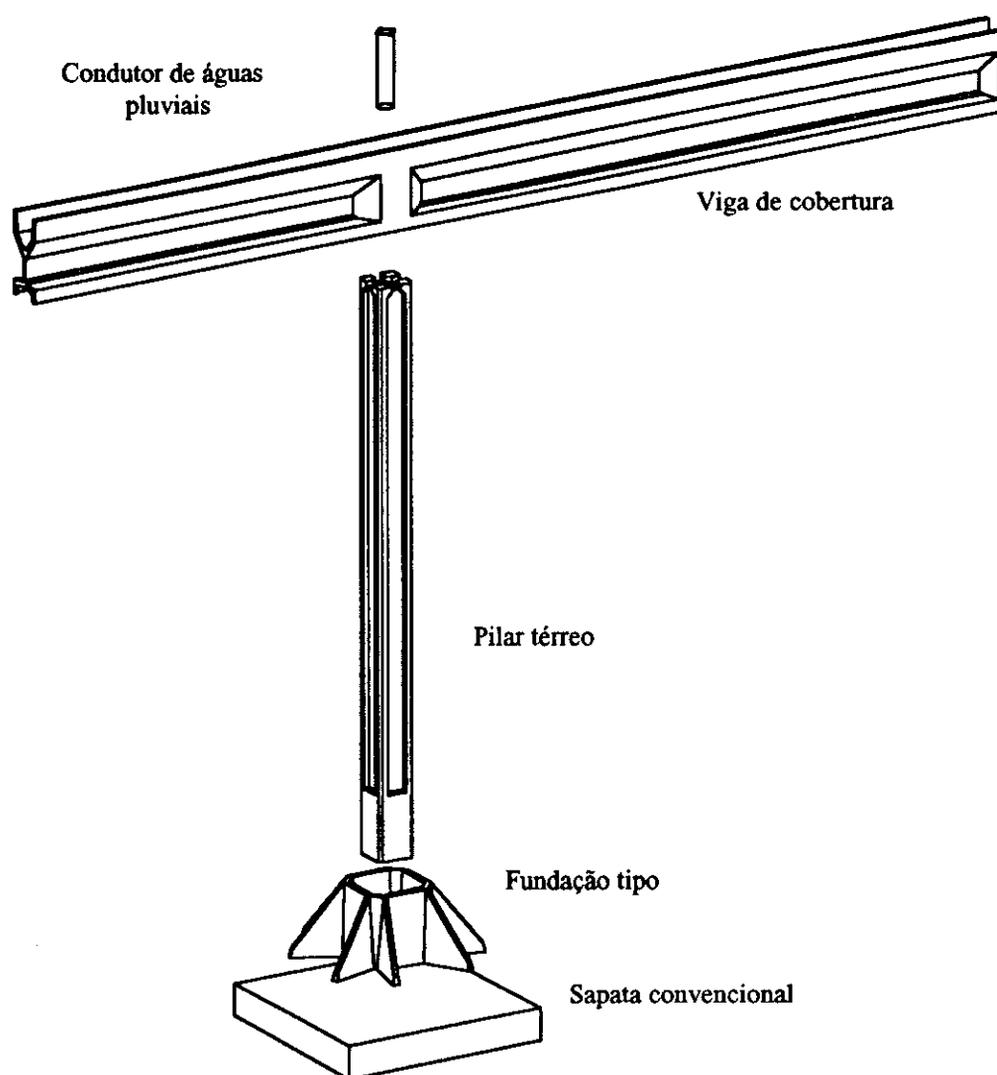


Figura 2.15 – Vista em perspectiva do esquema de montagem fundação tipo – pilar – viga de cobertura

O pilar é solidarizado com o cálice na obra e acima deste são apoiadas as vigas de cobertura, que são ligadas ao pilar por um tubo de aço galvanizado. Esse tubo, além da função estrutural, capta as águas pluviais das calhas das vigas para o tubo de escoamento no pilar.

Cada viga se apoia sobre um pilar e, no plano pilar-viga, é formado um pórtico. Na ligação entre vigas é utilizado um conjunto de transmissão de esforços, formado por dois aparelhos metálicos e um parafuso, com porca e arruelas.

Sobre as vigas apoiam-se diretamente as telhas tipo e beiral, seguindo-se da telha capa, e finalmente, do isolamento térmico de concreto celular. Todos esses elementos de cobertura são simplesmente apoiados uns sobre os outros (Figura 2.16).

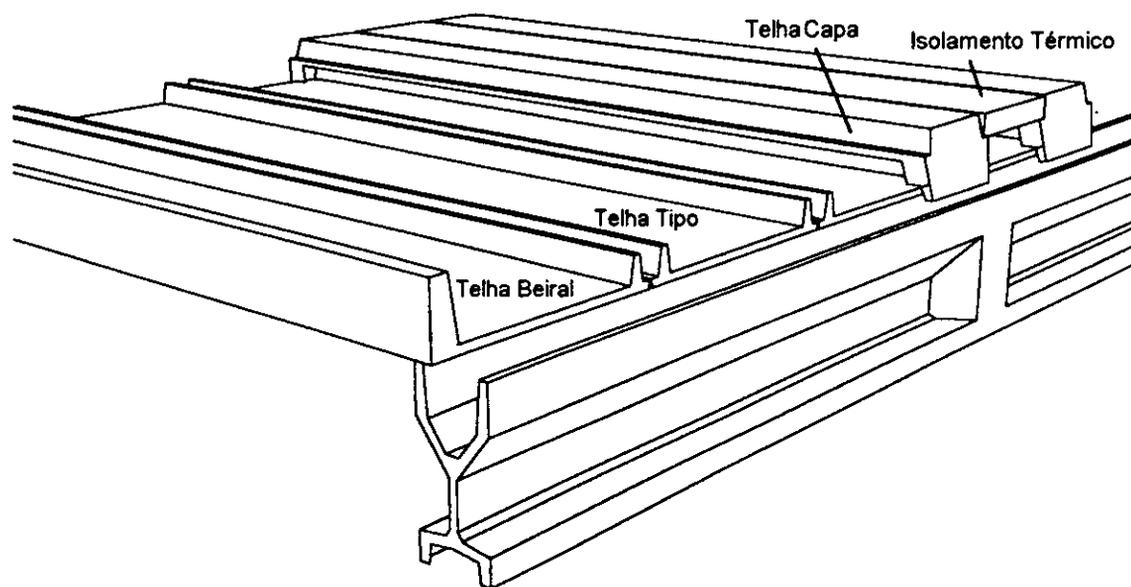


Figura 2.16 - Detalhe da cobertura da edificação.

A preocupação com as ligações é comum no cálculo de estruturas pré-moldadas de um modo geral, mas em se tratando de peças de argamassa armada, cujas dimensões são menores que as de concreto armado, têm-se, usualmente, problemas de alta tensão de contato nas regiões de ligação. Este problema já foi abordado por ocasião da descrição do sistema de canalização.

Neste sistema de equipamentos sociais há uma região crítica em especial: o topo dos pilares. Como pode ser observado no detalhe dessas peças (Figura 2.17) há uma redução da área da seção transversal dos pilares próxima à face superior, justamente onde a viga se apoia.

A resistência característica à compressão da argamassa armada aos 28 dias ( $f_{ck}$ ) verificada em ensaios de corpos de prova é próxima de 50 MPa (caso do Cedec/Emurb). Entretanto, a NBR-9062<sup>03</sup> no seu item 7.2.1.1 não permite tensões superiores a 1 MPa nas ligações entre peças simplesmente apoiadas.

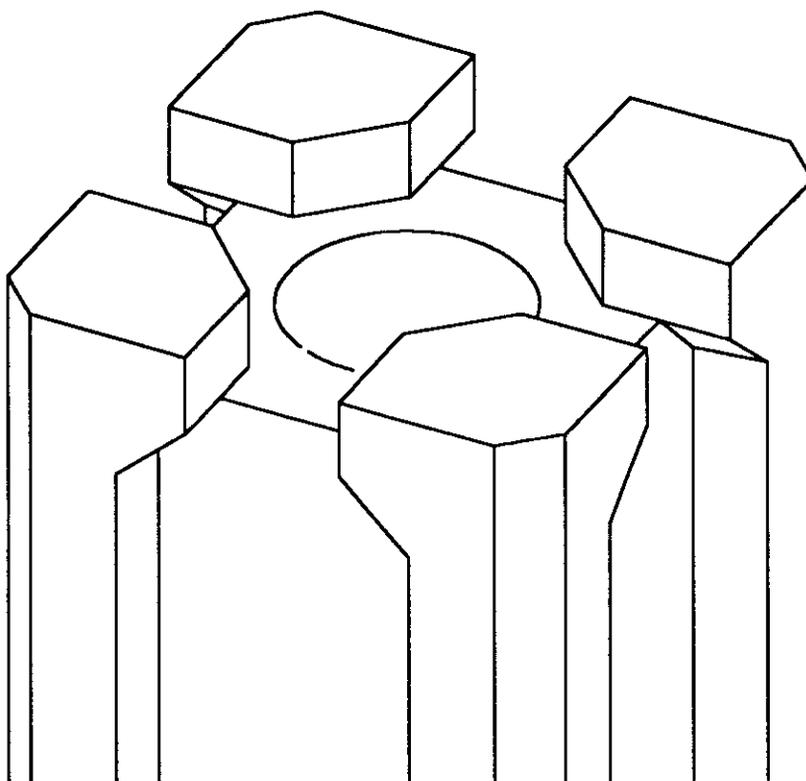


Figura 2.17 – Detalhe da região superior dos pilares onde, devido à redução da seção transversal, existem altas tensões de contato.

Apesar de certo conservadorismo, essa limitação tem origem na possibilidade de haver irregularidades nas superfícies de contato, o que proporciona uma menor área efetiva da ligação e, conseqüentemente, uma maior tensão de compressão. Esta alta tensão concentrada em alguns pontos tende a

resultar em uma ruptura por fendilhamento da argamassa, quando a peça ou região desta, deixa de aceitar carga.

Para o sistema construtivo de um pavimento, o problema de ligação vigapilar não chega a ser crítico, pois com uma carga normal máxima de 35 kN, atinge-se tensões de contato da ordem de 2,4 MPa.

Outra ligação interessante é a união entre as vigas de cobertura.

Estas vigas estão sujeitas a um carregamento, basicamente, de ações permanentes ( $g = 3,40 \text{ kN/m}$ ) com pequena parcela de sobrecarga acidental ( $q = 1,25 \text{ kN/m}$ ). Em função disto, a ligação entre duas vigas (no meio do vão) sempre estará solicitada por um momento fletor positivo. Devido a essa flexão, então, é formado um binário de forças, que é resistido, na parte inferior (tração) por um parafuso, e na parte superior (compressão) pela argamassa de solidarização.

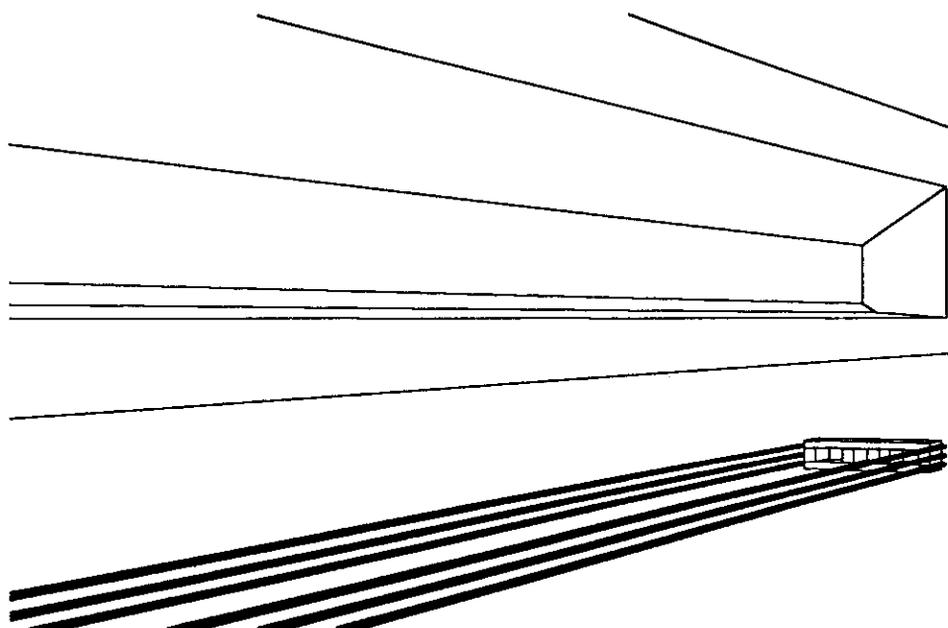


Figura 2.18 – Detalhe de uma viga de cobertura e sua armadura longitudinal, já soldada ao aparelho de transmissão de esforços.

A tração é resistida por um parafuso metálico que une dois aparelhos de transmissão de esforços. Cada um destes aparelhos está inserido na extremidade

de uma viga, soldado na armadura longitudinal tracionada da mesma (Figura 2.18). Tanto os aparelhos quanto os parafusos, porcas e arruelas recebem um tratamento de galvanização a fogo, o que garante maior durabilidade ao conjunto de transmissão.

Na região superior das faces extremas das vigas coloca-se argamassa, cuja função é resistir aos esforços de compressão ali existentes.

O ATV - Aparelho de Transmissão de Esforços em Vigas é dimensionado como sendo uma peça com dois apoios (as armaduras soldadas nas extremidades) e uma carga concentrada no meio do vão (o parafuso). São dois os aparelhos existentes para as vigas de cobertura do sistema. O primeiro tem dimensões de 14,5 cm x 5,08 cm x 5,08 cm (largura x altura x comprimento) e é utilizado em vigas com balanço de 2,5 m e vão de 3,125 m ou com dois vãos de 3,125 m.

Já o segundo ATV difere do primeiro no comprimento (7,12 cm em vez de 5,08 cm) e é colocado nas vigas com vãos de 3,125 m e balanços de 1,25 e 1,875 m. Quando da utilização destas vigas, com balanços menores, o momento fletor positivo no meio do vão é majorado, aumentando a força de tração resistida pelo conjunto de transmissão de esforços e, conseqüentemente, solicitando mais o aparelho. Daí o fato de o mesmo ter um maior comprimento, o que significa uma maior altura da seção resistente à flexão.

Analisando o Quadro 2.6, verifica-se que os maiores consumos de tela soldada ocorrem para as divisórias, peças com pouca solicitação estrutural mas com grande superfície. O elevado consumo de aço ( $200 \text{ kg/m}^3$ ) verificado na FT (Fundação Tipo) se deve ao fato de que parte da armação desta peça fica exposta, servindo de espera a ser solidarizada com a sapata concretada na obra.

Os outros valores de consumo de aço e de tela estão coerentes e representam, respectivamente, o grau de solicitação estrutural e a relação superfície/volume das peças pré-moldadas.

É interessante verificar a sensível economia proporcionada pela adição de fibras de polipropileno à argamassa, com a eliminação da tela soldada e o aumento no consumo de aço. Especificamente no caso das placas de piso ( $62,5 \times 62,5 \text{ cm}^2$ ), a eliminação da armadura é total, facilitando, sobremaneira, o processo produtivo das peças.

PEÇA	DESCRIÇÃO	VOL. (m <sup>3</sup> )	CA-60 (kg)	CA-50 (kg)	TELA (kg)	AÇO (kg/m <sup>3</sup> )	TELA (kg/m <sup>3</sup> )
DP	Divisória Pilar	0.032	1.0	-	4.0	31	125
<i>DP</i>	<i>Divisória Pilar</i>	<i>0.032</i>	<i>2.6</i>	-	-	<i>81</i>	-
DT	Divisória Tipo	0.038	1.0	-	4.5	26	118
<i>DT</i>	<i>Divisória Tipo</i>	<i>0.038</i>	<i>2.9</i>	-	-	<i>76</i>	-
DCP	Div. Comp. Pilar	0.024	1.0	-	3.5	42	146
<i>DCP</i>	<i>Div. Comp. Pilar</i>	<i>0.024</i>	<i>2.1</i>	-	-	<i>88</i>	-
DCT	Div. Comp. Tipo	0.026	1.0	-	4.0	38	154
<i>DCT</i>	<i>Div. Comp. Tipo</i>	<i>0.026</i>	<i>2.2</i>	-	-	<i>85</i>	-
FT	Fundação Tipo	0.030	-	6.0	3.0	200	100
P1	Pilar 1° pav.	0.053	2.5	6.0	3.5	160	66
RP	Rodapé Pilar	0.003	-	-	0.2	-	69
RT	Rodapé Tipo	0.003	-	-	0.2	-	59
TC	Telha Capa	0.023	2.5	-	2.0	111	89
<i>TC</i>	<i>Telha Capa</i>	<i>0.023</i>	<i>2.8</i>	-	-	<i>122</i>	<i>0</i>
TT	Telha Tipo	0.039	2.5	-	5.0	64	128
<i>TT</i>	<i>Telha Tipo</i>	<i>0.039</i>	<i>4.2</i>	-	-	<i>108</i>	-
VC1	Viga Cobertura 1	0.123	-	16.0	18.0	130	146
VC2	Viga Cobertura 2	0.137	-	24.0	16.0	175	117
PV1	Placa de Piso	0.014	-	-	0.5	-	35
<i>PV1</i>	<i>Placa de Piso</i>	<i>0.014</i>	-	-	-	-	-

Obs: as peças escritas em itálico são executadas com argamassa com fibras de polipropileno e não têm tela soldada na armação.

Quadro 2.6 – Quantitativos referentes às armações das peças que compõem o sistema de equipamentos sociais de um pavimento.

### Esquema estrutural das edificações de dois pavimentos:

O conceito, a modulação e o esquema estrutural dos edifícios de dois pavimentos são iguais aos adotados nos edifícios térreos, sendo poucas as modificações ocorridas no sistema construtivo para a adoção de um nível de piso:

- é criada a viga de piso, com forma semelhante à de cobertura, mas com altura maior (50 cm ao invés de 38 cm) e regiões de maior solicitação com maior espessura (abas superiores e mesa inferior).

- também são criadas lajes e pavimentos: estes últimos de apoiam em dois pontos ao longo do comprimento das lajes que, por sua vez, são bi-apoiadas nas vigas.

- o pilar do segundo pavimento difere do térreo na sua base, pois a mesma tem a forma de cunha, em uma das direções, para se encaixar na viga de piso.

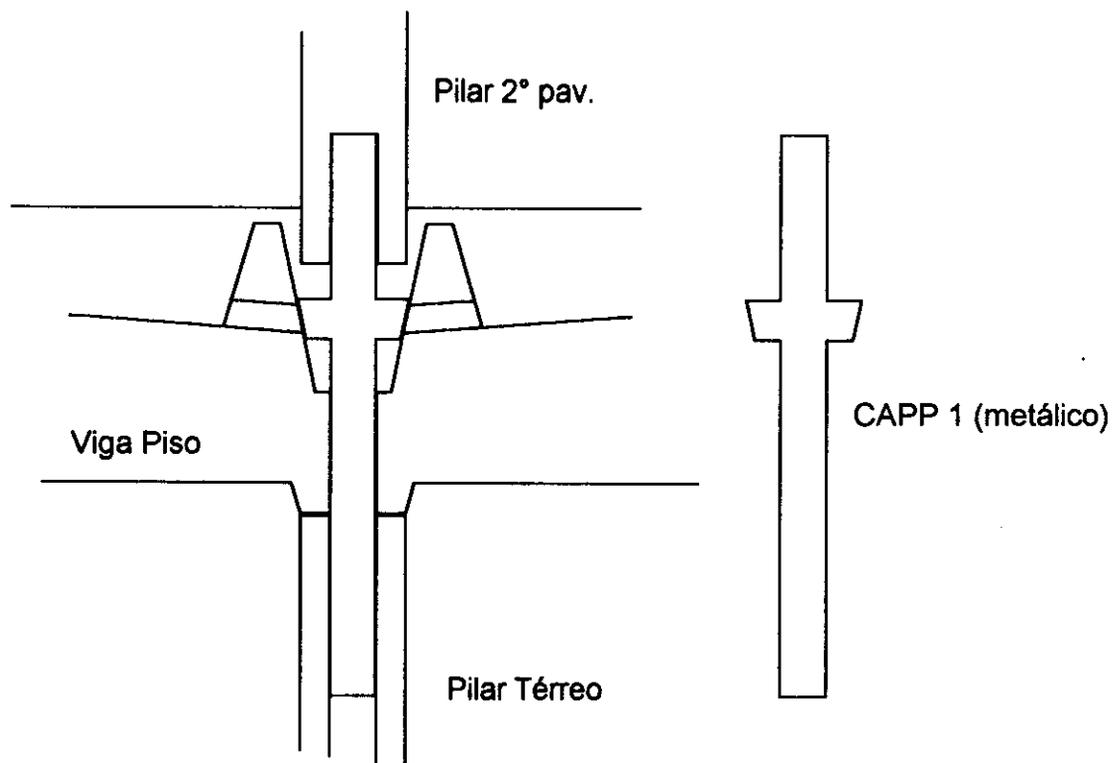


Figura 2.19 – Esquema da região de ligação dos pilares superior e inferior com a viga de piso onde pode-se notar o elemento metálico de transição.

Assim, as vigas de piso passam a ficar apoiadas sobre os pilares do térreo e são unidas a este por um tubo metálico que, tal como na cobertura, tem a função de conduzir águas. Nesta situação, entretanto, o tubo tem a forma de uma cruz, pois une o pilar do térreo, a viga de piso e o pilar do segundo pavimento (Figura 2.19).

As lajes se apoiam, nas suas extremidades, sobre as vigas de piso e a ligação entre as mesmas pode ser caracterizada como um engaste parcial. O esquema de montagem das lajes e vigas está mostrado na Figura 2.20.

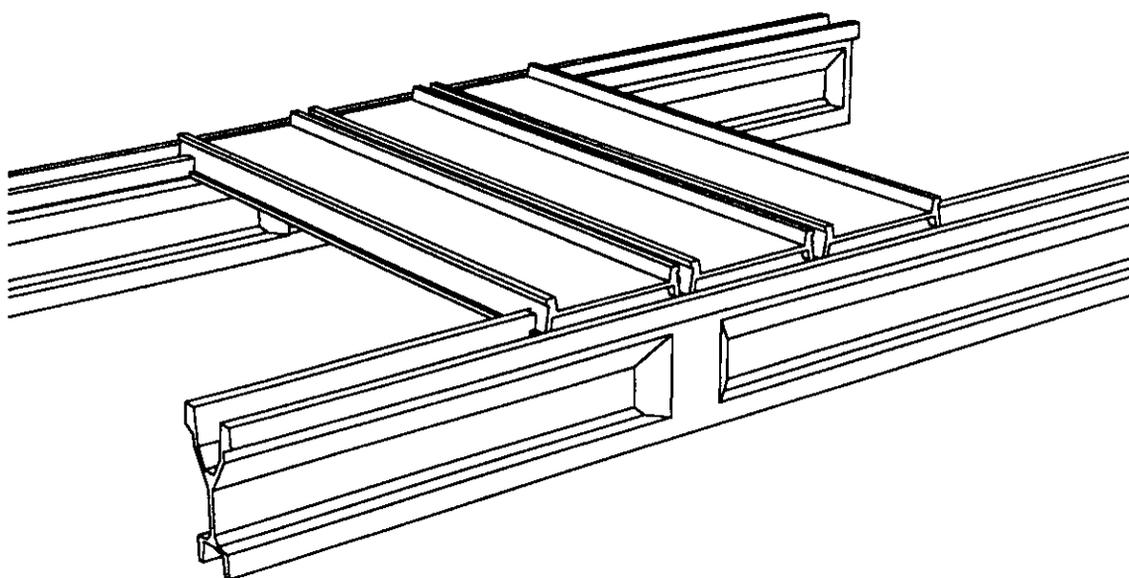


Figura 2.20 – Esquema, em perspectiva, das lajes já posicionadas sobre as vigas de piso.

Sobre as lajes se apoiam os pavimentos, que são assentados sobre pequenas pastilhas de argamassa em pontos simétricos e distantes 160 cm um do outro. Esse esquema está mostrado na Figura 2.19.

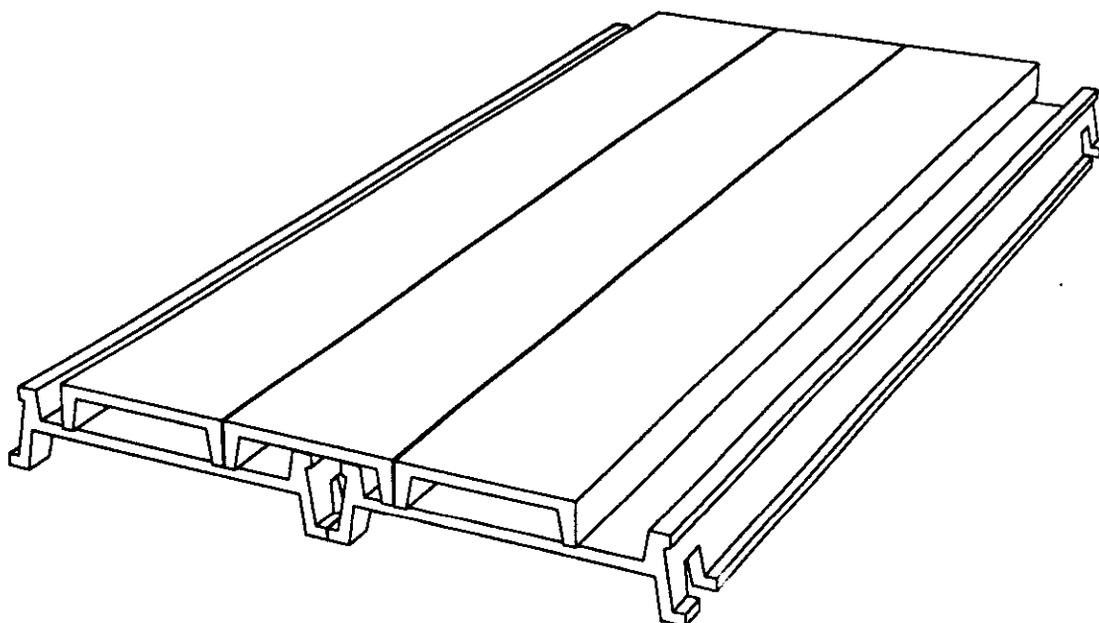


Figura 2.21 – Esquema das placas de piso posicionadas sobre as lajes.

A região de apoio da viga de cobertura no pilar já merecia atenção. Quando a viga apoiada suporta a carga de um nível de piso, a situação é ainda mais crítica.

A carga normal característica atuante no pilar do térreo passa a ser 137 kN (em vez de 35 kN) e a tensão de contato naquela região chega a valores próximos a 9,4 MPa.

Aqui, cabe colocar uma característica da produção desses pilares: devido à forma do topo do pilar, torna-se bastante difícil garantir que as superfícies das quatro faces superiores estejam no mesmo plano; mais difícil ainda é garantir que elas estejam ortogonais ao eixo longitudinal do pilar. Estas são condições fundamentais para que se atinja os valores de tensão calculados teoricamente, e eventuais decréscimos na área de contato entre as peças significam aumento da tensão existente.

Devido, então, a essa alta tensão na ligação e, mais ainda, devido à imprecisão existente na produção dos pilares, optou-se por adotar um aparelho de apoio em neoprene. Esse aparelho serviu para solucionar os dois problemas, haja vista que a diferença entre os limites máximos de tensão segundo a NBR-9062<sup>03</sup>

para ligações a seco (1 MPa) e para ligações com aparelhos de apoio (7 MPa) é significativa.

A ligação entre as vigas de piso passou a contar com dois aparelhos de transmissão de esforços: um na região inferior e outro na superior.

O ATV da região superior se fez necessário uma vez que as cargas atuantes, bem como a envoltória dos momentos fletores são diferentes das encontradas nas vigas de cobertura. A carga permanente é de 5,0 kN/m, a sobrecarga accidental é 7,5 kN/m e eventuais paredes divisórias sobre a viga contribuem com mais 1,5 kN/m. Assim, é possível a ocorrência de momento fletor negativo no meio do vão - região de ligação entre as vigas.

Por ocasião do dimensionamento desse ATV, optou-se por um conceito ligeiramente diferente: passaram a existir dois parafusos de ligação em vez de apenas um. Essa modificação serviu para reduzir as dimensões do aparelho - e, conseqüentemente, seu peso e custo.

Essa redução foi possível uma vez que a força de tração a ser resistida pelo(s) parafuso(s) é constante, independente da quantidade dos mesmos; assim, e considerando que o aparelho de transmissão de esforços em vigas é dimensionado como sendo um elemento bi-apoiado solicitado por cargas paralelas aos eixos dos apoios, tal solicitação à flexão é menor se provocada por duas cargas iguais do que por uma única carga no centro do vão. Com a utilização de dois parafusos, então, tem-se condições de reduzir a largura ou a altura útil do ATV.

Tal modificação só foi realizada no aparelho superior das vigas de piso, porque somente este o permitia: nas outras situações não havia espaço para a colocação de dois parafusos de ligação.

As ligações entre lajes é feita com argamassa de solidarização que, juntamente com as saliências existentes nas laterais das peças, forma uma ligação que distribui esforços, atuando na uniformização dos deslocamentos verticais.

É conveniente citar que as mesas das lajes apresentam um caimento do centro do vão (de 2,5 m) para as extremidades, permitindo que as eventuais águas de lavagem do piso superior passando pelas frestas existentes entre as placas de piso acabem escoando para as calhas das vigas e daí para os pilares.

Os pavimentos são assentados sobre uma camada de argamassa cuja função é regularizar os níveis de apoio.

Um sistema de escada com duas vigas principais, uma viga de apoio e degraus pré-fabricados também foi desenvolvido para completar o sistema de dois pavimentos (Figura 2.22).

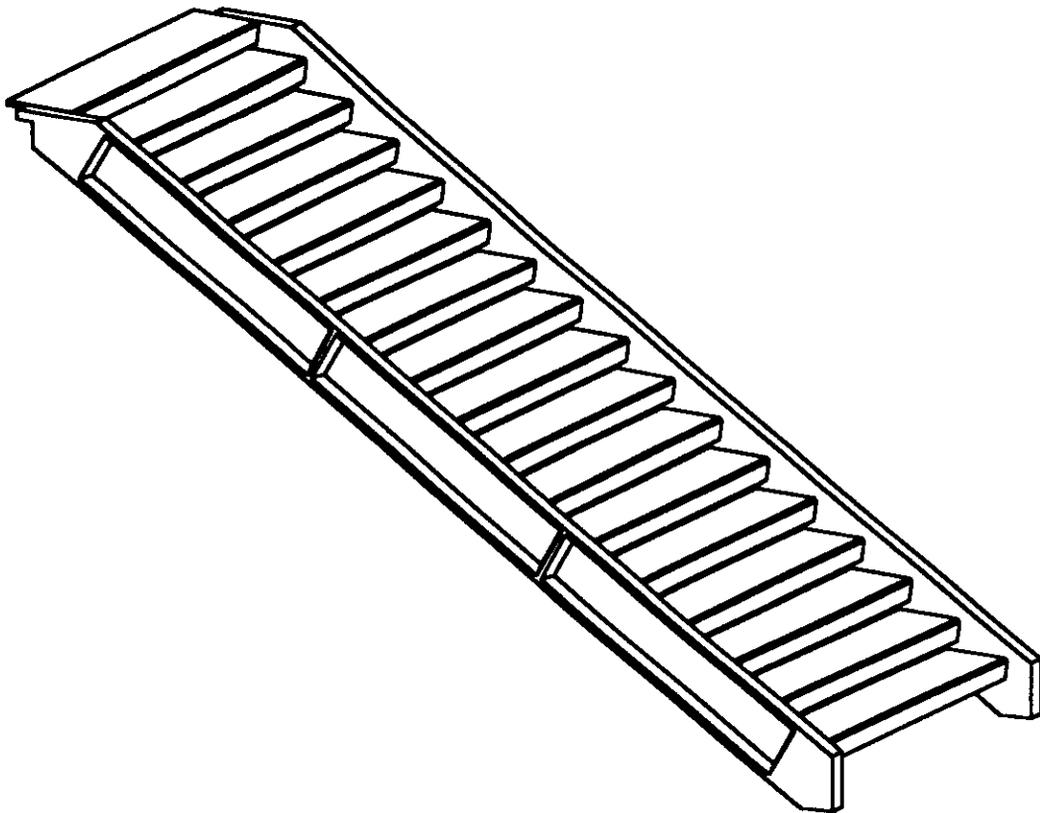


Figura 2.22 – Esquema em perspectiva do conjunto de escada adotado nas edificações de dois pavimentos do sistema de equipamentos sociais.

## **CAPÍTULO 3**

# **PROJETO DA FÁBRICA E EQUIPAMENTOS**

### **3.1 - CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES**

Muitos são os trabalhos já desenvolvidos que abordam a tecnologia do material argamassa armada ou mesmo as suas várias possibilidades de utilização. Por isso, não se pretende, neste estudo, abordar as questões tecnológicas e de projeto de maneira mais aprofundada do que o estritamente necessário.

Entretanto, entende-se como importante o registro de alguns dados relativos à produção de elementos pré-fabricados de argamassa armada, obtidos com a pequena, mas importante, experiência do autor na área em questão.

Considerando uma análise de viabilidade econômica da montagem e operação de uma usina de pré-fabricados leves, tem-se a necessidade de alguns índices que possam servir de base para um levantamento inicial. Esses números só podem ser obtidos através do acompanhamento da rotina de uma fábrica e se mostram, quanto mais detalhados, mais importantes para a confiabilidade da análise em questão. Isto se baseia no fato de que há uma grande variedade possível nos tipos de peças de argamassa armada, sendo que a produtividade igualmente será variável de acordo com as características da peça a ser moldada.

Os índices de produtividade para cada setor da fábrica são necessários para o dimensionamento da mão-de-obra, do mesmo modo que, tendo como base uma produção normal, pode-se avaliar as vantagens técnico-econômicas das diversas possibilidades de variações ou melhoramentos no processo produtivo.

