

PROJETO E PRODUÇÃO DE SISTEMAS E
COMPONENTES EM ARGAMASSA ARMADA
PARA EDIFICAÇÕES

ENGº NARBAL ATALIBA MARCELLINO

Orientador: Prof. Dr. João Bento de Hanai

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS

PROJETO E PRODUÇÃO DE SISTEMAS E
COMPONENTES EM ARGAMASSA ARMADA
PARA EDIFICAÇÕES

ENGº NARBAL ATALIBA MARCELLINO

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

COMISSÃO EXAMINADORA:

PROF. DR. JOÃO BENTO DE HANAI (ORIENTADOR)
PROF. DR. JOSÉ SAMUEL GIONGO
PROF. DR. LAÉRCIO FERREIRA E SILVA
PROF. DR. LIBÂNIO MIRANDA PINHEIRO (SUPLENTE)
PROF. DR. MARCOS V. COSTA AGNESINI (SUPLENTE)

SÃO CARLOS, SETEMBRO DE 1991

*Dedicado à minha família
Em especial à Iza e filhos*

AGRADECIMENTOS

Registra-se aqui os agradecimentos do autor às pessoas e instituições que colaboraram para a concretização deste trabalho e a sua iniciação na pesquisa tecnológica.

Norton Walter Marcellino e Céllo M. Kikuti, engenheiros.

Fernando Oscar Ruttkay Pereira, Anderson Claro, Nelson de Campos Teixeira Netto, Marília R. Teixeira Netto, Sergio Castello Branco Nappi, Fernando Barth, João E. Di Pietro, Wilson J. da Cunha Silveira, Alcimir José de Paris, Carolina Palermo Szucs, José Carlos de Savas Bastos Silva e os demais colegas professores e funcionários do Depto. de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina.

João Kalafatás, amigo, professor e engenheiro exemplar, Daniel Lorigio, Ivo Padaratz, Tuing Ching Chang, Helena Amélia Stemmer, Fábio A. Botelho Cordovil, Ivo C. Martorano e Carlos Alberto Szucs professores do Depto. de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

João Bento de Hanai, orientador paciente e incentivador

José Samuel Glongo, Mounir Khalil El Debs, Libânio Miranda Pinheiro, Norberto Costardi, Helena do Carmo Antunes e demais professores do Departamento de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos - USP.

Flávio Barbosa Lima, Ruy Franco Bentes, Sydney Furlan Junior, Benigno Marcelo Rios, Patricia Rios, Ana Paula Costa Batista, Adriana Francelin Magalini, Arquimedes D. Giloni, João Amilton Mendes e demais colegas de pós-graduação.

Oswaldo José Montanari, Sônia Costardi e José Mario Nogueira de Carvalho, arquitetos.

A CAPES - Coordenação do Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Departamento de Arquitetura e Urbanismo, ao Centro Tecnológico e Pró-Reitoria de Pós-Graduação da Universidade Federal de Santa Catarina por conceder o afastamento.

RESUMO

Apresenta-se neste trabalho uma pesquisa sobre a argamassa armada como material de construção para as edificações e sua aplicação como componente em sistemas construtivos.

As propriedades dos materiais constituintes são abordadas, tanto para a caracterização do próprio material como para as devidas comparações com seus similares.

São definidas as terminologias para os sistemas construtivos e seus componentes, para melhor identificar possibilidades da racionalização da construção e a adoção da industrialização na produção de componentes.

Na questão do projeto enfatiza-se os procedimentos necessários à adequação tecnológica abordando os detalhes da produção e execução e sua interação com a concepção de sistemas e componentes construtivos.

Aborda-se a contribuição do conhecimento estrutural para a sistematização de sugestões na composição e análise da estrutura, e a consideração dos aspectos construtivos para a avaliação do desempenho estrutural.

Finalmente, apresenta-se um projeto estrutural de uma escola, onde são ilustrados os fundamentos descritos e os procedimentos sugeridos.

ABSTRACT

This work presents a research about ferrocement technology for its application in precast lightweight elements in the modern civil construction.

In the precast element design, both material properties and production techniques must be analyzed, in order to obtain the best quality, productivity and low cost.

As in this case the design is more complex, some guidelines must be established just attain good technological adequacy conditions.

Some methodological indications and other design procedures, taking into account the material & technique peculiarities, are explained.

Finally all these aspects are illustrated by means an example of construction system for school building analysis, mainly looking for the structural behavior and construction techniques.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO

1.1	HISTÓRICO	1
1.2	PESQUISAS	9
1.3	APLICAÇÕES	13
1.4	OBJETIVOS	21

2. O MATERIAL: ARGAMASSA ARMADA

2.1	COMPORTAMENTO DA ARGAMASSA ARMADA	25
2.2	A MATRIZ DE ARGAMASSA	28
2.2.1	Resistência Mecânica	30
2.2.2	Módulo de deformação longit. à compressão	32
2.2.3	Retração	34
2.2.4	Fluência	36
2.2.5	Permeabilidade	37
2.2.6	Aditivos	38
2.2.7	Dosagem para a matriz de argamassa	39
2.2.8	Dosagem para a argamassa com pedrisco	42
2.3	ARMADURAS	43
2.3.1	Armadura Difusa: Tela soldada	43
2.3.2	Armadura Discreta: Fios ou barras	48
2.4	CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DO MATERIAL	49

3. SISTEMAS E COMPONENTES CONSTRUTIVOS

3.1	A INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO	52
3.1.1	Industrialização aberta ou fechada	56
3.1.2	Diagnósticos da situação atual no Brasil	56
3.2	DEFINIÇÕES GERAIS	58
3.3	SISTEMAS CONSTRUTIVOS	59
3.3.1	Definição	59
3.3.2	Implicações	60
3.4	COMPONENTES CONSTRUTIVOS	63
3.5	PESQUISA E DESENVOLVIMENTO	65

4. PRODUÇÃO DE COMPONENTES EM ARGAMASSA ARMADA	
4.1 A INDUSTRIALIZAÇÃO DE COMPONENTES	69
4.1.1 Requisitos para a produção industrial	69
4.2 TIPOS DE PRODUÇÃO DE COMPONENTES	70
4.2.1 Detalhes da produção de componentes	71
4.3 ETAPAS DE PRODUÇÃO	81
4.3.1 Produção ao pé da obra	82
4.3.2 Produção em pequena escala	83
4.3.3 Produção em média escala	84
4.3.4 Produção em grande escala	86
4.5 AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE	89
5. ANÁLISE ESTRUTURAL DE SISTEMAS E COMPONENTES	
5.1 ANÁLISE ESTRUTURAL	91
5.2 COMPOSIÇÃO ESTRUTURAL	93
5.2.1 Tipologia estrutural	95
5.3 ANÁLISE DE ESFORÇOS	100
5.4 DIMENSIONAMENTO	101
5.4.1 Estado limite último	102
5.4.2 Estados limites de utilização	106
5.5 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ESTRUTURAL	112
6. COMPONENTES BÁSICOS	
6.1 COBERTURA	117
6.2 FORRO	119
6.3 VIGAS	120
6.4 PILARES	122
6.5 PISOS	123
6.6 PAINÉIS DE VEDAÇÃO	124
6.7 OUTROS COMPONENTES	129
6.8 COMPLEMENTOS	129

7. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ECONÔMICO	
7.1 ANÁLISE DE MERCADO	131
7.2 LEVANTAMENTOS DE CUSTOS DOS INSUMOS.	132
7.3 ESTIMATIVA DE CUSTO	133
8. PROJETO DE UMA UNIDADE ESCOLAR	
8.1 PROJETO ARQUITETÔNICO	139
8.1.1 Estudo Preliminar	139
8.2 PROJETO ESTRUTURAL	142
8.3 COMPOSIÇÃO ESTRUTURAL	142
8.4 ANÁLISE DE ESFORÇOS	144
8.5 PROJETO PARA FABRICAÇÃO	145
8.6 PROJETO DE MONTAGEM.	145
9. CONCLUSÕES	
9.1 A RESPEITO DO MATERIAL ARGAMASSA ARMADA . . .	177
9.2 QUANTO AO PROJETO DE SISTEMAS E COMPONENTES	177
9.3 A TECNOLOGIA DA ARGAMASSA ARMADA	178
9.4 A DIFUSÃO DA TECNOLOGIA	179
9.5 INDICATIVOS PARA NOVAS PESQUISAS	179

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO

1.1 HISTÓRICO

A arte de construir constitui uma das partes mais fascinantes de toda a história da humanidade. O conjunto das construções, desde as pirâmides do Egito até os arranha-céus americanos, formam um referencial bem real e concreto, do comportamento e conhecimento do homem na respectiva época.

Os materiais de construção, a medida que iam sendo usados, caracterizaram períodos bem definidos na história das construções. Depois de usar os abrigos naturais, o homem apropriou-se inicialmente da madeira, do barro, da pedra. Posteriormente começou a superpor materiais constituindo um arranjo através das alvenarias, com o uso de aglomerantes como a cal, para a argamassa de assentamento.

Os gregos e os romanos apresentam as primeiras manifestações tendentes a um racionalismo nas suas construções. Com a Idade Média há uma completa estagnação em todos os campos do pensamento humano. No Renascimento aparecem, então as sementes das transformações culturais e científicas, com Leonardo Da Vinci e Galileo retomam-se as preocupações com o racionalismo construtivo.

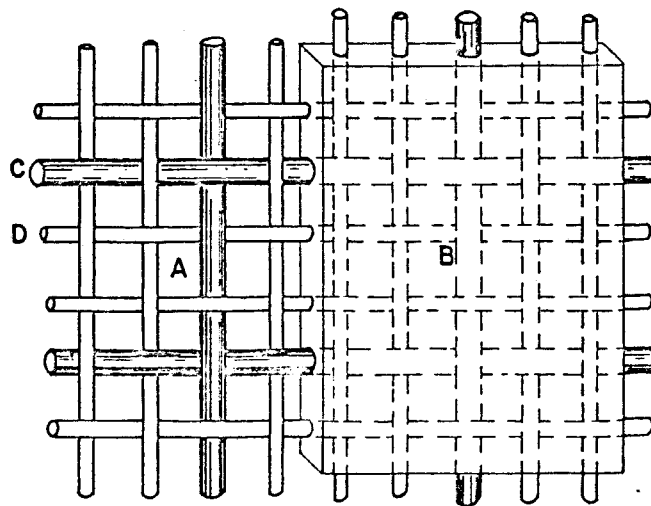
A evolução da ciência, no entanto, só atinge de forma sensível a arte de construir, depois do início da Revolução Industrial, em 1709, com a descoberta do processo industrial de produção de ferro em larga escala.

A idéia elementar de associar dois materiais distintos para obter um terceiro de melhores propriedades não foi facilmente descoberta, apesar de algumas ocorrências esparsas como descreve Vasconcelos [1985]¹. Só ocorreu de forma significativa depois do aparecimento do cimento, já em 1845, através de Issac Johnson.

A apresentação oficial desta invenção denominada na época de "cimento armado" foi feita em 1855, pelo engenheiro francês Joseph Louis Lambot (1814-1887), na Exposição Universal de Paris, através de um barco. Lambot, como descrito em Hanai [1981]², desenvolvia, desde 1848, um material que chamava de "fer-ciment" e o qualificava como:

"um aperfeiçoado material de construção a ser usado como substituto da madeira em construções navais, arquitetônicas e também em alguma finalidade doméstica onde a umidade deve ser evitada". Descrevia o material como "uma rede de arames ou barras metálicas cimentadas com cimento hidráulico de tal maneira a formar vigas e pranchas de qualquer tamanho desejado".

Sobre o trabalho desenvolvido por Lambot o engenheiro Malot julgou na oportunidade que tais construções "eram tão simples e tão naturais que não se justificava fossem tiradas patentes".^[1]



A - MALHA; B - ARGAMASSA; C - BARRA; D - TELA

FIGURA 1.1 - UM DOS DESENHOS DA PATENTE DE LAMBOT ^[2]

A partir desta idéia inicial, outros puderam melhor aplicá-la, entre eles destaca-se Joseph Monier (1823-1906), horticultor, francês, que vendo o barco na exposição, adaptou a invenção a seus vasos, tanques e caixas d'água. Posteriormente, em 1875, chegou a executar uma ponte de 16,5 metros de vão e 4 metros de largura. Monier, por aplicar e comercializar o novo material, foi considerado o inventor do cimento armado, depois denominado concreto armado.

Este revolucionário material não teve uma aceitação tão fácil como se poderia supor, pois a descoberta, do Inglês Abraham Darby, do processo industrial de produção do ferro em escala, como já foi citado, antecipou a alternativa da construção metálica.

Depois de Lambot e Monier, o americano Thaddeus Hyatt, o alemão Gustavo Adolpho Wayss, o francês François Hennebique, pelo histórico levantado por Vasconcelos¹, começaram a experimentar e aperfeiçoar o novo material, de forma que a posição das barras, no interior das peças, fossem mais eficientes e econômicas. Assim o novo material começou a ocupar seu lugar e conseqüentemente a competir com o ferro de uso corrente na época.

A criação inicial de Lambot, talvez por imposição de um mercado existente na época tomou um caminho diverso, o que ele supunha ser o substituto da madeira, superou ainda mais suas expectativas em termos de resistência e potencial construtivo. A necessidade de estradas e suas respectivas pontes seria prioritária. Peças de maior tamanho passaram a dispensar a 'rede de arames' recebendo somente as barras de ferro. Portanto o material transformou-se em algo mais condizente com as grandes estruturas.

A tecnologia do concreto armado foi evoluindo continuamente, seja em aplicações ou em estudos e pesquisas. Já o "fer-ciment" durante anos ficou restrito a alguns casos esparsos de construção de barcos e de pequenos artefatos de uso mais modesto, sem aplicações em obras expressivas, ou que justificassem alguma publicação a respeito.

Só em 1943, o notável engenheiro italiano Pier Luigi Nervi^{4,5} (1891-1980) retomaria o uso de redes de arame, em peças de menor espessura de argamassa, a que chamou "ferro-cimento". De início, em construções navais para a marinha italiana, depois, visando o uso na construção civil, passa a estudar o comportamento de lajes armadas com telas do tipo entrelaçado de aço doce, com fios de diâmetro 0,5 a 1,5mm e malha de abertura igual a 10mm. Constituindo-se de cimento e areia esta argamassa consumia entre 950 e 1.200 quilos de cimento por metro cúbico de material. Estes estudos iniciais mostraram que o material, com esta dosagem, teria uma maior alongabilidade e infissurabilidade em relação ao concreto armado usual.

A primeira aplicação foi feita em 1946 no armazém de sua própria empresa construtora, onde pela composição de formas estruturais inéditas conseguiu com adoção de pequenas espessuras, construir elementos com suficiente resistência.

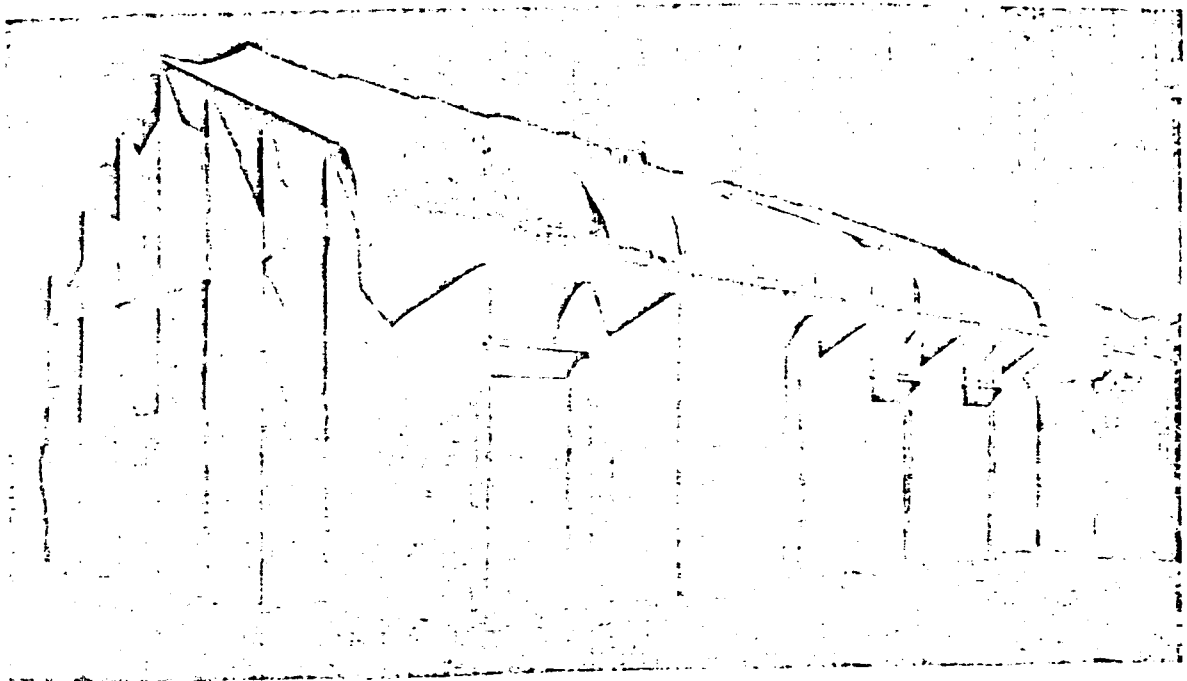


FIGURA 1.2 - ARMAZÉM DA FIRMA NERVI & BARTOLI (ROMA, 1946)⁽⁵⁾

No ano seguinte, para a construção do edifício da Feira de Milão, com o auxílio do Prof. Guido Oberti da Escola Politécnica de Milão, Nervi pode aplicar seu "ferro-cimento" numa cobertura de 16m de vão, iniciando aplicações de sucesso que iriam até 1960.

Oberti ensaiou experimentalmente o material apresentando as seguintes conclusões: consumos de tela metálica entre 100 e 200 kg/m³ não alteravam a alongabilidade do material, ou seja, seriam as mesmas da argamassa não armada, enquanto que consumos entre 400 e 500 kg de telas por metro cúbico essa alongabilidade chegava a quintuplicar. Segundo Oberti, alcançava-se, com essa taxa, a "porcentagem espontânea do sistema", podendo-se, disso inferir que havia a pretensão de obter uma taxa que conferisse um comportamento do tipo sinérgico, ou seja, de um terceiro material resultante da mistura da argamassa e telas, capaz de ter um comportamento melhor que o de seus materiais constituintes.

Destes estudos resultaram as obras do Palácio de exposições de Turim (1948), a marquise da Feira de Milão (1953), o Palacete de Esportes de Roma (1957), o Palácio de Esportes de Roma (1960).

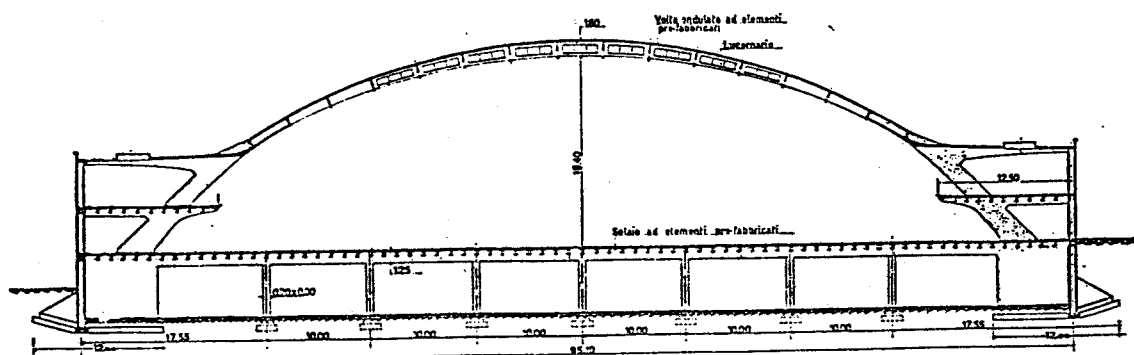


FIGURA 1.3 - PALÁCIO DE EXPOSIÇÕES DE TURIM
SEÇÃO TRANSVERSAL (2)

Estas aplicações são mostradas por Hanai², e constam dos livros do próprio Nervi^{4,5}. Seu depoimento em 1951 foi o seguinte: "creio que estes primeiros resultados, à parte do meu justificável otimismo, autorizam a previsão de um grande desenvolvimento do 'ferro-cimento'. Sobretudo este tornará possível o fecundíssimo campo das estruturas resistentes pela forma..."

Na União Soviética, o mesmo material usado e estudado por Nervi foi chamado de "armocimento", citadas por Hanai [1987]⁸, as aplicações na construção civil tiveram início em 1958. Khaldukov [1968]⁶ apresenta uma cobertura (figura 1.4) em Krasnoyarski de 75m de vão. Os soviéticos aplicariam o material em mais de dez milhões de metros quadrados de área coberta até 1981. Seriam ainda, os primeiros a editar instruções para o projeto e construção de estruturas, denominadas de "armocimento", em 1967 e posteriormente uma norma oficial de construção elaborada em 1977⁷.

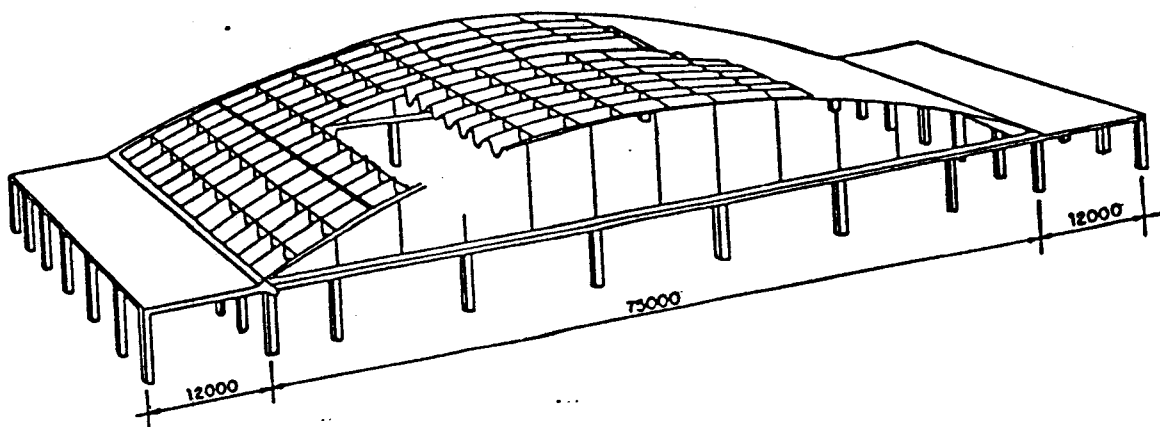
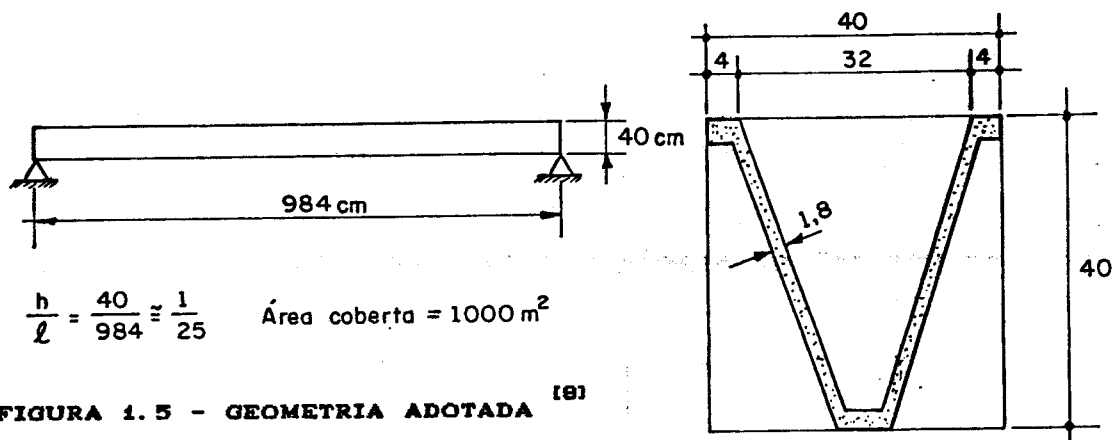


FIGURA 1.4 - COBERTURA EM KRASNOYARSKI (URSS) (6)

Neste panorama internacional o material seguiria dois caminhos. O primeiro das aplicações artesanais, onde poderia ser proveitoso o uso de mão de obra intensiva, dispensado o uso de fôrmas, como nos casos de construção de barcos, silos, pequenos reservatórios, etc. Este foi o caso da China, onde mesmo antes da segunda guerra mundial já teria iniciado a construção de barcos. Em Hanai⁹ estão ilustrados os exemplos de aplicação na Ásia, Índia, China e países do Sudeste Asiático. O segundo caminho seria o das aplicações mais elaboradas no sentido que o material, servindo-se das técnicas construtivas do concreto armado, poderia ter custo competitivo. Além disso, o conseqüente registro das aplicações, estudos e pesquisas. Este foi então, o caso dos países como Checoslováquia, Polônia e Cuba além da Itália e da União Soviética já citados.

No Brasil, a primeira aplicação, logo denominada pelos professores Dante A.O. Martinelli e Frederico Schiel [1966]⁸ de argamassa armada, foi feita na cobertura de pavilhões da EESC-USP. Segundo o artigo, o objetivo na época, era "reelaborar a técnica construtiva procurando adaptá-la às nossas possibilidades, quer quanto aos processos de execução quer quanto a necessidade de baratear o material, reduzindo-se o consumo de cimento e, especialmente, procurando averiguar qual a mínima quantidade de telas compatível com a necessidade de material que apresentasse elevada resistência a fissuração." A partir dos estudos de Nervi, foram ensaiados perfis pré-moldados, que revelaram ótimas características de desempenho, verificando-se a formação das primeiras fissuras com deformações da ordem de 10^{-3} , para taxas de armadura entre 250 e 300 kg/m³ de argamassa e consumo de cimento de cerca de 700 m³. As primeiras telas usadas foram as entrelaçadas do tipo "peneira" com abertura de 12,7mm e diâmetro 1,25mm.



Em 1966, nos estudos para cascas piramidais de cobertura do Centro de Pesquisas do Cacau, em Itabuna na Bahia, seriam adotadas, pela primeira vez, telas soldadas de fios mais espaçados (50mm) e diâmetro 2,66mm, resultando em consumo de aço inferior a 100 kg/m³. Os ensaios em modelo reduzido mostraram que as deformações eram pequenas e que a redução da armadura vinha de encontro ao anseio de reduzir o consumo de telas. A partir deste trabalho o material, no Brasil, seguiu caminho distinto do usado por Nervi, onde havia uma preferência por fios finos e pouco espaçados (10 a 25mm).

Na sequência de pesquisas e aplicações, o Grupo de São Carlos, através de projeto do Prof. Schiel, adotou as telas soldadas de diâmetro 2,77mm e espaçamento 50mm com a inclusão de uma armadura complementar de 6,3 e 8 mm para a cobertura da Fábrica de Laticínios de São Carlos. O vão a ser vencido era de 21m com balanços laterais de 2,5m e 5,5m as telhas de argamassa armada teriam peso de 8 t, metade do peso estimado para a opção em concreto protendido.

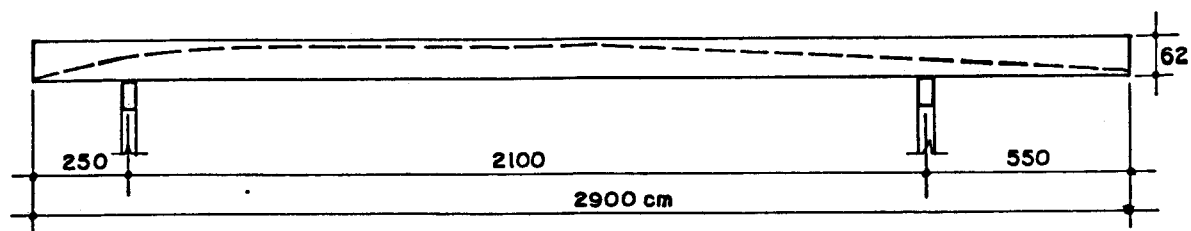


FIGURA 1.6 SEÇÃO LONGITUDINAL DA TELHA ⁽⁹⁾

A aplicação mais expressiva da argamassa armada em telhas de cobertura é a do Terminal Rodoviário Rita Maria em Florianópolis - SC em 1980. O projeto arquitetônico é dos Professores Brena e Carlevaro e previa inicialmente uma cobertura em concreto protendido, cujo peso seria de 75 t. A solução adotada resultou em telhas de argamassa armada com espessura de 35mm e peso de cerca de 25 t. As telas neste caso são de fios de 3mm de diâmetro, espaçados de 50mm. A solução foi proposta pela empresa Terranova Industrial Ltda. com consultoria do Grupo de São Carlos.

Ballarin [1989]¹⁰ em seu trabalho de dissertação, sintetiza muito bem a trajetória do material quando relata:

"Atualmente, passados 28 anos, (do início no Brasil), nota-se que não foram poucas as modificações implementadas ao material original para sua adaptação aos nossos condicionantes. As reduções iniciais em consumo de cimento e armadura, aliadas às mudanças na tipologia das armaduras básicas e as consequências oriundas do processo de industrialização, fizeram por criar um material genuíno, que, via de regra, não mais se enquadra dentro das formulações gerais propostas no meio internacional, mas sim se aproxima cada vez mais do concreto armado, pelo menos do ponto de vista de propriedades mecânicas."

1.2 PESQUISAS

Num panorama internacional, as pesquisas sobre o tema argamassa armada tem sido desenvolvidas em diversos países.

Os soviéticos, como foi comentado, têm aplicado o material desde 1958, sendo os primeiros a apresentar uma norma em 1977.

Por recomendação da Academia de Ciências dos EUA (1973), foi fundado em 1976 o "International Ferrocement Information Center - IFIC", anexo ao Instituto Asiático de Tecnologia, sediado em Bangkok, Tailândia, que publica o periódico "Journal of Ferrocement". Em 1977, o American Concrete Institute - ACI constituiu o Comitê 549¹¹ para estudar recomendações específicas para o material.

Realizaram-se Simpósios Internacionais em Bergamo, Itália, Julho de 1981; Bangkok, Tailândia, Janeiro de 1985; Roorkee, Índia, Dezembro 1988, e já está confirmado o IV em Havana, Cuba, Outubro de 1991.

No Brasil, conforme foi mencionado da concepção primitiva apresentada por Lambot, somada às aplicações de Nervi, o Grupo de São Carlos deu início a uma linha de pesquisa sobre o material e suas potencialidades para diversas aplicações.

Além dos artigos já citados seguiram-se diversos trabalhos a nível de pós-graduação nos Departamentos de Estrutura (SET) e Arquitetura (SAP) da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC - USP) como se ilustra no quadro 1.1 da página seguinte.

Diversos seminários sobre a tecnologia da argamassa armada foram realizados desde 1983, sob coordenação do professor Hanai^{2,3}, com participação dos professores e alunos de pós-graduação da EESC-USP dos Departamentos de Estrutura e de Arquitetura e da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).

QUADRO 1.1 - RELAÇÃO DE TESES E DISSERTAÇÕES DA EESC - USP

- APLICAÇÃO DA ARGAMASSA ARMADA NA CONSTRUÇÃO DE LAJES, 1971
VIGAS DE ARGAMASSA ARMADA, 1974 - PETRONI, LAFAEL [12,13]
- ESTUDOS SOBRE ARGAMASSA ARMADA, 1977 - ATHAYDE, A. G. [14]
- PISCINAS E RESERVATÓRIOS DE ARGAMASSA ARMADA, 1980
MACHADO JUNIOR, E. F.
- CONSTRUÇÕES DE ARGAMASSA ARMADA: SITUAÇÃO, PERSPECTIVAS
E PESQUISAS, 1981 - HANAI, JOÃO BENTO DE [2]
- CONTRIBUIÇÃO AO PROJETO DE GALERIAS ENTERRADAS: ALTERNATIVAS
EM ARGAMASSA ARMADA, 1984 - EL DEBS, MOUNIR K. [15]
- PROJETOS EM ARGAMASSA ARMADA, 1986 - BATAGLIA, A. D. [16]
- ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO COM ELEMENTOS PRÉ-FABRICADOS
DE ARGAMASSA ARMADA, 1987 - MIGLIORI JUNIOR, A. R.
- ARGAMASSA ARMADA: FUNDAMENTOS TECNOLÓGICOS PARA PROJETO
E EXECUÇÃO, 1987 - HANAI, JOÃO BENTO DE [03]
- LAJES PRÉ-FABRICADAS EM A. A. E SUGESTÕES PARA MONTAGEM
DE UMA USINA, 1988 - FOSCHINI, MARLY T. G.
- MOBILIÁRIO URBANO EM ARGAMASSA ARMADA PARA CIDADE
DE PORTE MÉDIO, 1988 - MONTEIRO DA SILVA, LAIS H.
- INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO. CONCEPÇÃO DE PROJETO EM
ARGAMASSA ARMADA: INTEGRAÇÃO DOS COMPONENTES NA OBRA
ARQUITETÔNICA, 1988 - BIDERMAN, LARISSA
- PROPRIEDADES MECÂNICAS DA ARGAMASSA ARMADA COM TELAS DE
AÇO SOLDADAS, 1989 - BALLARIN, ADRIANO W. [10]
- SISTEMA CONSTRUTIVO COM ELEMENTOS PRÉ-FABRICADOS DE A. A.
UMA ALTERNATIVA PARA EXECUÇÃO DE PONTILHÕES RODOVIÁRIOS
AGNESINI, MARCOS V. C., 1989
- ESTUDO PATOLÓGICO DE CONSTRUÇÕES DE ARGAMASSA ARMADA
EXISTENTES NO BRASIL, 1990 - LIBÓRIO, JEFERSON B. L. [29]
- COMPOSIÇÃO DE AGREGADOS PARA EXECUÇÃO DE ARGAMASSA A SE-
REM EMPREGADOS EM CONSTRUÇÕES DE A. A., 1990 - ISA, MARIO
- ARGAMASSA ARMADA: DIMENSIONAMENTO DE PERFIS SUBMETIDOS A
FLEXÃO. FUNDAMENTOS E EXPERIMENTAÇÃO, 1990 - GIONGO, J. S.
- ESTUDO EXPERIMENTAL DE ELEMENTOS DE ARGAMASSA ARMADA COM
TELA DE AÇO EXPANDIDA, 1990 LIMA, FLÁVIO B.

Em 1986 realizou-se em São Paulo na Escola Politécnica da USP o I Simpósio Nacional de Argamassa Armada¹⁷. Expostos os diversos trabalhos realizados, houve a indicação da necessidade de normalização do material. Assim, a ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, através do Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados - CB-18 criou a comissão CE 18:05.14, que reuniu-se pela primeira vez em setembro de 1986, trabalhando até agosto de 1989, apresentou a comunidade técnica do país o texto, aprovado em novembro de 1989 da NBR 11173 Projeto e Execução de Argamassa Armada.

Outra iniciativa importante na divulgação do material foi coordenada pelo professor Alexandre Diógenes, na Universidade Federal do Ceará, através do Projeto Ferrocimento, cujo objetivo foi o de estudar a introdução da tecnologia na região, adaptando-a aos materiais disponíveis, objetivando, prioritariamente, seu uso artesanal para produção. Apresentando critérios e recomendações para projeto, dimensionamento de embarcações, silos, tanques, cisternas canais de irrigação e componentes de habitações. Associando as condições de desempenho estrutural, segurança, funcionalidade e economia global. O projeto cumpriu seis anos de trabalho (1982-88) na divulgação da tecnologia. Inclusive, editando vinte boletins técnicos.

Estendendo o trabalho de pesquisa, e motivado pelo crescente interesse do meio técnico, o Grupo de São Carlos, com o decisivo apoio da ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland, iniciou a divulgação da tecnologia da argamassa armada em cursos itinerantes promovidos pela ABCP.

Vencidas estas etapas, de melhor conhecimento, de divulgação do material e de sua normalização, a argamassa armada apresenta hoje, mais uma opção construtiva a ser devidamente explorada pelos projetistas e construtores. Seu potencial de aplicação na construção civil é evidente. No caso das edificações, tema deste trabalho, seu uso pode ser interessante tanto em componentes como em todo o sistema construtivo.

Em síntese, as pesquisas tem apontado na direção de um material que possa ser caracterizado como um tipo de concreto estrutural. Neste sentido procura-se diminuir o consumo de material obtendo as propriedades requeridas. Busca-se a execução das peças em fábricas, ou pré-moldagem no local da obra, de forma a racionalizar recursos com maior produtividade, e finalmente, projetar os elementos considerando devidamente todos estes fatores.

O conhecimento já adquirido na tecnologia do concreto estrutural pelo meio técnico brasileiro é reconhecidamente consistente e constitui sólido alicerce aos estudos sobre esta alternativa.

Pelo histórico apresentado e pelo andamento das pesquisas, vê-se que no caso da argamassa armada, os fundamentos tecnológicos conhecidos são suficientes para novas aplicações e para o desenvolvimento de uma tecnologia de reais e amplas possibilidades na Construção Civil.

As expectativas dos pesquisadores com respeito ao desenvolvimento das pesquisas poderiam ser divididas em duas linhas de atuação, que interagem na etapa de projeto.

A primeira linha seria a da possibilidade de maior evolução do material, com providências que possam melhorar o seu desempenho estrutural, reduzindo ainda mais o consumo dos materiais constituintes. Como a redução de tela, os estudos da dosagem e o uso de aditivos adequados.

A segunda estaria na evolução da tecnologia da produção, ou seja, nas condições de execução em fábricas, onde se possa racionalizar a processo, com o uso de fôrmas mais eficientes, pistas de argamassagem, cura térmica, enfim obter mais produtividade e melhorar a qualidade do produto.

A interação entre estas duas linhas deve se dar a nível do projeto, desse modo tem-se a possibilidade de valorizar, ainda mais, esta etapa nas suas funções vitais que são de antecipar as soluções ao problemas de execução, além de diminuir o tempo de construção e o custo da obra de edificação proporcionando maior qualidade e produtividade.

1.3 APLICAÇÕES

Algumas das aplicações já citadas, assim como outras mostradas a seguir, formam um referencial de opções aplicadas e analisadas, para que se possa avaliar as diversas possibilidades de aplicação da argamassa armada às edificações.

Lembra-se que outras aplicações na construção naval, infra-estrutura urbana, construções rurais, saneamento, estruturas de contenção e tantos outros como se pode ver nas referências bibliográficas tem demonstrado o potencial de aplicação do material. Neste trabalho, para delimitar o assunto, trata-se do sub-setor das edificações, procurando ilustrar as aplicações sob a ótica da concepção estrutural e sua adequação tecnológica.

Escolhem-se as aplicações, em ordem cronológica, visando exemplificar a sua evolução. No decorrer do trabalho outras aplicações são citadas como exemplos específicos dos assuntos abordados.

1. ARMAZÉM DA FIRMA NERVI & BARTOLI (1946)

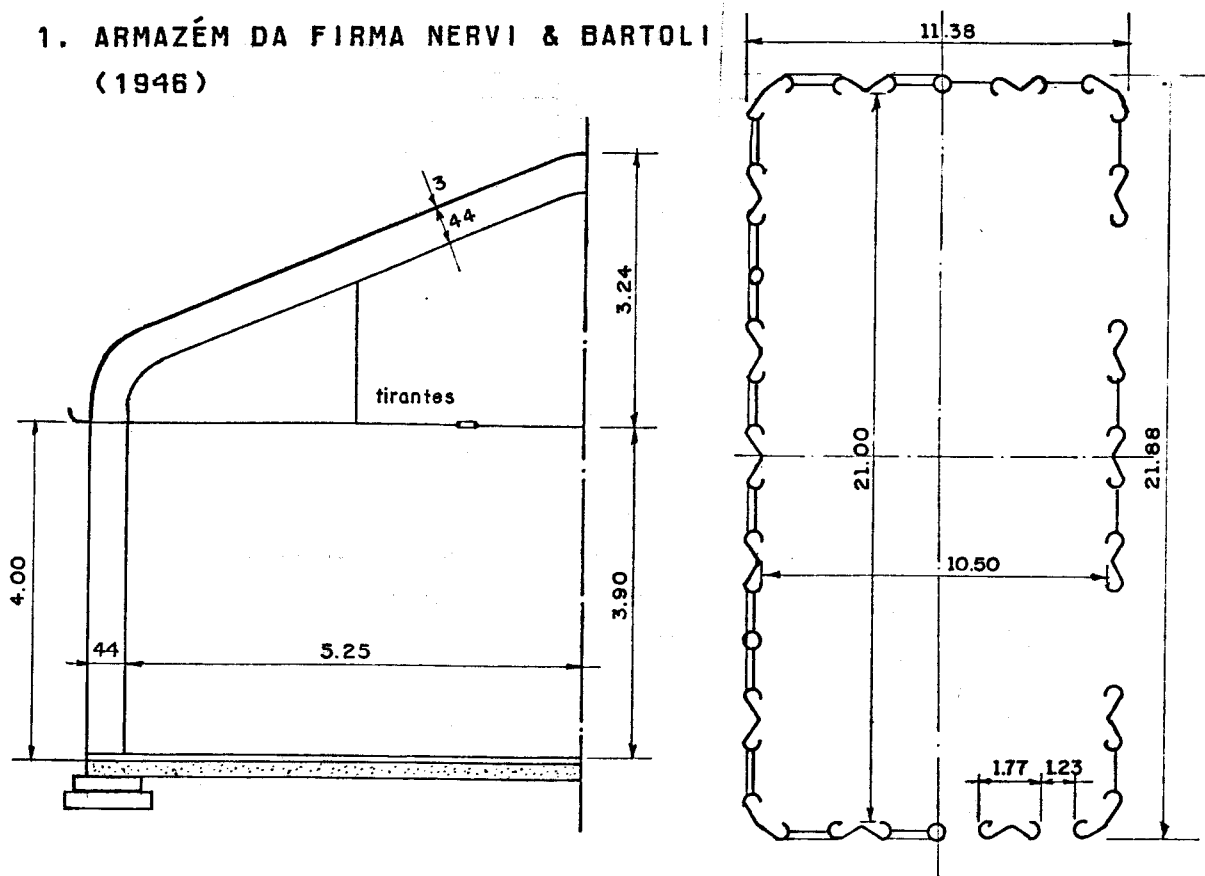


FIGURA 1.8 PLANTA E CORTE COMPLEMENTANDO A FIGURA 1.2 [5]

2. VIGAS-CALHAS DE COBERTURA DOS PAVILHÕES DA EESC-USP^[19]

As ilustrações da figura 1.9 mostram os primeiros estudos para as telhas em argamassa armada, publicados em 1964.

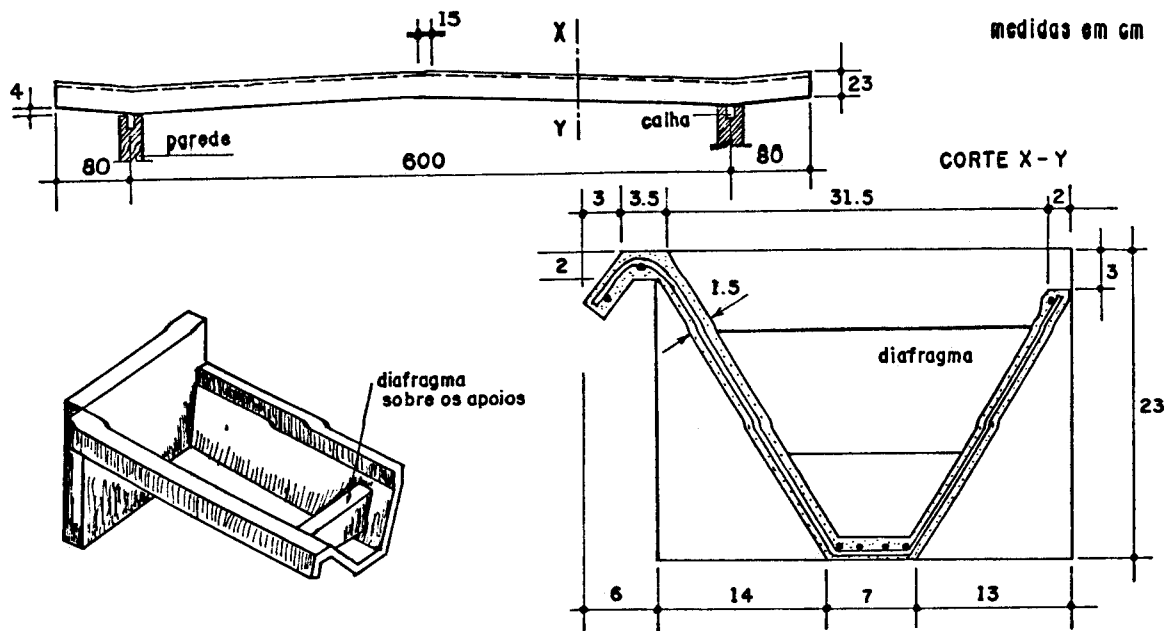


FIGURA 1.9 ESTUDOS^[18]

3. OUTRAS COBERTURAS DA EESC-USP^[20]

Em 1966, novas aplicações são realizadas pelo Grupo de São Carlos^[20], aproveitando a experiência anterior, foi usada a técnica de dobramento posterior a argamassagem.

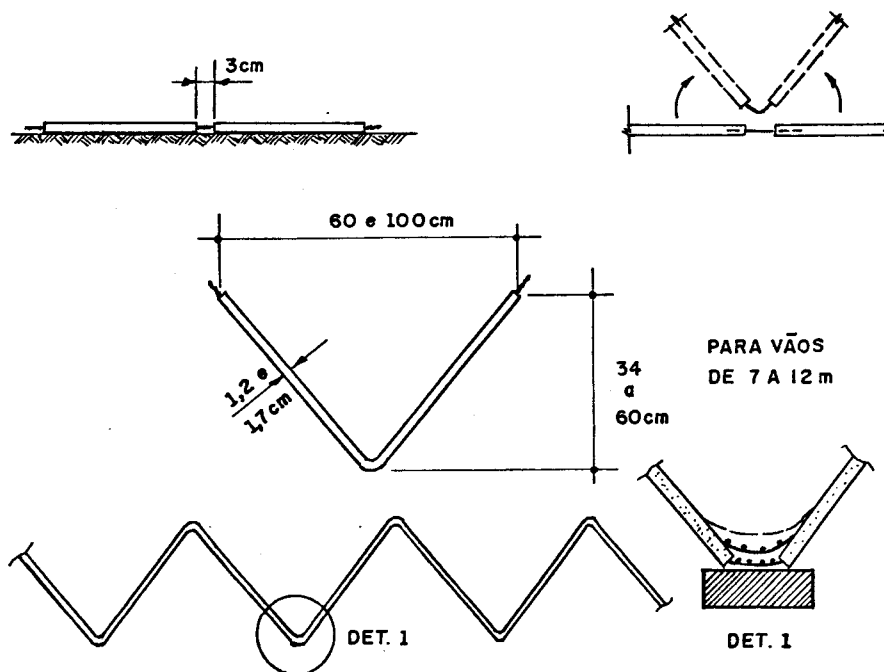


FIGURA 1.10 SOLUÇÃO ADOTADA EM DIVERSAS COBERTURAS^[20]

4. CASCAS PIRAMIDAIS DO CENTRO DE PESQUISAS DO CACAU^[9]

Em 1986, como mostra o histórico, nesta aplicação o consumo de telas foi substancialmente diminuído, estudos posteriores reafirmam o potencial da argamassa armada para as estruturas resistentes pela forma.

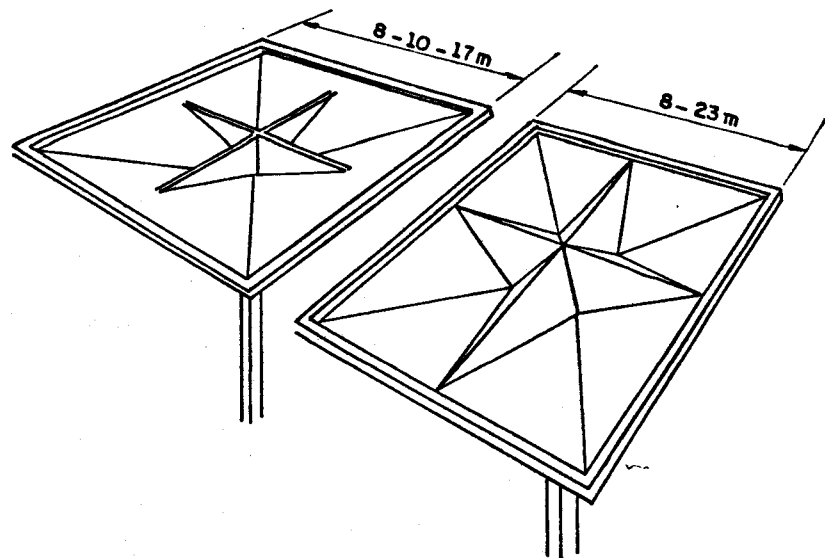


FIGURA 1.11 ASPECTOS DAS CASCAS PIRAMIDAIS^[2]

5. COBERTURA DO DEPARTAMENTO DE ARQUITETURA DA EESC-USP^[9]

Em 1988/89 esta cobertura, descrita por Bataglia^[16], seria adotada para o pavilhão do Depto de Arquitetura.

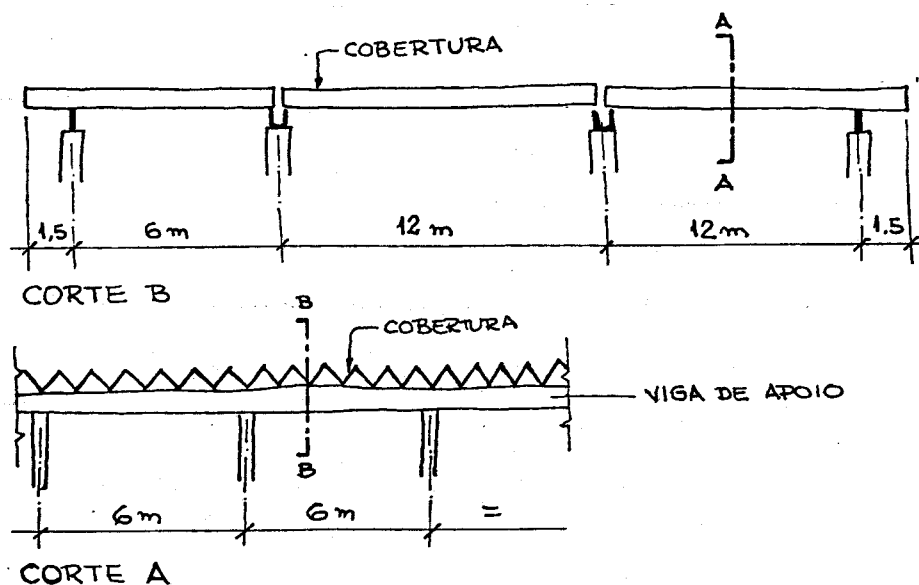


FIGURA 1.12 COBERTURA DO DEPTO. DE ARQUITETURA^[3,16]

8. FÁBRICA DE LATICÍNIOS DE SÃO CARLOS⁽⁹⁾

Em 1976, os estudos animam o prof. Schiel a propor esta solução para uma cobertura de 21m de vão, como descrito no histórico, a massa de cada telha seria de apenas 6t.

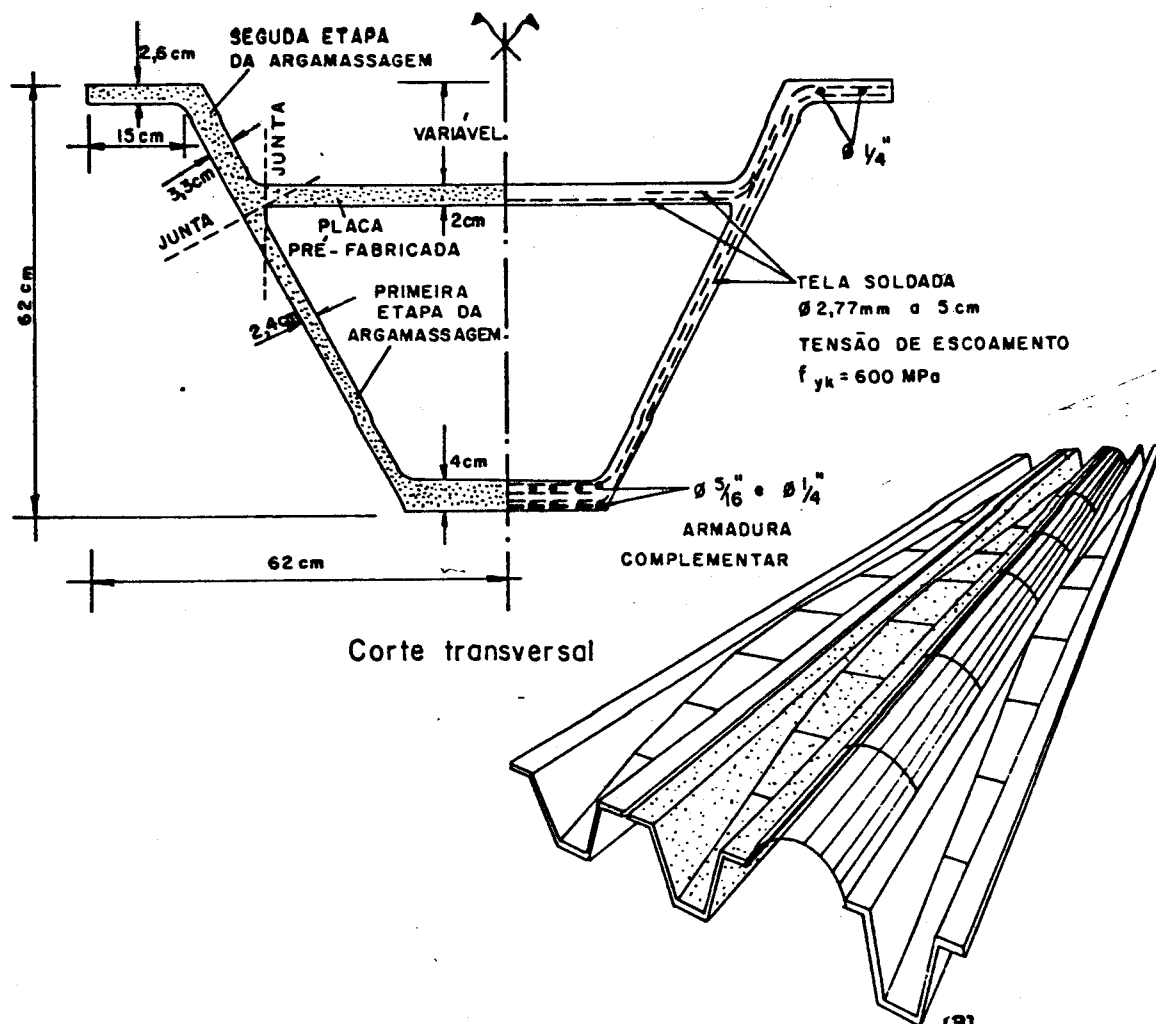


FIGURA 1.19 CORTE TRANSVERSAL DA TELHA E PERSPECTIVA⁽⁹⁾

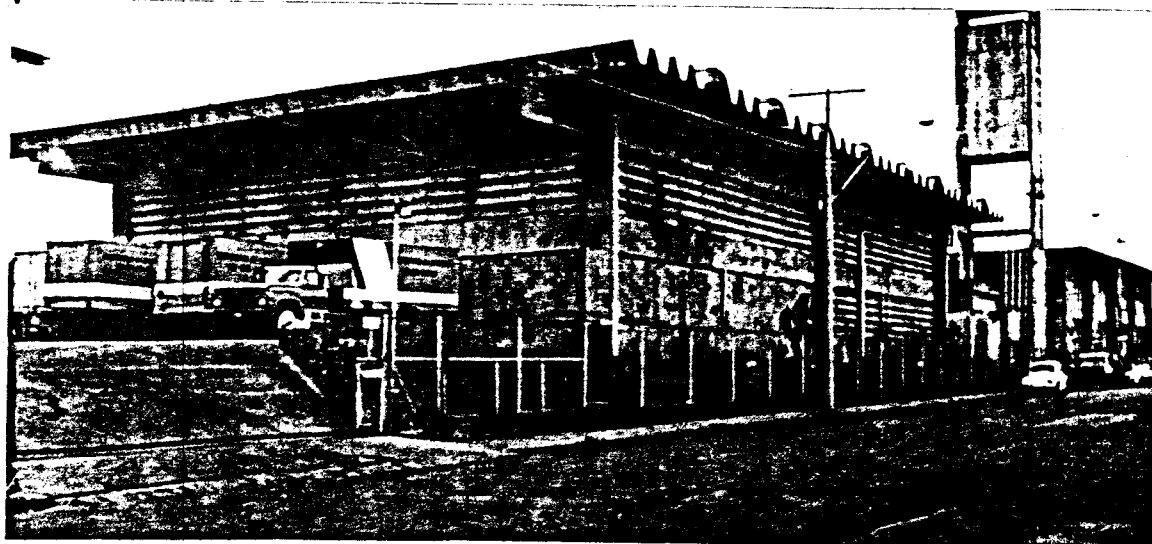
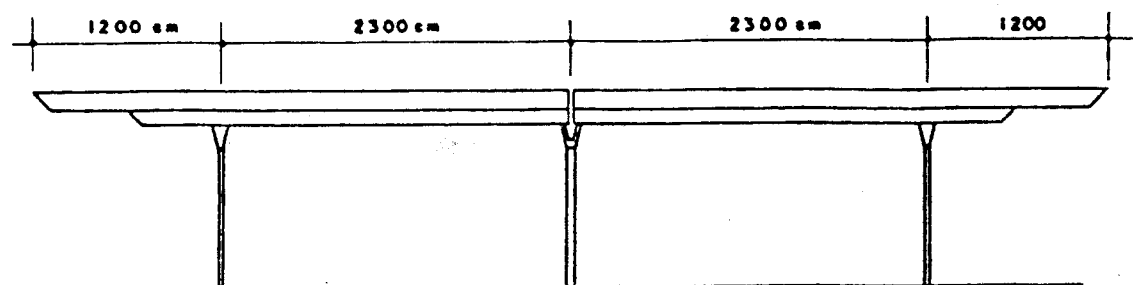
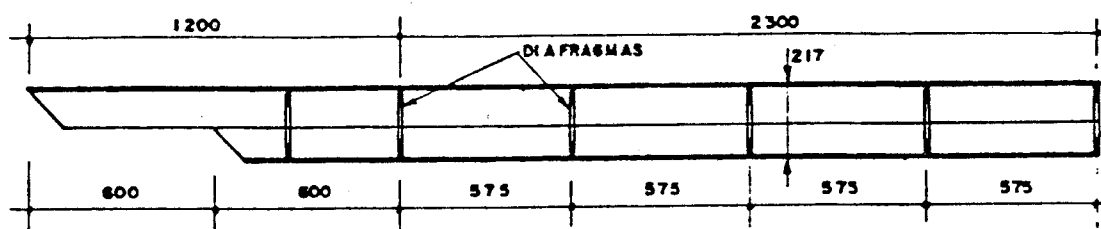


FIGURA 1.14 ASPECTO ATUAL DA FÁBRICA [FOTO DO AUTOR, 1991]

7. COBERTURA DO TERMINAL RODoviÁRIO DE FLORIANÓPOLIS-SC⁽⁹⁾



a) Esquema longitudinal



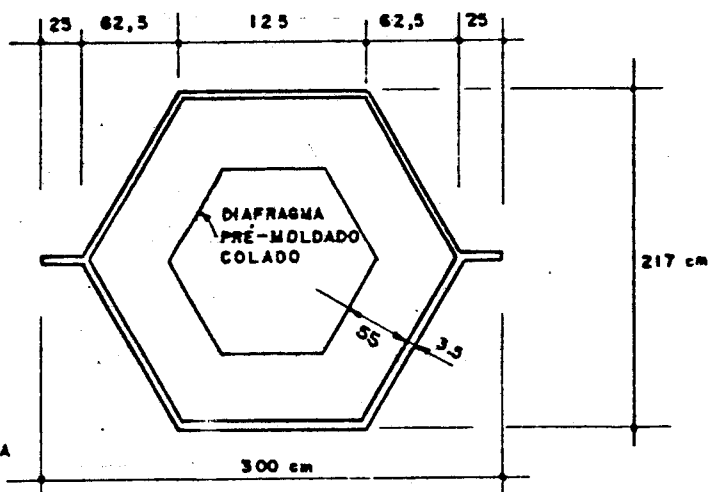
b) Corte longitudinal

ARMADURAS

- 3 TELAS SOLDADAS
Ø 3 mm c/5 cm CA-80 B
- VERGALHÕES Ø 5/16"
(CA-50) Ø 1/4"

ARGAMASSA

- $f_{ck} = 250 \text{ kgf/cm}^2$
- PROJEÇÃO POR VIA ÚMIDA



c) Corte transversal

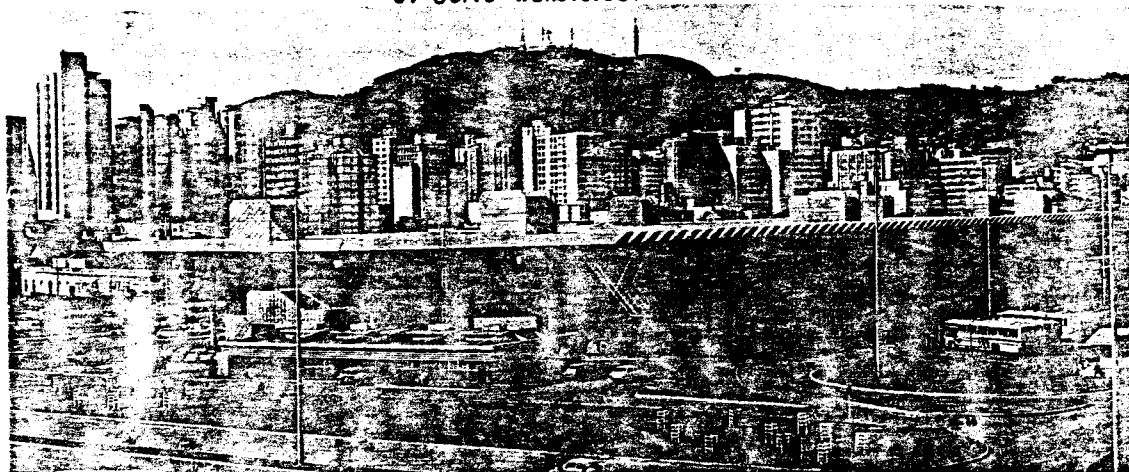
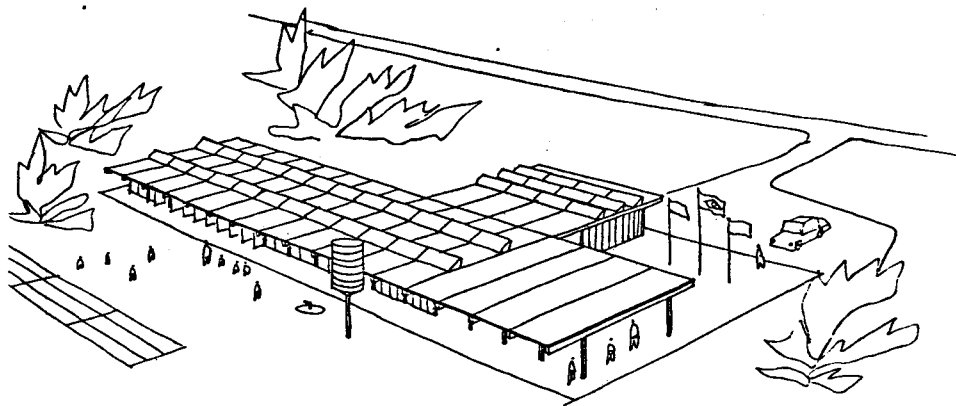


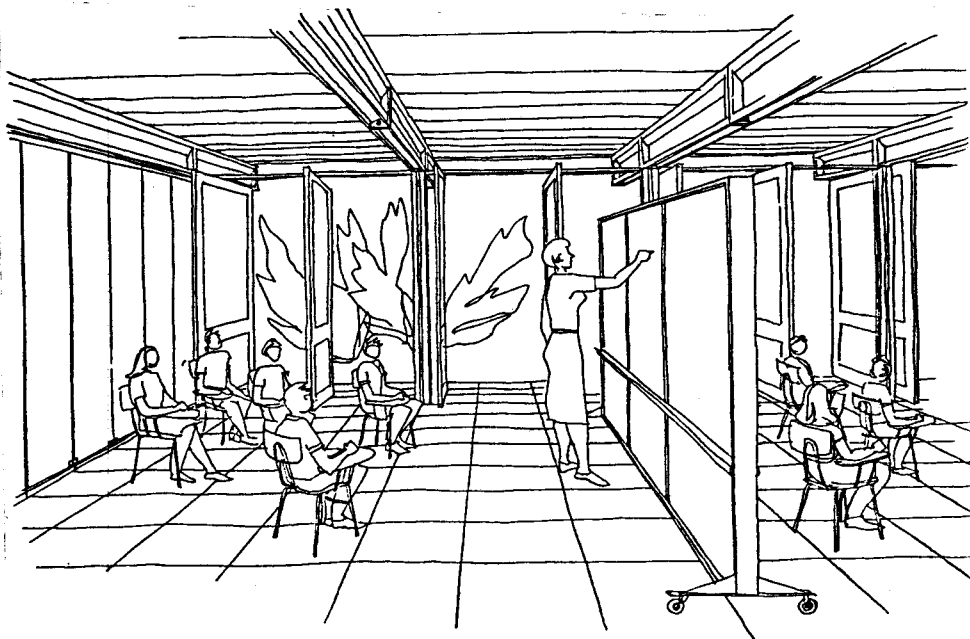
FIGURA 1.16 ASPECTO ATUAL DA ROD. RITA MARIA - FPOLIS SC

As ilustrações seguintes são de algumas aplicações da argamassa armada às edificações realizadas pelo arquiteto João Filgueiras Lima²², o Lelé como é mais conhecido. Sua contribuição, ainda mais expressiva, foi a instalação das fábricas de pré-moldado em argamassa armada em Brasília, Rio de Janeiro, Salvador (RENURB²³), assessoria às fábricas de Rio Claro e Itapevi - SP e mais recentemente à fábrica de equipamentos comunitários da Prefeitura Municipal de São Paulo, GEDEC²⁴, atualmente em pleno funcionamento.