Exemplificando, para se comparar os prós e contras da utilização da cura a vapor na chamada primeira cura das peças pré-fabricadas deve-se analisar o aumento de produtividade da usina em função da maior rotatividade das fôrmas utilizadas, a melhoria da qualidade da argamassa, e o aumento da resistência inicial das mesmas, com a conseqüente redução de quebras e da mão-de-obra necessária no setor de reparos e acabamento. Todas essas vantagens serão, então, comparadas com o investimento necessário à instalação de vapor. (Primeira cura

é como usualmente se define o período de endurecimento da argamassa ainda na fôrma no qual já se deve garantir condições para uma boa cura da peça)

Ainda em relação aos índices, também são importantes as estimativas de pesos de fôrmas a serem utilizadas para, em se determinando o custo das mesmas e o número de reutilizações necessárias para cada uma delas, definir-se o tipo de fôrma economicamente mais interessante para o empreendimento.

Assim, abordar-se-á, do modo mais prático possível, os números utilizados nos diversos levantamentos e estimativas de usinas de pré-fabricados de argamassa armada. Esses dados foram obtidos acompanhando-se, principalmente, as seguintes fábricas:

1) Fábrica 1 do Cedec/Emurb: projetada para ter uma produção de 180 m<sup>3</sup> mensais, sendo apenas uma unidade piloto, esta usina alcançou no início de 1992 a produção de 14 m<sup>3</sup> diários, o que supera, em quase 60%, a capacidade prevista originalmente. Este incremento da produção se deveu, principalmente, a três fatores, citados na ordem de importância: a cura a vapor, os sucessivos aumentos de produtividade e o aumento na quantidade de fôrmas disponíveis;

2) Fábrica 2 do Cedec/Emurb: com capacidade prevista de 250 m<sup>3</sup> mensais, esta unidade foi projetada já considerando a utilização exclusiva de cura a vapor em um único ciclo, longo o suficiente para dispensar a segunda cura;

3) Fábricas padrão para construção de CIAC's, conforme especificações e projetos contidos nos editais de licitação para os diversos lotes e com capacidade prevista de 3200 e 4000 m<sup>3</sup>/mês (lotes de 200 e 250 CIACs).

Tão importante quanto os índices de produtividade, o entendimento do funcionamento de cada uma das fases da produção de peças pré-moldadas é essencial no anteprojeto ou no projeto básico de uma usina de pré-fabricação, uma vez que, compreendendo-se o fluxo existente, fica mais fácil dimensionar as áreas e equipes necessárias para a sua operação.

Em relação à mão-de-obra, busca-se tratar, do dimensionamento e produtividade das diversas equipes de pessoal envolvidas no processo produtivo.

Finalmente, abordar-se-á as fôrmas de pré-moldados, suas tipologias, características, materiais utilizados, etc..

### 3.2 - INFRAESTRUTURA

Para o projeto de uma indústria de pré-fabricados devem estar disponíveis as informações relativas às características das peças e ao volume de produção desejado.

Existem, a princípio, duas situações típicas com as quais se defrontam os projetistas: na primeira delas, tendo como definição o volume de concreto a ser produzido, define-se as dimensões necessárias ao terreno e ao galpão, e busca-se um imóvel que atenda a esses parâmetros; outra situação, mais comum, é aquela onde se busca utilizar um galpão ou terreno já disponível para a produção dos componentes.

Essa última hipótese exige maior empenho dos técnicos envolvidos, uma vez que é importante otimizar, ao máximo, a ocupação do terreno e da edificação existentes.

Em qualquer das situações, entretanto, o primeiro procedimento é o balanceamento da produção. Esse balanceamento consiste na definição da quantidade de fôrmas necessárias para cada tipo de peça, e é feito após a estimativa da capacidade produtiva da fábrica.

Para balancear a produção, é feita uma análise dos produtos entregues pela fábrica, as edificações, e o objetivo é definir a relação existente entre as quantidades das peças utilizadas. Como simples exemplo, no sistema de equipamentos sociais produzido pela Emurb em São Paulo, cada viga se apoia sobre um pilar. Assim, o balanceamento da produção deve ser feito considerando que a quantidade de fôrmas de vigas deve ser a mesma das fôrmas de pilares. Esse procedimento deve se repetir para todas as peças.

Na realidade, isso somente é válido quando os processos de fabricação das diferentes peças se equivalem, com as fôrmas apresentando iguais índices de produtividade. A influência de fatores que resultem em diferentes intervalos de tempo de reutilização das fôrmas - a cura a vapor, por exemplo - deve ser considerada na definição das relações entre as quantidades de fôrmas.

Conhecidos esses quantitativos, bem como as dimensões aproximadas e características das fôrmas, tem-se condições de definir o *layout* do setor de produção.

Na realidade, o procedimento usual é dimensionar por meio de tentativas: partindo de determinada quantidade de fôrmas, tenta-se alocá-las em um local considerado de produção que, no caso de peças de pequenas dimensões, engloba a mesa vibratória e os tanques de primeira cura. A seguir, reserva-se áreas para a desmoldagem, produção da argamassa e acabamento das peças. Finalmente, verifica-se se a área restante é suficiente para o setor de armação. Se assim o for e ainda houver folga, pode-se rever as quantidades de fôrmas, aumentando-as o quanto possível. Caso a área da armação não seja suficiente, deve-se redefinir os quantitativos até que obtenha-se um bom aproveitamento da área disponível.

Certamente que, quanto maior a experiência dos técnicos envolvidos no projeto das instalações, menor o número de tentativas levadas a efeito no dimensionamento da usina.

A seguir, tenta-se abordar algumas necessidades a serem consideradas por ocasião do dimensionamento das áreas de cada um dos setores da fábrica.

#### **a) setor de armação:**

No caso de peças com pequenas dimensões, com comprimento da ordem de 2,5 metros, é interessante que se utilize bancadas de armação, normalmente confeccionadas em madeira. Tais bancadas devem ter as mesmas dimensões e formas das peças a que se destinam as armaduras nelas montadas, atuando como um gabarito e contribuindo para reduzir os problemas de incompatibilidade entre a armadura e a fôrma.

Quando o volume de produção é pequeno, pode-se optar por utilizar as próprias fôrmas como gabarito de armação. Tal possibilidade, entretanto, só é vantajosa caso o fluxo normal de produção não seja prejudicado pelo trabalho dos armadores nas fôrmas.

Caso existam as bancadas de armação, deve-se reservar espaço suficiente para a sua utilização de modo a aproveitar ao máximo a ocupação da área

reservada ao setor de armação sem, porém, prejudicar a movimentação dos operários.

**b) setor de preparo da argamassa:**

A área de produção da argamassa deve ser suficiente para garantir o armazenamento do cimento e dos agregados, o posicionamento do misturador e seus acessórios e a livre movimentação dos carrinhos a transportar a argamassa produzida.

No caso dos insumos, deve-se estimar a capacidade de armazenamento em função do volume de argamassa a ser produzida diariamente. Normalmente, dimensiona-se o volume de armazenamento como equivalente ao consumo de dois dias de produção.

**c) área de moldagem das peças:**

De uma maneira geral, a área reservada para a produção propriamente dita das peças tem grandes dimensões, uma vez que abrange o início de todas as linhas da fábrica. Deve-se dimensionar a área de tal maneira que haja espaço suficiente para o posicionamento das mesas vibratórias e dos operários à sua volta, permitindo a movimentação dos carrinhos com argamassa ou mesmo das caçambas acionadas em monovias.

É conveniente lembrar que, na área de moldagem, há uma intensa movimentação de fôrmas, tanto das bancadas de retorno para as mesas vibratórias quanto destas para os tanques de primeira cura.

**d) tanques de primeira cura:**

A determinação da área em planta destes tanques é feita em função da quantidade de fôrmas que se tem disponível para produção.

A quase totalidade das usinas de pré-fabricados de argamassa armada produz, diariamente quantidade de peças igual à de fôrmas existentes, ou seja, todas as fôrmas são preenchidas diariamente. Assim, os tanques de primeira cura devem ter dimensões tais que acomodem todas aquelas fôrmas.

É vantajoso que se considere o empilhamento das fôrmas que o permitirem (horizontais), de modo a reduzir as áreas dos tanques.

**e) tanques de segunda cura:**

Quando existentes, estes tanques devem ser dimensionados para armazenar a totalidade das peças produzidas ao longo do período da segunda cura, geralmente 3 dias.

Como será abordado no Capítulo 4, é vantajoso, nesta fase, que as peças estejam paletizadas, de modo a diminuir o manuseio e a ocorrência de quebras. Com a paletização há uma sensível redução do volume ocupado pelas peças e, conseqüentemente, do volume necessário para os tanques.

**f) galpão de acabamento:**

Este é um local cujo dimensionamento é de difícil precisão, visto que antes de se iniciar a produção das peças é indeterminado o índice de peças que necessitarão de acabamento ou reparos.

Um número que pode ser considerado para esse índice é 30% sendo, entretanto, algo totalmente empírico e com grande variação de uma usina para outra.

Os cuidados tomados ao longo do processo produtivo (garantia da qualidade) serão os fatores determinantes daquele percentual.

**g) área de estoque:**

O espaço reservado ao estoque das peças produzidas será bastante variável e dependerá do sistema de trabalho da fábrica no que diz respeito ao encaminhamento das peças para as obras. Assim, caso se produza somente as peças já vendidas pode-se pensar em uma área de estoque bem pequena.

A seguir, mostra-se o *layout* das seguintes instalações de produção:

- Fábrica 1 do Cedec/Emurb;
- Fábrica 2 do Cedec/Emurb; e
- Fábrica A, projetada para operar no sul do país com capacidade de 50 m<sup>3</sup>/mes em pré-moldados leves de concreto e argamassa armada.

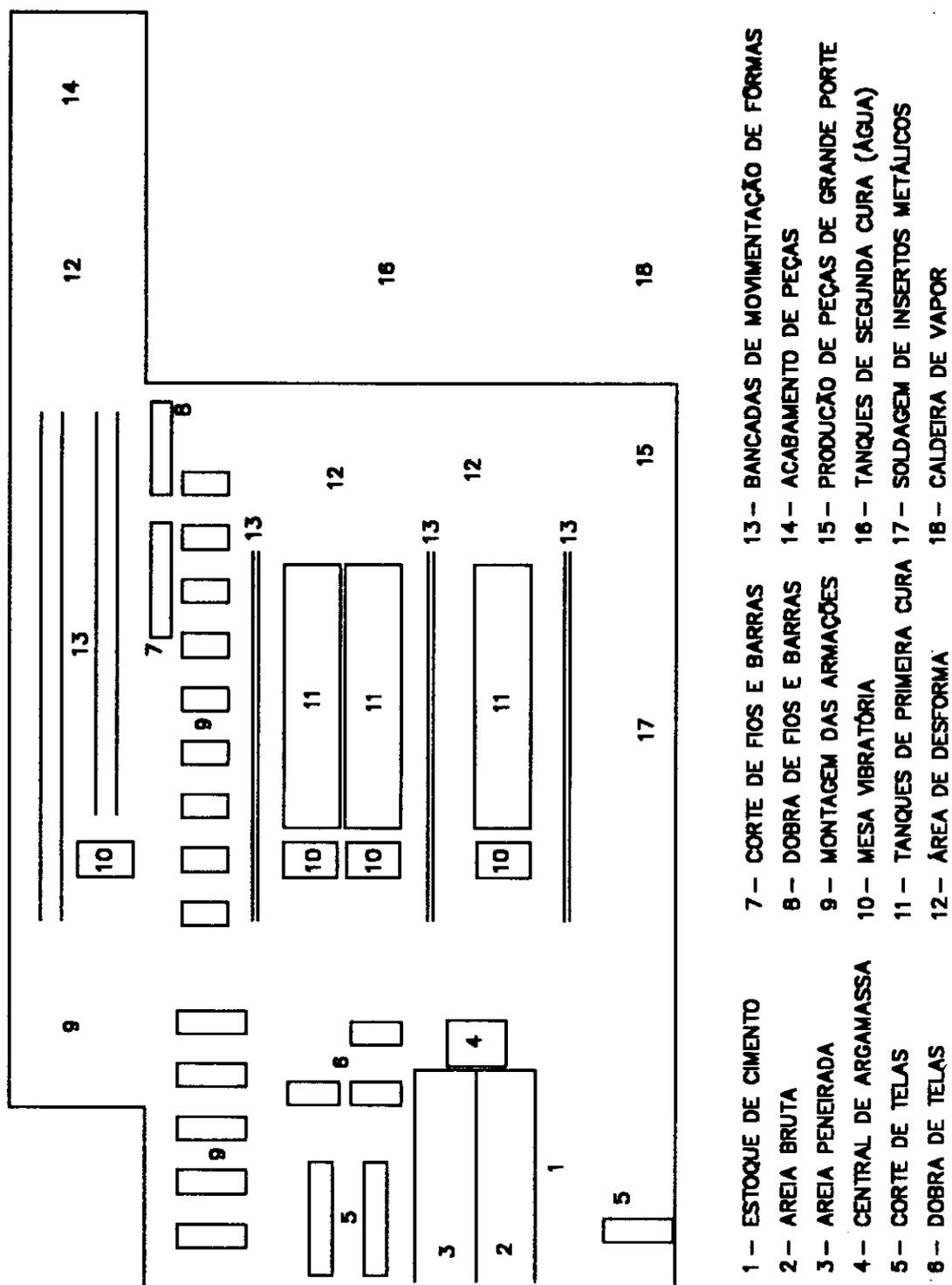


Figura 3.1 – *Layout* da usina de produção do Cedec/Emurb (Fábrica 1).

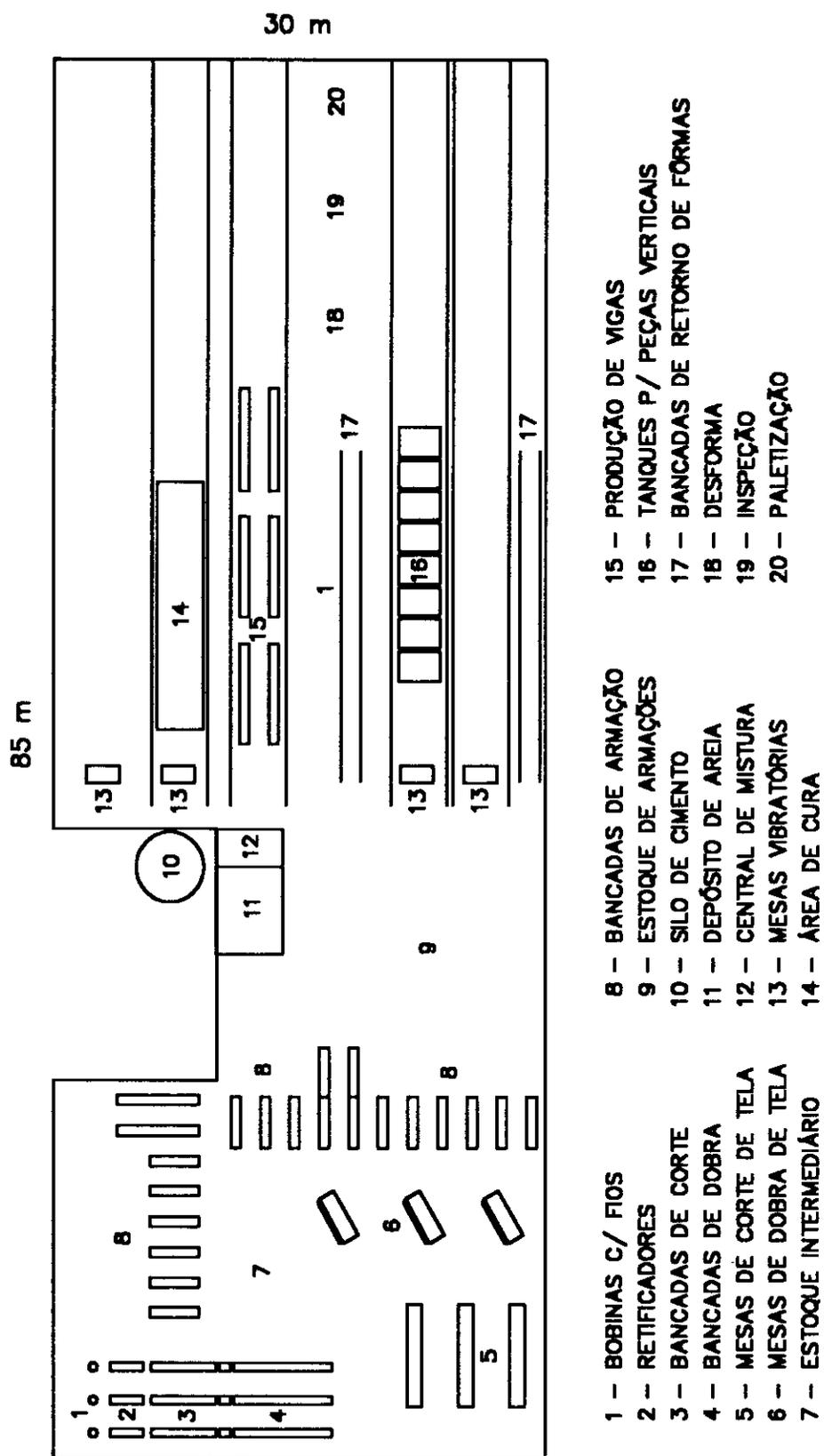


Figura 3.2 - *Layout* da usina de ampliação do Cedec/Emurb (Fábrica 2).

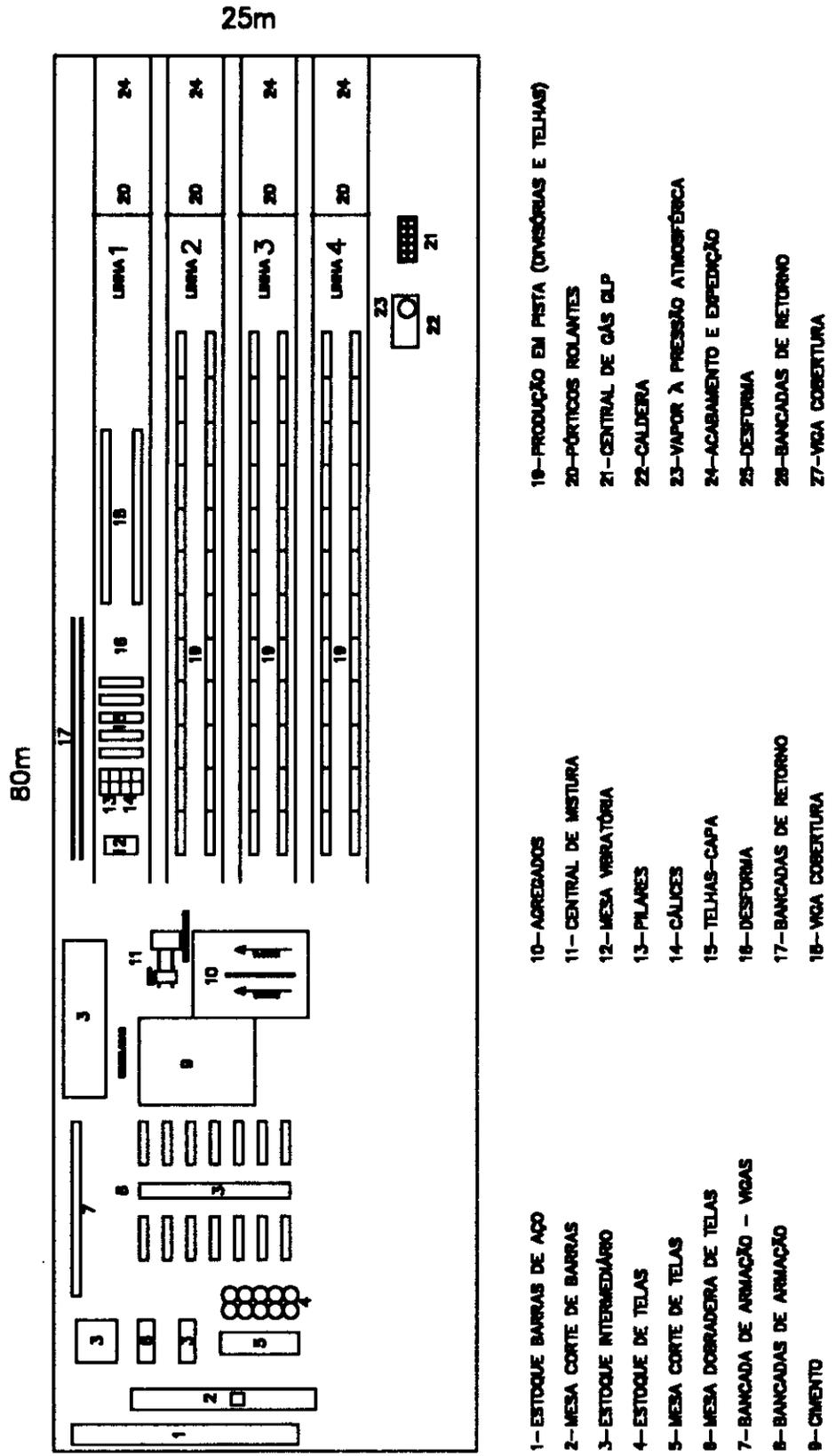


Figura 3.3 - *Layout* de usina com capacidade de 50 m<sup>3</sup>/mes.

### 3.3 - MÃO-DE-OBRA

O dimensionamento global da mão-de-obra necessária em uma usina dependerá, sobremaneira, do nível de mecanização e/ou automatização aplicado às etapas do processo produtivo.

De uma maneira geral, existem alguns estrangulamentos nas linhas de produção inerentes a determinadas operações, que não têm como ser contornados mesmo com o aumento do número de operários.

Por exemplo, a linha de produção de placas de piso concebida para as fábricas padrão de CIACs se mostrou de difícil operacionalização<sup>10</sup>, pois se fossem moldadas, em um turno de oito horas de produção, todas as fôrmas previstas para a linha, seria necessário um tempo máximo de 40 segundos para o ciclo, envolvendo a movimentação das fôrmas para a prensa vibratória e o preenchimento e vibração das mesmas.

Em uma outra linha da mesma fábrica, onde se produziria peças em fôrmas verticais, a movimentação das peças e fôrmas seria tão intensa que, apenas para essa movimentação, não seria suficiente um turno de trabalho. Neste caso específico, havia um estrangulamento do fluxo no trecho situado entre a moldagem das peças e a operação de desfôrma, uma vez que toda a movimentação de peças das mesas vibratórias para os tanques e destes para a área de desmoldagem estava a cargo de pórticos rolantes que, necessariamente, dependiam um do outro para o livre caminho.

Outra área ligada ainda à mesma fábrica, onde funcionaria o setor de armação, se mostrava subdimensionada no seu tamanho, pois imaginando que cada armador precise de um espaço físico próximo a 5 m<sup>2</sup>, a quantidade possível de armadores ali presentes não seria suficiente para a demanda existente de armações.

Esses exemplos deixam claro que, para que a operação de uma linha, ou mesmo da fábrica inteira, ocorra de modo eficiente e sem contratempos, é importante que se analise o fluxo detalhado das atividades realizadas, de modo a evitar o desbalanceamento das diversas etapas na mesma linha, como se pôde perceber no exemplo citado.

Na produção de peças de argamassa armada, existe, um tanto que historicamente, um índice de produtividade da ordem de  $1,0 \text{ m}^3/\text{homem.mês}$  - o que equivale a aproximadamente  $160 \text{ homens.hora/m}^3$ . Esse valor é uma média verificada nas fábricas existentes até hoje, decorrem de um turno de produção de 8 horas diárias e são válidos para peças usuais de argamassa armada, com volume máximo aproximado de  $0,15 \text{ m}^3$ . Isso porque, quanto maiores as dimensões, e conseqüentemente o volume, da peça pré-moldada, maior o índice de produtividade alcançado.

Apenas como ilustração, o Quadro 3.1 contém os índices obtidos na produção de peças de concreto armado, os chamados pré-moldados pesados, utilizados em galpões de grande porte.

<b>Tipos de Peças</b>	<b>Produtividade (h.h/m<sup>3</sup>)</b>
Vigas e pilares	50
Painéis $\pi$	15
Telhas W	10

Quadro 3.1 - Índices de produtividade médios obtidos com pré-moldados de concreto armado de grande porte (números obtidos junto a empresas do ramo).

Na produção dos chamados pré-moldados leves se observa alguns índices médios que variam em função da tipologia da fôrma e das dimensões da peça. De uma maneira geral, quanto maior a espessura média da peça, maior o ganho de produtividade alcançado. Do mesmo modo, a utilização de fôrmas horizontais, com maior área de preenchimento e, conseqüentemente com menor tempo de vibração necessário, leva a um maior aproveitamento da mão-de-obra produtiva.

No Quadro 3.2 pode-se observar os índices de produtividade de cada setor da linha de produção (armação, moldagem e acabamento). Na totalização das quantidades de pessoal, chega-se a valores percentuais que podem ser considerados no dimensionamento da mão-de-obra em uma usina de pré-fabricados leves.

TIPOS DE FÔRMAS	Produtividade (homem.hora/m <sup>3</sup> )			
	Armação	Moldagem	Reparos	Total
Placas de piso	-	17.2	17.2	34.4
Fôrmas Verticais	36.1	42.7	23.0	101.8
Fôrmas Horizontais (1)	39.2	85.0	39.2	163.5
Fôrmas Horizontais (2)	38.1	47.6	25.4	111.2
Fôrmas Fixas (pista)	20.4	38.9	22.2	81.5
Total Homens (%)	27	48	25	100

(1) - fôrmas de pequeno porte -  $L < 2,5$  m.

(2) - fôrmas de maior porte -  $L > 2,5$  m.

Quadro 3.2 – Índices de produtividade médio por linha de produção e por setor do mesmo.

No Cedec, conseguiu-se sucessivos aumentos da produtividade global que, embora tímidos, serviram para mostrar as limitações existentes em um processo bastante artesanal como é a armação e a movimentação das peças de argamassa armada.

A utilização de fibras de polipropileno em substituição às telas, como será comentado no capítulo 4, aumenta, ainda mais, a produtividade da usina.

A produção com fôrmas fixas, inspirada no sistema de moldagem em pista dos pré-moldados de concreto armado, e descrita com mais detalhes no item 3.4, foi responsável por um significativo aumento da produtividade, elevando esse índice para 80 homens.hora/m<sup>3</sup>, já incluindo os reparos e acabamento das peças. Basicamente, a grande vantagem desse sistema de produção é a eliminação da movimentação das fôrmas metálicas.

As pequenas dimensões das peças usuais de argamassa armada resultam na existência de muitas fôrmas, que precisam ser movimentadas individualmente. Esse intenso movimento, principalmente nos tanques de primeira cura, requer tempo, mão-de-obra, pelo menos um pórtico rolante e, mais ainda, impede outras operações com pórticos, pois os trilhos ficam ocupados pelo pórtico utilizado na movimentação das fôrmas.

### 3.4 - FÔRMAS

Na produção de elementos pré-moldados, torna-se fundamental a preocupação com as fôrmas utilizadas. Isto porque, como é claro, elas servirão de molde para as peças produzidas e, um bom molde, certamente produzirá uma boa peça, da mesma maneira que um molde com falhas de projeto ou execução resultará em uma peça com deficiências. Isto posto, fica nítido que a preocupação com as fôrmas deve ter início por ocasião do projeto, prosseguindo durante a construção da mesma, através de acompanhamento e inspeção do processo.

Especificamente no caso de pré-fabricados leves, o cuidado se faz mais necessário, haja vista que as dimensões das peças são menores, as espessuras são da ordem de milímetros e as formas das peças têm alguns requintes, o que faz com que qualquer imperfeição no que diz respeito às fôrmas utilizadas, se faça nítida e muito mais perceptível do que no caso de pré-fabricados pesados de concreto armado. Como ressalta Campos<sup>11</sup>, otimizar a argamassa armada significa dar uma atenção especial para as fôrmas.

Tentar-se-á abordar alguns tópicos relativos às fôrmas utilizadas na produção de pré-moldados leves considerando, principalmente, a etapa de projeto das mesmas.

#### 3.4.1 - Projeto

O primeiro passo quando da decisão de executar uma fôrma para peças pré-fabricadas, é a definição das premissas básicas de projeto. Essas premissas levam em consideração, principalmente:

- a) material a ser utilizado na confecção da fôrma;
- b) a forma da peça e, conseqüentemente, o modo de preenchimento da fôrma;
- c) a tipologia a ser adotada para a fôrma (por exemplo, se do tipo fixa, móvel, simples, dupla, retrátil, expansiva, etc.).

### **a) Materiais**

São vários os materiais com condições de serem utilizados na confecção das fôrmas para produção de peças pré-fabricadas. A escolha e definição depende entre outros fatores, das dimensões, forma e qualidade de acabamento que deve ter a peça produzida, do tipo de adensamento e cura a serem empregados e do número de reutilizações que se deseja para o molde.

No Brasil, tem-se utilizado somente fôrmas metálicas nas usinas de pré-fabricados de argamassa armada. Dependendo da estratégia adotada a nível de projeto, pode-se adotar as fôrmas de madeira na produção de protótipos ou de peças com pequena demanda.

Na confecção dos moldes há ainda a possibilidade de utilização de alguns outros materiais tais como o próprio concreto ou argamassa, fibra de vidro ou ainda a combinação de mais de um material como o caso de fôrmas de madeira revestidas com chapas de aço, para proporcionar um melhor acabamento.

No Cedec experimentou-se, com sucesso, fôrmas de madeira revestidas com chapas de PVC - material que alia qualidade de acabamento, facilidade de desmoldagem e boa relação custo/benefício. Além disso, diminuiu consideravelmente o desgaste das superfícies do molde, aumentando o número de reutilizações possível.

A fibra de vidro é um material que também pode ser considerado na fabricação de fôrmas, se situando em um patamar intermediário entre o aço e a madeira, no que diz respeito ao número de reutilizações e ao acabamento superficial da peça.

Campos<sup>11</sup>, citando Fernandez Ordoñez, fornece alguns valores médios do número de reutilizações de fôrmas em função do tipo de material utilizado na sua confecção (Quadro 3.3).

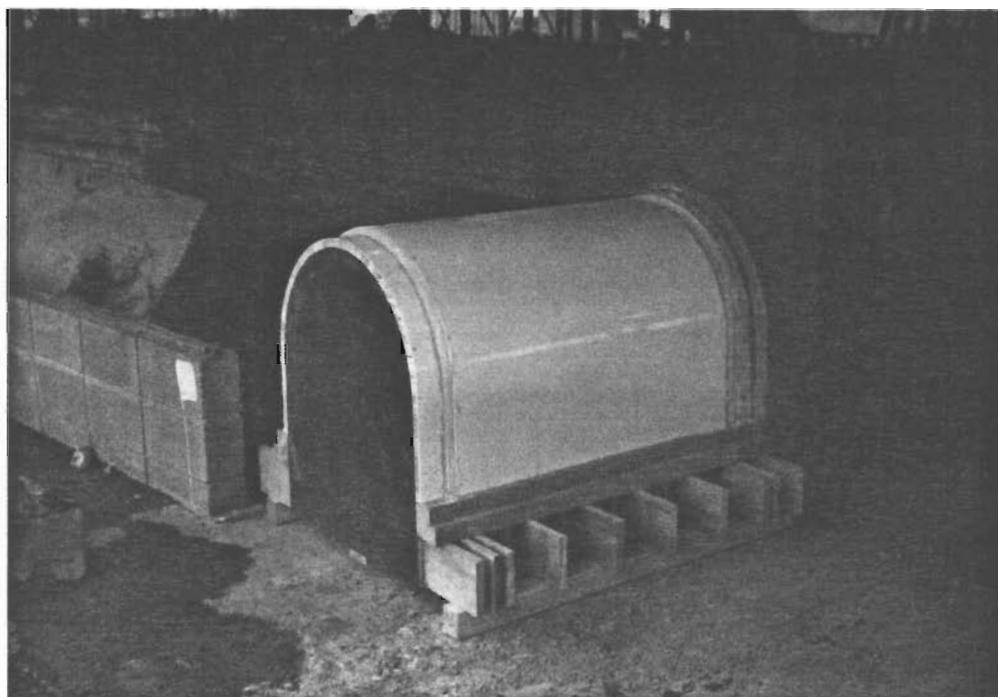


Foto 3.1 – Fôrma de madeira revestida com PVC utilizada na produção de peças de argamassa armada.

MATERIAL UTILIZADO	Nº REUTILIZAÇÕES
madeira s/ tratamento	20 a 80
madeira tratada	30 a 120
madeira revestida c/ aço	30 a 150
concreto/argamassa	100 a 300
materiais sintéticos reforçados c/ fibra de vidro	80 a 400
aço (fôrma desmontável)	500 a 800
aço (fôrma não desmontável)	800 a 1200

Quadro 3.3 – Número de reutilizações médio por fôrma em função do tipo de material adotado na sua confecção<sup>11</sup>

Estes valores apresentados, deve-se lembrar, são simples médias das observações e experiências realizadas dependendo, sobremaneira, dos cuidados dispensados ao manuseio e manutenção das fôrmas.

Apesar de haver muitos materiais que podem servir para a confecção de fôrmas, por uma questão de praticidade, e por serem esses os tipos mais utilizados, abordar-se-á somente detalhes de projeto relativos às fôrmas de aço e de madeira.

#### **Aço:**

Para a produção em série de pré-moldados, as fôrmas metálicas são as mais utilizadas, pois conseguem aliar bom acabamento, robustez e durabilidade, com um custo que, embora elevado, é compensado pelas características da fôrma e pelo alto número de reutilizações.

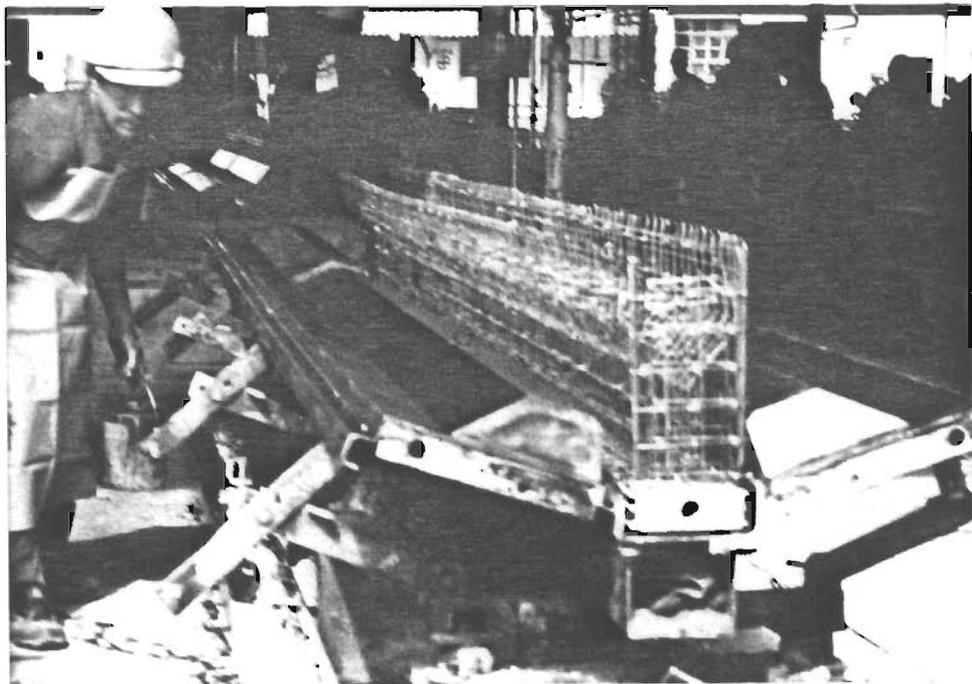


Foto 3.2– Fôrma metálica de viga de cobertura do sistema de equipamentos sociais.

Pode-se tentar agrupar em quatro os componentes usualmente empregados em uma fôrma metálica.

**Chapa dobrada:** são utilizadas, principalmente, nas superfícies de moldagem, ou seja, estando em contato direto com a argamassa. Esse tipo de uso é interessante pois, por serem dobradas, as chapas não têm cantos vivos, sendo que a peça produzida manterá esse detalhe, ficando com cantos e arestas arredondados. Como característica de produção, a existência de encontros de chapas favorece muito a ocorrência de quebras da peça, uma vez que, dificilmente, se consegue manter o ângulo entre as chapas constante ao longo do comprimento das juntas. Nesta situação, a vedação também aparece como problema. A espessura usual das chapas utilizadas é de 3,6 mm (#10).

**Perfilados ou chapas metálicas:** seu uso é adequado nas travessas de enrijecimento e outros elementos de estruturação da fôrma.

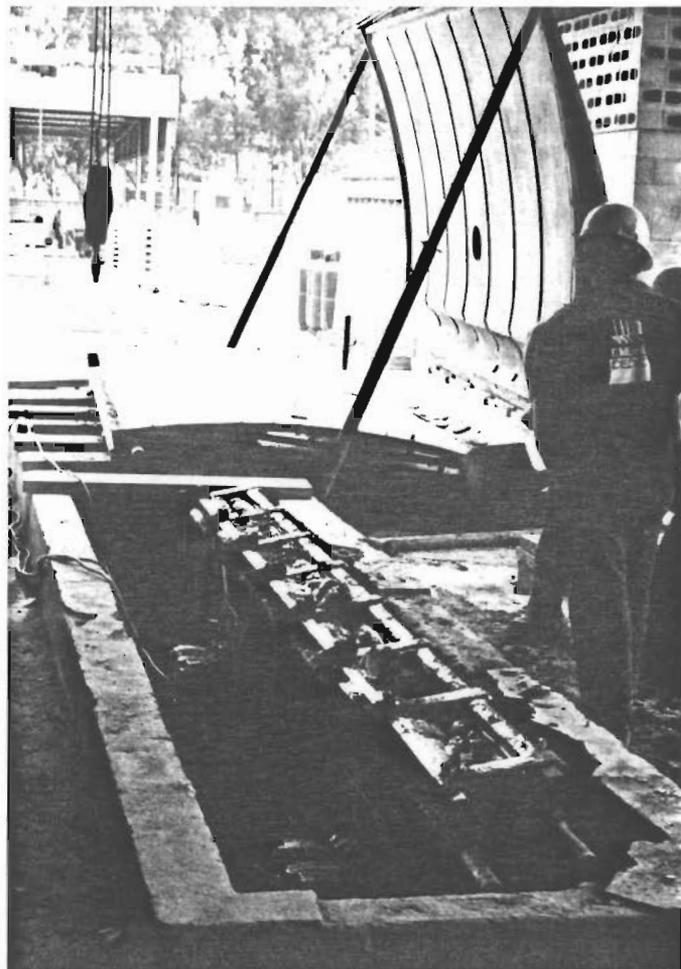


Foto 3.3- Detalhe de fôrma metálica de uma cobertura de abrigo de ônibus

**Usinados:** para os pinos metálicos, cunhas, dobradiças e outros componentes, tais como negativos (fôrmas internas), esse tipo de material se adapta melhor, principalmente levando-se em consideração as intensas e constantes solicitações mecânicas aos quais os mesmos estão sujeitos.

**Acessórios diversos:** são utilizados como complementos da fôrma: por exemplo, travas e fechos de engate rápido.

É importante a definição das regiões a serem soldadas, pois devido à alta temperatura, a utilização de solda elétrica em chapas de aço de pequena espessura causa deformações irreversíveis na mesma. Como, de uma maneira geral, são as chapas que estão servindo efetivamente de molde, eventuais irregularidades se farão notar na peça acabada.

Mesmo a utilização de eletrodo de estanho, material que aquece bem menos que o eletrodo convencional, torna-se inviável ao resultar em uma ligação muito frágil, que não aceita grandes solicitações ou deformações.

Sempre que se fizer necessário o encontro de chapas da fôrma, é conveniente a criação de labirintos para dificultar a fuga de nata.

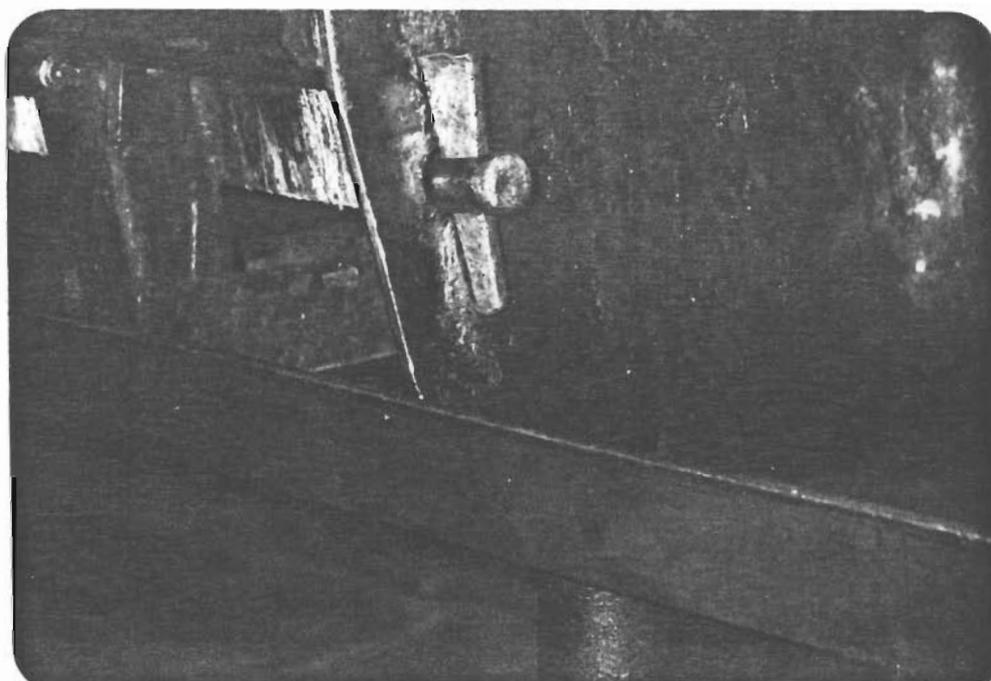


Foto 3.4 – Detalhe de pino e cunha utilizados em fôrmas metálicas.

A seguir, apresenta-se relação de algumas fôrmas utilizadas no Cedec onde se dispõe das relações entre peso da fôrma metálica e o volume de argamassa armada de acordo com a tipologia da peça pré-moldada.

Peça	Tipo	Descrição	Volume (m <sup>3</sup> )	Peso Fôrma (kg)	Consumo Aço Fôrma (kg/m <sup>3</sup> )
DCP	1	Div. Comp. Pilar	0.024	63	2625
DCT	1	Div. Comp. Tipo	0.026	65	2500
DP	1	Divisória Pilar	0.032	79	2469
DT	1	Divisória Tipo	0.038	72	1895
FT	2	Fundação Tipo	0.030	70	2333
P1	3	Pilar 1° pav.	0.053	165	3113
RP	3	Rodapé Pilar	0.003	11	3793
RT	3	Rodapé Tipo	0.003	13	3824
TC	2	Telha Capa	0.023	60	2667
TT	1	Telha Tipo	0.039	50	1282
VC1	4	Viga Cobertura 1	0.123	640	5203
VC2	4	Viga Cobertura 2	0.137	700	5109
F	2	Fundo	0.032	105	3333
FC	2	Fundo Curvo	0.029	105	3620
LD	3	Lateral	0.031	110	3583
LDC	3	Lateral Curva	0.027	110	4044
VS	4	Viga Superior	0.023	110	4782

Tipologia considerada:

- 1 - fôrmas fixas horizontais
- 2 - fôrmas móveis horizontais
- 3 - fôrmas móveis verticais
- 4 - fôrmas de vigas (uma dimensão muito maior que as outras)

Quadro 3.4 - Alguns tipos de fôrmas utilizadas no Cedec/Emurb e os valores de consumo de aço.

## Madeira

As fôrmas de madeira apresentam, como pontos positivos, o seu custo e facilidade de fabricação, se comparadas às fôrmas metálicas. Como desvantagens, proporcionam um número de reutilizações limitado (Quadro 3.4) e a necessidade de maior cuidado no manuseio.

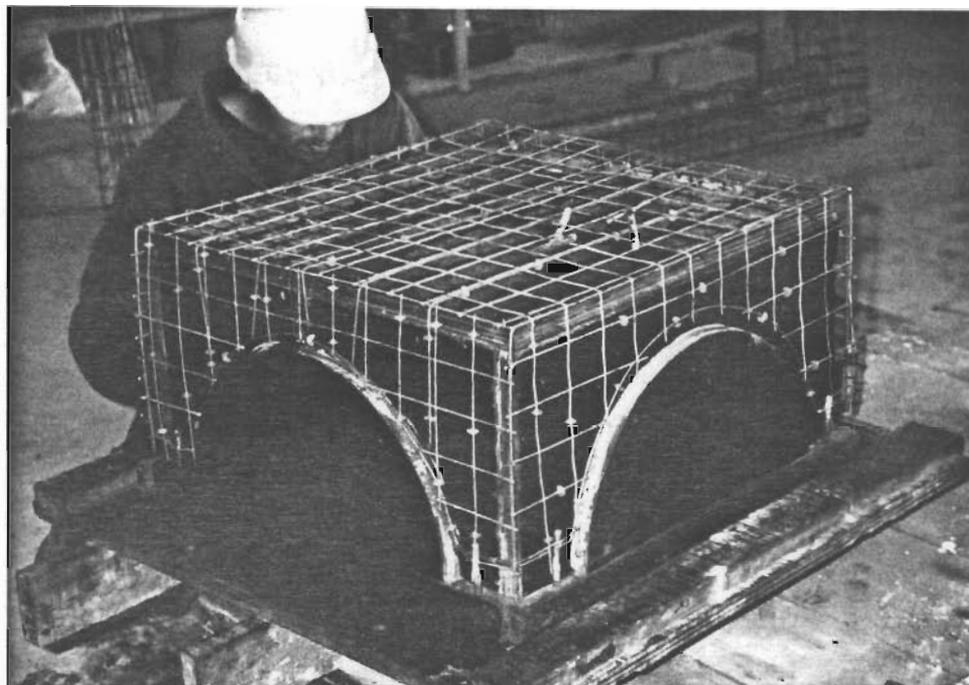


Foto 3.5 – Fôrma utilizada na confecção de briqueado em forma de escada para play-ground.

Especificamente para pré-moldados de argamassa armada, onde a cura das peças tem grande importância, as fôrmas de madeira apresentam a desvantagem de não poderem ser submersas ou ainda submetidas a vapor. Esses procedimentos provocariam inchamento dos compensados de madeira e sua rápida deterioração. Portanto a cura com fôrmas desse tipo é feita simplesmente com sacos de aniagem úmidos colocados sobre a superfície exposta da peça.

É conveniente que, para a fabricação de uma fôrma de madeira, haja um projeto tão ou mais detalhado que o executado para fôrmas metálicas. Isso porque, a madeira é bem menos resistente que o aço, sendo importante que a fôrma seja bem estruturada com travessas, gravatas e outros dispositivos de enrijecimento.

É interessante ainda, a utilização de barras rosqueadas com porcas e arruelas em todas as ligações de painéis ou módulos que serão desmontados a cada operação de desfôrma. Os pregos devem ser usados somente em ligações definitivas de placas.

Todas as partes da fôrma que puderem ser desmontáveis, assim o devem ser, de modo a diminuir, ao máximo, os esforços oriundos da desmoldagem.

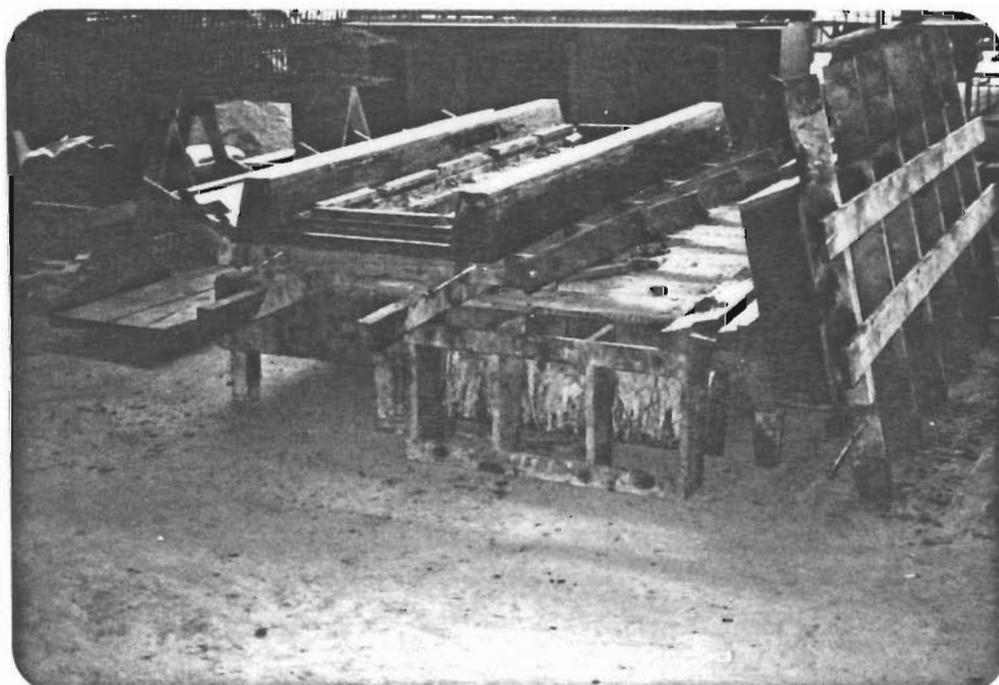


Foto 3.6 – Fôrma de madeira para uma peça do conjunto de shed de cobertura do sistema de equipamentos sociais.

#### **b) Modo de preenchimento**

Este item é, basicamente, função de alguns fatores tais como:

- forma da peça, seu contorno, suas saliências e regiões com dificuldade de acesso da argamassa, seja por questões de geometria ou por alta densidade de armadura;
- as superfícies da peça nas quais se deseja um bom acabamento, e;

- a existência ou não de fôrmas internas ou negativas, que necessitam ser sacadas pouco tempo após a moldagem da peça.

Em uma primeira análise, poderia-se destacar dois grupos básicos de tipos de fôrmas: horizontais e verticais.

#### **Fôrmas Horizontais:**

As do tipo horizontal proporcionam uma maior facilidade no seu preenchimento, pois a argamassa tem uma superfície maior que não fica em contato com a fôrma e que necessita, posteriormente, de acabamento manual. Entretanto, pode haver alguma dificuldade no posicionamento da armadura, haja vista que os espaçadores só garantirão o cobrimento mínimo na face interna, em contato com o molde, podendo permitir a variação no cobrimento da tela e/ou fios em algumas regiões da superfície aparente.

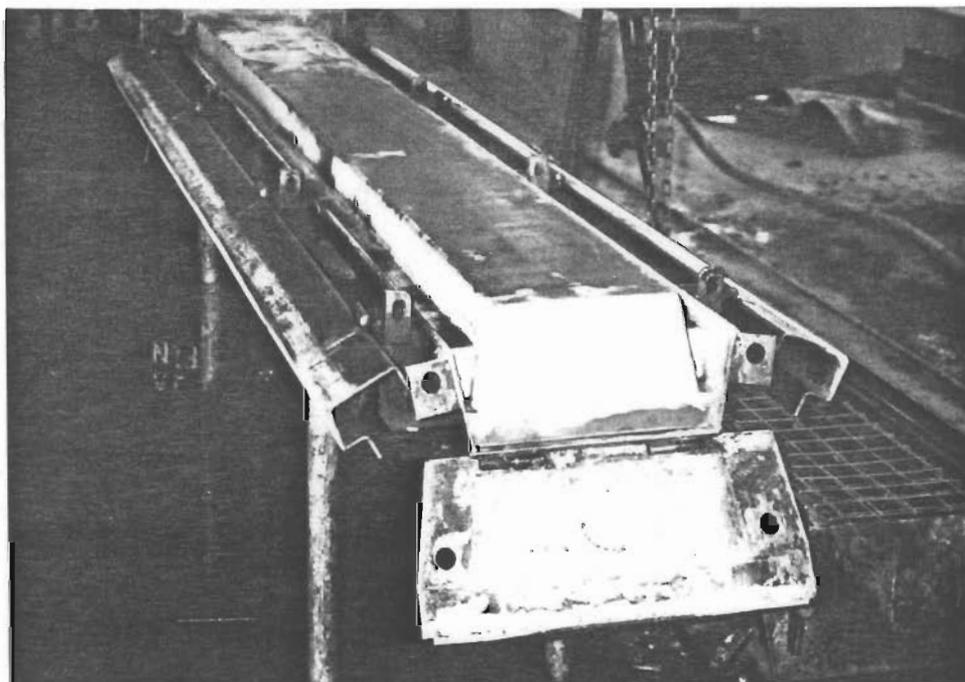


Foto 3.7 - Fôrma metálica horizontal de peça de cobertura do sistema de equipamentos sociais.

Em termos de custo, este tipo de fôrma é mais vantajoso que o tipo vertical pois ter-se-á menos superfície da peça envolvida pelos painéis - com o menor consumo dos mesmos.

Por ocasião da desmoldagem também há uma vantagem, uma vez que somente o "ângulo de saque" pode ser suficiente para esta operação.

Da mesma maneira, a mão-de-obra no manuseio é menor, uma vez que as fôrmas verticais necessitam ser desmontadas, assim como o trabalho de limpeza e preparo da fôrma para uma nova moldagem é bastante simplificado pelas razões de menor superfície, já explicadas.

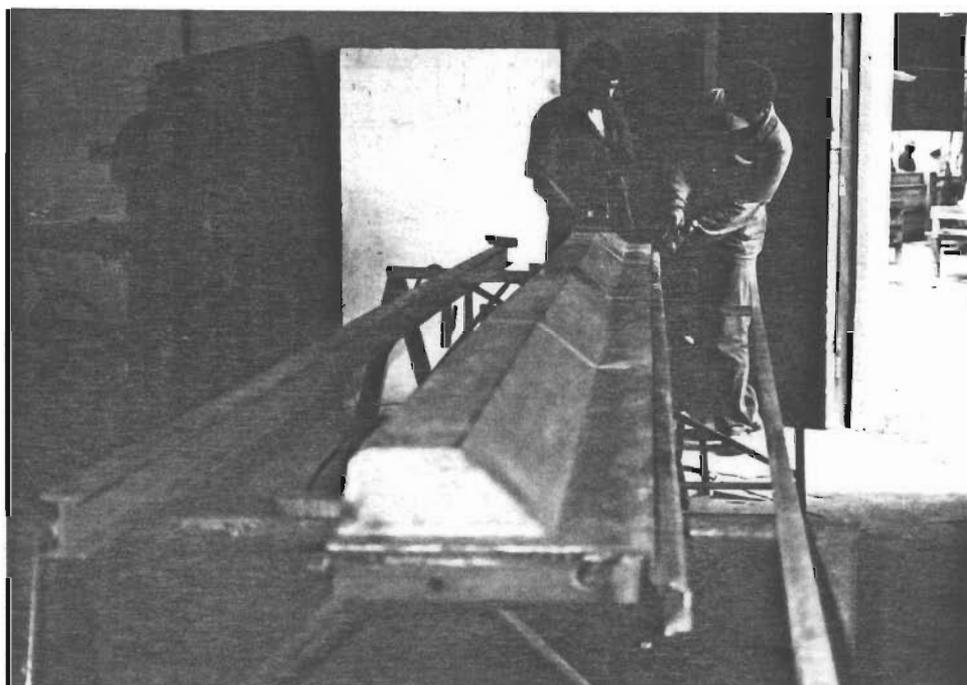


Foto 3.8 – Fôrma metálica de viga de cobertura desmontada em manutenção

### **Fôrmas Verticais:**

O segundo tipo de fôrmas apresenta sistema de preenchimento na vertical. Neste caso, praticamente toda a peça fica envolvida pela fôrma, o que resulta em uma peça com bom acabamento em quase toda a sua superfície (Foto 3.9). A argamassa é colocada no molde por uma área equivalente à uma seção transversal da peça que, tradicionalmente, tem pequenas espessuras. Assim, o pequeno espaço para a entrada da argamassa somado à altura da fôrma, resulta em uma maior probabilidade da ocorrência de vazios ou ninhos de concretagem.

Em função disso, este tipo de fôrma requer uma sistematização para o seu preenchimento, com a argamassa sendo lançada em camadas equivalentes a  $1/3$  ou  $1/4$  da altura total da peça, reservando-se um certo tempo entre o final de uma camada e o início da outra. Este intervalo tem a função de permitir a saída do ar contido na argamassa já lançada e em processo de adensamento uma vez que, como a dimensão preponderante é a altura, o "percurso" a ser vencido pelas bolhas de ar é maior do que em uma fôrma do tipo horizontal.

Quando da utilização de fôrma vertical, o aumento da fluidez da argamassa pode resultar em significativa redução do tempo de preenchimento.

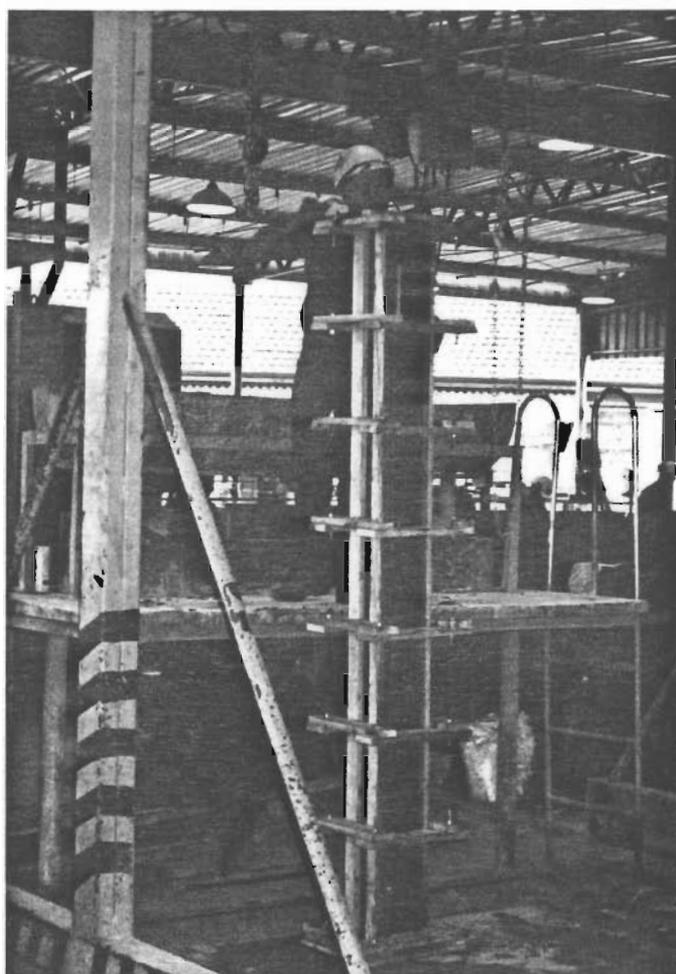


Foto 3.9 – Fôrma vertical de madeira para produção de pilares.

### c) Tipologia

A tipologia da fôrma envolve, entre outros fatores, o fato de ela ser móvel ou fixa, ou ainda produzir uma ou várias peças simultaneamente.

As poucas fábricas que produziram peças de argamassa armada até 1991 utilizaram-se de fôrmas móveis, seguindo o raciocínio de que as mesmas se adaptam melhor ao sistema de cura tradicional (por imersão) e por serem as peças de argamassa armada de pouco volume, o que resulta em fôrmas não muito pesadas. Apesar de o raciocínio ser correto, é possível a otimização do processo produtivo em função de algumas alterações nas características das fôrmas.

No Cedec, para a produção de telhas e painéis divisórios, optou-se pela utilização de fôrmas fixas. Esta escolha foi baseada na experiência das indústrias de pré-fabricados de concreto armado, onde se alia baixo investimento a alta eficiência de produção com esse tipo de fôrma.



Foto 3.10 – Vista do galpão de produção com fôrmas fixas do Cedec/Emurb..

Por ocasião do início da produção dos componentes de equipamentos sociais, deparou-se com um problema relativo à grande quantidade de fôrmas

para painéis divisórios e telhas. Como as peças eram de superfície e a quantidade utilizada, grande, feitas as primeiras estimativas, constatou-se que a movimentação de fôrmas na linha de produção seria intensa e a mão-de-obra necessária para tal, significativa. Assim, e considerando o fato de que a construção de um novo galpão demandaria tempo razoável, optou-se pela utilização de fôrmas fixas dispostas de maneira sequencial, como se fosse uma pista de moldagem de pré-fabricados, de rápida execução e manutenção mais simples.

A partir daí, iniciou-se o desenvolvimento do projeto executivo para o novo sistema de produção. Um detalhe que serviu como fator complicador para a adoção do tipo de fôrma em questão, foi o fato de que a superfície que deveria estar em contato com o molde, por necessidade de bom acabamento, seria a das mesas das telhas e divisórias.

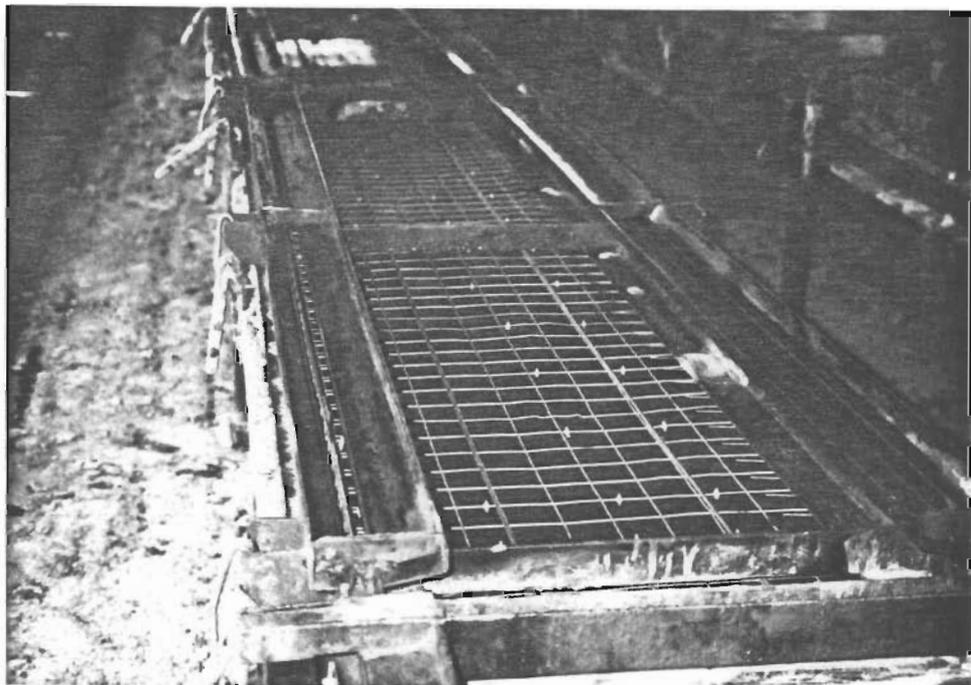


Foto 3.11 – Detalhe de fôrma metálica fixa utilizada na produção de telhas e painéis divisórios no Cedec/Emurb.

Uma vez que essas peças têm perfis na forma de "C" ou "Pi" invertido e que não seria interessante do ponto de vista econômico a utilização de uma fôrma superior, a solução foi adotar um painel na parte inferior da fôrma (na mesa) e perfis formados por chapa de aço dobrada, que se encarregariam de dar os contornos necessários às nervuras das peças (Foto 3.11). Desta maneira, a região

central da parte superior das mesas necessitaria de acabamento após o preenchimento das fôrmas. Como esta face das peças não fica exposta à visualização, isso não representou um problema.

Algumas outras soluções tiveram que ser adotadas no que diz respeito ao modo de preenchimento, pois como as fôrmas são abertas na região já citada, existe a tendência de extravasamento da argamassa lançada nas nervuras (posicionadas em um nível acima ao da abertura). A maneira escolhida para superar este problema envolveu a moldagem em duas etapas e a utilização de aditivo superplastificante.

Finalizando, este sistema de produção foi aprovado na sua prática, devendo-se, entretanto, garantir os cuidados de tecnologia com o material argamassa. Do ponto de vista da produtividade, este processo representou uma redução de quase 70 % na mão-de-obra que seria necessária para produzir as mesmas peças, no mesmo tempo, na maneira até então tradicional, com fôrmas móveis.

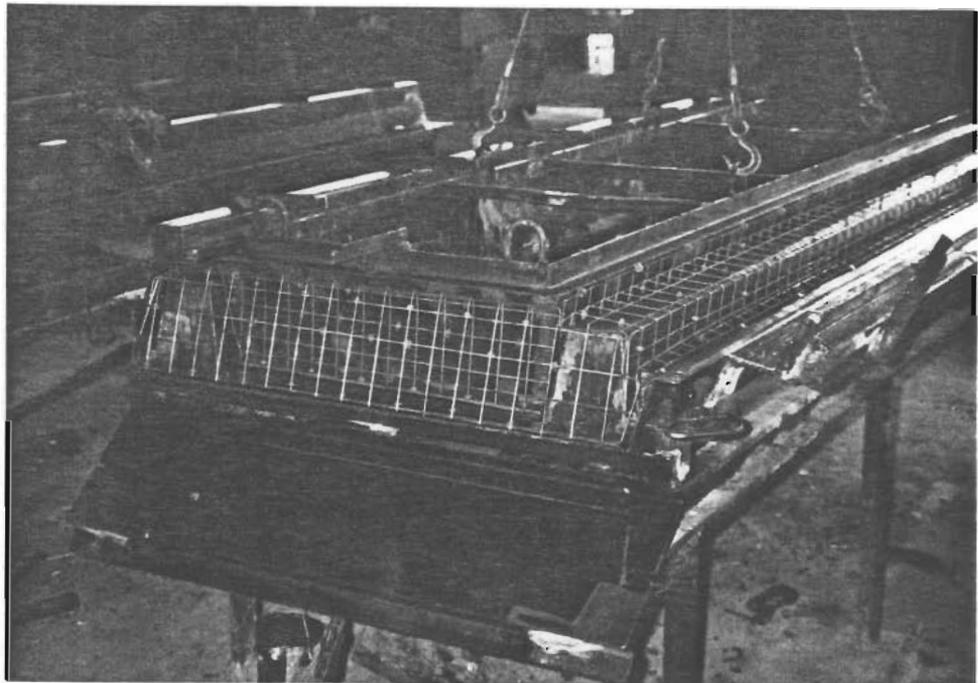


Foto 3.12 – Fôrma metálica para peça componente de shed de cobertura (a Foto 3.5 mostra a fôrma de madeira para a mesma peça).

### 3.4.2 - Execução

A fôrma deve ser construída de maneira a ser rígida o suficiente para impedir que os esforços causados durante o processo produtivo possam causar deformações, que ocasionam defeitos prejudiciais à estética ou ao desempenho estrutural das peças ou ainda dificuldades de produção no que diz respeito à desfôrma e estocagem das peças.

Esta preocupação é justificada, principalmente, para as fôrmas de grandes dimensões ou ainda quando uma das dimensões se sobressai em relação às outras. Este tipo de molde tem uma tendência natural ao empenamento e, em se tratando de fôrma metálica, a retificação da mesma é quase sempre impossível devido a características inerentes aos perfis e chapas de aço.

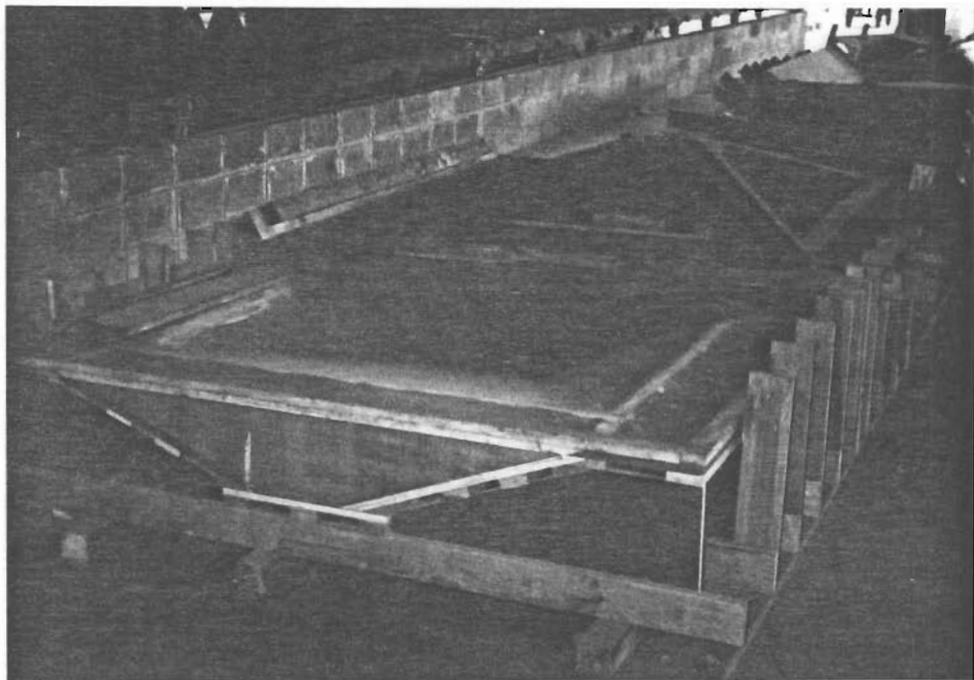


Foto 3.13 – Fôrma de madeira para produção de cobertura de abrigo de ônibus.