B. ESCOLA TRANSITÓRIA ^[22]



escola rural para 120 alunos com posto de saúde integrado



sala polivalente - divisória móvel com quadro de giz

FIGURA 1.17 ASPECTOS DA ESCOLA ^[22]

9. BIBLIOTECA PROF. BARREIROS FILHO EM FLORIANÓPOLIS - SC

Em 1988, foi possível o transporte desta edificação de dois pavimentos e uma passarela para pedestres, projetados por Lelé e fabricada em Salvador BA, até Florianópolis SC, sendo a distância rodoviária entre as cidades de 2700km.

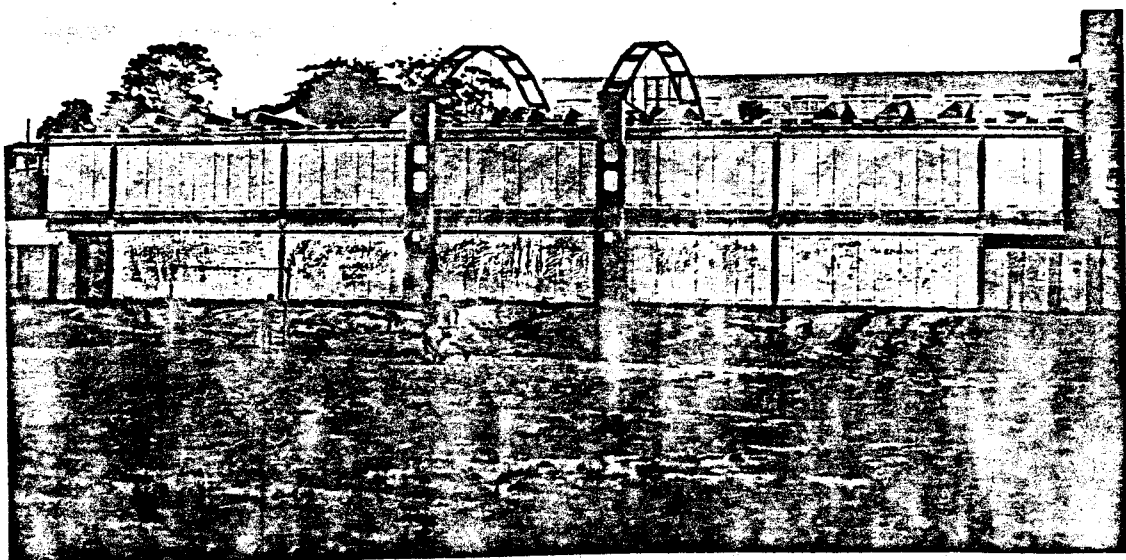
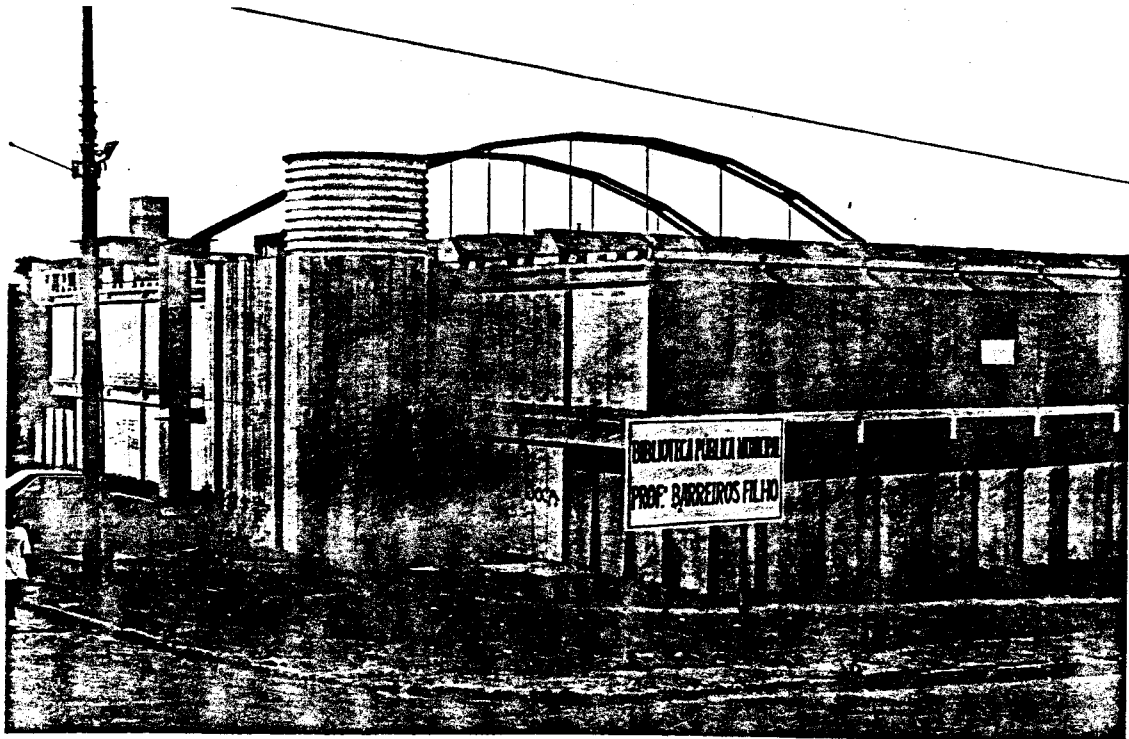
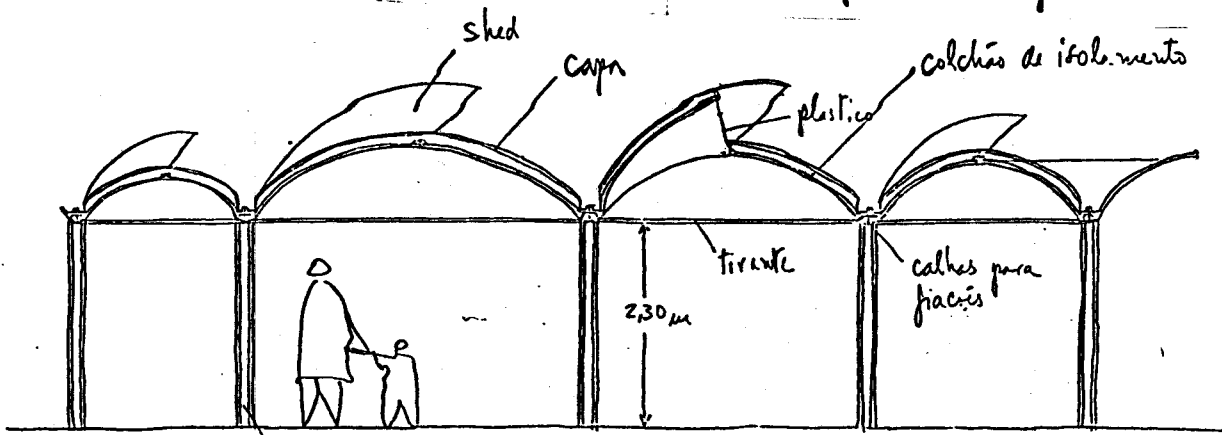
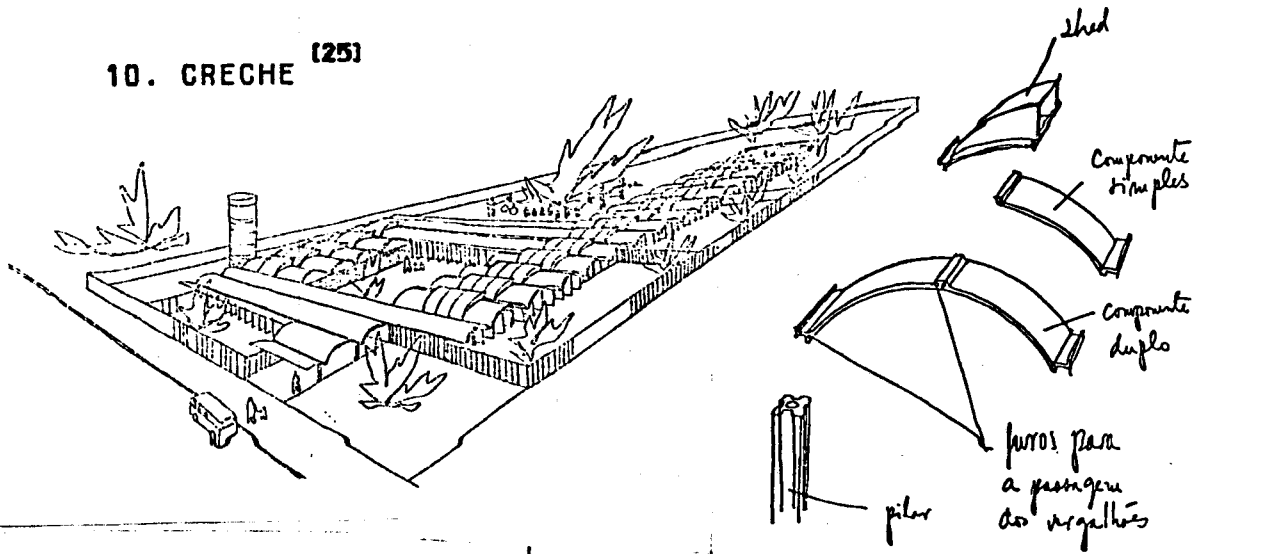


FIGURA 1.18 FOTOS DA BIBLIOTECA PÚBLICA PROF. BARREIROS F.

10. CRECHE [25]



1,875m (3M) * 3,75m (6M) * 3,125m (5M) * 2,50m (4M) *
pilares produzidos na FAEC

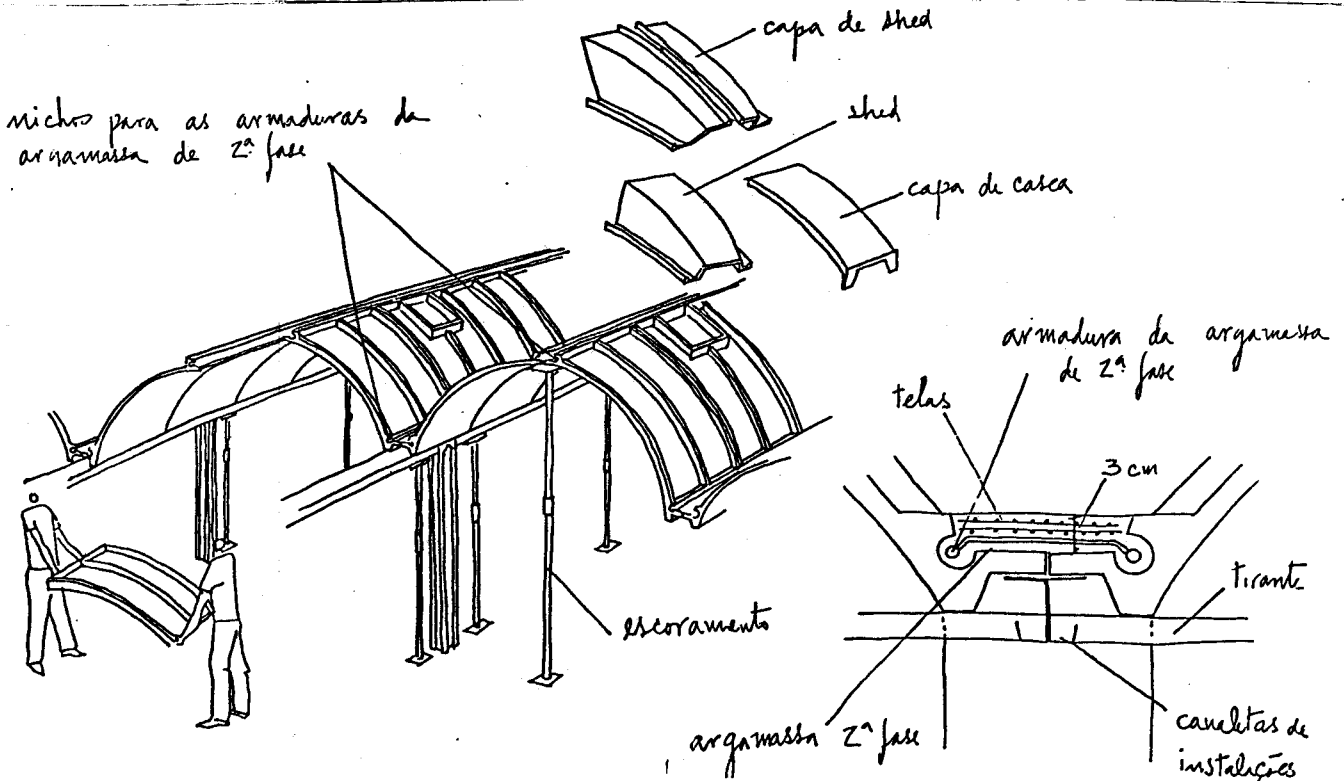


FIGURA 1.19 ILUSTRAÇÕES DA CRECHE PROJETADA POR LELE [25]

1.4 OBJETIVOS

A argamassa armada apresenta reais possibilidades de aplicação na construção civil, mas embora as aplicações sejam significativas, o material ainda não faz parte do cotidiano dos projetistas, ou seja, a alternativa embora disponível e normalizada não é, ainda, explorada devidamente.

Neste contexto podemos constatar que as construções têm três origens distintas. A primeira seria a necessidade do usuário e a possibilidade de resolver o problema com seus próprios conhecimentos e recursos disponíveis. A segunda é a possibilidade construtiva, de indivíduos ou empresas capazes de suprir a necessidade com soluções conhecidas, e até mesmo oferecer opções a uma demanda de mercado. E a terceira é a atividade em pesquisa de novas possibilidades construtivas para o desenvolvimento da tecnologia e da arte de construir.

A tecnologia das edificações como atividade geradora de novas técnicas construtivas e de novas possibilidades ao mercado consumidor, apresenta outras subdivisões de acordo com o processo construtivo e os materiais usados.

Cabe analisar então, a argamassa armada como material a ser pesquisado e desenvolvido em aplicações na construção de edificações, considerando as implicações decorrentes das características do material e seu potencial como componente de sistemas estruturais.

A pretensão deste trabalho é desenvolver, e sugerir, sistematicamente, diversas alternativas de projeto e de produção de sistemas e componentes para edificações. E também abordar e exemplificar os fundamentos da aplicação do material de forma a servir como insumo ao projeto de sistemas e componentes construtivos para as edificações.

Isto implica em apresentar os procedimentos de projeto, no sentido de um plano completo, compreendendo a definição de componentes e sistemas, um repertório de alternativas disponíveis e viáveis com respeito ao material e sua forma estrutural e as implicações nos processos de produção.

Considerando, desde a concepção, as informações relativas a determinação de esforços solicitantes e ao dimensionamento dos componentes, conforme as prescrições da NBR 11173¹⁸.

A utilização deste material difundido pelo Grupo de São Carlos e pelo Arquiteto João Filgueiras Lima através de notáveis realizações, ainda não tem a devida divulgação e principalmente o uso em escala suficiente para o seu pleno desenvolvimento pelas próprias empresas produtoras.

O objetivo da pesquisa, neste contexto, é o de sensibilizar as pequenas e médias empresas, espalhadas pelo país, ao uso da argamassa armada em componentes e sistemas de peso relativamente baixo, por isso denominados de sistemas leves, em relação aos seus similares em concreto armado ou protendido. Assim, os equipamentos necessários podem ser menos sofisticados e estas empresas podem produzir, sem a necessidade de grandes investimentos, pois o equipamento é quase o mesmo usado para produção de tubos, postes, ou lajes pré-moldadas. Os operários teriam, também, facilidade em adaptar-se a este tipo de produção.

Acredita-se que esta é uma tentativa de integração, entre a atividade de pesquisa tecnológica e a aplicação. O trabalho apresenta algumas indicações técnicas, fruto das pesquisas realizadas e da normalização em vigor, sem impor pacotes ou soluções finais.

Procura-se, assim, o caminho da adequação da tecnologia às diferentes condicionantes regionais, visto que o aumento da produtividade, a obtenção da redução de custo, e a melhoria da qualidade passam sempre pelas decisões de projeto, decisões estas que só podem materializar-se quando respeitarem a individualidade do projetista.

Considerando que o projeto de peças pré-fabricadas tem procedimento distinto, e muito mais complexo que o projeto convencional, procura-se ilustrar essas particularidades tanto no que se refere à adoção da industrialização como da adoção da argamassa armada como material estrutural.

Portanto os objetivos da pesquisa são delimitados pela definição de sistemas e componentes sob a ótica da pré-fabricação, decorrendo daí indicações de uma metodologia para o desenvolvimento e projeto de componentes, de forma mais abrangente possível, compreendendo:

1. Apresentação de um breve histórico sobre a evolução do material argamassa armada, as indicações de pesquisas realizadas e o referencial de suas aplicações às edificações.
2. A caracterização tecnológica da argamassa armada, suas principais propriedades e seus materiais constituintes.
3. Introdução à industrialização da construção e ao conceito de sistemas e componentes construtivos e sua interação com a tecnologia da argamassa armada.
4. Aspectos relacionados aos processos de produção dos componentes e montagem dos sistemas construtivos em argamassa armada caracterizando uma tipologia apropriada.
5. Estudo de soluções básicas tais como coberturas, forro, vigas, pilares, pisos, painéis de vedação e acabamentos destinados a componentes e subsistemas para edificações.
6. Avaliação do desempenho estrutural e construtivo das soluções propostas, considerando a normalização em vigor.
7. Indicações relativas ao custo do material e seu processo de execução para subsidiar a análise de viabilidade econômica da tecnologia da argamassa armada.
8. Apresentação do projeto de uma unidade escolar, como exemplo, onde todos os aspectos acima possam ser descritos, e analisados, para uma avaliação global.

Em síntese os aspectos fundamentais que realçam a importância do trabalho de pesquisa são:

- a disponibilidade de uma tecnologia de grande versatilidade e elevado potencial de atendimento a requisitos técnicos.
- a necessidade de desenvolvimento da tecnologia para as edificações de pequeno e médio porte, de grande demanda, e com recursos escassos.

CAPÍTULO 2

O MATERIAL: ARGAMASSA ARMADA

A argamassa armada podendo ser vista como tipo particular de concreto armado deve ser objeto de todos os cuidados inerentes a essa tecnologia, além dos estabelecidos na norma¹⁸.

Assim a definição do material é da associação de uma matriz de argamassa de cimento e uma armadura. A argamassa tem, segundo a norma, um limite de 4,8mm para o agregado. Portanto só enquadram, nesta medida, as areias e a pedra britada de diâmetro máximo igual ou menor que 4,8mm, que é conhecida como pedrisco. A armadura se divide em difusa, que são telas de aço, e complementares que são barras e fios de aço. A armadura difusa pode ainda, segundo a norma, ser de tela aço soldada, tecida ou expandida. Neste trabalho é abordado somente a argamassa armada com telas de aço soldada

O conhecimento do comportamento do material tanto com relação a esforços como às influências do meio ambiente, é fundamental para a definição de sua dosagem, e consequentemente, a um relativo controle sobre suas propriedades. Para a matriz de argamassa, na etapa de execução, as propriedades seriam a trabalhabilidade e a consistência. No tocante ao desempenho da argamassa endurecida, pode-se controlar, através da dosagem seu comportamento aos esforços mecânicos, sua permeabilidade e a durabilidade do material. Observando-se também àqueles fenômenos, considerados efeitos colaterais, como fluência retração, e efeito da temperatura.

A adoção da argamassa armada como material adequado para execução de uma obra, ou uma peça especificada no projeto, deve resultar do estudo dos diversos condicionantes preliminares de projeto. Para ilustrar esta idéia apresenta-se uma caracterização tecnológica do material, em relação aos seus similares.

2.1 COMPORTAMENTO DA ARGAMASSA ARMADA

A importância das pesquisas, que objetivam um melhor entendimento, do comportamento da argamassa pode ser enfatizada pela lembrança dos primeiros conceitos emitidos por Lambot. O material constituído pela rede de arames e barras metálicas de tal maneira a formar vigas e pranchas de qualquer tamanho desejado, demonstra, logo de início sua afinidade com as aplicações como pré-moldado. Posteriormente os estudos de Nervi com referência ao comportamento mecânico, a "grande alongabilidade e infissurabilidade adquirida pela argamassa em consequência da extrema subdivisão da armadura" antecipam resultados de alguns estudos sobre o comportamento mecânico do material.

Descritos por Hanai (1987)⁸ estes estudos visam, pelo menos de modo qualitativo, a explicação do comportamento do material. Mostram, através da Mecânica da Fratura para materiais como concreto e argamassa, que a análise do comportamento mecânico na interpretação dos diagramas de tensão-deformação, inicia pela constatação de três fases distintas que são a elástica, elasto-plástica e plástica.

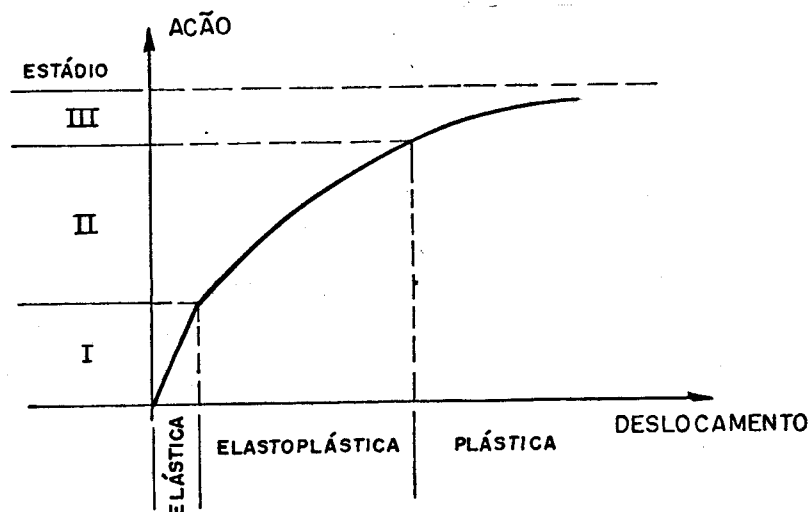


FIGURA 2.1 DIAGRAMA AÇÃO-DESLOCAMENTO TÍPICO⁽²⁾

Segundo Glucklich²⁶ o chamado comportamento plástico seria resultante da microfissuração do material, que acompanha a deformação a partir de um certo nível de sollicitação.

A microfissuração seria o fenômeno de propagação das fissuras a partir de descontinuidades físicas como bolhas, poros, falhas de aderência entre pasta e agregado que podem ser vistas como microfissuras pré-formadas no interior do material. A argamassa, como o concreto, constituem um pseudo sólido constituído de fases sólidas, líquidas e gasosas em equilíbrio o que faz com que o número de bolhas, poros e outras falhas microscópicas seja infinitamente grande, assim é sempre elevado o seu potencial de microfissuração.

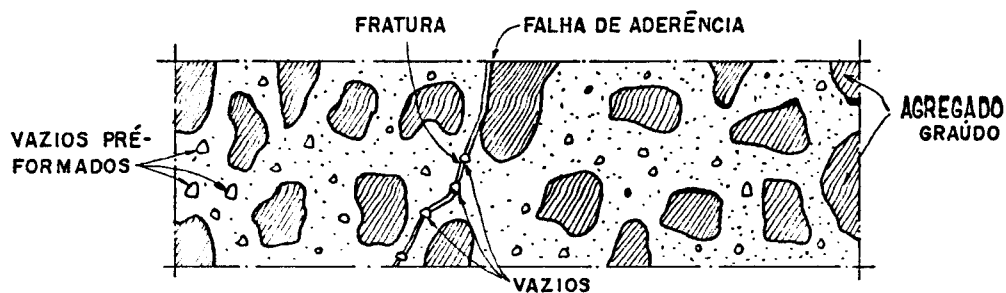


FIGURA 2.2 SUPERFÍCIE DE FRATURA NO CONCRETO ARMADO

Neville (1982)²⁷ ressalta que as falhas tem grande variação de tamanho e somente as maiores é que causam ruptura. A propagação das fissuras a partir de micro ou microfissuras pré-formadas forma um intrincado processo de conexão entre as minúsculas fraturas. Neste processo, as microfissuras procurariam percorrer o caminho de menor demanda energética; assim, em geral, são vencidas primeiro a tensão de aderência entre a pasta e o agregado, depois a resistência da pasta, sendo que raramente as microfissuras penetram nos agregados frequentemente de maior resistência.

A armadura, nesta interpretação, constituiria um obstáculo a ser contornado, exigindo assim maior energia. Isso explica, também, a ação da armadura como obstaculização da propagação de fissuras.

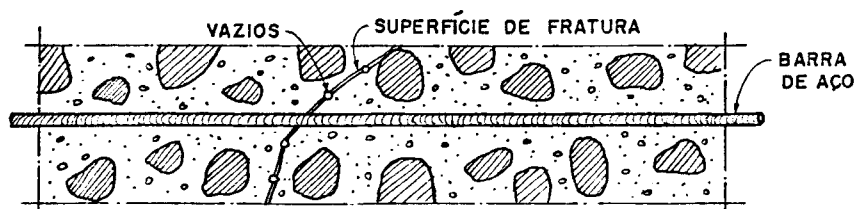


FIGURA 2.3 SUPERFÍCIE DE FRATURA NO CONCRETO ARMADO

No trabalho de Naaman (1970)^{2B} foi observada uma certa correlação linear entre a tensão correspondente a primeira fissura macroscópica (observável) e a superfície específica da armadura na direção da sollicitação, em ensaios de tração simples.

A superfície específica da armadura é definida como a relação entre a superfície da armadura aderente e o volume correspondente de argamassa armada. Como a direção da sollicitação é uma só, adota-se somente a área da superfície aderente da armadura paralela à sollicitação.

A relação encontrada por Naaman, no entanto, como mostra Hanai³ resulta em um consumo muito grande de telas. De forma que, sua citação a essa altura serve apenas para ilustrar o fato, já conhecido do concreto armado, que a adoção de barras ou fios mais finos e pouco espaçados conduz sempre a redução dos efeitos nocivos da fissuração.

Entretanto, no caso das telas soldadas, apesar das vantagens que a subdivisão da armadura proporciona, o alto custo da tela soldada inibe sua aplicação mais intensiva.

O caminho seguido é, então, o da redução do consumo de tela. Assim, cumpre observar atentamente o comportamento das fissuras quanto ao seu espaçamento e abertura em limites considerados aceitáveis.

Evidentemente outras soluções podem contribuir para a redução dos efeitos da fissuração. A distribuição da armadura, apesar de tudo, ainda seria maior que a do concreto armado usual, pois sua característica difusa é mantida. Além do que, as condições de aderência da tela soldada são sempre melhores devido aos pontos de solda, a matriz de argamassa necessariamente mais rica em cimento e de resistência maior. O cobrimento é, também, muito menor. Enfim, a qualidade da infissurabilidade, descrita por Nervi, ainda é mantida.

Nota-se aqui que a argamassa armada com telas de aço soldada, de taxas cada vez mais reduzidas, se aproxima das características do concreto armado. E que o comportamento da argamassa armada resulta, também, da soma e da interação das propriedades dos seus materiais constituintes.

2.2 A MATRIZ DE ARGAMASSA

A argamassa é definida na NBR 11173 como uma "Mistura homogênea composta de cimento portland, agregado miúdo e água, podendo eventualmente conter adições que melhorem suas propriedades."¹⁸⁾

Apesar da aparente simplicidade de seus constituintes: cimento, areia e água a argamassa usada para fins estruturais requer um cuidado maior na sua confecção e conseqüentemente um maior conhecimento de suas propriedades e seu devido proporcionamento.

A principal preocupação atualmente tem sido com a durabilidade. Libório (1990)²⁰⁾ aborda este tema, trazendo uma análise de diversas obras executadas, e recomendando um maior empenho de projetistas e construtores na atenção aos aspectos de concepção e execução da argamassa armada.

É importante lembrar, também, que no caso da argamassa armada, além da função do cobrimento de proteção da armadura e da resistência aos esforços mecânicos e aos demais efeitos externos. Em geral não são usados revestimentos, o que exige da argamassa um desempenho adicional com respeito a sua cor e sua textura, pois sua aparência passa a salientar os requisitos de aspecto estético e tátil do material.

Os materiais constituintes, apesar da facilidade de obtenção, necessitam de cuidados prescritos por norma e de um conhecimento mais consistente de sua atuação na argamassa. Tais informações são familiares aos que usam adequadamente o concreto e para melhores informações pode-se recorrer a autores como: Paulon³⁰⁾, Tezuka³¹⁾, Petrucci³²⁾, Bauer³³⁾ além dos já citados anteriormente.

O proporcionamento ou dosagem dos materiais constituintes da matriz é conhecido como traço. A dosagem mais usada, nas diversas aplicações, até hoje, tem sido a 1:2 em massa, no entanto, sua adoção precisa considerar o local de aplicação e suas particularidades. Apresenta-se no itens 2.2.7 e 2.2.8 estudos experimentais para a dosagem descritos por Agnesini³⁴⁾ e Cunha³⁵⁾ para argamassas sem ou com pedrisco.

Na análise das proporções encontram-se as relações água/cimento e pasta/agregado. A relação água/cimento, ou a/c, exprime a razão entre a massa de água e a do cimento.

A hidratação dos compostos do cimento, C_3S e C_2S , como explica Isala (1985)⁹⁵, formando cerca de 75% do peso total do cimento, resulta em silicatos de cálcio hidratado, também chamados tobermorita que por possuírem propriedades semelhantes a um gel, são chamados de gel de tobermorita. Este é o principal composto hidratado da pasta de cimento endurecido que envolve os grãos de agregados, sendo o principal responsável pelas propriedades da argamassa ou concreto.

A quantidade de água necessária para a hidratação do cimento é de aproximadamente 23% do peso de cimento, ou seja $a/c=0,23$. Como o concreto exige fatores a/c de 0,45 a 0,60 em função da trabalhabilidade ou da resistência necessária, uma parte desse excesso de água é fixada por adsorção aos microcristais daí resultando um hidrogel rígido, de estrutura extremamente complexa. Essa parcela de água adsorvida constitui a chamada água evaporável A_e no exemplo da figura 2.4, apresentado por Fusco⁹⁶. A água que resta, chamada de água capilar A_c fica dispersa na matriz de hidrogel rígido, formando uma rede capilar. A evaporação desta água capilar pode ocorrer em função do equilíbrio higrométrico da massa de concreto com o meio ambiente, produzindo-se forças capilares que aumentam a medida que se processa a evaporação da água, pois os meniscos vão se formar em capilares de diâmetros cada vez menores.

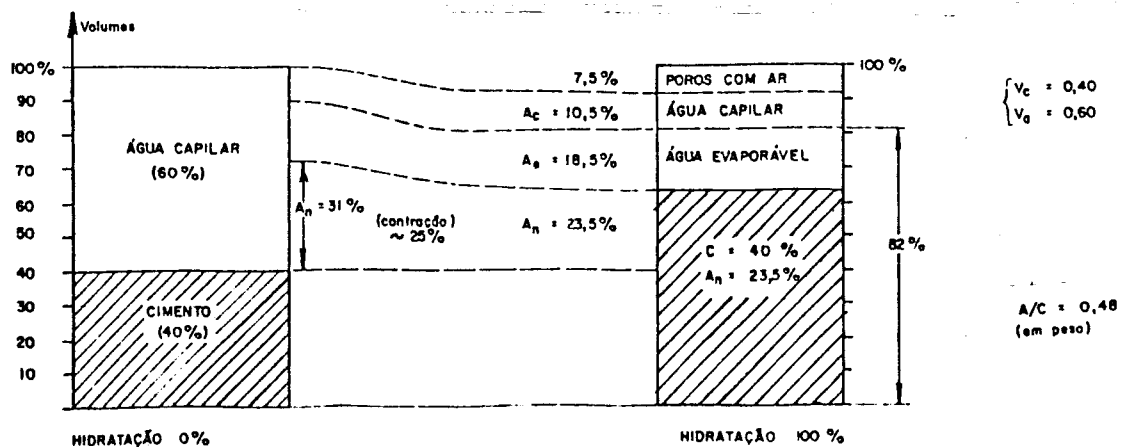


FIGURA 2.4 RETRAÇÃO QUÍMICA (96)

No caso da argamassa para argamassa armada, são as propriedades físicas e químicas da argamassa que tem interferência direta na durabilidade, como já se salientou, que tem sido mais destacadas. Neste aspecto, este assunto será retomado, quando do estudo da dosagem, mais adiante.

Quanto a relação pasta/cimento, embora sua importância seja menor que a do fator a/c, constata Neville²⁷, que para a relação a/c mantida constante a resistência mecânica é maior para concretos mais pobres.

2.2.1 RESISTÊNCIA MECÂNICA

A resistência mecânica a esforços de compressão ou de tração, assim como no concreto, é a qualidade mais facilmente obtida, quando os devidos cuidados são tomados.

Fundamentalmente a resistência depende da relação a/c mas também da relação pasta/agregado e das propriedades dos agregados como granulometria, forma, textura e resistência. A maior influência do fator a/c é atribuída ao fato de que ela determina a porosidade da pasta de cimento endurecida; quanto menor a porosidade, maior a resistência da pasta e consequentemente da argamassa.^[32]

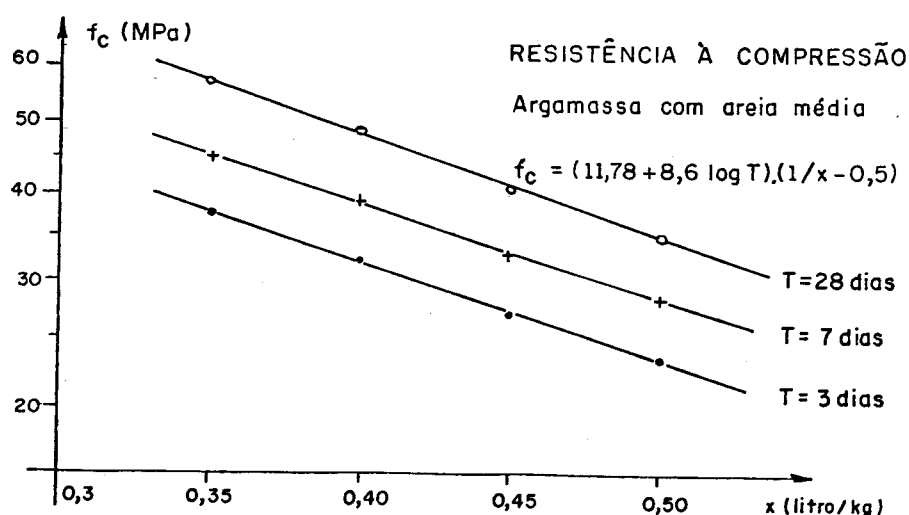


FIGURA 2.5 RESISTÊNCIA EM FUNÇÃO DA RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO^[34]

O estudo mais detalhado dos fatores que influenciam a resistência da argamassa mostram que, além do fator a/c, deve-se também atentar para a consistência e cura da argamassa, o que implica em observar cuidadosamente o controle da umidade da areia e os efeitos da temperatura. A figura 2.6 ilustra a relação da resistência a compressão e o fator a/c para diferentes adensamentos.

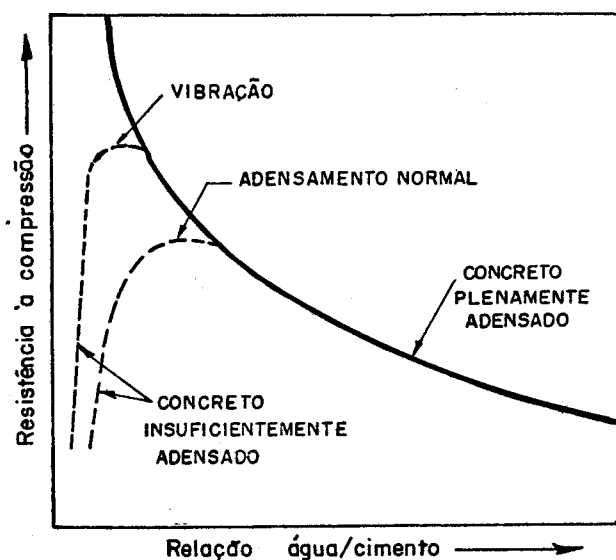


GRÁFICO DE ABRAMS

FIGURA 2.6 RESISTÊNCIA EM FUNÇÃO DA RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO [3]

As experiências e aplicações, do Grupo de São Carlos, para argamassas de cimento e areia, em traços onde o consumo de cimento é da ordem de 520 a 800 kg/m³ e relação a/c entre 0,38 e 0,48, a resistência a compressão dos corpos-de-prova de argamassa, moldados e ensaiados de acordo com a NBR7215³⁷ apresentam resultados entre 25 e 50 MPa. Esta resistência é considerada suficiente em grande parte dos casos práticos.

Até o momento nas obras e em componentes, executados em argamassa armada, tem-se aproveitado a experiência do concreto. Estudos específicos sobre argamassa, ainda são necessários, para uma evolução do material e sua aplicação. Por outro lado, a evolução do concreto, neste aspecto, com o aparecimento dos concretos de alta resistência, sugerem aos pesquisadores novas possibilidades de desenvolver argamassas de maior resistência. Pode-se esperar que a evolução destes estudos tenha reflexos positivos para a argamassa armada.

2.2.2 MÓDULO DE DEFORMAÇÃO LONGITUDINAL À COMPRESSÃO

Os agregados e a pasta de cimento quando submetidos isoladamente a tensões, têm comportamento sensivelmente linear. No concreto ou na argamassa, a curvatura no diagrama tensão deformação, indicativo de sua plasticidade, seria decorrência da microfissuração descrita em 2.1. O agregado apresenta módulo de deformação maior que o da pasta de cimento, portanto uma menor quantidade de agregado implica na redução do módulo da argamassa.

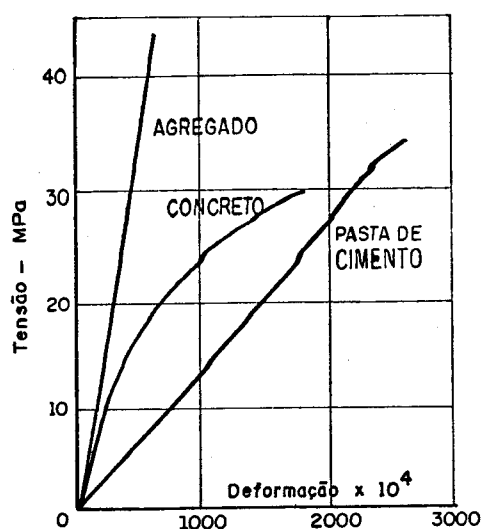


FIGURA 2.7 CURVA TENSÃO-DEFORMAÇÃO DOS CONSTITUINTES [27]

A denominação de módulo de deformação, substitui assim o conceito de módulo de elasticidade mais apropriado para os materiais que tem comportamento elástico.

São definidos dois tipos de módulo de deformação:

1. Módulo de deformação longitudinal tangente na origem ou $E_{co} = \text{tg } \phi_0$. De difícil determinação, sendo obtido na maioria das vezes por vias indiretas.
2. Módulo de deformação longitudinal secante, representado pela tangente do ângulo que a secante no ponto considerado forma com as abscissas, ou seja, $E_{ca} = \text{tg } \phi_a = f_a / \epsilon_a$. É de grande significação prática por ser o mais empregado no cálculo de deformações em estruturas com ações de serviço, que provocam tensões não superiores a 40% da resistência de ruptura ($f_{c \text{ rup}}$).

A figura 2.8, abaixo, indica os elementos necessários a obtenção dos módulos como descrito anteriormente:

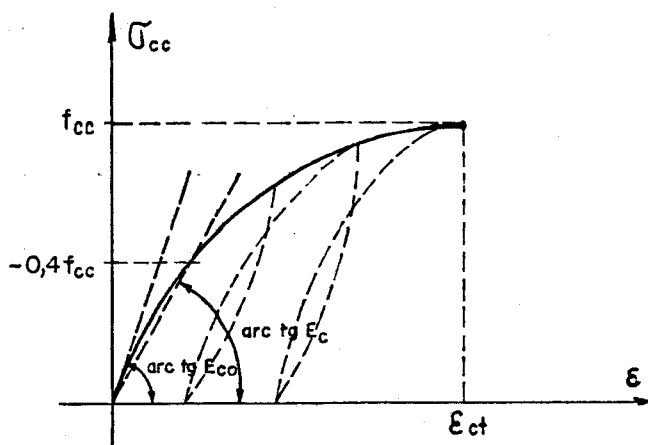


FIGURA 2.8. DIAGRAMA TENSÃO-DEFORMAÇÃO DO CONCRETO ^[36]

Entre os diversos diagramas tensão-deformação, que corresponderiam as diversas resistências a compressão do concreto, as normas procuram estabelecer um critério comum no projeto de estruturas. No caso do concreto armado, a norma NBR 6118 ³⁷ no item 8.2.4, adota para o dimensionamento o diagrama tensão-deformação à compressão simplificado como mostra a figura 2.9:

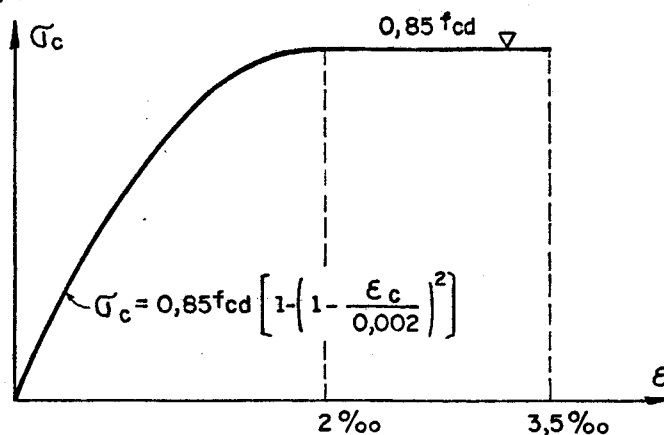


FIGURA 2.9. DIAGRAMA TENSÃO-DEFORMAÇÃO SIMPLIFICADO ^[37]

A norma de argamassa armada, no seu item 4.1.2.2.2, com respeito ao módulo de deformação, prescreve:

"Na falta de determinação experimental, pode-se adotar:

- diagrama tensão-deformação conforme o disposto na NBR 6118
- módulo de deformação longitudinal à compressão igual a 80% do valor calculado conforme o disposto na NBR 6118, para cálculo do módulo tangente."

2.2.3 RETRAÇÃO

As deformações do concreto, além das devidas a ação do carregamento, ocorrem simultaneamente, sob ação de carga ou não, e são atribuídas a diversos fatores que para efeito de análise podem ser divididas em intrínsecas ou inerentes ao próprio concreto (retração, expansão), deformações térmicas e as produzidas por cargas externas (elásticas e lentas ou a fluência).

Embora atuem ao mesmo tempo, e as deformações se somem, a retração ou expansão e a fluência costumam ser abordadas separadamente.

A expansão ocorre quando a pasta de cimento é curada continuamente sob água, ou na cura por imersão. A expansão é devida a absorção de água pelo gel de cimento e as moléculas de água atuam contra as forças de coesão e tendem a afastar as partículas de gel. A expansão linear da pasta pura é da ordem de 1 a 2mm/m.

Dentre os fenômenos que causam deformação, no concreto ou na argamassa, a retração tem uma importância acentuada no caso da argamassa armada devido ao elevado teor de cimento, e a característica de grande superfície exposta e de pequena espessura.

A retração, pode ainda ser subdividida em retração plástica quando ocorre antes da pega do cimento e é acentuada pela evaporação da água na superfície, e também devido ao consumo de cimento. Nesta fase plástica tem-se, também a ação da sedimentação, que corresponde a um assentamento do concreto devido a ação da gravidade, resultando em uma retração vertical. O concreto no estado plástico tem, assim, uma redução de volume na pasta de cimento da ordem de 1% do volume absoluto do cimento seco.

A retração hidráulica ou por secagem, é a mais importante e se relaciona ao equilíbrio higrotérmico. Varia diretamente com a área exposta e quantidade de água de amassamento e inversamente com a umidade relativa ambiente.

Observa-se relações proporcionais - entre o fator a/c e a retração, e - entre o teor de pasta e a retração, por outro lado o teor de agregados é inversamente proporcional, assinalando a preocupação com as argamassas onde a quantidade de cimento é sempre relativamente maior que no concreto. O gráfico mostrado na figura 2.10, de autoria de Orchard, citado por Fusco³⁶, mostra a evolução da retração no tempo.

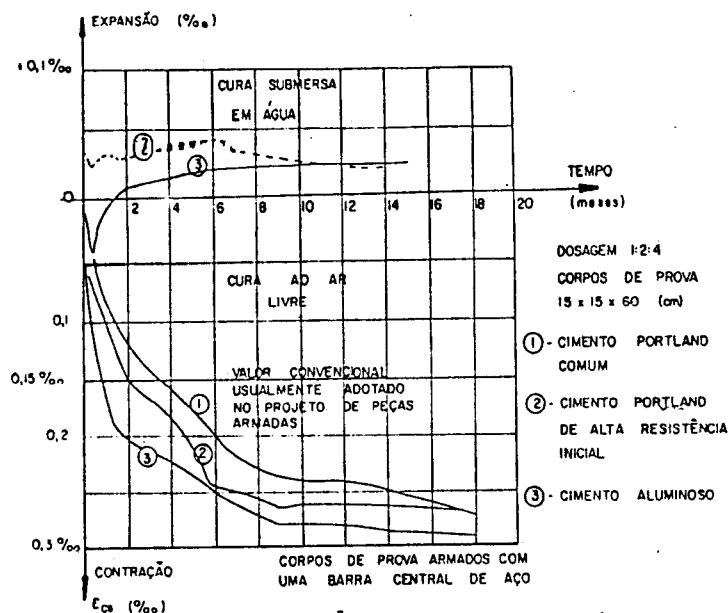


FIGURA 2.10 RETRAÇÃO - CONCRETO ARMADO [36]

Outra forma é a retração por carbonatação atribuída a reações químicas que provocam a diminuição do volume. Seria decorrente do gás carbônico da atmosfera que transformado em ácido carbônico, em presença da água, reage com o hidróxido de cálcio formando carbonato de cálcio. Esse fenômeno ocorre ao longo do tempo, da superfície para o interior da peça, sendo que o hidróxido de cálcio é impelido aos vazios capilares onde ocorre a carbonatação. Os efeitos são de grande importância na proteção das armaduras contra a corrosão.

Os efeitos da retração constituem a principal preocupação na aplicação da tecnologia da argamassa armada. Nas aplicações em fábricas, além da redução do teor de água e de cimento, a solução adotada tem sido a cura por imersão, em duas etapas, antes e depois da retirada das fôrmas. Outra alternativa seria a aplicação da cura a vapor. [56]

2.2.4 FLUÊNCIA

Sob a ação de cargas de longa duração, concretos e argamassas sofrem deformações ao longo do tempo, devidas à fluência. Seu valor é admitido como a diferença entre a deformação total menos a deformação por retração no elemento sem carga. Assim, algumas tendências de comportamento vistas para a retração seriam válidas também para a fluência.

A fluência é maior quanto maior o teor de pasta, e também diretamente proporcional à superfície exposta em relação ao volume, devido à umidade relativa do ambiente.

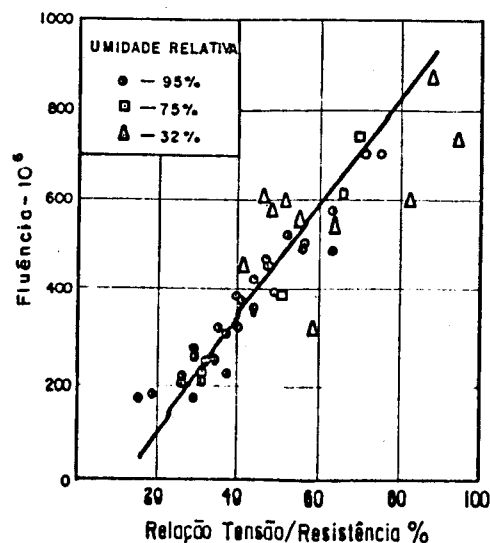


FIGURA 2.11 FLUÊNCIA DE CORPOS DE PROVA DE ARGAMASSA CURADOS E CONSERVADOS CONTINUAMENTE A DIVERSAS UMIDADES [27]

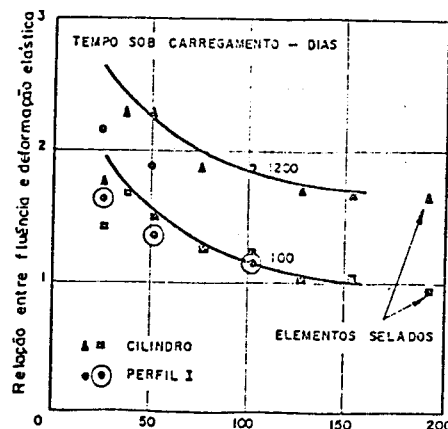


FIGURA 2.12 RELAÇÃO ENTRE FLUÊNCIA E DEFORMAÇÃO ELÁSTICA EM FUNÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE VOLUME E ÁREA SUPERFICIAL [27]

2.2.5 PERMEABILIDADE

A permeabilidade dos concretos e argamassas é uma propriedade essencial, pois relaciona-se à sua capacidade de resistir à passagem de água e também à penetração de líquidos e gases nocivos ao seu interior garantindo sua integridade. Tem portanto, grande influência na durabilidade

A porosidade dos agregados e da pasta de cimento são os fatores que definem a permeabilidade dos derivados de cimento. Nas argamassas a maior quantidade de pasta, poderia induzir à conclusão de que seriam mais permeáveis. Contudo, salienta Hanai^[3], que para baixas relações a/c a porosidade capilar da pasta de cimento endurecida é bastante reduzida, conferindo assim à argamassa a qualidade de material "menos permeável", uma virtude sempre citada em relatos diversos.

O gráfico 2.13, Neville²⁷, mostra a relação entre a permeabilidade e o fator a/c de pastas endurecidas (93% de cimento hidratado).

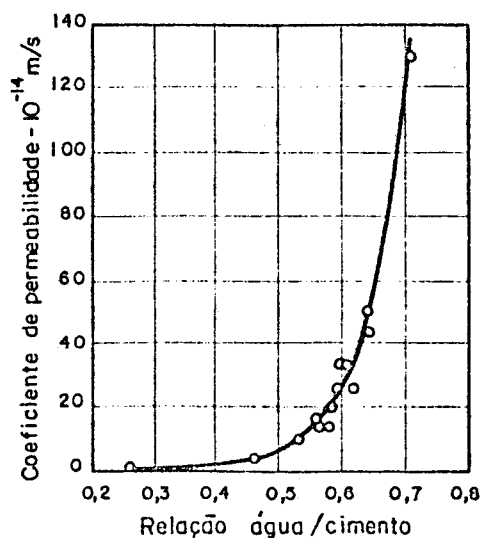


FIGURA 2.13 RELAÇÃO ENTRE PERMEABILIDADE E FATOR A/C PARA PASTAS ENDURECIDAS^[27]

As considerações mais importantes sobre os cuidados necessários a permeabilidade das argamassas seriam então: manter o mais baixo fator a/c; com o consumo mais elevado de cimento; granulometria adequada do agregado; bom adensamento e cura adequada.^[3]

2.2.6 ADITIVOS

Os aditivos são definidos, por Falcão Bauer⁽²³⁾, como "todo produto não indispensável à composição e finalidade do concreto (ou argamassa), que colocado na mistura, em quantidade geralmente pequena e bem homogeneizado, faz aparecer ou reforça certas características."

Quanto à classificação, propõe os grupamentos abaixo, tendo como base as finalidades procuradas pela sua aplicação

- para melhorar a plasticidade:
 - Plastificantes redutores
 - Incorporadores de ar
 - Dispersantes ou fluidificantes
- modificadores das resistências mecânicas:
 - Redutores plastificantes
- modificadores das resistências a condições de exposição
 - Incorporadores de ar
- modificadores de tempo de pega e endurecimento
 - Retardadores
 - Acceleradores
- impermeabilizantes
 - Repelentes à absorção capilar
 - Redutores de impermeabilidade
- expansores
 - Geradores de gás
 - Estabilizadores de volume
 - Geradores de espuma
- adesivos
- anticorrosivos
- corantes
- fungicidas, germicidas e inseticidas

Muitas outras finalidades podem ser listadas: o uso de aditivos, no entanto, deve resultar de cuidadoso estudo tanto econômico como técnico pois os efeitos não são proporcionais às doses, os aditivos podem ter efeitos secundários, podendo, ainda, ser contra-indicados em alguns casos.

2.2.7 DOSAGEM PARA A MATRIZ DE ARGAMASSA

O trabalho de Agnesini (1988)³⁴ apresenta uma proposta de dosagem onde sugere diretrizes para a determinação do traço em peso, através de um processo experimental, tal que a matriz satisfaça os requisitos de resistência mecânica, consistência e durabilidade. A durabilidade, neste caso, leva em conta o tipo de estrutura e o grau de exposição.

A proposta é recomendável apenas para peças pré-fabricadas, onde se possa ter um controle, visando a economia de cimento.

A única condição imposta é estabelecer um consumo mínimo de 500 kg de cimento por m³. Esse teor mínimo deve-se à análise dos resultados obtidos nos ensaios de permeabilidade e verificação da qualidade do cobrimento quanto à proteção da armadura contra a corrosão. Nos casos onde o consumo de cimento necessita ser aumentado, nas condições mais extremas de exposição das estruturas o teor de cimento deverá ser limitado a 700 kg/m³, para evitar retração excessiva e a consequente necessidade de uma cura muito cuidadosa e excessivamente prolongada.

2.2.7.1 Determinação do fator a/c p/ critério da resistência

Adotando: $x_p = a/c$:

A resistência da argamassa aos T dias de idade pode ser expressa pela expressão:

$$f_c = (a + b \cdot \log T) \cdot (1/x_p - 0,5) \quad (2.1)$$

Onde os coeficientes a e b são determinados quando se conhece os valores do primeiro termo da 2.1 para duas idades como obtido por Agnesini³⁴ para os quatro tipos de areia:

- a. areia muito fina: $f_c = (8,82 + 7,24 \cdot \log T) \cdot (1/x - 0,5)$
- b. areia fina: $f_c = (8,78 + 7,65 \cdot \log T) \cdot (1/x - 0,5)$
- c. areia média: $f_c = (11,78 + 8,60 \cdot \log T) \cdot (1/x - 0,5)$
- d. areia grossa: $f_c = (13,29 + 8,72 \cdot \log T) \cdot (1/x - 0,5)$

Para a resistência característica a norma NBR 6118, no Item 8.3.1.2 Resistência de dosagem, prescreve:

$$f_{cj} = f_{ck} + 1,65 s_d \quad (2.2)$$

Quando conhecido o desvio padrão s_d , determinado pela expressão $s_d = k_n \cdot s_n$ onde k_n depende do número n de ensaios e s_n é o desvio padrão.

Não se tomará para s_d valor inferior a 2 MPa, portanto o mínimo admissível para a expressão 2.2 será:

$$f_{cj} = f_{ck} + 3,3 \quad [\text{MPa}] \quad (2.3)$$

Se não for conhecido o desvio padrão s_n , o construtor indicará, para efeito de dosagem inicial, o modo como pretende conduzir a construção, de acordo com o qual será fixado o desvio padrão s_d . Onde s_d poderá assumir os valores $s_d = 4, 5,5$ ou 7 MPa.

A norma de argamassa armada no seu Item 7.1.3.1 prescreve: Para a dosagem experimental aplica-se o preconizado na NBR 6118, ressalvado o disposto em 8.3.1.2, onde está prescrito: A relação a/c máxima admitida é de 0,45.

No sentido de fixar alguns valores representativos e exemplificar o critério, apresentamos a tabela 2.14, onde adotamos as expressões sugeridas por Agnesini³⁴ para o caso da areia média (zona 3), e fatores $x = a/c$ entre 0,36 e 0,45

$$f_{c28} = 24,226 \cdot (1/x - 0,5)$$

e $f_{ck} = f_{c28} - 5 \quad [\text{em MPa}] \quad (2.4)$

x_r	f_{c28}	f_{ck}
0,36	55	50
0,37	53	48
0,38	52	47
0,39	50	45
0,40	48,5	43,5

x_r	f_{c28}	f_{ck}
0,41	47	42
0,42	45,5	40,5
0,43	44	39
0,44	43	38
0,45	42,5	37,5

FIGURA 2.14 TABELA DE RESISTÊNCIAS EM FUNÇÃO DO FATOR a/c

2.2.7.2 Determinação do fator x_p / critério da durabilidade

Chamando de $x_d = a/c$ o fator dependente das condições da durabilidade que são o tipo de revestimento e condição de exposição. Agnesini apresenta o quadro 2.15 de onde se obtém diretamente o fator x_d :

PEÇAS COM COBRIMENTO \leq 6mm COBRIMENTO $>$ 6mm	CONDIÇÕES DE EXPOSIÇÃO		
	PROTEGIDA	MODERADA	SEVERA
	0,44	0,40	0,36
	0,48	0,44	0,40

FIGURA 2.15 FATOR a/c MÁXIMOS PARA AS DIVERSAS CONDIÇÕES

Os revestimentos considerados adequados deverão ser:

4mm em ambientes protegidos

6mm em ambientes moderados

2.2.7.3 Determinação do traço em peso 1:a:x

Definido o fator $x = a/c$ como o menor valor entre x_p e x_d a quantidade de areia (a) a ser usada na argamassa será tal que resulte na consistência adequada, de acordo com a trabalhabilidade requerida pelas condições de execução das peças pré-fabricadas, tais como espessura, tipo e distribuição das armaduras (densidade da armadura), equipamentos utilizados no lançamento e adensamento da argamassa.

Como valores de referência Agnesini³⁴ indica os seguintes traços em massa, nos quais o valor de a poderá sofrer pequenas alterações, de acordo com a consistência desejada:

cimento: areia: fator a/c

1 : 1,75 : $x = 0,36$

1 : 2,00 : $x = 0,40$

cimento: areia: fator a/c

1 : 2,50 : $x = 0,44$

1 : 2,75 : $x = 0,48$

O consumo de cimento c é obtido pela expressão:

$$c = \frac{1000}{\frac{1}{\gamma_c} + \frac{a}{\gamma_a} + x}$$

(2.5)

onde γ_c = massa específica do cimento (médio 3,15)

γ_a = massa específica da areia (médio 2,65).

2.2.8 DOSAGEM PARA A MATRIZ DE ARGAMASSA COM PEDRISCO

Outra proposta de dosagem, foi apresentada recentemente por Cunha¹⁵, em sua dissertação de mestrado, onde mostra as vantagens da adição de pedrisco à argamassa. Neste caso usa-se também a denominação de microconcreto.

A proposição está fundamentada nos seguintes aspectos: o uso de agregado graúdo com maior diâmetro máximo possível conduz a dosagens mais econômicas do concreto. Por outro lado a resistência à compressão e conseqüentemente o módulo de deformação longitudinal aumentam com o decréscimo do tamanho do agregado.

Quanto à resistência à tração do microconcreto verificou-se que é um pouco menor que o concreto de resistência à compressão equivalente. Quanto aos efeitos da retração o microconcreto situa-se entre a argamassa e o concreto.

Com respeito ao módulo de deformação longitudinal, as deformações, na fase elástica são maiores, portanto, apresentando um módulo mais baixo. A evolução do módulo em função da resistência à compressão é função também do diâmetro máximo do agregado, segundo a relação:

$$E = 50000 \left(\sqrt[3]{f_c - 1,5 + 1,2 \log \phi_{\text{máx}}} \right) \quad [\text{kg/cm}^2]$$

Comparando os módulos verifica-se que o microconcreto tem sempre valores de 75% a 85% do módulo do concreto.

A porosidade do microconcreto é maior do que a apresentada pelo concreto convencional e varia inversamente com o $\phi_{\text{máx}}$. Isso é explicado pelo aumento da superfície específica com a diminuição do $\phi_{\text{máx}}$ e o conseqüente aumento da quantidade de água de amassamento. A maior quantidade de água significará um excesso sobre a água necessária para a hidratação do cimento, assim, essa água excedente, ao sair por evaporação, deixará vazios no seu lugar, conferindo a massa uma constituição mais porosa, mais deformável, quando submetida a ação de carga e mais suscetível à retrações, mesmo assim, em grau menor que ocorre no concreto.

2.3 ARMADURAS

A argamassa armada, como citado, tem duas classes de armadura:

- armadura difusa, constituída de telas de aço;
- armadura discreta, constituída de fios e barras de aço de diâmetro máximo 8mm.

A função da armadura difusa é de limitar a abertura de fissuras ou de microfissuras e auxiliar na resistência aos esforços de tração e cisalhamento.

Neste trabalho aborda-se somente as armaduras difusas constituídas por telas soldadas. Entretanto outros tipos de telas podem ser usados, como mostra o histórico do material. A tela de aço expandida, por exemplo, é indicada pelo trabalho de Barboza Lima⁶⁴, tanto como armadura difusa como auxiliar da tela soldada no combate à fissuração.

A armadura discreta, também chamada de complementar tem a função de suprir as necessidades de determinada seção transversal de armadura para resistir aos esforços de tração e cumprir os requisitos de segurança a ruptura e limitação de deformações.

Descreve-se, a seguir, as particularidades referentes às armaduras em telas soldadas e complementares.

2.3.1 TELAS

As telas soldadas disponíveis atualmente para uso em argamassa armada podem ser fornecidas pela Telcon S.A. e Siderúrgica Belgo-Mineira, segundo Monteiro de Barros em trabalho apresentado no I Simpósio de argamassa armada¹⁸³, "o IBTS - Instituto Brasileiro de Telas Soldadas foi criado como uma instituição sem fins lucrativos destinada a divulgar a tela soldada, pesquisar seu desenvolvimento, elaborar trabalhos técnicos e assessorar empresas e profissionais ligados a construção civil na adequada utilização de telas soldadas."

Segundo o catálogo distribuído pelo IBTS as telas disponíveis atualmente seriam as mostradas na Tabela 2.16.

ORDEM	DESIGNAÇÃO	ESPAÇAMENTO ENTRE FIOS		DIÂMETRO DOS FIOS		SEÇÃO DOS FIOS		PESO kgf/m ²
		LONG.	TRANSV.	LONG.	TRANSV.	LONG.	TRANSV.	
		cm	cm	mm	mm	cm ² /m	cm ² /m	
01	EQ 98	5,0	x 5,0	2,5	x 2,5	0,98	x 0,98	1,54
02	EQ120	5,0	x 5,0	2,76	x 2,76	1,20	x 1,20	1,89
03	EQ141	5,0	x 5,0	3,0	x 3,0	1,41	x 1,41	2,22
04	EL126	2,5	x 5,0	2,0	x 2,0	1,26	x 0,63	1,48
05	EL196	2,5	x 5,0	2,5	x 2,5	1,96	x 0,98	2,31

TABELA 2.16 TELAS SOLDADAS PARA ARGAMASSA ARMADA

As telas de aço soldadas são fabricadas de acordo com a norma específica NBR 7481⁹⁸.

A NBR 11.173 define no Item 3.3 Malha como a figura geométrica plana que define a posição dos fios, ou lâminas, das telas, caracterizada pelo polígono cujos lados coincidem com os eixos desses fios, como mostra a figura 2.17, onde:

- n : Número de telas
- ϕ_l : Diâmetro do fio longitudinal
- ϕ_t : Diâmetro do fio transversal
- a_l : Espaçamento entre fios longitudinais
- a_t : Espaçamento entre fios transversais
- h : espessura da peça.