Segundo a NBR-6118<sup>12</sup>, o dimensionamento e detalhamento da estrutura das fôrmas deve seguir as Normas Brasileiras relativas às estruturas metálicas, de madeira, etc.. Deve-se ainda levar em consideração os choques mecânicos e vibração a que a fôrma estará sujeita.

Um outro detalhe a merecer a atenção por ocasião da construção da fôrma é relativo ao posicionamento de soldas e eventuais emendas de chapas,

pois toda e qualquer saliência ou protuberância na sua parte interna é prejudicial à desmoldagem da peça.

### 3.4.3 - Inspeção e liberação

O procedimento de inspeção das fôrmas, importante dizer, deve se iniciar por ocasião da construção da mesma, haja vista ser bem mais fácil a correção de eventuais irregularidades durante esta fase do que quando a fôrma já está concluída. Mesmo assim, e por motivos de garantia da qualidade dos moldes, quando a execução é feita por terceiros, deve-se solicitar a construção de uma fôrma protótipo a ser preenchida e testada com o intuito de aferir a boa qualidade do projeto e do processo executivo. Ou seja, se houver alguma falha no projeto da fôrma, a análise do protótipo deixará evidente, e como somente uma fôrma terá sido produzida até então, ter-se-á condições de modificar o projeto a tempo de evitar maiores prejuízos financeiros e de prazos.

Depois de recebidas, todas as fôrmas devem passar por um rigoroso controle de qualidade e conformidade, que será concluído com o preenchimento e desmoldagem em cada uma delas.

A NBR-9062<sup>03</sup>, que dispõe sobre pré-moldados de concreto cita, no seu capítulo 12, as verificações que devem ser feitas para liberação das mesmas:

*a) verificações dimensionais e de conformidade com as tolerâncias especificadas;*

*b) verificação da posição de furos, insertos, alças de içamento, recortes, saliências e assemelhados e das respectivas dimensões e tolerâncias especificadas;*

*c) verificação do travamento e estanqueidade; e*

*d) verificação de deslocamentos ou deformações, quando do lançamento e adensamento do concreto.*

Assim, quando do recebimento da fôrma, o primeiro controle é o de aferição das dimensões e respectivas tolerâncias.

A eficiência da vedação em juntas de chapa é fundamental, uma vez que o vazamento da nata de cimento por regiões sem a devida vedação, causará enormes prejuízos para a estética da peça (manchas) e, quase sempre, para a sua durabilidade. Um tipo de teste utilizado no Cedec e que se mostrou eficiente para esse fim é o de iluminar a parte interna da fôrma verificando a existência de fachos de luz na parte externa à mesma. Estes fachos denunciam as regiões com boa probabilidade de vazamento de nata.

Outra verificação diz respeito às superfícies que estarão em contato com o concreto ou argamassa, pois as irregularidades são prejudiciais à desfôrma. Todas as juntas devem estar isentas de "rebarbas" e todos os preenchimentos necessários ou ainda os cordões de solda devem ser lixados e bem acabados, sempre lembrando de proporcionar ângulos que favoreçam a retirada da peça pronta.

Apesar de todas as verificações feitas nas fôrmas antes de serem preenchidas, a análise mais completa e conclusiva só se dá depois da peça ser retirada do molde analisado, pois as etapas do processo produtivo permitem a detecção imediata de quaisquer anormalidades, como se mostra a seguir:

#### **a) Fechamento da fôrma**

Nesta etapa já se consegue detectar eventuais problemas de ordem construtiva, pois é verificada a facilidade e funcionalidade do acesso a todas as partes que se fazem necessárias de serem atingidas, tais como parafusos, pinos, negativos, etc.. Às vezes, por dificuldade de "visualização" da fôrma enquanto projeto, ocorrem erros do tipo citado. Como exemplo, imagine-se um conjunto de pino e cunha posicionado próximo a um perfil ou travessa de enrijecimento, impossibilitando a "batida" na cunha.

#### **b) Moldagem**

Neste momento se tornarão evidentes as juntas com falhas de vedação, mas também é nesta fase que se avalia a eficiência da fôrma no que diz respeito a uma boa distribuição da vibração recebida. Este ponto é, sem dúvida, uma das maiores qualidades ou defeitos de uma fôrma, e as poucas empresas especializadas que dominam o processo de confecção, guardam esta técnica de bem executar como um grande trunfo. O maior inconveniente, neste caso, é que uma determinada região da fôrma pode ficar com pouca vibração, sujeita então, a

todos os problemas oriundos dessa deficiência. Outro ponto ainda relativo ao assunto é que, dependendo ainda do processo executivo da confecção da fôrma, podem ocorrer trincas e quebras constantes nas regiões do molde submetidas a uma maior vibração.

Para a confecção de um segundo conjunto de fôrmas metálicas do sistema de abrigo de ônibus projetado pelo arq. João Filgueiras Lima - o Cedec já possuía um conjunto, produzido por uma empresa especializada em fôrmas - foi contratada, através de licitação, uma empresa de estruturas metálicas com pouca experiência na produção de moldes para pré-fabricados. Após inúmeras visitas de técnicos dessa empresa à unidade de produção do Cedec com o intuito de vistoriar as fôrmas já existentes, foram entregues aquelas recém confeccionadas.

Apesar de absolutamente igual na sua geometria, e bastante parecida, no aspecto dos detalhes construtivos, a segunda fôrma necessitava muito mais energia vibratória do que se dispndia com a fôrma original. Mesmo após várias modificações nesses detalhes de fabricação, não se conseguiu atingir o grau de eficiência do primeiro modelo.

Como resultado, ficou-se com um conjunto de fôrmas que cumpria corretamente uma de suas funções: moldar peças com dimensões corretas e de boa qualidade; entretanto, o preenchimento demandava um tempo significativamente maior, em função da má distribuição da vibração.

### **c) Desfôrma**

Esta fase fornecerá subsídios para a verificação da eficiência do molde no que diz respeito aos ângulos de saque e, conseqüentemente, à facilidade ou não da desmoldagem. Quaisquer outras imperfeições na superfície interna das fôrmas também se farão notar pois, de uma maneira geral, como por ocasião da desfôrma a argamassa ainda não apresenta grandes valores de resistência mecânica, estas irregularidades de superfície ou mesmo de ângulos pouco ou nada favoráveis para o saque da peça resultam em quebras nas respectivas regiões.

### **d) Análise da peça produzida**

Nesta fase, são concluídas as verificações para aprovação ou recusa da fôrma analisada, pois é mais fácil vistoriar o componente pré-fabricado, que

deixará aparente toda e qualquer imperfeição do molde. Inclusive, é interessante uma nova aferição das dimensões, haja vista que é facilitado o acesso a todos os pontos da peça.

#### **e) Manuseio da fôrma**

As operações de manuseio e transporte da fôrma deixarão evidente se a rigidez da mesma é suficiente para não provocar deformações no conjunto. Obviamente, desde o recebimento na fábrica já se pode começar a perceber esta adequação aos processos produtivos.

É importante ressaltar que todos esses procedimentos de verificação para fins de aprovação de fôrma, devem ter continuidade por toda a sua vida útil, embora de maneira menos rigorosa. No dia-a-dia do setor produtivo, é fácil constatar se uma determinada fôrma está necessitando de manutenção corretiva.

Um procedimento adotado usualmente é o de marcar, em cada peça produzida, o molde que a gerou. Assim, fica mais simples a identificação de uma fôrma defeituosa pois, certamente a maioria - senão a totalidade - das peças oriundas daquela matriz apresentarão problemas semelhantes.

#### **3.4.4 - Preparo das fôrmas em regime de produção**

Após o procedimento de desmoldagem, as fôrmas leves são conduzidas às bancadas de retorno, onde são preparadas para um novo preenchimento. Este preparo inclui limpeza, aplicação de desmoldante e posicionamento da armadura.

O processo de limpeza se desenvolve em duas etapas distintas: a remoção das incrustações superficiais mais grosseiras e a limpeza completa incluindo os cantos e reentrâncias da fôrma.

Na primeira etapa usualmente se utiliza a espátula, pois a mesma permite a rapidez e eficiência necessária. Já para a remoção completa - se necessária - é possível a utilização de palha de aço, manualmente ou com dispositivo elétrico.

A seguir, aplica-se o agente desmoldante. No caso de se utilizar algum tipo de óleo, a aplicação pode se dar de maneira tradicional, com estôpa ou

esponja, ou então com o auxílio de pistola e compressor de ar. Nesta última situação, a produtividade da operação aumenta sensivelmente. Outra possibilidade de se aplicar o óleo mecanicamente é a utilização de pulverizador utilizado na aspersão de inseticida em plantas que é composto por um reservatório amarrado às costas do operador e uma pequena bomba acionada manualmente por alavanca.

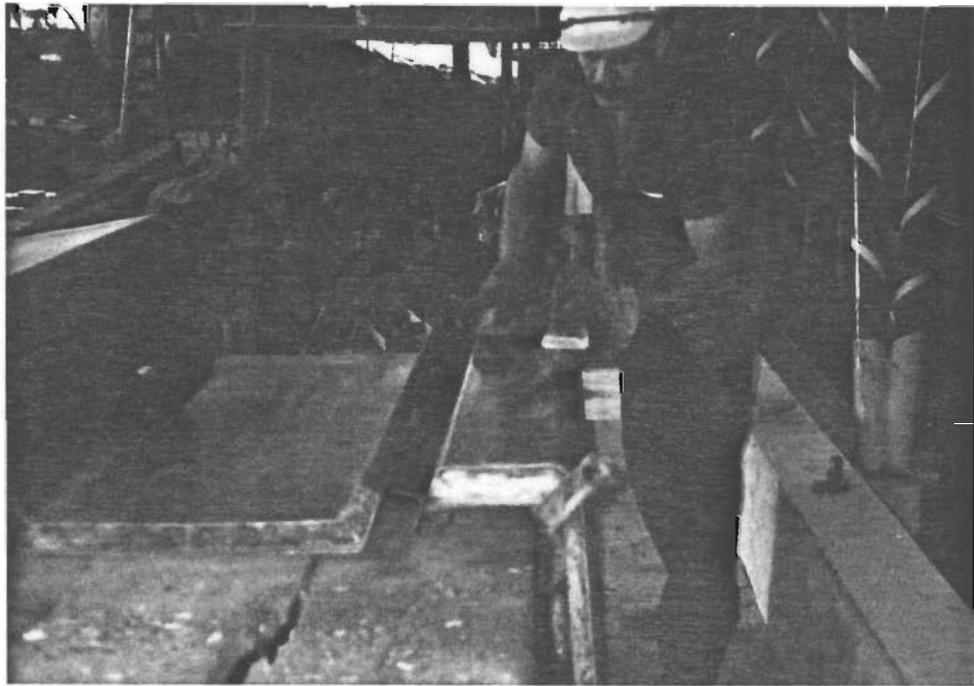


Foto 3.14 – Limpeza nas fôrmas metálicas em regime de produção.

Em qualquer das duas hipóteses, entretanto, em se tratando de substância oleosa, a aplicação deve ser feita sem excessos no que diz respeito à quantidade, pois do contrário, como a maioria dos óleos tem características tensoativas, acumulam-se pequenas bolhas de ar na sua superfície. Estas permanecem durante o preenchimento da fôrma e o resultado é uma peça moldada com as mesmas bolhas que se localizavam na superfície da fôrma.

Uma alternativa interessante neste aspecto é a utilização de cera desmoldante, com consistência líquida ou pastosa. Tal produto, não sendo tensoativo, não incorpora ar na superfície da peça. Como desvantagem, a limpeza da fôrma é um pouco mais trabalhosa, demandando maior tempo dos operários, em função de deixar incrustações nas superfícies dos moldes.

## **CAPÍTULO 4**

# **DESCRIÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO**

### **4.1 - CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES**

Neste capítulo, pretende-se abordar os fatores envolvidos na produção e aplicação da argamassa, ou seja: os materiais utilizados como insumos em uma usina de pré-fabricados de argamassa armada, dando ênfase, quando for o caso, às opções existentes para os materiais e relatando os tipos de ensaios de qualidade e conformidade que devem ser realizados; a produção propriamente dita da argamassa, com a definição do traço e seus ajustes diários e os cuidados no preparo; o controle da argamassa produzida, a aplicação da argamassa fresca, com os detalhes referentes à vibração das fôrmas; cuidados com a cura das peças produzidas; os reparos realizados nos pré-fabricados; e algumas considerações sobre garantia da qualidade na produção.

No que diz respeito aos ensaios a serem realizados com os insumos de produção, recomenda-se, para maiores detalhes, o trabalho de Rodrigues<sup>13</sup>, que abrange esses procedimentos. Aqui serão expostos os procedimentos básicos relativos ao assunto, de maneira a permitir a compreensão numa macro-análise.

As peças de argamassa armada são compostas de argamassa de cimento, areia e água, podendo-se incluir no seu preparo algum aditivo com fim específico; a armadura é composta, usualmente, por telas (armadura difusa) e por fios ou barras de aço (armadura discreta).

A principal finalidade da armadura difusa é controlar o processo de fissuração da peça, devido à retração da argamassa ou a solicitações mecânicas, sendo que ela também contribui na resistência à tração da peça, tanto em esforços axiais quanto de flexão.

Os fios e barras de aço têm função estrutural e/ou construtiva, servindo de gabarito para a tela ou reforços em regiões suscetíveis a avarias.

Como se comenta mais adiante, a substituição da tela de aço por fibras de polipropileno apresenta significativas vantagens em relação ao processo convencional.

Em termos de processo produtivo propriamente dito, as usinas de pré-fabricados têm utilizado bastante fôrmas móveis, preenchidas em mesas vibratórias ou com vibração aplicada nas próprias fôrmas.

A utilização de fôrmas fixas, lembrando o funcionamento das pistas de moldagem de concreto, demonstrou, no Cedec, um ganho razoável de produtividade com menor volume de investimento inicial.

Ao longo de todo o processo, percebe-se que a mecanização é muito importante para a agilização e eficiência das operações.

Na Figura 4.1, apresenta-se, de forma resumida, o fluxograma das operações realizadas na usina de pré-fabricados de argamassa armada<sup>10</sup>.

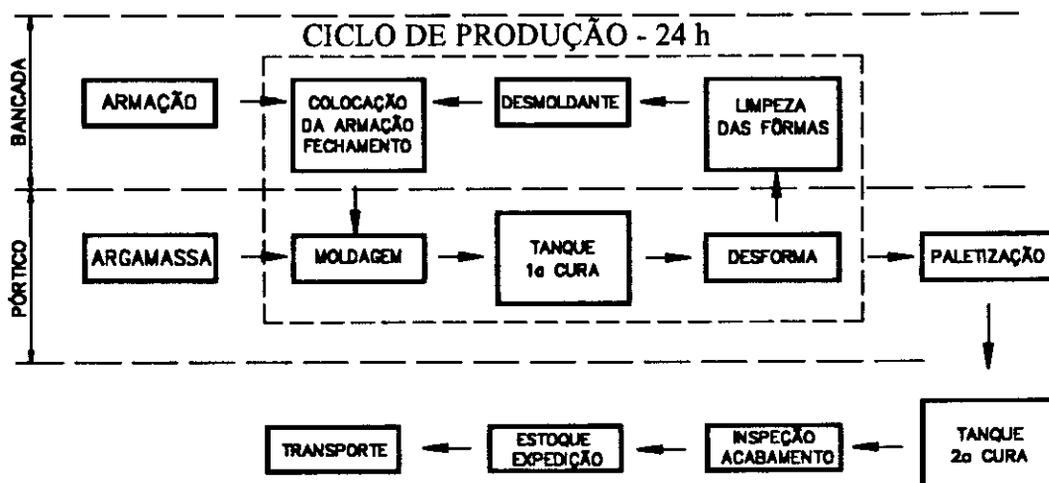


Figura 4.1 - Fluxograma geral da produção

Na Figura 4.2 está esquematizado o fluxograma dos insumos de produção utilizados em uma mesma usina.

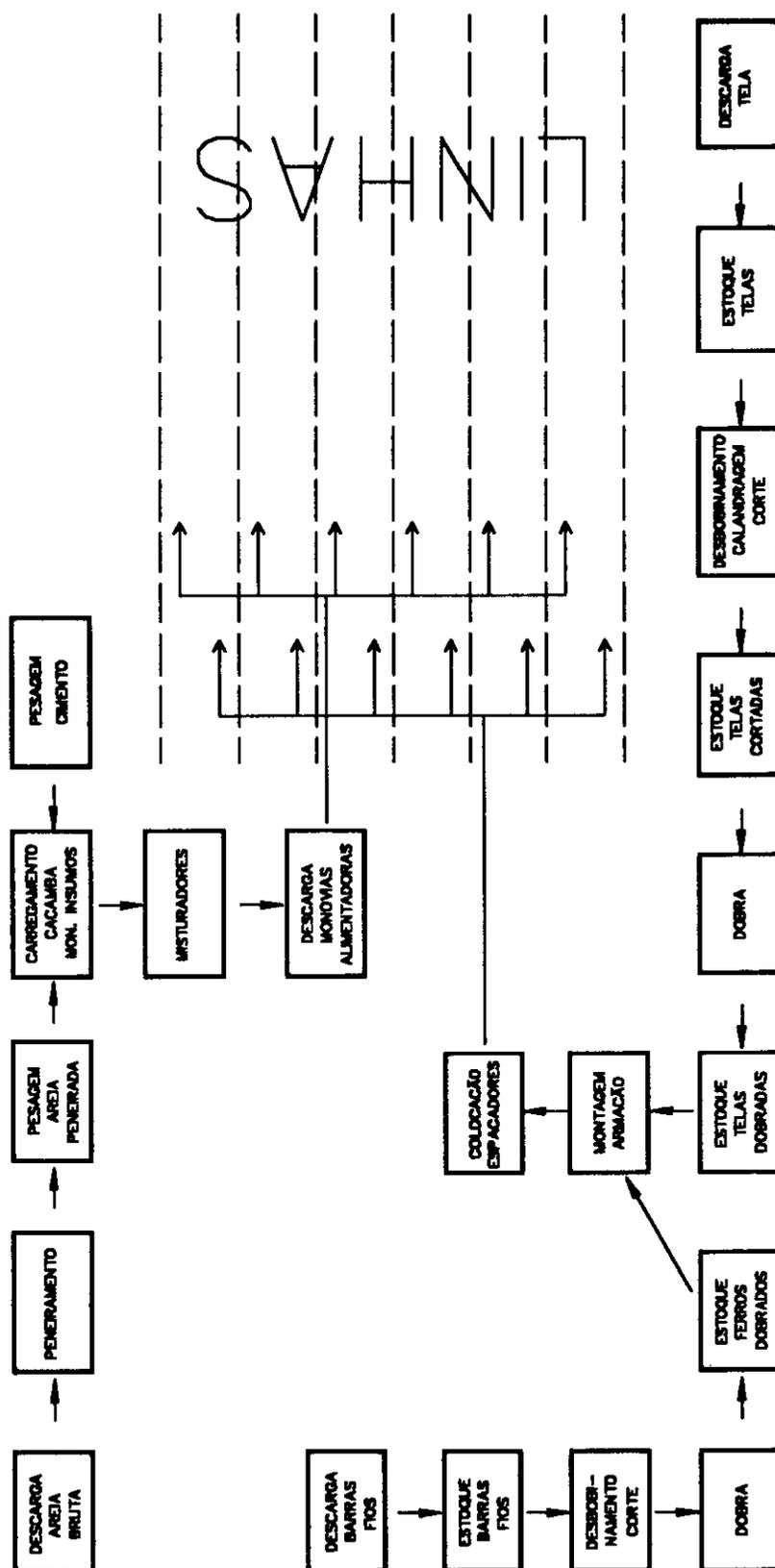


Figura 4.2 - Fluxograma dos insumos de produção.

## 4.2 - PREPARO DA ARMADURA

### 4.2.1 - Fios e barras de aço

Os ensaios realizados para o controle de recebimento das barras e fios de aço são, basicamente, os de resistência à tração, principalmente os que determinam a categoria do aço para concreto armado - se tipo A ou B.

Ao longo do processo produtivo, há um acompanhamento constante em relação às outras características do aço, tais como sua dureza, resistência às soldas e a existência e conformidade das moedas (ranhuras).

### 4.2.2 - Tela de aço soldada

Usualmente, as telas de aço utilizadas na confecção de armaduras para argamassa armada, em usinas de pré-fabricados são do tipo eletrosoldada.

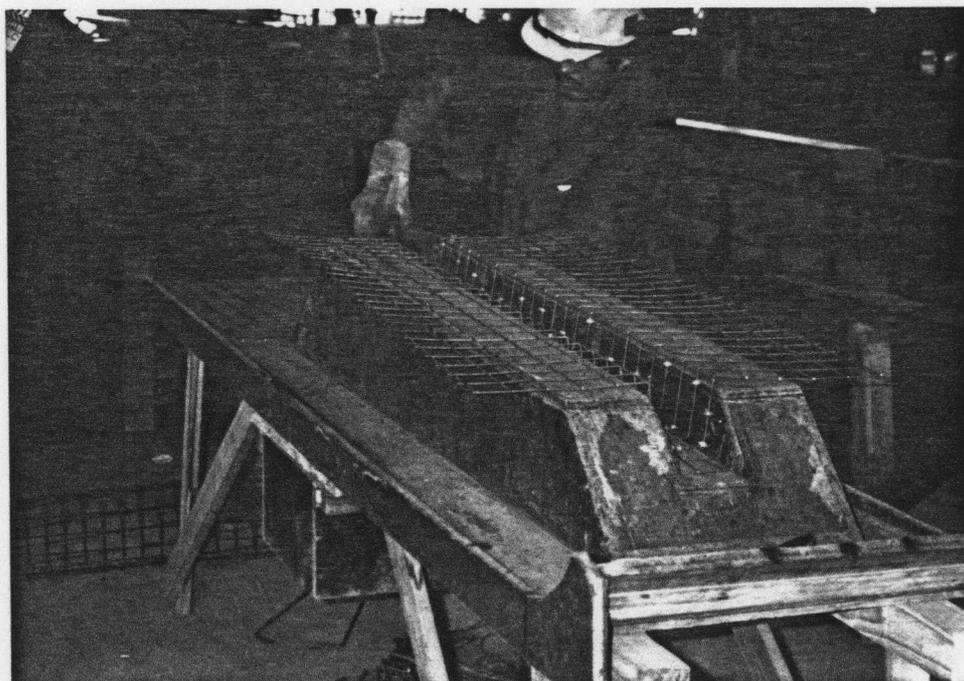


Foto 4.1 - Armação com tela eletrosoldada sendo montada em gabarito de madeira.

Produzida com fios de aço CA-60, este tipo de tela é eficiente do ponto de vista estrutural e, de uma maneira geral, apresenta boa qualidade.

Os tipos de telas soldadas disponíveis para utilização em peças de argamassa armada são os seguintes:

<b>Especificação</b>	<b>Malha</b>	<b><math>\phi</math> fio</b>	<b>Peso</b>
EL-126/63	25x50	2,0	1,48
EQ-98	50x50	2,5	1,54
EQ-120	50x50	2,76	1,89

EL - tela com malha diferente nas duas direções (L=longitudinal)

EQ - tela com malha igual nas duas direções (Q=quadrada)

os números na especificação da tela representam as áreas de aço nas duas direções da tela

os valores de abertura de malha e de diâmetro dos fios estão em mm

Peso - peso por unidade de área da tela ( $\text{kg/m}^2$ )

Quadro 4.1 - Tipos de telas de aço soldada produzidas para argamassa armada

Por serem confeccionadas a partir de fios de aço, material amplamente utilizado na construção civil, as telas soldadas são de fácil adaptação para os operários armadores, e os cuidados que se deve ter no seu manuseio são os mesmos relativos aos fios e barras de aço.

Esse tipo de tela permite boa conformação nas dobras e curvaturas, entretanto quando se necessita painéis com curvaturas nas duas direções, a operacionalidade do preparo e ajuste da tela apresenta grande dificuldade.

No controle do recebimento, no tocante à conformidade com as especificações, pode-se solicitar os resultados dos ensaios realizados nos laboratórios do fabricante. Caso seja de suma importância assegurar determinada característica das telas utilizadas, deve-se optar por realizar os ensaios específicos em algum outro laboratório com capacidade e idoneidade comprovadas.

Nos aspectos que não necessitam ensaios de laboratório, o controle deve ser feito a cada rolo utilizado. Neste caso, observa-se, também durante o processo produtivo, o espaçamento dos fios da tela nas duas direções, a largura do rolo e a eficiência dos pontos de solda. Eventuais irregularidades nesses aspectos são verificadas facilmente nas operações de corte e dobra das telas.

#### 4.2.3 - Tela de metal expandido

A tela de metal expandido é uma alternativa na armadura de peças de argamassa armada, embora não se tenha conhecimento da sua utilização em escala representativa no Brasil.

Na usina de pré-fabricados da Emurb, foram feitas experiências com esse tipo de tela na produção de algumas peças, principalmente painéis divisórios.

O interesse pela utilização da tela "deployée" surgiu após trabalho de pesquisa desenvolvido na Escola de Engenharia de São Carlos por Lima<sup>14</sup>, que estudou o comportamento mecânico de alguns tipos dessa tela.

No processo produtivo, a tela de chapa de aço expandida se adapta de modo satisfatório sem diferenças significativas em relação ao uso da tradicional tela eletrosoldada.

Como principal ponto negativo, pode-se apontar a operação de corte da referida tela. Quando este procedimento se dá com cortadeira elétrica ou similar, existe forte tendência da máquina acompanhar o cordão da tela na diagonal, dificultando os cortes paralelos às duas direções principais. Outrossim, se o corte é feito manualmente, com o tradicional alicate "torquês" - e isso também vale para os cortes de ajuste da armadura na fôrma - a operação se torna demasiado demorada, haja vista a grande quantidade de fios existentes devido à pequena abertura da malha.

Entretanto, se o corte for feito com algum dispositivo do tipo "guilhotina", esses problemas são contornados, sendo, porém, interessante que as dimensões de corte sejam definidas de modo que as armações prontas não necessitem de ajustes para posicionamento nas fôrmas.

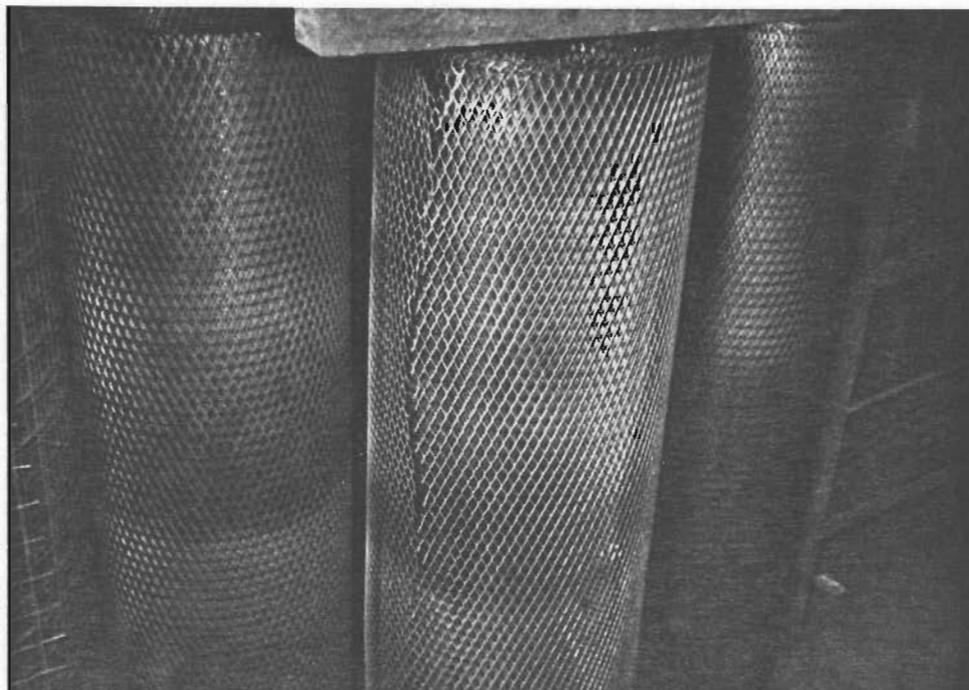


Foto 4.2 – Detalhe de tela de metal expandido.

Outra característica da tela "deployée" é que as arestas dos cordões da chapa de aço são ligeiramente cortantes quando manuseadas sem luvas de couro. Como este equipamento de segurança é de uso rotineiro para operários do setor de armação na construção civil de um modo geral, tal fator não chega a inviabilizar a utilização desse tipo de tela.

As vantagens verificadas são bem mais significativas que as desvantagens citadas.

Devido à espessura de chapa verificada nas telas mais indicadas para a argamassa armada (EXP-14 e EXP-20), a operação de dobramento é facilitada, permitindo, em algumas situações, até mesmo que se o faça manualmente, sem qualquer ferramenta auxiliar.

Ainda devido às chapas de aço utilizadas na sua fabricação, a tela de metal expandido permite ser retificada mais facilmente do que o seria um painel de tela soldada. Essa característica é particularmente apreciável em peças onde duas das dimensões se sobressaem em relação à terceira, tais como divisórias, telhas, etc, ou ainda quando se utiliza pistas de moldagem, onde as fôrmas só

existem em um dos lados da peça, ficando o outro lado sem qualquer restrição ao posicionamento da armadura.

Possivelmente, a maior vantagem da tela de chapa expandida está diretamente relacionada com a garantia da qualidade na produção dos pré-moldados, e é devida à pequena abertura das malhas. Um exemplo deve ilustrar melhor a situação:

Ao utilizar uma tela EQ 98 com malha de 5 x 5 cm<sup>2</sup>, pode-se deparar com uma situação na qual haja até 4,9 cm de fios "soltos" em uma das direções da tela. Como, por razões construtivas, é interessante posicionar um fio de aço na extremidade da armadura das peças de argamassa armada, a ocorrência citada impossibilitaria a correta amarração do fio na tela soldada.

Quando da utilização da tela de chapa de aço expandida, com suas malhas de pequena abertura, tal problema é reduzido de forma sensível, uma vez que o comprimento máximo dos fios (neste caso, aliás, cordões) "soltos" passa a ser próximo a 0,8 cm com a tela EXP-20.

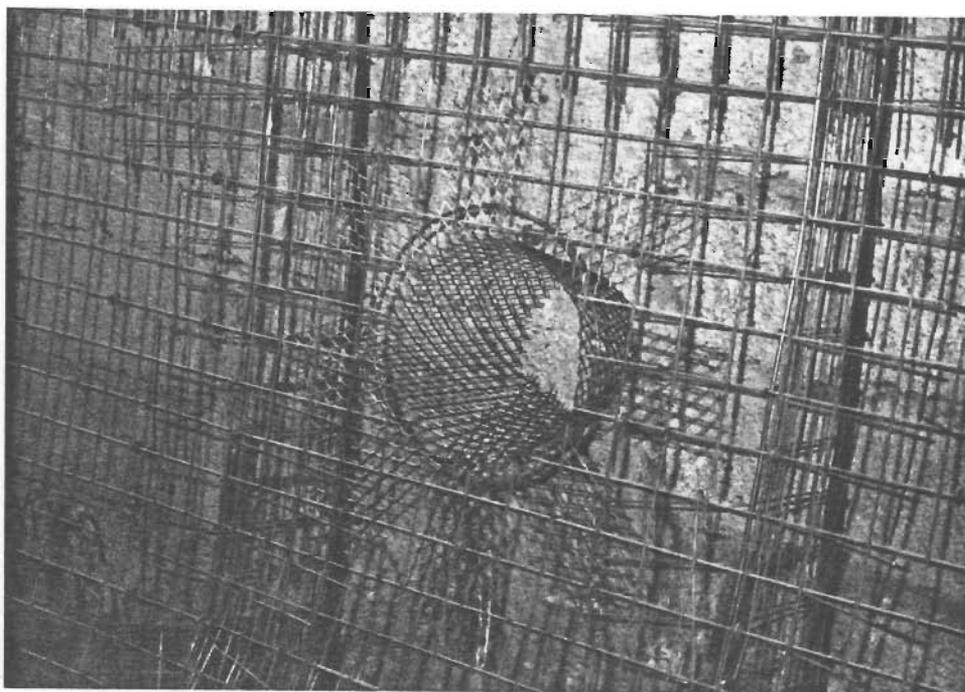


Foto 4.3 – Armação de peça que utiliza tela soldada e de metal expandido.

Esse posicionamento incorreto dos fios resulta em regiões com deficiência ou inexistência de armadura, o que, quase sempre, ocasionam quebras

que são de difícil reconstituição devido à pouca (ou nenhuma) armadura existente no local para ajudar na aderência da argamassa aplicada.

Finalmente, o controle da fissuração da argamassa fica facilitado pela dimensão das malhas que, de abertura menor que as das telas soldadas, proporciona comportamento mais homogêneo à argamassa.

Como conclusão, pode-se afirmar que o grande entrave à difusão da utilização da chapa de aço expandida na produção de peças de argamassa armada se deve, exclusivamente, ao preço praticado no mercado, o que a inviabiliza se comparada com telas eletrosoldadas de resistência equivalente.

A seguir, cita-se alguns tipos de tela de metal expandido que são apropriadas para utilização em argamassa armada.

<b>Tela</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>E</b>	<b>Peso</b>
EXP-14	14	32	1,2	0,75	1
EXP-14A	14	32	1,5	1,25	2,32
EXP-20	20	50	2	1,5	2,32
EXP-20A	20	50	2,5	2	4,25
EXP-29	29	54	3	2	3,6

A - abertura da malha na direção da expansão da chapa, em mm

B - abertura da malha na direção normal à expansão da chapa, em mm

C - largura do cordão da chapa expandida, em mm

E - espessura da chapa, em mm

Peso - peso por unidade de área da tela ( $\text{kg/m}^2$ )

Quadro 4.2 – Tipos de telas de metal expandido apropriadas para argamassa armada

#### 4.2.4 - Fibras de polipropileno

Esse material é utilizado, com razoável frequência, em peças de concreto celular, onde os efeitos da retração da pasta de cimento são bastante sentidos. As fibras, apresentando elevada resistência à tração, atuam controlando a fissuração - passível de ocorrer devidos aos esforços oriundos do processo de retração.

Nas primeiras experiências de produzir argamassa armada com fibras - na realidade, multi-filamentos cortados - de polipropileno no Cedec/Emurb, no final de 1991, tentou-se atingir uma situação na qual se eliminaria, na totalidade, o aço utilizado, em telas e em fios, nas peças pré-fabricadas.

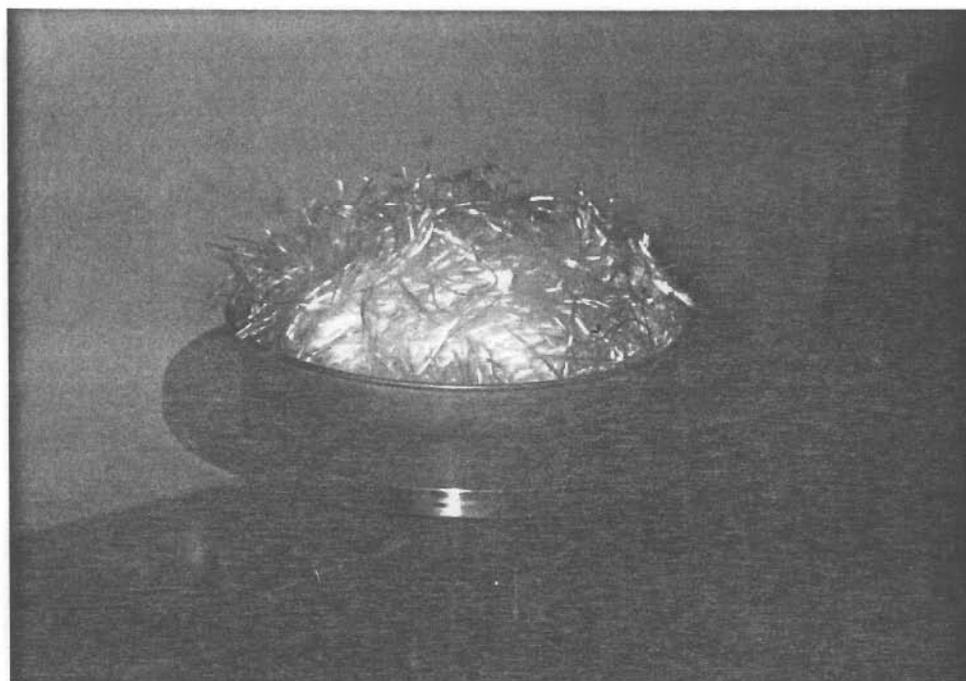


Foto 4.4 - Aspecto das fibras (multi-filamentos cortados) de polipropileno.

Esses testes foram realizados com painéis divisórios, peças que, normalmente têm pouca sollicitação estrutural. Entretanto, verificou-se que, por ocasião da desforma, com 24 horas, a argamassa apresentava resistência à tração insuficiente para permitir que tal procedimento ocorresse sem resultar em avarias (quebras) nas peças pré-moldadas.

Certamente, que tal situação foi verificada para o consumo de fibras adotado nos testes - no caso, 2 kg por metro cúbico de argamassa.

Posteriormente, em maio de 1992, novas experiências foram realizadas, sendo que, desta feita, tentou-se eliminar apenas as telas, mantendo-se os fios e barras de aço.

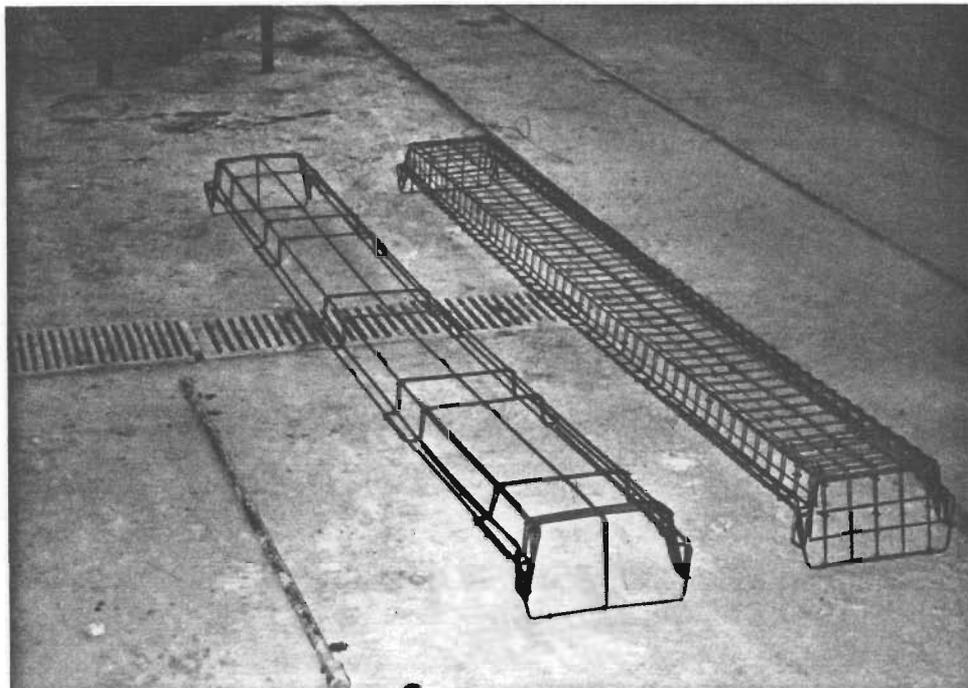


Foto 4.5 – Comparação das armaduras de um mesmo tipo de divisória para produção com tela e com fibras de polipropileno.

A premissa adotada foi, então, utilizar armadura com distância entre os fios bem acima da obtida com a utilização de tela soldada, fazendo com que as fibras de polipropileno atuassem no controle de fissuração devido à retração e na distribuição de tensões de tração resultantes de solicitações mecânicas, estáticas ou dinâmicas, nas regiões da peça desprovidas de armadura.

Em síntese, e de modo simplista, o arranjo de armadura proviria a seção de aço necessária à resistência estrutural da peça, enquanto as fibras controlariam a fissuração da argamassa.

Foram realizados ensaios na Escola de Engenharia de São Carlos e verificou-se a boa atuação das fibras de polipropileno. No controle da fissuração da argamassa, placas armadas com fios de 4,2 mm e fibras e submetidas a flexão apresentaram melhor desempenho do que placas armadas com tela soldada.

Em julho de 1992, iniciou-se a produção em escala de painéis divisórios com fibras e já em setembro do mesmo ano, 75% do volume produzido na usina de pré-fabricados da Emurb já incorporava essa tecnologia, eliminando, por completo, a tela de aço.

A redução de custos nos materiais utilizados situou-se entre 45% e 55%.

#### 4.2.5 - Insertos metálicos

Para facilitar ou até para permitir a ligação entre os componentes pré-fabricados, algumas peças têm, inseridas na sua armadura, aparelhos metálicos com a função de transmitir esforços mecânicos em regiões de ligação.

Estes aparelhos, convencionalmente chamados *inserts* ou insertos, são produzidos, geralmente, com barras, ferros chatos ou ainda perfilados metálicos.

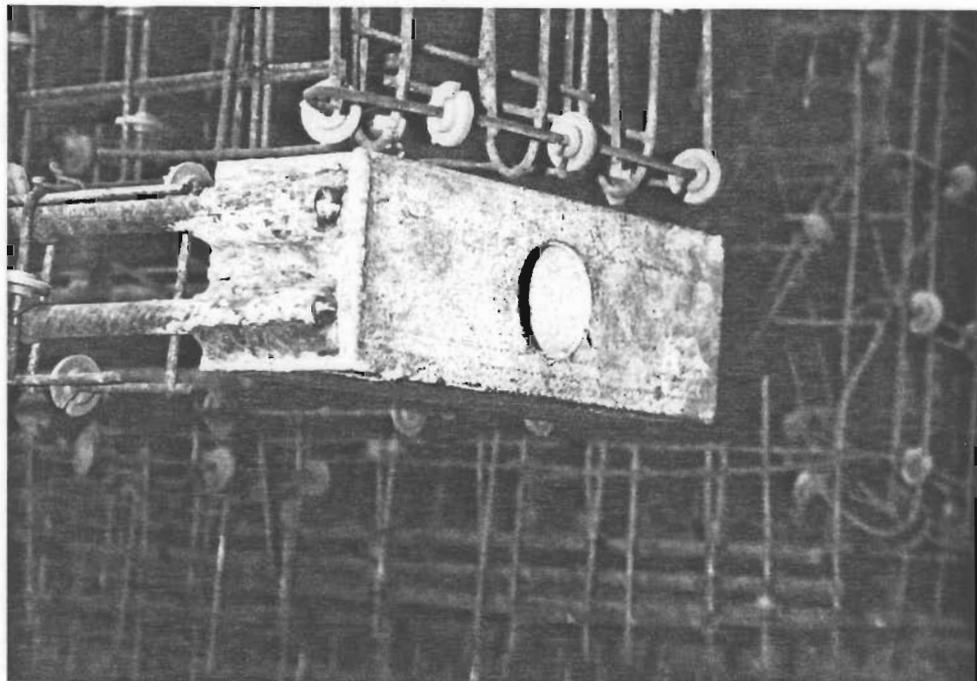


Foto 4.6 – Detalhe de um *insert* – no caso, um ATV – aparelho de transmissão de esforços em viga.

Os diversos componentes de um *insert* são soldados entre si e uma única peça é então soldada à armadura convencional da peça. Os cuidados com essa solda são os mesmos observados usualmente nas soldas de armaduras para concreto.

Os aparelhos metálicos utilizados nas peças produzidas pelo Cedec, são especificados em aço SAE 1020 ou SAE 1045, sendo que em qualquer das duas situações é efetuada galvanização a fogo.

Na região do inserto soldada às barras da armadura, há uma perda localizada da galvanização. Assim, deve-se verificar a importância da referida região e se a mesma apresentará cobertura de argamassa adequado em função da agressividade do meio a que estará sujeita.

#### **4.2.6 - Montagem da armadura**

Das etapas do processo produtivo em uma indústria de pré-fabricados de argamassa armada, o preparo das armaduras aparece merecendo especial atenção.

Uma vez que as peças pré-moldadas têm pequenas espessuras, e formas bastante rebuscadas, é imprescindível que a armadura esteja de acordo com as dimensões de projeto, de modo a evitar cobrimentos menores que os especificados.

Por ser uma tarefa artesanal, o preparo da armadura está muito sujeito a variações. Assim, os esforços devem ser envidados no sentido de se limitar ao mínimo possível as fases do processo que possibilitem aos operários cometer erros ou imperfeições.

Como pode ser observado no fluxograma da Figura 4.2, o preparo da armadura envolve dois elementos básicos (telas e fios ou barras) e, ocasionalmente, o inserto metálico.

Mais adiante, quando se analisa a garantia da qualidade, são abordados mais alguns aspectos interessantes relacionados ao preparo da armação.

##### **a) Estocagem**

As telas de aço padronizadas são fornecidas em rolos de 60 metros de comprimento. É conveniente que este material seja armazenado em local livre de umidade e elevado pelo menos 5 cm em relação ao piso. No caso de se cobrir os rolos com lonas ou qualquer produto similar, deve-se estar atento para o fato de

que esse procedimento protege as telas da incidência direta das águas de chuva, entretanto retém toda a umidade decorrente da mesma.

### **b) Desbobinamento, calandragem e corte**

Uma única etapa engloba essas três operações. Cada rolo é posicionado em um cavalete de maneira a facilitar o seu desbobinamento. A tela é então esticada sobre uma mesa que tem como função facilitar a operação de corte. Assim, de maneira contínua, a tela é desenrolada e já cortada, seguindo, já em painéis com dimensões certas, para a mesa de dobramento.

Dependendo do tipo de tela utilizada, com uma grande rigidez dos fios de aço, pode-se tornar necessária a utilização de calandra (posicionada entre o cavalete e a mesa de corte) com a função de retificar a tela recém-desbobinada. Pelo fato de ser fornecida em rolos, é comum que a tela, mesmo depois de cortada e dobrada, apresente tendência de assumir a curvatura que possuía quando enrolada. Quanto maior o diâmetro do fio, maior a dificuldade em retificar a tela, da mesma maneira que um trecho de tela situado na parte mais externa do rolo (com maior diâmetro), apresentará menor deformação se comparado a outro trecho situado mais próximo ao eixo do rolo e com menor diâmetro.

A operação de corte pode ser feita com a torquês, alicates de corte, guilhotina, etc.. No Cedec optou-se por utilizar um dispositivo elétrico, mais exatamente, uma tesoura de corte de chapas metálicas. Esta solução se mostrou altamente satisfatória e com uma produtividade bem acima da obtida com os processos artesanais.

Ainda, e mais uma vez, devido às formas não convencionais das peças de argamassa armada, é comum a necessidade de painéis de telas com formatos outros que não quadrados ou retângulos. Esses painéis podem ter a forma triangular, trapezoidal e poligonal com vários lados.



Foto 4.7 – Cortadeira elétrica de telas utilizada no Cedec/Emurb.

Posto isto, torna-se importante a definição de um plano de corte para um painel ou conjunto de painéis de tela, de modo a se reduzir, ao máximo, a quantidade de tela sem condições de aproveitamento (devido a dimensões muito pequenas) após o corte - as chamadas perdas de tela. E por se tratar a tela soldada de material de custo bastante elevado, toda e qualquer perda de tela que for evitada estará representando um ganho. Tradicionalmente, as perdas de tela atingem níveis próximos a 15%.

Para se obter uma eficácia ainda maior, é interessante definir as dimensões dos pedaços necessários da maneira mais precisa possível. Para tal, deve-se aproveitar uma armadura já montada e adaptada à fôrma, ou seja, com todas as eventuais arestas ou excessos já aparados. Esta armadura é então desmontada, as telas dobradas são retificadas e anotadas as dimensões que, efetivamente, são necessárias aos pedaços de tela.

Este trabalho foi realizado no Cedec para cada uma dos sistemas de peças produzidos e, como resultado, conseguiu-se alcançar índices de 3% a 4% de perdas (Figura 4.3).

Outro esforço para diminuir perdas foi feito aproveitando-se as sobras de telas em peças sem grande importância estrutural, tais como placas de piso.

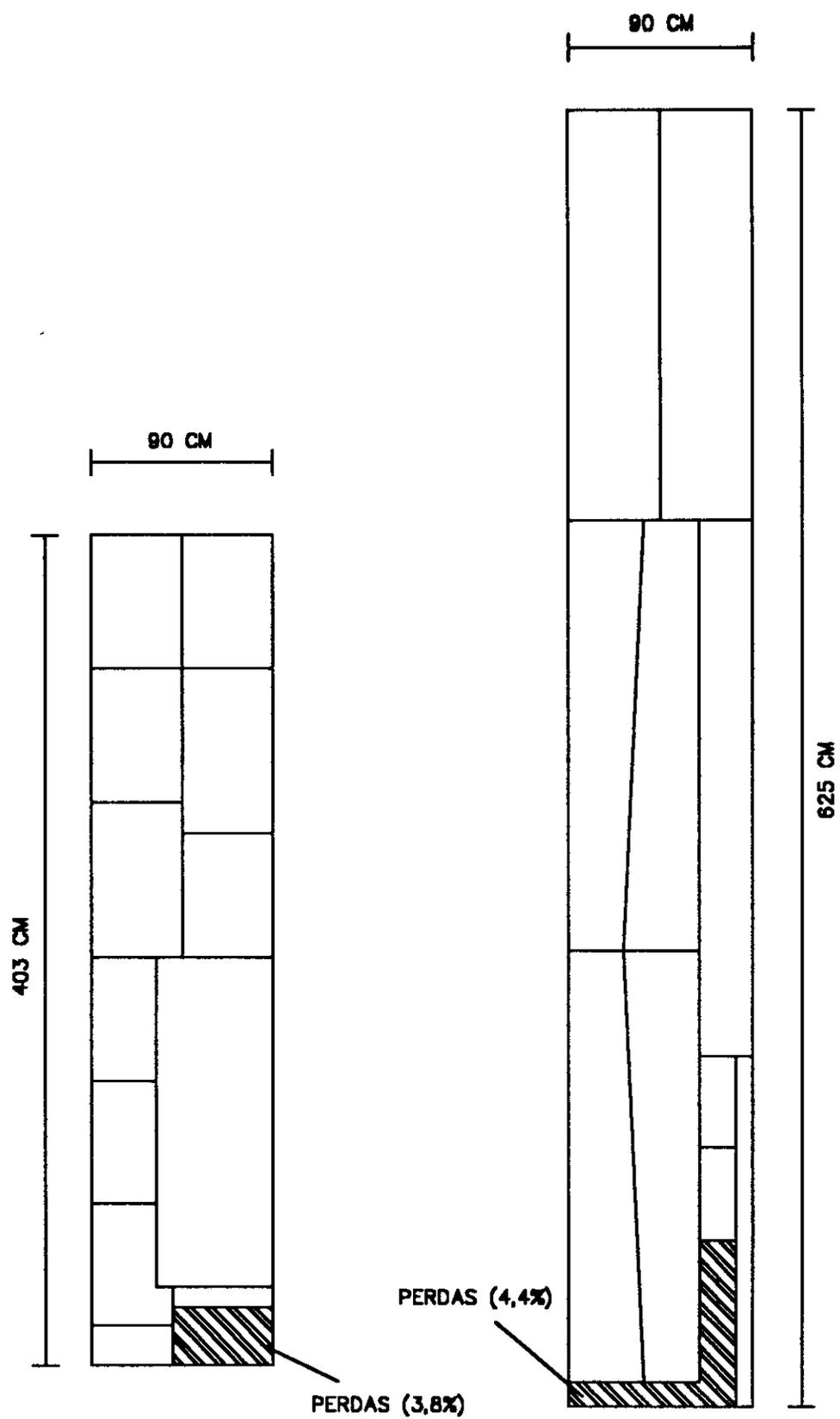


Figura 4.3 - Esquema de um dos planos de corte utilizados no Cedec/Emurb.

### c) Dobramento

Após o corte, já nas medidas finais, as telas são estocadas em grupos de igual tamanho, para facilitar a operação de dobra das mesmas.

As mesas de dobramento podem ser dispositivos absolutamente simples, de acionamento mecânico e de baixo custo. Há ainda alternativas de acionamento hidráulico ou pneumático, e também a possibilidade de utilização de compensação dos esforços através de contra-pesos.

Após dobradas, as telas são encaminhadas para a montagem da armadura.

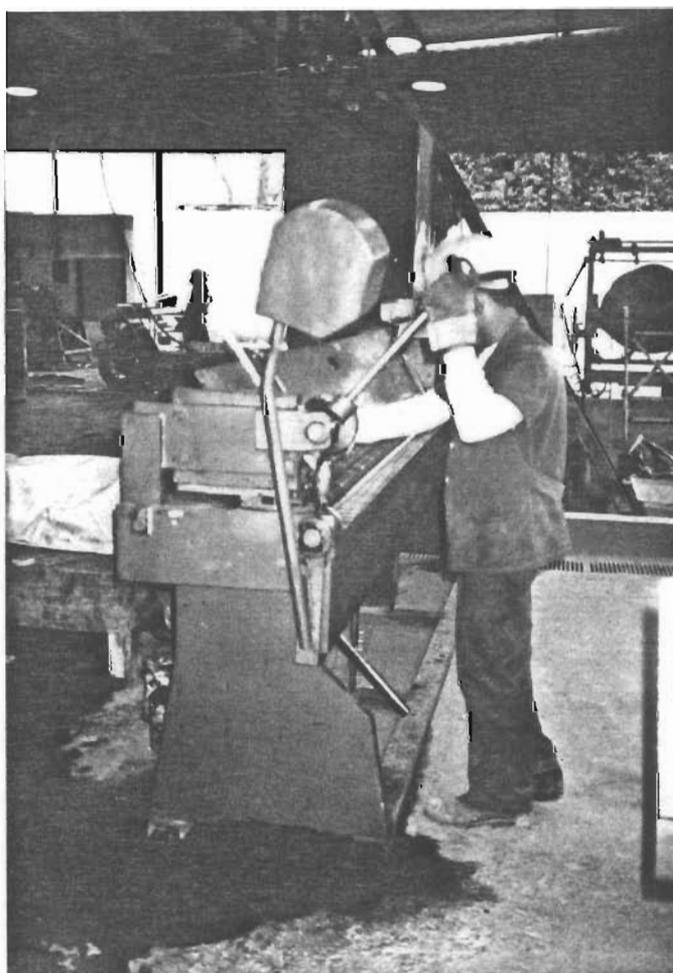


Foto 4.8 – Mesas dobradeiras utilizadas no Cedec/Emurb.

#### **d) Barras e fios de aço e insertos metálicos**

Por se tratar de procedimento bastante usual e similar ao adotado na indústria da construção civil de uma maneira geral, pouco será comentado a respeito do preparo das barras e fios.

Os mesmos são cortados nas dimensões já definidas e então dobrados, formando estribos, molduras, etc.. A seguir são encaminhados para a montagem final da armadura.

No caso da utilização de aparelhos metálicos, estes são soldados à armadura convencional, que deve ser, necessariamente, composta de aços do tipo A, ou seja, laminados a quente.

Os eletrodos a serem utilizados devem ser específicos para armaduras de concreto armado e a amperagem da máquina de solda, deve ser definida de maneira a permitir uma boa eficiência nessa situação.

#### **e) Montagem da armadura**

A montagem da armadura consiste em unir os diversos painéis de telas já dobradas e os fios e barras soltos. Recomenda-se que essa montagem seja feita em bancadas que servem de gabaritos, que facilitarão, principalmente, o ajuste final das armações nas fôrmas.

Estes gabaritos devem ter as mesmas dimensões dos moldes que serão utilizados na fabricação das peças, e podem ser de madeira ou qualquer outro material que proporcione a robustez necessária. No caso de não se dispor de bancadas de armação, pode-se fazer uso das próprias fôrmas metálicas, com prejuízo, entretanto, do fluxo normal do preparo das mesmas.

O pessoal encarregado na montagem de armadura deve estar atento a eventuais detalhes de projeto relativos à maneira de se unir telas e fios. Há certas ocasiões em que se torna necessária a sobreposição perfeita de telas e fios de aço, com o intuito de diminuir a espessura final da armadura. De um modo geral, quando isso ocorre, consta uma observação no desenho de produção da peça.

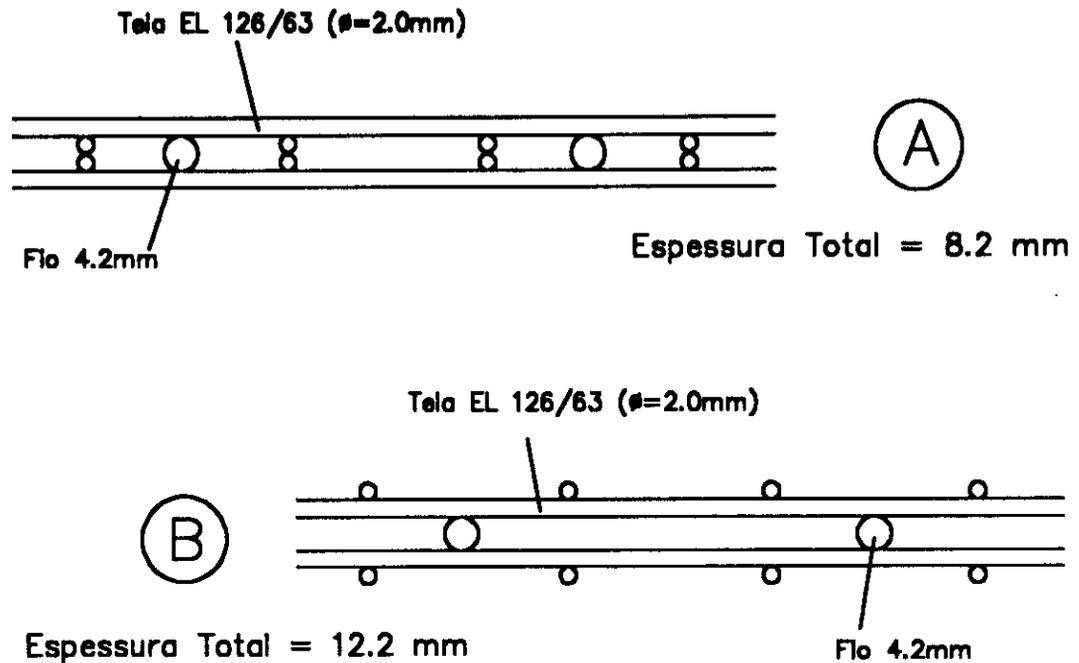


Figura 4.4 – Esquema de arranjo de telas e fios resultando em uma situação de pouca (A) e outra de grande espessura (B).

#### f) Colocação de espaçadores

Como todas as etapas do preparo da armadura, a aplicação dos espaçadores é importante para a perfeita garantia do cobrimento mínimo necessário em toda a superfície da peça.

De uma maneira geral, parte-se de uma quantidade próxima de 30 unidades/m<sup>2</sup> de superfície de peças, sendo este valor uma média verificada na maioria das peças fabricadas no Cedec/Emurb. Após o início da produção em série de uma peça de argamassa armada, tem-se condições de precisar a quantidade e o local de posicionamento dos espaçadores. Alguns fatores fazem com que seja necessária uma maior densidade em determinadas regiões, como locais de afunilamento da seção transversal, ou locais com elevada espessura de armação e/ou pequena espessura da peça.

Também é importante verificar se o espaçador está sendo colocado no fio correto, pois em uma tela soldada cada uma das direções de fios está em um plano diferente, e para se garantir o cobrimento, os fios a receber os espaçadores devem ser os que, efetivamente, estarão em contato com a fôrma.

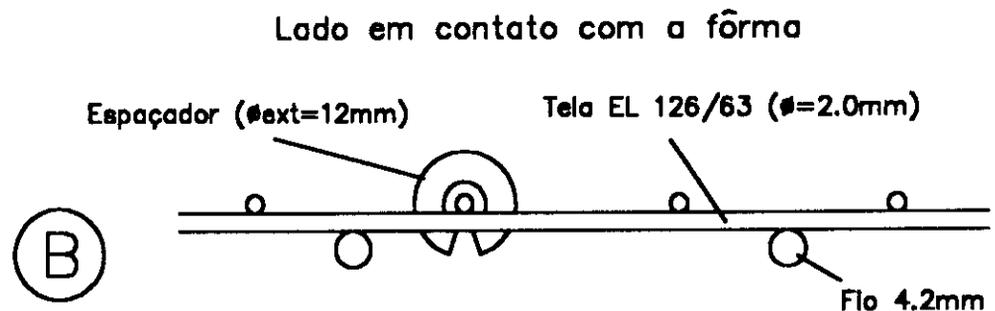
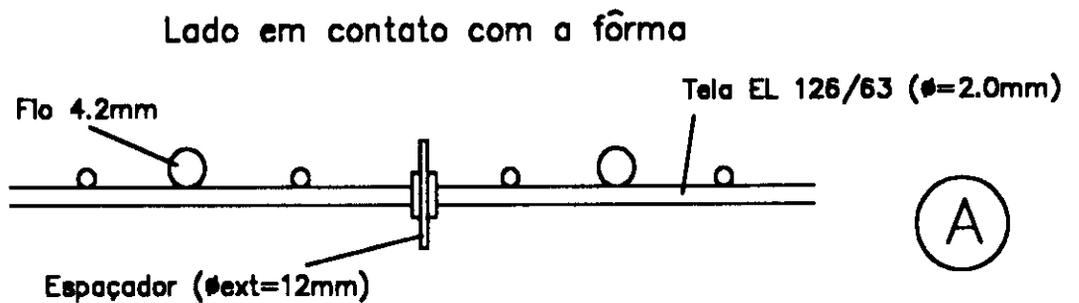


Figura 4.5 – Posicionamento dos espaçadores na tela.

Uma outra situação possível é a colocação de fios de aço soltos amarrados à tela, mas montados na face externa da armadura. Neste caso, ou posiciona-se um espaçador no fio solto ou muda-se o detalhamento de montagem. Caso contrário, o cobrimento final será menor que aquele esperado e garantido pelo espaçador plástico.

Na Figura 4.5, está ilustrado um bom exemplo das possibilidades de posicionamento de espaçadores em uma armadura composta de tela EL 126/63, fios de 4.2mm e espaçadores com diâmetro externo de 12mm e diâmetro interno de 2mm - que resultam em um cobrimento de 5mm sobre o fio no qual estiver montado.

Na situação A, tem-se a pior situação possível: os fios de 4.2mm estão montados por fora da tela e os espaçadores colocados nos fios internos da mesma. Este detalhe resulta em um cobrimento de 5mm sobre os fios internos da tela, mas de 0.8mm sobre os fios de 4.2mm. Na situação B, o espaçador está

posicionado corretamente, garantindo um cobrimento de 5mm para toda a armadura.

#### **g) Ajuste da armadura na fôrma**

A fase final, de ajuste da armadura, pode ser bastante otimizada, caso se utilize bancadas de madeira como pré-fôrma para as armações. Entretanto podem haver ainda grandes variações no resultado final da armadura, em função da "boa-vontade" do operário.

Especificamente neste caso, adotou-se um procedimento no Cedec, que simplificou sobremaneira o ajuste das armaduras nas fôrmas metálicas.

Apesar de se utilizar os gabaritos de madeira como pré-fôrmas, tinha-se grande variação nas dimensões e formas das armações montadas. Até mesmo devido às características dos pré-moldados de argamassa armada, tem-se um número bastante elevado de pequenas peças e, conseqüentemente, pequenas armaduras, o que dificulta bastante o controle da qualidade das mesmas.

Ainda assim, resolveu-se identificar, com etiquetas auto-adesivas, o funcionário encarregado de montar cada uma das armações. A idéia deste processo era simples: cada armador, sabendo que os seus erros ou sua falta de atenção seriam identificados, faria o melhor possível para produzir dentro das especificações. O resultado foi a redução, praticamente a zero, de armações recusadas ou com dificuldade de encaixe.

Outra possibilidade para diminuir a necessidade de ajuste das armações nas fôrmas é a execução de gabaritos para o dobramento dos fios e barras mais importantes estrutural ou construtivamente. Com esse procedimento, reduz-se as chances de erros por parte dos armadores.

### **4.3 - PRODUÇÃO E CONTROLE DA ARGAMASSA**

A correta definição e o controle do traço da mistura a ser utilizada na moldagem das peças é de suma importância. Assim sendo, os insumos necessários à produção dos pré-moldados devem ser constantemente verificados em relação à sua qualidade, conformidade com especificações e/ou normas técnicas e quantidade adicionada à mistura.

Este controle de inspeção, vale lembrar, será um grande responsável pela qualidade final do pré-fabricado e, apesar de nem sempre ser uma conclusão imediata, é mais interessante garantir a qualidade das peças em cada estágio da produção do que se tentar corrigir e reparar defeitos nas peças produzidas. Esta é a diferença básica entre garantia da qualidade e controle de qualidade.

Essa questão da garantia da qualidade será abordada, de maneira um pouco mais detalhada, mais adiante.

#### **4.3.1 - Cimento**

Devido às características de produção, o cimento utilizado é do Tipo V - A.R.I. (Alta Resistência Inicial), conforme classificação da NBR-5733. A principal característica desse cimento é a de antecipar valores de resistência mecânica da argamassa nas primeiras idades, de modo a permitir a desforma da peça poucas horas após a argamassagem da mesma. Isso possibilita uma produtividade maior, haja vista que, quanto menos tempo demandar o ciclo de produção por fôrma, menor será a quantidade necessária das mesmas, para um mesmo volume a produzir.

Outros tipos de cimento podem ser utilizados, como os pozolânico, aluminoso, comum, com escória, etc.. No entanto, deve-se estar atento para o fato de que o cimento A.R.I. apresenta, de uma maneira geral, uniformidade e constância na coloração final da peça produzida o que, em se tratando de peças que ficarão aparentes, tem apreciável importância. Não se tem informações sobre resultados da utilização de outros tipos de cimento portland e sua influência no

aspecto final da peça. É sabido, entretanto, que o cimento portland comum apresenta significativas variações de coloração.

Da mesma forma, a utilização de outros tipos de cimento (à exceção do tipo aluminoso), praticamente torna obrigatória a utilização da cura a vapor, para compensar o incremento de resistência normal (sem antecipação de valores) por eles proporcionado.

#### 4.3.2 - Areia

A areia utilizada na mistura deve ser grossa ou média, ou seja, com uma superfície específica (relação entre a superfície do grão e o volume do mesmo) pequena - o que significa uma redução da quantidade de água de amassamento.

Pode-se também adotar, caso se considere interessante ou conveniente, a combinação granulométrica do agregado de modo a permitir uma economia na argamassa ou mesmo a melhora de alguma propriedade da mesma. Em função do volume de areia consumido e do local onde a fábrica de pré-moldados está instalada, pode-se encontrar alguma dificuldade no tocante à garantia do fornecimento da areia nas quantidades e granulometrias desejadas.

Os procedimentos de inspeção da areia têm como finalidade assegurar a boa qualidade do agregado, em conformidade com as especificações de projeto.

Por ocasião do recebimento do material, e antes da descarga do mesmo, deve-se realizar uma inspeção visual. Isto funciona como uma pré-seleção e tem como função garantir que materiais visivelmente fora das especificações não sejam misturados aos já recebidos e armazenados<sup>13</sup>. Basicamente, o que se avalia é a composição granulométrica e/ou a presença de impurezas orgânicas.

Pode-se ainda, para efeito de recebimento do material, e antes de o mesmo ser descarregado, realizar um ensaio de granulometria simplificado. Este ensaio consiste em, baseado em experiências anteriores, determinar a quantidade de areia que deve ficar retida em uma das peneiras. Para isso deve-se definir o percentual mínimo retido e a peneira a ser utilizada de maneira a se atingir resultados significativos, demonstrando a conformidade ou não do material com os parâmetros adotados.

### COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (NBR-7211)

Abertura peneira (mm).	Massa retida (g)	Porcentagem retida indiv.	Porcentagem retida acum.
4,8	53	5	5
2,4	88	9	14
1,2	191	19	33
0,6	342	35	68
0,3	186	19	87
0,15	108	11	98
<0,15	23	2	-
Total	1000	-	305

Módulo de Finura = 3,05

### CURVA GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO

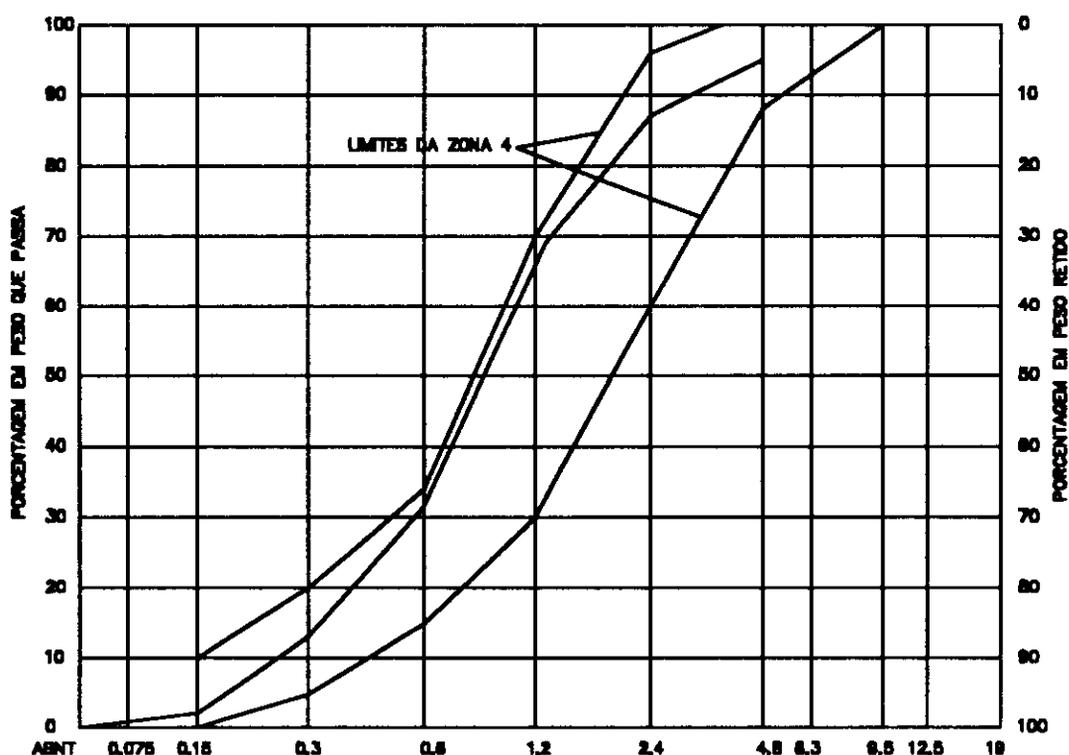


Figura .4.6 – Resultado e ensaio de curva granulométrica da areia e o respectivo gráfico, onde se mostra a curva obtida e as duas curvas limites da Zona 4 (NBR-7211).

Na Figura 4.6 estão reproduzidos os valores de um ensaio de curva granulométrica realizado com uma areia considerada comum e satisfatória para os padrões utilizados no Cedec.

Os ensaios realizados de maneira rotineira são os seguintes:

- curva granulométrica: em cada recebimento de material, recolhendo amostras de diferentes locais do carregamento. Em função do resultado do ensaio deve-se, se for o caso, corrigir o traço utilizado.

- impurezas e materiais pulverulentos: semanalmente ou a cada 30 m<sup>3</sup> de material recebido.

- umidade: diariamente, no mínimo uma vez, a cada início de turno de produção ou, em função da variação das condições climáticas, quantas vezes se fizerem necessárias durante o dia. Servirá como fator de determinação da quantidade de água que será, efetivamente, adicionada à mistura.

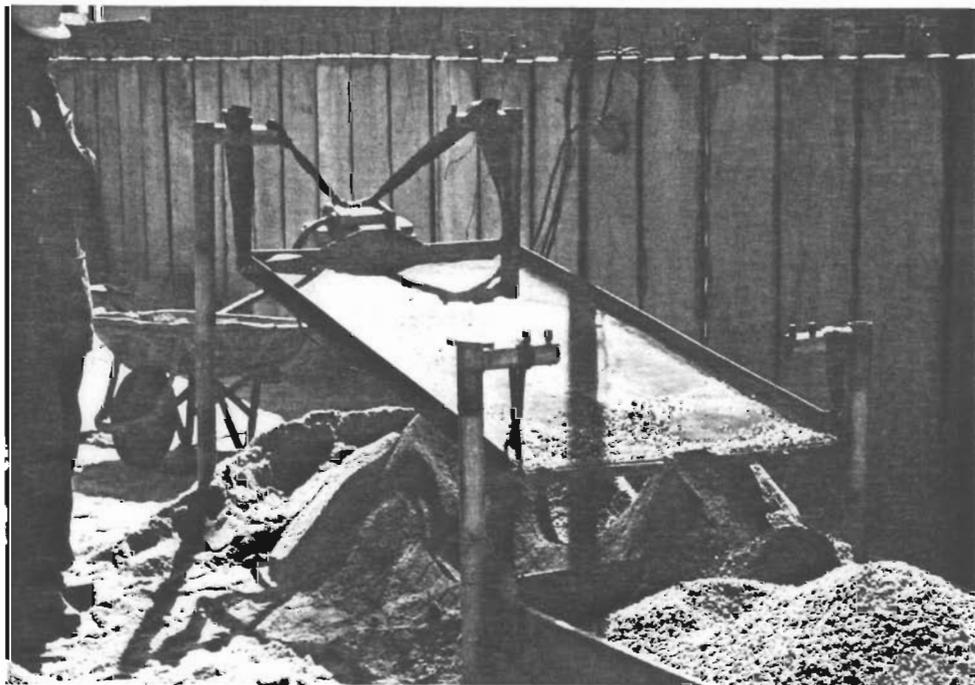


Foto 4.9 – Peneiramento da areia realizado em peneira com malha quadrada de abertura 4,8 mm acoplada a um moto-vibrador.

A título de ilustração, no Cedec a umidade da areia é medida diariamente no início dos ciclos de produção matutino e vespertino. Em dias chuvosos ou

com uma intensa variação de temperatura as medições são realizadas em número maior e quantas vezes se achar necessário.

### 4.3.3 - Água

No que diz respeito à tecnologia do material empregado, um dos pontos que merecem atenção especial é o volume de água adicionado à mistura por ocasião do seu preparo.

As peças pré-moldadas de argamassa armada têm usualmente espessuras que variam de 12 a 40 mm, com cobrimento médio das armaduras da ordem de 5 mm. Isso torna fundamental a necessidade da argamassa endurecida possuir uma impermeabilidade altamente satisfatória no sentido de evitar a ocorrência de problemas de natureza patológica com a peça. E quanto maior a relação água/cimento utilizada, maior será a porosidade da argamassa. Essa porosidade favorece, basicamente, a aceleração do processo de corrosão da armadura, devido à ação de cloretos e outras substâncias que contribuem para a redução da durabilidade do elemento pré-fabricado. Nas situações em que o elemento pré-fabricado tem função estrutural, o problema é ainda mais grave.

Outros fatores relativos à segurança estrutural e influenciados pelo relação água/cimento da mistura são a resistência mecânica da argamassa e a deformação lenta da mesma. Uma maior quantidade de água resulta em valores menores de resistência e em acréscimos maiores de deformações em função da fluência da argamassa.

O valor limite fixado pela NBR-11173 para a relação água/cimento na argamassa é de 0,45. Entretanto, é conveniente, para maior durabilidade da construção ou do componente pré-moldado, que esse fator esteja abaixo de 0,40.

No que diz respeito à qualidade, a água a ser utilizada pela usina de pré-fabricados na produção das peças deve ser boa, não contendo substâncias que possam agredir a argamassa ou a própria armadura da peça. Segundo o American Concrete Institute<sup>15</sup>, o seu pH deve ser maior ou igual a 7. Como referência, a água sendo potável é passível de utilização.

Deve haver ainda, uma aferição frequente do hidrômetro utilizado para medir a água que é lançada no misturador. É importante que o responsável pela mistura fique atento a eventuais alterações de aspecto e/ou trabalhabilidade da argamassa.

No caso de não se utilizar hidrômetros, é fundamental que se disponha de baldes com graduação, no mínimo a cada litro, e que os responsáveis pelos misturadores sejam da maior confiança possível, de modo a evitar grandes variações na relação água/cimento utilizada.

### CORREÇÃO DE TRAÇO DA ARGAMASSA

- Determinação da umidade da areia:

$$h \% = 100 \frac{M_u - M_s}{M_u}$$

onde  $M_u$  = massa da areia úmida;

$M_s$  = massa da areia seca; e

$h$  = umidade da areia (%)

- Definição do novo traço considerando a umidade da areia:

exemplo - traço 1:2:0,40 de cimento, areia e água

em cada betonada usa-se: 100 kg de cimento

(com umidade 0%) 200 kg de areia

40 l de água

Considerando  $M_u=1040$  g e  $M_s=993$  g, tem-se  $h=4,5$  %, o que equivale, no traço acima, a 9 l de água ( $0,045 \times 200$ )

Assim, em cada betonada usa-se 31 l de água, e não 40 l.

Quadro 4.3 – Exemplo da correção do traço da argamassa em função da umidade da areia.

Como já foi adiantado, diariamente a quantidade de água adicionada à mistura deve ser avaliada e corrigida em função da umidade da areia utilizada.

No Quadro 4.3, está mostrado um ensaio de umidade da areia e a respectiva determinação da quantidade de água a ser adicionada à mistura.

#### 4.3.4 - Aditivos

Em função das características que se deseja obter do concreto ou argamassa, pode-se fazer uso de aditivos no preparo da mistura. Os mais utilizados são, não necessariamente em ordem: aceleradores de endurecimento, retardadores de pega, redutores de água e super-plastificantes.

Por não ser objetivo deste trabalho, analisar-se as características e o desempenho dos diversos tipos de aditivo, mas sim, estudar e analisar a argamassa armada enquanto material, limitar-se-á aos aditivos plastificantes e super-plastificantes, haja vista que são os mais recomendados quando a intenção é melhorar as características da argamassa em termos de qualidade e durabilidade.

Quanto maior a quantidade de água adicionada à mistura, maior a porosidade da argamassa e, conseqüentemente, menor a impermeabilidade, resistência a ataques químicos e durabilidade. Os aditivos super-plastificantes são uma alternativa viável tecnicamente e em função da dosagem podem reduzir em até 35% o volume de água necessário para produzir argamassas com iguais consistências<sup>16</sup>. Considere-se, também, que os valores de resistência à compressão da argamassa são significativamente majorados com a redução da água de amassamento.

Quando se estuda a plasticidade e redução da quantidade de água adicionada à argamassa, deve-se ter em mente o valor médio usual de consistência para a mistura utilizada na produção de pré-moldados: 265 mm, medidos na mesa de espalhamento (*flow table*). Este é um valor que permite o preenchimento de grande parte dos tipos de fôrmas sem maiores dificuldades.

Convém ainda estar atento para o fato de que, quando se utiliza aditivos plastificantes, a consistência diminui mais rapidamente em comparação a uma argamassa convencional (Figura 4.7).

Existem, basicamente, três tipos de aditivos super-plastificantes: à base de ligno-sulfonados, naftaleno-sulfonados e melamina-sulfonada. Estes últimos apresentam a vantagem de não incorporarem ar à argamassa.

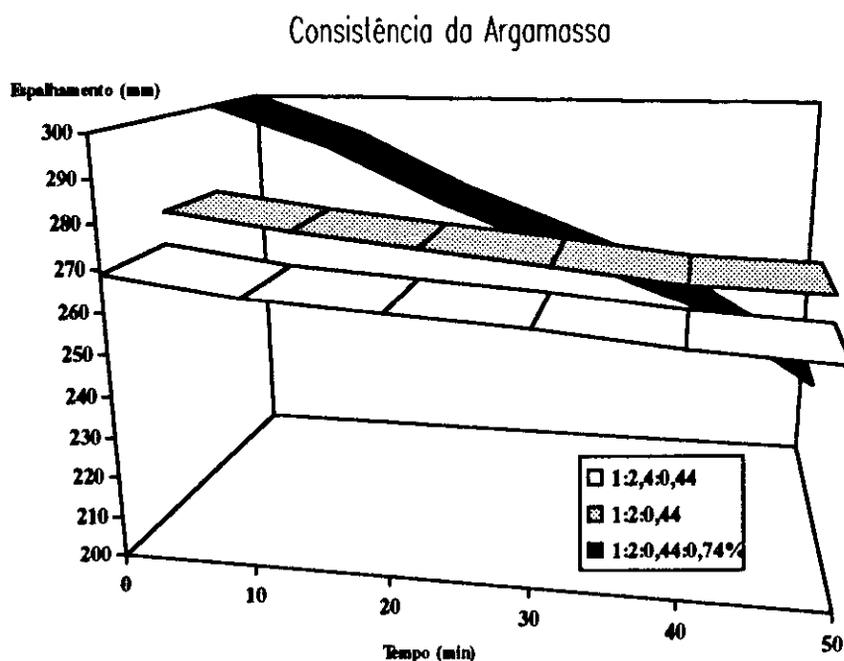


Figura 4.7 – Evolução da consistência da argamassa (*flow table*) ao longo da primeira hora após a adição de água na mistura.

#### 4.3.5 - Laboratório de controle tecnológico

Já foram citados os ensaios que devem ser realizados a fim de acompanhar a produção e fornecer informações que possam subsidiar relatórios de controle e garantia da qualidade da argamassa utilizada. Dada a frequência desses ensaios, é conveniente que se disponha de um laboratório com condições de realizá-los e, ainda, dar suporte no que diz respeito à tecnologia da argamassa.

Este laboratório pode ser simples, mas deve ser operado por pessoal técnico especializado. Todas as informações e resultados de ensaios lá realizados são bastante representativos para serem obtidos por pessoal incapacitado ou mesmo que não contem com a confiança do quadro técnico.

Da mesma maneira, a rapidez com que as informações devem chegar aos responsáveis pela tecnologia do material no setor de Controle de Qualidade é de suma importância.

Os equipamentos necessários ao laboratório dependem, certamente, da variedade dos ensaios que se deseja realizar. Em uma configuração mínima, pode-se pensar em balança, mesa de espalhamento e prensa com capacidade para 1000 kN. Devem haver fôrmas de corpos de prova em número de acordo com a frequência e a quantidade de moldes que serão feitos diariamente.

Esse laboratório fica responsável pelos ensaios de areia, cimento, argamassa fresca e endurecida e, ainda, pela correção diária do traço a ser utilizado na produção.

#### **4.3.6 - Controle da argamassa**

O traço utilizado na moldagem de peças pré-fabricadas de argamassa armada em geral nunca é maior que 1:3 de cimento e areia, em massa, com relação água/cimento em torno de 0,42. A NBR-11173 que dispõe sobre a execução de peças de argamassa armada limita a relação água/cimento em um valor máximo de 0,45. O valor ideal é abaixo de 0,40, mas, considerando o processo produtivo, deve-se lembrar que quanto menor a relação a/c, mais difícil será o preenchimento das fôrmas. Ou seja, deve-se buscar otimizar a relação água/cimento utilizada e a eficiência no processo produtivo e, em função do tamanho da fábrica, pode-se pensar até em padronizar aquele relação a/c em função do tipo da peça a ser preenchida.

Os materiais utilizados na argamassa devem, a favor de uma maior precisão, serem medidos em massa, pois a medição em volume está sujeita às variações de umidade e adensamento dos materiais, principalmente da areia. No caso de pesagem dos insumos, as balanças devem ser aferidas em função de sua capacidade, robustez e intensidade de utilização. Em geral, aferindo-se a cada seis meses, garante-se boas condições de trabalho.

Em função do volume de produção da fábrica, pode-se considerar a alternativa de automação em central de mistura. Sem dúvida, a grande vantagem desse sistema é a garantia da homogeneidade e conformidade da mistura, não

suscetível a falhas dos operadores. Por maior cuidado que se tenha nesse processo, há uma variação considerável no traço produzido em misturadores ou centrais operadas manualmente.

Para se obter uma mistura com qualidade, é necessário ter um bom misturador e seguir algumas recomendações básicas de tecnologia do concreto sobre a maneira de se adicionar os materiais no misturador.

O traço utilizado na produção da argamassa deve ser constantemente revisto em função de variações nas características dos materiais utilizados.

Citados os cuidados e a importância de se avaliar e ajustar o traço utilizado na produção, deve-se também atentar que, efetivamente, para garantir uma boa qualidade da mistura, deve haver um controle da sua produção, com ensaios da argamassa fresca e endurecida.

As necessidades produtivas impõem que as peças pré-fabricadas de argamassa armada possam ser desformadas aproximadamente de 8 a 14 horas após a moldagem e, para isso, é preciso que a argamassa tenha uma resistência efetiva ( $f_{cj}$ ) em torno de 10 MPa por ocasião da desforma. Essa resistência é fundamental e, muitas vezes, mais importante que a resistência aos 28 dias ( $f_{ck}$ ).

Quanto à durabilidade, deve-se lembrar que algumas peças estarão sujeitas a condições desfavoráveis, como por exemplo, telhas, vigas-calhas e pilares que no sistema construtivo têm a finalidade de conduzir águas pluviais, bem como peças do sistema de canalização de córregos que, em geral, ficam imersas em um ambiente que pode ser considerado agressivo. Isto impõe que o controle do relação água/cimento utilizado seja rigoroso a fim de que se obtenha uma argamassa adequadamente impermeável.

Nas peças especialmente esbeltas essa preocupação é maior, haja vista que o problema de corrosão de armaduras é ainda mais grave.

O ensaio realizado para aferir a relação água/cimento efetivamente utilizada é o que mede a consistência da argamassa fresca. Há dois tipos de ensaios mais comuns que se prestam neste caso, e estão relatados a seguir.

A mesa de espalhamento (*flow table*) é uma mesa circular, feita em aço, onde se molda certa quantidade de argamassa com o auxílio de um tronco de

cone que serve como molde. A argamassa é adensada, a fôrma retirada e então inicia-se a movimentação da mesa. Esta movimentação é feita girando-se uma manivela, que está conectada a um eixo excêntrico que faz com que a mesa seja elevada suavemente para, a seguir, cair de maneira brusca.



Foto 4.10 – Medição do espalhamento verificado em ensaio de consistência (*flow table*)

Todas as operações e acessórios são padronizados, e após 30 voltas de aproximadamente 1 segundo cada, mede-se, com uma régua metálica ou paquímetro o diâmetro final da argamassa espalhada sobre a mesa. Quanto maior for a medida obtida, mais fluida, e portanto mais água tem a argamassa.

O segundo ensaio utiliza a chamada Mesa de Graf. Esta mesa é feita em madeira e é composta de duas placas de madeira unidas, em um dos lados por dobradiças. No lado exatamente oposto, há um batente metálico que permite um pequeno deslocamento de uma placa em relação à outra. A face superior possui uma alça para facilitar o seu levantamento.

Assim, molda-se um tronco de cone de argamassa na placa superior da mesa e inicia-se um movimento de oscilação vertical limitado em um sentido pela placa inferior, e no outro pelo batente metálico. Com uma frequência também padronizada de uma oscilação por segundo, e após 30 oscilações, mede-se, da mesma maneira, o diâmetro da massa espalhada.

Apesar desses ensaios serem parecidos, as suas medidas finais são diferentes para uma mesma argamassa, de modo que não se pode comparar resultados.

Por isso, controlar a produção de argamassa deve significar uma série de providências a fim de garantir que a sua qualidade se mantenha uniforme ao longo do tempo.

A medida da umidade da areia pode ser feita por diversos procedimentos tais como o de secagem, "speedy" e o frasco de Chapman, sendo que o processo de secagem é o mais comum, barato e eficiente sistema de medida, não requerendo praticamente nenhum equipamento, exceto a balança.

O controle da consistência da argamassa deve ser feito constantemente ao longo do dia, anotando-se o valor medido e o traço utilizado.

Cumpridos os requisitos mínimos para permitir a boa execução da argamassa, o controle da resistência à compressão dos corpos de prova servirá como indicativo da eficiência e da regularidade da produção de argamassa. A homogeneidade do volume produzido será medida pelo desvio padrão dos ensaios de compressão de corpos de prova, indicando o nível de qualidade alcançado.

### Resistência da Argamassa

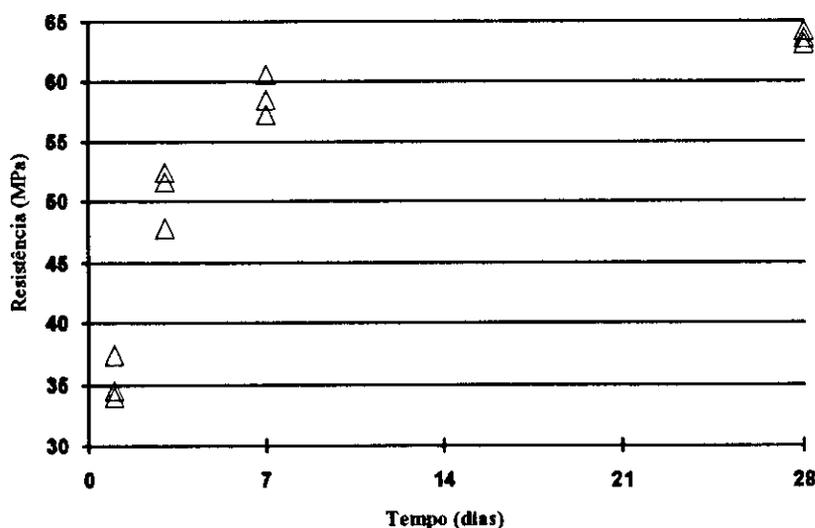


Figura 4.8 – Alguns valores de resistência verificados em corpos de prova de argamassa do Cedec/Emurb, ensaiados à compressão axial

## **4.4 - APLICAÇÃO DA ARGAMASSA**

Por ocasião do preenchimento das fôrmas, deve-se ter o cuidado de garantir que a argamassa seja adensada de maneira conveniente e satisfatória. Para isto, é fundamental a preocupação com a vibração.

Talvez pela complexidade e elevado número de variáveis que estão envolvidas neste tema, não é rápida nem tampouco simples atingir a eficiência plena na vibração de elementos de concreto armado.

Experiências já realizadas mostram que o perfeito adensamento da argamassa em uma fôrma, depende de fatores tais como:

- a) fôrma: peso, dimensões, distância a ser percorrida pela argamassa e os ângulos de escoamento para esse percurso;
- b) vibração: tipo, frequência, amplitude e tempo de vibração; e
- c) argamassa: granulometria do agregado, relação água/cimento, tempo decorrido desde a adição de água na mistura, etc.

Esses assuntos serão comentados um pouco mais adiante.

### **4.4.1 - Transporte e lançamento da argamassa**

A maneira usual de se transportar a argamassa do misturador até a fôrma é com o auxílio de carrinhos de duas rodas (tipo "jerica"). Dado o pequeno volume do material a carregar e as reduzidas distâncias, tal equipamento é uma opção eficiente.

O lançamento da argamassa geralmente é feito manualmente, com o auxílio de colher, pá ou balde - no caso de argamassa fluida.

Algumas empresas já testaram (outras ainda testam) a utilização de bombeamento para a argamassa, sendo que os resultados, até o momento, não são totalmente satisfatórios devido, principalmente, a dois fatores:

a) o consumo de argamassa deve se dar continuamente, sem interrupções, uma vez que quando estas ocorrem, torna-se necessário esvaziar e limpar os dutos para que não ocorra entupimento;

b) mesmo havendo bombeamento contínuo é comum ocorrerem aquecimento nos equipamentos utilizados e , em consequência, o endurecimento da argamassa e a obstrução da tubulação.

#### 4.4.2 - Adensamento da argamassa

O adensamento da argamassa - e isso é válido também para os concretos - é assunto que merece atenção e dedicação por parte dos tecnologistas.

No caso de peças de argamassa armada, o modo de preenchimento da fôrma (*which way up*) pode dificultar bastante essa operação, tornando ainda mais importantes os cuidados com os itens vibração e consistência da argamassa.

A vibração pode se dar, basicamente, de quatro maneiras distintas<sup>17</sup>:

- vibração interna (com vibrador de imersão);
- vibração de superfície;
- mesa vibratória;
- vibração da fôrma.

Os métodos de adensamento mais utilizados em usinas de pré-fabricados de argamassa armada são a mesa vibratória e a vibração de fôrma. A vibração interna não é utilizada pois as espessuras das peças são menores que o diâmetro dos mangotes dos vibradores de imersão. Já a vibração de superfície é pouco utilizada uma vez que, de um modo geral, a área exposta da fôrma é muito pequena, o que inviabiliza o processo.

### **Mesa Vibratória**

O funcionamento de uma mesa vibratória é simples: um motor elétrico aciona, através de correia, um eixo excêntrico que, ao girar, gera vibração na estrutura da mesa - onde o mesmo está apoiado.

A mesa vibratória, dada a sua simplicidade e baixo custo, é bastante utilizada principalmente porque as pequenas dimensões das fôrmas de peças de argamassa armada permitem colocá-las sobre a mesa. Como Vilagut<sup>18</sup> relata, é recomendável que as dimensões das fôrmas a serem vibradas em mesa sejam aproximadamente iguais às dessa última.

As variáveis envolvidas nesse processo são, principalmente, tempo de vibração, velocidade de rotação do eixo excêntrico e massa excêntrica ao referido eixo. O fato da fôrma estar ou não fixada à mesa vibratória também influencia no resultado final.



Foto 4.11 – Mesa vibratória.

Como em todos os métodos de adensamento, não existe uma fórmula ou recomendação que possa ser considerada válida como regra geral. A eficiência na vibração é atingida de modo empírico, com experiências e avaliações práticas.

### **Vibração da fôrma**

Utiliza-se a vibração da fôrma quando as dimensões e/ou o peso desta inviabilizam operacionalmente a sua movimentação ou mesmo o seu posicionamento sobre uma mesa vibratória. A quantidade e disposição dos vibradores são função das dimensões da fôrma a ser vibrada.

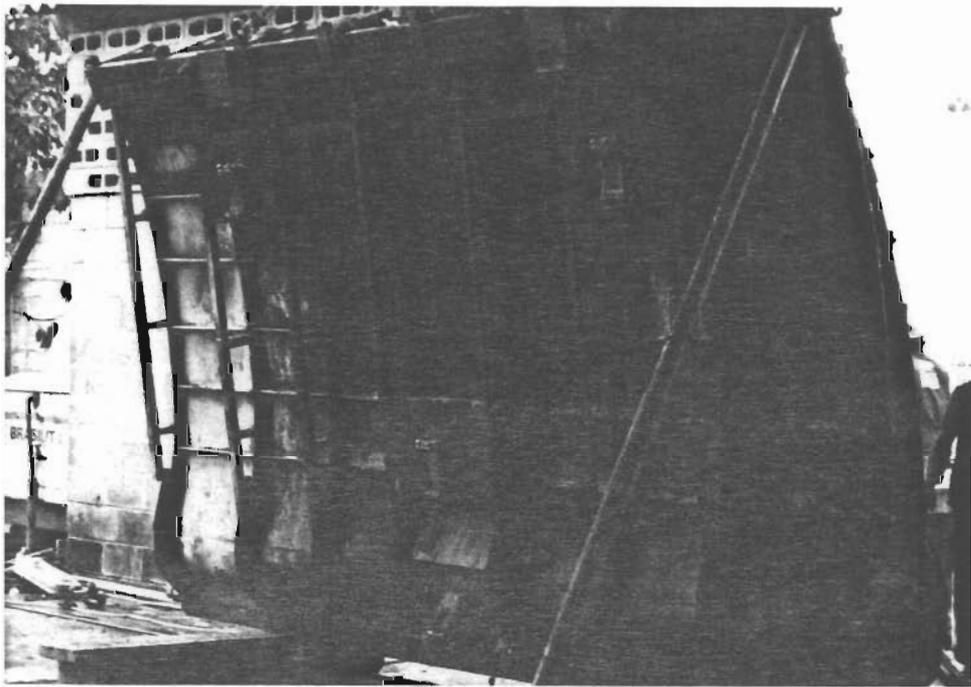


Foto 4.12 – Fôrma de grandes dimensões podendo-se notar três bases para os vibradores.

Para esse tipo de vibração, é comum a colocação de bases para fixação do(s) moto-vibrador(es) nas fôrmas utilizadas, seguindo um padrão também definido empiricamente.

## 4.5 - CURA

No processo produtivo dos elementos de concreto e similares, inclusive argamassa armada, merece especial atenção a fase de cura, pois os cuidados dispensados a esta etapa definirão a qualidade da peça no que diz respeito, principalmente, à sua durabilidade.

A cura de uma peça de concreto ou qualquer outro produto com cimento, consiste em manter um índice satisfatório de umidade e temperatura para o concreto recém-misturado, para que se possam desenvolver as reações de hidratação da pasta de cimento a fim de obter as propriedades desejadas para o concreto. Resistência e durabilidade da peça só são atingidos se a cura for promovida de maneira adequada.

Por ocasião do preparo do concreto, é adicionada uma quantidade de água maior que a necessária para a hidratação da pasta de cimento. Isso ocorre pois é necessária uma certa plasticidade da massa para permitir que a mesma seja trabalhada, aplicada, vibrada, etc.. Se fosse possível adicionar à mistura somente a água necessária à hidratação do cimento, teria-se uma relação água/cimento da ordem de 0,23, segundo Levitt<sup>19</sup>. Entretanto, com essa consistência seria inviável o uso desse concreto ou argamassa como foi comentado, e é por isso que é utilizada uma quantidade de água a mais. Porém, durante o endurecimento da mistura há uma tendência de perda dessa água excedente por evaporação.

O líquido que evapora se encontra no interior da argamassa e, em saindo, deixa vazios os pequenos volumes que estava ocupando. Esses volumes são poros, e não é difícil imaginar que se a água saiu da argamassa, ela percorreu um certo "caminho" que ficou aberto e que permitirá a entrada de substâncias agressivas à argamassa e à armadura.

Assim sendo, o principal cuidado com a cura se resume, basicamente, em garantir que a peça de concreto, nas suas primeiras idades, não perca água durante o endurecimento da mistura.

Outro detalhe importante é que, em uma indústria de pré-fabricados, há uma necessidade de se desformar as peças produzidas no menor tempo possível. Este tempo é definido em função da resistência da argamassa, que por sua vez é

função das reações de hidratação da pasta de cimento. Quanto mais rapidamente essas reações se desenvolverem, mais rápido será incrementada a resistência mecânica.

Na hidratação do cimento, o calor atua como agente acelerador das reações químicas inerentes a esse processo. Desta maneira, conseguindo-se aliar altas temperaturas com condições ambientes que garantam que não haverá perda da água de amassamento, ter-se-á uma situação amplamente favorável a uma cura eficiente com altas resistências iniciais. Esta é a razão para a adoção da cura acelerada por agentes térmicos em muitas usinas de pré-fabricados de concreto armado.

Para que se tenha noção da importância da cura nas características finais de uma peça de concreto, transcreve-se um quadro apresentado pela ABESC - Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem<sup>20</sup>, com os resultados obtidos com corpos de prova de concreto ensaiados à compressão axial (Quadro 4.4). Esses corpos de prova foram moldados variando-se alguns fatores que fazem parte do processo de produção e/ou ensaio de corpos de prova de concreto e analisando a influência de cada um desses fatores nos valores obtidos no ensaio de compressão axial.

Sabe-se que os corpos de prova não representam completamente o produto produzido, constituindo-se, entretanto, um indicativo das condições do material, e sobre estas informações pode-se adotar medidas visando corrigir e aprimorar a execução.

Analisando-se os números apresentados, percebe-se que a cura é um dos fatores mais importantes de influência na qualidade final do produto concreto - qualidade esta, representada neste caso, pelo tópico resistência à compressão. Desta maneira, abordar-se-á o assunto dando ênfase aos cuidados e procedimentos normalmente adotados em uma indústria de pré-fabricados de argamassa armada mas que, como foi salientado, servirá também para peças de concreto armado, protendido e similares.

<b>CAUSA DA VARIAÇÃO RESISTÊNCIA / EFEITO MÁX. NO RESULT.</b>	
	<b>(%)</b>
<b>Materiais</b>	
- resistência do cimento	± 16
- quantidade total de água	± 10
- agregados	± 20
<b>Mão-de-obra</b>	
- procedimento de mistura	- 30
<b>Equipamento</b>	
- mistura e transporte	- 10
<b>Procedimentos de ensaio</b>	
- coleta	- 10
- adensamento manual	- 50
- cura	± 40
- capeamento do CP	- 30-50
- ruptura	± 10

Quadro 4.4 – Influência de fatores de produção/execução nos corpos de prova de concreto

#### 4.5.1 - Cura por imersão

As experiências que se teve no país com fábricas de pré-moldados de argamassa armada até 1990 não foram muitas, mas este tipo de cura foi o utilizado usualmente com fôrmas metálicas. Para fôrmas de madeira, esse processo torna-se inviável pois a variação intensa e constante da umidade do ambiente ocasiona prejuízos às chapas de compensado.

A cura por imersão é um processo bastante simples, no qual as fôrmas são colocadas em tanques de água após um período de 60 a 90 minutos após a moldagem das mesmas. De uma maneira geral, não requer maiores preocupações, haja vista que a água dos tanques não necessita nenhum tipo de tratamento e/ou controle, apenas deverá ser limpa e isenta de produtos químicos que possam ser prejudiciais às peças. As fôrmas só são retiradas desses tanques

por ocasião da desmoldagem. Apenas deve-se ter cuidado com a temperatura da água dos tanques, pois, segundo o Instituto Mexicano del Cimento y del Concreto<sup>21</sup>, se esta estiver mais de 11 °C abaixo da temperatura do concreto, podem ocorrer fissuras superficiais nas peças.

Enquanto as fôrmas preenchidas estão submersas, desenvolve-se a chamada primeira cura, que é a etapa de endurecimento da argamassa quando, em se processando as reações químicas da pega da pasta de cimento, serão atingidos valores de resistência que permitirão a desforma da peça. Desta maneira, o tempo necessário à primeira cura é função da resistência mecânica que se deseja para que a peça não apresente problemas de quebra ou fissuras durante a operação de desmoldagem.