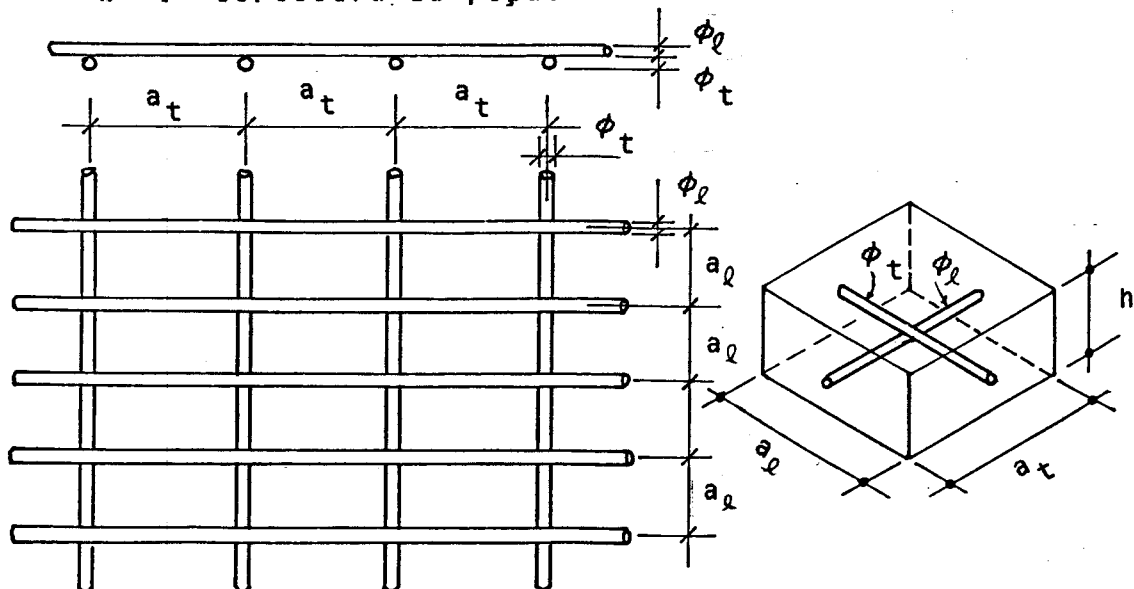


FIGURA 2.17 a) FIGURA 2 DA NBR 11.173

b) PERSPECTIVA

2.3.11 SUPERFÍCIE ESPECÍFICA PARA A ARMADURA DE TELAS

A superfície específica da armadura unidirecional $A_{s\ell}$ é definida como a relação entre a superfície da armadura aderente e o volume correspondente de argamassa armada. Como descrito no item 2.1, para uma só direção, adota-se somente a área da armadura nesta direção.

Determina-se seu valor através da expressão:

$$A_{s\ell} = \frac{A}{V} = \frac{n \cdot \pi \cdot \phi_{\ell}}{h \cdot a_{\ell}} \quad (2.1)$$

Para a superfície específica da armadura total A_s considera-se a armadura nas duas direções, resultando em:

$$A_{s\ell} = \frac{n \cdot \pi}{h} \left[\frac{\phi}{a} + \frac{\phi_t}{a_t} \right] \quad (2.2)$$

As telas de aço soldadas disponíveis, segundo a tabela 2.15, apresentam diâmetros dos fios (ϕ) de 2,0 - 2,5 - 2,76 e 3,0 mm, sempre iguais nas duas direções, assim $\phi = \phi_{\ell} = \phi_t$ e malhas de espaçamentos longitudinal (a_{ℓ}) de 2,5 ou 5,0 cm e transversal de 5,0 cm.

Portanto pode-se particularizar a expressão 2.2 para o caso de telas soldadas, considerando que sempre $a_t = 50$ mm, temos duas situações possíveis:

1. Quando os espaçamentos forem iguais ($a_{\ell} = a_t = 50$ mm)

$$A_{s\ell} = \frac{n \cdot \pi \cdot \phi}{25 \cdot h} \quad [\text{mm}^{-1}] \quad (2.3)$$

2. Quando forem diferentes ($a_{\ell} = 25$ mm e $a_t = 50$ mm)

$$A_{s\ell} = \frac{3 \cdot n \cdot \pi \cdot \phi}{50 \cdot h} \quad [\text{mm}^{-1}] \quad (2.4)$$

2.3.12 VOLUME ESPECÍFICO DA ARMADURA DE TELAS

Para a determinação do consumo de tela por metro cúbico de argamassa utiliza-se o volume específico de armadura ν definido como a relação entre o volume de aço das telas pelo volume de concreto. Portanto, $\nu = V_s/V_c$ que no caso de tela quadrada ou retangular resulta em:

$$\nu = 25 (\phi_l \cdot A_{sl1} + \phi_t \cdot A_{sl2}) \quad [\text{em \%}] \quad (2.5)$$

2.3.13 CONSUMO DE ARMADURA DE TELAS

O consumo de telas por metro cúbico de argamassa C_s pode ser obtido através da expressão:

$$C_s = \frac{m_s}{V} = \frac{\gamma_s \cdot V_s}{V} \quad \therefore C_s = \gamma_s \cdot \nu_s \quad (2.6)$$

onde: m_s é a massa específica do aço

γ_s a densidade da armadura $\Rightarrow \gamma_s = 78,50$

e a unidade é kg/m^3 para ν em percentual.

2.3.13 TAXA DE ARMADURA

A taxa de geométrica de armadura ρ é definida como a relação entre o área de armadura e a área de argamassa armada em determinada seção transversal. Seu valor, expresso em percentual, pode ser obtido pela expressão:

$$\rho = \frac{A_s}{A_c} = \frac{n \cdot \pi \cdot \phi^2}{4 \cdot h \cdot a} \cdot 100 \quad \text{ou} \quad \rho = 25 \cdot \phi \cdot A_{sl1} \quad (2.7)$$

NBR 11.173 Item 6.3.2.1 Armadura mínima de telas de aço

Qualquer parte da seção transversal deve apresentar:

- uma tela de aço, no caso de $h < 20$ mm;
- duas telas de aço no caso de $h > 20$ mm;
- $\rho = 0,30$ % em cada direção analisada.

2.3.14 CONSUMO DE AÇO PARA TELAS SOLDADAS

Usando as expressões 2.1 a 2.7 elaboramos as tabelas da figura 2.18, que ilustram os possíveis valores do consumo de armadura em kg/m^3 . Tendo em vista as disponibilidades de tela e as prescrições da NBR 11.173 com respeito a espessura mínima (12 a 40 mm) e a limitação do item 6.3.2.1 quanto ao número de tela em função da espessura. Mesmo lembrando que tais valores de consumo representam elementos planos, ainda assim, são significativos para uma idéia do consumo de tela.

Temos então, no caso das telas soldadas citadas um consumo mínimo de 74 kg/m^3 para uma tela e 231 kg/m^3 , no máximo para o caso de duas telas, abrangendo grande maioria dos casos, para peças planas.

A exigência de uma taxa mínima de 0,30 % é atendida em todos os exemplos das tabelas da figura 2.18.

TELA	ϕ	$a_l \times a_t$	h=12mm	14	16	18	20
EL126	2,0	25 x 50	123,31	105,69	92,48	82,21	73,98
EL196	2,5	25 x 50	192,67	165,14	144,50	128,45	115,60
EQ98	2,5	50 x 50	128,45	110,10	96,33	85,63	77,07
EQ120	2,76	50 x 50	156,55	134,19	117,41	104,37	93,93
EQ191	3,0	50 x 50	184,96	158,54	138,72	123,31	110,98

FIGURA 2.18 a) CONSUMO DE TELA (C_s em kg/m^3) PARA UMA TELA

TELA	ϕ	$a_l \times a_t$	h=20mm	25	30	35	40
EL126	2,0	25 x 50	147,97	118,38	96,65	84,55	73,98
EL196	2,5	25 x 50	231,20	184,96	154,13	132,12	115,60
EQ98	2,5	50 x 50	154,13	123,31	102,76	88,08	77,07
EQ120	2,76	50 x 50	187,86	150,29	125,24	107,35	93,93
EQ191	3,0	50 x 50	221,95	177,56	147,97	126,83	110,98

FIGURA 2.18 b) CONSUMO DE TELA (C_s em kg/m^3) PARA DUAS TELAS

2.3.2 ARMADURAS COMPLEMENTARES

As armaduras complementares a serem usadas na argamassa armada são as armaduras correntemente usadas para o concreto armado, portanto de acordo com a NBR 7480/85³⁰.

A NBR 11.173/89 prescreve o seguinte:

" Armadura - Arranjo físico

O diâmetro das barras e fios da armadura complementar não deve ser maior que 1/4 da espessura da peça, nem maior que 8 mm."

Portanto as armaduras disponíveis são as mesmas do concreto armado, mas limitadas ao diâmetro de 8 mm. A figura 2.19 transcreve a tabela de barras e fios da NBR 7480/85³⁰ suprimindo as bitolas superiores a 8 mm.

A NBR 7480/84³⁰ classifica as armaduras em barras e fios, conforme transcrito abaixo:

Para os fins desta Norma, classificam-se como barras os produtos de diâmetro 5 mm ou superior, obtidos por laminação a quente ou laminação a quente e encruamento a frio, e como fios os de diâmetro 12,5 mm ou inferior obtidos por trefilação ou processo equivalente. (por ex.: estiramento).

a) A categoria CA-60 aplica-se somente para fios.

DIÂMETRO		MASSA L. EXATA [kg/m]	VALOR NOMINAL PARA CÁLCULO		
FIOS [mm]	BARRAS [mm]		ÁREA DA SEÇÃO [cm ²]	MASSA LINEAR [kg/m]	PERI- METRO [cm]
3,2		0,0624	0,080	0,063	1,00
4		0,0988	0,125	0,100	1,25
5	5	0,157	0,200	0,160	1,60
6,3	6,3	0,248	0,315	0,250	2,00
8	8	0,393	0,50	0,40	2,50

FIGURA 2.19 RESUMO DA TABELA 2 DA NBR 7480/85 ATÉ 8 mm.

2.4 CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DA ARGAMASSA ARMADA

A escolha da argamassa armada como material adequado a determinada aplicação irá depender das condicionantes de projeto e da sua adequação tecnológica, como foi comentado.

No entanto a primeira idéia que ocorre, diante das possibilidades de uso dos diversos materiais estruturais disponíveis é situar a argamassa armada em relação às opções mais conhecidas e com as quais o projetista pode avaliar a conveniência da adoção ou não do material.

Ilustrando através da matriz de materiais estruturais, similares, mostrada na figura 2.20, desde o concreto simples até o aço, passando por diversas associações de matriz de cimento e armadura de aço pode-se analisar as diferentes combinações possíveis.

material	CONCRETO SIMPLES	CONCRETO ARMADO	CONCRETO PROTENDIDO	CONCRETO C/ FIBRAS	ARGAMASSA ARMADA	ESTRUTURA DE AÇO	
descrição	cimento portland + agregados	com fios e barras de aço	C.A. com armadura ativa	C.A. com fibras descontinuas	com tela de fios de aço	de perfis de aço	
M A T R I Z	tipo de agregado	miúdo + graúdo	miúdo + graúdo	miúdo e/ou graúdo	só miúdo	-	
	consumo cimento	200-300 kg/m ³	250-400 kg/m ³	300-500 kg/m ³	300-600 kg/m ³	500-700 kg/m ³	-
	fator a/c	0,50-0,80	0,45-0,80	0,30-0,85	0,30-0,50	0,36-0,48	-
A R M A D U R A S	tipo	-	fios e barras de aço	cordoalha de fios aço espec	fios de aço curtos descontin.	tela soldada ou peneira	perfis metálicos Industr.
	taxa de armadura	-	80 - 100 kg/m ³	80 - 120 kg/m ³	50 - 100 kg/m ³	100 - 300 kg/m ³	-
	DIFUSÃO	-	espaçam. ilimitado	espaçam. ilimitado	armadura difusa	armadura difusa	discreta
	QUANTID.	-	taxas mínima e máxima	idem ao C.A.	limite de inclusão vol. crítico	taxas maiores que o CA	-
APLICAÇÃO	'PESADO'	'PESADO'	'- PESADO'	'PESADO' 'LEVE'	'LEVE'	'LEVE'	
EXECUÇÃO	com uso de formas	in loco pré-mold. formas + armaduras	como o C.A. + protensão Industr.	aplicação única simult. sem/forma	como o C.A. com maiores cuidados	montagem no local Industr.	
COMPORT. ESTRUTURAL	compres. simples	material anisótropo	como o C.A. com partic. protensão	material "homogêneo"	como o C.A.	material homogêneo	

FIGURA 2.20 CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DAS ASSOCIAÇÕES
MATRIZ X ARMADURA

A argamassa armada tem, quando comparada às outras opções, o menor peso, decorrente da pequena espessura e a melhor capacidade de absorver deformações, consequência direta das melhores condições de aderência entre a tela de aço e a argamassa, da distribuição e subdivisão da armadura de forma mais eficiente para impedir a propagação das fissuras. Assim o material pode ter alongamentos maiores que o concreto armado nas mesmas condições, sem apresentar fissuras. Além disso, pelas mesmas razões, apresenta também menor permeabilidade.

O potencial de utilização do material está baseado nas seguintes qualidades:

1. MOLDAGEM: possibilidade de moldagem das peças em diversas formas, tamanho ou dimensões;
2. DOSAGEM: o consumo dos materiais constituintes pode ser dosado conforme os requisitos da aplicação;
3. RESISTÊNCIA: possui suficiente resistência para ser aplicado como elemento estrutural.
4. IMPERMEABILIDADE: Bom desempenho na presença de umidade;
5. LEVEZA: Reduzido peso próprio dos elementos, principalmente em relação ao concreto armado convencional;
6. CUSTO: Menor custo em relação aos outros materiais similares alternativos, principalmente quando é explorada a sua forma;
7. INDUSTRIALIZÁVEL: Características propícias para os requisitos desejáveis para pré-fabricação.
8. APARÊNCIA: Possui bom aspecto visual, podendo dispensar tratamentos superficiais com esse objetivo.
9. DURABILIDADE: Tomados os devidos cuidados, durante a execução, sua durabilidade pode ser garantida.

As qualidades exigidas da argamassa armada dependem, a princípio, das qualidades do material com o qual se está comparando, em geral, seu desempenho é satisfatório.

CAPÍTULO 3

SISTEMAS E COMPONENTES CONSTRUTIVOS

Neste capítulo procura-se definir os chamados sistemas construtivos e os componentes construtivos. Reconhece-se, inicialmente, que tais denominações ainda estão restritas ao meio das universidades e dos institutos de pesquisa. E, no meio produtivo, ainda carecem de definições consagradas. As razões, de existir certa polêmica, seriam as decorrentes dos últimos acontecimentos históricos relativos à arte de construir. Tal abordagem é feita sucintamente, na proporção que julga-se necessária, são relacionadas algumas das definições encontradas no sentido de buscar uma linguagem comum.

Os diversos tipos de materiais de construção, e a sua correspondente tecnologia construtiva, formam um elenco de alternativas cada vez maior e mais complexo. Em consequência a complexidade de denominações ou nomenclatura é a cada dia mais confusa exigindo um certo esforço para sua compreensão.

A bibliografia internacional sobre o assunto, como se procura mostrar, é muito extensa. Já a brasileira, apesar da boa qualidade, ainda carece de maior volume de informações e melhor adequação à realidade, tarefa muito difícil no caso de um país/continente e de enormes diversidades regionais como é o caso do Brasil.

O objetivo aqui é apenas situar um conjunto de informações consideradas úteis para o projeto e produção de sistemas e componentes em argamassa armada com a implementação da industrialização das construções. Procura-se, assim caracterizar a tecnologia da argamassa armada como uma das tecnologias apropriadas a serem adotados em sistemas e componentes construtivos do tipo pré-fabricado ou industrializado.

3.1 A INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO

As raízes históricas da industrialização da construção estão relacionadas à própria revolução industrial, como mencionado no Manual da ABCI⁴⁰, na síntese de Paulo Bruna⁴¹:

" A história da industrialização identifica-se, num primeiro tempo, com a história da mecanização, isto é, com a evolução das ferramentas e máquinas para a produção de bens."

Portanto, como acenado no histórico do capítulo 1.1, o estudo da industrialização da construção deve considerar a própria evolução da arte de construir. Assim como, os demais acontecimentos que formam todo cenário histórico.

Como exemplo, temos o sistema americano de estruturas em madeira, conhecido como "Balloon Frame". Como explicam Schmid e Testa⁴² o sistema é originário do século XVII, quando os colonos ingleses da América usaram elementos de paredes pré-fabricadas, feitos de madeira, que poderiam ser transportados no porão dos navios. Tal situação de emergência deu origem a um sistema que é empregado até hoje.

A fase mais importante, no caso da industrialização da construção, seria o período 1945 a 1950, como descrito no Manual da ABCI⁴⁰, não foi só para repor os danos causados pela Segunda Guerra Mundial que os países europeus fizeram o esforço de reconstrução. Pois nas décadas de 20 e 30 alguns países, como a França, haviam congelado aluguéis e desestimulado investimentos na construção civil. A escassez de recursos nos países esgotados pela guerra orientou e determinou prioridades: a reconstrução de indústrias, sistemas de comunicações, transportes. A situação era de tal ordem que na Inglaterra o direito de construir era controlado com rigor, sendo os investimentos e os materiais canalizados para os fins sociais. Essa fase foi muito importante, pois fortaleceu a consciência da necessidade da racionalização dos componentes e caracterizou-se por uma impressionante objetividade no uso dos materiais e técnicas construtivas.

A dinâmica das definições da industrialização da construção pode ser avaliada nos diversos exemplos a seguir.

Dentre as inúmeras definições encontradas elege-se, inicialmente, a de Gérard Blachère, Diretor do GSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment), citado por Bruna⁴¹, que define a industrialização da construção através da seguinte expressão:

INDUSTRIALIZAR = RACIONALIZAR + MECANIZAR + AUTOMATIZAR

A evolução de cada uma dessas parcelas no decorrer do tempo desenvolve-se isoladamente em função das necessidades específicas, guiadas pelos aspectos técnicos, econômicos e sociais existentes.

A industrialização pode ser vista como uma tendência de desenvolvimento da indústria da construção como um ramo industrial^[43].

Na intenção de simplificar a classificação divide-se as construções em artesanal, tradicional ou industrializada. A construção artesanal utiliza métodos e processos empíricos e intuitivos. A construção tradicional pode ainda ser subdividida em tradicional quando utiliza métodos e processos geralmente normalizados, e em tradicional evoluída (racionalizada) quando usa processos racionalizados e produtos padronizados. Já a construção industrializada seria um estágio mais avançado da construção, a qual se incorporou técnicas de montagem em série, pré-fabricação de elementos e componentes, bem como equipamentos construtivos de maior grau de mecanização.

Outra forma de descrever o processo de industrialização é do ponto de vista tecnológico. Segundo Salas Serrano⁴⁴ a industrialização é:

" o resultado de uma determinada interação de tecnologia, que se materializa ora no próprio processo de produção, tecnologia do processo, ora no produto, tecnologia do produto. "^[44]

O esquema mostrado na figura 3.1 mostra a evolução, da construção tradicional, intermediária até a avançada, através dos parâmetros, apresentados por Turner no trabalho de Serrano⁴⁴ que são a tecnologia do produto e do processo.

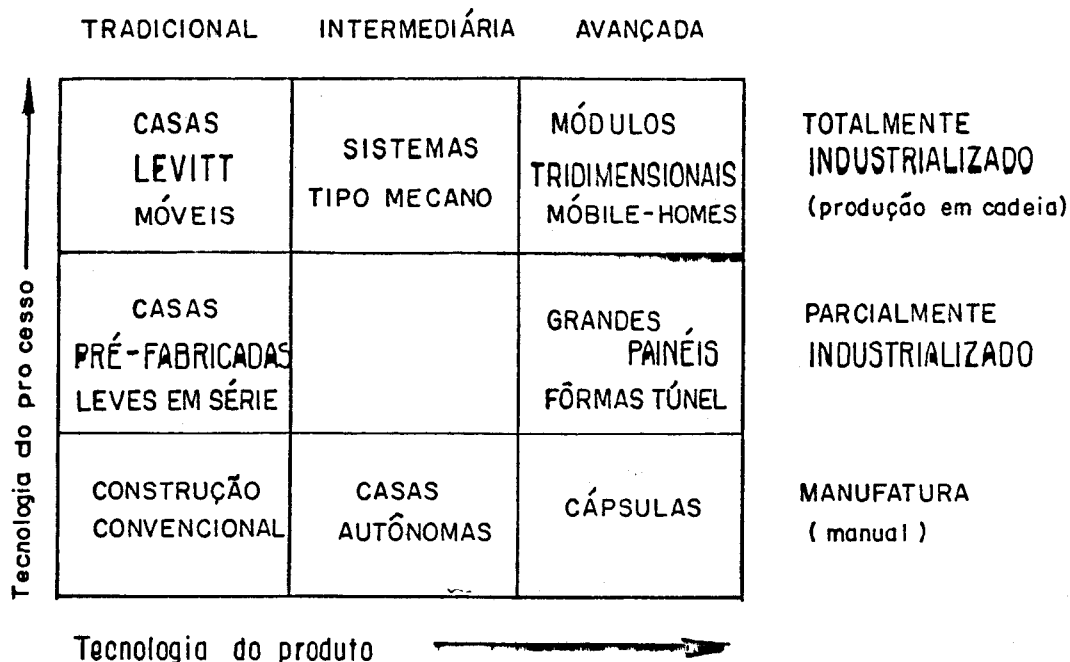


FIGURA 3.1 TECNOLOGIA DO PROCESSO x TECNOLOGIA DO PRODUTO .

A forma de produção determina uma certa escala entre a manufatura e a mecanização em direção à industrialização. Koncz⁴⁵ apresenta, logo de início, em seu trabalho sobre o tema, o diagrama mostrado na figura 3.2, onde caracteriza as distinções entre as três formas de produção:

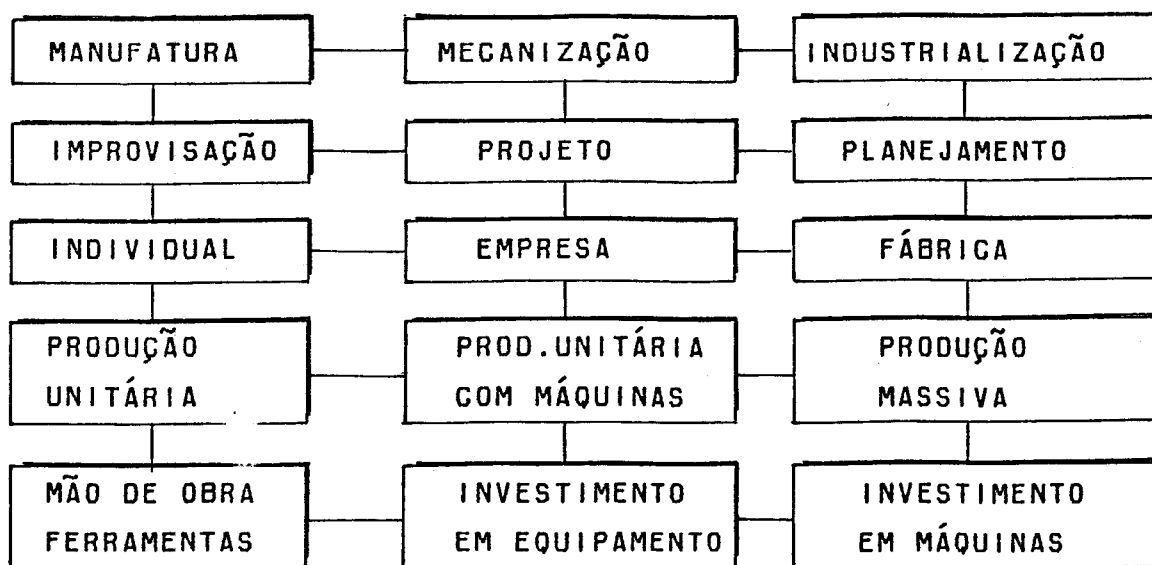


FIG. 3.2 NÍVEIS DE DESENVOLVIMENTO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO

A adoção da industrialização está, portanto, condicionada a certos requisitos como o caráter repetitivo do produto e a organização e planejamento da sua produção, como mostra o esquema da figura 3.3 abaixo:

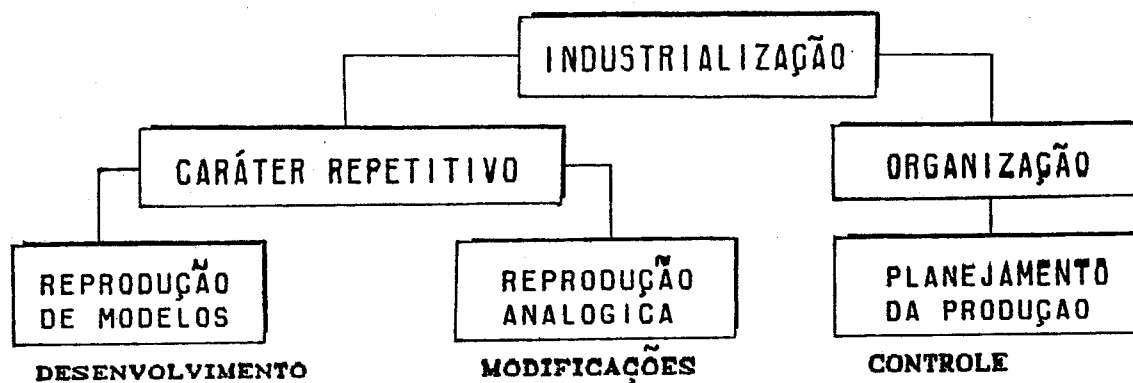


FIGURA 3.3 FASES DA INDUSTRIALIZAÇÃO

A indústria da construção civil é uma atividade onde a edificação reúne componentes de diferentes níveis de industrialização como esquadrias, fechaduras, componentes de instalações hidráulicas e elétricas, semelhantes a uma linha de montagem de uma produção de automóveis, e a participação de insumos como o cimento, a areia, o aço, etc. e ainda os parcialmente industrializados ou pré-fabricados como as lajes, os blocos, etc.

O quadro atual, no Brasil, mostra que em decorrência das enormes diferenças tanto regionais como até locais, pode ser constatado variados níveis de industrialização.

A industrialização, portanto, é uma questão muito mais ampla que a pré-moldagem de peças ou a pré-fabricação de componentes. E a distinção entre os termos sempre constituiu um desafio aos autores.

Neste trabalho, a abordagem procura ser restrita, apesar da advertência de Paulo Bruna que argumenta:

" Ocorre que a discussão em geral se processa em um nível essencialmente técnico, com um enfoque restrito, limitado aos materiais e processos, problemas e sistemas existentes, sem uma preocupação maior em definir os parâmetros, extensão e profundidade do problema."

3.1.1 INDUSTRIALIZAÇÃO ABERTA OU FECHADA ?

Com respeito à industrialização da construção é comum a subdivisão em industrialização aberta, ou de ciclo aberto, e fechada ou de ciclo fechado. Caracterizando a fabricação de componentes que possam ser usados em diversos sistemas construtivos, no primeiro caso, e em sistemas que usem componentes próprios ou exclusivos, neste caso chamados de sistemas fechados. Fonseca de Campos⁴³, em sua dissertação, afirma que: " a fronteira entre sistemas abertos/fechados não está delimitada, posto que ela só se define pela amplitude do campo de aplicação de cada um destes sistemas na prática".

É interessante observar que tal subdivisão foi, e ainda é, decisiva na questão da adoção da industrialização. Em princípio, há que se considerar as condições de mercado, pois se determinada fábrica decide-se por um sistema aberto precisa assegurar o escoamento da produção. E isto só ocorre, de forma satisfatória, quando respaldado por órgãos oficiais através de normalização e medidas padronizadas, como ocorreu na Europa. Já para a adoção dos sistemas fechados a empresa desenvolve um sistema próprio ou exclusivo, sem possibilidade de combinações com elementos de outras empresas. Diversos sistemas fechados obtiveram relativo sucesso no passado. Na opinião de Salas Serrano⁴⁴ os sistemas fechados, segundo sua análise, não atendem às atuais e futuras necessidades.

3.1.2 DIAGNÓSTICOS DA SITUAÇÃO ATUAL

A situação atual no Brasil, portanto, sugere uma relativa tendência aos sistemas abertos. E isso se dá pela iniciativa das próprias empresas, sem nenhum apoio de órgãos institucionais. A princípio os sistemas ainda são do tipo fechado, como se pode constatar através do Manual Técnico da ABCI⁴⁰, mas nada impede o uso das peças como componentes.

A questão da industrialização da construção e as implicações decorrentes da sua adoção são, reconhecidamente, complexas do ponto de vista da sua interrelação com as condições econômicas, sociais e políticas.

Neste contexto, recentemente, foram realizados trabalhos significativos como o Diagnóstico Nacional da Indústria da Construção através da Fundação João Pinheiro⁴⁶, Diagnóstico Tecnológico da Indústria da Construção Civil no Relatório número 26.457 do IPT⁴⁷ e também através do IPT⁴⁸ o Relatório PATI - Programa de Atualização Tecnológica e Industrial - Construção Habitacional, onde se pode avaliar a extensão do atraso tecnológico, do Brasil, no sub-setor edificações.

Neste último relatório, as razões são discutidas e os chamados gargalos, ou entraves tecnológicos, são listados, tendo em vista as etapas de projeto, fabricação de materiais e componentes, execução e uso/manutenção, para as diversas etapas de construção.

Quanto à estrutura das edificações, relacionam-se mais intensamente a este trabalho os seguintes gargalos, ou entraves tecnológicos⁽⁴⁹⁾:

PROJETO: 1. Normalização:

Desconhecimento de normas existentes;

Desobediência às normas;

5. Falta de consideração das condições de execução como critérios de projeto (espaçamentos inadequado da armadura, cruzamento inadequado de elementos, detalhamento insuficiente);

7. Especificação pouco detalhada dos materiais;

9. Falta de otimização do partido estrutural;

10. Falta de otimização dimensional e geométrica das peças estruturais em relação ao consumo de materiais e a produtividade na execução;

FABRICAÇÃO DE MATERIAIS E COMPONENTES:

2. Conhecimento insuficiente do desempenho e da compatibilidade entre os materiais quando usados com função estrutural.

3. Informações Técnicas deficientes quanto às características dos materiais componentes.

8. Controle de qualidade de produção de materiais, ou recebimento, inexistente ou ineficiente.

3.2 DEFINIÇÕES GERAIS

Adota-se neste trabalho, de acordo com os objetivos propostos, as definições usadas na tese de Sabatini^{4º}:

TÉCNICA CONSTRUTIVA: é um conjunto de operações empregadas por um particular ofício para produzir parte de uma construção.

MÉTODO CONSTRUTIVO: é um conjunto de técnicas construtivas interdependentes e adequadamente organizadas, empregado na construção de uma parte (sub-sistema ou elemento) de uma edificação.

PROCESSO CONSTRUTIVO: é um organizado e bem definido modo de se construir um edifício. Um específico processo construtivo caracteriza-se pelo seu particular conjunto de métodos utilizado na construção da estrutura e das vedações do edifício (invólucro).

SISTEMA CONSTRUTIVO: é um processo construtivo de elevados níveis de industrialização e organização constituído por um conjunto de elementos e componentes interrelacionados e completamente integrados pelo processo.

TECNOLOGIA: é um conjunto sistematizado de conhecimentos empregados na criação, produção e difusão de bens e serviços.

TECNOLOGIA CONSTRUTIVA: é um conjunto sistematizado de conhecimentos científicos e empíricos, pertinentes a um modo específico de se construir um edifício (ou parte) e empregados na criação, produção e difusão deste modo de construir.

PESQUISA E DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO (P & D) na Engenharia de Construção Civil é uma atividade investigadora de caráter sistematizado, dirigida para a criação e o aperfeiçoamento de métodos, processos e sistemas construtivos, materiais e componentes e de técnicas de planejamento e controle das operações construtivas que representem efetivas inovações técnicas no setor.

3.3 SISTEMAS CONSTRUTIVOS

A denominação de sistemas construtivos está relacionada às diversas opções construtivas. Podendo ser situada, inicialmente, na árvore apresentada na tese de Picarelli⁵⁰:

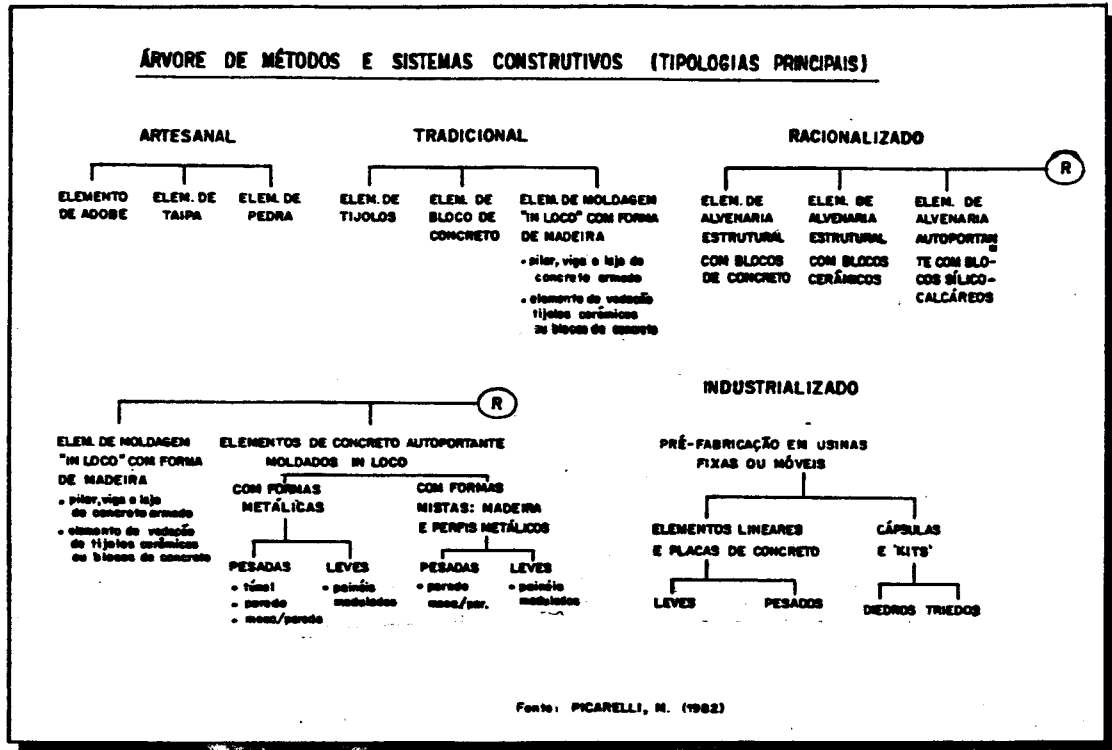


FIGURA 9.4. ÁRVORE DE MÉTODOS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS

3.3.1 DEFINIÇÃO

O significado da palavra sistema é da combinação de partes de modo que concorram para um certo resultado ou mais sinteticamente, um conjunto de partes coordenadas entre si.

Portanto a definição apresentada no item 3.2 é oportuna no sentido de induzir ao processo de industrialização.

Na construção civil, a definição de sistemas construtivos, pode assumir um alcance mais global quando se refere a obra como um todo. E assim ser subdividido em subsistemas. Constituindo o subsistema estrutural, subsistema de vedações instalações hidro-sanitárias, etc.

A classificação dos sistemas construtivos, segundo Salas Serrano⁴⁴, como toda classificação, tem uma grande dose de acordo entre as partes: a que estabelece e a que aceita como meio de comunicação.

3.3.2 IMPLICAÇÕES DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS

Os sistemas construtivos constituem um tratamento mais elaborado da arte de construir, e portanto um trabalho maior a ser desenvolvido para todas as fases de execução da edificação. Sua característica de elevar o nível de industrialização, atendendo aos novos requisitos correspondentes, e a adotar procedimentos de forma a obter efetivos ganhos em relação ao modo de construir da forma convencional.

As alterações mais significativas no tratamento dos sistemas construtivos são:

- Alteração no comportamento dos profissionais envolvidos;
- Mudança do conceito de "Projeto - Construção" para o de "Projeto - Produção - Execução";
- Adoção de uma industrialização progressiva;
- Necessidade de providências para assegurar um nível constante de atividades.

A participação dos profissionais envolvidos apresenta distinções significativas que implicam numa forma distinta de encarar o problema e conduzir o processo. Justificando a implantação de uma nova metodologia de trabalho.

Segundo Koncz⁴⁵, os profissionais participam da forma mostrada nas figuras 3.5 e 3.6, e na construção industrializada o trabalho dos projetistas se integram no produto. Esta integração significa que no produto já não se pode reconhecer o trabalho do projetista. Daí uma das dificuldades do profissional tradicional de incorporar-se a esse novo método.

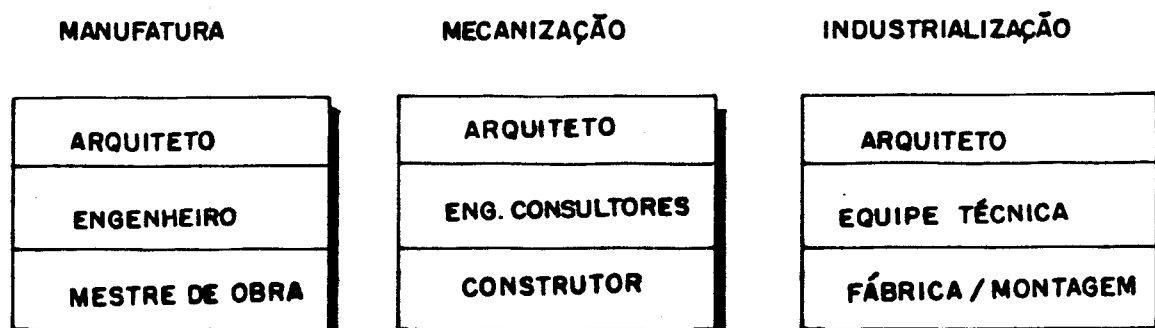


FIG. 3.5 TRANSFORMAÇÕES DOS OFÍCIOS ATÉ A INDUSTRIALIZAÇÃO

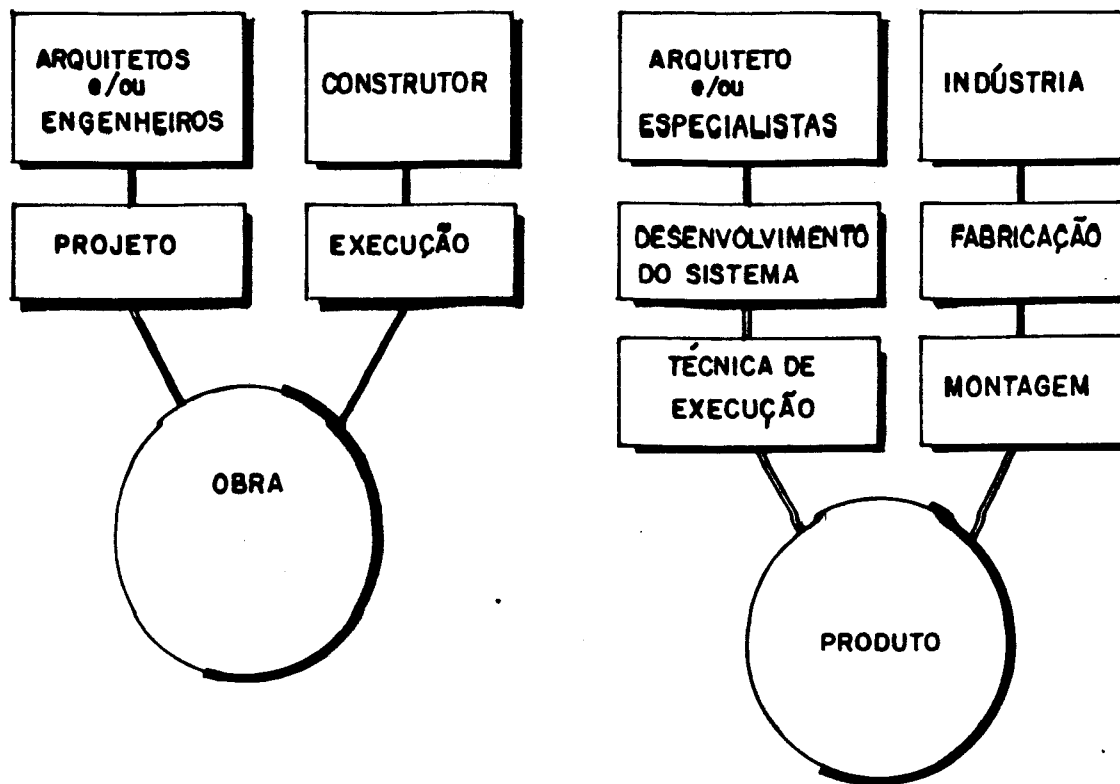


FIGURA 3.6 TRANSFORMAÇÃO DO PLANEJAMENTO

A questão do projeto é assim, mais dependente do grau de envolvimento e da correspondente interação dos profissionais participantes, em consequência é maior a complexidade.

Em relação aos processos construtivos convencionais o sistema construtivo necessitará de projetos adicionais como: malha ou projeto modular, detalhes modulares, projeto de fabricação, transporte e montagem^[52].

Isso implica, além do volume maior de atividades, na disponibilidade de recursos humanos capazes de cumprir estas tarefas. Portanto, todas as providências, só se justificam quando direcionadas a um processo de industrialização. E, em consequência, precisam assegurar um nível constante de atividades.

De qualquer forma constituem um meio para se obter um resultado final que é o produto. E deste espera-se todos os resultados do trabalho. Dessa forma para o sucesso de todo o processo o produto precisa da aceitação do mercado. Este ciclo será visto, a seguir no item 3.5.

O ciclo visto até aqui não constitui nenhuma excepcionalidade. Tem sido aplicado, de certa forma, desde o princípio deste século. Com o mesmo propósito, o arquiteto inglês John Brodie desenvolveu o primeiro sistema fechado de grandes painéis pré-fabricados de concreto. Em 1904 foi construído, em Liverpool, um edifício de 3 pavimentos. O governo, que havia patrocinado o sistema como forma de encontrar uma solução para o problema habitacional, obrigou o superdimensionamento dos painéis como forma de atender as exigências do código de edificações, quanto às espessuras das paredes. Isto inviabilizou o custo e interrompeu a experiência, de forma que tal solução só voltou a ser aplicada na Inglaterra no pós-guerra. Logo após, em 1908 Thomas Edison solicita a patente de um sistema, nos E.U.A., que segundo Fonseca de Campos⁴³, seria o antecessor dos atuais processos construtivos a base de fôrmas deslizantes e fôrmas tipo túnel.

Os países europeus, no período de reconstrução, adotam, respaldados pela iniciativa governamental, a racionalização tendente a industrialização da construção. Diversos exemplos são relacionados por Bruna⁴¹. Na Inglaterra os programas *Scala* e *Intergrid* para construção de escolas. A Holanda, com adoção da coordenação modular. A cada país corresponde um caminho distinto, dada as implicações do modelo adotado, seja com respeito às necessidades da população, estágio tecnológico, disponibilidade de recursos ou pelo contingente de mão de obra disponível.

De qualquer forma, a participação oficial, com respeito às implicações trazidas pela industrialização da construção, e a adoção de sistemas construtivos, tem um papel decisivo, seja na atividade técnica, como normalizador do devido procedimento de garantia da qualidade, como na proteção dos direitos do consumidor.

A homologação de sistemas e componentes, ou seja, a concessão de licença de fabricação por órgãos oficiais, após a análise e testes dos mesmos é prática corrente nos países desenvolvidos, não só na pré-fabricação como em todo o âmbito da produção industrial⁵⁴.

3.4 COMPONENTES CONSTRUTIVOS

"...se não é a habitação que pode beneficiar-se da produção em grande série, é preciso admitir que são as partes, os componentes da habitação... Pode-se assim, atingir a grande série..."

Gérard Blachere (Conferência proferida na FAUUSP, 1971)

Segundo Salas Serrano⁴⁴ as tendências atuais da pré-fabricação são de uma industrialização sutil decorrente de uma visão híbrida da pré-fabricação. E a estratégia para os componentes, a princípio, é a mesma antevista e defendida pelo arquiteto Le Corbusier na década de 20, que na sua declaração "Cinco pontos sobre a nova arquitetura" traz as seguintes considerações:

" A construção de edifícios é a combinação deliberada e consistente de elementos de construção.

Indústrias e tecnologia tem, em parte, o objetivo comum de produzir estes elementos.

Séries pré-fabricáveis permitem que estes elementos sejam fabricados com precisão, economia e qualidade. Deste modo o arquiteto tem a sua disposição uma gama de componentes do edifício. Seu talento arquitetônico pode operar livremente..."

A ISO - International Standardization Organization, define os componentes da construção como:

" produtos fabricados sob a forma de unidades distintas, dispostas de modo a tomar parte na construção da obra⁴⁴"

Pode ser constatada uma intenção comum nas definições encontradas que é a necessidade de produtividade e obtenção das vantagens trazidas pela pré-fabricação.

Fonseca de Campos⁴³ apresenta o conceito de *metaprojeto* citando as premissas básicas de Oliveri:

flexibilidade de uso - adequação do edifício às exigências de uso, buscando impedir a obsolescência tipológica da habitação;

liberdade de forma - liberdade de configuração espacial;

incorporação da indústria no ciclo produtivo da construção

Estes três pontos em especial, contribuem para o desenvolvimento de um sistema aberto, uma vez que possibilitam:

absorver técnicas tradicionais, racionalizadas e adequadas aos novos processos de produção, num primeiro momento;

a intervenção da indústria da construção, na produção de uma série de elementos e componentes para uma construção dinâmica.

Na opinião de Salas Serrano⁴⁴:

"O *metaprojeto* é fundamentalmente um projeto aberto que não chega a formalizar-se num todo concreto, porém que especifica as funções e requisitos a que o projeto final deve satisfazer. De modo intuitivo, avalia-se a relação imediata entre o conceito de *metaprojeto*, como conceito adaptado a uma proposta normativa de exigências"

A idéia de componentes também está ligada aos sistemas abertos ou fechados, onde tem-se as possibilidades da soma de componentes de diversas procedências formarem uma certa construção através do sistema aberto, ou dos sistemas de componentes exclusivos que compõem determinada construção, e são apropriados como sistemas fechados. Vistos, desse modo, lembram o dilema entre a escuridão e a claridade que cega, a evidenciar a necessidade de um termo médio.

O objetivo de relacionar estas citações é de evidenciar os consensos e diferenças, reconhecendo que ainda há muito a ser discutido. Atualmente, a definição de componentes deve levar em conta que estes constituem uma realidade.

Para finalizar, sem transferir responsabilidade somente ao mercado, os projetistas e usuários devem considerar que: interferem no componente na medida em que só permanecerão no mercado aqueles que satisfaçam as exigências do usuário.

3.5 PESQUISA E DESENVOLVIMENTO [P & D]

Dentre as diversas formas de encarar a necessidade de pesquisa e desenvolvimento de produtos, destacamos aqui duas que exemplificam os procedimentos necessários à devida implementação quanto às necessidades impostas pelo mercado e à obtenção da melhoria da qualidade dos produtos.

O espectro da tecnologia, segundo Hetman, citado por Almeida⁵², ilustra a interação entre a conceituação e as ações necessárias nas diversas etapas da aplicação, do desenvolvimento e difusão dos produtos, como mostra a figura 3.7:

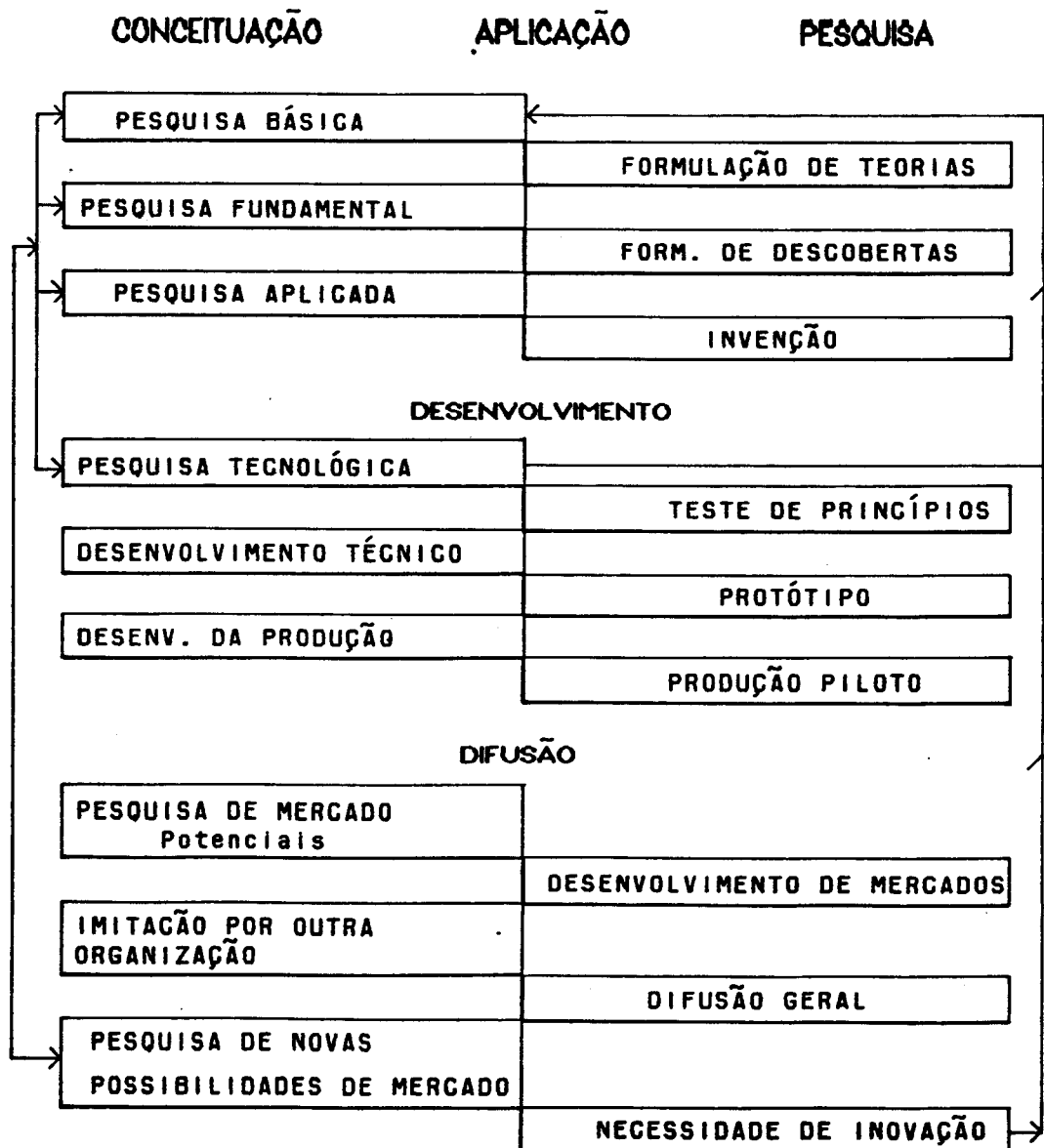


FIGURA 3.7 O ESPECTRO DA TECNOLOGIA SEGUNDO HETMAN⁽⁵²⁾

A segunda forma de ressaltar a necessidade da pesquisa como agente do desenvolvimento de produtos, refere-se especificamente a qualidade. Na figura 3.8 é mostrada a espiral da qualidade, como apresentado por Fernandez⁵⁸ que argumenta:

“ Para ser possível assegurar, controlar ou melhorar a qualidade, há uma série de procedimentos necessários que devem ser seguidos e podem ser descritos conforme apresentado na espiral da qualidade de Juran e Gryna. Para implantar esse processo dentro de uma empresa é necessário mais do que seguir procedimentos é preciso que a qualidade seja uma meta, um objetivo tão importante quanto o custo, quantidade e segurança.”

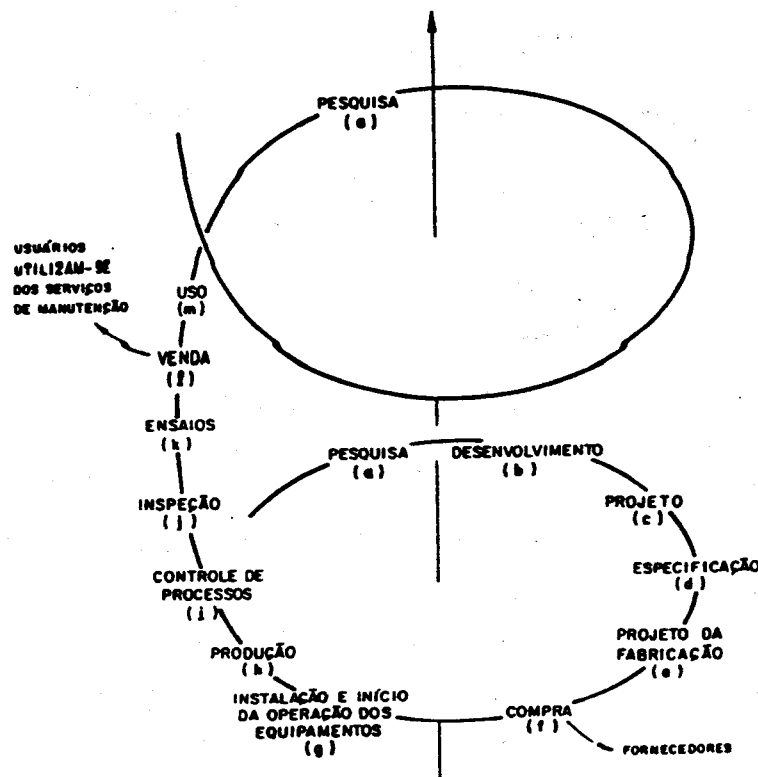


FIGURA 3.8 ESPIRAL DA QUALIDADE

LEGENDA:

- (a) setor de pesquisa investiga necessidade do usuário;
- (b) setor de desenvolvimento (que por vezes atua conjuntamente com a pesquisa) cria uma imagem do produto que possa satisfazer às necessidades do usuário.

- (c),(d) os engenheiros de projeto especificam as características necessárias do produto e dos materiais tendo em conta a qualidade exigida.
- (e) outros engenheiros indicam os processos de produção e instalação (de instrumentos, equipamentos, instalações elétricas, etc.) capazes de fabricar, medir e atender às especificações:
- (f) os especialistas de compras adquirem materiais e componentes que possuam também as qualidades apropriadas:
- (g), (h), (i) a equipe da produção se adentra no uso de processos e instrumentos para obter um produto com a qualidade especificada:
- (j), (k) os inspetores determinam se o produto ou serviço está em conformidade com as especificações aplicáveis:
- (l) o pessoal de vendas, através das cadeias de distribuição, incita os clientes para que comprem os produtos que possuem aquelas qualidades (através de garantias, assistência técnica, manutenção, etc.):
- (m) os clientes utilizam o produto com suas características de qualidade:

A pesquisa & desenvolvimento necessita do amplo conhecimento do histórico e do desempenho e profundo conhecimento no sentido das propriedades do material. E assim poder ter a possibilidade de operar transformações significativas.

Enfim, sistemas e componentes construtivos devem ser uma nova forma de encarar a necessidade de mudança no modo de construir. Sem as providências aqui relacionadas serão apenas palavras novas. Modernidade é uma palavra em grande evidência atualmente, um convite a uma reflexão de todos sobre o presente e o futuro da construção.

É oportuno agora transcrever o depoimento de Rodrigues Lima ⁵⁴, no artigo: Por que pré-fabricados de concreto ?

“ Na pré-fabricação, projetamos hoje o que será produzido amanhã, que nos fornecerá subsídios reais para o projeto de depois de amanhã ~”

CAPÍTULO 4

PRODUÇÃO DE COMPONENTES DE ARGAMASSA ARMADA

A produção de componentes de argamassa armada pode, como já foi dito seguir dois caminhos distintos.

O primeiro das aplicações artesanais, onde o uso de mão de obra é intensivo, podendo-se prescindir da necessidade das fôrmas, usando-se a própria malha como suporte para a argamassagem. Neste caso, poder-se-ia adotar a denominação de ferrocimento, como abordado na Cartilha do Ferrocimento Artesanal^{1º}, onde são mostradas diversas aplicações, principalmente tendo em vista sua aplicação ao meio rural.

Já o segundo caminho seria o seguido pelo Grupo de São Carlos, e através da experiência das fábricas de equipamento comunitário implantadas por João Figueiras Lima, ou seja, de aplicações mais direcionadas às exigências da Construção Civil e a possibilidade de aplicações às edificações por um processo racionalizado e direcionado para produção em escala. Neste caso objetiva-se a adoção da industrialização para a produção, em escala compatível com uma determinada adequação tecnológica, tendo um caminho a percorrer desde a produção mais elementar possível, como a das pequenas fábricas de artefatos de cimento, até a adoção de uma industrialização, mais plena possível, onde o processo de produção seja, cada vez mais, mecanizado e automatizado em grau compatível com as exigências da industrialização.

Para este tipo de produção deve-se contar com o extenso conhecimento adquirido, através dos métodos e processos industriais, acrescido ao de derivados do cimento.

4.1 A INDUSTRIALIZAÇÃO DE COMPONENTES

Como foi descrito no item 3.1 a industrialização de componentes possui requisitos que uma vez satisfeitos tem-se a possibilidade de racionalizar seu processo de produção.

Uma vez adotada a opção, temos um sistema produtivo do tipo fábrica, semelhante a qualquer outro similar, ao qual devem ser aplicados os conhecimentos tecnológicos que aumentem a produtividade, reduzam os custos de produção e mantenham ou melhorem a qualidade do produto final.

O processo permite a previsão de eventuais problemas eliminando, de certa forma, o método da tentativa - erro. Um projeto da linha de produção pode mostrar claramente as necessidades a serem satisfeitas e as devidas soluções, que mesmo não sendo definitivas podem vir a otimizar o processo num prazo razoável.

As vantagens obtidas seriam então:

- Redução do tempo de execução;
- Redução do consumo de materiais;
- Garantia da produção;
- Melhor aproveitamento da mão de obra;
- Melhor qualidade do produto;
- Melhor acabamento superficial;

4.1.1 OS REQUISITOS PARA A PRODUÇÃO INDUSTRIAL

Os principais requisitos para a industrialização dizem respeito, primeiramente, ao material a ser usado. Este deve apresentar as seguintes características:

- facilidade de ser executado por meios mecânicos;
- união de forma fácil e simples;
- desempenhar funções estruturais e de vedação;
- resistência ao fogo;
- volume estável;
- resistência mecânica elevada;
- apresentar boa durabilidade.

4.2 TIPOS DE PRODUÇÃO DE COMPONENTES EM ARGAMASSA ARMADA

As técnicas de execução para produção de componentes em argamassa armada, sejam artesanais ou industrializadas, compreendem sempre cinco etapas básicas de execução, citadas por Hanai⁹, que são:

1. preparação das fôrmas e cimbramentos;
2. preparação e montagem das armaduras;
3. confecção da argamassa;
4. lançamento e adensamento;
5. cura.

Estas etapas são comuns a qualquer grau de mecanização, e então definem de acordo com o equipamento usado o tipo e o ciclo de produção.

A primeira subdivisão adotada na diferenciação, do tipo de produção, é de acordo com o tipo de fôrma a ser usado. Segundo Hanai⁹ a execução dos moldes pode ser: sem fôrmas, com fôrmas parciais ou com fôrmas envoltivas. A armadura difusa possibilita a argamassagem direta sem o uso de fôrmas sendo adotada na produção artesanal. As fôrmas parciais são constituídas, em geral de base fixa de alvenaria. Podendo, também, serem adicionadas partes de fôrmas envoltivas. Como mostra a figura 4.1 abaixo:

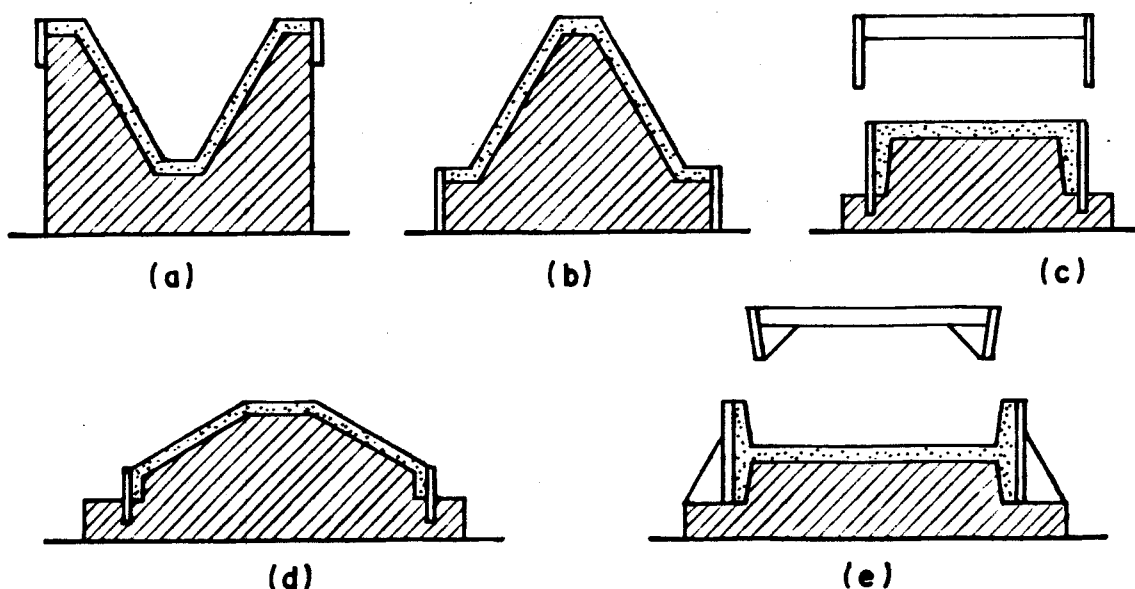


FIGURA 4.1 ESQUEMAS TÍPICOS DE FÔRMAS DE ALVENARIA⁽⁸⁾

4.21 DETALHES DA PRODUÇÃO DE COMPONENTES

O detalhamento do ciclo produtivo, como mostra a figura 4.2, indica as operações a serem consideradas para as diversas etapas de produção descritas a seguir.

1. ARMADURAS

1.1 BARRAS e FIOS

corte → retificação → dobragem → amarração → montagem

1.2 TELAS

corte → retificação → corte → dobragem → montagem

1.3 COLOCAÇÃO DA ARMADURA NA FÔRMA

ajuste de dimensões → espaçadores

2. FÔRMAS

2.1 FÔRMAS PARCIAIS

confecção → limpeza → acabamento → desmoldante

2.2 FÔRMAS ENVOLVENTES

preparação → limpeza → desmoldante → montagem

3. ARGAMASSA

3.1 INSUMOS

estocagem → mistura → lançamento → controle

4. LANÇAMENTO E ADENSAMENTO

formas + armaduras → lançamento → adensamento

5. CURA

aspersão ou cobrimento ou imersão

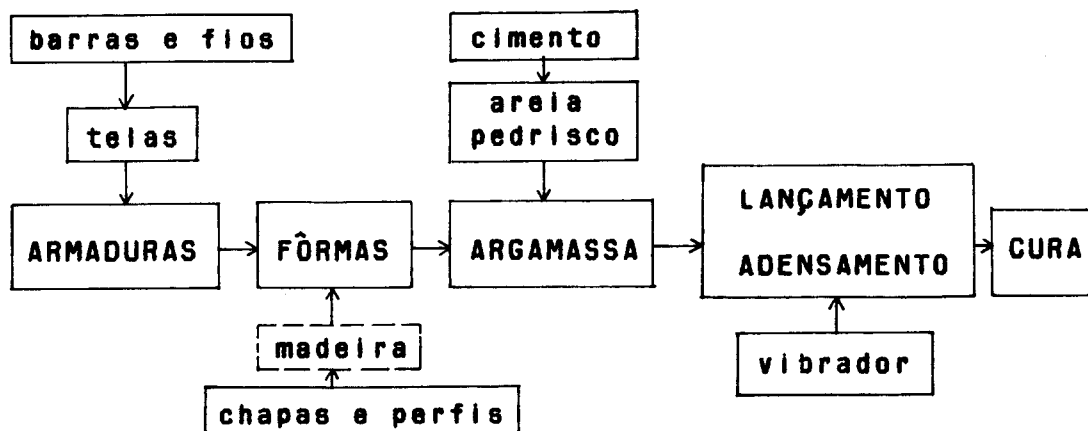


FIGURA 4.2 ESQUEMA TÍPICO PARA A PRODUÇÃO

4.2.11 ARMADURAS

As telas são recebidas e verificadas de acordo com a NBR 7481/82⁸⁸. Uma vez conferidas, deverão ser devidamente armazenadas para as operações de montagem. As telas de aço soldada usadas na argamassa armada, descritas no item 2.3.1 são fornecidas em rolos de 0,90 m (1,10m quando solicitado) de largura e comprimento de cerca de 120 m. Para esses fios, de 2, 2,5, 2,76 ou 3 mm, é imprescindível adotar uma segura identificação através de etiquetas, ou outro meio.

As barras e fios de aço da armadura complementar são recebidas e verificadas de acordo com a NBR 7480/85⁸⁹, uma vez identificadas são armazenadas. As barras são vendidas em peças de 11 m e os fios em rolos de diâmetro variável.

O local de armazenagem das armaduras deve ser coberto e protegido das intempéries, e seu posicionamento feito de forma a facilitar as operações posteriores.

Na produção das armaduras, além das indicações do projeto deve-se atentar, inicialmente, para as respectivas prescrições da NBR 11.173:

4.5.2 Armaduras:

O preparo da armadura para peças pré-moldadas deve ser feito com uso de equipamentos que possibilitem uma constante e perfeita conformação das armaduras.

As armaduras pré-montadas devem ser manuseadas e transportadas com meios e dispositivos que garantam a sua integridade e mantenham a posição relativa entre as partes, protegendo-as contra deformações e ruptura dos vínculos de posicionamento.