Após a desmoldagem dos pré-fabricados, e enquanto as fôrmas são preparadas para uma nova argamassagem, os mesmos são encaminhados aos tanques de segunda cura, aí permanecendo por um período de 3 a 5 dias, quando então terão atingido resistência suficiente para poderem ser manuseados sem problemas de quebras ou avarias.

Ou seja, a primeira cura é a responsável pelo incremento de resistência até um valor que possibilite a desfôrma, embora a peça ainda esteja frágil. A segunda cura então, proporciona à peça condições de manuseio e, passado esse período, a peça já pode ser encaminhada à montagem, uma vez que sua resistência já terá atingido valores suficientemente elevados para permitir solicitações mecânicas à peça.

Em regiões de clima frio, sente-se mais nitidamente um inconveniente da cura por imersão. Quando da ocorrência de tempo frio, a água contida nos tanques atinge temperaturas bastante baixas, retardando as reações de endurecimento da pasta de cimento, o que implica em um baixo desenvolvimento da resistência da argamassa. Isso resulta em um aumento do período necessário à primeira cura, ou então, para um mesmo período, possibilidades de quebras nas peças pré-moldadas por ocasião da desmoldagem.

Na cidade de São Paulo é comum, durante o inverno, que se necessite um período de 48 horas na primeira cura para que se proceda com a desfôrma sem quebras significativas.

A possibilidade de aquecimento da água neste caso, é economicamente inviável, haja vista o grande volume do líquido, a grande superfície exposta e, conseqüentemente a grande perda do calor gerado.

Outro inconveniente do aquecimento da água nos tanques é a grande inércia térmica da mesma: quando a fôrma recém preenchida é mergulhada no tanque a argamassa apresenta uma temperatura média de 25°C a 30°C, e subitamente é submetida a um choque térmico. Devido, então, à já citada inércia térmica do grande volume de água, esse choque pode provocar o aparecimento imediato de fissuras na argamassa.

#### **4.5.2 - Cura por aspersão**

Este tipo de cura aplicada a pré-fabricados baseia-se nos processos de aspersão de água utilizados normalmente na construção civil. Certamente, para ser utilizado em um tipo de indústria que necessita se preocupar com a questão da qualidade do produto, são necessários alguns cuidados e um bom controle da execução.

No Brasil, a primeira experiência com esse tipo de cura em indústrias de pré-fabricados de argamassa armada foi realizada pelo Cedec/Emurb, pois, devido à imobilidade de algumas fôrmas metálicas fixas, optou-se por propiciar condições de cura através de aspersores e nebulizadores de água, posicionados ao longo das fôrmas (para a primeira cura) e em áreas próximas à da produção, local da segunda cura das peças.

Os aspersores e nebulizadores utilizados são para uso, originalmente, de irrigação de lavouras agrícolas, mas se adaptaram perfeitamente ao processo produtivo idealizado.

Aproximadamente 90 minutos após o preenchimento das fôrmas, inicia-se a aspersão de água, de maneira intermitente, mantendo, durante todo o ciclo de primeira cura, a superfície das peças totalmente úmida. Este ciclo tem a duração aproximada de 18 a 20 horas.

No dia seguinte ao da moldagem, as peças são desformadas e encaminhadas à área onde se fará a segunda cura. Lá elas são estocadas de

maneira a manter sempre um espaçamento entre as peças, aumentando a superfície exposta de cada uma delas e permitindo que a saturação do ambiente atinja, de uma maneira homogênea, todas as peças.

Depois de estocadas, as peças são cobertas com lona plástica e os nebulizadores de água são acionados, também de forma intermitente, mantendo aquele ambiente constantemente saturado por um período de 3 dias aproximadamente.

Do mesmo modo que a cura por imersão, a aspersão também fica sujeita às variações climáticas, entretanto ainda na fábrica do Cedec/Emurb, localizada em São Paulo e portanto sujeita a baixas temperaturas, este problema foi contornado com o aquecimento da água a ser arpergida nas peças por ocasião da primeira cura.

Este procedimento se fez necessário pelo fato de, com a chegada do inverno, ter começado a ocorrer um número de quebras acima do aceitável por ocasião da desmoldagem das peças, possibilidade comentada no item anterior. Aquecia-se, então, a água até uma temperatura de 40°C, suficiente para compensar qualquer influência da baixa temperatura ambiente. Este procedimento de aquecimento só é necessário por ocasião da primeira cura, e como o volume de água a ser aquecido é pequeno, não existe a inviabilidade econômica do investimento.

#### **4.5.3 - Cura a vapor**

A cura com o auxílio de vapor à pressão atmosférica, é um procedimento dos mais eficazes, aliando ótimos resultados do ponto de vista técnico a um investimento financeiro de médio porte.

Este tipo de cura proporciona um ambiente saturado e, ao mesmo tempo, uma temperatura elevada - da ordem de 65°C a 75°C. Assim as reações químicas da pasta de cimento se desenvolvem de modo satisfatório, resultando em uma argamassa bastante resistente já nas primeiras idades.

A aplicação do vapor deve respeitar um ciclo formado por quatro etapas distintas:

1) Tempo de espera ( $T_0$ ) - é o período situado entre a moldagem da peça e o início de aplicação do vapor saturado. É uma variável importante, haja vista que, quanto menor for esse espaço de tempo, menos resistência mecânica terá a argamassa, ficando assim mais suscetível ao aparecimento de fissuras de retração e de variação volumétrica - em função da variação de temperatura.

2) Tempo de incremento da temperatura ( $T_1$ ) - durante esta etapa elevar-se-á a temperatura do ambiente até o valor definido de estabilização. Está diretamente relacionada com a primeira etapa, pois quanto mais curta esta, mais suave deverá ser o aumento de temperatura e, portanto mais longo o período. Essa velocidade de aquecimento é função da resistência da peça ( $T_0$ ) e também da espessura da mesma, pois é importante que não se crie altos gradientes de temperatura entre a face externa e o interior da peça.

Ciclo Típico de Cura a Vapor

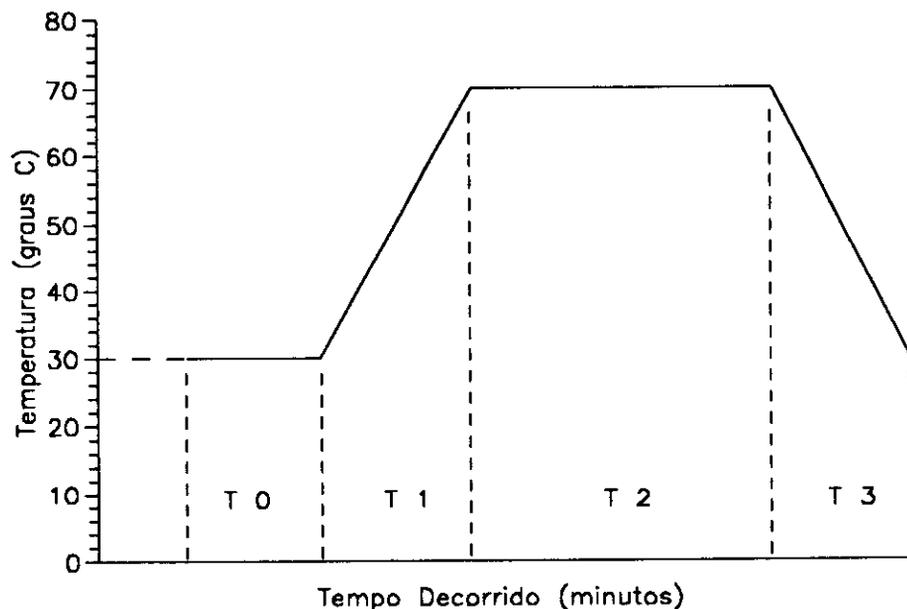


Figura 4.9 - Ciclo típico do processo de cura a vapor à pressão atmosférica.

3) Tempo de temperatura estável ( $T_2$ ) - esta etapa dura, no mínimo, o tempo necessário para equalizar as temperaturas em todos os pontos da peça que está sendo curada. Esta preocupação é importante no caso de peças pré-

fabricadas de concreto, pois as espessuras são maiores e, conseqüentemente, maiores os gradientes internos de temperatura.

4) Tempo de decréscimo de temperatura (T3) - é o fim do ciclo, mas deve merecer mais atenção quanto menor for a duração do ciclo de cura adotado, uma vez que um rápido esfriamento do ambiente saturado certamente resulta em fissuras nos elementos pré-fabricados.

Para a segunda e para a última etapa, um valor médio da velocidade com que se varia a temperatura está situado entre 10°C/h e 20 °C/h. Da mesma maneira, a temperatura máxima de vapor no ambiente deve se situar entre 65°C e 75°C.

Em um trabalho experimental<sup>22</sup> avaliou-se a aplicação de vapor em corpos de prova de argamassa. O início do ciclo de cura se dava com T0 variável em 0, 2,5 e 5 horas após o início da pega, considerada ocorrendo aproximadamente 1 hora após a adição de água à mistura.

Os melhores valores foram alcançados com o tempo de 5 horas de espera, haja vista que nesta situação, a argamassa já havia adquirido uma resistência que, embora pequena, se mostrou suficiente para atenuar a variação volumétrica devido à variação de temperatura. Quando o tempo de espera é pequeno, a argamassa fica mais sujeita às fissuras de retração e de variação volumétrica.

O ciclo de vapor aplicado às peças teve um tempo total variável entre 10 e 12 horas, com T2 = 4 h, T3 = 3 h e tempo de incremento de temperatura variável em função do tempo inicial de espera para início do ciclo. O aumento de temperatura durou 3 h, com exceção do lote que teve T0 = 0 h pois necessitou-se uma velocidade de aquecimento menor afim de minimizar efeitos prejudiciais aos corpos de prova recém moldados. A temperatura estabilizada do vapor foi de 65°C.

### Ciclos de cura utilizados nos Ensaio

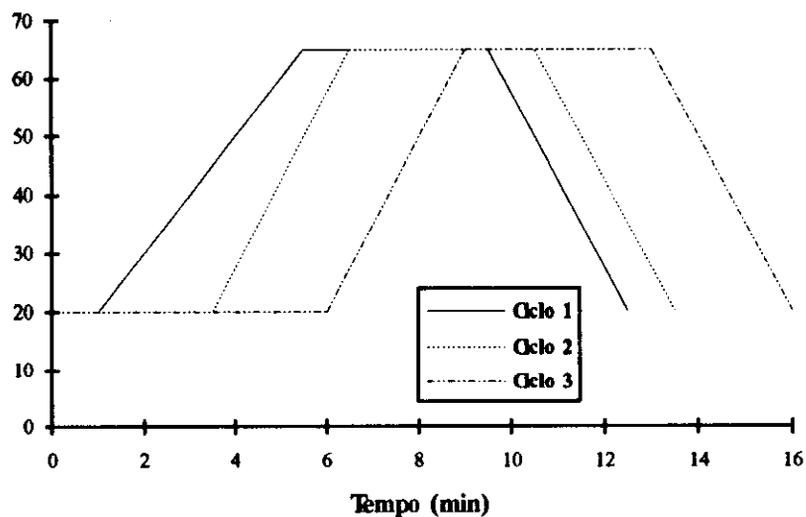


Figura 4.10 – Ciclo do processo de cura a vapor utilizado nos ensaios.

Apenas como média dos resultados obtidos nesse trabalho, os valores de resistência à compressão centrada dos corpos de prova ensaiados atingiu, a uma idade de apenas 24 horas, 67% do valor obtido, também em ensaios, aos 28 dias.

### Resistência de CPs

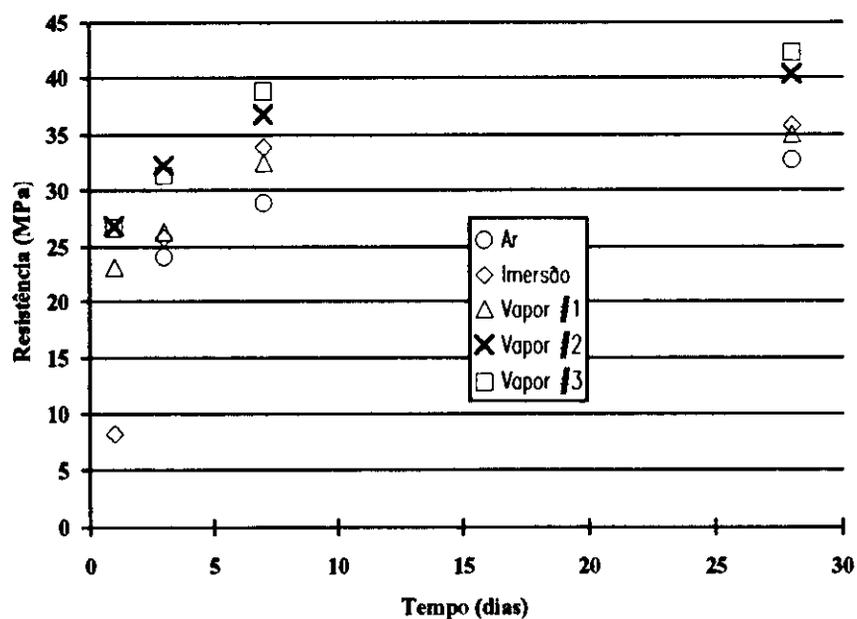


Figura 4.11 – Resultados dos ensaios de compressão em corpos de prova curados a vapor em três diferentes ciclos comparados aos curados ao ar e por imersão<sup>22</sup>.

É nítido o ganho obtido com este tipo de cura aplicado às peças pré-fabricadas de concreto ou argamassa armada, sendo que é possível escolher que tipo de ganho se obtém com a aplicação do vapor no processo de cura.

A primeira possibilidade é a de aplicá-lo por um período equivalente ao da cura convencional por imersão, algo em torno de 6 a 8 horas, o que se mostra suficiente para dispensar qualquer outro cuidado com a cura da peça, além de proporcionar uma alta resistência inicial, diminuindo sensivelmente as quebras no manuseio e reduzindo a mão-de-obra necessária no setor de reparos e acabamento da fábrica.

Como segunda possibilidade, pode-se definir um ciclo de vapor que permita atingir uma resistência mínima necessária para que a desfôrma ocorra sem avarias na peça. Este ciclo pode durar entre 3 e 4 horas e, nesta situação, se faz necessária uma segunda cura, geralmente por imersão das peças em tanques de água, que proporcionará à peça condições de um bom desenvolvimento das reações químicas intrínsecas à pasta de cimento.

Na primeira situação, então, tem-se um ganho com a qualidade das peças (maior resistência inicial com menor número de avarias) e com a eliminação dos tanques necessários à segunda cura. Já na segunda hipótese, o ganho ocorre com o aumento da produtividade devido ao menor período de tempo da primeira cura e, conseqüentemente, maior rotatividade das fôrmas ao longo do dia.

Finalmente, a utilização da cura a vapor independe das condições climáticas, o que, em se tratando de regiões de clima frio, é de suma importância para uma regularidade de produção independente da época do ano.

## **4.6 - TRANSPORTE E MANUSEIO DAS PEÇAS PRÉ-FABRICADAS**

Quando da discussão sobre a cura das peças pré-fabricadas, foi comentado um problema que merece atenção nesse tipo de fábrica: a avaria, sejam quebras ou simplesmente fissuras, dos componentes produzidos. Especificamente no caso da argamassa armada, a possibilidade de ocorrer danos é ainda maior, pois os elementos têm grande esbeltez e pequenas espessuras, com maior número de arestas e cantos e, conseqüentemente, com mais pontos vulneráveis no que diz respeito às quebras.

Sem dúvida, a maior causa dessas avarias é o manuseio inadequado somado à pouca resistência mecânica das peças pré-moldadas nas primeiras idades. Assim, o cuidado com este processo deve ter início por ocasião da desfôrma e se prolongar até a montagem do componente na obra. As precauções envolvem, em primeira análise: procedimento de paletização e embalagem adequação da disposição das peças no veículo de transporte em função da sua capacidade de carga e do peso e volume das peças e estratégia e processo de montagem.

### **4.6.1 - Manuseio das peças na desforma**

No caso de peças moldadas em fôrmas do tipo horizontal, o cuidado inicial deve ser no sentido de posicionar espuma ou qualquer outro material mecanicamente amortecedor abaixo da fôrma, de maneira a aliviar o impacto causado no saque da peça.

Já as fôrmas verticais normalmente precisam ser deitadas em uma plataforma onde se procede a desmontagem dos painéis componentes da mesma. Neste caso, a atenção deve estar voltada para a retirada desses painéis, uma vez que, devido ao seu peso, eles podem danificar a peça caso não sejam retirados de maneira correta. Também não é incomum os funcionários encarregados desta operação deixarem bater esses painéis de encontro aos componentes pré-fabricados. Quando da retirada da peça da fôrma, também é conveniente a utilização de espuma com a finalidade de amortecimento.

Para as peças moldadas em fôrmas fixas ou em pista, as precauções são um pouco diferentes devido ao processo produtivo. O saque da peça se dá através do içamento da mesma através de alças incorporadas à armadura ou de furos deixados por ocasião do preenchimento das fôrmas. Assim, deve-se garantir que a força necessária ao içamento da peça seja aplicada de maneira suave, principalmente por ocasião do deslocamento inicial. Nesse momento, há uma grande concentração de esforços mecânicos, haja vista que, por maior que seja o ângulo de saque da fôrma, sempre haverá aderência entre a argamassa endurecida e a superfície plana do molde. É comum, inclusive, uma certa dificuldade adicional na desmoldagem de peças pré-moldadas devido à não existência de ar entre a fôrma e a peça, o que resulta em uma diferença entre as pressões interna e externa à fôrma. Dada a pequena resistência da peça nesta idade, a tendência é a de ocorrerem fissuras mecânicas nas regiões próximas aos furos ou alças de içamento.

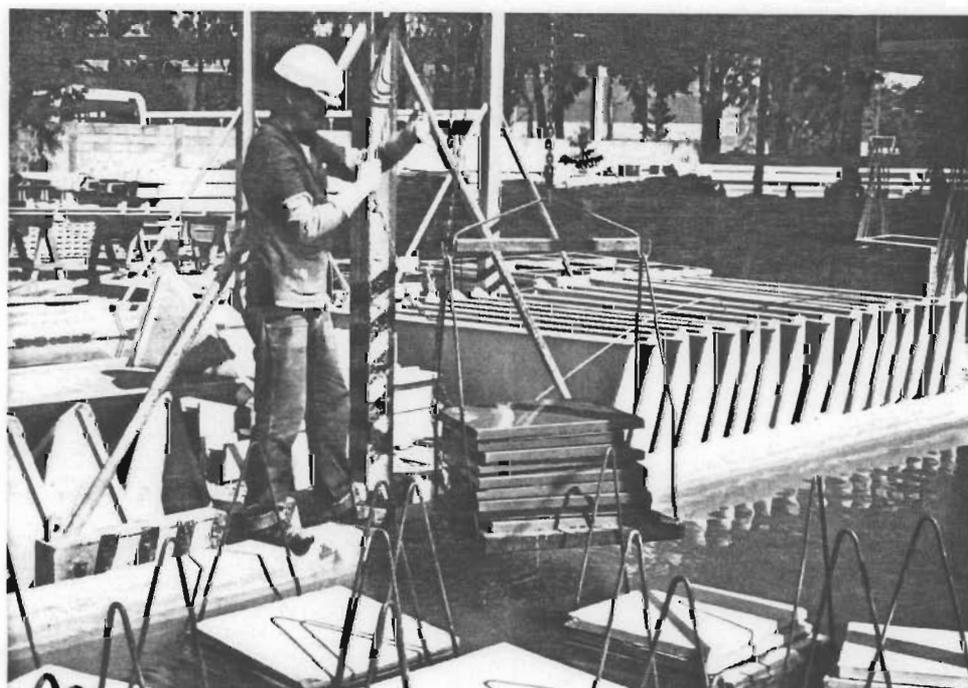


Foto 4.13 – Detalhe de dispositivo de içamento utilizado em placas de piso.

#### 4.6.2 - Movimentação para a área de cura

Concluída a operação de desmoldagem, as peças são encaminhadas para os locais onde se propiciará condições para a chamada segunda etapa de cura.

Dependendo do tipo de peça produzida, existe a possibilidade de paletização das mesmas, logo após a desfôrma. Com este procedimento, as chances de avarias nos elementos pré-moldados são reduzidas de maneira significativa. Neste caso deve-se identificar de imediato as peças que tiveram qualquer problema de moldagem, tais como excesso de bolhas, "ninhos" de concretagem, manchas, etc., pois a paletização dificulta uma avaliação posterior desses problemas.

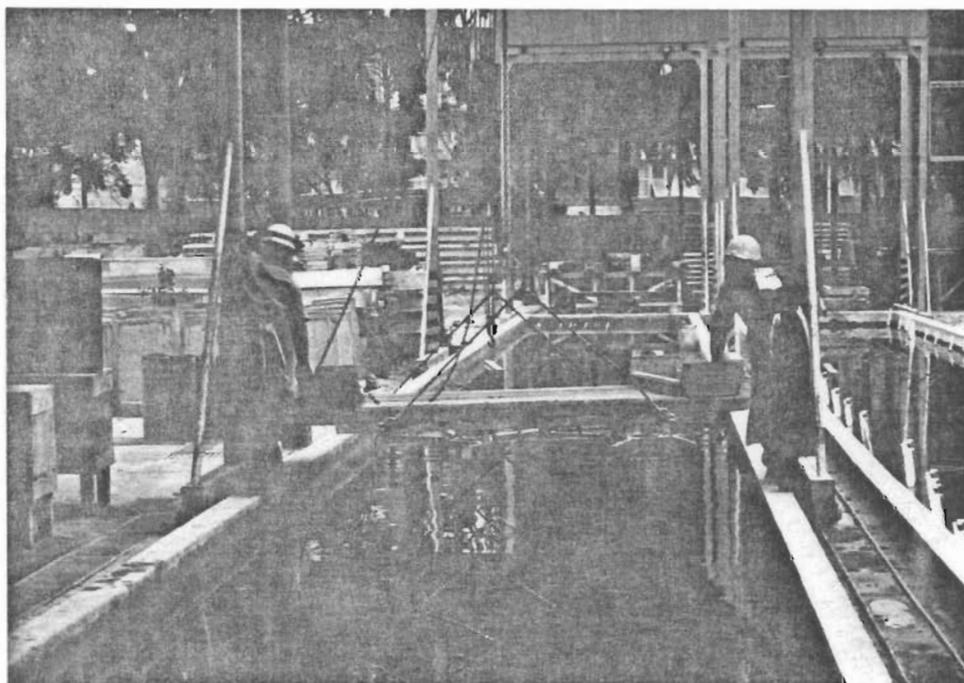


Foto 4.14 - Peças pré-fabricadas sendo transportadas em *pallet*

A situação de movimentação de peças ideal é aquela na qual todo este procedimento ocorre através de *pallets*, desde o encaminhamento para a segunda cura até a expedição para a local de montagem, passando pelo estoque na fábrica. Esta hipótese, apesar de ser a mais eficiente sob o aspecto técnico, envolve, necessariamente, um elevado número desses dispositivos. Estes, geralmente

metálicos, têm um custo relativamente alto, de modo que deve ser avaliada a relação custo/benefício da adoção de um sistema deste tipo.

Dependendo do porte da fábrica em questão, é interessante este tipo de operação, uma vez que uma grande quantidade de peças a serem movimentadas certamente justifica a paletização.

Uma outra possibilidade é a de se adotar os *pallets* somente em algumas etapas do processo. Assim, por exemplo, tem-se condições de otimizar a ocupação de espaços tais como o dos tanques de cura, da área necessária ao estoque das peças, ou ainda do caminhão de transporte. Esta atitude resulta em uma melhora das condições de manuseio, posicionando-se como uma solução intermediária entre as duas situações e servindo, inclusive, como primeira etapa de implantação da paletização total.

#### **4.6.3 - Encaminhamento para reparos**

Quando não existe a paletização, após o período de segunda cura, as peças são inspecionadas uma a uma e encaminhadas ao setor de estoque ou à área de reparos e acabamento.

Se as mesmas já tiverem sido paletizadas por ocasião da desmoldagem, de acordo com o procedimento adotado naquela situação, separa-se os *pallets* que contém as peças boas para encaminhamento ao estoque e os com peças defeituosas para o setor de reparos. Lá, as peças são retiradas e, então, corrigidos os seus defeitos.

#### **4.6.4 - Armazenamento e Transporte**

Todas as peças que chegam neste setor já estão em condições de serem encaminhadas às obras, de maneira que as mesmas devem, mais do que nunca, ser manuseadas com todo o cuidado.

É importante garantir que as peças sejam sempre manuseadas de modo a solicitá-las mecanicamente como recomendado no projeto estrutural ou em algum Manual de Procedimentos.

O terreno a ser utilizado como estoque deve ser plano e as peças não devem ficar em contato direto com o solo, mas sempre sobre pontaletes ou sarrafos de madeira, e, pelo menos, a 10 cm do solo natural. Esse cuidado ajuda a evitar o acúmulo de resíduos decorrentes dos respingos de chuva.

Uma das etapas que provoca elevado número de avarias é o carregamento de peças de pequeno e médio porte não paletizadas. Estas peças apresentam pequena massa e, conseqüentemente, são carregadas manualmente para a carroceria do caminhão. Por ser este processo totalmente desprovido de mecanização, as peças são, quase sempre, apoiadas na borda da carroceria para aliviar o peso suportado pelos operários. Este apoio se dá, geralmente, em uma aresta da peça, resultando em uma "lasca" ou ainda, dependendo do tipo de componente manuseado, em fissuras, o que pode comprometer a utilização do mesmo.

Para o carregamento de componentes de maiores dimensões, utiliza-se, até por questões de segurança, dispositivos de içamento específicos para cada tipo de peça, de modo a se ter a garantia de que a mesma sempre será içada de maneira correta.

Ainda no que se refere ao posicionamento das peças pré-moldadas no veículo de transporte, é importante salientar algumas precauções que merecem ser tomadas, tais como:

a) no posicionamento das peças na carroceria do caminhão, também deve-se optar pela garantia da integridade das peças em detrimento a um maior volume de carga, principalmente em função do elevado custo de reparos das peças.

b) é importante ter em mente o fato de que a carroceria de caminhão apresenta deformação praticamente desprezível na direção longitudinal (oriunda de esforços de flexão), mas apresenta significativa distorção por torção ao longo do seu eixo, provocando deformações igualmente importantes nas peças que estão na sua plataforma.

c) a distância entre os apoios das peças na carroceria deve ser definida de modo a não permitir que a vibração decorrente do transporte provoque a formação de fissuras nas mesmas.

d) ao colocar as peças no caminhão, não se deve permitir que duas ou mais delas mantenham contato entre si, o que, muito provavelmente, resultaria em avarias nas mesmas.

e) ao apoiar as peças sobre pontaletes de madeira, as superfícies apoiadas - no caso da argamassa armada, geralmente, de pequenas dimensões - podem ser "machucadas" pela madeira, deformando ou avariando trechos das arestas da peça.

Já no tocante à estratégia de montagem da obra, torna-se interessante posicionar as peças pré-moldadas no caminhão com uma sequência ou ordem lógica. Isso facilita a operação de descarga e permite que as mesmas sejam tiradas do veículo e já montadas nos seus locais definitivos.

## **4.7 - REPAROS NAS PEÇAS**

Mesmo com os cuidados tomados no manuseio das peças pré-moldadas, não se consegue eliminar a ocorrência de quebras. Assim, um setor da fábrica deve estar preparada para lidar, exclusivamente, com reparos e acabamento dos componentes produzidos.

Este setor de reparos, como já foi adiantado, é responsável pela mão-de-obra mais cara de toda a fábrica, haja vista que se necessita maior quantidade de operários qualificados (pedreiros) e o tempo de serviço dispendido para a recuperação de cada peça é grande, principalmente por se tratar de uma operação absolutamente artesanal e que exige competência do operário.

As avarias mais comuns sofridas pelas peças pré-fabricadas são relativas à quebra de cantos ou arestas. Estas ocorrem, principalmente, pela necessidade de se proceder a desmoldagem no menor tempo possível, quando a peça tem uma resistência apenas suficiente para esse procedimento, mas não o bastante para evitar "lascas" da argamassa por pequenos choques.

Neste ponto pode-se lembrar que, uma das maiores vantagens da utilização da cura a vapor é justamente proporcionar elevados valores de resistência às primeiras idades, permitindo que além de se dispensar o procedimento de segunda cura, diminua a possibilidade de avarias na mesma.

O procedimento de reparo a ser adotado depende do tipo de problema observado.

### **4.7.1 - Reconstituição de locais avariados**

Quando há uma quebra propriamente dita, a reconstituição da região desintegrada deve ser feita com a utilização de argamassa com o mesmo traço da utilizada na confecção da peça em questão. A areia utilizada nesta argamassa de reparos deve ser fina, para conseguir-se um melhor acabamento de superfície.

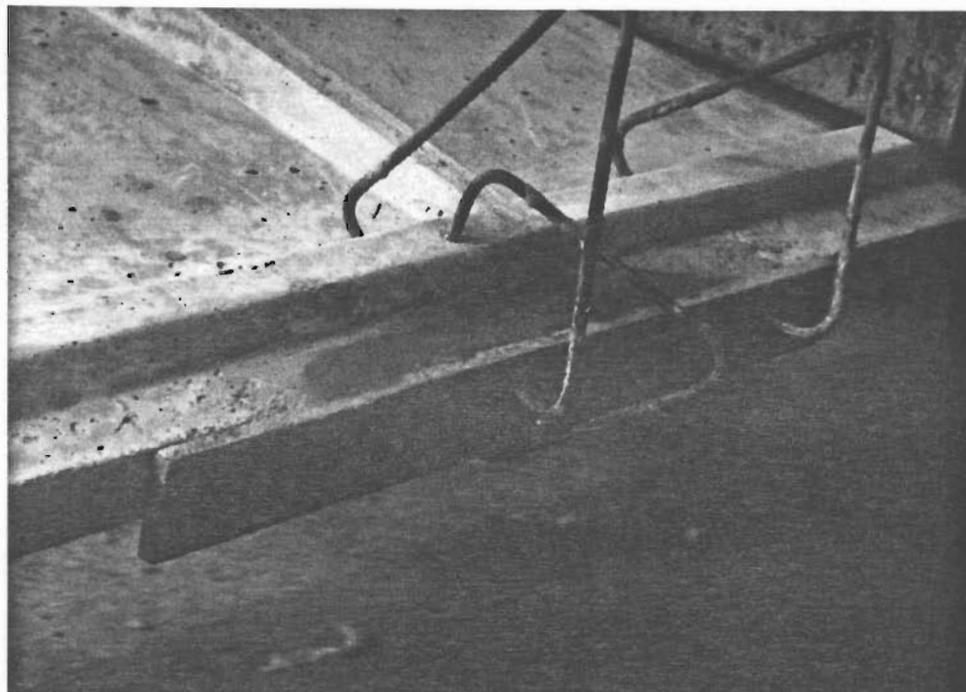


Foto 4.15 – Detalhe da região de uma peça reconstituída com argamassa.

Esta reconstituição só deve ser realizada em pequenas regiões, de um modo geral, em cantos, arestas, etc.

Geralmente, é aconselhável a utilização de adesivo para garantir uma boa aderência da argamassa fresca com o concreto ou argamassa já endurecida. Esse adesivo costuma ser à base de acrílico ou acetato de polivinila (PVA) para os reparos em locais sem importância estrutural.

Os adesivos à base de acrílico apresentam, em relação aos de PVA, a vantagem de não sofrerem os efeitos da hidrólise, processo químico que resulta na perda de aderência da argamassa que contém tais aditivos. Além disso existe a possibilidade das emulsões à base de PVA reemulsionarem ao longo do tempo prejudicando, sobremaneira, a sua eficiência e durabilidade.

Também é comum a adição do adesivo na própria argamassa utilizada na recuperação, com função de aproveitar a característica ligante daquele produto.

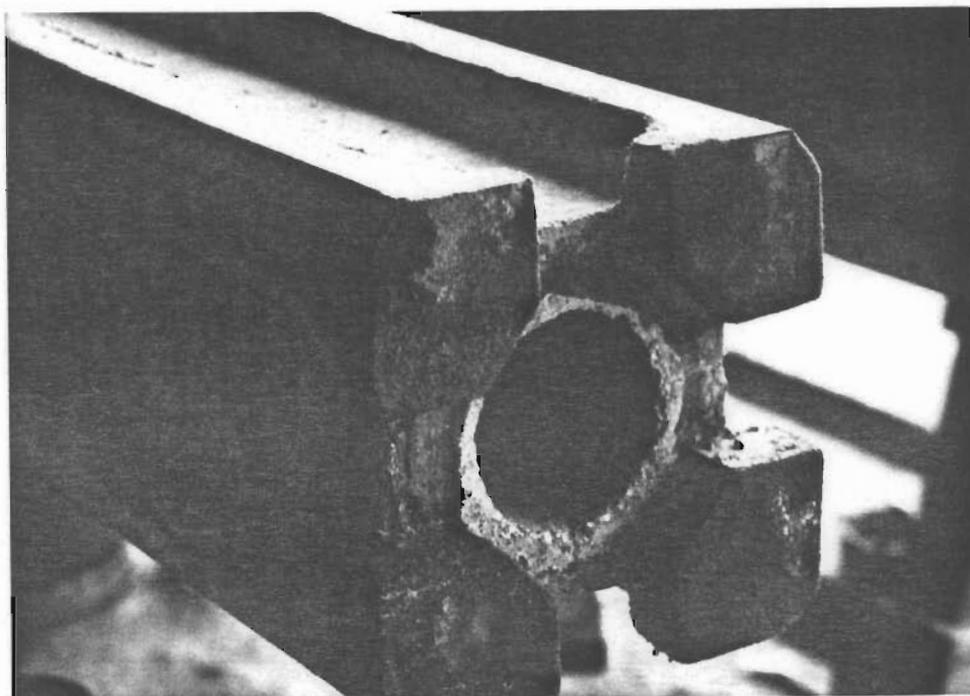


Foto 4.16 – Detalhe de uma reconstituição em local de importância estrutural, com argamassa à base de epóxi.