O armazenamento deve ser efetuado de modo a não prejudicar a conformação das armaduras pré-montadas.

No posicionamento da armadura devem ser utilizados procedimentos (estiramento de telas, colocação regular de espaçadores, barras enrijecedoras construtivas e outros dispositivos) de modo a manter os cobrimentos esperados.

Para as operações de montagem as telas devem ser cortadas e retificadas, e quando for o caso, dobradas através de uma mesa de dobramento, como a mostrada na figura 4.3, para garantir o correto alinhamento.

As emendas deverão observar o disposto no Item 6.3.2.7

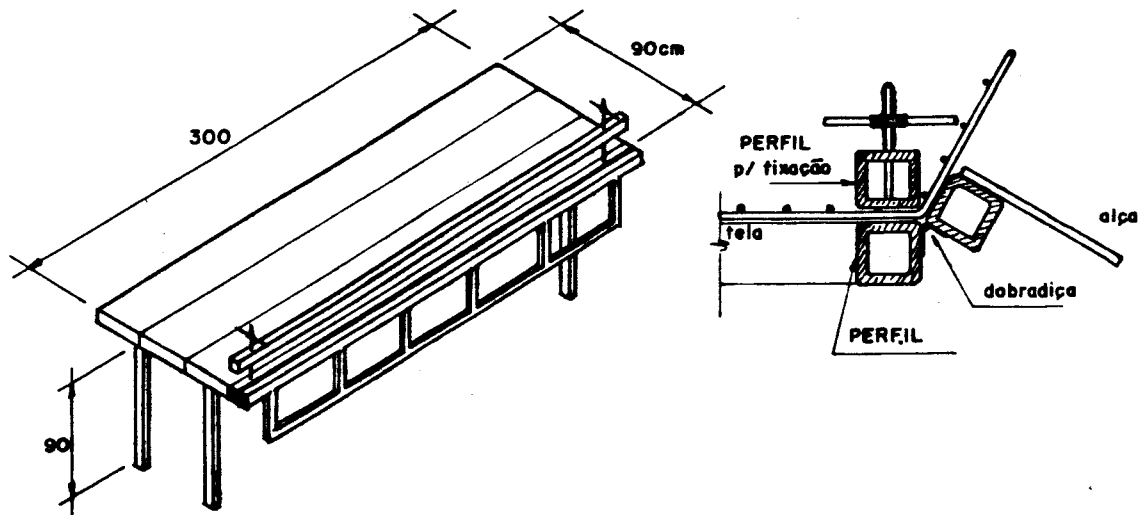


FIGURA 4.3 MESA PARA O DOBRAMENTO DE TELAS

As armaduras complementares são também cortadas e retificadas e posteriormente amarradas, com arame recozido, às armaduras de telas. Em alguns casos podem necessitar de retificadores, ou até pontos de solda, que garantam a todo o conjunto sua perfeita conformação.

Uma vez terminada a montagem, o conjunto composto pela armadura de tela e pela armadura complementar é colocado na forma, onde é feito um ajuste final para garantir o correto posicionamento e garantia do cobrimento, para isso usa-se os espaçadores de armadura.

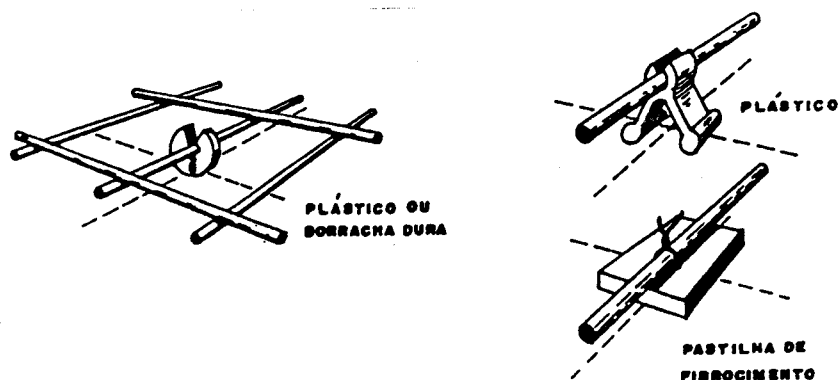


FIGURA 4.4 ESPAÇADORES DE ARMADURA [2]

SEQÜÊNCIA DE EXECUÇÃO DE UMA PEÇA EM ARGAMASSA ARMADA

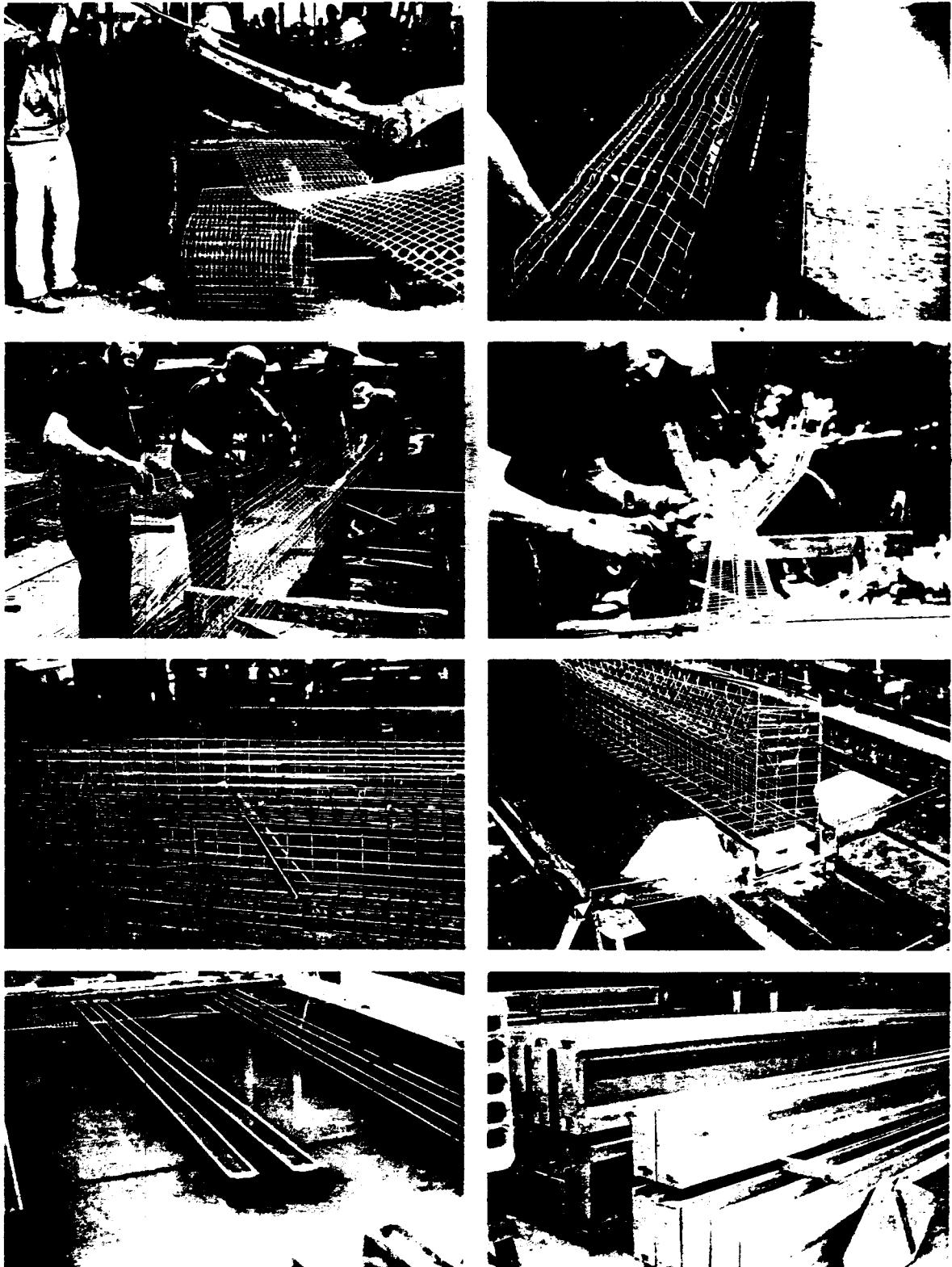


FIGURA 4.17 ILUSTRAÇÃO DO CATÁLOGO S/7 DO IBTS

4.2.12 FÔRMAS

A pequena espessura dos componentes de argamassa arma da exigem características adicionais, em relação às fôrmas usadas para o concreto.

As prescrições da NBR 11173¹⁸ com respeito ao aspectos relativos a produção adverte no item Fôrmas:

A configuração final da peça deve evitar as superfícies que se disponham em planos paralelos a direção da desforma.

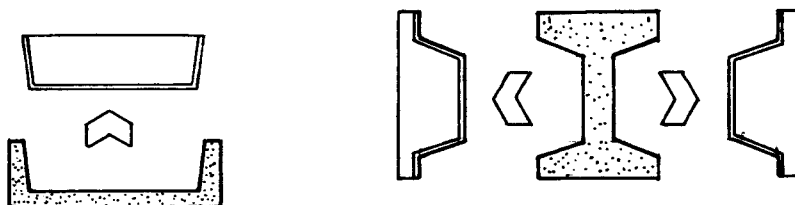


FIGURA 4.5 PROVIDÊNCIAS PARA FACILITAR A DESFORMA

A confecção das fôrmas é o ponto principal na etapa de produção dos componentes, uma vez que dela se espera a materialização das decisões de projeto: na precisão das medidas, na rapidez e eficiência das operações de montagem e desforma, acabamento superficial e, em consequência da sua durabilidade. Complementando com os reaproveitamentos que são fatores decisivos para a redução do custo de produção.

Podem ser usados diversos materiais aos quais, segundo Ordóñez⁵⁵ corresponde uma expectativa de reaproveitamento conforme mostra o quadro da figura 4.6 abaixo:

MATERIAL	reaproveitamentos
madeira sem tratamento	20 a 80
madeira tratada	30 a 120
madeira revestida com chapa de aço	30 a 150
moldes reforçados com fibra de vidro	80 a 400
chapas de aço desmontáveis	500 a 800
chapas de aço não desmontáveis	800 a 1200

FIGURA 4.6 MATERIAIS PARA CONFECCÃO DE FORMAS ⁽⁵⁵⁾

Evidentemente a durabilidade e a quantidade de reaproveitamento das formas, além do material, dependem do tipo de manuseio durante a produção. Portanto o projeto para a fabricação das formas deve considerar todos estes fatores e às diferentes solicitações, provenientes da vibração, a que estão sujeitas durante o adensamento.

Segundo Fonseca de Campos⁴⁹, a partir da tipologia apresentada por Ordóñez⁵⁵ para formas pré-fabricadas de concreto, pode-se, classificar as formas para argamassa armada quanto à forma de produção em:

- FÔRMAS FIXAS** - fabricação estática; que exigem o revezamento de equipes a sua volta. É o caso das formas parciais vistas na figura 4.1.
- extrusão (em pista): exige um carro vibratório como o da figura 4.7:

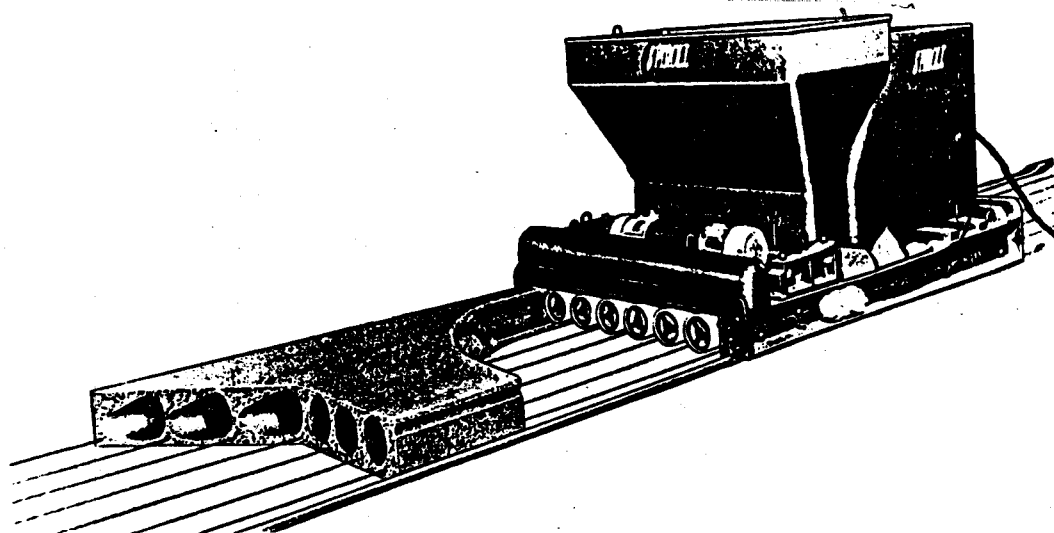


FIGURA 4.7 CARRO VIBRATÓRIO PARA A PRODUÇÃO DE CONCRETO

- FÔRMAS MÓVEIS** - linha de produção onde a forma percorre toda a fábrica, num carrinho, através de pórtico ou ponte rolante.

As formas envolventes ou formas duplas, difundidas pelos trabalhos de Lima²², são o exemplo de formas móveis e resultam em melhor acabamento superficial, devido a facilidade de adensamento. O seu manuseio é agilizado pelo uso do pórtico rolante, que percorre a linha de produção.



FIGURA 4.8 PÓRTICO ROLANTE USADO NO LAB. DA EESC-USP

No manuseio, ou na movimentação das fôrmas envolvidas durante o ciclo produtivo das fábricas de equipamentos até agora implantadas, tem-se usado pórticos rolantes na imersão das formas nos tanques de cura e demais operações auxiliadas por dispositivos de suporte, chamados de paletes. Assim a capacidade de suporte do equipamento é melhor aproveitada, tanto na linha de produção como nas operações de transporte e montagem dos componentes.

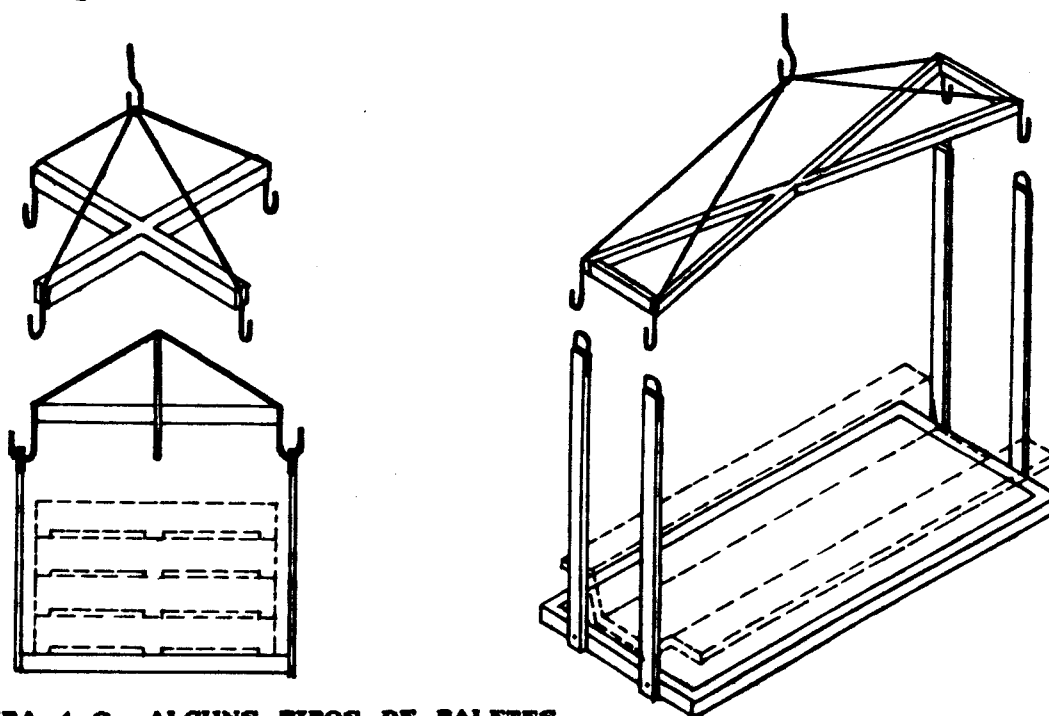


FIGURA 4.9 ALGUNS TIPOS DE PALETES

O ciclo de produção, desse tipo, fica condicionado ao alinhamento do trilho do pórtico, onde estão localizados todos os demais equipamentos necessários.

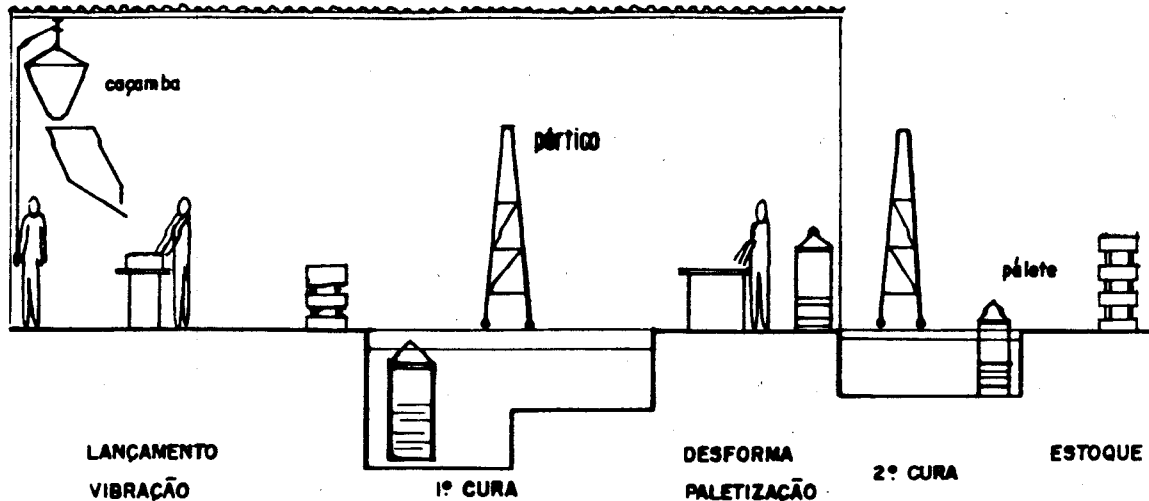


FIGURA 4.10 LINHA DE PRODUÇÃO

Ainda, com respeito às fôrmas, observa-se a questão da precisão das medidas dos componentes, de modo a possibilitar o perfeito encaixe dos elementos na fase de montagem.

Na NBR 11.173, encontram-se as seguintes citações:

4.5.3 Tolerâncias:

Para peças pré-moldadas aplica-se, em geral, o disposto na NBR 9062, ressalvando o disposto em 4.5.3.2 e 4.5.3.3.

4.5.3.2 Na espessura, a tolerância máxima admitida é de ± 3 mm, não excedendo 10% da espessura total.

4.5.3.3 No cobrimento da armadura toleram-se variações de ± 2 mm.

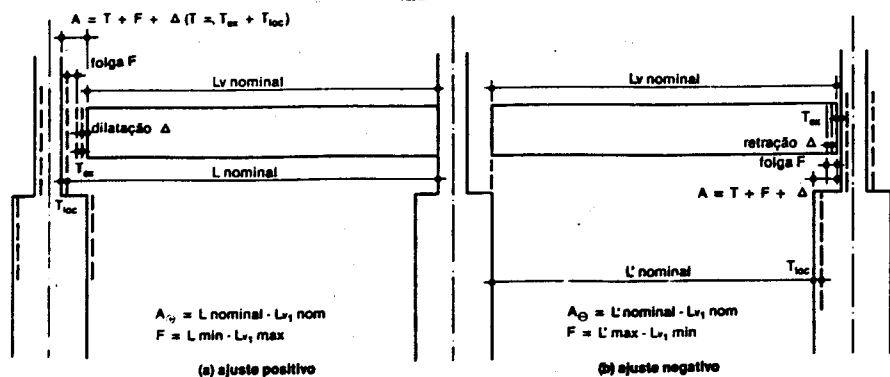


FIGURA 4.11 TOLERÂNCIAS DE EXECUÇÃO (NBR 9062)

Como exemplo da evolução do projeto de fôrmas para pré-fabricados, pode-se ver na ilustração do livro de Meyer-Böhe⁵⁷, mostrada na figura 4.12, mesmo constituindo uma fôrma do tipo fixa, apresenta alto grau de mecanização.

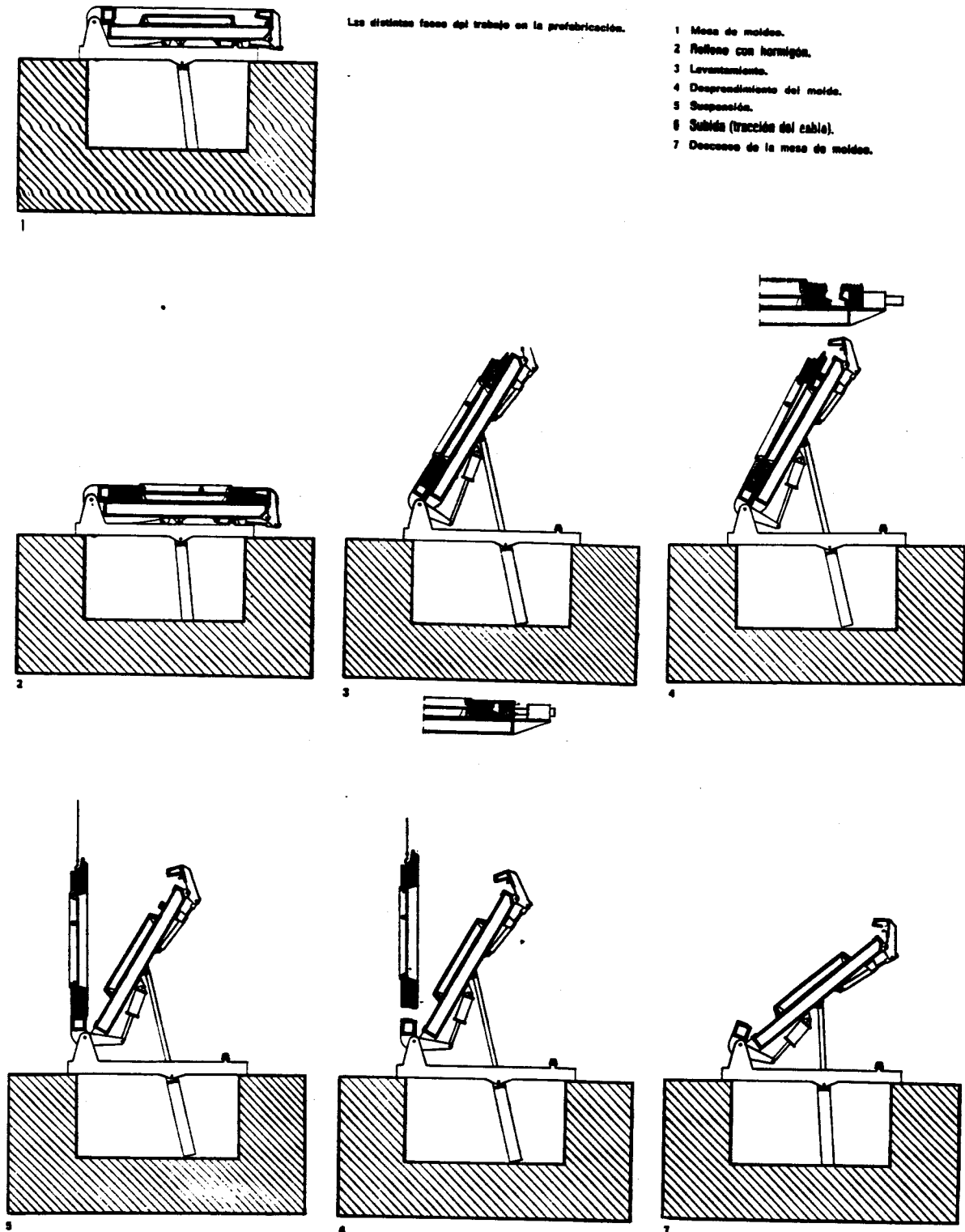


FIGURA 4.12 FÔRMA DO TIPO FIXA COM DESFORMA BASCULANTE⁵⁷

4.2.13 ARGAMASSA

Para que as propriedades abordadas no capítulo 2 sejam as adequadas, a execução da argamassa deve considerar, além do estabelecimento de uma dosagem adequada, considerado o local de aplicação, e também que os cuidados relativos aos insumos garantam a qualidade.

A todas as fases de confecção da matriz de argamassa como a estocagem, a mistura e o controle, correspondem os cuidados indispensáveis prescritos pela NBR 11173.

4.2.14 LANÇAMENTO E ADENSAMENTO

A fase de lançamento e adensamento está relacionada ao tipo de fôrma adotado e o conseqüente tipo de produção. A primeira providência, nesta etapa, é a montagem do conjunto fôrma + armadura de maneira a possibilitar a argamassagem sem alteração nas dimensões.

O lançamento deve obedecer o disposto no item 13.2 da NBR 6118⁹⁷. Para o adensamento é recomendado a vibração mecânica. Observando-se uso de vibrações de alta frequência -- da ordem de 3.500 a 5.000 rotações por minuto. O que vem exigir maior cuidado no dimensionamento das fôrmas.

4.2.15. CURA

As providências necessárias para garantir a perfeita hidratação do cimento são tão simples que, paradoxalmente, são as mais negligenciadas durante a produção de artefatos de cimento. Nos componentes de argamassa armada as devidas providências relativas a cura são imprescindíveis.

A cura por aspersão ou cobrimento é mais indicada para as fôrmas fixas e a imersão para as duplas, ou envolventes. A cura térmica, através da aplicação de vapor durante um determinado ciclo, foi adotada na GEDEC²⁴, e justifica o gasto adicional de energia por possibilitar a liberação mais rápida das formas⁽⁵⁶⁾.

4.3 ETAPAS DE PRODUÇÃO

Neste item é feita a descrição de todas as etapas de produção para análise e mesmo para escolha do procedimento adequado para a fabricação. No entanto, ressalta-se que não é um trabalho especializado, pois o objetivo aqui é, principalmente extrair as informações necessárias aos projetistas. Para um resultado mais consistente, em termos de produtividade, devem ser buscadas mais informações e elaborado um plano específico.

As operações envolvidas no processo de produção, como descritos, podem ser sintetizadas no ciclo da figura 4.13:

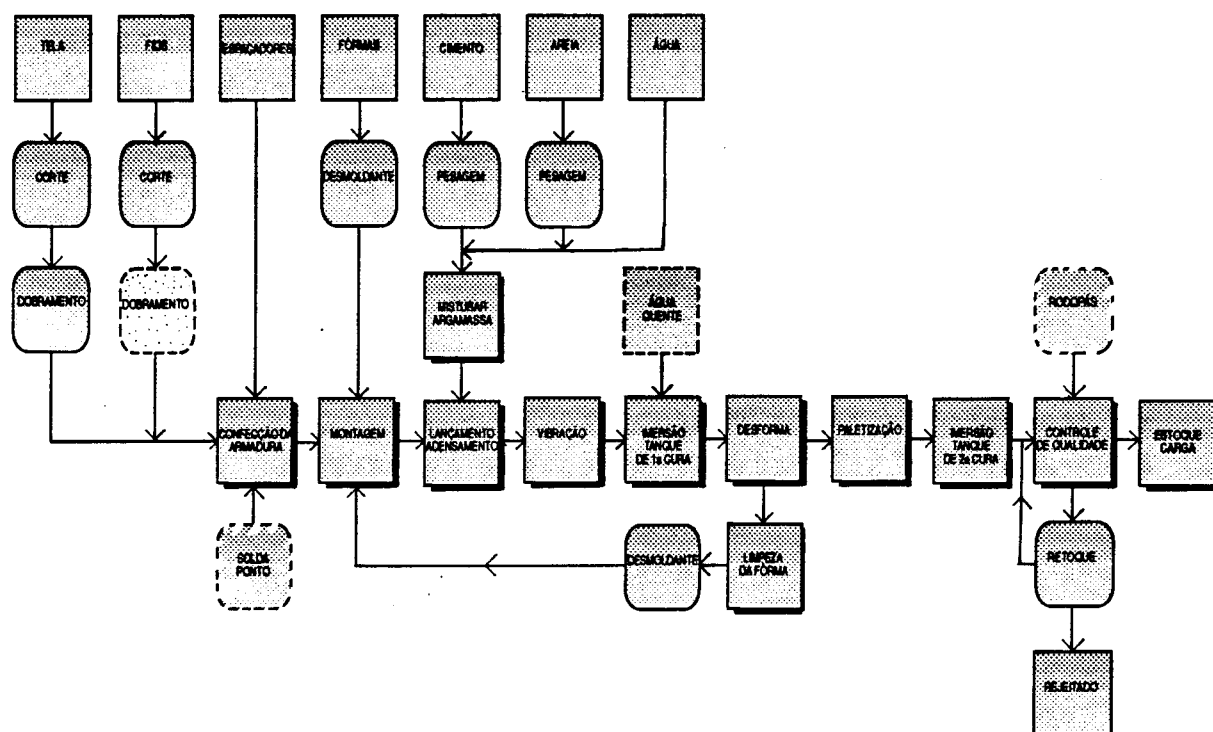


FIGURA 4.13 CICLO DE PRODUÇÃO DE COMPONENTES EM ARG. ARMADA

Como se vê não há nenhuma operação sofisticada, trata-se de uma tecnologia já relativamente bem conhecida, por sua similaridade com o concreto armado ou mesmo com o concreto protendido. Mesmo assim, sempre há a necessidade de providências que assegurem o desenvolvimento do processo

Assim, escolhe-se aqui a opção de estudar o processo produtivo, desde o mais simples possível, aumentando de modo gradual sua complexidade.

4.3.1 PRODUÇÃO AO PÉ DA OBRA

Assim como as primeiras aplicações, alguns componentes de argamassa armada podem ser pré-moldados no próprio canteiro. Tal procedimento já apresenta algumas vantagens como a economia de fôrmas e de escoramentos, alguma redução no tempo de execução, e melhores condições para um certo controle na qualidade do componente.

A princípio o manuseio das peças deve ser manual, de forma que seu peso deve estar em torno de 100 kg, deste modo todas as operações podem realizar-se sem a necessidade de equipamento. Entretanto, pode ser interessante o uso de um pórtico rolante provido de uma roldana ou uma talha para o manuseio durante a produção ou dispositivos como carrinhos para conduzir as peças ao local de aplicação e talhas para o seu içamento, também constituem um auxílio importante e podem vir a ser aproveitados em outras atividades da obra.

As operações envolvidas, neste caso, seriam:

1. Confeção de fôrmas parciais executadas no local;
2. Preparação das armaduras;
3. Montagem da forma e armadura;
4. Preparo da argamassa com dosagem em volume;
5. Argamassagem;
6. Adensamento: com vibradores de agulha;
6. Cura: por aspersão, ou por imersão;
7. Desmoldagem;
8. Cura;
9. Armazenagem;
10. Transporte;
11. Montagem.

Para esta modalidade de produção considera-se que o componente produzido, além da repetição na obra, possa vir a ser utilizado, as vezes com alguma alteração não muito significativa, em outra obra de forma a justificar o investimento em fôrmas. As conveniências da adoção da produção na obra seriam a uniformidade e a eliminação do transporte.

4.3.2 PRODUÇÃO EM PEQUENA ESCALA

Uma fábrica de componentes pode ser reduzida a um nível mínimo de equipamentos de forma a reduzir o investimento inicial, sem maior perda da qualidade e de acordo com a demanda exigida. Neste caso, são necessárias as seguintes etapas de operações:

1. Confeção de fôrmas parciais executadas no local, fôrmas mistas ou fôrmas envolventes adquiridas de uma fábrica especializada.
2. Preparação das armaduras;
3. Montagem da fôrma e armadura;
4. Preparo da argamassa com dosagem em massa ou volume;
5. Argamassagem;
6. Adensamento: com vibradores de agulha;
8. Cura: por aspersão, ou por imersão;
7. Desmoldagem;
8. Cura;
9. Armazenagem;
10. Transporte;
11. Montagem.

O espaço é praticamente o mesmo utilizado pelas pequenas fábricas de artefatos de cimento, do tipo laje pré-moldada, muros, moirões, tanques, etc.

Quanto a adoção da dosagem em volume é bom lembrar que a facilidade de execução obtida deve ser compensada por um cuidadoso estudo da dosagem e pela correção da umidade.

Para o manuseio das armaduras complementares são usadas as mesmas ferramentas do concreto armado, para a armadura em telas deve ser providenciada uma mesa para o dobramento de telas como a mostrada na figura 4.3.

A preparação da argamassa pode ser efetuada através de betoneira comum ou auto-carregável.

Para as operações de transporte na linha de produção deve dispor de carrinhos, ou se possível pórtico rolante.

4.3.3 PRODUÇÃO DE UMA MÉDIA ESCALA

Na produção em média escala admite-se a necessidade de equipamentos, num determinado grau de mecanização, que possa ser gradativamente incrementado.

1. Formas: executadas no local ou adquiridas prontas;
2. Preparação das armaduras;
3. Montagem da forma e armadura;
4. Preparo da argamassa com dosagem em massa;
5. Argamassagem;
6. Adensamento: com mesa vibratória ou vibradores de agulha;
6. Cura I: por imersão;
7. Desmoldagem;
8. Cura II: por imersão ou aspersão;
9. Controle de Qualidade;
10. Armazenagem.

O espaço, neste caso, deve ser previamente projetado como o exemplo da figura 4.14 de forma a otimizar o fluxo de produção. Havendo necessidade de um prédio administrativo, galpões cobertos para possibilitar o trabalho ininterrupto em qualquer tempo.

Quanto aos componentes é desejável que possuam um peso que permita a facilidade de transporte no canteiro.

As fôrmas seriam do tipo envolvente, para agilizar as operações de montagem, argamassagem, desmolde e limpeza. Assim, podem ser confeccionadas em serralheria especializada de maneira a evitar o excesso de investimento em espaço, equipamento e mão de obra especializada.

Para o manuseio das armaduras complementares são usadas as mesmas ferramentas do concreto armado, para a armadura em telas deve ser providenciada uma mesa para o dobramento de telas.

O preparo da argamassa deve, ter dosagem em peso, e ser efetuada através de misturador auto-carregável.

Para as operações de transporte no interior da fábrica deve existir um pórtico rolante com um trilho fixo.

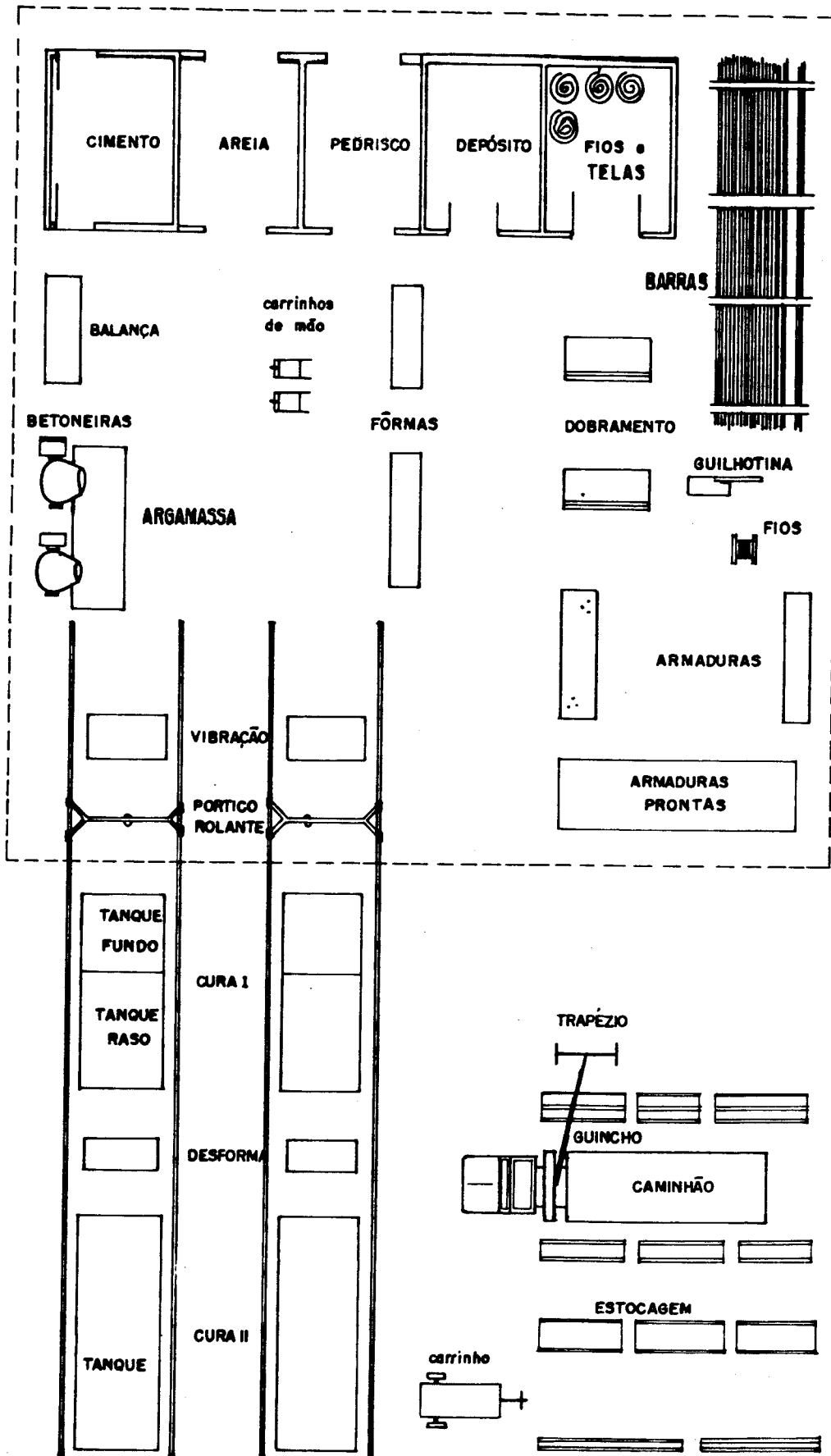


FIGURA 4.14 FÁBRICA PARA PRODUÇÃO EM MÉDIA ESCALA

4.3.4 PRODUÇÃO EM GRANDE ESCALA

Para a devida avaliação dos processos anteriormente descritos, e seu adequado desenvolvimento, é interessante prever o que seria uma produção de alto grau de mecanização.

1. Processo especial de fabricação de fôrmas;
2. Preparação das armaduras;
3. Montagem da forma e armadura;
4. Preparo da argamassa em central automática com dosagem em peso;
5. Argamassagem;
6. Adensamento: com mesa e/ou vibradores de fôrma;
6. Cura I: por imersão ou cura térmica;
7. Desmoldagem;
8. Cura II: por imersão;
9. Controle de qualidade;
10. Armazenagem;
11. Carga para o transporte: com ponte rolante;

O espaço requerido seria compatível com o nível de produção. Como exemplo, mostra-se na figura 4.15 a previsão de um fluxo de produção, onde as pistas ou linhas poderiam ser duplicadas na medida da necessidade.

Quanto aos componentes é desejável que possuam uma forma adequada para a maior agilidade possível nas operações e seu tamanho considere as limitações do transporte externo.

Para as telas e armaduras complementares devem ser usadas máquinas de retificação, para a telas pode ser usada uma prensa adaptada ao dobramento de telas.

A preparação da argamassa deve ser efetuada através de central automática de forma que os insumos sejam rapidamente carregados através de guindaste. E no suprimento da argamassagem usa-se caçambas sustentadas por ponte rolante.

Na argamassagem, será usado um carro extrusor, a exemplo da produção de concreto protendido, como mostrado na fig. 4.7, adaptado as condições, a semelhança das telhas protendidas de pequena espessura.

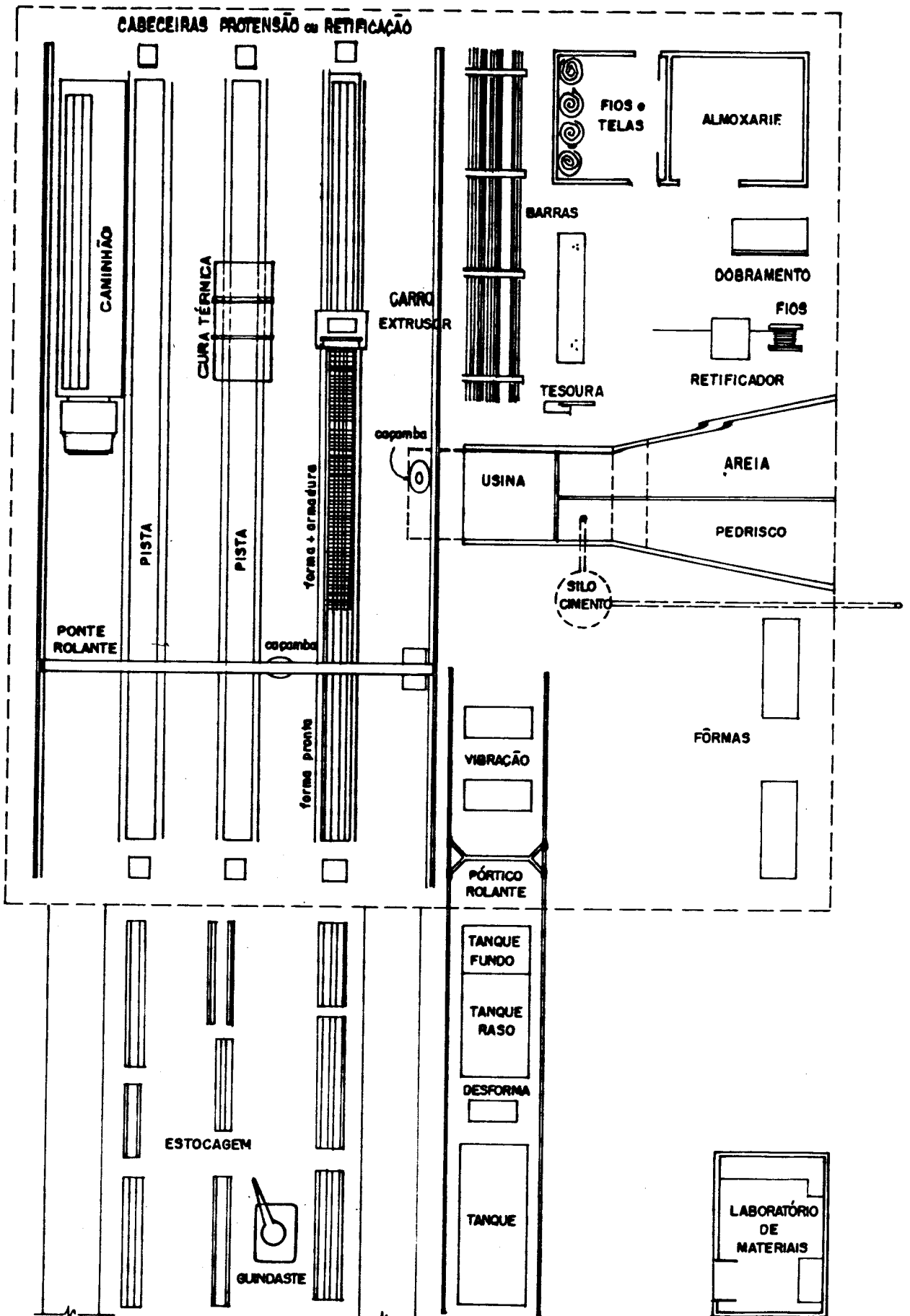


FIGURA 4.15 FÁBRICA PARA A PRODUÇÃO EM GRANDE ESCALA

Nessa alternativa o conjunto já é provido de equipamento de vibração durante a argamassagem.

Para a etapa de cura pode ser aplicada cura térmica a vapor, visando reduzir o tempo e a quantidade de fôrmas⁽⁵⁶⁾. A opção já adotada, no caso do concreto protendido, é usar um dispositivo móvel que desloca-se sobre a pista, após a argamassagem. A temperatura indicada para a argamassa armada estaria em torno de 70° C e o ciclo de vapor consiste de quatro etapas mostradas na figura 4.15, o aquecimento e resfriamento gradual, prescrito pela NBR 9062, é necessário para evitar choque térmico na argamassa.

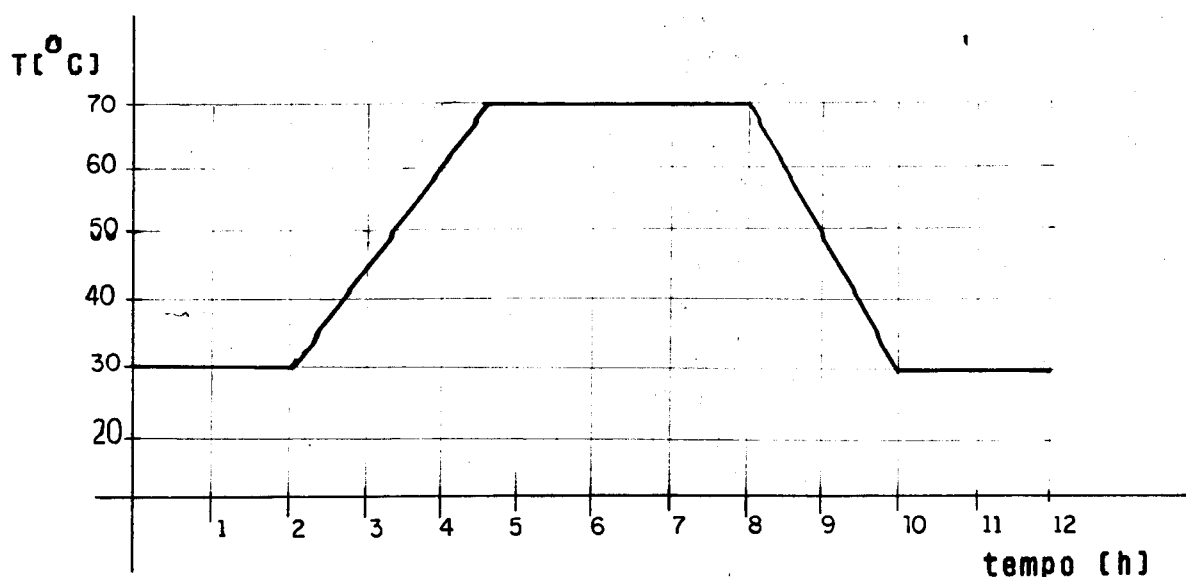


FIGURA 4.15 CICLO DE CURA TÉRMICA

As decisões sobre a conveniência de determinado tipo de produção, se em linha ou pista, dependem do conjunto de fatores a serem definidos pelo projeto, em função da demanda e da geometria do componente.

A fábrica para produção em grande escala pode, como sugere a figura 4.15, possuir dois tipos de produção de modo que a cada componente corresponda um tipo de produção mais adequado.

As etapas de estocagem e de carga para transporte utilizam-se de guindaste acoplado a caminhões e também podem usar pórticos ou mesmo a ponte rolante, de maneira que a paletização pode ser adotada em todas as etapas, e assim assegurar melhor proteção aos componentes.

4.5 AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE

Uma determinada linha de produção de componentes deve ser dinâmica, sua produtividade deve ser avaliada continuamente de forma a otimizar o processo. Dessa avaliação evidentemente surgem modificações que retornam ao setor de projeto que deve reprojeter, caracterizando as idas e vindas citadas no capítulo 3.

O processo de produção exige que o produto assegure, a reprodução do capital e o lucro. A esse aspecto destina-se, mais especificamente, o capítulo 7. Assim mesmo, aproveitando a comparação entre produção ao pé da obra, pequena, média e grande escala, pode-se extrair algumas considerações quanto a aspectos mais gerais, que tem influência direta sob os resultados econômicos.

A primeira é o dimensionamento, ou escolha do tipo de produção, qual dos tipos pode atender ao trinômio custo, tempo e recursos, depende do tipo, geometria e da quantidade de componentes a serem produzidos.

A segunda seria, uma vez implantada a produção, procurar o melhor aproveitamento de sua capacidade produtiva, com o menor consumo de material e energia.

A terceira é a avaliação, no menor prazo de tempo possível, da produtividade. Trata-se do pleno conhecimento e a certeza da capacidade de produção. No sentido de manter o mínimo estoque e a máxima capacidade de cumprir prazos e compromissos de entrega. Mantendo esse controle, e de posse destas informações tem-se a possibilidade de obter a máxima rentabilidade e poder até mesmo saber, com acerto, o melhor momento de alterar o modo de produção.

Precisa-se considerar, enfim, que todos estes fatores estão relacionados, de forma que, qualquer decisão afeta todo o conjunto "projeto - produção - execução". Desse modo, é bom sempre lembrar da origem de tudo que foi a necessidade de um usuário, e que da intensidade da sua satisfação vai depender a continuidade do processo.

CAPÍTULO 5

ANÁLISE ESTRUTURAL DE SISTEMAS E COMPONENTES

Neste capítulo procura-se abordar, de forma explicativa e sistemática, a influência do conhecimento estrutural nas decisões de projeto destinados a sistemas e componentes de argamassa armada.

A Engenharia de Estruturas como área de conhecimento é, evidentemente, muito mais ampla e abrangente. Entretanto neste trabalho procura-se desenvolver alguns procedimentos que possam oferecer os subsídios citados anteriormente.

O conhecimento estrutural é, como o desenvolvimento de sistemas construtivos, dinâmico a tal ponto que ao terminar um trabalho constata-se a necessidade do próximo. No entanto tal dinâmica não tem a correspondência do setor produtivo. Na indústria a adoção das inovações está condicionada a fatores de várias naturezas e de interesses diversos.

No entanto constatamos que qualquer decisão, a nível de produção, é precedida por um conjunto de estudos e pesquisas iniciados, muitas vezes, anos antes. Isto vem demonstrar a importância da atividade de pesquisa e a necessidade de uma certa desvinculação com os interesses mais imediatistas do setor produtivo.

O desenvolvimento de técnicas produtivas carece então de um suporte de pesquisa e experimentação. E cabe à Engenharia Estrutural fornecer os subsídios para tanto. No caso da tecnologia da argamassa armada, esta tem sido uma das principais preocupações do Grupo de São Carlos, e os resultados alcançados reafirmam o acerto desses propósitos.

5.1 ANÁLISE ESTRUTURAL

A análise estrutural tem a definição genérica de constituir um ramo da ciência que tem a ver com o comportamento das estruturas sob determinadas condições de projeto. As estruturas são definidas como sistemas que suportam cargas e o comportamento entendido como sua tendência a deformar-se. Os resultados da análise servem para determinar a forma da estrutura deformada e verificar se são adequadas para suportar o carregamento para o qual foi projetada.

A Engenharia de Estruturas trata, principalmente, sobre três temas básicos: A análise estrutural, a análise de esforços e o projeto estrutural. Todos, apesar de estarem interrelacionados, são tão distintos que se estudam independentemente. Sua seqüência é mostrada na figura 5.1 abaixo:

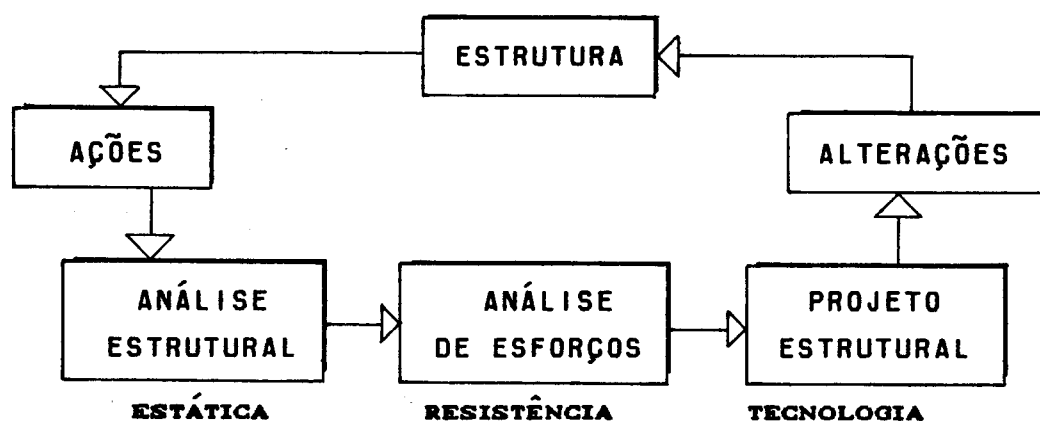


FIGURA 5.1 ETAPAS DA ENGENHARIA DE ESTRUTURAS⁵⁸

O resultado de tal procedimento é, a princípio, o de assegurar que nenhuma parte da estrutura apresente esforços que excedam os limites permitidos garantindo assim a devida segurança. Outro objetivo deve ser de buscar um tal projeto de forma a obter o menor custo possível.

Para a análise estrutural a estrutura é definida pela sua geometria e por suas propriedades físicas E , A , I que representam o módulo de elasticidade, a área (da seção transversal) e o momento de inércia dos elementos.

As cargas são os efeitos externos sobre a estrutura consistindo de cargas acidentais (ou eventuais) como pessoas, trânsito, vento, etc. ou outros efeitos como temperatura. A análise inicia então pelo estabelecimento preciso das cargas. Os resultados da análise estrutural seriam as deflexões de determinados pontos e as tensões decorrentes do carregamento. O resumo deste ciclo é mostrado na figura 5.2

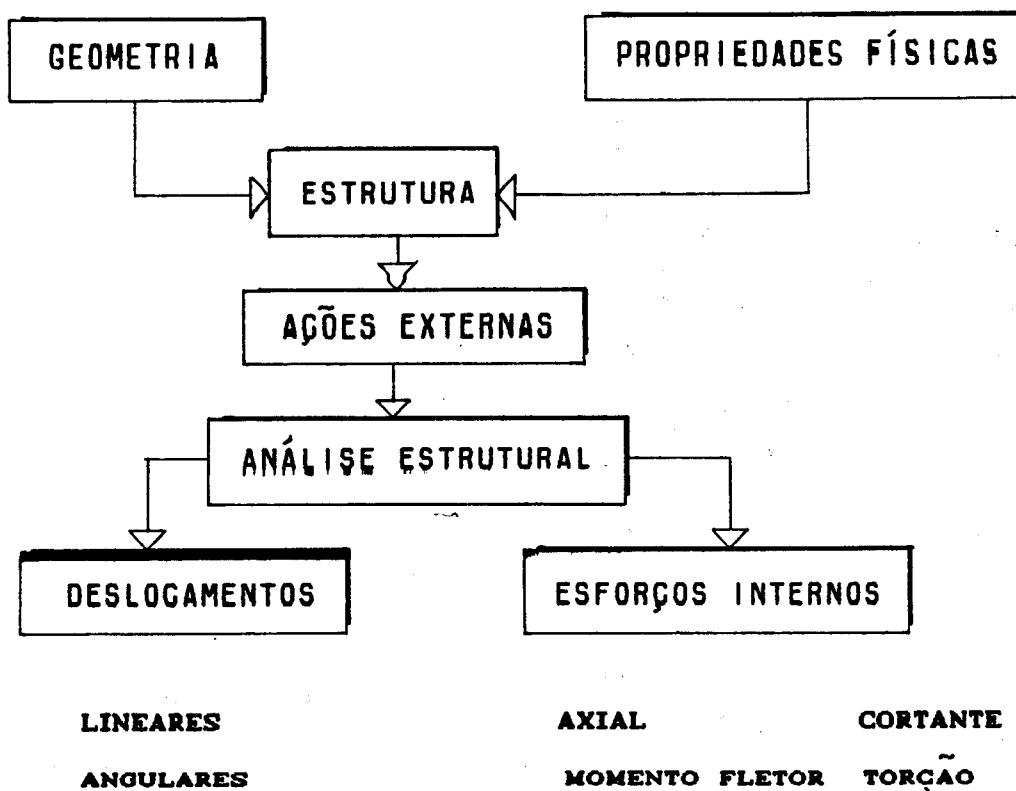


FIGURA 5.2 PROCESSAMENTO DA ANÁLISE ⁵⁸

Em resumo este é o procedimento geral e os resultados servem para se decidir pela conveniência ou não da adoção de determinada estrutura.

Uma vez escolhida, a estrutura será analisada para a definição das suas dimensões e de seus componentes, assim como seu ajuste às condicionantes do projeto arquitetônico.

Evidente que aparecem, mesmo mantendo-se o mesmo material estrutural, diversas possibilidades de escolha, tanto em forma como em dimensões. E o ciclo pode ser repetido até que atenda aos requisitos definidos pelos projetistas.

5.2 COMPOSIÇÃO ESTRUTURAL

A composição estrutural é o conjunto de escolhas e decisões que resultam na concepção estrutural com repercussão direta sobre a aparência e desempenho da edificação.

"A aparência externa de uma edificação não deve, e não pode ser nada mais do que a expressão visível de uma eficiência estrutural ou uma realidade construtiva" Pier Luigi Nervi⁴

A escolha da estrutura, no caso das edificações tradicionais, inicia pelo projeto arquitetônico. Na maioria dos casos, quando o projetista da estrutura é chamado, já foi definido no ante-projeto tanto o sistema construtivo, como o material estrutural e sua geometria. Neste caso a análise estrutural fica restrita à segurança e a uma economia parcial, como mostra a figura 5.2.

Atualmente, os profissionais envolvidos com o projeto, conscientes das limitações impostas pelo procedimento acima descrito, têm procurado o trabalho em equipe, no sentido de superar esta limitação.

As possibilidades da construção racionalizada ou da industrialização exigem, cada dia mais intensamente, pela especialização exigida aos profissionais envolvidos, este tipo de procedimento, de maneira a constituir um ciclo interativo conforme argumentado no item 3.3.2.

A composição estrutural, no segundo caso, abre maiores possibilidades de adequação tecnológica e de melhor aproveitamento dos recursos disponíveis.

Hanai⁹ observa, a este respeito, que:

" Não é fácil definir um caminho para se chegar a um bom projeto, uma vez que entram em jogo tantas variáveis, muitas delas conflitantes entre si, a serem analisadas em atividades que não são executadas de forma linear. As atividades de projeto na verdade acontecem em sucessivas idas e vindas, de desenho e redesenho "

Normalmente no processo industrial, o projeto de um componente só termina depois de testado seu ciclo produtivo. A compatibilização deste fato com o projeto que deve ser elaborado previamente é a dificuldade maior a ser vencida. Portanto o projetista, e sua equipe, necessitam do maior e melhor conhecimento possível dos materiais, ou tecnologia do produto, bem como da tecnologia do processo de fabricação e seus detalhes para as devidas definições e decisões.

Deste modo, a atividade de pesquisa & desenvolvimento, como mostrada no item 3.5, têm cada vez maior importância na propagação do avanço alcançado no desenvolvimento do produto.

Na construção convencional, onde a escolha da geometria é anterior ao projeto estrutural, deixando de oferecer opções de escolha ao projetista da estrutura, contrapõe-se a construção industrializada, ou pré-fabricada, onde a análise estrutural, com seus métodos numéricos e recursos computacionais, pode obter os esforços solicitantes e resistentes de forma a prever com precisão, cada vez maior, o comportamento das estruturas e de seus componentes. Assim tem-se a possibilidade de verificar a conveniência da adoção da composição e também, posteriormente a sua otimização estrutural.

Isto significa a aplicação do conhecimento estrutural para reduzir custos e obter geometrias mais compatíveis com todo o processo de produção, sem, com isso, ressuscitar a velha, e superada, discussão do predomínio da Estática sobre a Arquitetura.

Assim a composição estrutural, no caso das edificações abordadas neste trabalho, que são as construções leves de um ou dois pavimentos, está delimitada por arranjos mais modestos onde a escolha da tipologia é menos complexa. Porém sua importância é justificável na medida que a participação da estrutura no custo da obra é maior e há a necessidade de uma escolha compatível com as variáveis de produção, transporte e montagem.

Portanto a composição estrutural deve ser escolhida, dentre o elenco disponível de tipologias, como a que melhor possa satisfazer aos requisitos globais da construção.

5.2.1 TIPOLOGIA ESTRUTURAL

A composição estrutural seria a sistematização das diversas tipologias possíveis para a definição da geometria das estruturas. Tal abordagem tem sido feita, por diversos autores, com o objetivo de formar um repertório de opções ao projetista.

No ensino de estruturas para o curso de Arquitetura este aspecto tem sido intensamente abordado de forma qualitativa, visando a formação de uma certa sensibilidade quanto à função das estruturas. A bibliografia usada tem como principais referências Salvadori⁵⁰, Torroja⁶⁰ e Engel⁶¹.

Já no curso de Engenharia Civil, tal abordagem tem sido adotada na forma qualitativa e principalmente quantitativa com ênfase a questão geométrica e aos indicativos do comportamento estrutural para a adoção de uma modelagem matemática adequada à análise estrutural. Procura-se, assim, uma divisão decorrente do processo de cálculo mais adequado a determinada tipologia do elemento, ou do componente. Os livros adotados neste caso são, na grande maioria dos cursos, Sussekind⁶², Campanari⁶³ e Fusco³⁶.

No entanto, ainda não há um consenso sobre qualquer um dos tipos de classificações apresentadas e isto é plenamente justificado uma vez que os interesses podem ser os mais diversos, como se procura ilustrar a seguir.

A classificação das estruturas, segundo Vlassov, como apresentada por Fusco³⁶ tem a seguinte argumentação:

" O ponto de partida do projeto estrutural de uma construção consiste na idealização de um arranjo estrutural... Para a idealização desse arranjo é necessário conhecer o comportamento de cada uma das partes da estrutura a ser projetada. Para isso, torna-se conveniente que as peças estruturais sejam classificadas segundo o seu comportamento." ¹³⁶

Qualquer peça estrutural é assim classificada de acordo com a sua geometria definida pelas dimensões: L_1 , L_2 , L_3 . Os quatro tipos fundamentais de peças estruturais são: os blocos, as folhas, as barras e as barras delgadas.

Indicando-se por L_1 , L_2 e L_3 a ordem de grandeza dos três comprimentos principais, têm-se os quatro tipos de peças a seguir caracterizadas. Para efeitos práticos dois comprimentos podem ser considerados da mesma ordem de grandeza quando estiverem até na relação 1:10.

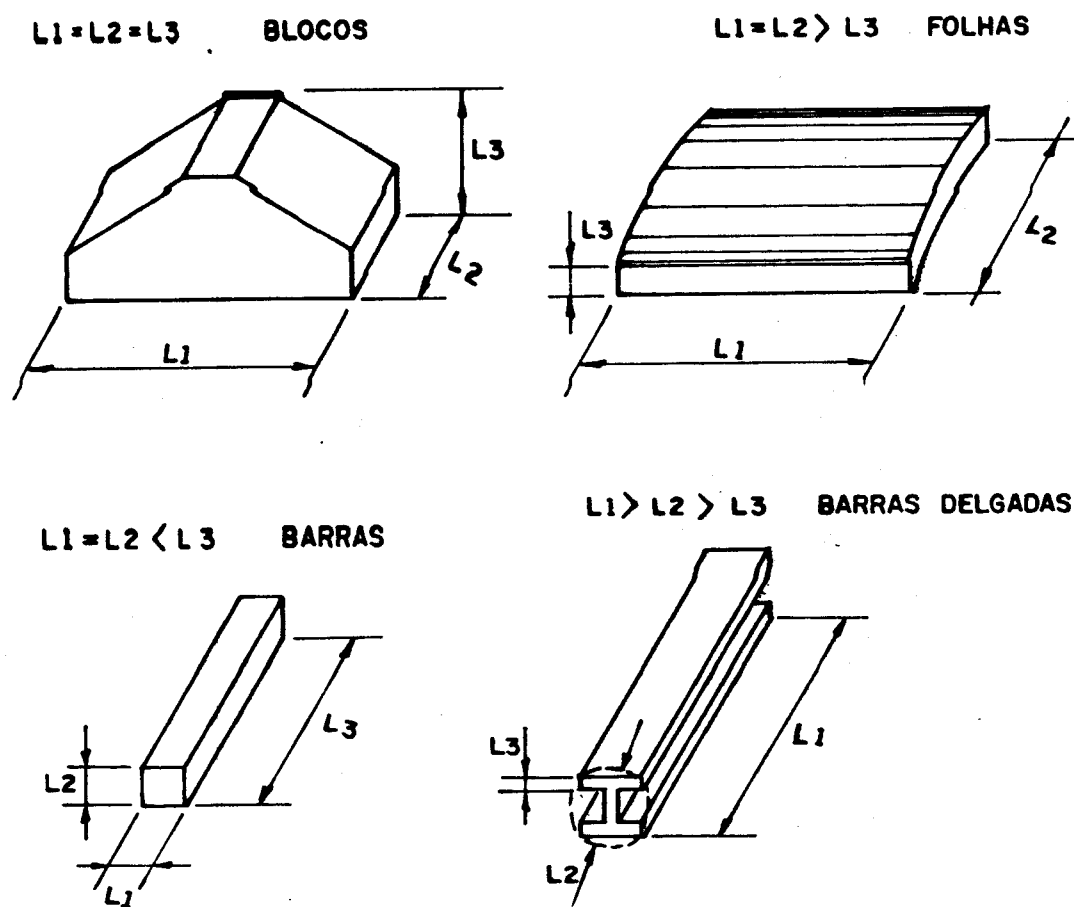


FIGURA 5.9 TIPOS FUNDAMENTAIS DE PEÇAS ESTRUTURAIS^[96]

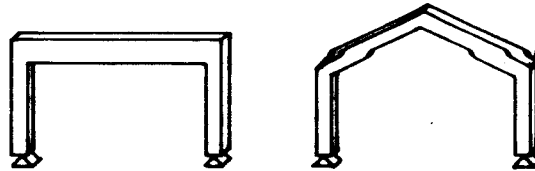
A cada um dos tipos corresponde uma análise de forma a percorrer o ciclo mostrado na figura 4.2. O estudo de cada tipo corresponde a teorias particulares, segundo Fusco⁹⁶ nas estruturas de concreto, por não corresponderem exatamente a Teoria da Elasticidade, o estudo de tensões e deformações é feito pela Teoria do Concreto Estrutural.