Já nas regiões de importância estrutural, utiliza-se, como adesivo, substâncias à base de epóxi, pois fica garantida à ligação uma resistência mecânica superior à da própria argamassa ou concreto. Pela mesma razão, a argamassa de reparo pode ser substituída por resina epóxi, sendo este material encontrado no mercado na forma de dois componentes para serem misturados com areia, formando uma argamassa de alta resistência.

#### **4.7.2 - Proteção de armadura exposta**

A exposição de armadura é uma das ocorrências a serem evitadas, a qualquer custo, nas peças pré-moldadas de uma maneira geral. Especificamente no caso da argamassa armada, onde os cobrimentos são da ordem de 5 mm, os cuidados devem ser mais rigorosos ainda. Este é um dos pontos fundamentais quando se discute a questão da durabilidade do produto, pois essa inexistência de cobrimentos da armadura implica na certeza de problemas patológicos em curto prazo de utilização.



Foto 4.17 – Tratamento de ponto de exposição de armadura.

Entretanto, nas extremidades dos painéis de tela, pode ocorrer a exposição de um ou outro fio da armadura. Neste caso, utiliza-se uma lixadeira ou similar escarificando a região em volta do aço exposto para permitir que o mesmo seja corretamente posicionado ou simplesmente cortado. A seguir, aplica-se um produto químico inibidor de corrosão e estuca-se a superfície da peça.

#### **4.7.3 - Estucamento**

Não é incomum o aparecimento de bolhas nas superfícies das peças pré-fabricadas de argamassa armada. A sua ocorrência depende, entre outros fatores, da vibração e do desmoldante utilizados.

Como já foi comentado em 4.4, a vibração é um assunto bastante complexo. Ou seja, qualquer variação no que diz respeito à amplitude, frequência ou mesmo tempo de vibração, pode resultar em bolhas na peça produzida.

A princípio, pode-se afirmar que as bolhas prejudicam a peça no aspecto estético, embora dependendo da quantidade e dimensões das mesmas, possam ser

de grande influência em processos patológicos, pois além de servirem como "abrigo" ou "ninho" para o acúmulo de substâncias agressivas aos materiais constituintes da argamassa armada, diminuem o cobrimento a armadura.

O procedimento usual de correção é simplesmente o estucamento com nata de cimento aditivada com um adesivo impermeabilizante à base de acrílico ou PVA de maneira a preencher os vazios ao mesmo tempo em que proporciona maior resistência às intempéries. Pode-se adicionar cimento branco a esta mistura, com o intuito de manter a coloração final da argamassa estucada semelhante à de uma peça que não necessitou desse acabamento.



Foto 4.18 – Peça pré-fabricada sendo estucada.

#### 4.8 - GARANTIA DA QUALIDADE NA PRODUÇÃO

Primeiramente, é importante salientar que a abordagem deste tema foi feita com pouco embasamento teórico, não se pretendendo estudos aprofundados sobre o extenso assunto garantia da qualidade. O que se descreve tem origem na experiência de implantação de um Programa de Qualidade na usina de pré-fabricados do Cedec/Emurb.

Quando da descrição do processo produtivo adotado em usinas de pré-fabricados, citou-se alguns cuidados a serem tomados no sentido de proporcionar uma qualidade satisfatória às peças produzidas. Entretanto, e como usualmente acontece na vida prática, a preocupação com o controle e garantia da qualidade só se faz sentir no momento em que, com um ritmo normal de produção, percebe-se que o produto final, ou seja, os componentes e as edificações, não apresentam a qualidade desejada.

Serão analisados, então, alguns aspectos diretamente envolvidos com essa questão, ou seja, fases do processo ou atividades relacionadas ao mesmo que usualmente são geradoras de não-conformidades nos produtos. Esse tipo de situação talvez seja a menos favorável para a implantação de um sistema de qualidade, uma vez que, com a produção já iniciada, os operários já aprenderam as tarefas que lhe cabem. Quando esse aprendizado, ocorrido de forma natural, se dá erroneamente, passam a existir vícios que dificultam a absorção de novas orientações com vistas a uma correta operação. Em síntese, é mais fácil ensinar uma tarefa a alguém que a desconhece e sabe disso do que tentar fazê-lo a alguém que acha que sabe fazê-la - e a faz de modo incorreto.

No aspecto da qualidade global, e especificamente no caso da Emurb, o que se verificou foi a falta de integração entre os diversos momentos do processo produtivo, desde o preparo da armação para a peça pré-fabricada até a montagem da mesma em seu local definitivo na construção e o seu comportamento com o passar do tempo. Isso resultava em uma situação onde a preocupação das pessoas envolvidas no processo era pontual, ou seja, era específica da operação por si realizada.

É oportuno, aqui, tecer alguns comentários relacionados à garantia da qualidade em usinas de pré-fabricados de argamassa armada, principalmente se levarmos em conta o grande número de críticas relacionadas ao assunto.

Em primeiro lugar, é importante desprezar a comparação, quase que imediata, com as usinas de pré-fabricados de concreto armado. Isto porque estas últimas produzem peças com volumes que variam, usualmente, entre 0,5 e 2 m<sup>3</sup>, com dimensões normais para peças de concreto armado enquanto que as peças de argamassa armada têm dimensões e volumes bastante reduzidos. Neste caso, verifica-se algumas situações interessantes, quais sejam:

a) a visualização do interior de uma fôrma é bastante facilitada quando se trata de peça com dimensões usuais de concreto armado, possibilitando a detecção de regiões com cobrimento abaixo do especificado ou mesmo com densidade de armação superior à esperada;

b) devido à armadura de uma peça de concreto armado ser constituída por fios, barras ou telas de aço soldada com fios de diâmetro acima de 3,4 mm, esta apresenta significativa rigidez, não apresentando as constantes e intensas deformações que se verifica nas armaduras de peças de argamassa armada - normalmente constituídas de telas com fios de diâmetro entre 2 e 2,5 mm. Esta falta de rigidez, dependendo da forma, espessura e densidade de armação verificadas, resulta em situações nas quais os espaçadores não são suficientes para garantir o cobrimento mínimo desejado.

c) considerando empresas de porte médio usual, a quantidade de peças produzidas diariamente em uma usina de pré-fabricados de argamassa armada é bastante superior àquela de uma sua similar de concreto armado. Assim, torna-se muito mais simples a tarefa de realizar inspeções de conformidade das armações antes do preenchimento das fôrmas, uma vez que o número destas é menor e, como já foi comentado, a visualização do interior da mesma é facilitada.

#### **4.8.1 - Estudo do programa de qualidade**

A elaboração e o desenvolvimento de um plano de qualidade para uma indústria de pré-fabricados é algo não muito complexo, embora, necessariamente, deva ser realizada por pessoal técnico com conhecimento abrangente do projeto das peças, da tecnologia do material e das várias etapas de produção.

Em um primeiro momento, a preocupação é a de se inteirar a respeito da situação atual da empresa, analisando-se, principalmente, a produtividade, o desempenho e as realizações das equipes de projeto, produção e montagem.

Essa etapa de conhecimento e análise do problema envolve, entre outros aspectos:

- o detalhamento das deficiências de qualidade em cada um dos departamentos a serem estudados;

- a definição, por parte da empresa, dos itens prioritários a serem atacados pela equipe coordenadora do programa de garantia de qualidade;

- estipulação, também por parte da empresa, do que se entende por Qualidade, ou seja, até onde se tentará alcançá-la e em que nível hierárquico no organograma da empresa se situará a equipe coordenadora.

No que diz respeito à aceitação definitiva da busca da qualidade, essa primeira etapa do trabalho é de grande importância, uma vez que, nesse momento, a diretoria da empresa ainda não está totalmente convencida da importância e/ou necessidade da incorporação dessa preocupação nas prioridades da empresa. O trabalho de convencimento é feito paulatinamente e só chega a termo com a efetivação do programa e, conseqüentemente, com o aparecimento de resultados.

No plano de qualidade apresentado devem constar todos os procedimentos a se adotar, tais como a realização de reuniões orientadas - círculos de qualidade - , manuais de procedimentos direcionados aos vários departamentos envolvidos e reuniões de acompanhamento e avaliação do programa.

Os chamados círculos de qualidade são reuniões onde se busca expor, discutir e orientar as operações ou procedimentos a serem realizados pelas

peças diretamente ligadas a um setor da empresa, desde o projeto até a montagem da obra.

Da mesma maneira, a elaboração de manuais de qualidade proporciona o registro das orientações dadas nos círculos de qualidade, servindo os mesmos, por um lado, como material de consulta permanente, e por outro, como instrumento de controle e cobrança. As pessoas de maior responsabilidade (chefes, coordenadores, supervisores, etc.) ao receberem os manuais, assumem o compromisso de respeitar e seguir as orientações neles contidas, reduzindo-se a possibilidade de falhas de comunicação que resultam em problemas de qualidade.

Segundo a American Society of Civil Engineers<sup>23</sup> uma parcela significativa dos problemas de qualidade está relacionada à ineficiência ou ausência de comunicação entre departamentos, equipes ou membros da mesma equipe.

A estratégia a ser adotada para a implantação do programa proposto deve ser pensada de modo a permitir a solução dos problemas fase a fase, e de acordo com a respectiva prioridade.

#### **4.8.2 - Implantação do plano de qualidade**

Por ocasião da implantação do programa de qualidade em uma indústria de pré-fabricados, enfrenta-se, por parte de outros departamentos diretamente envolvidos, uma resistência que, acredita-se, é baseada na pouca importância dada à qualidade das edificações na construção civil de um modo geral.

Essa resistência, entretanto, vai se diluindo com o passar do tempo - em função do aparecimento dos resultados do programa - chegando mesmo a se transformar em apoio, uma vez que todos têm a ganhar com a boa qualidade das peças produzidas. E, embora nem sempre se perceba isso em um primeiro momento, produzir com qualidade não significa prejuízo financeiro.

O controle da produção atuante em todas as fases do processo é entendido como a maneira de se garantir a qualidade do produto.

Primeiramente, pode-se afirmar que a única tarefa desse controle é garantir que seja feito o óbvio, o certo, em cada uma das etapas de produção de

uma peça pré-moldada. Talvez, exatamente por se tratar de um trabalho que poderia e deveria ser desnecessário, é importante a confiança nos integrantes da equipe responsável por esse acompanhamento, no sentido de não relaxar nas verificações e inspeções levadas a efeito.

A implantação do plano de qualidade normalmente ocorre em etapas bem definidas como mostra-se a seguir:

**a) Atuação emergencial:**

Primeiramente, e considerando que os problemas são conhecidos, todas as atenções voltam-se para as situações que se apresentam como críticas no momento. No caso específico do setor produtivo propriamente dito, onde podem ocorrer problemas desde o recebimento dos insumos até a expedição das peças, o ideal é interromper, por um curto período de tempo, o envio de peças às obras. Nesse meio tempo, é feita uma avaliação dos pré-moldados em estoque a fim de aferir a sua conformidade com as diversas especificações e normas que orientam a produção.

A seguir, e após liberar as peças estocadas para a expedição, faz-se outra avaliação com as peças situadas nas áreas de cura até, finalmente, controlando a moldagem das mesmas, ter-se condições de garantir a conformidade do processo produtivo com os critérios vigentes.

Esses critérios até podem ser provisórios para essa fase inicial do programa. Posteriormente, então, de acordo com a efetivação da melhoria da qualidade, passa-se a adotar padrões mais exigentes para a produção das peças.

Neste primeiro momento há uma queda da produtividade nos diversos setores da usina, mas principalmente, no setor de reparos e acabamento, uma vez que os critérios adotados muito provavelmente são mais rigorosos que os anteriormente em vigor.

**b) Ataque aos principais problemas:**

A segunda etapa de atuação do plano de qualidade pode até começar simultaneamente à primeira, e visará à solução de problemas importantes mas de modo menos urgente, sem o fator de emergência que predominava naquela fase.

Esse momento se caracteriza por tentar eliminar desconformidades existentes, ao longo de um espaço maior de tempo, mas de maneira absolutamente eficaz e definitiva.

Aqui terão início as reuniões sobre o tema Qualidade, aplicado, desde o projeto até a conclusão da obra. É importante a existência de treinamento bem orientado e acompanhamento das medidas implementadas.

Da mesma maneira, começam a aparecer os resultados como o aumento da produtividade, pois o "choque" inicial causado pela implantação do sistema de qualidade desaparece, e a eficiência resultante do melhor nível de trabalho se faz nítida.

#### **c) Estabilização:**

Nessa fase, tem-se todos os principais problemas já solucionados e parte-se para a melhoria de alguns procedimentos que não estão sendo realizados da melhor maneira possível, mas que também não têm consequências de grande importância.

Busca-se otimizar o processo produtivo de uma maneira geral, eliminando todos os pontos que não possam ser considerados absolutamente em conformidade com uma situação ideal de trabalho.

#### **d) Manutenção e controle:**

Aqui, finalmente, pode-se considerar que a produção se encontra em um patamar de plena adequação aos critérios de qualidade da usina. Entretanto, continua sendo necessária a existência de uma política de garantia da qualidade alcançada, uma vez que ainda se fazem necessários treinamentos tais como cursos de reciclagem, atualização e mesmo o treinamento de novas turmas de pessoal.

Nesse momento, as discrepâncias de índices de produtividade, aceitação de peças e satisfação dos clientes, se comparados aos existentes antes da efetivação do sistema de garantia de qualidade atingem os níveis mais elevados.

### **4.8.3 - Problemas mais usuais**

Nas indústrias de pré-fabricados de concreto e argamassa armada, as preocupações relativas ao controle e garantia da qualidade das peças são aproximadamente as mesmas. Basicamente, as ocorrências que se busca evitar são:

- falhas de adensamento;
- bolhas nas superfícies em contato com as fôrmas;
- cobrimentos fora de especificação; e,
- quebras, fissuras e lascas nas peças.

Certamente é importante, em cada caso, o levantamento detalhado dos problemas com que se convive (ou que não se deseja conviver) na produção das peças pré-moldadas.

As principais e já tradicionais causas de não conformidades são conhecidas, quais sejam:

- Forma ou geometria da peça: diretamente ligada ao desenvolvimento do produto, a forma da peça é de grande importância, dela dependendo a eficácia do processo de fabricação.

- Tipo de fôrma utilizada: tanto os detalhes da fôrma quanto o modo de preenchimento previsto estão relacionados com a possibilidade de ocorrência de falhas no adensamento da mistura, tais como ninhos de concretagem, defeitos superficiais ou mesmo porosidade da argamassa em níveis acima dos níveis permitidos.

- Alta densidade (localizada) de armadura: originada por uma falha de projeto ou por vícios na montagem da armadura, o excesso de armação em algumas regiões da peça se constitui motivo para a formação de ninhos de concretagem ou de exposição de armadura.

- Traço utilizado na mistura: a determinação do mesmo pelos tecnólogos deve contemplar uma consistência e tempo de manutenção de trabalhabilidade condizentes com as condições existentes na fábrica.

- **Desmoldante:** o tipo de desmoldante aplicado nas fôrmas poderá ter influência na qualidade das peças de duas maneiras: com o aparecimento de bolhas na superfície da peça, resultantes da incorporação superficial de ar típica dos óleos em geral; e dificultando a retirada da peça, pela sua ineficiência como agente desmoldante, causando avarias em regiões de contato com a fôrma.

Uma vez determinados os alvos de atenção da garantia de qualidade, elabora-se um plano de atuação junto a cada setor da produção.

É importante a conscientização do pessoal envolvido, uma vez que sem o seu apoio, esse trabalho se torna bastante árduo. Normalmente, os operários trabalham corretamente a partir do momento que sabem o porque de cada ordem ou orientação e a consequência no que diz respeito à durabilidade e segurança da edificação onde serão utilizadas as peças por eles produzidas.

#### **a) Armação**

A maior parte dos problemas ocorridos com peças de argamassa armada tem origem em irregularidades na armação. Tal afirmação baseia-se em verificações feitas em usinas existentes e esses problemas são, entre outros, os apresentados no Quadro 4.5:

<b>OCORRÊNCIAS</b>	<b>CAUSAS MAIS COMUNS</b>
ninhos de concretagem	excesso de armadura em algumas regiões pequena espessura para a armadura pequena espessura por defeito da fôrma
exposição de armadura	dimensões fora das recomendadas (falhas no corte, dobra e montagem)
quebras em cantos e arestas	falta de armadura cobrimento excessivo

Quadro 4.5 – Ocorrências de problemas em peças pré-moldadas de argamassa armada e suas causas.

Qualquer das situações acima descritas deveriam, necessariamente, ser evitadas pela inspeção e acompanhamento do ajuste da armadura na fôrma e o seu respectivo fechamento.

A experiência mostra que, resolvendo os problemas de armadura, tanto no nível de projeto quanto no de produção, elimina-se a maioria dos casos de não aprovação das peças pré-fabricadas. Os poucos casos restantes de condenação das peças ocorrem devido a problemas com fôrmas, citados mais adiante.

Ainda aproveitando essa experiência, pode-se citar dois claros exemplos de aumento da produtividade decorrente da solução de problemas de armadura.

Os números que se apresentam foram registrados uma semana após o início de um acompanhamento junto à produção de vigas de cobertura e sheds, ambas do elenco de peças que compõem o sistema de equipamentos sociais. Esse acompanhamento foi um dos primeiros passos dados por ocasião da implantação do sistema de garantia de qualidade na fábrica da Emurb em São Paulo.

PEÇA	PRODUTIVIDADE ANTES (1)	PRODUTIVIDADE DEPOIS (2)
Sheds	3 horas pedreiro +6 horas ajudante	4 horas ajudante
Vigas	8 horas.homem/viga	3.5 horas.homem/viga

(1) - Produtividade verificada no acabamento de 4 peças sheds e 8 vigas de cobertura antes da implantação do plano de garantia da qualidade.

(2) - Produtividade verificada uma semana após a implantação do referido plano, para a mesma quantidade de peças produzidas.

Quadro 4.6 - Evolução na produtividade do setor de acabamento do Cedec/Emurb em função da implantação do plano de garantia da qualidade

Nos exemplos aqui comentados, as melhorias se deveram, basicamente, à eliminação de quebras, ocasionadas pelo cobrimento excessivo da armadura e à redução significativa na quantidade de peças com cobrimento de armadura abaixo do especificado. Tudo, é certo, devido a correções no arranjo e na confecção das armações.

Usualmente, os pedreiros se encarregam das reconstituições de regiões avariadas enquanto os seus ajudantes fazem o estucamento e o lixamento da peça. Quando é o caso, estes últimos também aplicam o impermeabilizante.

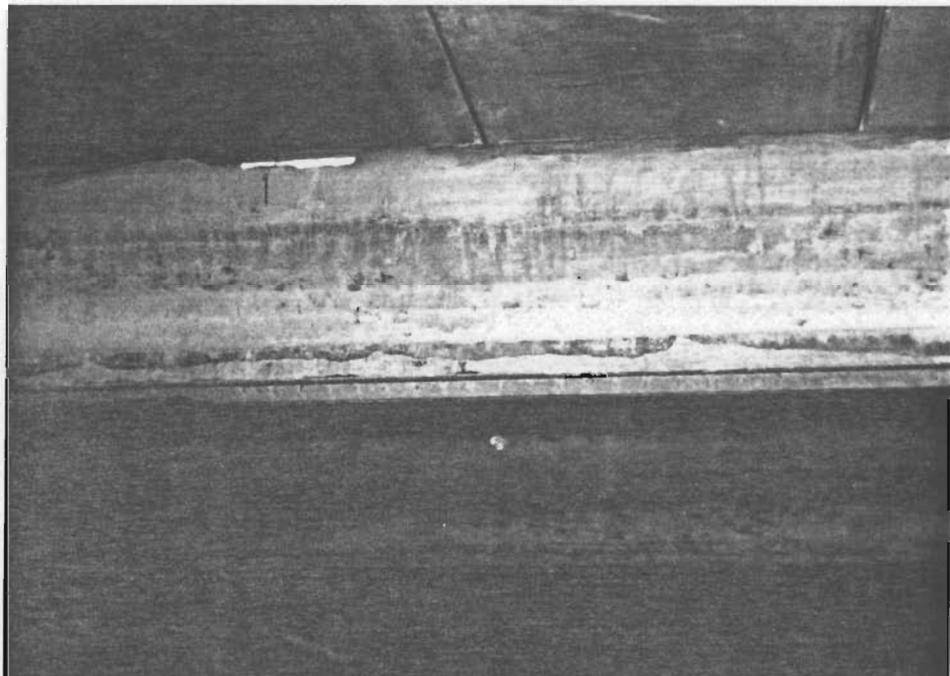


Foto 4.19 – Vigas de cobertura com a borda superior apresentando quebras: problema solucionado com acompanhamento do processo (peça montada em edificação piloto na fábrica).

#### **b) Lançamento da argamassa**

Outro importante causador de problemas qualitativos é o adensamento da argamassa ou concreto. Lembrando que a irregularidade de armação é a grande responsável por falhas na moldagem da peça, pode-se considerar que, em se eliminando falhas de projeto na armadura e preparando-a de modo correto, e ainda contando com uma vibração apenas regular, dificilmente ocorrerão falhas de adensamento (ninhos de argamassagem).

Podem ocorrer, entretanto, bolhas na superfície da peça ou ainda que a porosidade da argamassa se situe em um índice acima do aceitável. Esta última possibilidade seria causada por uma vibração deficiente.

Já as bolhas costumam ocorrer pelos seguintes motivos:

- vibração aplicada por tempo excessivo<sup>17</sup>;
- intervalo de tempo demasiado longo entre a aplicação do óleo desmoldante e o preenchimento da fôrma; e
- agente desmoldante aplicado em quantidade excessiva.

O tempo de vibração pode ser facilmente controlado, principalmente se adotados alguns procedimentos que diminuam o tempo mínimo necessário.

Um desses procedimentos está relacionado com o modo de colocar a argamassa sobre a fôrma. A descrição de duas situações distintas talvez facilite o perfeito entendimento da questão:

- a) com a fôrma ainda vazia, aciona-se o vibrador (ou mesa vibratória) e inicia-se a colocação da argamassa sobre a fôrma. Como há um intervalo de tempo entre cada pá ou colher de massa, o tempo de enchimento da fôrma será majorado, além do que, o volume de argamassa situado na parte inferior da fôrma estará sujeito a uma vibração excessiva, causando bolhas de superfície.
- b) coloca-se a maior quantidade de argamassa sobre a fôrma para, só então, acionar a vibração. Deste modo, a argamassa poderá se adensar mais rapidamente, mesmo porque haverá um peso maior, devido à quantidade de argamassa colocada, que ajudará no escoamento da mesma.

O intervalo de tempo entre a aplicação do desmoldante e a concretagem da fôrma é bastante simples de ser controlado. Já a quantidade do mesmo, dependerá do operário encarregado da operação e do modo de aplicação adotado.

### **c) Argamassa ou concreto**

A produção da matriz em conformidade com as especificações de projeto é facilitada pelas condições inerentes ao processo produtivo, uma vez que a sua produção ocorrendo em central, permite um acompanhamento permanente dos misturadores e dos traços neles produzidos.

Como preocupações relativas ao concreto ou argamassa utilizados, pode-se citar o diâmetro máximo dos agregados e a consistência alcançada.

No caso da utilização de aditivo plastificante, o tempo de trabalhabilidade da mistura também deve ser observado.

### **d) Posicionamento das pastilhas e espaçadores**

Mesmo podendo estar incluída no tópico referente à armação, preferiu-se dar um tratamento à parte a essa questão, uma vez que se trata de atividade aparentemente simples, mas que pode tornar inútil um eficiente preparo da armadura.

Talvez justamente por essa aparente simplicidade, é comum dar-se pouca importância à colocação de espaçadores, sendo usual encontrar operários não qualificados e sem qualquer treinamento ou orientação incubidos dessa operação. A uniformidade e o acerto na colocação das pastilhas e espaçadores é mais importante quanto maior for a bitola dos fios da tela.

### **e) Fôrmas**

No caso das fôrmas, o acompanhamento das suas dimensões e outras características fica facilitado pela vistoria das peças recém desformadas, uma vez que qualquer irregularidade do molde se fará notar nelas, fácil e imediatamente.

Assim, basta haver uma marcação em cada peça onde conste a fôrma que foi utilizada na sua confecção. Essa marca pode ser feita na ocasião da desmoldagem (com lápis, giz, etc.) ou ainda por uma inscrição em relevo na superfície da fôrma.

## **f) Outros fatores**

As principais precauções para se garantir a qualidade ao longo do processo produtivo das peças pré-fabricadas, foram citadas nos itens anteriores. Entretanto, existem ainda algumas operações que merecem atenção no sentido de evitar que peças produzidas com todos os cuidados relativos à sua qualidade final, possam sofrer danos, prejudicando a sua durabilidade e/ou eficiência estrutural, ou ainda, simplesmente obrigando a mesma a ser recuperada - o que implica em custo de mão-de-obra e materiais de acabamento.

Em se considerando, num primeiro momento, que produzir uma peça dentro dos parâmetros de qualidade seja ter a armadura bem executada, a argamassa preparada com critério e adensada de modo eficiente e a primeira cura realizada corretamente, a primeira oportunidade onde é possível danificar a peça já é na operação de desforma.

O resultado da desmoldagem depende, sobremaneira, do cuidado dispensado pelo pessoal envolvido diretamente na operação.

Após a desforma e antes das peças serem colocadas nas áreas de segunda cura, é interessante, do ponto de vista da garantia da qualidade, a paletização das mesmas. Isso visa a diminuir o manuseio de cada um dos pré-moldados isoladamente, o que aumenta a chance de ocorrerem avarias.

Essa mesma preocupação deve existir até a chegada das peças na obra, passando pela estocagem e transporte das mesmas.

Pode-se considerar como final da implantação de um programa de garantia de qualidade, o momento em que se atinge uma estabilidade e regularidade no que se refere à qualidade do produto.

Recordando as quatro fases de um programa, já citadas anteriormente em 4.8.2, essa estabilidade estaria situada praticamente ao final da segunda etapa (Ataque aos principais problemas), e aparece como boa oportunidade para avaliar-se o trabalho já realizado. Essa avaliação, contemplando os índices de qualidade das peças produzidas - diretamente relacionados com a satisfação do cliente -, os índices de produtividade vigentes antes e depois do programa, e a sua influência no custo final de produção, trará uma posição bastante sólida sobre as vantagens de se produzir qualidade em uma indústria de pré-fabricados.

## **CAPÍTULO 5**

### **COMENTÁRIOS FINAIS**

Como primeira consideração, pode-se crer que o objetivo do presente trabalho tenha sido atingido, uma vez que praticamente todas as atividades presentes em uma usina de pré-fabricados de argamassa armada foram abordadas, embora algumas mais superficialmente que outras.

Foi possível verificar que muito pode ainda ser feito - pelo menos tentado - por parte de fabricantes de pré-moldados leves, no sentido de otimizar a sua tecnologia e processo produtivo.

Por exemplo, ainda não se enveredou pelo caminho da texturização superficial das peças de argamassa armada, sendo que pouco foi feito em relação ao concreto pré-moldado.

Ainda no âmbito do desenvolvimento do produto, existe a possibilidade, latente, de se mesclar soluções com argamassa, micro-concreto e concreto armado em sistemas construtivos de habitações, equipamentos sociais, etc.

A pesquisa do material continuará e, certamente, as fibras de polipropileno terão importante papel em um novo estágio da tecnologia da argamassa armada. A significativa redução nos custos de produção e as vantagens obtidas do ponto de vista técnico são os principais motivos para esse aproveitamento dessas fibras.

Simultaneamente, a otimização da composição granulométrica dos agregados - incluindo aí grãos com  $4,8 \text{ mm} < d < 9,5 \text{ mm}$  - parece ser inevitável para a redução da relação água/cimento utilizada. Essa redução é importante e entendida como fundamental por técnicos da área de tecnologia da argamassa armada.

Ainda em termos de qualidade e durabilidade, a utilização de pozolanas ou mesmo de micro-sílica já é viável economicamente, principalmente se o projetos dos componentes pré-moldados já contemplar tal tecnologia e tirar partido das vantagens proporcionadas.

A utilização de protensão em alguns tipos de componentes também surge como um polo de atenção e desenvolvimento. A possibilidade de se produzir peças em argamassa armada com fibras e protendida já vem sendo analisada por algumas empresas e técnicos e teria, como principal objetivo, reduzir a armadura transversal de certos tipos de componentes, com as fibras atuando na resistência a esforços de cisalhamento.

Enfim, são muitas as linhas de pesquisa que podem ser adotadas e, nesse sentido, estão sendo realizados estudos no Cedec/Emurb, com o objetivo de melhorar, cada vez mais, as características e o desempenho dos pré-fabricados de argamassa armada, nos aspectos de qualidade, durabilidade e custos.

Os valores nominais de cobrimento de armadura nas peças de argamassa armada também vem sendo objeto de alguns estudos no Cedec e - na opinião pessoal do autor - devem ser reconsiderados, até mesmo no âmbito da normalização.

Muitas são as pesquisas realizadas nos últimos anos abordando os problemas patológicos de estruturas de concreto armado e, certamente, a quase totalidade dessas conclusões e recomendações são aplicáveis à tecnologia da argamassa armada. Ignorar a situação e o conhecimento atual sobre os cuidados de projeto e execução de obras em concreto ou argamassa armada não seria uma atitude responsável. Assim, os projetos devem ser cada vez melhor pensados sob a ótica da qualidade e durabilidade da construção.

No que diz respeito ao cálculo estrutural dos elementos leves e laminares, a utilização de micro-computadores e programas adequados permite e permitirá, cada vez mais, refinamentos e otimizações nas seções e armaduras necessárias.

No aspecto da produção das peças de argamassa armada, tem-se percebido evoluções do processo, resultado, também, do elevado número de usinas instaladas em função do Programa Minha Gente, responsável pela construção dos CIAC's. Certamente que também existem involuções no processo produtivo verificadas em algumas das usinas, mas pode-se considerar que a tendência é positiva e no sentido de uma racionalização e otimização cada vez maior.

As diversas etapas da produção têm sido modificadas em função de maiores índices de mecanização nas operações.

Em termos de qualidade, já é nítida a conscientização dos fabricantes em relação à importância do assunto - até mesmo pela Lei dos Direitos do Consumidor. Infelizmente, tal conscientização não necessariamente implica em atitudes ou providências por parte de todas as empresas no sentido de melhorar a qualidade final dos produtos. Mas, já é um primeiro passo.

Talvez a etapa que tem merecido menos atenção das usinas de pré-fabricados leves é a montagem dos sistemas e edificações. Erroneamente, a montagem costuma aparecer como atividade secundária do processo global quando, na realidade, pode por a perder todo um trabalho bem feito na produção dos componentes pré-moldados e, até mesmo, comprometer a segurança estrutural da construção. Percebe-se que são poucos os Manuais de Montagem existentes e o cuidado na seleção de pessoal operacional não difere daquele utilizado na construção civil convencional.

Entretanto, e como síntese, pode-se esperar um bom desenvolvimento da tecnologia da argamassa armada como material e como processo construtivo.

Muito provavelmente isso ocorrerá assim que se fizer valer, acima de questões políticas, as questões de sobrevivência no mercado com que qualquer empresa capitalista se depara, onde custo e qualidade representam mais que quaisquer outros aspectos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 01- Hanai, João B. de. **Construções de argamassa armada: fundamentos tecnológicos para projeto e execução.** São Paulo, Pini, 1992.
- 02- Hanai, João B. de. **Construções de argamassa armada: situação, perspectivas e pesquisas.** São Carlos, EESC/USP, 1981. (tese de doutorado)
- 03- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas **Projeto e execução de estruturas pré-moldadas de concreto - NBR-9062** Rio de Janeiro, 1985.
- 04- Lima, João F. **Escola transitória: modelo rural.** Brasília, MEC-CEDATE, 1984.
- 05- Richardson, J. G. **Quality in precast concrete.** New York, Longman Technical and Scientific, 1991.
- 06- Richardson, J. G. **Precast concrete production.** London, Cement and Concrete Association, 1973.
- 07- Campos, P.E.F., Vasconcellos, L.A.E. & Laiza, C.T. **Design and development of ferrocement products.** In: IV Simposio Internacional de Ferrocemento, Cuba, 1991.
- 08- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas **Projeto e execução de argamassa armada - NBR-11173.** Rio de Janeiro, 1989.

- 09- Libório, Jefferson B.L. **Estudo patológico de construções de argamassa armada existentes no Brasil.** São Carlos, EESC/USP, 1989. (tese de doutorado)
- 10- MCP Engenharia e Projetos. **Relatório técnico sobre o funcionamento das fábricas de CIAC's.** São Paulo, 1991. (documento interno)
- 11- Campos, Paulo E. F. de **Industrialização da construção e argamassa armada: perspectivas e desenvolvimento.** São Paulo, EPUSP, 1989. (dissertação de mestrado)
- 12- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas **Projeto e execução de estruturas de concreto armado - NBR-6118.** Rio de Janeiro, 1980.
- 13- Rodrigues, Publio P.F. **Controle de qualidade na indústria de pré-fabricados.** São Paulo, EPUSP, 1989. (dissertação de mestrado)
- 14 - Lima, Flávio B.de **Estudo experimental de elementos de argamassa armada com tela de chapa de aço expandida.** São Carlos, EESC/USP, 1990. (dissertação de mestrado)
- 15- ACI - American Concrete Institute **Guide for design, construction, and repair of ferrocement.** ACI Structural Journal - May-June 1988.
- 16- Neville, A.M. **Propriedades do concreto.** Tradução de Salvador Giamusso, São Paulo, Pini, 1982
- 17- ACI - American Concrete Institute **Behavior of fresh concrete during vibration.** ACI Journal - Jan-Feb 1981.
- 18- Vilagut, F. **Prefabricados de hormigón.** Barcelona, Editorial Gustavo Gili, 1975

- 19- Levitt, M. **Precast concrete - materials, manufacture, properties and usage.** London, Applied Science Publishers, 1982.
- 20- ABESC - Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem. **Controle, execução e tecnologia do concreto no Brasil.** In: Seminário sobre produção do concreto. Reunião do Instituto Brasileiro do Concreto, São Paulo, 1983.
- 21- Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. **Curado del concreto.** México, 1983.
- 22- Marcellino, Narbal A. e Bentes, Ruy F. **Cura térmica.** São Carlos, EESC/USP, 1988. (Seminários sobre tecnologia da argamassa armada)
- 23- ASCE - American Society of Civil Engineers **Quality in the constructed project: a guideline for owners, designers and constructors.** New York, 1988. (Manual of Professional Practice, v. 1)