A maioria dos autores, como Sussekind⁶² e Campanari⁶³, adota inicialmente a classificação em elementos isostáticos e hiperestáticos, derivados da estática clássica, onde o elemento estrutural pode ser determinado pelas condições de equilíbrio ou indeterminado, quando há necessidade de se recorrer aos Métodos das Forças ou dos Deslocamentos, derivando daí também uma divisão morfológica para os sistemas estruturais, como mostra a figura 5.4:

sistemas planos: vigas,



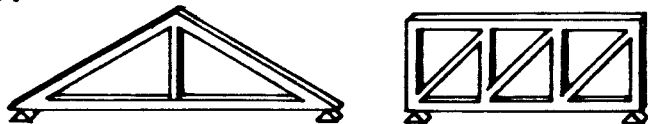
pórticos planos,



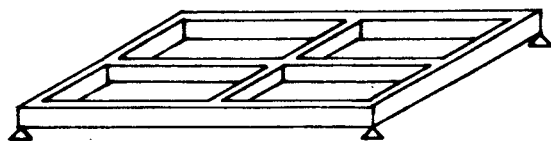
arcos



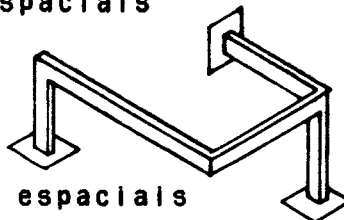
e treliças.



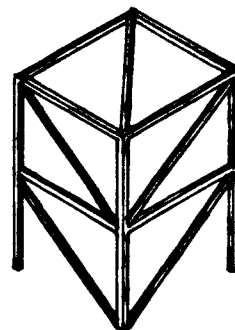
sistemas espaciais: vigas espaciais (greihas),



pórticos espaciais



e treliças espaciais



[desde que os elementos se desenvolvam em três dimensões].

FIGURA 5.4 CLASSIFICAÇÃO CLÁSSICA DOS SISTEMAS ESTRUTURAIS

A classificação apresentada por Helno Engel⁶¹, procura dividir os sistemas estruturais de acordo com a trajetória dos esforços. A cada elemento estrutural de comportamento característico é atribuído o nome de sistema, a argumentação de Engel a respeito é que:

"As estruturas são exemplos e, por conseguinte ACESSÓRIOS de projeto. Os SISTEMAS ESTRUTURAIS são ordenações e, portanto, PRINCÍPIOS de projeto.

" Desde que seja admitido que a essência do projeto estrutural é o desenvolvimento de um sistema de forma material que dirige forças para certas direções e as conduz às fundações com o máximo de estética e eficiência material, e com o mínimo de obstrução do espaço interior, o conhecimento do arquiteto nesse assunto deve prender-se então predominantemente a:

- Conhecimento do mecanismo que faz as forças mudarem sua direção.
- Conhecimento dos sistemas para cobrir espaços e resistir a deformações."

Assim pode-se interpretar os seguintes sistemas de estrutura arquitetural:

1. As estruturas, ou elementos/componentes, que atuam principalmente através de sua forma material:
 - sistemas de forma ativa onde o estado é de tração simples
2. As que atuam principalmente por meio de composição de elementos em compressão e tração:
 - sistemas de vetor-ativo ou com tração e compressão.
3. Estruturas que atuam principalmente por massa e continuidade material:
 - sistemas de massa ativa ou em estado de flexão.
4. As que atuam principalmente por continuidade de superfície:
 - sistemas estruturais de superfície ativa ou em estado de tensão de membrana.

5. Estruturas que atuam principalmente por transmissão vertical de carga:

- sistemas estruturais verticais,

As ilustrações da figura 5.5 procuram sintetizar os sistemas estruturais, vistos dessa forma:

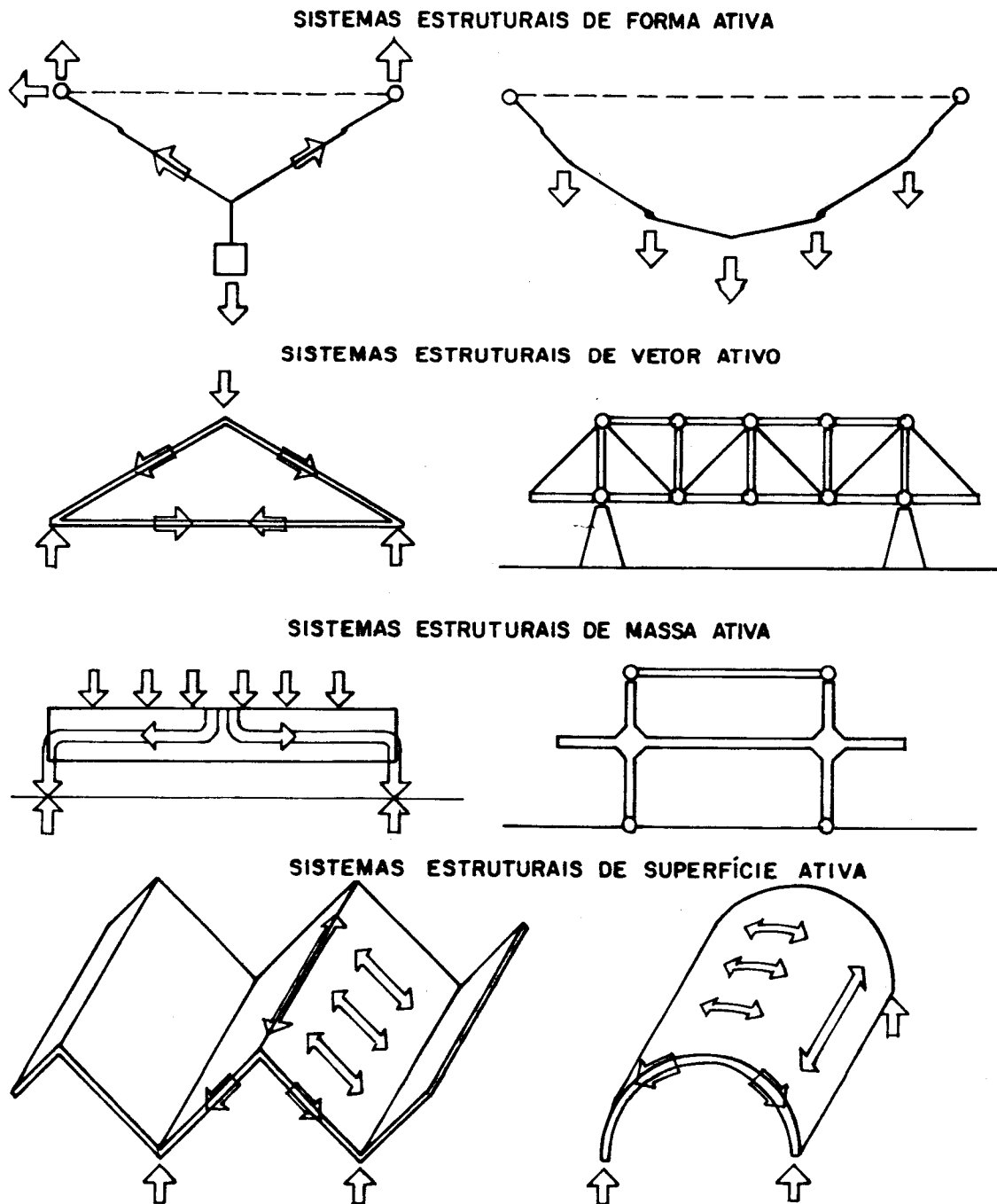


FIGURA 5.5 CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS ESTRUTURAIS ⁽⁴¹⁾

Outras classificações podem ser encontradas, a medida que os pontos principais sejam a análise por matrizes ⁵⁸ ou outro procedimento de análise matemática.

5.3 ANÁLISE DE ESFORÇOS

Os esforços atuantes, como mostrado em 5.1, também têm sua parcela de influência nas decisões de projeto. A escolha da tipologia fica, de certa forma, condicionada ao tipo de esforço preponderante, como se procurou mostrar no item 5.2.

O estabelecimento preciso do tipo e intensidade das ações, ou cargas é pré-condição essencial para a obtenção dos valores dos esforços. A NBR 6120/80 - Cargas para o cálculo de estruturas de edificações estabelece as condições para a determinação das cargas a serem consideradas.

Conhecidos, então a geometria e o carregamento pode-se, determinar os esforços a que estará submetido o componente estrutural, que são os esforços internos da figura 5.2.

Os esforços, por sua vez, são classificados por suas características mecânicas, onde recebem a denominação de estados básicos de tensão. Basicamente podem ser chamados de esforço axial (compressão e tração simples), força cortante ou cisalhamento, momento fletor (tração e compressão na mesma seção) e torção. Daí aparecem os esforços internos atuando simultaneamente como o momento fletor e cisalhamento a flexo-compressão (flexão com compressão), etc. Enfim, todo o objeto de estudo da Resistência dos Materiais.

A cada componente estrutural, ficam associados esforços característicos, que pré-estabelecem uma geometria adequada. As vigas, sempre sujeitas à flexão e cisalhamento, necessitam de maior altura em relação à largura para maior inércia e de simetria vertical na seção transversal para evitar a flexão composta. Assim a cada elemento estrutural corresponde uma providência para evitar esforços desnecessários.

No caso das edificações leves pode-se considerar que, na grande maioria dos casos, a sua pequena magnitude possibilita uma liberdade maior de escolha, em relação às outras estruturas. Daí a possibilidade de atribuir-se maior consideração ao exposto sobre a composição estrutural.

5.4 DIMENSIONAMENTO

A segurança estrutural determina que os requisitos e critérios de desempenho, a serem atendidos pelos elementos da edificação, serão fixados visando garantir que estes não atinjam os estados-limites último e de utilização. Este é o objetivo da NBR 8681/84 - Ações e segurança das estruturas⁶⁴ complementada pelas prescrições das normas específicas.

As estruturas de argamassa armada, assim como as de concreto armado, quando pré-moldadas ou pré-fabricadas, devem ser projetadas, dimensionadas e verificadas de acordo com as prescrições das seguintes normas:

- NBR 8681/84 Ações e segurança nas estruturas⁶⁴ ;
- NBR 11173/89 Projeto e execução de argamassa armada¹⁸ ;
- NBR 6118/80 Projeto e execução de concreto armado³⁷ ;
- NBR 9062/85 Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado⁶⁵ ;

Tal exigência legal tem a finalidade não só garantir a segurança das estruturas, como também permitir o estabelecimento de parâmetros para a aceitação do comportamento da estrutura nas condições de serviço.

Assim o item 3 da NBR 8.681/84 define:

3.1 ESTADOS LIMITES DE UMA ESTRUTURA

Estados a partir dos quais a estrutura apresenta desempenho inadequado às finalidades da construção.

3.2 ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS

Estados que pela simples ocorrência determinam a paralização, total ou parcial, do uso da construção

3.3 ESTADOS LIMITES DE UTILIZAÇÃO

Estados que por sua ocorrência, repetição ou duração causam efeitos estruturais que não respeitam as condições especificadas para o uso normal da construção ou que são indícios de comprometimento da durabilidade da estrutura.

5.4.1 ESTADO LIMITE ÚLTIMO

Os sistemas estruturais ou componentes em argamassa armada devem ser projetados e dimensionados de acordo com as prescrições das normas citadas. Para o estado limite último a NBR 8881/84⁶⁴ caracteriza:

No projeto, usualmente devem ser considerados os estados limites últimos caracterizados por:

- a. Perda do equilíbrio, global ou parcial, admitida a estrutura como um corpo rígido;
- b. Transformação da estrutura, no todo ou em parte, em sistema hipostático;
- c. Instabilidade por deformação;
- d. Instabilidade dinâmica.

Para as estruturas de argamassa armada a NBR 11.173/89¹⁸ determina, nos itens:

Dimensionamento das peças e esforços resistentes

Estado limite último

Neste item é tratado o estado limite último correspondente à ruína por ruptura e por deformação plástica excessiva. Outros estados limites últimos, devem ser considerados de acordo com as particularidades do projeto.

Para as solicitações normais o item 4.3.2.1.1 remete a NBR 6118, com a restrição de que a determinação do momento fletor resistente de cálculo, para seções transversais de peças de argamassa armada submetidas a flexão simples, deve levar em conta, além da armadura complementar, a contribuição dos fios longitudinais das telas, posicionados paralelamente ao eixo longitudinal.

A norma admite, no entanto, que o cálculo pode ser feito por processo simplificado desprezando-se a contribuição dos fios longitudinais posicionados na alma, quando é o caso de armadura difusa de telas de aço soldada (item 4.3.2.1.1.c).

As hipóteses de cálculo são as mesmas da NBR 6.118/80³⁷.

Conforme o Item 4.1.1.1 da NBR 6118, as hipóteses que estão relacionadas com a solicitação de flexão simples são:

- a) As seções transversais permanecem planas;
- b) Os casos possíveis de deformações, para peças sujeitas à flexão simples são os representados pelos domínios 2, 3 e 4 da figura 7 da NBR 6118, a saber:

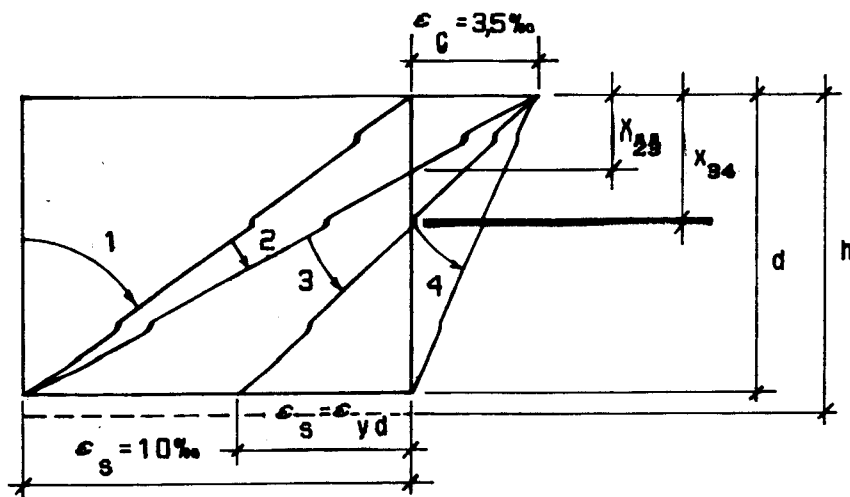


FIGURA 5.7 DOMÍNIOS DE DEFORMAÇÕES (NBR 6118) (66)

- domínio 2: sem ruptura da argamassa $\epsilon_c < 3,5\%$ e ϵ_s igual ao máximo permitido $\epsilon_s = 10\%$
- domínio 3: com ruptura à compressão da argamassa e com escoamento do aço $\epsilon_s \geq \epsilon_{cd}$
- domínio 4: com ruptura à compressão da argamassa e o aço tracionado sem escoamento $\epsilon_s < \epsilon_{yd}$

- c) O encurtamento convencional de ruptura da argamassa nas seções não inteiramente comprimidas é igual a 3,5%.
- d) O alongamento máximo permitido ao longo da armadura de tração, mais próximo à borda tracionada é 10%.
- e) A distribuição de tensões na argamassa se faz de acordo com o diagrama parábola-retângulo da figura 8 da NBR 6118 baseado no diagrama tensão-deformação simplificado da figura 31 e pode ser substituído por um diagrama retangular de altura $y = 0,8 \cdot x$ com a seguinte tensão: $\sigma_{cd} = 0,85 f_{cd}$, ou $\sigma_{cd} = 0,80 f_{cd}$ no caso da largura da seção transversal medida paralelamente à linha neutra, diminuir a partir desta para a borda comprimida;

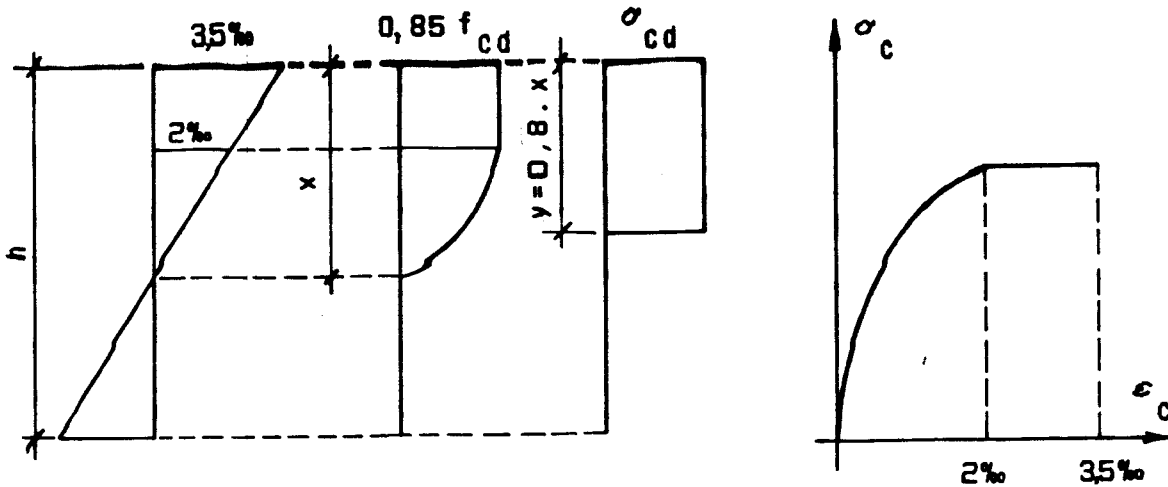


FIGURA 5.8 a) FIGURA 8 (NBR 6118)

b) FIGURA 31 (NBR 6118)

- f) A resistência à tração do concreto é desprezada;
- g) A tensão na armadura é a correspondente à deformação determinada de acordo com a posição da linha neutra. Os diagramas a adotar no cálculo são os mostrados pelas figuras 28 e 30 da NBR 6118 conforme a categoria do aço
- h) As telas de aço soldadas, adotadas neste trabalho, são as constantes do catálogo S/7 do IBTS, ou seja, de fios de aço classe B, com limite convencional de escoamento (f_{yk}) mínimo de 600MPa (CA-60). Esse limite é determinado segundo o diagrama da figura 30 da NBR 6118.
- i) Os coeficientes de ponderação das resistências dos materiais, γ_c para a argamassa e γ_s para os aços das telas e das barras e fios complementares, são os indicados na NBR 6118, com as definições da NBR 8681. Para peças moldadas no local $\gamma_c = 1,4$ e no caso de peças pré-fabricadas, conforme as exigências da NBR 9062, γ_c pode ser adotado o valor igual a 1,3. Para o aço o coeficiente γ_s é igual a 1,15 desde que sejam obedecidas as indicações da NBR 7480 para o controle de qualidade.
- j) A condição de segurança em relação ao estado limite último, é tal que, a resistência de cálculo deve ser maior ou igual à solicitação de cálculo, isto é:

$$R_d \geq S_d = \gamma_f \cdot S_k$$

O coeficiente de ponderação (γ_f) deve ser definido de acordo com os critérios da NBR 8681.

A geometria da seção transversal de componentes de argamassa armada, sejam vigas ou lajes, sujeitas a flexão, podem ser resumidas, para efeito do dimensionamento, em seções retangulares, seções T, T invertido e duplo T (ou I), ou a elas transformáveis.

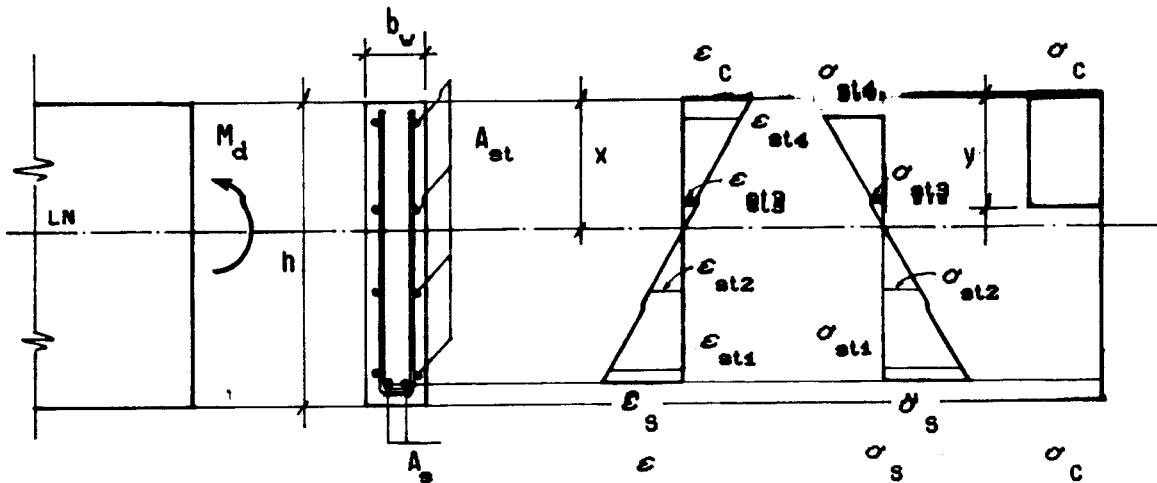


FIGURA 5.9 ELEMENTOS PARA O DIMENSIONAMENTO

No caso mais simples de dimensionamento, que é o das seções retangulares, tem-se os valores das resistências dos materiais adotados f_{ck} , f_{yk} , a ação de um momento fletor de cálculo $M_d = \gamma \cdot M_k$ e como incógnitas: a largura b_v , a altura h , a posição da linha neutra x e as armaduras. Em resumo o problema consiste em determinar estes valores de forma a atenderem à condição de equilíbrio, e também, que a linha neutra esteja no domínio 3 da figura 5.7, pois é a situação de maior aproveitamento dos materiais, e portanto a opção mais econômica. Uma vez que a altura útil d pode ser relacionada à h . Estimando-se previamente a largura e a altura as incógnitas ficam resumidas a posição da linha neutra, e adotando-se as armaduras de tela A_{st} e complementares A_s .

Adotando-se o processo simplificado, admitido no caso do uso de tela soldada, o problema torna-se igual ao do concreto armado, podendo-se recorrer às tabelas usuais.

No caso de seções I, ou duplo T, a determinação da posição da linha neutra, que pode estar na mesa superior, na alma ou na mesa inferior, é feita por processo iterativo. Através das condições de equilíbrio e compatibilidade de deformações.

5.4.2 ESTADOS LIMITES DE UTILIZAÇÃO

Para a verificação dos estados limites de utilização a NBR 11.173 prescreve no item 4.3.2.2, e seus sub-ítem, os estados limites de utilização, fissuração inaceitável e deformação excessiva respectivamente. Tais procedimentos tem origem nos itens 4.1.2.1 e 4.1.2.2 da NBR 8681/84 mostrados a seguir:

item 4.1.2.1 No período de vida da estrutura, usualmente são considerados estados limites de utilização os caracterizados por:

- a. Danos ligeiros ou localizados, que comprometam o aspecto estético da construção ou a durabilidade da estrutura.
- b. Deformações excessivas, que afetem a utilização normal da construção ou seu aspecto estético;
- c. Vibrações de amplitude excessiva.

item 4.1.2.2 Os estados limites de utilização decorrem de ações cujas combinações podem ter três diferentes ordens de grandeza de permanência na estrutura.

- a. combinações quase-permanentes,
 - combinações que podem atuar durante grande parte do período de vida da estrutura, da ordem da metade deste período;
- b. combinações frequentes,
 - combinações que se repetem muitas vezes durante o período de vida da estrutura, da ordem de 10^5 vezes em 50 anos, ou que tenham duração total igual a uma parte não desprezível desse período, da ordem de 5% ;
- c. combinações raras,
 - combinações que podem atuar no máximo algumas horas durante o período de vida da estrutura.

5.4.2.1 ESTADO DE FORMAÇÃO DE FISSURAS

A solicitação que provoca tensões capazes de causar a ruptura do concreto à tração é aquele que produz a primeira fissura no concreto. Este valor será o esforço normal de ruptura à tração ou momento de fissuração, conforme o caso. Experimentalmente é o esforço correspondente à força que provoca o aparecimento da primeira fissura, detectada com precisão pelo uso de um defletômetro indutivo, que é ligado junto com a célula de carga, num traçador gráfico para obter o diagrama ação-deslocamento durante o ensaio.

A determinação do momento de fissuração (M_f) é feita segundo a NBR 11173:

item 4.3.2.2.1 - Estado de formação de fissuras

A solicitação resistente com a qual deve haver uma grande probabilidade de iniciar-se a formação de fissuras normais, a armadura longitudinal pode ser calculada com as seguintes hipóteses:

- a) a deformação de ruptura à tração da argamassa é igual a f_{tk}/E_{ct} , sendo E_{ct} o módulo de deformação longitudinal à tração da argamassa. Na falta de dados precisos permite-se adotar $E_{ct} = E_c/2,7$, com E_c dado no item 4.4.1.2.2.2 alínea b:

$$E_c = 0,80.6600 \sqrt{f_{ck} + 3,5} \quad [\text{em Mpa}]$$

- b) na flexão, o diagrama de tensões de compressão na argamassa é triangular (regime elástico); a tensão na zona tracionada é uniforme e igual a f_{tk} , multiplicando-se a deformação de ruptura da alínea a) por 1,5;
- c) as seções transversais planas permanecem planas.

Deve ser sempre levado em conta o efeito da retração. Como simplificação, nas situações correntes, esse efeito pode ser considerado supondo-se a tensão de tração igual a 0,75 de f_{tk} e desprezando-se a armadura.

A deformação de ruptura a tração da argamassa (ϵ_t)

é então igual a:

$$\epsilon_t = 1,5 \cdot 2,7 f_{tk} / E_c$$

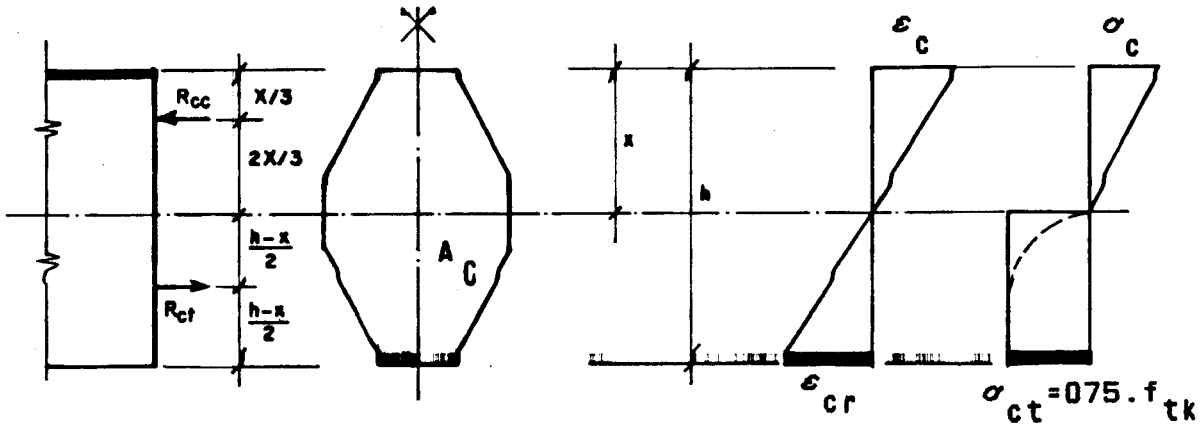


FIGURA 5.10 ESTADO DE FORMAÇÃO DE FISSURAS

No caso de seção retangular, a expressão final do momento de fissuração (M_r), resulta:

$$M_r = 0,25 \cdot b \cdot h^2 \cdot f_{tk}$$

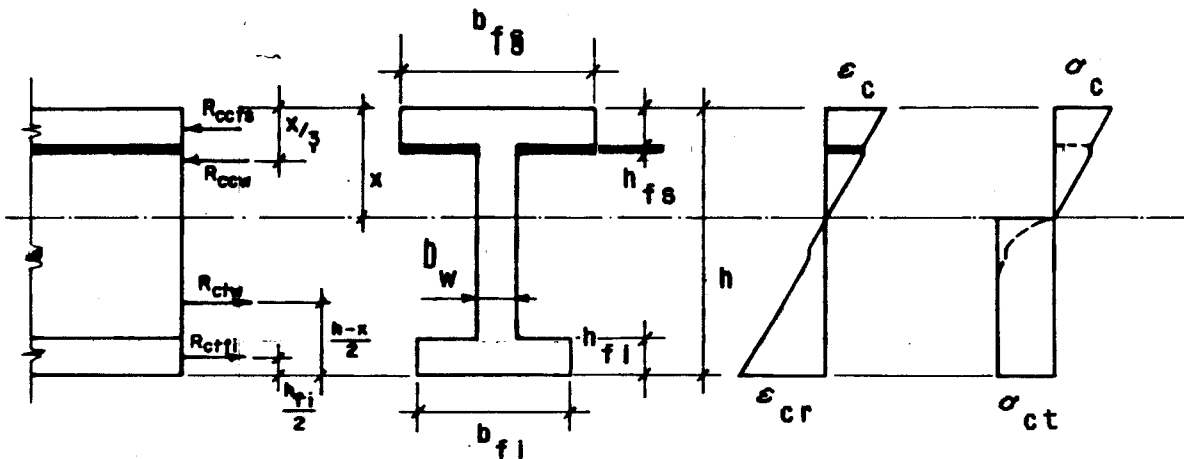


FIGURA 5.11 ELEMENTOS PARA AS SEÇÕES TRANSVERSAIS

No caso de seção I, ou duplo T, e a elas transformáveis, Glongo (1990) apresenta as seguintes expressões para os três casos possíveis da posição da linha neutra:

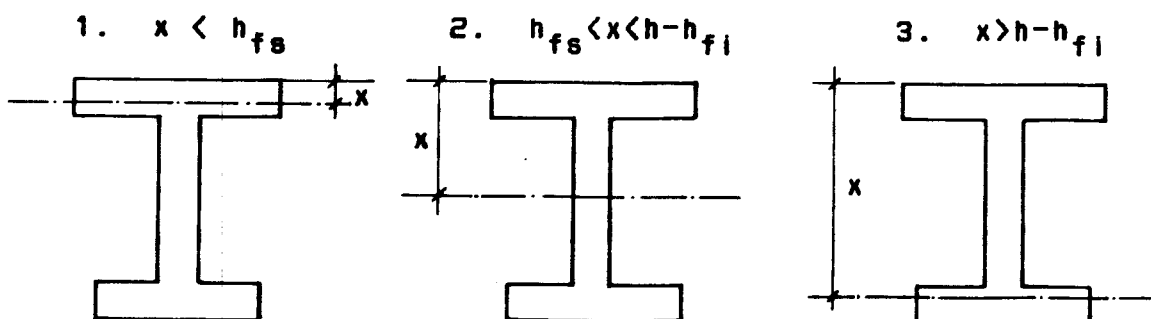


FIGURA 5.12 POSIÇÕES DA LN PARA SEÇÕES I OU DUPLO T

1. Linha neutra na mesa comprimida superior ($x \leq h_{fs}$)

$$M_r = 0,75 \cdot f_{tk} \cdot (b_{fs} - b_w) \cdot (h_{fs} - x) \cdot (3 \cdot h_{fs} + x) \cdot (1/6) + b_w \cdot (h - x) \cdot (3h + x) \cdot (1/6) + (b_{fi} - b_w) \cdot h_{fi} \cdot (6h - 3h_{fi} - 2x) \cdot (1/6)$$

2. Caso em que a linha neutra se localiza na alma:

$$M_r = 0,75 \cdot f_{tk} \cdot 4,05 \cdot (x - h_{fs}) / (h - x) \cdot (2x - 3h_{fs}) \cdot (1/6) \cdot (b_{fs} - b_w) \cdot h_{fs} + 2,025 \cdot (h_{fs}^2) / (h - x) \cdot (b_{fs} - b_w) \cdot (x - h_{fs}) \cdot (1/3) + b_w \cdot (h - x) \cdot (3h + x) \cdot (1/6) + (b_{fi} - b_w) \cdot h_{fi} \cdot (6h - 3h_{fi} - 2x) \cdot (1/3)$$

3. Caso em que a linha neutra se localiza na mesa inferior:

$$M_r = 4,05 \cdot 0,75 \cdot f_{tk} \cdot x / (h - x) \cdot (b_{fs} - b_w) \cdot (x - h_{fs}) / x \cdot h_{fs} \cdot (x/3) - (h_{fs}/2) + h_{fs}^2 / 2x \cdot (x/3) - (h_{fs}/3) + (b_{fi} - b_w) / x \cdot (h - h_{fi}) / 3 \cdot (h_{fi} - h + x)^2 + 0,75 \cdot f_{tk} \cdot (h - x) \cdot h_{fi} \cdot (3h + x) \cdot (1/6)$$

Conhecida a resistência característica à tração da argamassa, verifica-se o estado de formação de fissuras adotando inicialmente, por exemplo, a linha neutra na alma. Na determinação da posição da linha neutra, com o equacionamento assim deduzido, são analisadas as raízes da equação de segundo grau. Se a solução for compatível, calcula-se M_r . Se a solução for absurda (raízes negativas ou determinante da equação do segundo grau negativo) a posição da linha neutra inicialmente adotada não é verdadeira. E nova tentativa deve ser feita até a obtenção da solução compatível.

Tal procedimento, pelo número de dados, é indicado para cálculo programável através de microcomputador. Na tese de Glongo⁶⁶ é apresentado um programa que determina, além do momento de fissuração, as características geométricas e mecânicas através das coordenadas dos vértices, e todas as demais verificações, descritas neste capítulo para diversas formas de seções transversais.

5.4.2.2 ESTADO DE FISSURAÇÃO INACEITÁVEL

A verificação de ocorrência de fissuras cuja abertura possa vir a prejudicar o aspecto ou a durabilidade das peças em argamassa armada é feita segundo os limites da NBR 11.173

Estado de fissuração inaceitável

Considera-se que a fissuração é nociva quando a abertura característica das fissuras na superfície da argamassa ultrapassa os seguintes valores:

- 0,10 mm no caso de peças em ambientes não protegidos
- 0,15 mm para peças em ambientes protegidos

A abertura característica das fissuras pode ser avaliada com a seguinte expressão: $w = 1,658 \cdot s \cdot \epsilon_s$

onde:

$$s = s_1 \quad \text{se} \quad s_1 \geq e$$
$$s = 1,8 s_1 \quad \text{se} \quad 1,8 s_1 \leq e$$
$$s = e \quad \text{se} \quad 1,8 s_1 > e \quad \text{e} \quad s_1 < e$$

s = espaçamento entre fissuras;

c = cobrimento da armadura;

e = espaçamento entre fios transversais da tela;

ϕ = diâmetro do fio da tela na direção do eixo da peça;

$\rho_r = A_s / A_c$ = taxa geométrica da armadura conf. a NBR 6118;

$s_1 = 1,5(c + 0,5 \cdot \phi) + 0,16 \cdot \phi / \rho_r$

ϵ_s = deformação média da armadura mais tracionada da seção

$\epsilon_s = 1/E_s (\sigma_s - 0,5 \cdot f_{tk} / \rho_r)$

Através desse procedimento pode-se obter uma abertura de fissura que experimentalmente tem-se comprovado⁶⁶. Entretanto é recomendável, assim como no concreto armado, sempre que possível adotar telas de fios finos e pouco espaçados, e seções que evitem maiores tensões de tração.

Em Giongo⁶⁶ encontram-se as deduções das expressões e a correspondente argumentação para o caso específico das peças de argamassa armada, onde a fissuração na maioria dos casos é sistemática, ou seja, sua ocorrência dá-se quando a resultante de tração no fio de aço é maior ou igual a resultante de tração na argamassa.

5.4.2.3 ESTADO DE DEFORMAÇÃO EXCESSIVA

A esbeltez dos componentes de argamassa armada exige um cuidado maior com respeito aos valores de deslocamentos. Assim, tem-se as seguintes prescrições:

Estado de deformação excessiva

- Os valores dos deslocamentos, oriundos das deformações, devem obedecer, em geral, os limites preconizados pela NBR 6.118 e para peças pré-moldadas pela NBR 9.062.
- Os deslocamentos provenientes da flexão podem ser calculados considerando a curvatura fornecida na Tabela 1.

TABELA 1 - Valores das curvaturas ($1/r$)

TIPO DAS AÇÕES	CURTA DURAÇÃO	LONGA DURAÇÃO
Região com pequena probabilidade de formação de fissuras $M_{ser} \leq M_r$	$\frac{M_d}{0,85 \cdot E_c \cdot I_h}$	$\frac{M_d \cdot \phi_{cc}}{0,85 \cdot E_c \cdot I_h}$
Região com grande probabilidade de formação de fissuras $M_{ser} > M_r$	$\frac{M_d}{0,85 \cdot E_c \cdot I_h}$	$\frac{M_d \cdot \phi_{cc}}{0,85 \cdot E_c \cdot I_h}$

FIGURA 5.19 TABELA 1 DA NBR 11.179 ^[18]

A Tabela 2 fornece os coeficientes de fluência de acordo com o tipo de cura adotado e a umidade ambiental, no caso de ações de longa duração passam a multiplicar o valor obtido pela Tabela 1, no caso de ações de curta duração seu valor deve ser tomado igual a um.

A variação de rigidez ao longo do eixo do elemento pode ser considerada através do momento de inércia equivalente (I_{eq}) conforme a norma, substituindo quando necessário o valor da inércia da seção fissurada (I_r).

5.5 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ESTRUTURAL

A questão do desempenho aplicado às edificações, tem origem nos estudos de diversos autores, indicados na dissertação de Mitidieri Filho (1988)⁶⁷, e sistematizados pelo CIB - Conseil International du Batiment (1975)⁶⁸. No Brasil foi abordado de forma sistemática pelo IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (1981).⁶⁹

Segundo a descrição de Roberto de Souza (1986)⁷⁰:

"A avaliação de desempenho, portanto, é baseada em requisitos e critérios de desempenho, e em métodos de avaliação que permitem verificar se a edificação e suas partes atendem às condições estabelecidas."

A argumentação de Mitidieri Filho (1988)⁶⁷ quanto ao conceito de desempenho aplicado à avaliação de edificações mostra que as normas nacionais para componentes têm, em sua maioria, caráter prescritivo, definindo as condições gerais e específicas a serem atendidas por determinado produto, muitas vezes consagrado pelo uso e com características bem conhecidas.

A avaliação de desempenho apresentaria uma abordagem menos empírica, caracterizando de forma mais precisa o que deve ser empregado na avaliação. Para tanto, a edificação deve ser entendida como um produto que deve atender às exigências do usuário.

Desempenho significa comportamento em uso ou utilização, caracterizando o fato de que o produto deve apresentar certas propriedades a fim de cumprir sua função quando sujeito a ações e determinadas influências durante sua vida útil.

Essas influências ou ações atuantes sobre a edificação são denominadas condições de exposição a que a edificação será submetida durante sua vida útil. Tal preocupação tem como meta a possibilidade de prever o provável comportamento ou seja, estimar seu desempenho potencial.

Essa previsão pode ser feita através de:

1. Inspeção realizada em protótipos ou unidades habitadas.
2. Julgamento técnico baseado na experiência acumulada e no parecer do conhecimento de especialistas.
3. Modelos matemáticos ou físico-matemáticos que simulem o comportamento da edificação, ou de componentes.
4. Ensaio e medidas, tanto em laboratório como em protótipos de partes da edificação ou sistema construtivo.

A análise dos resultados obtidos, qualquer que seja o método adotado, pode resultar na avaliação provável do desempenho do produto ou sistema construtivo em questão, em resumo: prever seu comportamento potencial ou de suas partes, quando em utilização normal.

A metodologia adotada na aplicação do conceito de desempenho à avaliação da edificação ou sistema construtivo pode ser resumida em:

- a. Identificação das exigências do usuário;
- b. Identificação das condições de exposição;
- c. Definição dos requisitos e critérios de desempenho a serem atendidos pela edificação, seus sub-sistemas e seus componentes, expressos qualitativamente e quantitativamente, respectivamente;
- d. definição dos métodos de avaliação a serem adotados.

No caso das edificações, as exigências do usuário correspondem às exigências humanas que devem ser satisfeitas sejam elas de caráter fisiológico, psicológico, sociológico e econômico. São portanto, as condições necessárias à segurança e saúde do homem, ao seu conforto e à satisfação de suas preocupações. Dentre as várias abordagens relativas às exigências do usuário destaca-se a contida no documento da International Organization for Standardization - ISO/Dp 6241 Guidance on the preparation of performance standards in buildings, relacionados a seguir:

EXIGÊNCIAS DO USUÁRIO

1. Segurança estrutural
Estabilidade e resistência mecânica
2. Segurança ao fogo
Limitações do risco e propagação de incêndio
3. Segurança à utilização
Segurança do usuário e segurança a intrusões
4. Estanqueidade
Aos gases, aos líquidos e aos sólidos
5. Conforto higrotérmico
Temperatura e umidade do ar e das paredes
6. Atmosféricas
Pureza do ar e limitação de odores
7. Conforto visual
Aclaramento, aspecto do espaço e das paredes.
8. Conforto acústico
Isolação acústica e níveis de ruído
9. Conforto tátil
Eletricidade estática, rugosidade, umidade e temperatura da superfície
10. Conforto antropodinâmico
Acelerações, vibrações e esforços de manobra
11. Higiene
Cuidados corporais, abastecimento de água e eliminação de matérias usadas
12. Adaptação à utilização
Número, dimensões, geometria e relações de espaços e de equipamentos necessários
13. Durabilidade
Conservação do desempenho ao longo do tempo
14. Economia
Custo inicial, custos de manutenção e reposição durante o uso

Em conformidade com estes critérios a avaliação de desempenho estrutural deve, então, ser subdividida em:

1. Ruína sob ação de cargas extremas (Estado Limite Último)
2. Deformações e fissuração sob ação de cargas de serviço (Estados Limites de Utilização):
 - a. Estado de formação de fissuras;
 - b. Estado de fissuração inaceitável;
 - c. Estado de deformação excessiva.
3. Resistência à ação de cargas dinâmicas
 - a. Impacto de corpo duro
 - b. Impacto de corpo mole

Os ensaios de impacto são recomendados e descritos no relatório do IPT⁶⁰ complementando a avaliação de desempenho estrutural. Estes procedimentos dependem do tipo de componente e sua localização na edificação, correspondendo a cada categoria, uma série de requisitos a serem atendidos.

Em resumo, os ensaios consistem em submeter o componente a um determinado impacto, medido em Joules, de corpo duro constituído de esferas metálicas de 0,5 ou 1 kg e de corpo mole de 5 ou 40 kg e verificar a extensão dos danos causados ao componente.

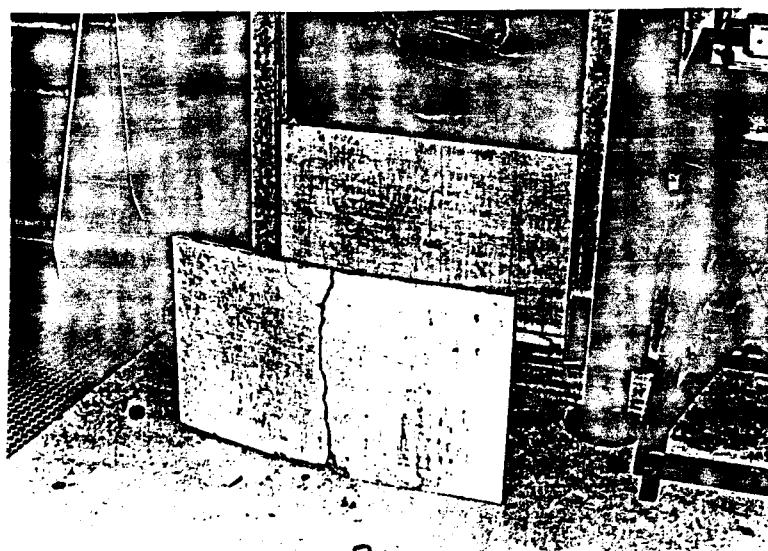


FIGURA 5.14 ASPECTO DO ENSAIO DE CORPO MOLE DE 40 Kg

CAPÍTULO 6 COMPONENTES BÁSICOS

Procura-se, neste capítulo, exemplificar os argumentos anteriormente relacionados, apresentando algumas sugestões para projeto de componentes de sistemas em argamassa armada. Além daqueles mostrados nas aplicações e estudos, novas concepções, consideradas como básicas, são analisadas para a formação de um elenco de opções.

A intenção, neste caso, é exercitar a aplicação dos fundamentos do projeto de componentes de estruturas e de vedações em argamassa armada. Tendo em vista suas peculiaridades construtivas e seu processo produtivo.

As indicações da norma com respeito a espessuras mínima de 12mm e máxima de 40mm são adotadas como uma delimitação das sugestões, embora possam ser relegadas, desde que haja uma justificativa para a adoção de valores diferentes.

A adoção destes componentes deve ser objeto de toda a metodologia de projeto e dimensionamento sugeridos ao longo de todo o trabalho. Cada uma das sugestões aqui apresentada foi analisada quanto aos requisitos de projeto e execução para aplicação às edificações. Entretanto o mesmo roteiro precisa ser refeito na ocasião de sua aplicação, onde deverá ser reafirmada sua conveniência.

6.1 COBERTURA

Os componentes de cobertura, como mostra o histórico 1.1, constituem a primeira aplicação no Brasil através das coberturas dos pavilhões da EESC-USP, tendo por inspiração as aplicações de Nervi.

Muitas outras aplicações em coberturas se seguiram à da Fábrica de Laticínios como à do edifício da Assembléia Legislativa de Minas Gerais, em Belo Horizonte e no Camargo Iate Clube, Nazareno, MG com 570m^2 , mostrados na figura 6.1.

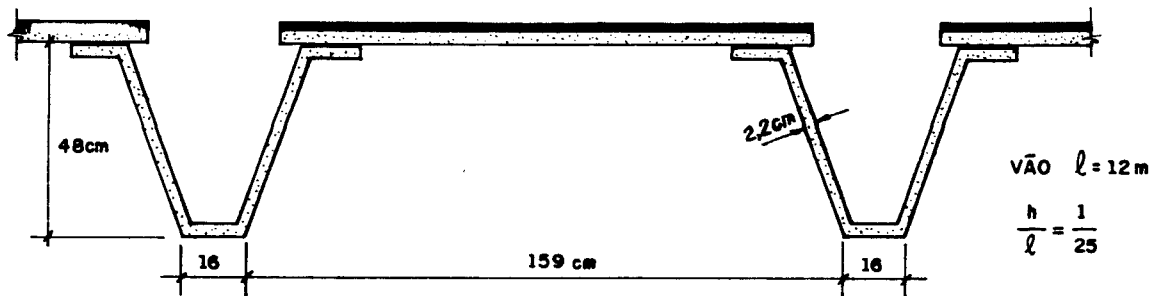


FIGURA 6.1 a) COBERTURA DA ASSEMBLÉIA LEGISLATIVA - MG [17]

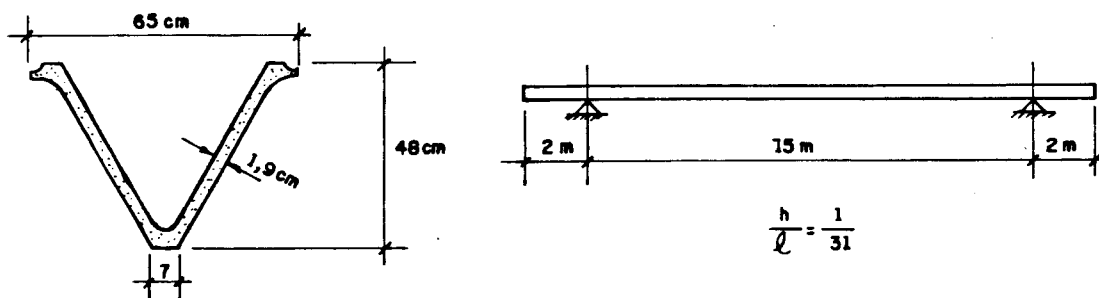


FIGURA 6.1 b) COBERTURA DO CAMARGO IATE CLUBE (NAZARENO-MG)

A concepção de elementos estruturais de cobertura é a que apresenta maiores possibilidades. Pode-se usar vigas, pórticos, folhas poliédricas, cascas, enfim todo o elenco de estruturas de forma ativa.

A restrição a algumas formas geométricas surge em função da complexidade da fôrma e da dificuldade de executar a armadura em tela na devida conformação. As coberturas de grandes vãos, adotado o procedimento de produção descrito, necessitaria da decomposição da cobertura em peças menores.

De acordo com o comportamento estrutural os elementos de cobertura dividem-se em:

- biapoiados: vigas, pórticos, folhas poliédricas ou arcos.

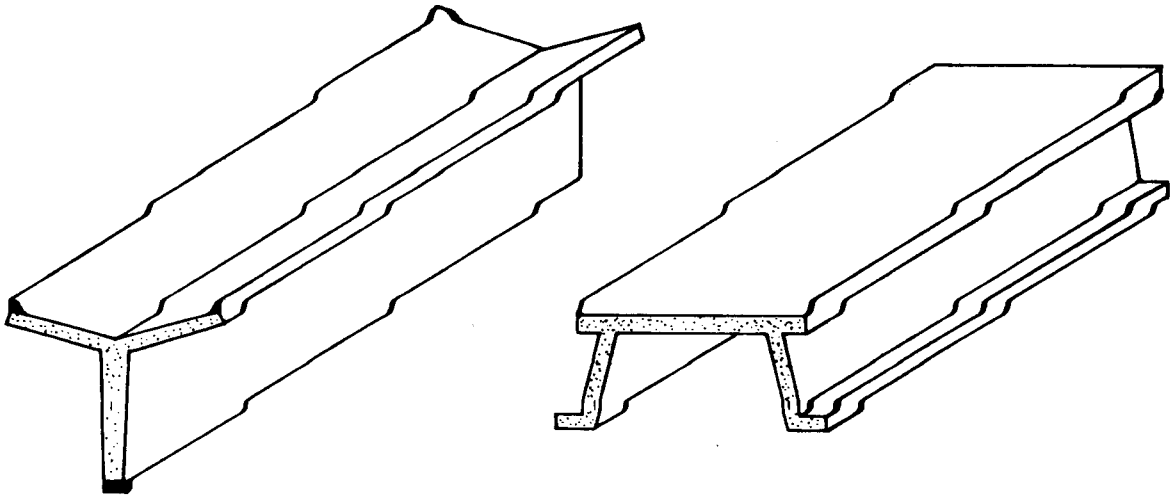


FIGURA 6.2 VIGAS TELHA

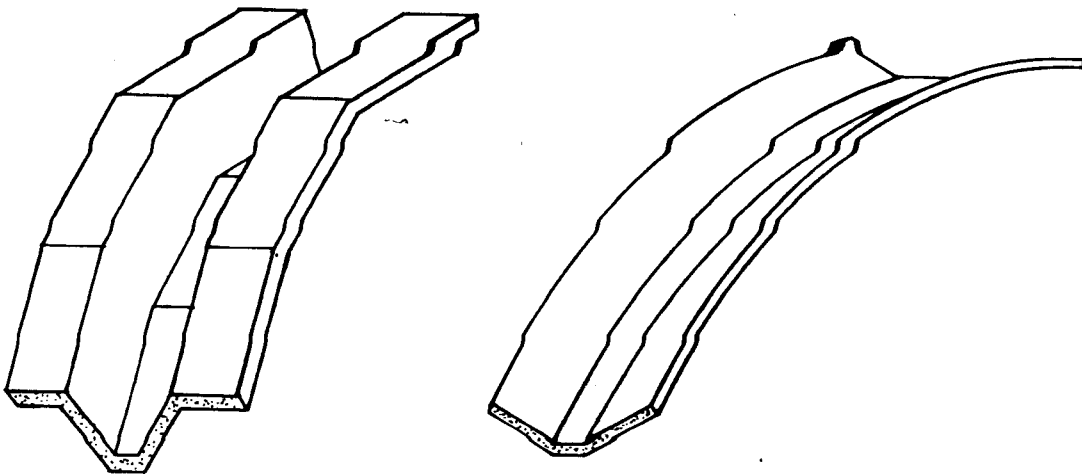


FIGURA 6.3 a) FOLHA POLIÉDRICA

b) ARCO

- especiais : folhas piramidais ou cascas.

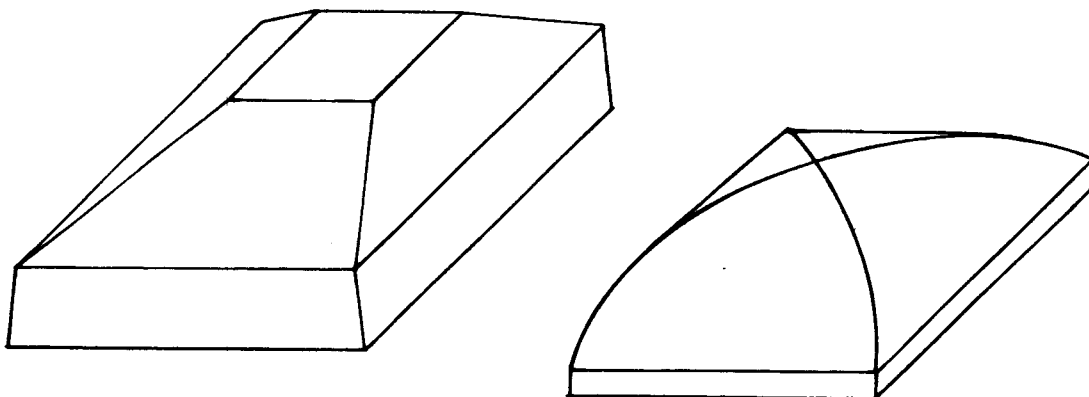


FIGURA 6.4 a) PIRÂMIDE TRUNCADA

b) CASCA

6.2 FORRO

Os componentes de forro são elementos planos com as funções estética (teto plano) e de proporcionar melhores condições de isolamento termo-acústico.

Os elementos de cobertura em argamassa armada, como foi mostrado, quando são autoportantes, na grande maioria dos casos, não conferem um aspecto plano aos tetos exigindo assim um elemento adicional para constituir um teto plano e melhorar as condições de conforto térmico e acústico.

Componentes de pequena espessura e com peso reduzido podem constituir uma boa alternativa para forro. Neste caso parece não ser recomendável que sejam autosustentáveis como as coberturas. Seria mais interessante o uso de dispositivos de apoio, de seção apropriada, ou mesmo o uso de perfis metálicos a exemplo dos forros de aglomerante.

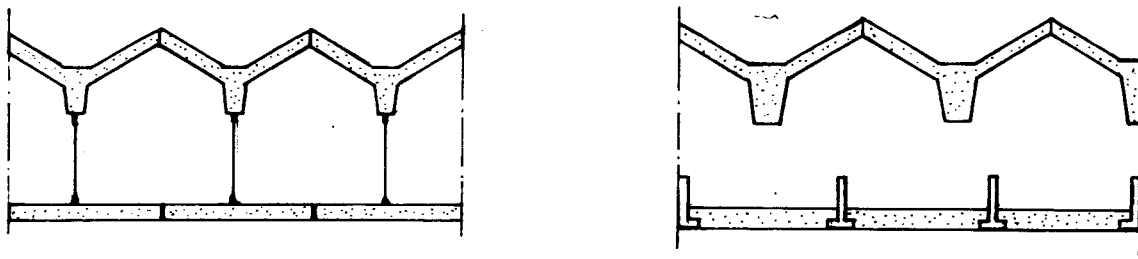


FIGURA 6.5 a) FORRO SUSPENSO

b) SUSTENTADO POR PERFIS

Na concepção de João Filgueiras Lima é atribuída a própria telha a função de forro cabendo a este componente a impermeabilização da cobertura e condução das águas pluviais até as vigas-calha, conforme figura 6.6. Complementando o conjunto é usada uma capa de isolamento para proporcionar o conforto térmico e acústico.

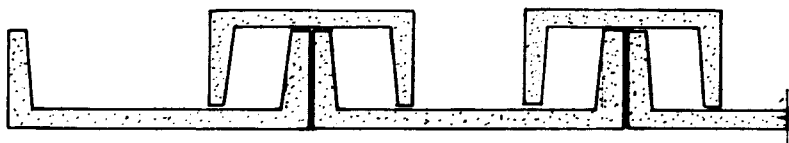


FIGURA 6.6 TELHA E CAPA

6.3 VIGAS

As vigas como elementos horizontais das estruturas constituem um elemento estrutural que apresenta uma maior dificuldade na transmissão e absorção de esforços. Por ser um sistema de massa ativa, requer maior inércia e mais material em relação aos outros tipos de elementos estruturais.

As vigas, no caso da argamassa armada, necessitam manter suas dimensões reduzidas, sem redução de sua inércia em relação às similares de concreto. Assim a geometria da sua seção transversal deve tender ao aspecto dos perfis metálicos usados como viga nas estruturas metálicas.

Do estudo da flexão; e também da observação dos perfis metálicos, conclui-se que as seções com linha de simetria vertical são mais apropriadas para resistir à flexão e evitar o aparecimento de esforços de torção. Pode-se então, aproveitar esta condição de simetria de algumas letras do alfabeto para sugerir seções transversais típicas:

A H I M O T U V W Y X

FIGURA 6.7 LETRAS SIMÉTRICAS

Por razões construtivas, podem também ser necessárias seções assimétricas como: C e L

A seção escolhida depende, em primeiro lugar, da forma a ser adotada. No caso de formas parciais as mais usadas são mostradas na figura 6.8 abaixo:

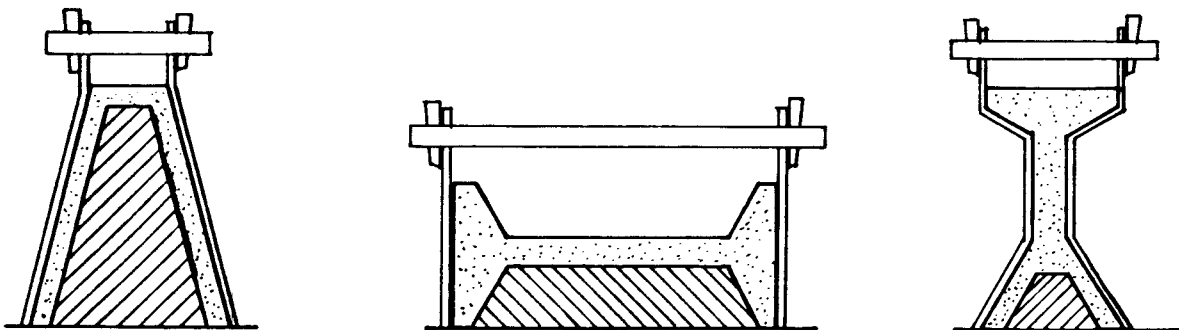


FIGURA 6.8 VIGAS DE ARGAMASSA ARMADA PARA FÔRMAS PARCIAIS

Para as aplicações onde a fôrma é metálica do tipo móvel e envolvente as seções tendem ao aspecto sugerido na figura 6.8. Sendo, em geral, necessários um dispositivo de apoio para as extremidades e um engrossamento da seção nas extremidades e nas ligações.

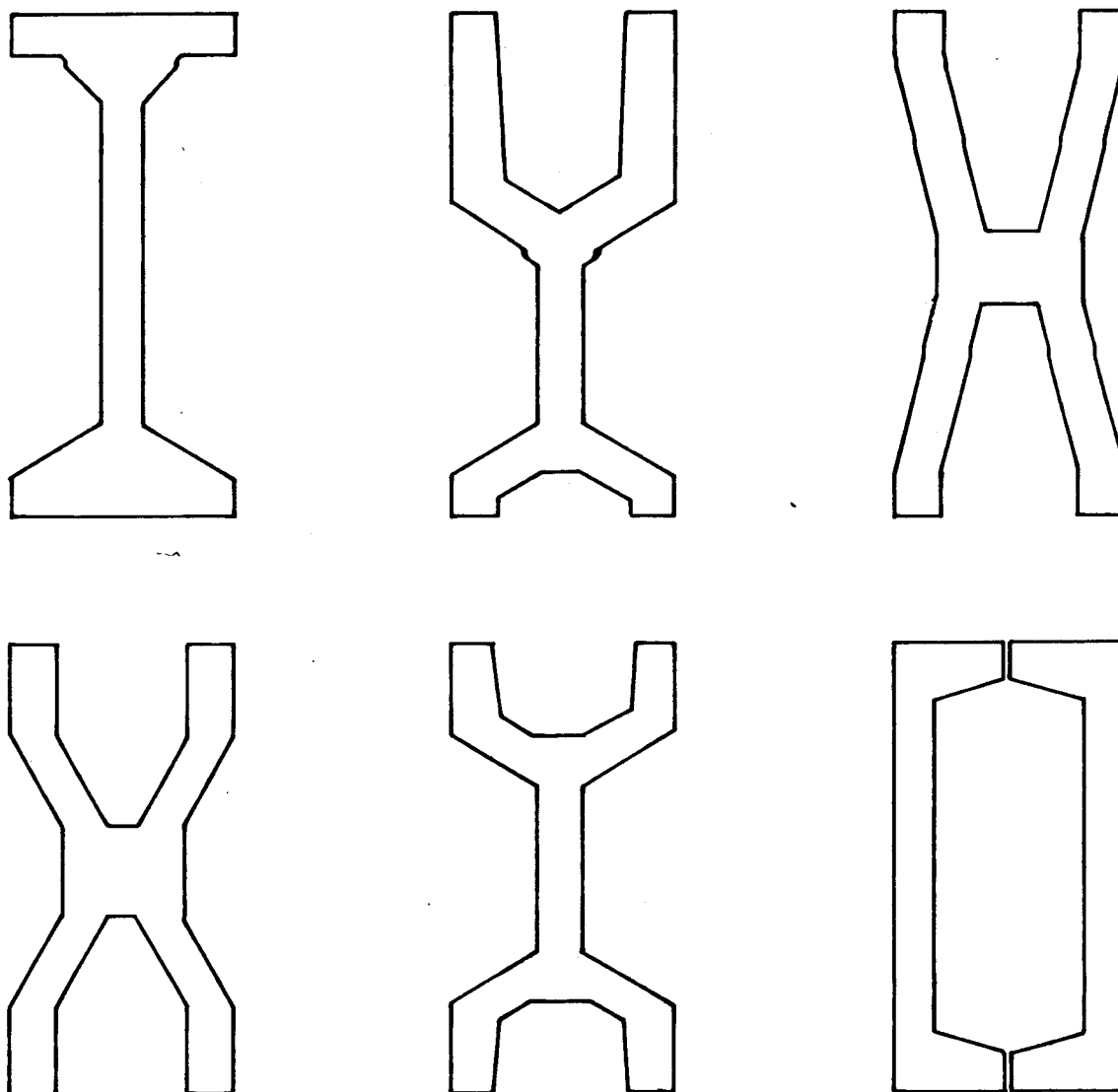


FIGURA 6.8 ALGUMAS SEÇÕES TRANSVERSAIS PARA VIGAS

As dimensões são determinadas pela interação dos aspectos produtivos e construtivos, consideradas as exigências de declividade para facilitar o saque das partes móveis da fôrma.

A conformação da armadura determina a intensidade mais apropriada às inclinações e à geometria final.

6.4 PILARES

Os pilares são componentes verticais destinados a receber, suportar e transmitir às fundações, as cargas das vigas das edificações. No caso de edifícios de múltiplos andares sua função recebe maior importância dado a maior intensidade da carga atuante. Já para edificações térreas ou, principalmente as de pequeno porte ou denominadas de construções leves as cargas são, em geral de pequena intensidade em função da grande capacidade de suporte dos pilares.

A geometria dos pilares com respeito a seção transversal, na maioria dos sistemas, fica condicionada ao tipo de ligação com os painéis de vedação acarretando em saliências e/ou reentrâncias.

A condução das águas pluviais no interior do pilar é adotada de maneira a compor um detalhe típico de ligação do pilar com a viga-calha.

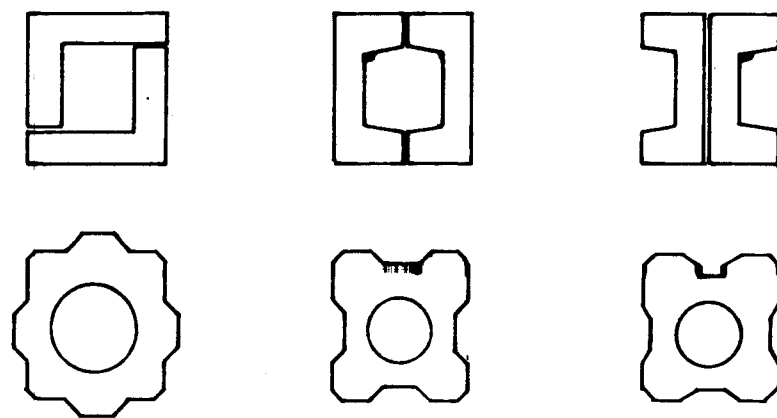


FIGURA 6.9 SEÇÕES TRANSVERSAIS TÍPICAS PARA PILARES

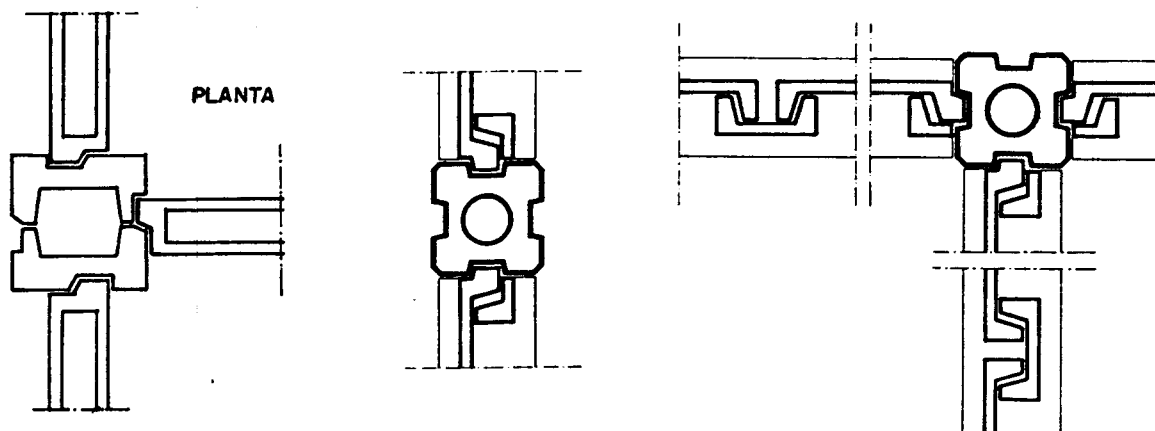


FIGURA 6.10 LIGAÇÕES PILAR-PAINÉIS DE VEDAÇÃO [22]

6.5 PISOS

Os componentes de piso podem constituir elementos, que simplesmente são assentes em contra-piso do pavimento térreo (neste caso denomina-se de pavimento térreo), podendo ser assente diretamente sobre o solo compactado, sobre uma camada de areia, ou através de argamassa de assentamento sobre um contra-piso, a semelhança das lajotas cerâmicas de piso.

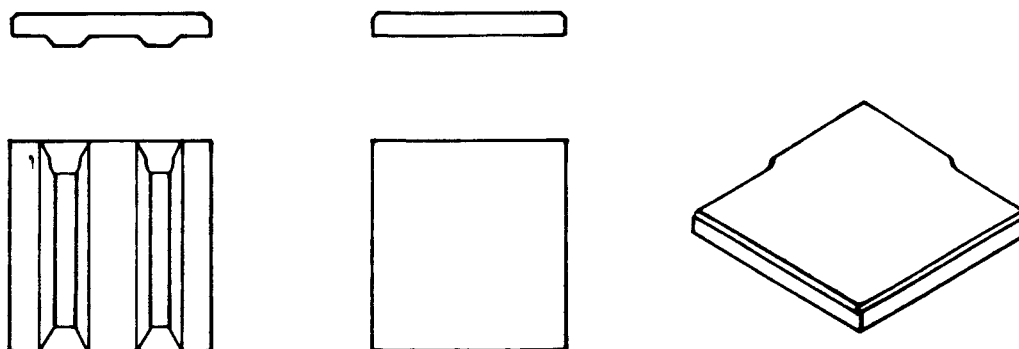


FIGURA 6.11 PISOS PARA PAVIMENTO TÉRREO

Quando aplicados a pavimentos superiores, como lajes de piso, os elementos estruturais desse tipo têm a geometria de lajes nervuradas ou tipo π de modo a obter maior inércia.

A junção das peças necessita da aplicação de argamassa de solidarização.

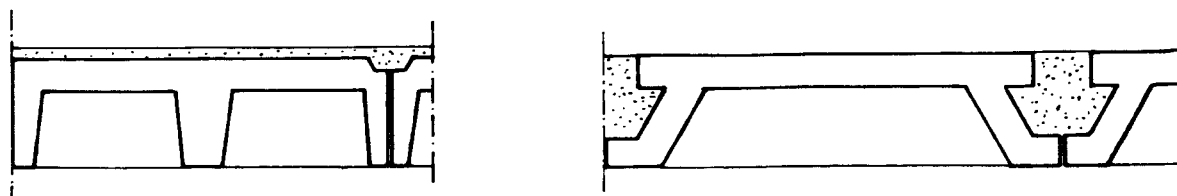


FIGURA 6.12 SEÇÕES TRANSVERSAIS PARA LAJES DE PISO

Para os componentes de piso sujeitos ao desgaste a argamassa armada tem apresentado bom comportamento, quando bem dosada e executada, e principalmente com a adição de agregados de boa resistência ao desgaste como o pedrisco proveniente de rochas graníticas.

6.6 PAINÉIS DE VEDAÇÃO

Componentes de vedação têm a princípio apenas a função estrutural de suportar seu próprio peso, no entanto, para a análise da ação do vento, desempenham uma função importante no conjunto da edificação na transmissão dos esforços horizontais aos pilares.

Pode-se atribuir aos painéis alguma parcela de carga vertical. Eventualmente pode ser importante, pois os painéis quando sujeitos a carga vertical apresentariam melhor desempenho por estarem imobilizados.

A definição da geometria da seção transversal para os painéis depende basicamente do tipo de ligação painel-pilar e entre painéis, para cumprir a função de vedação. Assim os painéis podem necessitar de paredes duplas, ou mesmo de aberturas que permitam a convecção do ar externo. A figura 6.13 ilustra alguns tipos de ligação em painéis, nas figuras 6.14 e 6.15 são apresentados projetos de painéis em U e W.

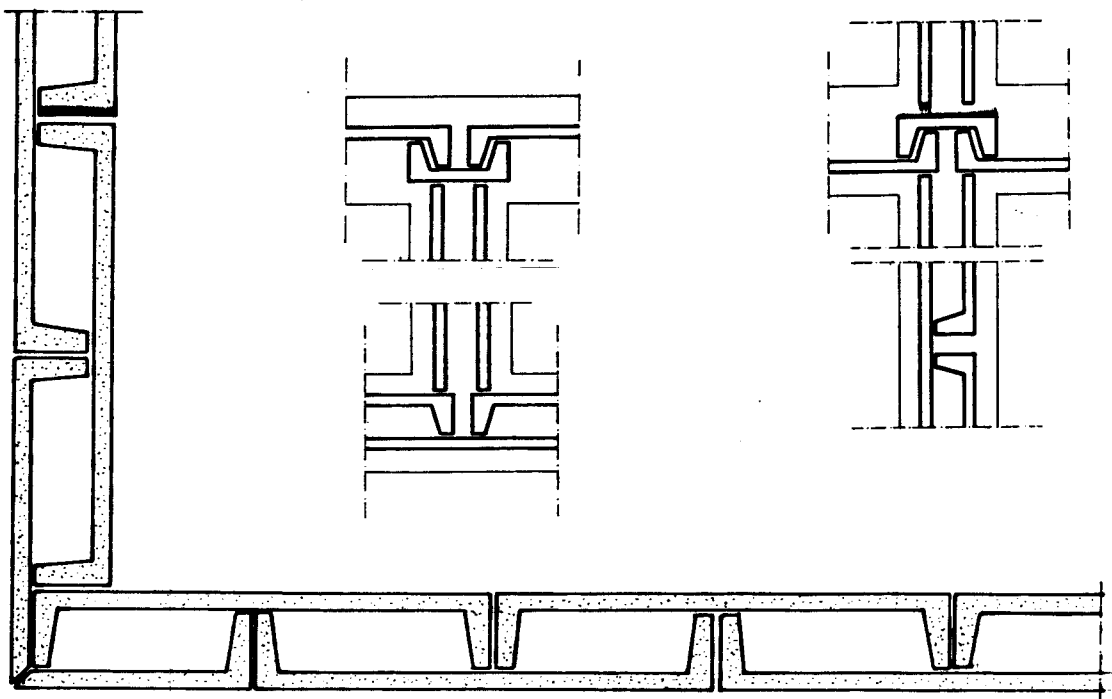


FIGURA 6.13 LIGAÇÕES PARA PAINÉIS DE VEDAÇÃO

PAINEL DE VEDAÇÃO — PV U-10

esc. 1:10 (medidas em cm)

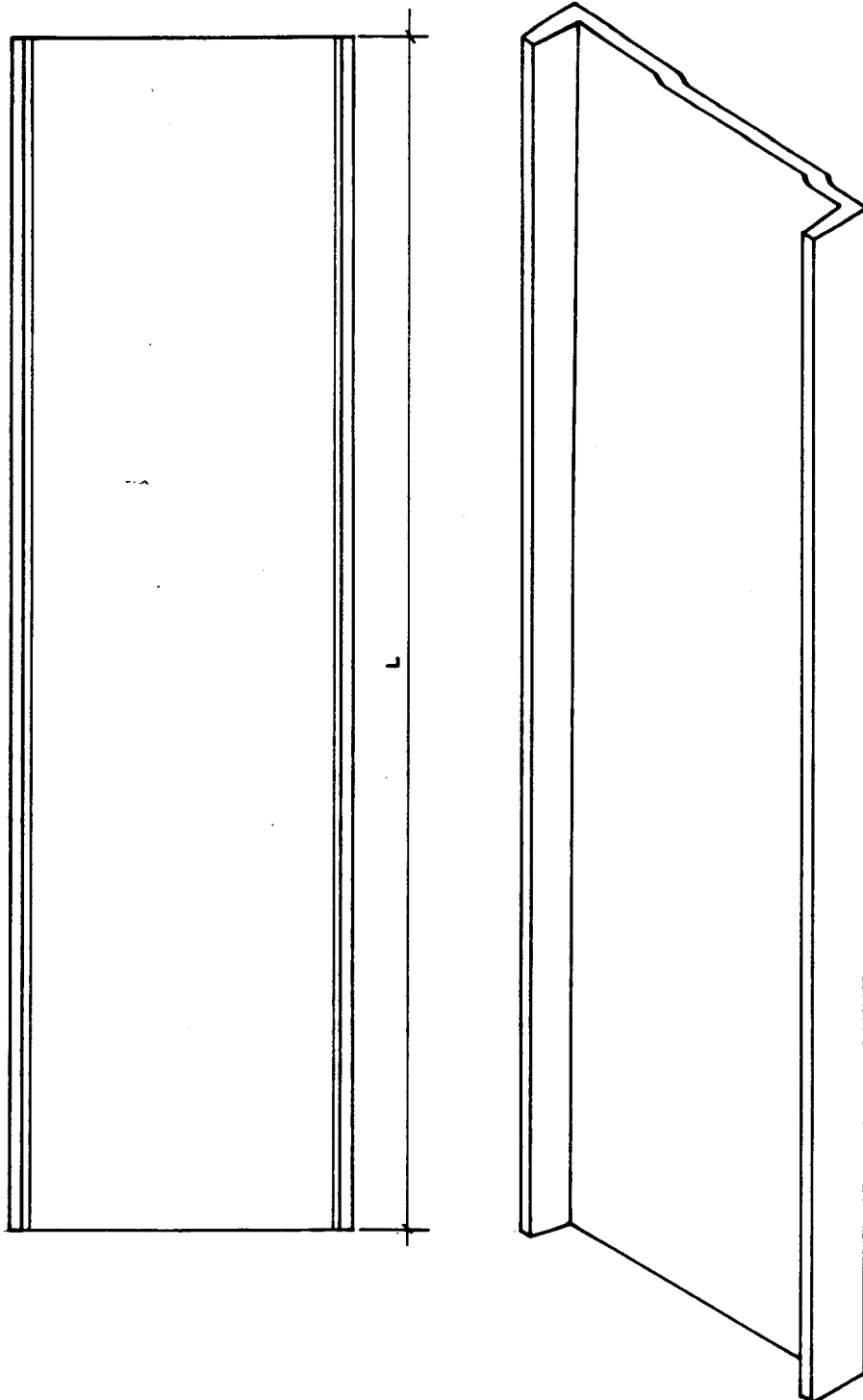
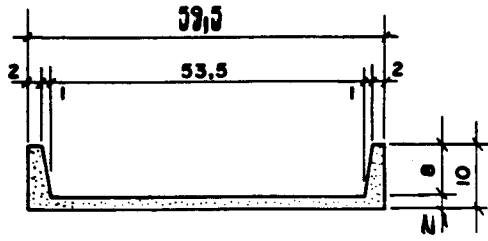


FIGURA 6.14 a) PAINEL PV U-10

PAINEL DE VEDAÇÃO - PV U - 10
 SEÇÃO - esc. 1:2,5

FORMA (medidas em cm)

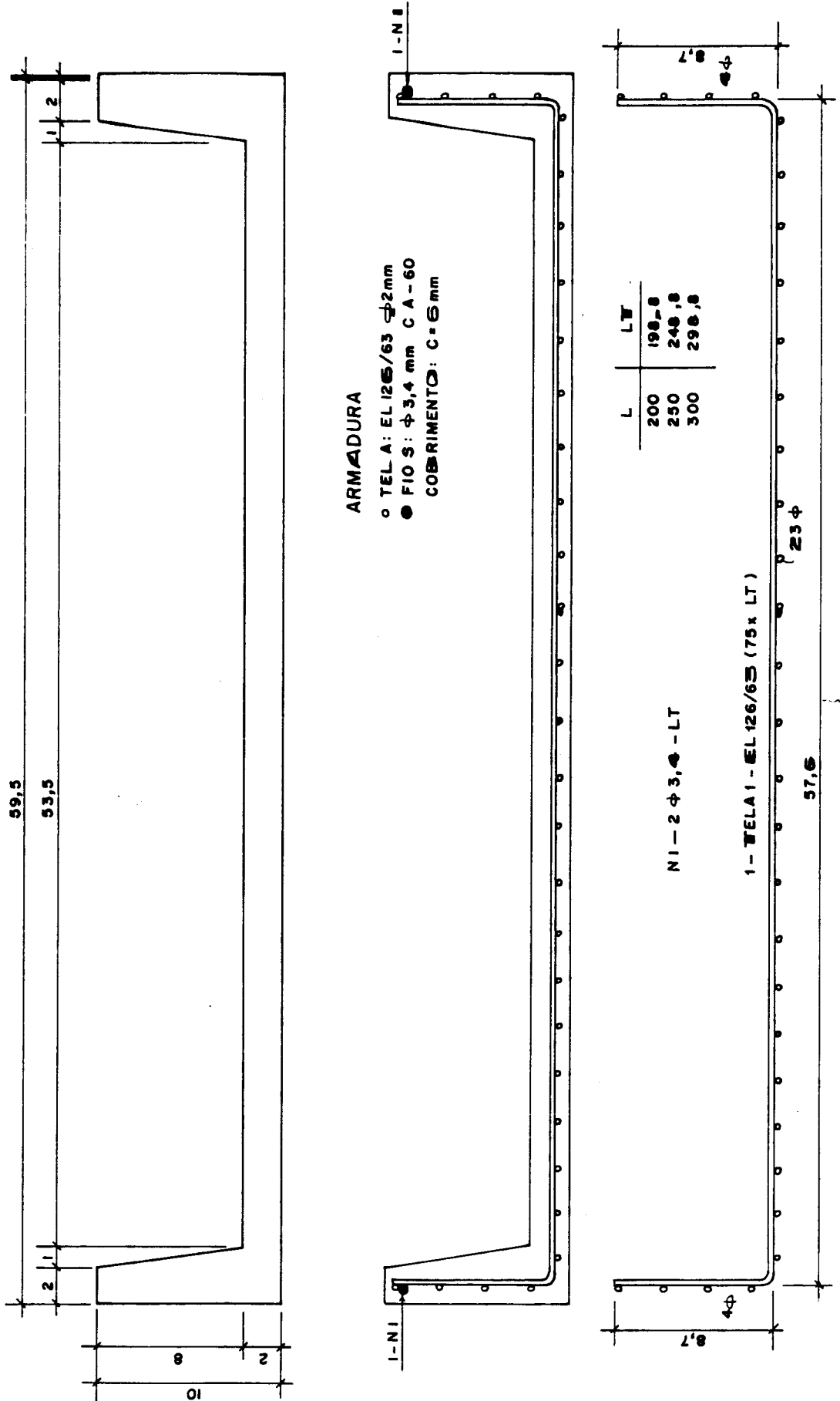


FIGURA 6.14 b) PAINEL PV U-10

PAINEL DE VEDAÇÃO - PV W-10

esc. 1:10 (medidas em cm)

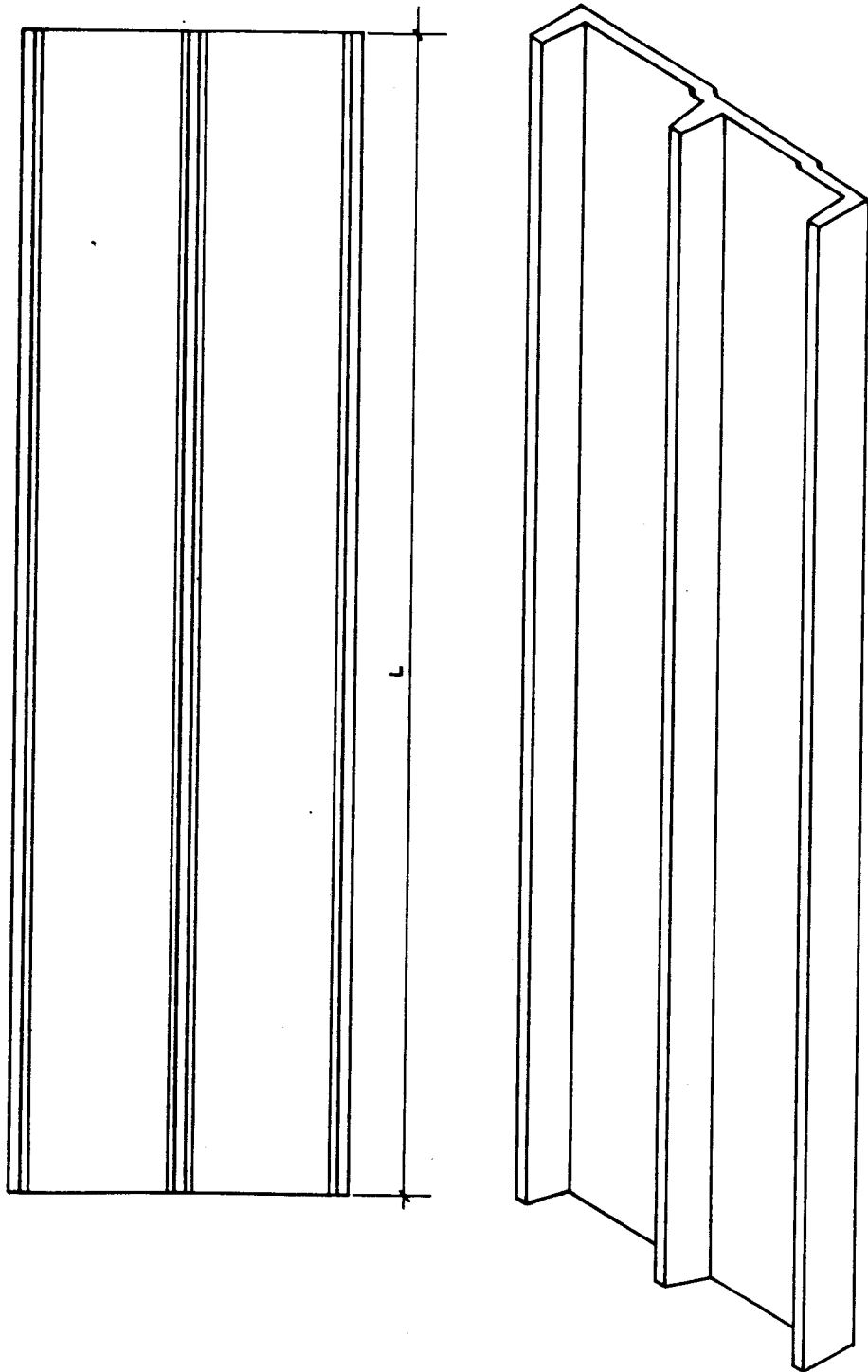
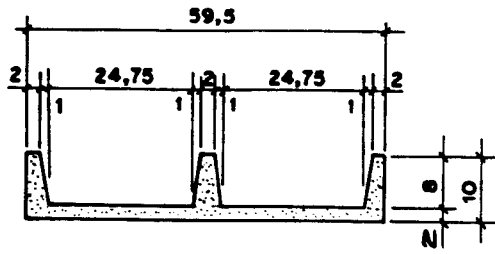


FIGURA 6.15 a) PAINEL PV W-10

6.7 OUTROS COMPONENTES

Alguns componentes não se enquadram nas definições anteriores, constituindo duas ou mais funções como os pórticos planos, quadros ou até mesmo estruturas tridimensionais onde múltiplas funções seriam atribuídas a um único componente.

O uso de componentes de fachada já utilizado em obras convencionais é outra alternativa interessante para peças de argamassa armada, como mostradas nos trabalhos de Hanai^{2,3} e Fonseca de Campos⁴⁹.

6.8 COMPLEMENTOS

Além dos componentes relacionados até aqui, há ainda uma série de outras possibilidades existentes, que são os componentes complementares como os frisos para acabamento, os batentes de portas ou janelas, os peitorís, os rodapés, etc. (Vide aplicações mostradas no capítulo 8).

Pode-se encontrar também componentes especiais para suporte das instalações hidro-sanitárias e/ou elétricas onde além das funções vistas anteriormente o componente assume a de embutir os componentes das instalações.

Outros podem ser sugeridos como suportes para móveis ou mesmo substituindo móveis, pois podem constituir mesas, bancos, prateleiras, armários, etc., e ser transferidos de local quando necessário.

A conveniência da adoção de componentes deve evidentemente ser precedida pela construtibilidade, produtividade e vantagem da relação custo x benefício.

Ao finalizar estas sugestões lembra-se a afirmativa do Prof. Martinelli, no I Simpósio de Argamassa Armada¹⁷, que durante as discussões sobre as possibilidades de aplicação do material declarou, como um alerta ao bom senso:

"A argamassa armada não é panacéia universal"

CAPÍTULO 7

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ECONÔMICO

Aborda-se neste capítulo a questão econômica, ou da avaliação do desempenho econômico do material, como um dos fatores decisivos para a tecnologia da argamassa armada e sua aplicação aos sistemas e componentes.

Evidente que a própria tecnologia está sendo avaliada pois sabe-se que a sua adoção depende, fundamentalmente, da análise custo x benefício, sendo que sua perfeita quantificação depende de um plano completo, onde todos os elementos sejam devidamente considerados.

Dentre os diversos objetivos da Engenharia e da própria tecnologia está o de reduzir custos dos processos. Neste aspecto foram abordadas estas questões no histórico do material e nos indicativos da industrialização da Construção como fatores motivadores da viabilidade da argamassa armada e sua aplicação em sistemas e componentes.

No estudo do material ou da tecnologia do produto obtêm-se os resultados relativos ao consumo dos materiais constituintes, derivando os consumos médios dos insumos por volume ou por peso unitário. O processo de fabricação para os componentes é também analisado em um levantamento de tempos e custos prováveis, para determinado tipo de fábrica, na tentativa de exemplificar as possibilidades de redução do custo através da produção em escala.

7.1 ANÁLISE DE MERCADO

O potencial de mercado da argamassa armada tem como argumentação as propriedades do material que o diferenciam do concreto armado já de uso consagrado. Na questão específica das edificações, a carência habitacional e dos correspondentes equipamentos urbanos, além da demanda natural de edificações vêm compor um quadro bem definido e conhecido de necessidades.

A carência de construções no Brasil, seja de habitações ou equipamentos comunitários é alarmante. Esta demanda, apesar de exercer uma grande pressão sobre o mercado, não tem a resposta a altura. E paradoxalmente a indústria da construção civil ainda insiste numa forma de trabalho muito artesanal e com baixo nível de produtividade.

As soluções para este quadro, passam por decisões políticas, econômicas e sociais, mas dependem, também de um adequado suporte tecnológico para sua materialização. Desde há muito o meio técnico brasileiro declara-se em condições de atender satisfatoriamente a estes anseios. É argumento consistente o fato de que as grandes obras foram realizadas sem necessidade de importação de tecnologia.

Sem pretender deixar as razões não técnicas de lado, pode-se fazer uma abstração, muito proveitosa, no sentido de preparar os chamados insumos de projeto. Sem, com isso, querer impor pacotes tecnológicos ou soluções para todos os problemas e sim algumas indicações consistentes para serem usadas quando as condições forem mais propícias.

O potencial de mercado, no caso das edificações, ou construções leves da construção civil é muito afirmativo. Pois, como já foi argumentado, há um parque já existente de pequenas fábricas de artefatos de cimento em plena condição de apropriar-se da tecnologia e vir a produzir componentes, em determinada escala industrial, através da aquisição de equipamentos pouco sofisticados e sem a necessidade de vir a importar tecnologia.

7.2 LEVANTAMENTO DE CUSTOS DOS INSUMOS

Procura-se, inicialmente, apresentar o custo unitário dos principais insumos usados para a composição de custos da argamassa armada.

Os fatores que provocam a variação dos custos unitários como a distância de transporte, o fornecedor, a qualidade do material, a quantidade, enfim todos os aspectos comerciais envolvidos, são provisoriamente desprezados para que possa avaliar a influência dos insumos na composição.

Adotando-se como unidade monetária o dólar turismo (DT) que equivale, em 20/AGOSTO/91, a Cr\$ 420,00, e coletados os preços no mercado de Santa Catarina, obteve-se os valores constantes da tabelas abaixo:

TELA SOLDADA		
tipo	m ²	kg
EQ 98	781,30	507,34
EL 120	855,52	452,66
EL 141	1.185,42	533,97
EQ 126	1.100,47	743,56
EQ 196	1.261,09	545,93
média:	1.036,76	556,69

AÇO CA-60	
φ [mm]	kg
3,4	340,00
4,2	320,00
5,0	310,00
6,3	310,00
8,0	303,00
média:	316,60

INSUMO	unidade	CUSTO UNITÁRIO	
		Cr\$	DT
cimento	kg	25,20	0,060
areia média	m ³	3.300,00	7,857
pedrisco	m ³	5.880,00	14,000
fôrmas metálicas	kg	3.500,00	8,333
tela de aço soldada	kg	556,69	1,325
aço CA-50 ou CA-60	kg	316,60	0,754
Pedreiro	hora	291,67	0,694
Ajudante	hora	187,50	0,446
Leis Sociais	127%		

7.3 ESTIMATIVAS DE CUSTO

Na estimativa de custos na construção civil tem-se como referência para as composições alguns índices de consumo já testados e consagrados pelo uso.

No caso dos componentes de argamassa armada, a obtenção destes índices exige uma melhor definição do processo produtivo adotado e seu correspondente detalhamento. Além disso as peças possuem sensível variação devido as suas diferentes geometrias e taxas de armadura dificultando a obtenção de um valor médio significativo.

Como sugerido no trabalho de Hanai⁹, pode-se proceder o levantamento de custo por tipo de componente, conhecida a quantidade a ser produzida. As dificuldades seriam o tempo gasto para a confecção da peça e a remuneração e depreciação do equipamento.

Para exemplificar adota-se três composições baseadas em valores correspondentes a três tipos distintos de produção:

1. ao pé da obra: 100 unidades; mistura em betoneira; forma fixa;
2. de média escala: 500 unidades; mistura em betoneira; forma móvel;
3. de grande escala: 1000 unidades; mistura em usina; em pista e forma móvel;

7.3.1 ARGAMASSA

No custo da argamassa, adotando-se o traço 1:2 em massa como referência, resulta no seguinte:

Custo de 1 m ³ de argamassa				Data-base: agosto/91		
Item	Quant.	Custo unitário		Custo total		Incidência
		Cr\$	DT	Cr%	DT	%
Cimento	600 kg	25,20	0,080	15.120	36,000	82,08
Arela média	1 m ³	3.300,00	7,857	3.300	7,857	17,92
Totais				18.120	43,857	100,00

1 e 2. Nos primeiros dois casos a etapa de confecção de argamassa é considerada de igual composição, o equipamento seria uma betoneira comum, resultando no custo estimado em 10% dos materiais. A mão de obra equivale a 6 hh, resultando na seguinte composição final:

Custo de 1 m ³ de argamassa				Data-base: agosto/91		
Item	Quant.	Custo unitário		Custo total		Incidência
		Gr\$	DT	Gr%	DT	%
Cimento	600 kg	25,20	0,060	15.120	36,000	66,27
Areia média	1 m ³	3.300,00	7,857	3.300	7,857	14,47
Equipamento	10% custo materiais			1.842	4,386	8,07
Mão de Obra	6 hh	187,50	0,446	1.125	2,676	4,93
Leis sociais	127%	187,50		1.429	3,402	6,26
Totais				22.816	54,321	100,00

3. O equipamento adotado é um misturador com capacidade de produzir 8 m³ por dia, provido de uma carregadeira. Neste caso a mão de obra reduz para 2 hh/m³.

Custo de 1 m ³ de argamassa				Data-base: agosto/91		
Item	Quant.	Custo unitário		Custo total		Incidência
		Gr\$	DT	Gr%	DT	%
Cimento	600 kg	25,20	0,060	15.120	36,000	76,99
Areia média	1 m ³	3.300,00	7,857	3.300	7,857	16,80
Equipamento	2 %			368	0,877	1,88
Mão de Obra	2 hh	187,50	0,446	375	0,893	1,91
Leis sociais	127%			476	1,134	2,43
Totais				19.639	46,761	100,00

A análise evidencia a importância do custo do cimento e dos materiais. A participação da mecanização nos custos de confecção da argamassa teria uma incidência máxima de 25%.

Uma vez adotada uma usina automatizada, que elimine a mão de obra, admitindo que seu custo pudesse ser distribuído sobre uma grande produção chegando a 1% do valor dos materiais, teria-se uma redução de apenas 7% no custo da argamassa

7.3.2 FÔRMAS

As alternativas para o uso de fôrmas, como mostrado, vão desde as fôrmas fixas, que praticamente não incidem no custo do componente, como podem ser adotadas fôrmas envolventes ou de alto grau de mecanização.

A estimativa para as fôrmas é obtida através da área do componente, mas a grande variedade de formas geométricas torna difícil o estabelecimento de parâmetros que possam ser generalizados, sendo mais indicado referir-se a determinada peça e à respectiva composição de custos. Como exemplo toma-se um painel de vedação mostrado na figura 7.1 abaixo:

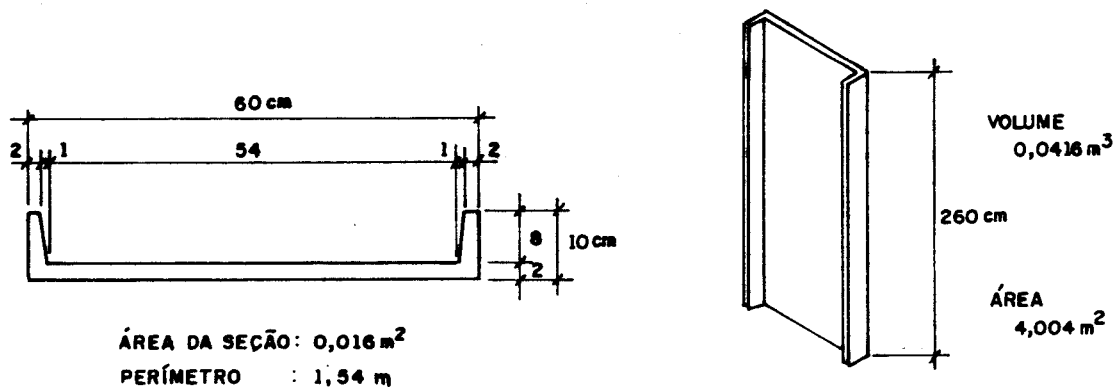


FIGURA 7.1 PAINEL DE VEDAÇÃO

FÔRMAS DE MADEIRA

As fôrmas de madeira seriam usadas apenas no primeiro caso, não tendo justificado seu uso em escala industrial. Como exemplo é importante compor o custo de modo a obter um termo de comparação para a adoção da fôrma metálica.

Custo de fôrmas de madeira/PAINEL Data base: agosto/91

Item	Quant.	Preço unitário		Preço total	
		Cr\$	DT	Cr\$	DT
Tábuas de 1"	6 m	900,00	2,143	5.400	12,857
Ripas	12 m	150,00	0,357	1.800	4,286
Madeirit 12 mm	2 ud	4.900,00	11,667	9.800	23,333
Total				17.000	40,476

FÔRMAS METÁLICAS

A espessura da chapa metálica é escolhida em função da complexidade da fôrma e de seu manuseio durante o ciclo produtivo. Tem-se constatado espessuras entre 3 a 3,5 mm.

Custo de fôrmas de aço para painel Data base: agosto/91

Item	Quant.	Custo unitário		Custo total	
		Gr\$	DT	Gr\$	DT
Chapas de aço 3,0mm	100 kg	350,00	0,833	35.000	83,33
Perfis/conectores	70 kg	350,00	0,833	24.500	58,33
Serviços serralh.	170 kg	2.000,00	4,762	340.000	809,53
Totais				399.500	951,19

Considerando 500 reutilizações obtemos um custo de Gr\$ 799,00/peça, equivalentes a 1,902 DT. Tomando-se como referência o kg de fôrma temos um custo de Gr\$ 2.350,00 ou 5,60 DT.

Outro parâmetro de avaliação toma por referência o metro cúbico de argamassa, neste caso o custo seria de Gr\$ 19.206,73 ou 45,73 DT por metro cúbico.

Os serviços de serralheria, compreendendo o corte, dobramento, solda, montagem de conectores, etc. é avaliado por kg de aço trabalhado. Normalmente seu custo é estimado em duas vezes o peso do material empregado. Atualmente, este custo chega a dez vezes o peso do aço em função da complexidade da fôrma e da necessidade de precisão no trabalho.

As fôrmas metálicas tem sido aplicadas nas fábricas de equipamentos comunitários e seu consumo médio é estimado em 3.500 kg de aço por metro cúbico de argamassa, a um preço de 3.000 cruzeiros por kg de aço trabalhado, considerando-se um reaproveitamento de 500 vezes obtem-se o preço de Gr\$ 21.000 por metro cúbico de argamassa, equivalentes a 50 DT/m³.

O exemplo acima é uma peça da maior simplicidade de modo que o valor obtido é coerente.

7.3.3 ARMADURAS

A participação das armaduras no custo dos componentes tem incidido num percentual da ordem de 60% do custo da peça. A obtenção do custo resulta da composição mostrada a seguir:

Custo de armadura para um PAINEL				Data base: agosto/91		
Item	Quant.	Custo unitário		Custo total		Incidência %
		Cr\$	DT	Cr\$	DT	
Telas + 10%	2,16m ²	1.100,47	2,620	2.377	5,660	81,46
Fios + 10%	0,39kg	340,00	0,810	133	0,316	4,56
Espaçadores	40 ud	1,05	0,003	42	0,100	1,44
Equipamento	5% mat.			128	0,304	4,39
Mão de Obra	0,36hh	291,67	0,694	105	0,250	3,60
Leis sociais	127%			133	0,318	4,55
Totais				2.918	6.948	100,00

GUSTO FINAL PARA O PAINEL

Compondo-se os custos resulta na seguinte composição final para o painel da figura 7.1:

Composição final de um painel				Data base: agosto/91		
Item	Quant.	Custo unitário		Custo total		Incidência %
		Cr\$	DT	Cr\$	DT	
Argamassa	0,0416m ³	22.816	54,32	949	2,260	20,34
Armadura				2.918	6,948	62,54
Fôrma metálica				799	1,902	17,12
Totais				4.666	11,110	100,00

Para a obtenção do custo final do componente tem-se ainda que adicionar as operações de produção, o transporte e a montagem, como admitem grande variação, de acordo com o processo e equipamento adotados, indica-se um procedimento mais exato, baseado em levantamentos mais precisos de tempos de execução.

CAPÍTULO 8

PROJETO DE UMA ESCOLA

Neste capítulo serão ilustradas, através de uma aplicação ao projeto de uma unidade escolar, as informações analisadas nos capítulos anteriores.

A intenção inicial do estudo era de elaborar um modelo ou protótipo com tal finalidade, o que não foi possível por falta de recursos. A motivação, neste caso, surgiu em função de uma possibilidade de aplicação, como trabalho de extensão para a construção de uma creche.

O projeto foi desenvolvido por uma equipe coordenada pelo orientador deste trabalho professor João Bento de Hanai cabendo a definição do programa e do projeto arquitetônico aos arquitetos Sonia Costardi, da Prefeitura do Campus Administrativo de São Carlos - USP, e José Mario Nogueira de Carvalho Jr., professor do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos.

Neste caso, adota-se a argamassa armada para quase todos os elementos construtivos, visando fornecer o maior número possível de parâmetros para sua avaliação como material adequado aos componentes usados. Não há portanto a pretensão de induzir que tal opção seja sempre vantajosa, e sim o melhor aproveitamento do exemplo.

A finalidade é possibilitar a análise das diversas etapas de projeto, procurando a adequação do sistema construtivo aos requisitos da pré-fabricação.

8.1 PROJETO ARQUITETÔNICO

Apresenta-se neste sub-item as informações, referentes ao projeto arquitetônico, de maior influência na definição dos componentes construtivos em argamassa armada.

8.1.1 ESTUDO PRELIMINAR

Definidas as linhas iniciais para o desenvolvimento do projeto, a equipe buscou, entre as obras existentes em argamassa armada, aquela que pudesse trazer mais subsídios à elaboração do projeto. A obra escolhida foi a Creche projetada por João Filgueiras Lima²⁵, em Salvador.

O estudo preliminar considerou inicialmente o caráter distinto deste projeto. Procurando estabelecer, de forma precisa, as necessidades do cliente e dos usuários e discutir as diversas alternativas de projeto, decorrentes da adoção do material como a argamassa armada que possibilita um maior repertório de escolha de formas. Diversas alternativas foram estudadas, procurando logo de início evidenciar o aspecto de leveza do material, como mostram as figuras 8.1 e 8.2:

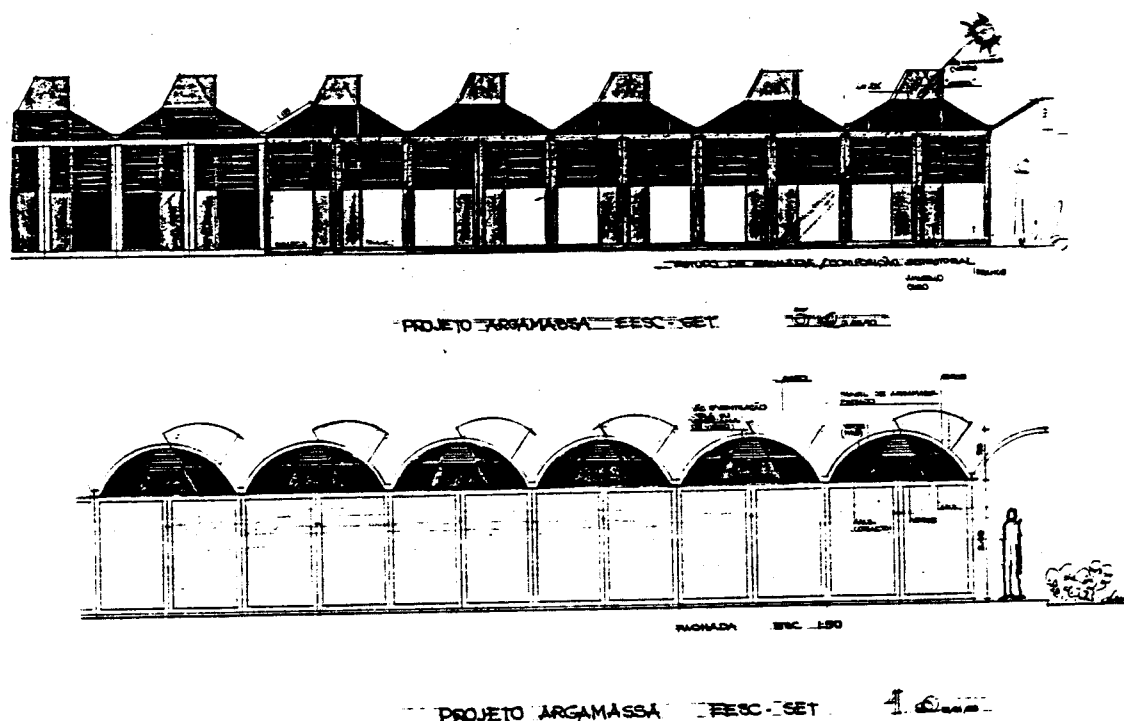


FIGURA 8.1 ESTUDOS INICIAIS PARA FACHADA

Optou-se por uma malha em planta na medida de 50x50cm, em favor da liberdade necessária para o estudo de diversas alternativas para os componentes, em detrimento da adoção da coordenação modular.

O programa de necessidades ficou atendido pela planta mostrada na figura 8.3 abaixo:

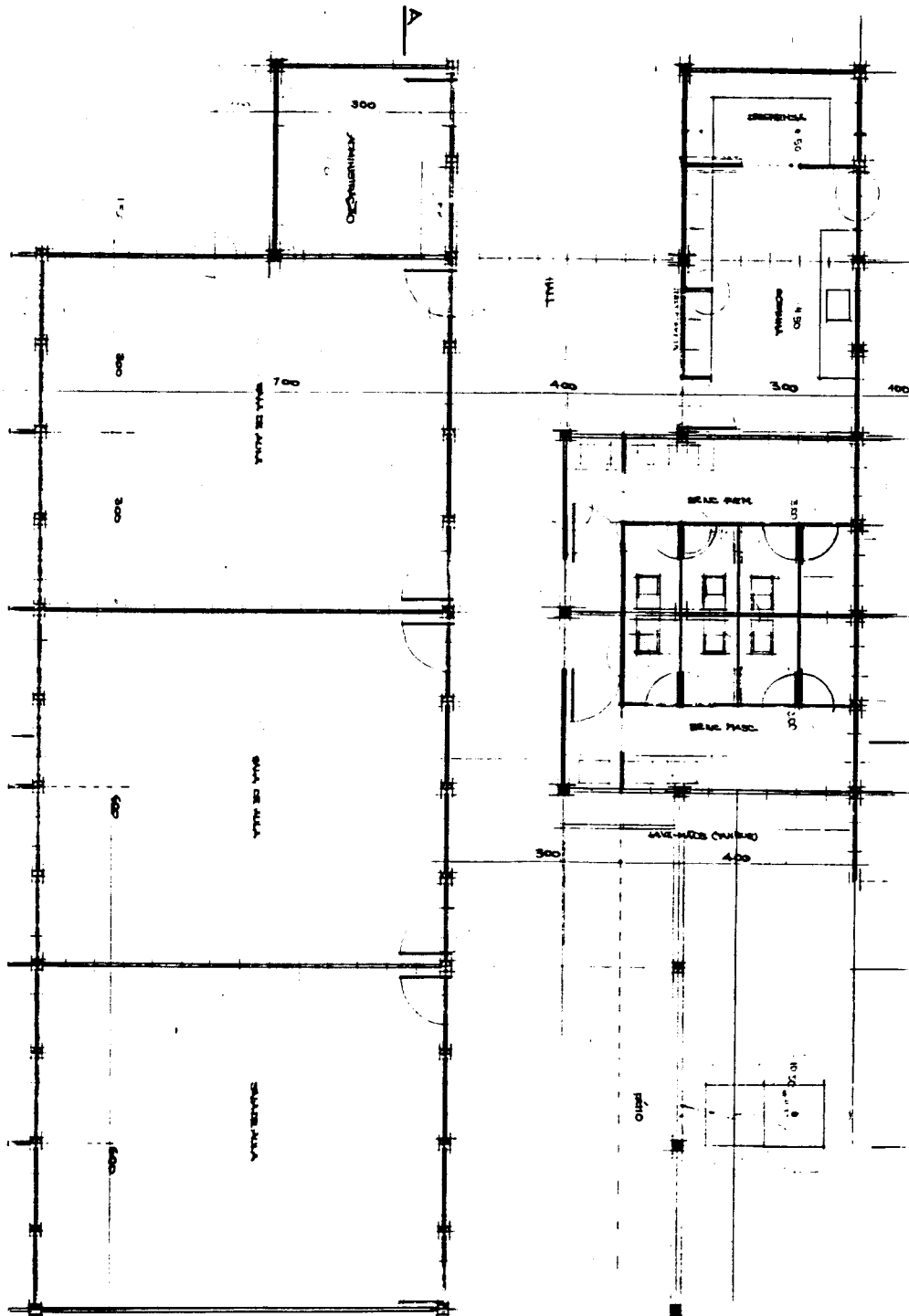


FIGURA 8.3 CROQUI DA PLANTA ADOTADA

8.2 PROJETO ESTRUTURAL

O projeto estrutural elaborado de acordo com as recomendações e sugestões dos capítulos anteriores teve um tratamento distinto do projeto convencional, onde o prazo constitui uma limitação. Diversas alternativas foram discutidas, entre as opções tipológicas, até o momento onde foi necessário adotar a solução final.

8.3 COMPOSIÇÃO ESTRUTURAL

Descreve-se, então os caminhos percorridos para chegar a solução proposta com respeito à composição estrutural e suas implicações na produção e montagem.

Inicialmente foram selecionadas as opções apresentadas para definição da composição da cobertura. Os componentes tridimensionais, mostrados na figura 8.4, embora constituíssem a melhor opção, sob a ótica da eficiência estrutural, no entanto foram descartados pela dificuldade da curvatura, com respeito à execução, assim como por apresentarem maiores exigências para a montagem.

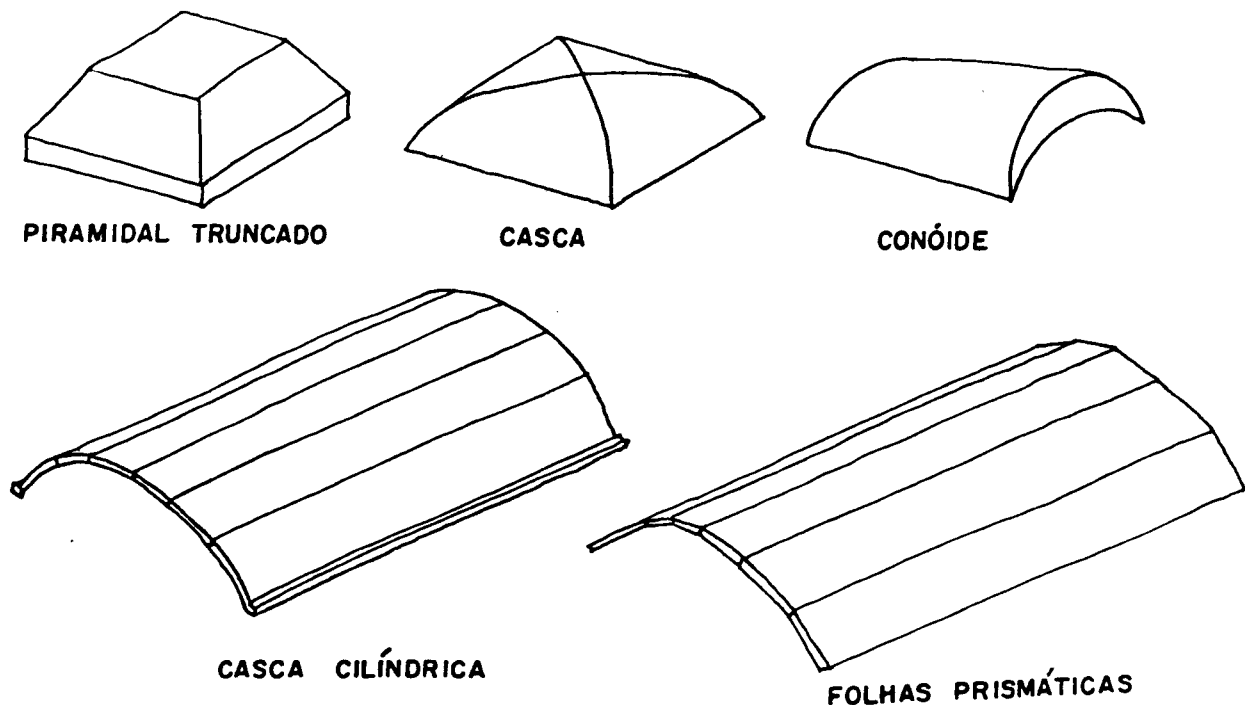


FIGURA 8.4 ESTUDOS PARA A TIPOLOGIA DA COBERTURA

A análise do projeto da creche^[25] sugeriu uma outra possibilidade construtiva para a mesma solução estrutural. A produção de componentes de cobertura sem curvatura, seria feita em pista de maneira a simplificar as fôrmas. A própria estrutura de cobertura, a exemplo da creche^[25], venceria o vão sem a necessidade de vigas, descarregando diretamente nos pilares, que por sua vez constituiriam um quadro, com preendendo a união de vigas superiores com as de baldrame, e suporte de painéis de vedação e esquadrias.

Para o apoio da cobertura sobre o quadro optou-se por um tímpano ou diafragma metálico, que seria também aproveitada do como esquadria para iluminação.

Tendo em vista as operações de transporte e montagem dos componentes adotou-se a argamassagem posterior de forma a solidarizar as peças e facilitar a execução das ligações.

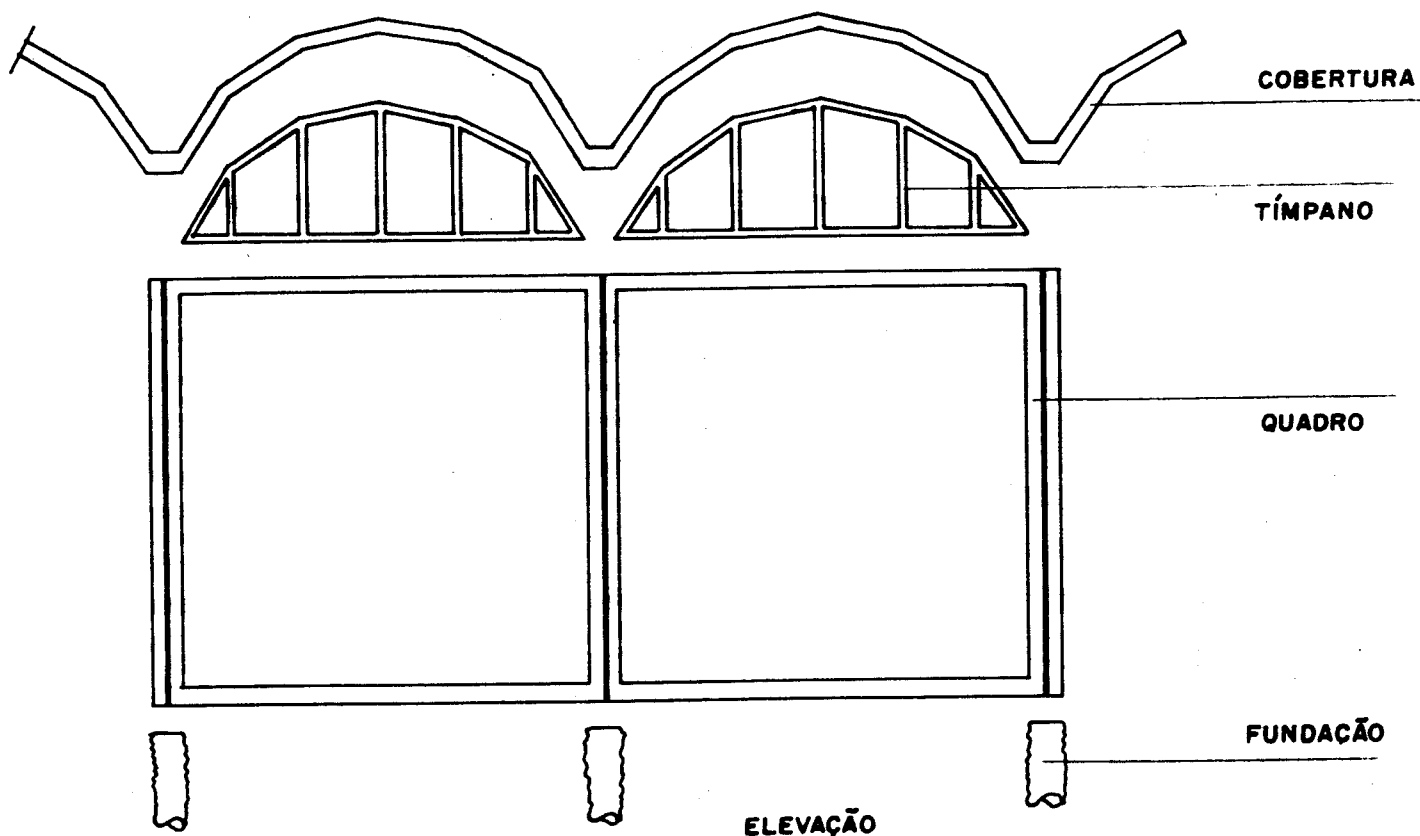


FIGURA 8.5 COMPONENTES ADOTADOS

8.4 ANÁLISE DE ESFORÇOS

Para a análise de esforços desse exemplo buscou-se, primeiramente para a cobertura em abóbodas, um processo de análise que fornecesse os valores dos esforços em cascas cilíndricas circulares, para uma avaliação preliminar e a escolha da geometria mais conveniente. Em função dos resultados obtidos foi adotada a folha poliédrica da fig.8.6 abaixo

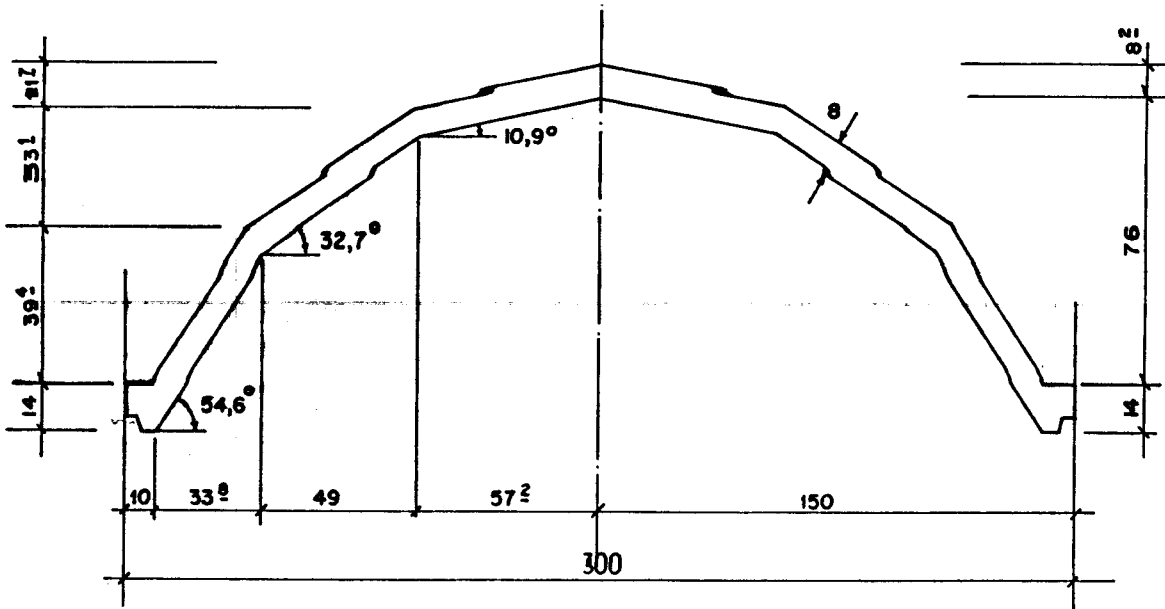


FIGURA 8.6 SEÇÃO TRANSVERSAL DO ELEMENTO DE COBERTURA

A pequena intensidade dos esforços mostradas pelos diagramas da figura 8.7, confirmam a escolha da forma e da geometria da cobertura.

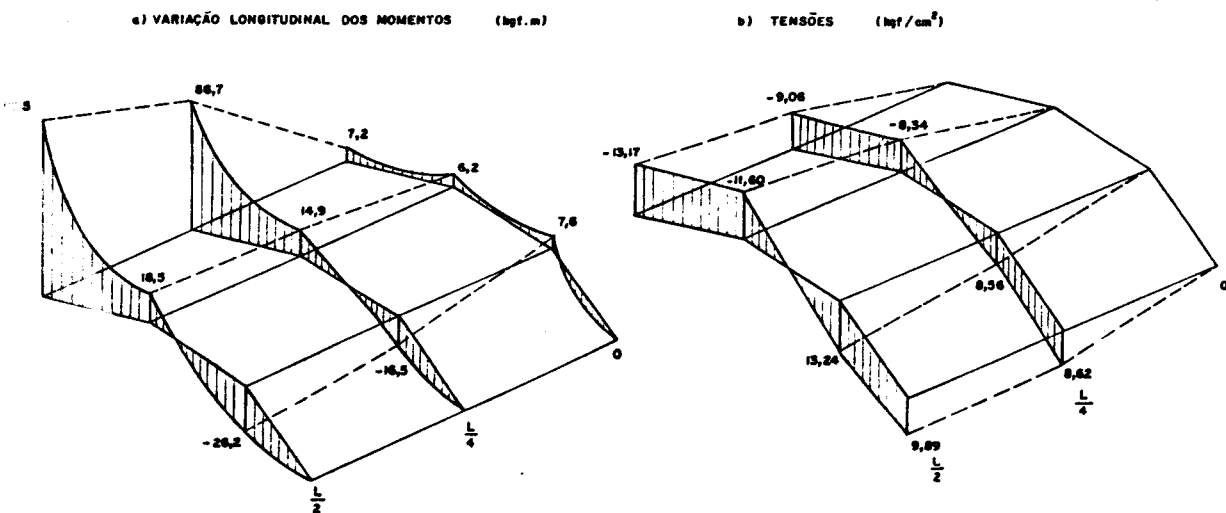


FIGURA 8.7 DIAGRAMAS DE ESFORÇOS PARA A FOLHA POLIÉDRICA

8.5 PROJETOS PARA FABRICAÇÃO

Os projetos de fôrmas para os componentes, como sugerido nos capítulos 3 e 4, foram elaborados e detalhados de maneira a fornecer todas as dimensões para possibilitar a confecção da fôrmas.

Inicialmente apresenta-se um resumo dos componentes, onde é destacada a preocupação com o número mínimo de fôrmas possível, no caso dez unidades, que em função das diferentes dimensões são desdobradas em 32 (trinta e duas) com pequenos insertos na forma matriz. O resumo apresenta também o número ou quantidade de peças para uma escola.

8.6 PROJETOS DE MONTAGEM

Os desenhos de montagem dos componentes indicam os detalhes, dimensões e a ordem de montagem a seguir.

O equipamento necessário seria um guindaste acoplado a caminhão ("Munck") com capacidade dimensionada em função do elemento mais pesado, no caso o Quadro 2 com 390 kg, e da maior distância que é de 8 (oito) metros. Assim concluiu-se por um equipamento de momento de carga 7 tm e capacidade de carga 440 kg a 9,10 m.

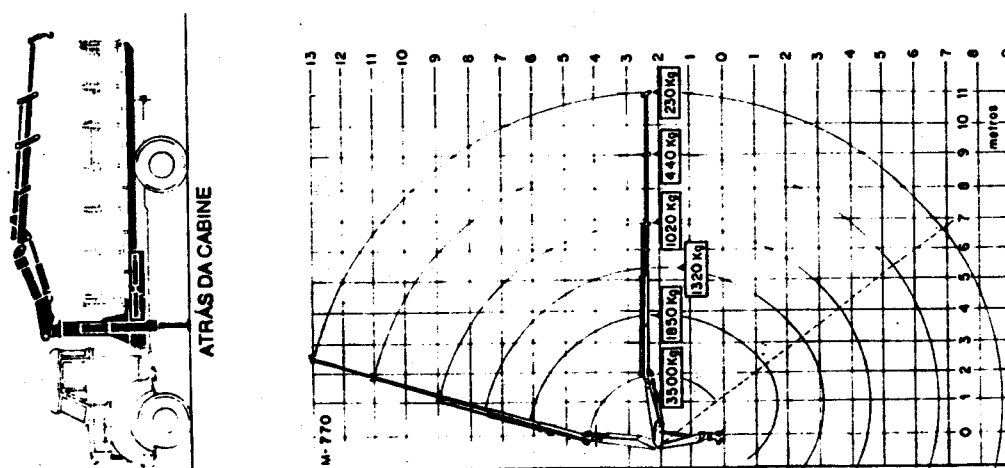


FIGURA 8.8 EXTENSÃO HIDRÁULICA DAS LANÇAS TELESCÓPICAS

6. FÔRMAS DOS COMPONENTES

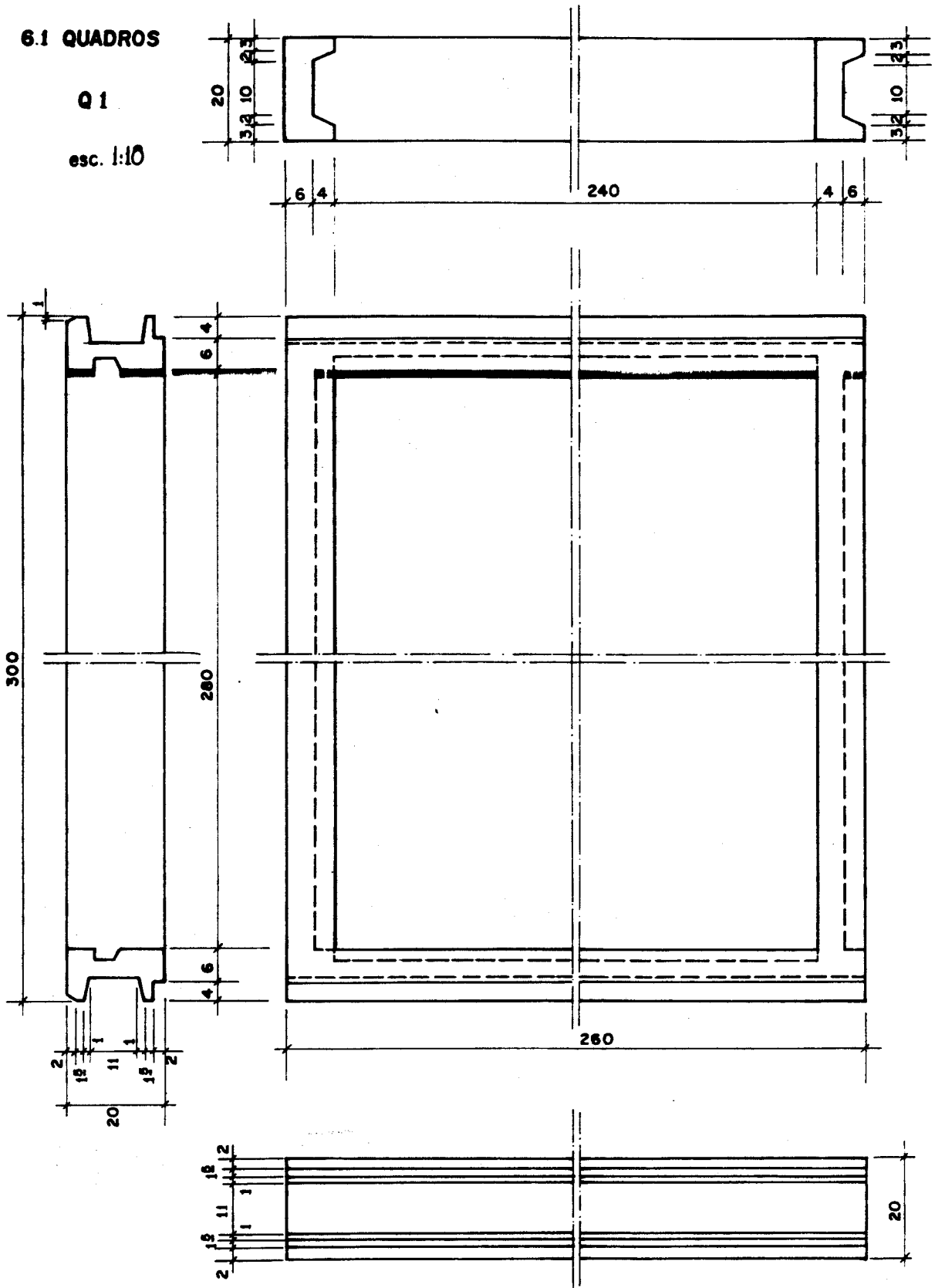
TABELA 6.1 - ELEMENTOS

FASE		COMPONENTES		QUANTIA (ud)	PESO UNITÁRIO (kgf)	VOLUME UNITÁRIO (cm ³)	VOLUME TOTAL (m ³)				
		MATRIZ	DERIVADOS								
6.1	QUADROS	1	Q1	1	Q1	11	357	148.876	1,6364		
				2	Q2	13	390	162.200	2,1086		
				3	Q3	14	77	31.820	0,4458		
6.2	COBERTURA	2	C1-3	4	C1-1	4	60	24.814	0,0993		
				5	C1-1,5	20	89	36.954	0,7391		
				6	C1-2	56	118	49.094	2,7493		
				7	C1-3	22	176	73.374	1,6142		
		3	C2-3	8	C2-1	18	55	22.743	0,4094		
				9	C2-1,5	44	82	33.865	1,4901		
				10	C2-2	60	108	44.988	2,6993		
				11	C2-3	42	162	67.233	2,8238		
				12	C3	6	53	22.039	0,1322		
		6.3	DOMUS	4	D2	13	D1	6	20	8.020	0,0481
						14	D2	6	22	8.905	0,0534
						15	D3	6	20	8.020	0,0481
5	D4			16	D4	6	202	84.000	0,5040		
6.4	PISOS			6	PI	17	PI	L232	18	7.500	9,2400
				18	P2	62	17	7.200	0,4464		
				19	P3	62	17	7.200	0,4464		
6.5	RODAPÉ	7	R1-2,8	20	R1-2,8	21	22	9.240	0,1941		
				21	R1-2,0	8	16	6.600	0,0528		
				22	R1-1,9	12	15	6.270	0,0752		
				23	R1-1,8	1	15	5940	0,0059		
6.6	PEITORIL	8	T	24	T	10	48	20.160	0,2016		
6.7	VEDAÇÕES	9	V1-2,39	25	V1-2,39	22	86	35.520	0,7814		
				26	V1-2,29	14	82	34.040	0,4766		
				27	V1-1,75	6	61	25.160	0,1510		
				28	V1-1,0	14	29	11.840	0,1658		
		10	V2-2,39	29	V2-2,39	76	101	42.000	3,1920		
				30	V2-2,29	38	97	40.250	1,5295		
				31	V2-1,75	12	72	29.750	0,3570		
				32	V2-1,0	28	34	14.000	0,3920		
1952							35,3085				

6.1 QUADROS

Q1

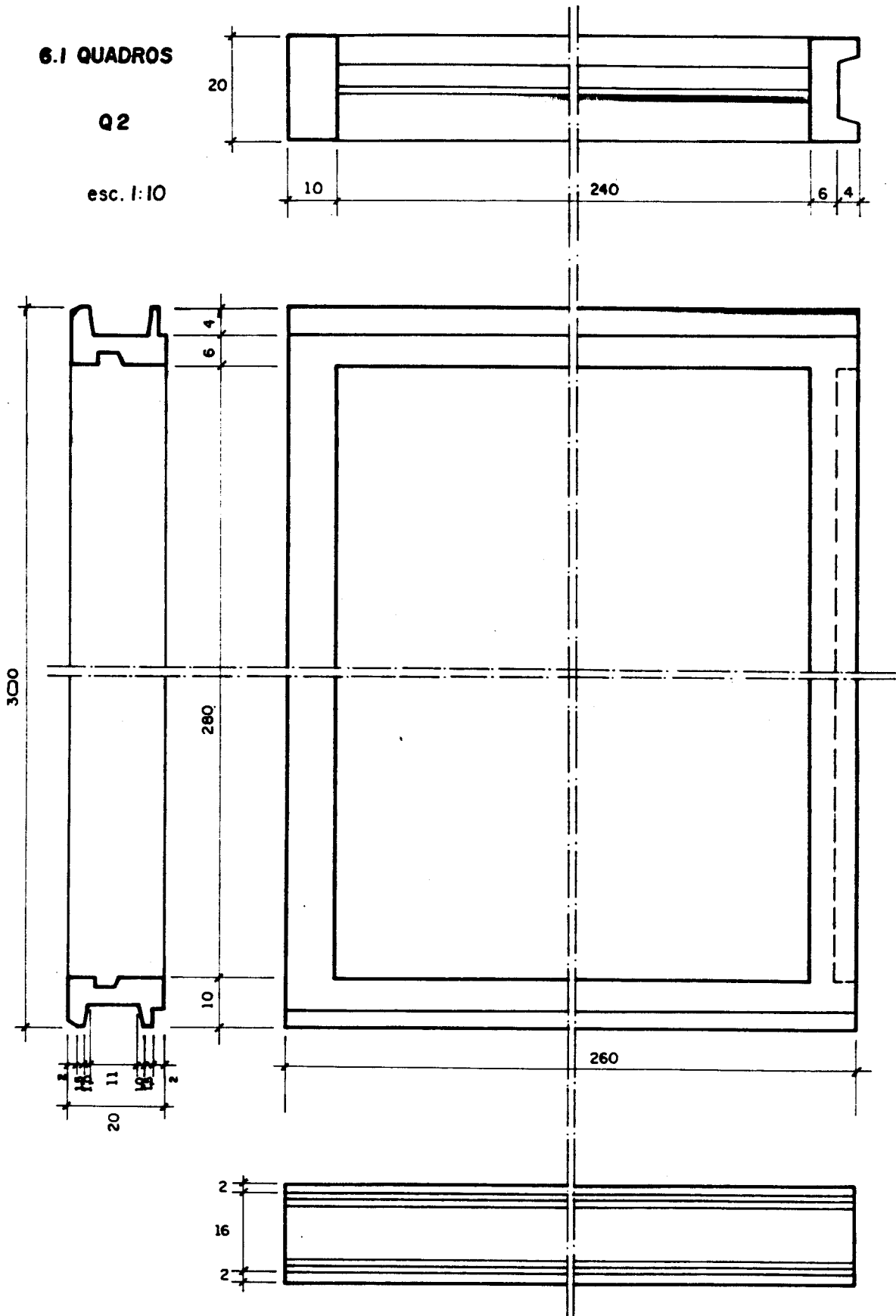
esc. 1:10



6.1 QUADROS

Q2

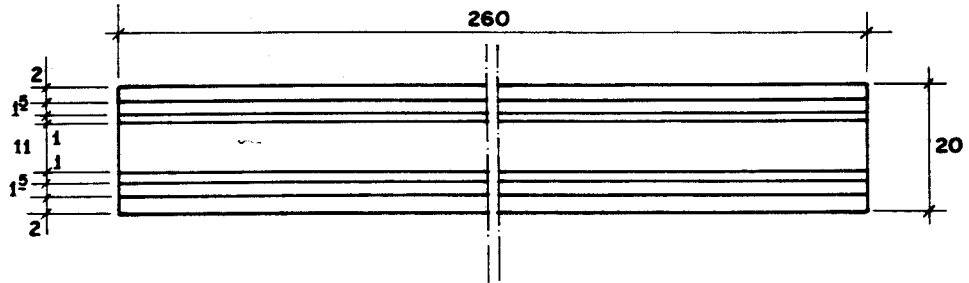
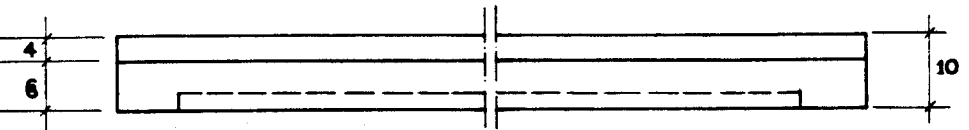
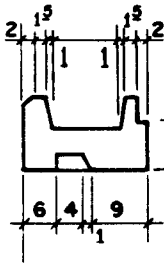
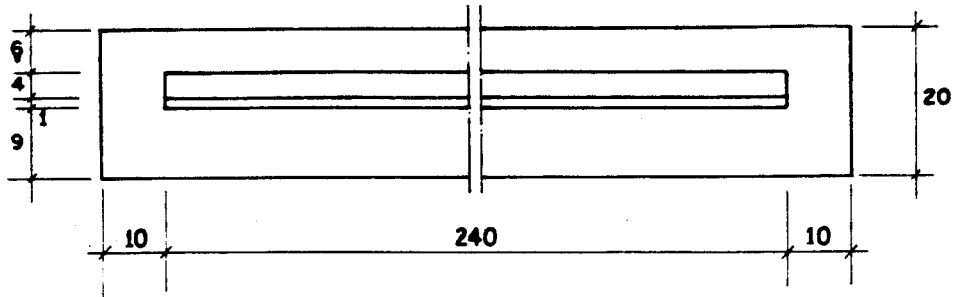
esc. 1:10



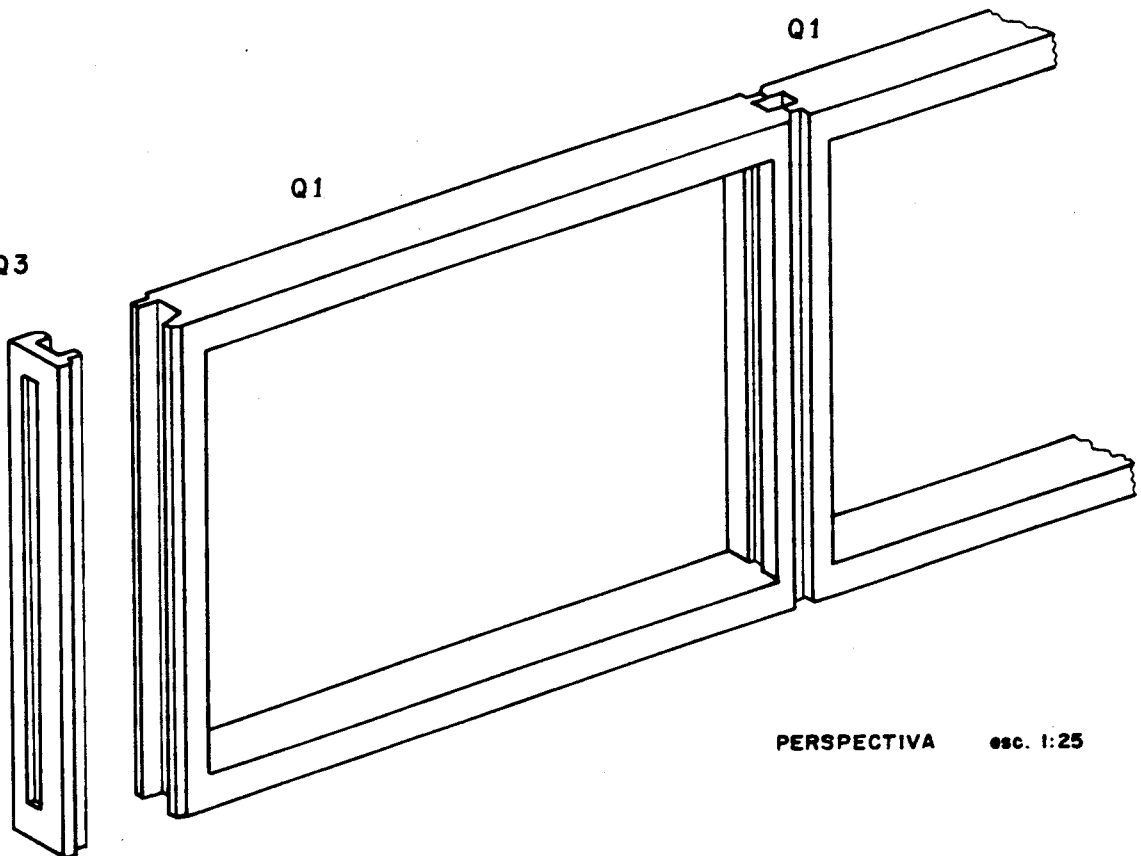
6.1 QUADROS

Q3

esc. 1:10



Q3

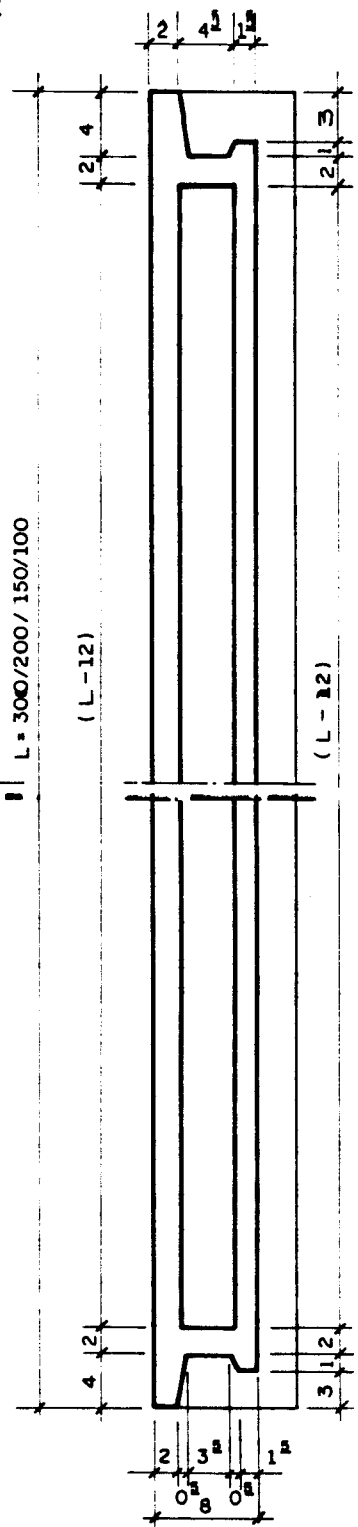
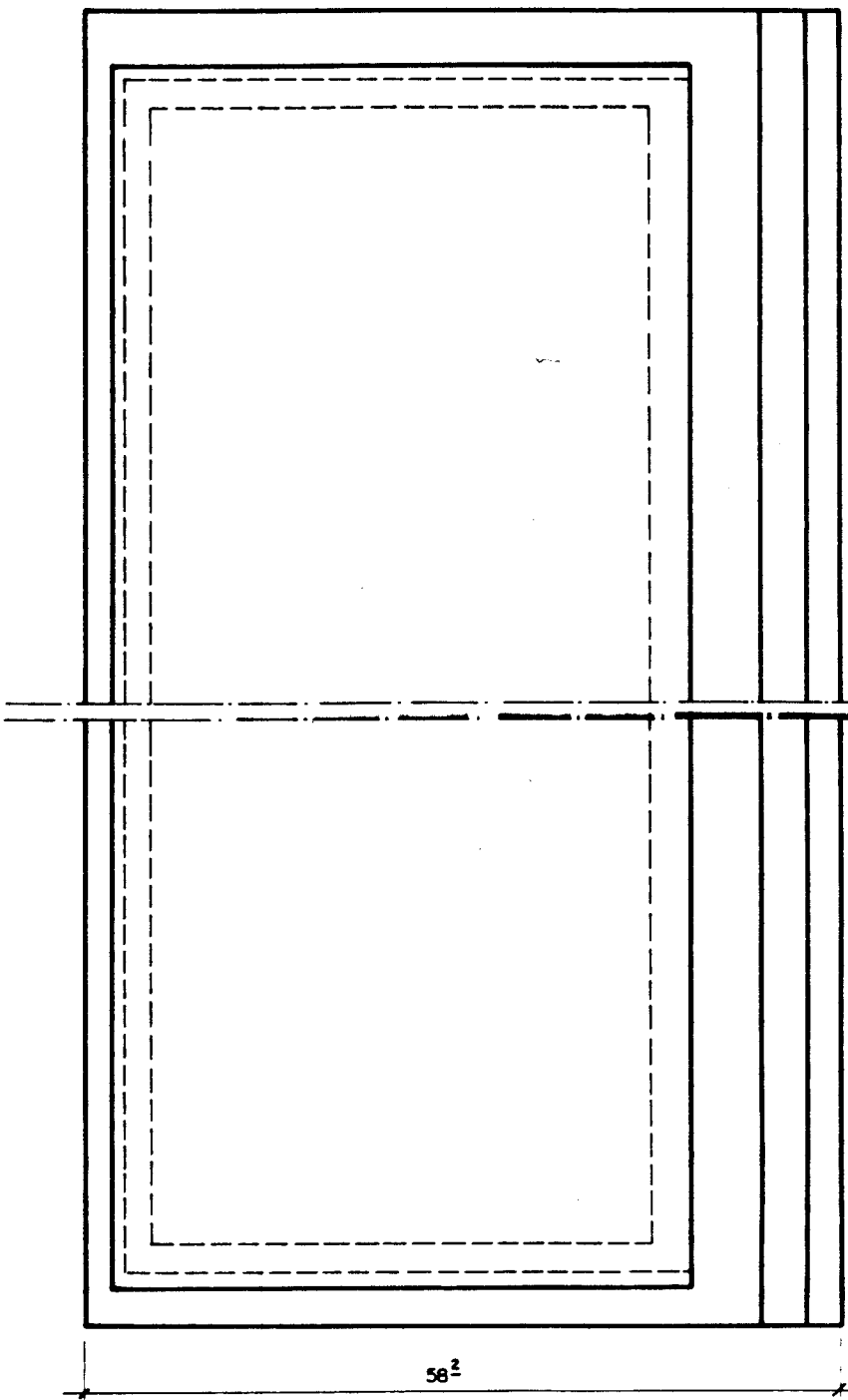
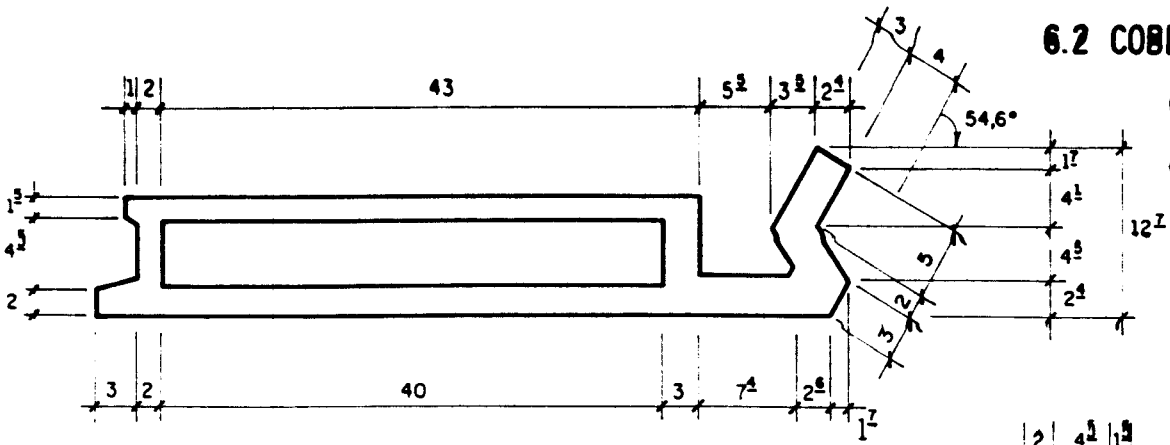


PERSPECTIVA esc. 1:25

6.2 COBERTURA

C1

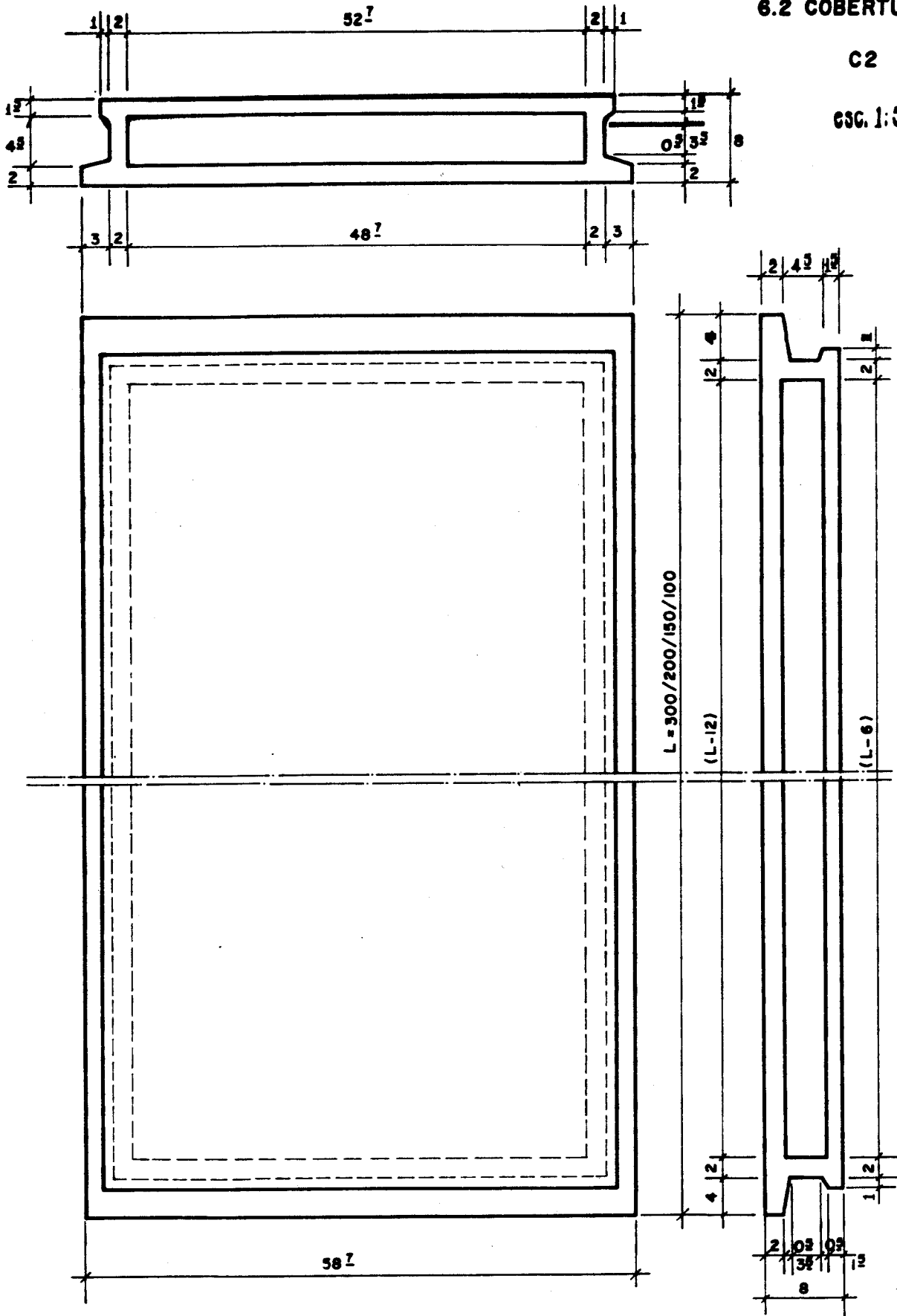
esc. 1:5



6.2 COBERTURA

C2

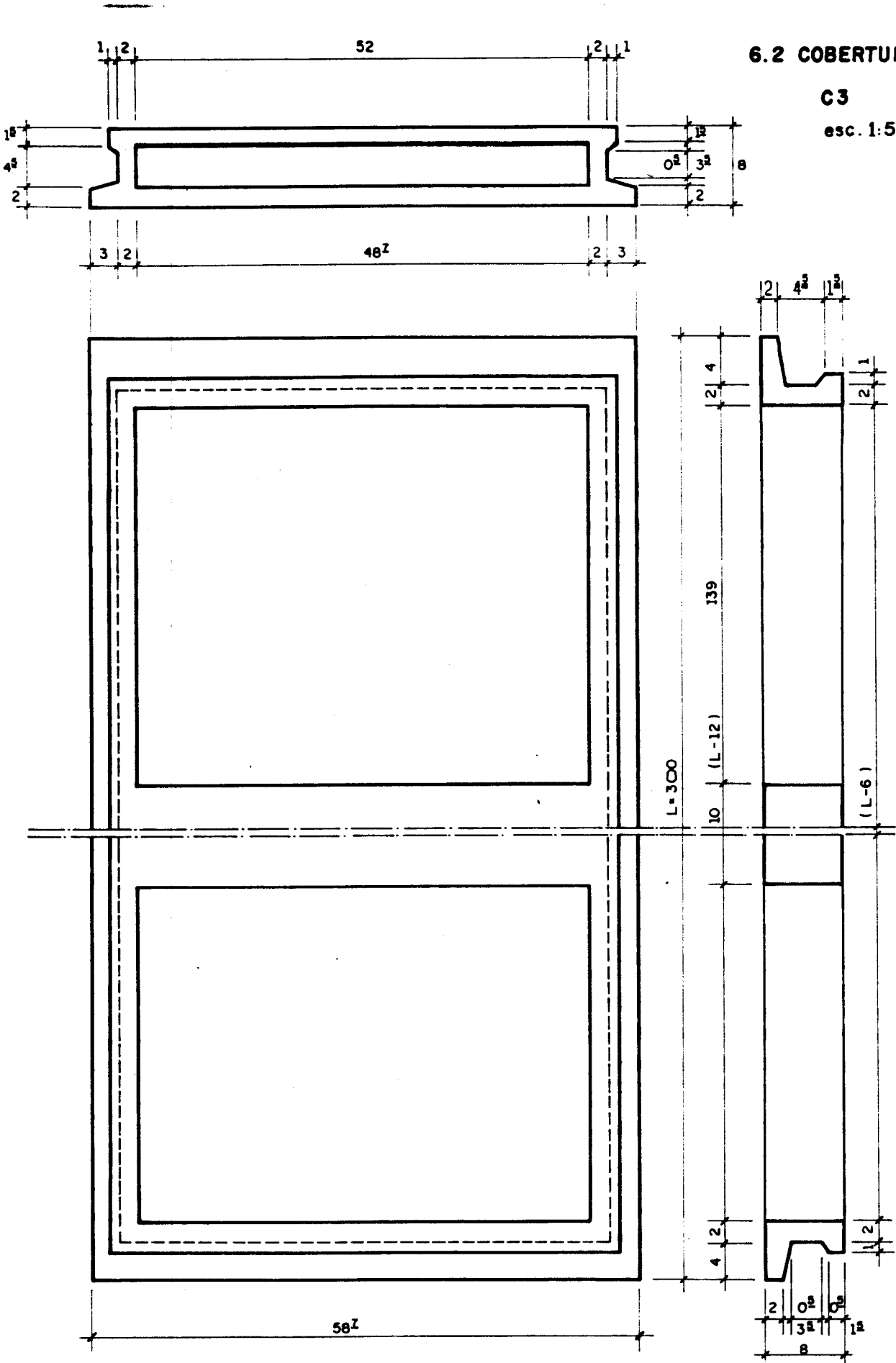
ESC. 1:5



6.2 COBERTURA

C3

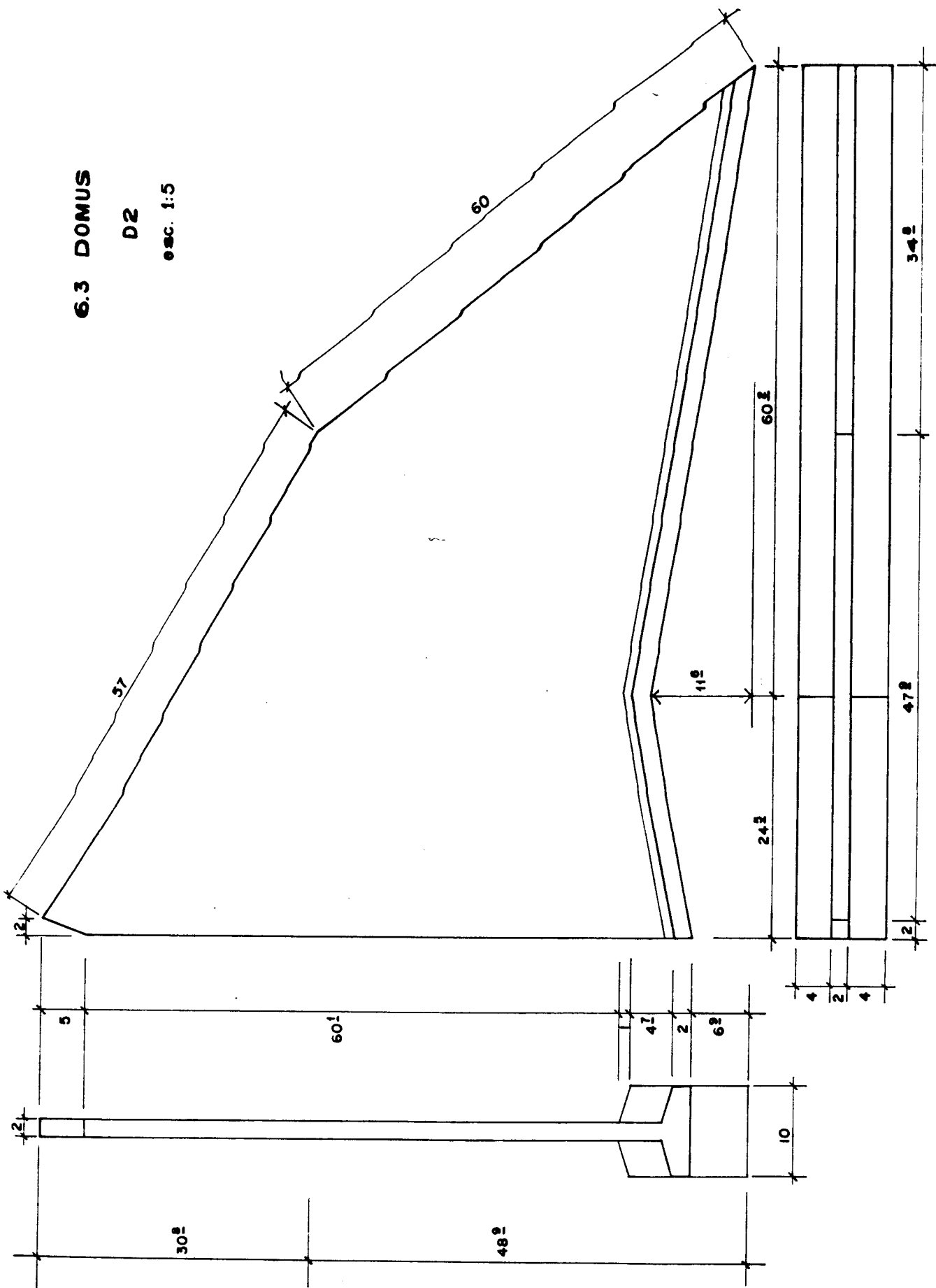
esc. 1:5



6.3 DOMUS

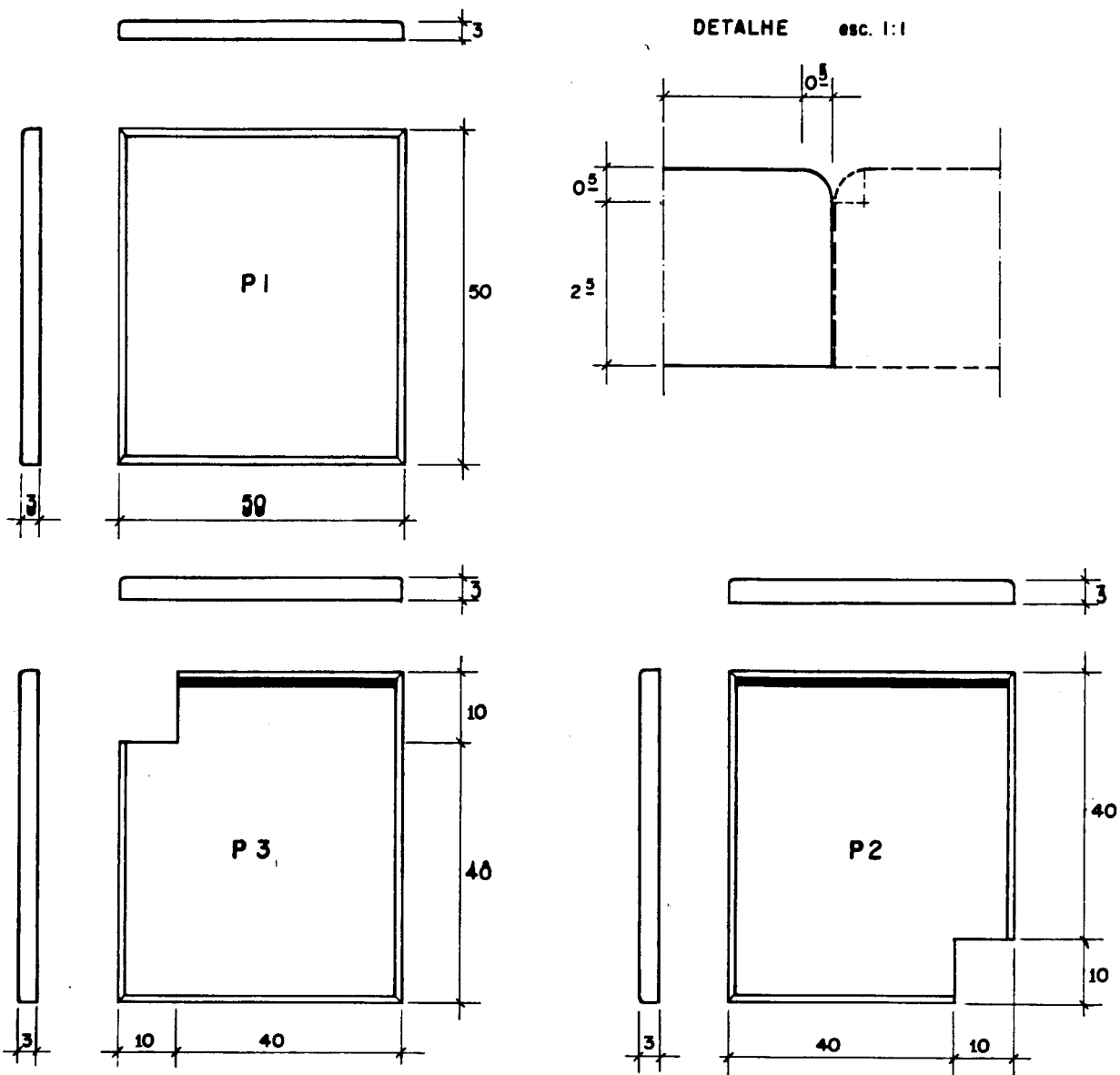
D2

esc. 1:5



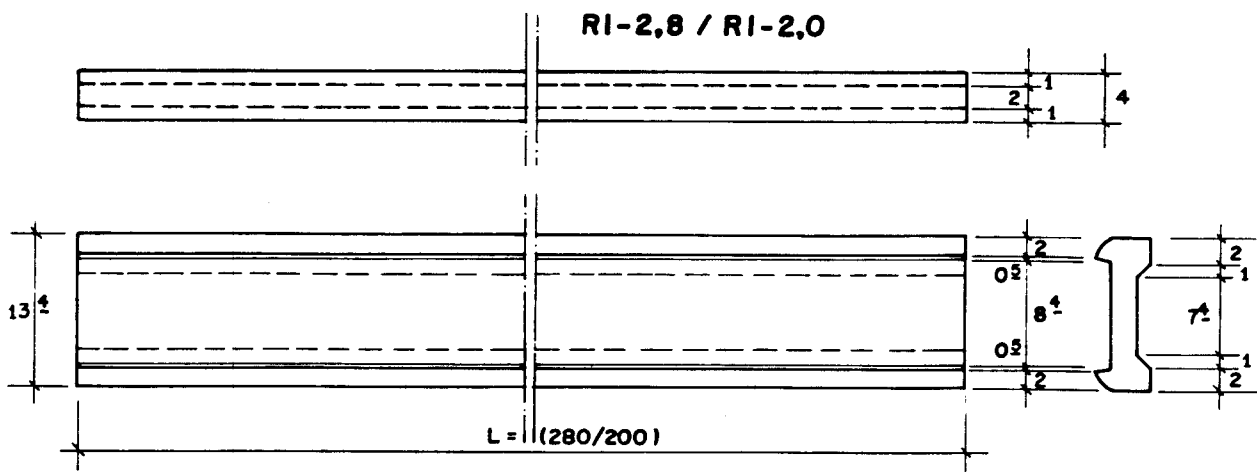
6.4 PISOS

esc. 1:10



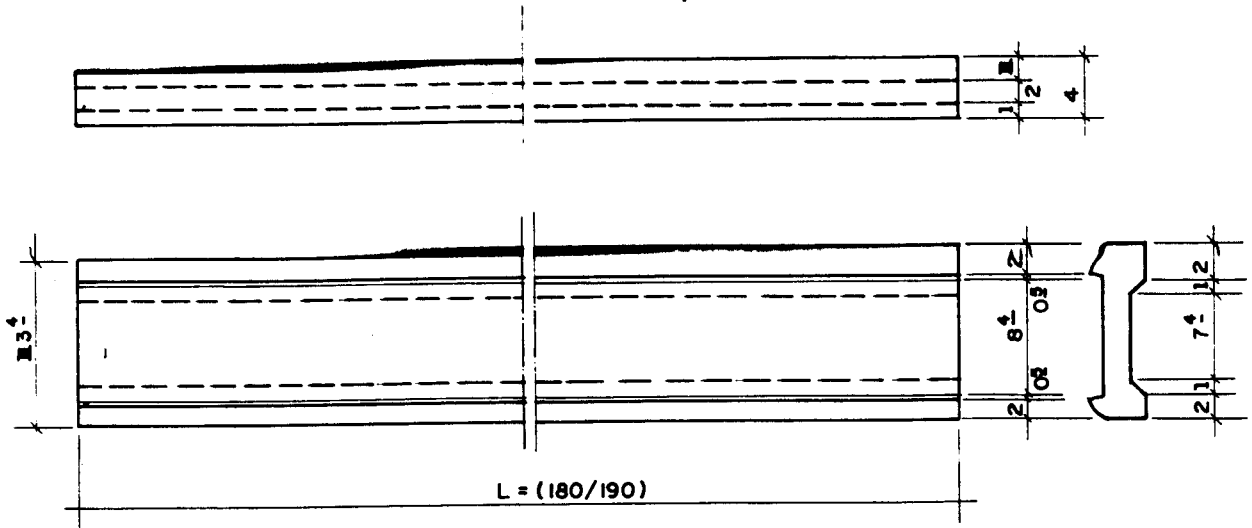
6.5 RODAPÉ

esc. 1:5



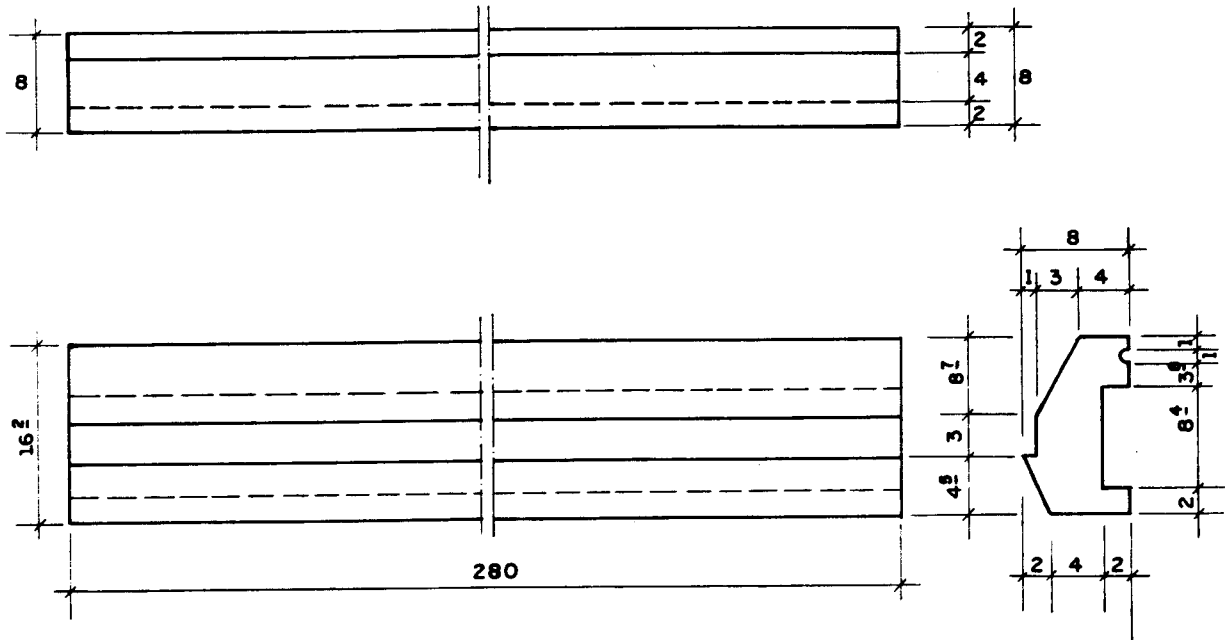
6.5 RODAPÉ

RI-1,8/RI-1,9



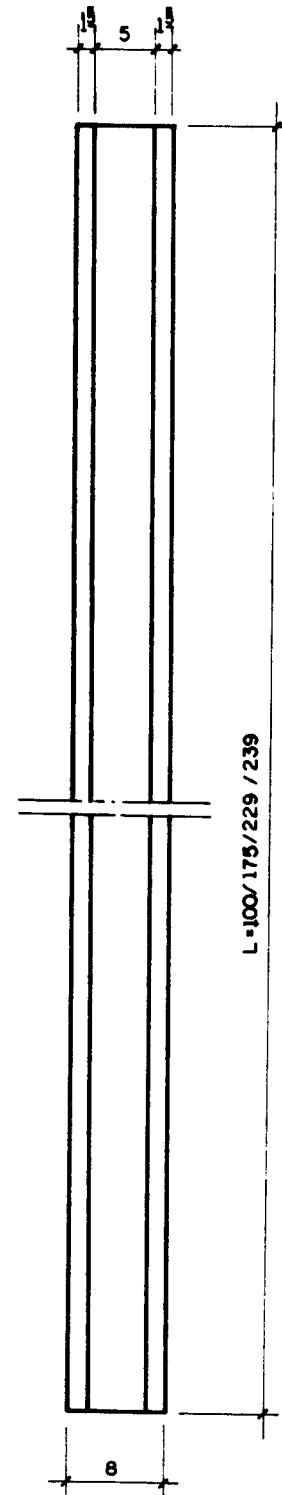
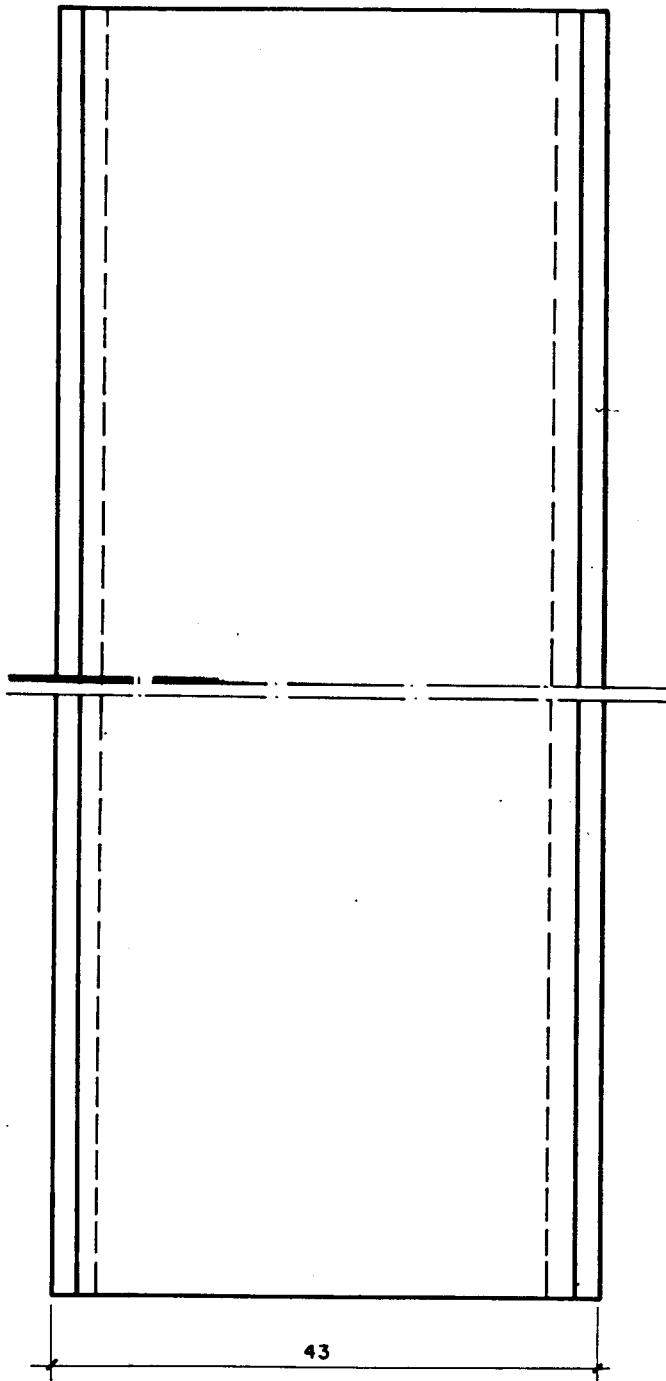
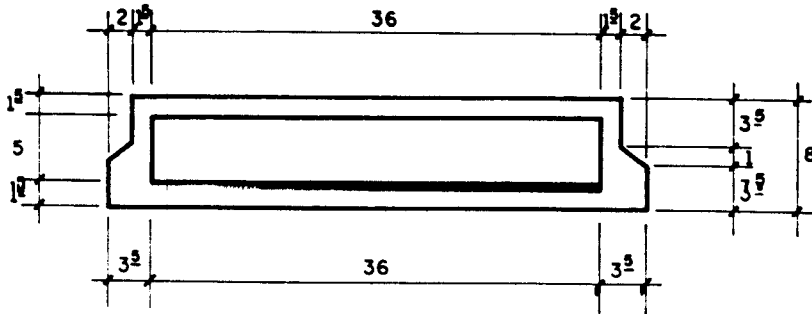
6.6 PEITORIL

TI-2,8

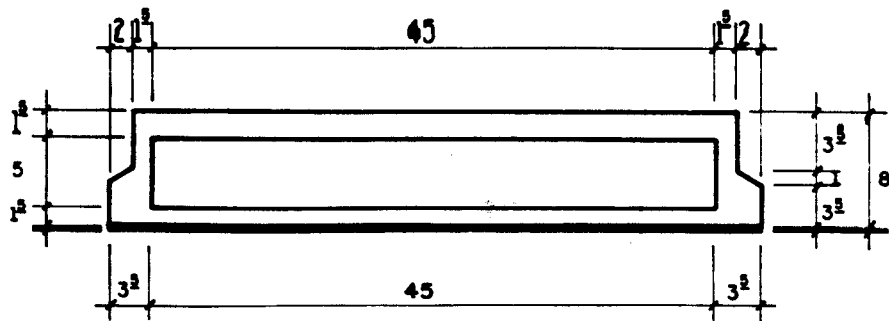


6.7 VEDAÇÕES

VI

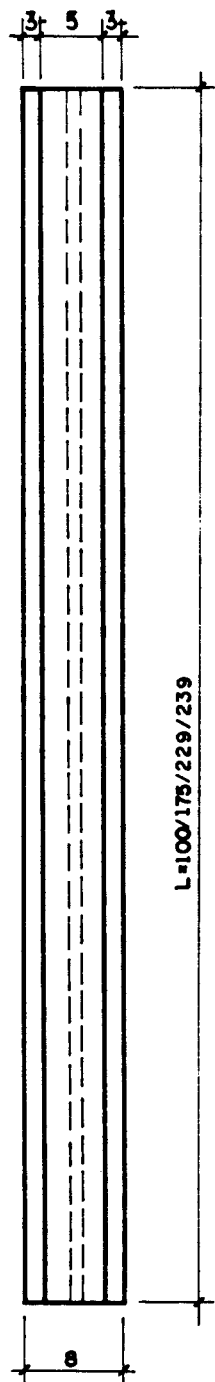
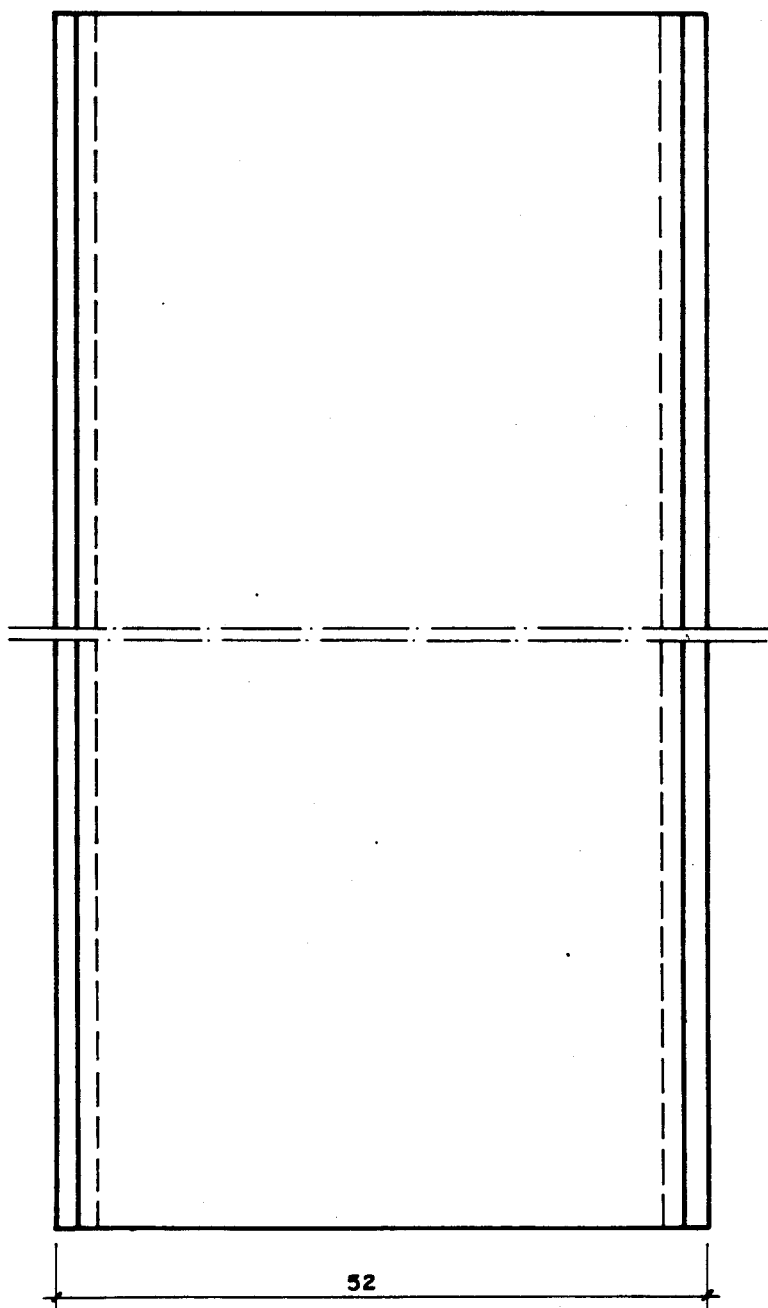


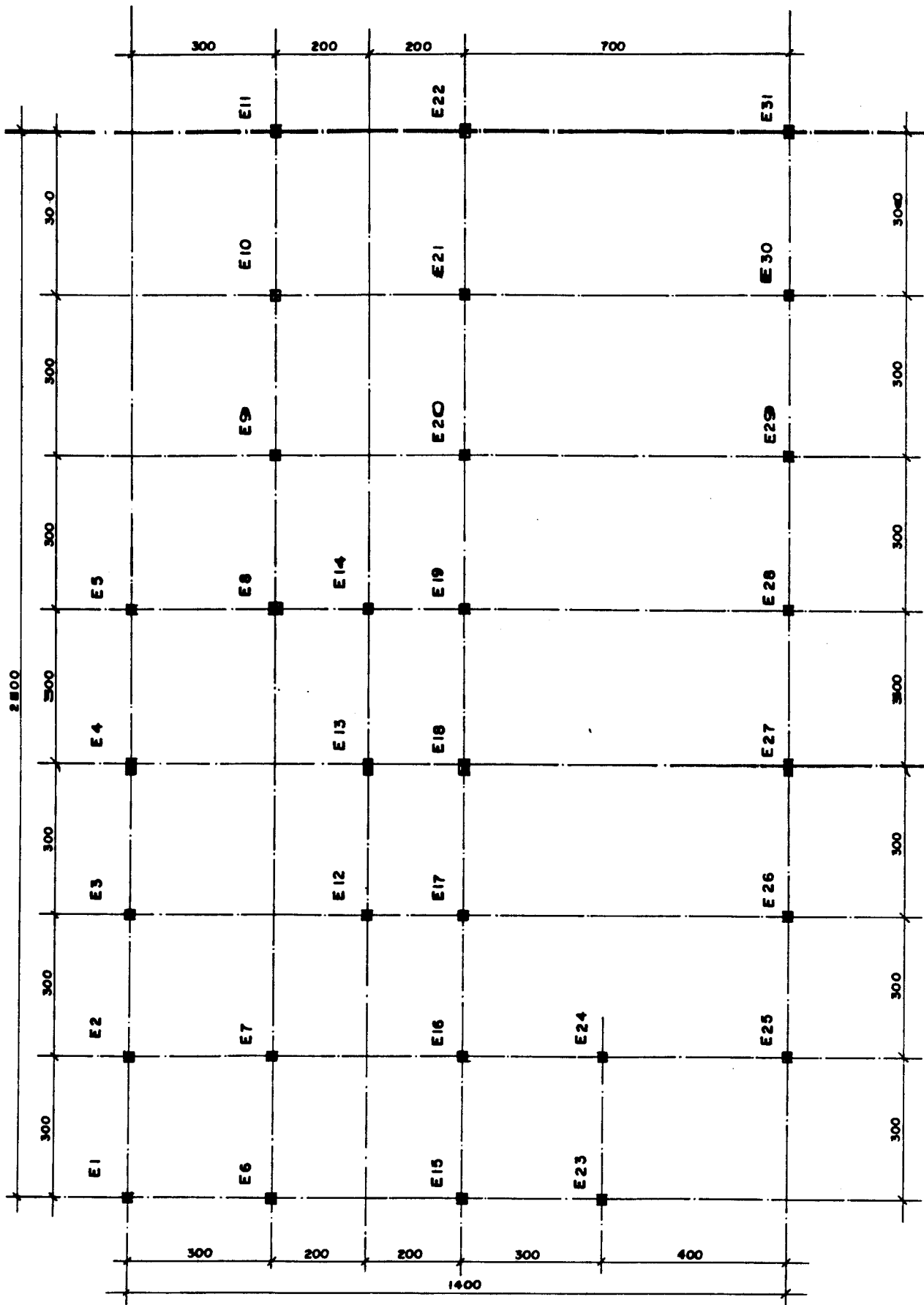
L-100/175/229 / 239



6.7 VEDAÇÕES

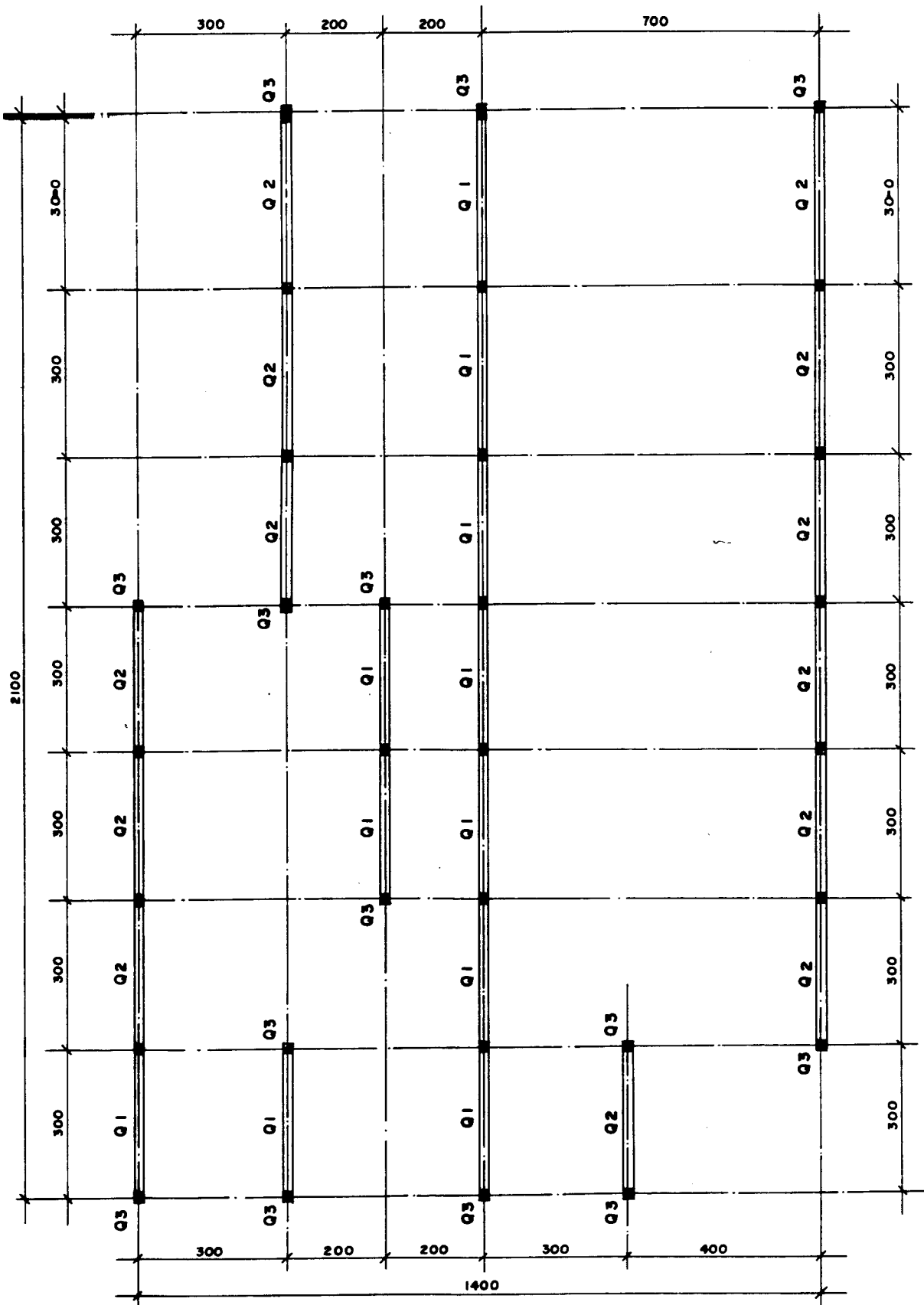
V2





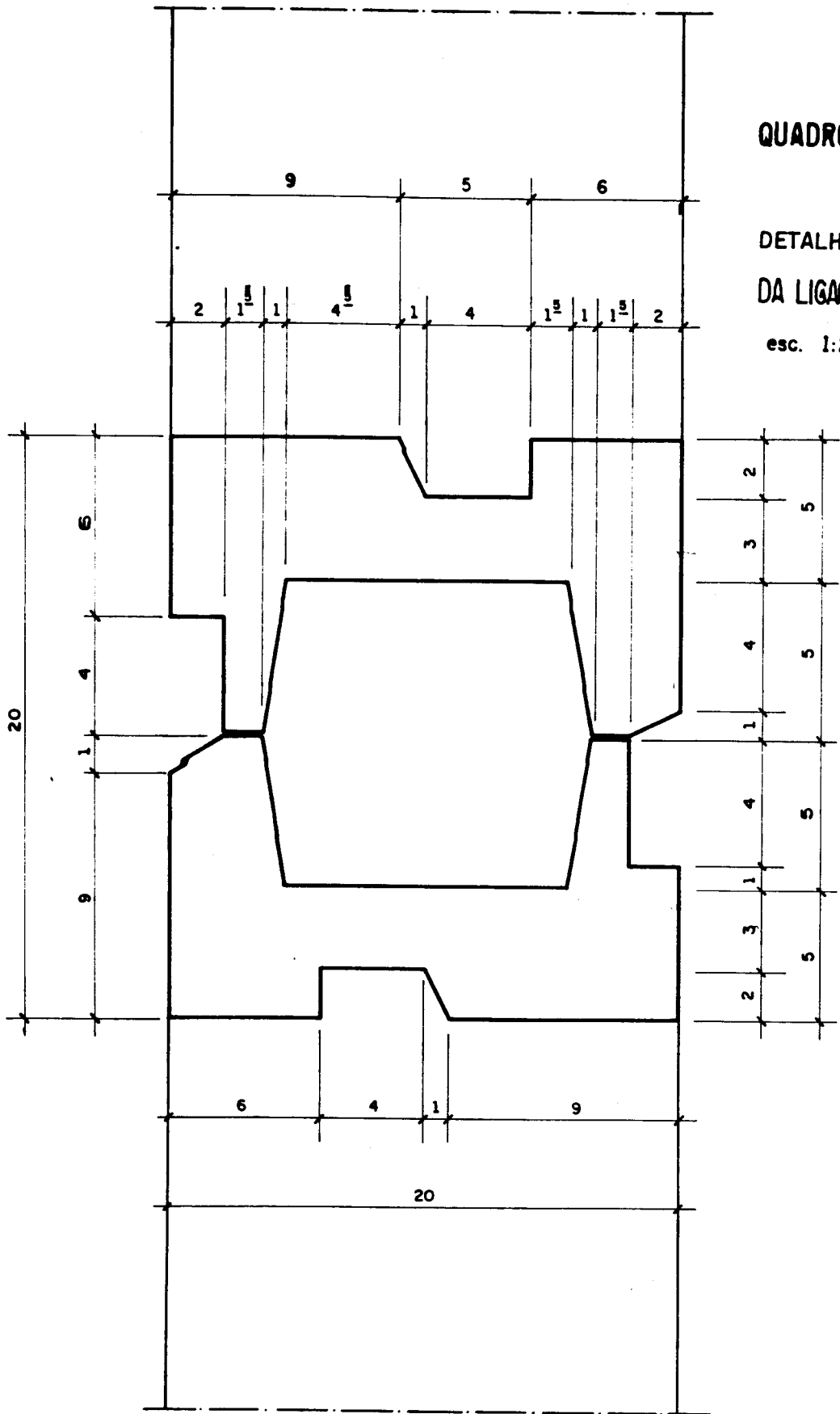
PLANTA esc. 1:100
medidas em cm

LOCAÇÃO DAS ESTACAS



LOCAÇÃO DOS QUADROS

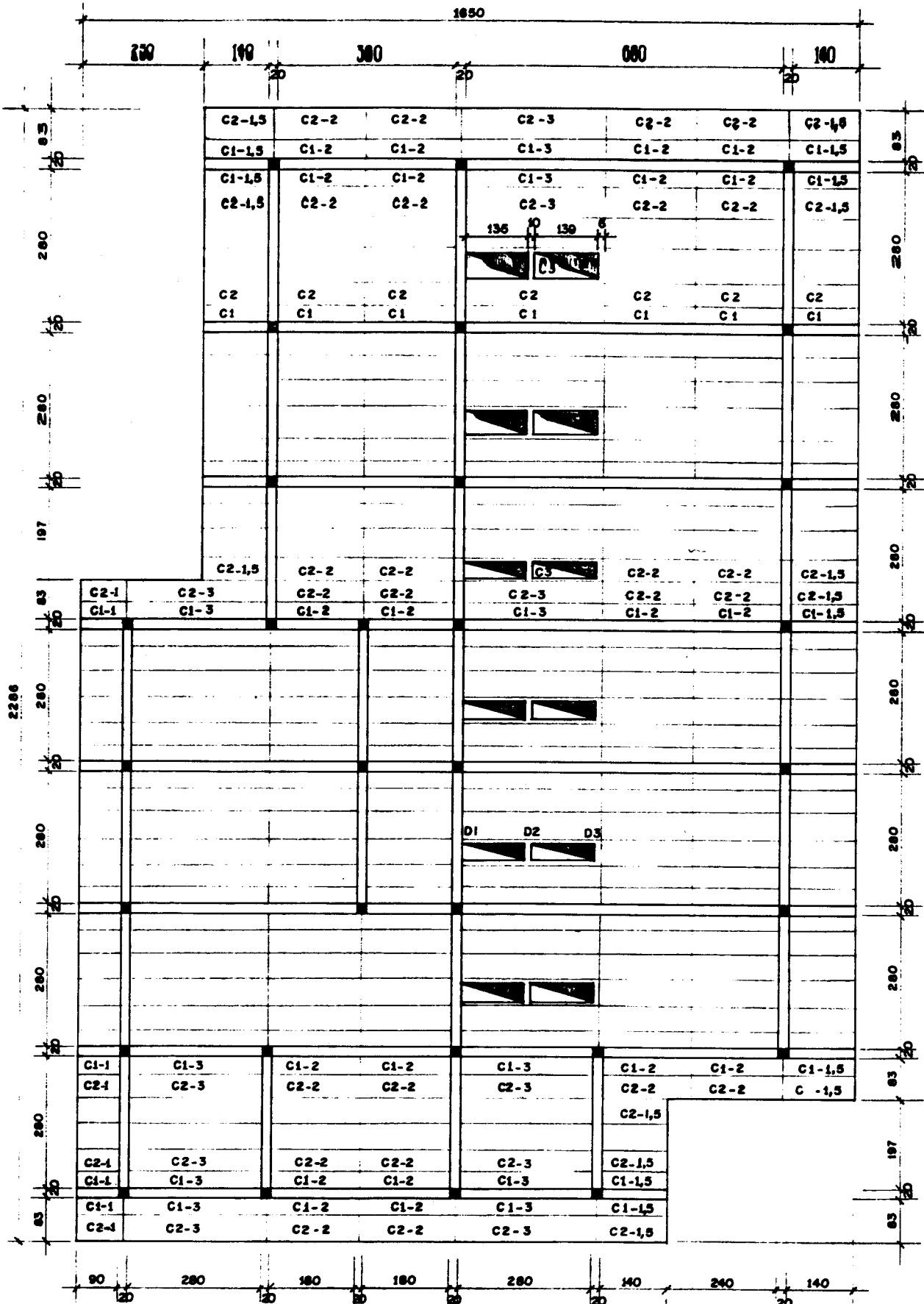
PLANTA esc. 1:100
medidas em cm



QUADROS

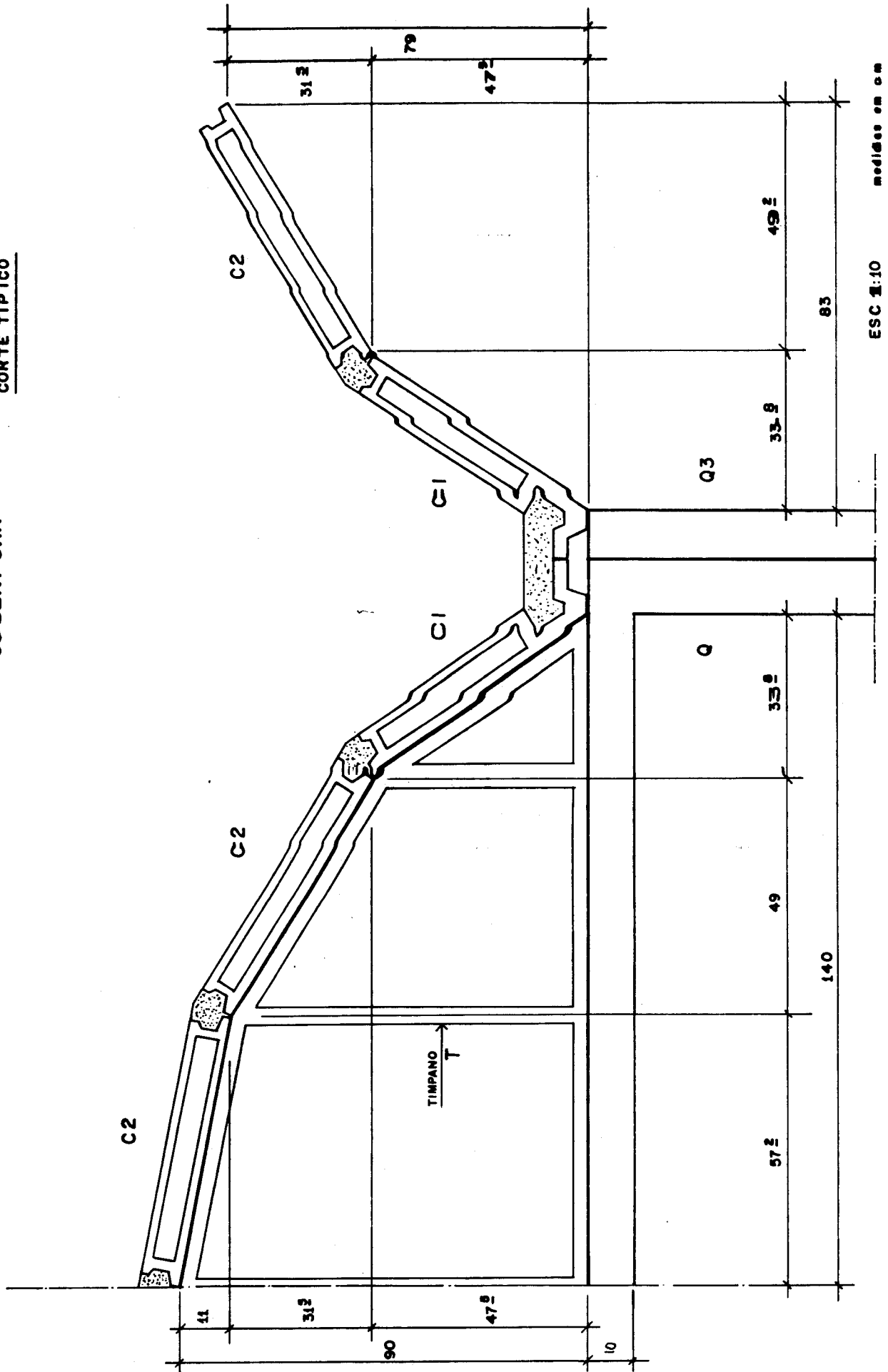
DETALHE
DA LIGAÇÃO

esc. 1:2



COBERTURA

CORTE TÍPICO

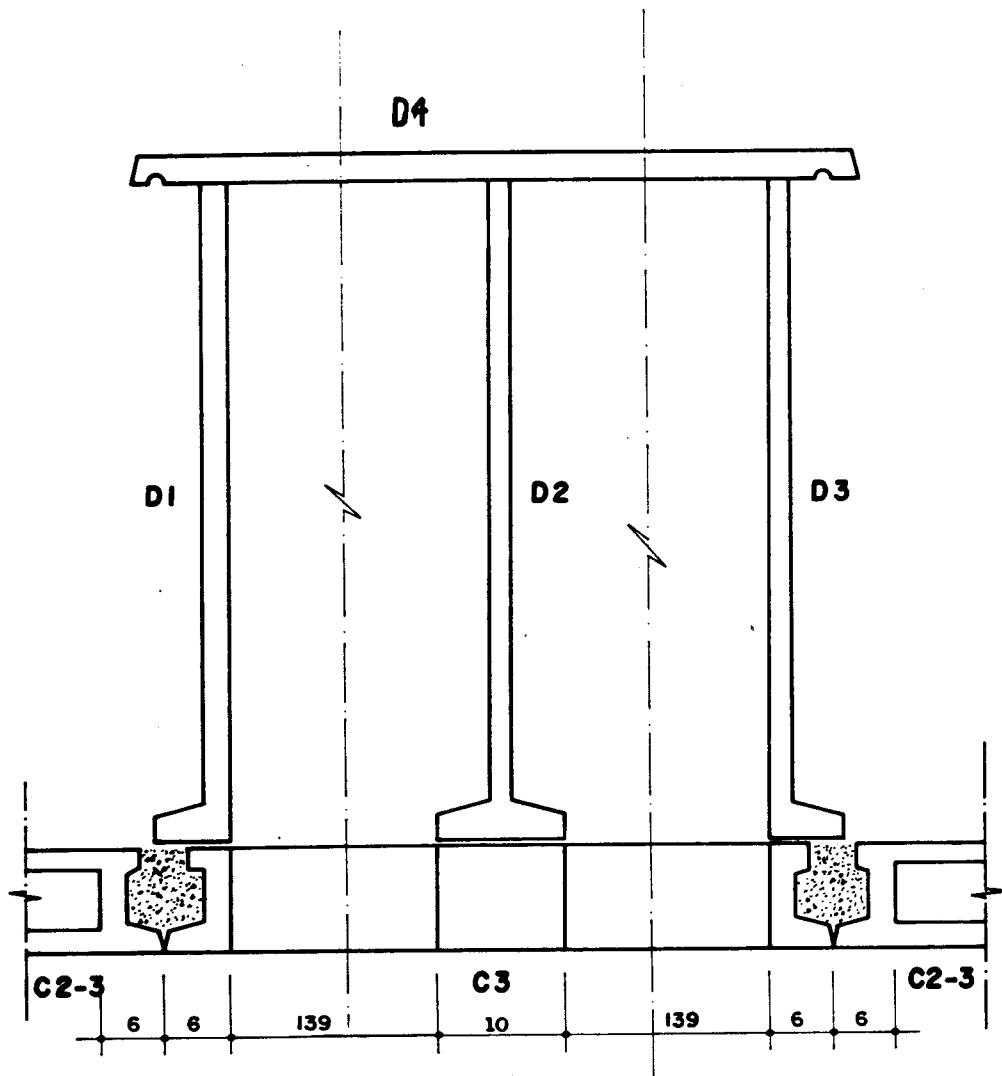


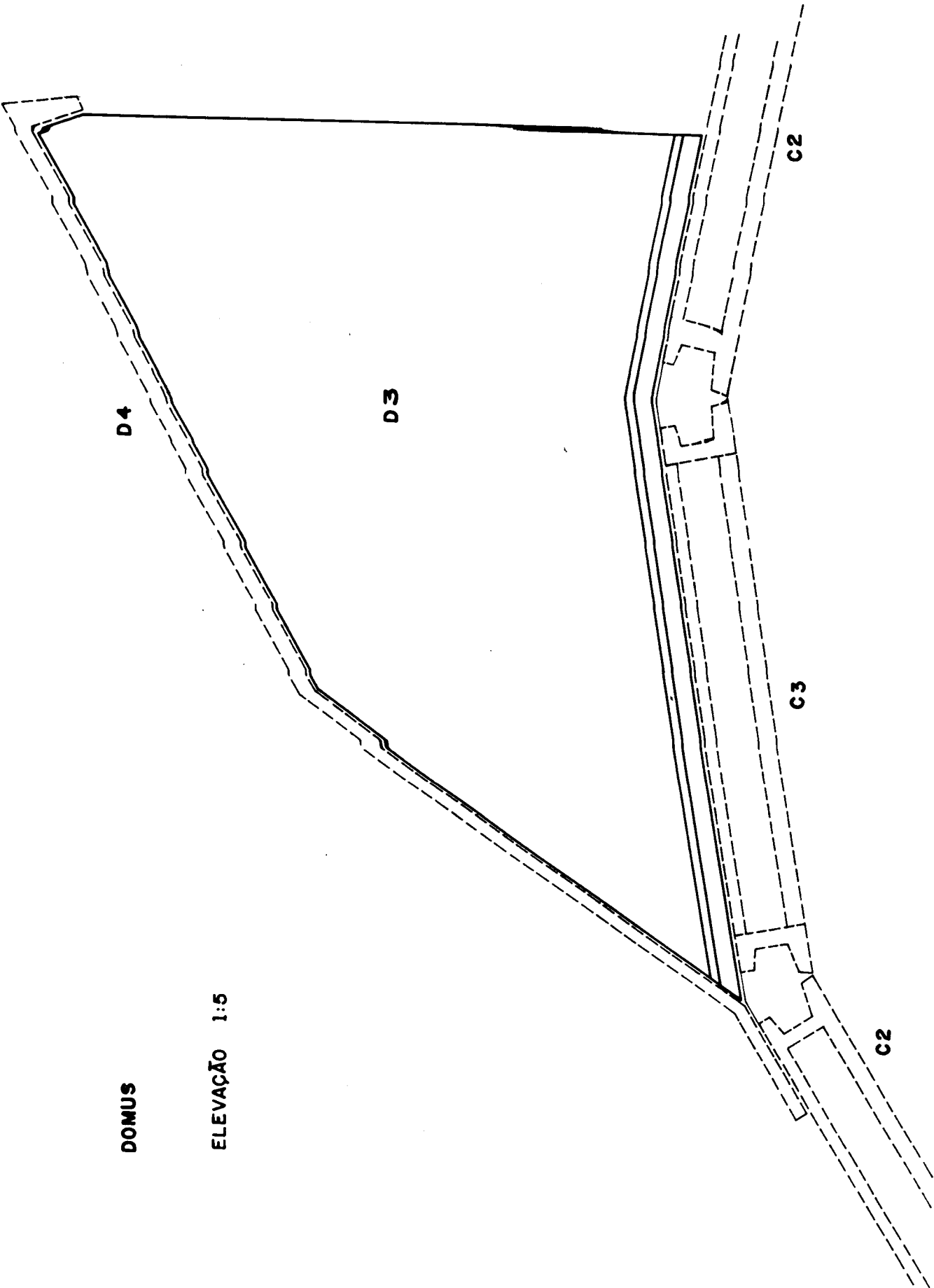
ESC 1:10

medidas en cm

DOMUS

CORTE TRANSVERSAL **esc. 1:5**



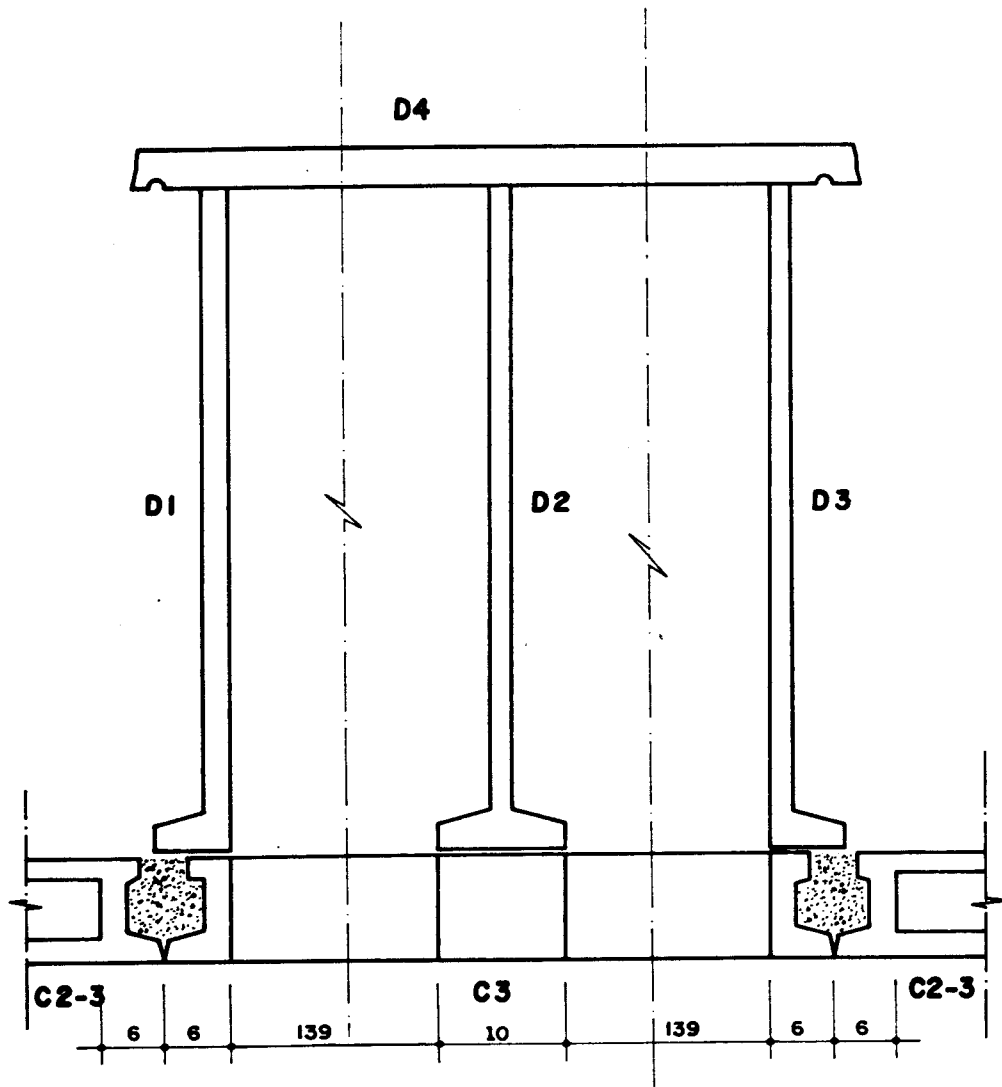


DOMUS

ELEVAÇÃO 1:5

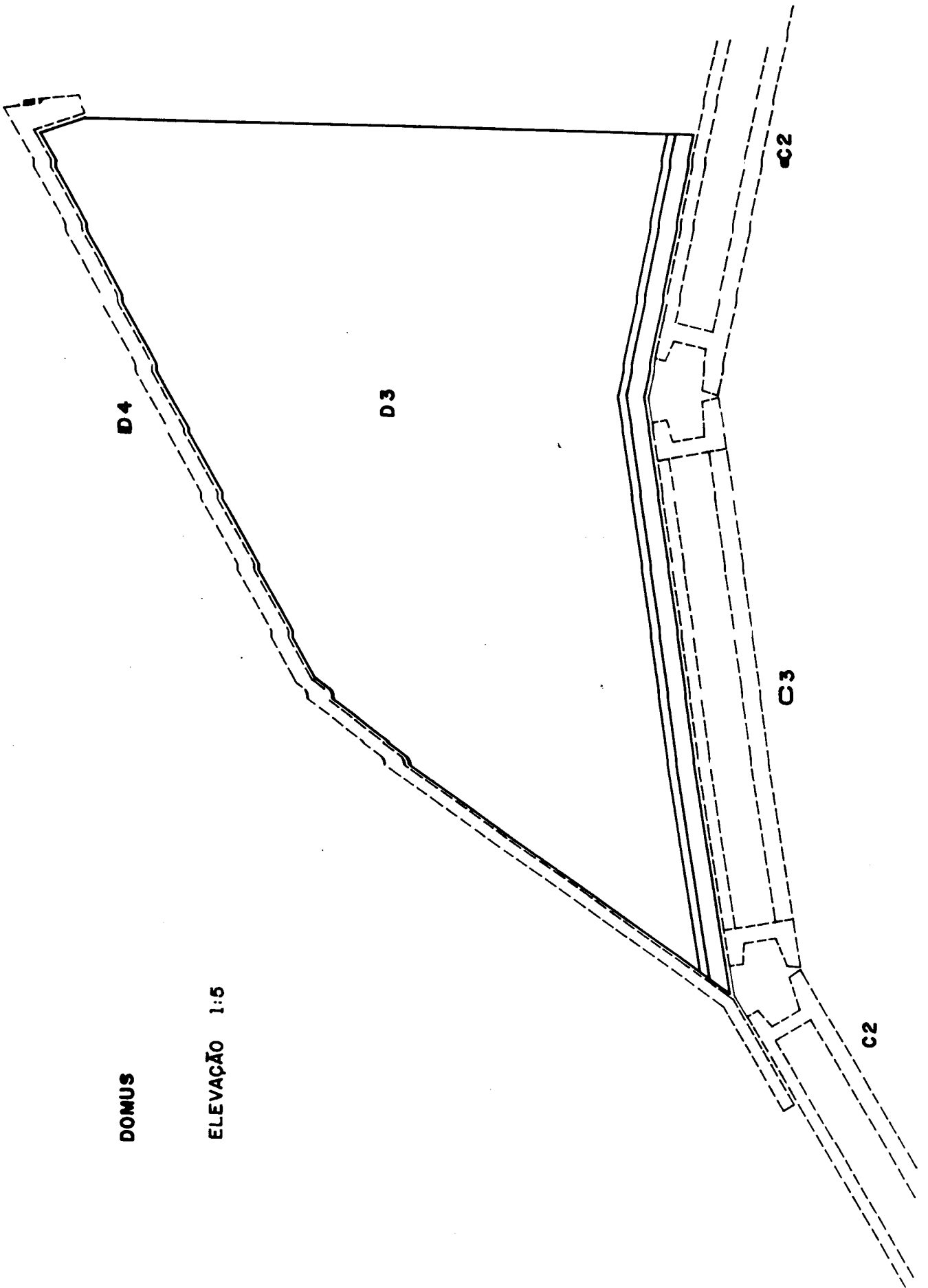
DOMUS

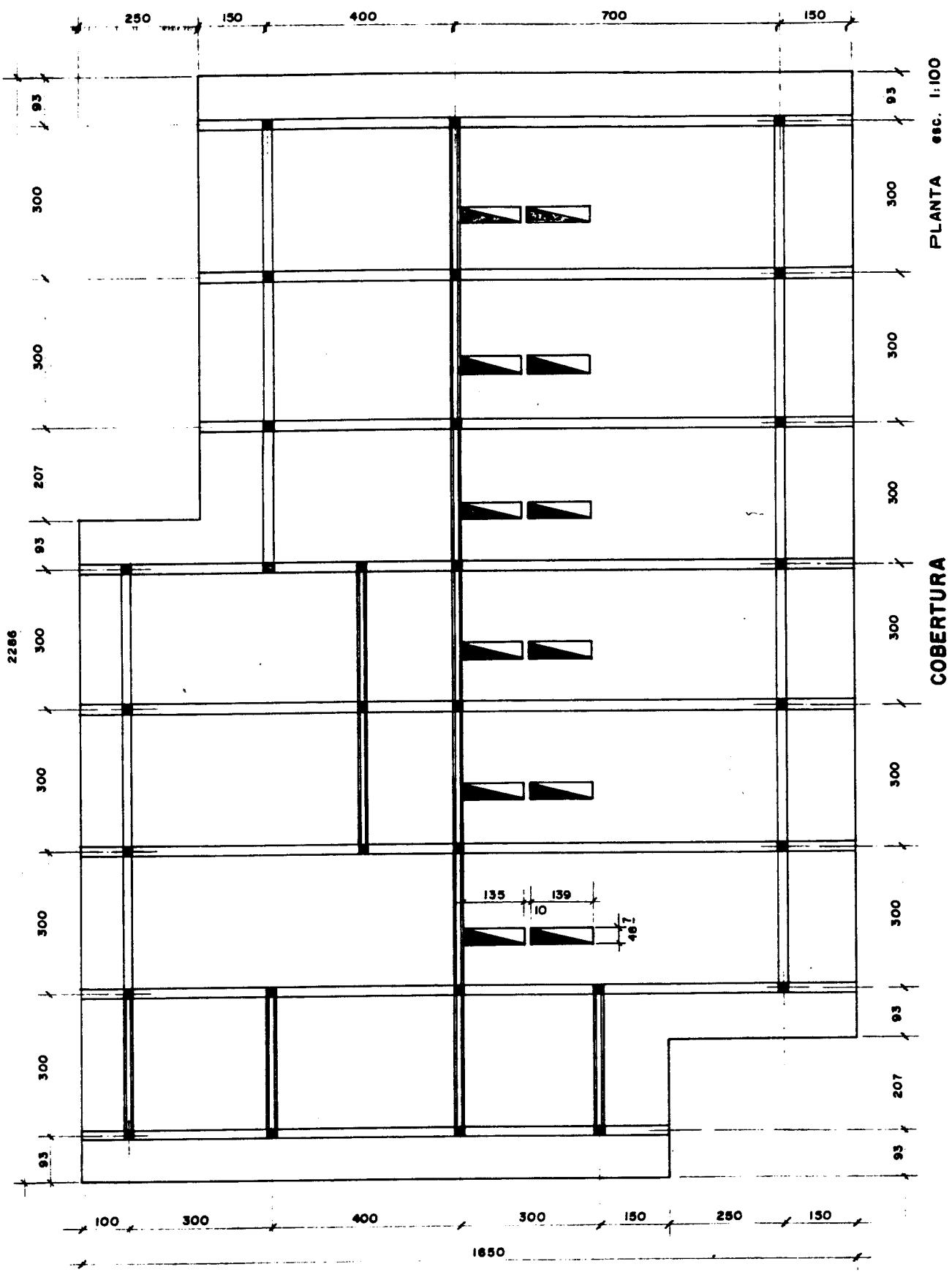
CORTE TRANSVERSAL esc. 1:5

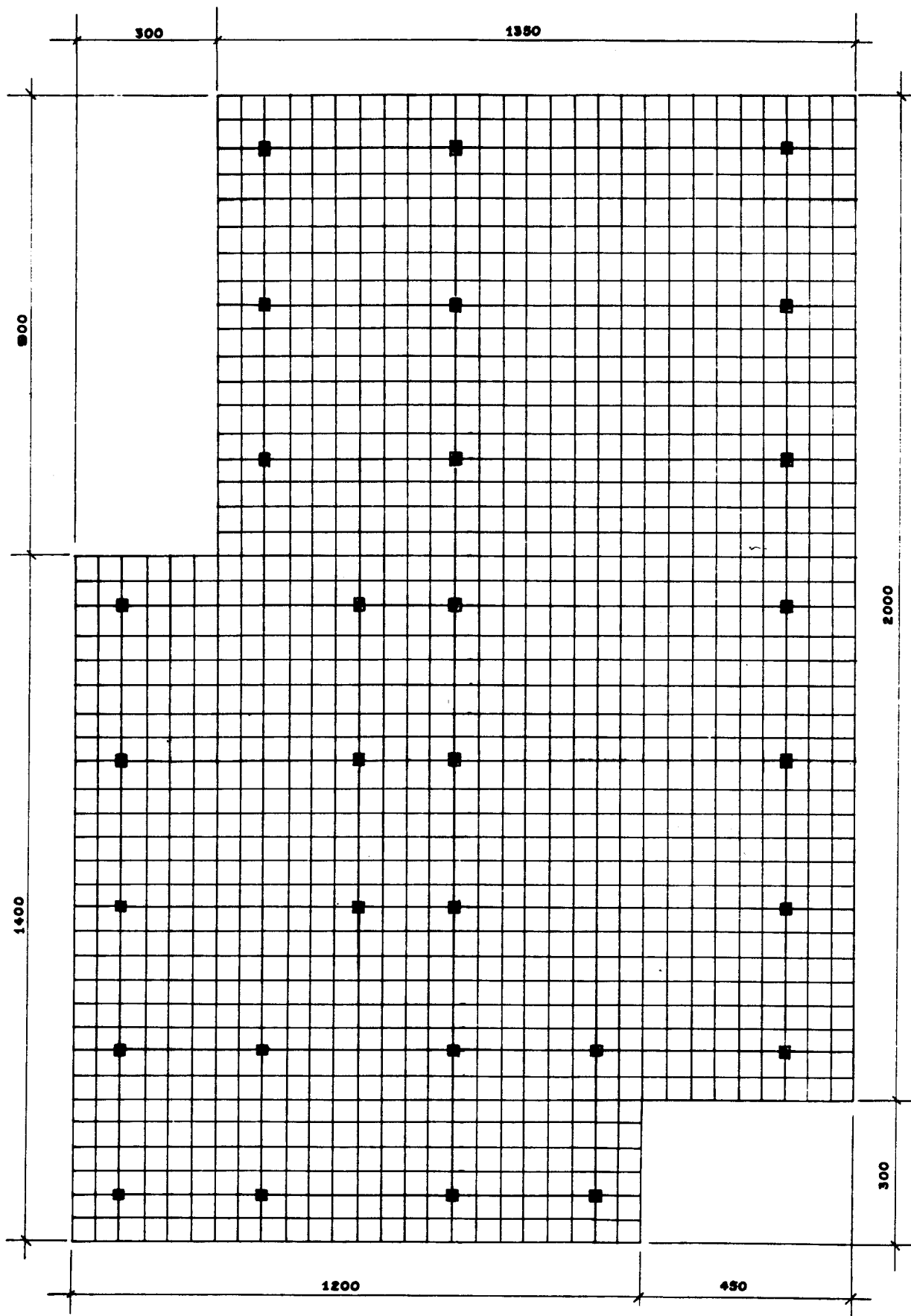


DOMUS

ELEVAÇÃO 1:5





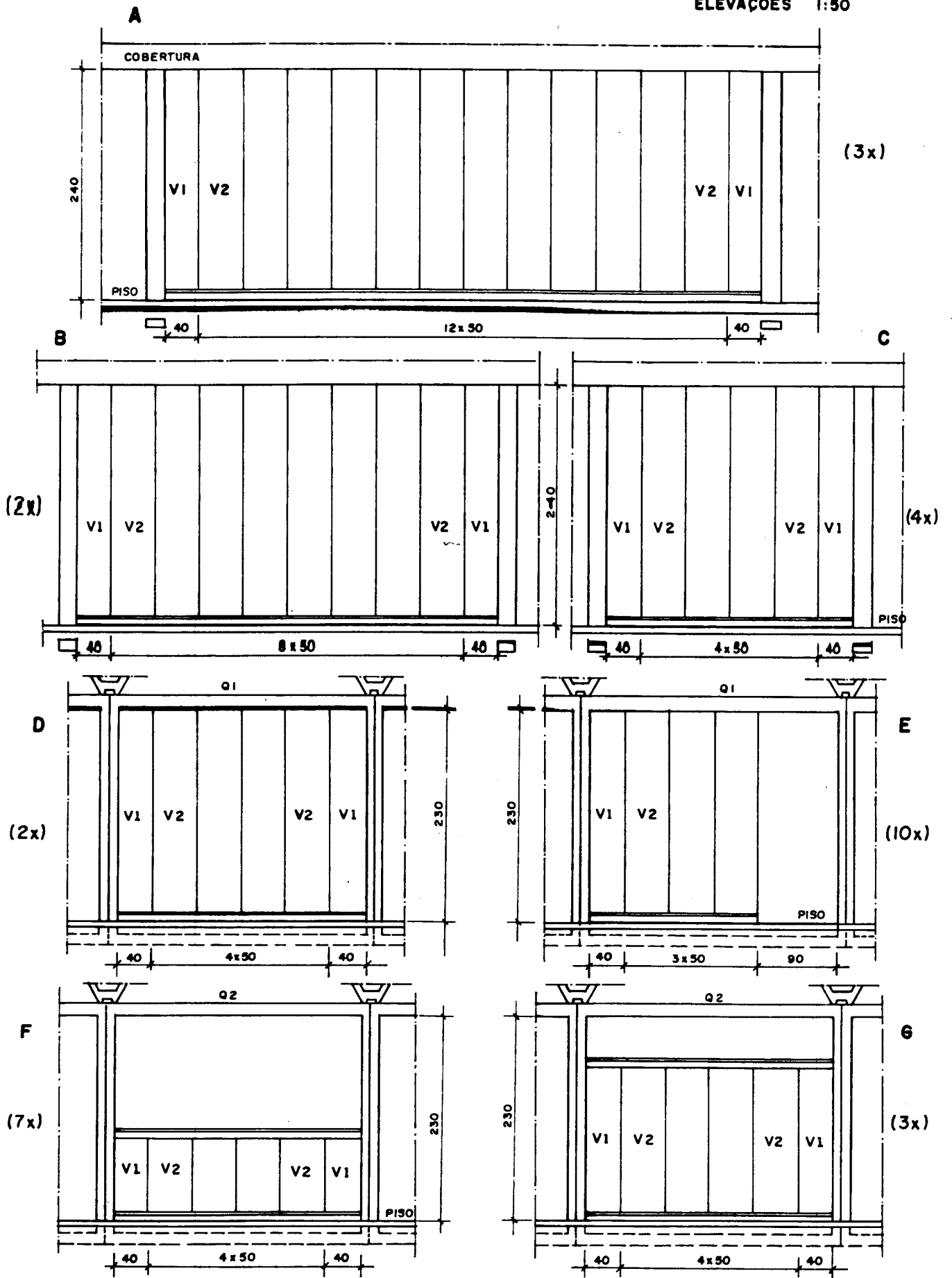


VISTA SUP. ESC. 1:100

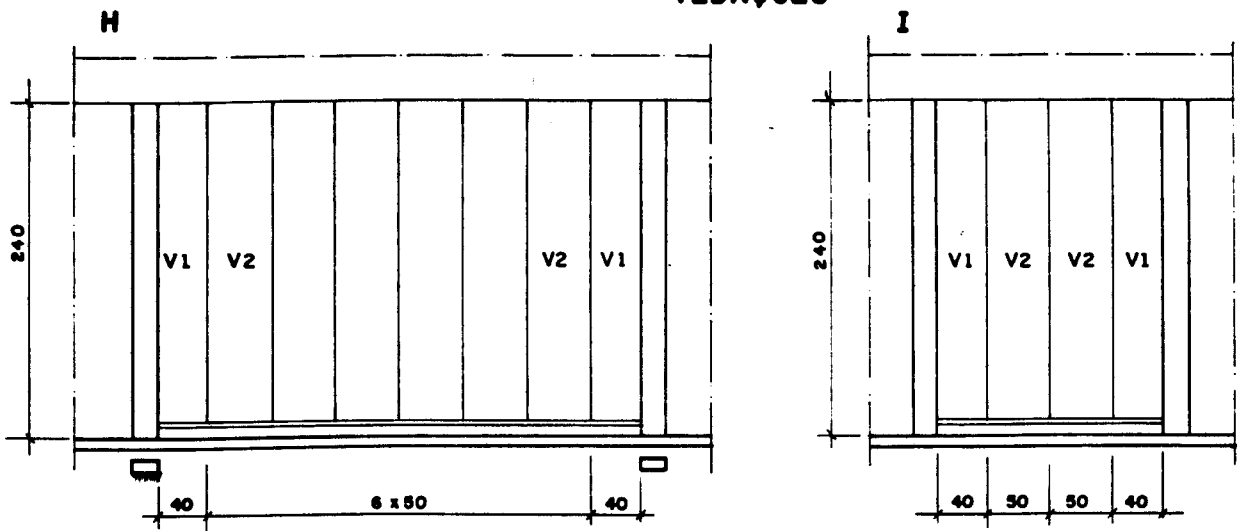
PISOS

VEDAÇÕES

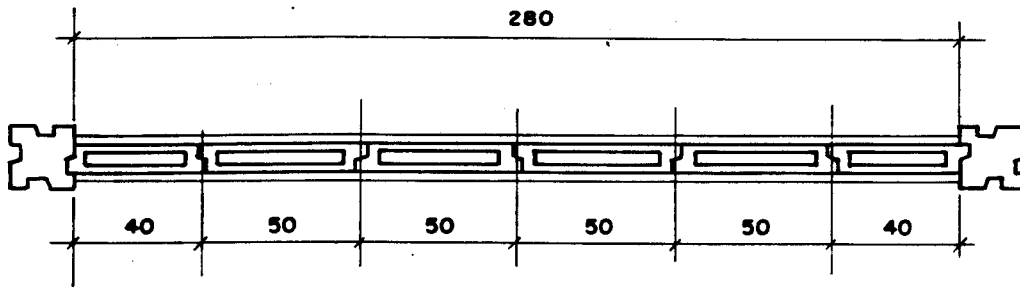
ELEVAÇÕES 1:50



VEDAÇÕES

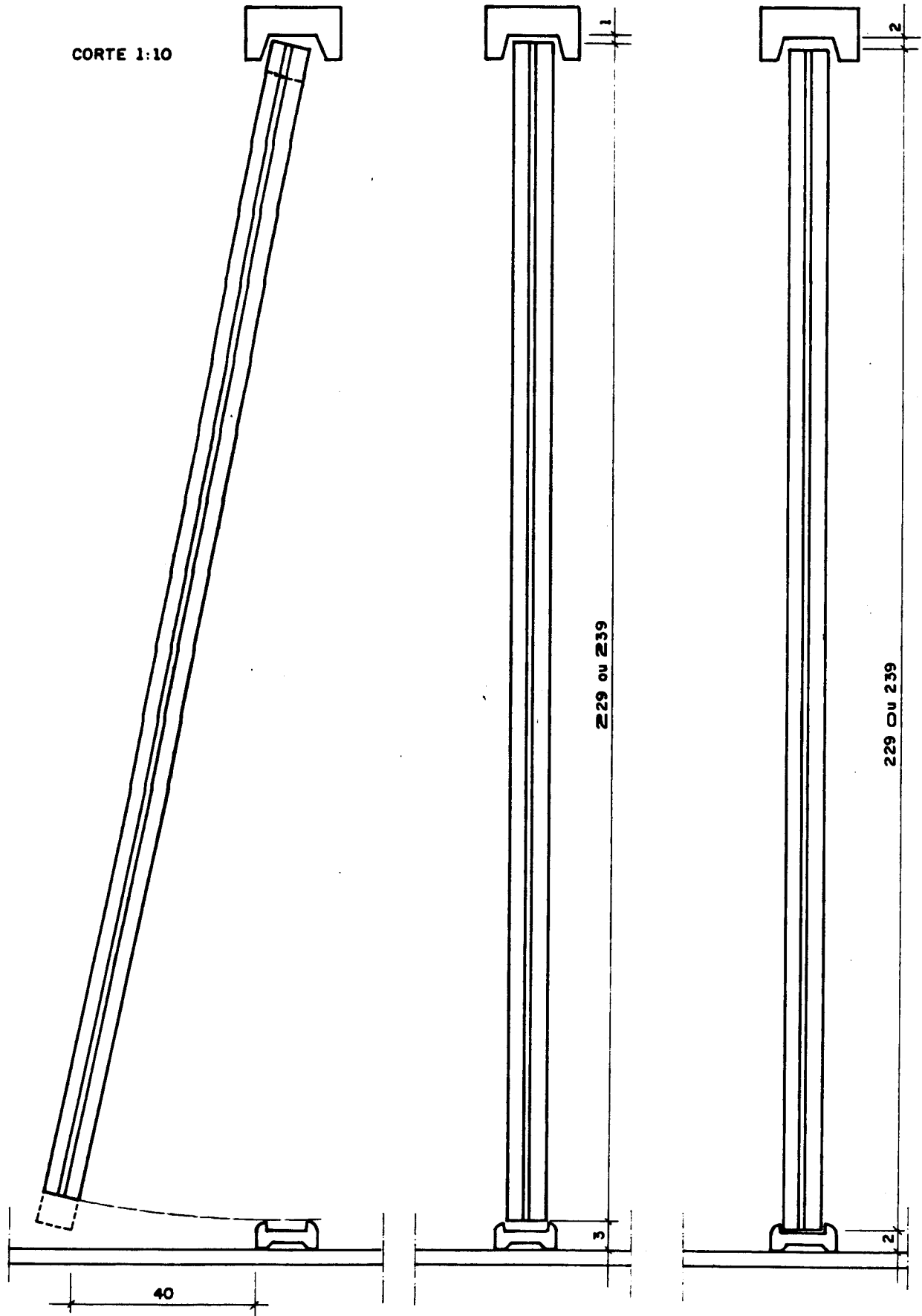


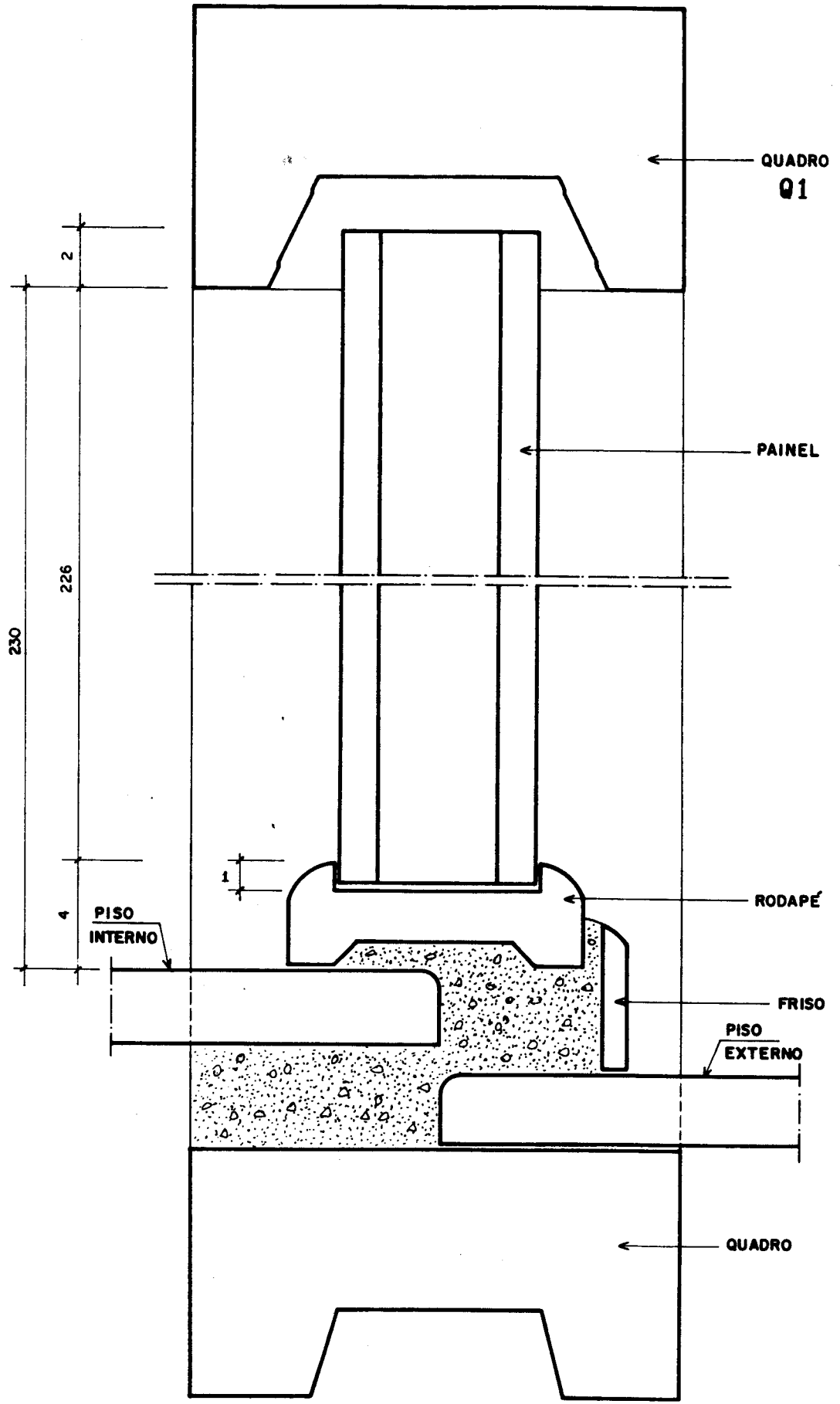
ELEVAÇÕES esc. 1:50

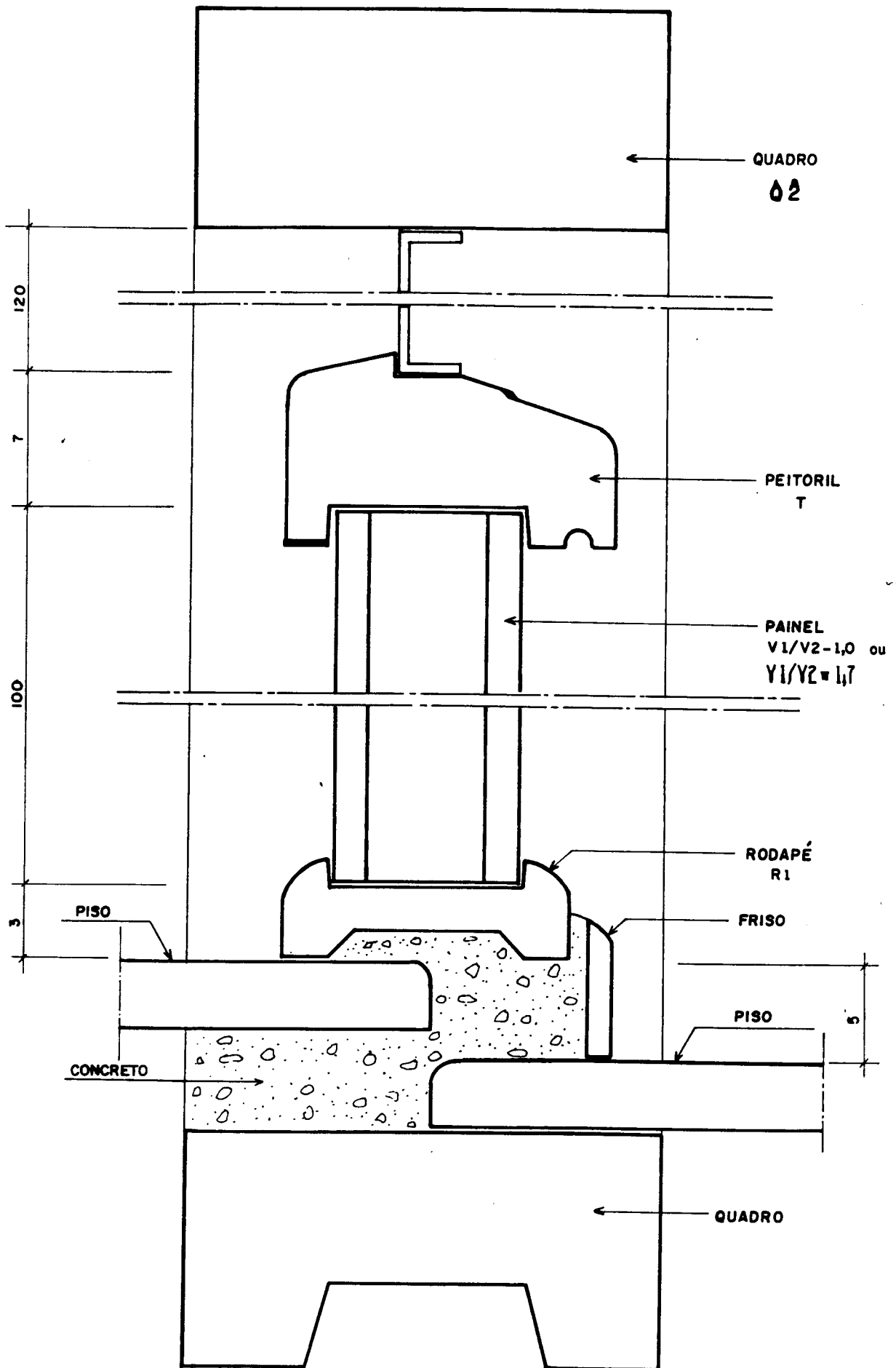


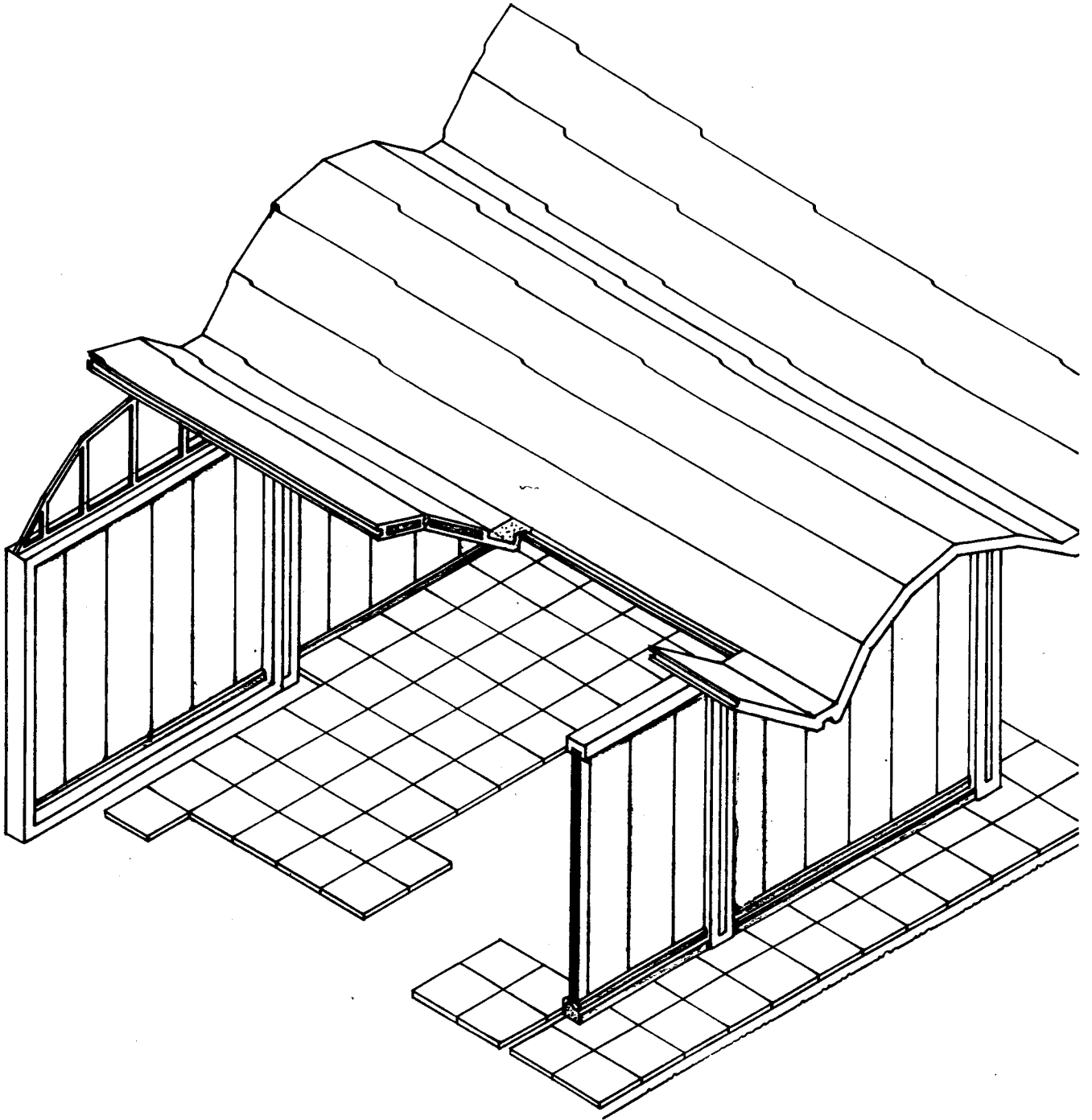
DETALHE EM PLANTA esc. 1:20

PAINÉIS









CAPÍTULO 9 CONCLUSÕES

A tecnologia da argamassa armada apresenta hoje reais possibilidades construtivas, e pode ser inserida no contexto da indústria da construção civil, como mais uma das alternativas do concreto estrutural.

O conhecimento existente, derivado das aplicações do concreto armado e protendido é suficiente para a devida implementação e desenvolvimento do projeto e da produção.

Para que haja efetivos ganhos, na produtividade e na qualidade, conclui-se que ainda há o que ser pesquisado e desenvolvido para que se obtenha maiores vantagens.

Subdivide-se as conclusões do trabalho na expectativa de, assim, apontar alguns caminhos a serem percorridos por aqueles que a essa alternativa venham a dedicar seu tempo.

O período inicial do contato com o assunto traz uma saudável motivação. Como todos os assuntos, aparentemente novos, vem assim despertar o interesse do meio técnico. No entanto há que se refletir sobre a devida conveniência da tecnologia, tendo em vista as condicionantes analisadas, em todo o trabalho, às características regionais.

Nestas considerações finais espera-se contribuir para uma reflexão positiva no sentido de aproveitar devidamente mais esta possibilidade de apropriação tecnológica.

9.1 A RESPEITO DO MATERIAL: ARGAMASSA ARMADA

No decorrer do relato sobre o material argamassa armada está evidente tratar-se de um material de fácil apropriação. A ponto de constatar diversos descuidos, alguns devidos ao desconhecimento das propriedades do material, neste caso involuntários, outros propositais no sentido de obter-se aparentes vantagens, como é o caso da inexistência de cura. Nesta questão os indicativos para uma boa dosagem são o de observar melhor os aspectos relacionados a redução de eventuais desperdícios, considerando de forma atenta os requisitos relativos a durabilidade.

O tratamento sugerido, com respeito às condições de exposição, e o maior grau de exigências da construção industrializada, ressaltam a importância do maior conhecimento sobre o material e suas possibilidades construtivas.

As indicações futuras, relativas ao material, apontam na direção do microconcreto, ou seja a argamassa com adição de pedrisco. Dessa forma será, ainda mais acentuada a sua semelhança com os concretos de alta resistência, de maiores possibilidades estruturais.

9.2 QUANTO AO PROJETO DE SISTEMAS E COMPONENTES

Neste ponto ressalta-se a diferença entre dissertação e tese, reafirmando que os sistemas e componentes de argamassa armada são tratados por este trabalho como um indicativo.

A questão do projeto, no seu sentido mais elementar, de antever os problemas futuros, encontra resistência de parte dos usuários que ainda o consideram uma necessidade legal e não uma necessidade técnica. Portanto há um esforço a ser feito mesmo por quem trabalha com o projeto de construções convencionais e de forma mais marcante nos chamados projetos complementares.

E se isso é correto, pode-se esperar uma dificuldade muito maior para o projeto de sistemas e componentes. Neste caso, a necessidade de argumentos consistentes é indispensável, e a convicção torna-se ainda mais difícil.

A conclusão pessoal, do autor é que o devido convencimento se dará na proporção da máxima da construção civil, ou seja: "a evolução não se dá aos saltos". É portanto uma meta a ser atingida a médio e longo prazo, entretanto é preciso começar imediatamente, substituindo os conceitos existentes por outros capazes de transformar a Construção Civil em uma atividade em efetivo desenvolvimento.

9.3 A TECNOLOGIA DA ARGAMASSA ARMADA

Ao concluir este trabalho pode-se ter uma visão mais ampla da tecnologia da argamassa armada e suas diversas possibilidades, sem com isso ter a ilusão de tratar-se da "panacéia universal" ou de um "metaprojeto". Atualmente tem-se uma visão mais realista sobre o material, sua aptidão para a industrialização e sua vocação para as estruturas que aproveitem mais plenamente a forma.

O que rebatido as possibilidades, aqui mostradas seriam vantajosas todas as aplicações que viessem a apropriar devidamente os benefícios da industrialização, no sentido de buscar as indicações apontadas, quanto ao projeto em sua fase de composição estrutural.

Adicionando-se, ainda, as recomendações da normalização e uma metodologia de produção na execução dos sistemas e componentes, ou a idéia de componente de argamassa armada como uma contribuição ao sistemas construtivos de outros materiais ou de outras tecnologias.

Portanto, a despeito da aparente notoriedade alcançada pela argamassa armada, até o momento, pode-se chegar a um tal ponto onde foi feita uma reflexão mais ampla sobre a conveniência de sua adoção e devido amadurecimento da sua apropriação tecnológica.

9.4 A DIFUSÃO DA TECNOLOGIA

Uma das características mais peculiares na tecnologia da argamassa armada é que sua apropriação, e consequentemente as suas aplicações, desde os primeiros passos, contou com profissionais de destaque na engenharia nacional, os resultados dessas pesquisas foram logo sistematizados e publicados, e portanto, oferecem excepcionais elementos para um estudo mais consistente.

A difusão da tecnologia tem sido feita, exemplarmente, seja através da EESC-USP, como citado, ou da ABCP através de cursos itinerantes por todo o Brasil.

O interesse do meio técnico, e mesmo dos meios de comunicação, tem assegurado a evidência do tema. Ao finalizar este trabalho, cujo tema foi escolhido há três anos, tem-se a notícia da implantação de escolas públicas (CIAC's) em argamassa armada em todo o território brasileiro.

9.5 INDICATIVOS DE NOVAS PESQUISAS

As pesquisas futuras relacionadas pelo professor Hanai, em sua tese de 1981, já apontavam nas direções que aqui são reafirmadas.

Num sentido mais abrangente aconselhava uma maior integração entre a tecnologia da construção, materiais de construção, custos, métodos experimentais e as outras demais interferências de caráter técnico e social na proposta de projeto, execução e avaliação do desempenho de um componente de argamassa armada.

A estas indicações, este trabalho sugere adicionar a participação mais intensa da análise estrutural, a avaliação de desempenho estrutural, a aplicação da metodologia de produtos industriais e os conceitos de desenho industrial.

Com esses novos ingredientes ter-se-ia um novo repertório de sistemas e componentes mais adequados ao universo de implicações interativas como o trabalho procurou mostrar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. VASCONCELOS, A. G. O Concreto no Brasil: recordes, realizações, história. São Paulo, Copiarc, 1985. 254p.
2. HANAI, J. B. Construções de argamassa armada: situação, perspectivas e pesquisas. São Carlos, EESC-USP, 1981. 300p. (Tese de doutorado).
3. HANAI, J. B. Argamassa armada: fundamentos tecnológicos para projeto e execução. São Carlos, EESC-USP, 1987. 281p. (Tese de livre-docência).
4. NERVI, P. L. Il ferro-cemento: sue caratteristiche e possibilità. L'Ingegnere, 25(1): 17-25, 1951.
5. NERVI, P. L. Costruire correttamente: caratteristiche e possibilità delle strutture cementizie armate. Milano, Uirico Hoepli. 1955. 177p.
6. KHAIDUKOV, G. K. Development of armocement structures. Bulletin of the International Association for Shell Structures, (36):85-97, Dec. 1968.
7. COMITE FEDERAL DO CONSELHO DE MINISTROS DA URSS PARA ASSUNTOS DE ESTRUTURA. Instruções para o projeto de estruturas de argamassa armada (armocimento). SN 366-77 (Tradução em espanhol) 80p. s.n.t.
8. SCHIEL, F. & MARTINELLI, D. A. O. Argamassas armadas em elementos estruturais. Forum de Engenharia Técnica e equipamentos, 1(4): 21-29, Jul 1964.
9. MARTINELLI, D.A.O.; MONTANARI, I.; SAVASSI, W. Ensaio de modelos reduzidos de cobertura em casca para o Centro de Pesquisas do Cacau - Itabuna - Bahia. São Carlos, EESC-USP, 1988. Relatório LE-EXT 60/88.
10. BALLARIN, A. W. Propriedades mecânicas da argamassa armada com telas de aço soldadas. São Carlos, EESC-USP 1989. 118p. (Dissertação de mestrado).

11. AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Committe 549. Guide for the design, construction and repair of ferrocement. ACI Structural Journal, 85 (3): 325-351, May-Jun, 1988
ACI 549.1R-88.
12. PETRONI, L. Aplicação da argamassa armada na construção de lajes. São Carlos, EESC-USP, 1971. 117p. (Tese de doutorado).
13. PETRONI, L. Vigas de argamassa armada. São Carlos, EESC-USP, 1974. (Tese de livre-docência).
14. LIMA, F. B. Estudo experimental de elementos de argamassa armada com tela de aço expandida. São Carlos, EESC-USP, 1990. (Dissertação de mestrado).
15. CUNHA, R. D. A. Estudo de Misturas de cimento, areia e pedrisco para argamassa armada. São Carlos, EESC-USP, 1991. (Dissertação de mestrado).
16. BATAGLIA, A. D. Projetos de argamassa armada. São Carlos, EESC-USP, 1988. (Dissertação de mestrado).
17. I Simpósio Nacional de Argamassa Armada. Anais, EPUSP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, Jun, 1986. São Paulo
18. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto e Execução de Argamassa Armada. Rio de Janeiro, 1989 (NBR 11.173/89).
19. DIÓGENES, Alexanndre Cartilha do ferrocimento artesanal Fortaleza, sd., 72p.
20. SCHIEL, F.; RACHID, M.; BARREIRO, J.C. Coberturas em argamassa armada. Separata da Rev. Acrópole, 31(368).
21. Revista construção São Paulo, n.1682 Argamassa armada, nova opção para engenharia e arquitetura, Maio 1980
22. LIMA, J. F. Escola transitória: Modelo Rural. Brasília, MEC-CEDATE, 1984.
23. BEZERRA, R. R. Argamassa armada: aplicação em urbanização de favelas e saneamento. Salvador, RENURB, 1983.

24. Revista construção, n.2200 Abril, 9/90 CEDEC, p.17,
Argamassa armada: Fina no traço p.5-10
25. Revista AU - Arquitetura e Urbanismo - número 20:30-39.
26. GLUCKLICH, J. Fracture of plain concrete. Journal of the Engineering Mechanics Division. Proceedings, p. 27-35, Dec 1963.
27. NEVILLE, A.M. Propriedades do concreto. Trad. Salvador E. Giamusso. São Paulo, Editora Pini, 1982
28. NAAMAN, A.E. Reinforcing mechanisms in ferrocement. (s.l.p.), Massachusetts Institute of Technology, 1970
Dissertação de mestrado.
29. LIBÓRIO, J. B. L. Estudo patológico de construções de argamassa armada existentes no Brasil. São Carlos, EESC-USP, 1990 (Tese de doutorado).
30. PAULON, V. A. Execução de concretos duráveis. São Paulo, ABCP, 1986.
31. TEZUKA, Y. Guia de utilização de cimentos hidráulicos. São Paulo, ABCP, 1988.
32. PETRUGGI, E. G. Concreto de cimento Portland. Porto Alegre, Globo, 1978.
33. FALCÃO BAUER, L. A. Materiais de construção 1, LTC 3. edição, Rio de Janeiro, 1987.
34. AGNESINI M. V. C. Argamassas hidráulicas simples de CP-32 e areia natural quartzosa destinadas à execução de peças pré-fabricadas de argamassa armada. São Carlos, EESC-USP, 1988.
35. ISAIA G. C. Deformações e fissuração do concreto em estruturas correntes. Santa Maria, Edições UFSM, 1985
36. FUSCO, P.B. Estruturas de concreto. Fundamentos do projeto estrutural. São Paulo, McGraw-Hill-EDUSP 1976
37. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS Projeto e execução de obras de concreto armado. Rio de Janeiro, 1980. 76p. (NBR 6118/80).

38. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Tela de aço soldada para armadura de concreto armado. Rio de Janeiro, 1982. 14p. (NBR 7481/82).
39. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado. Rio de Janeiro, 1985. 15p. (NBR 7480/85).
40. ABCI - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA. Manual Técnico de Pré-fabricados de Concreto. São Paulo, Projeto Editores Associados, 1987.
41. BRUNA, Paulo J.V. Arquitetura, Industrialização e Desenvolvimento. São Paulo, Editora Perspectiva, (135), 1976.
42. SCHMID, Thomas & TESTA, Carlo. Systems building. Zurich, Les Editions d'Architecture, 1989.
43. FONSECA DE CAMPOS, Paulo E. Industrialização da construção e argamassa armada: perspectivas de desenvolvimento. São Paulo, EPUSP, 1989. 193p. (Dissertação de Mestrado).
44. SALAS SERRANO, J. Alojamento y Tecnologia: Industrialização aberta? Madrid, Instituto Eduardo Torroja, 1980. 159p.
45. KONGZ, T. Manual de la construccion prefabricada. Madrid, Hermann Blume, 1976. 3v.
46. Fundação João Pinheiro. Diagnóstico nacional da indústria da construção. Relatório Síntese. 5v., Belo Horizonte, 1984.
47. IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S/A. Diagnóstico tecnológico da indústria da construção civil. Relatório 28.457. São Paulo, 1987.
48. IPT. PROGRAMA DE ATUALIZAÇÃO TECNOLÓGICA INDUSTRIAL - PATI: Construção Habitacional. São Paulo, Dez 1988.

49. SABBATINI, Fernando H. Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos: formulação e aplicação de uma metodologia. São Paulo, EPUSP, 1989 (Tese de doutorado).
50. PICARELLI, Marlene Habitação: desenho industrial e tecnologia. São Paulo, FAU-USP, 1982. (Tese de livre docência).
51. NISSEN, Henrik Construcción industrializada y diseño modular. Madrid, Hermann Blume Ediciones, 1976.
52. ALMEIDA, H.S. Um estudo do vínculo tecnológico entre pesquisa, engenharia, fabricação e consumo. São Paulo, EPUSP, 1981 (Tese de doutorado).
53. FERNANDEZ, Vera C. Qualidade de produtos cerâmicos: telhas e blocos. In: II Simpósio de Desempenho de Materiais e Componentes de Construção Civil. Florianópolis, UFSC, 1989.
54. Revista Politécnica, n.200, Jun 1988, Grêmio Politécnico POLI-USP. Por que pré-fabricados de concreto?
55. FERNANDEZ ORDÓNEZ, José A. Prefabricación: teoría y práctica. Barcelona, Editores Técnicos Asociados, 1973
56. MARCELLINO, N. A. & BENTES, R. F. Cura Térmica. In: Seminários sobre a tecnologia da argamassa armada, EESC-USP, 1988, 25p.
57. MEYER-BOHE, Walter Pré-fabricación: manual de la construcción com piezas préfabricadas. Préfabricación II: analisis de los sistemas. Barcelona Ed. Blume, 1969
58. KARDESTUNCER, Hayrettin Introducción al analisis estructural con matrices, McGraw-Hill, México, 1975.
59. SALVADORI, Mario. Estructuras para arquitetos. Editora La Isla. Buenos Aires, 1976.
60. TORROJA, E. Razón y ser de los tipos estructurales. Instituto Eduardo Torroja de la construcción y cemento Artes Gráficas MAG, Madrid.

61. ENGEL, H. Sistemas de estruturas. São Paulo, Editora Hemus. 1970.
62. SUSSEKIND, J.C. Curso de análise estrutural. São Paulo. Editora da USP, 1977. 3v.
63. CAMPANARI, Flávio A. Teoria das estruturas. Rio de Janeiro, Editora Guanabara Dois, 1985. 4v.
64. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Ações e segurança das estruturas. Rio de Janeiro, 1984. 21p. (NBR 8681/84).
65. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro, 1985. 66p. (NBR 9062/85).
66. GIONGO J.Samuel Argamassa armada: dimensionamento de perfis submetidos à flexão. Fundamentos e experimentação. São Carlos, EESC-USP, 1990. (Tese de doutorado)
67. MITIDIARI FILHO, C.V. Avaliação de desempenho de sistemas construtivos inovadores destinados a habitações térreas unifamiliares - Desempenho estrutural. São Paulo, EPUSP, 1988, 202p. (Dissertação de Mestrado).
68. CIB - CONSEIL INTERNATIONAL DU BATIMENT. The performance concept and its terminology. Rotterdam, 1975 (Rep.32)
69. IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Divisão de Edificações. Formulação de critérios para avaliação de desempenho de habitações. São Paulo, 1981 (Relatório no. 16.277)
70. SOUZA, Roberto de A avaliação de desempenho aplicada a novos componentes e sistemas construtivos para habitações. In: V SIMPATCON, Simpósio de Aplicação da Tecnologia do Concreto, Campinas, 1982.
71. SOUZA, Roberto de Melhoria da qualidade, racionalização e inovação tecnológica: Instrumentos de modernização da construção civil. In: II Simpósio de Desempenho de Materiais e Componentes de Construção Civil. Florianópolis, UFSC, 1989.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

- ATHAYDE, A. C. Estudos sobre argamassa armada, São Carlos, EESC-USP, 1977. 118p. (Dissertação de mestrado).
- BACK, Nelson Metodologia de projeto de produtos industrializados. Rio de Janeiro, Guanabara Dois, 1983, 390p.
- BIDERMANN, Larisa Produção de espaço escolar a partir da introdução de inovações derivadas da indústria da construção - Um estudo de caso. EESC-USP, 1989. (mestrado).
- DEBS, Mounir. Kh. El Contribuição ao estudo de galerias enterradas: alternativas em argamassa armada. São Carlos, EESC-USP, 1984. (Tese de doutorado).
- FERRO, Sergio O canteiro e o desenho. São Paulo, Projeto Editores Associados, 1973.
- FERVIDA, Eduardo El muestro del trabajo en la construcción. Buenos Aires, INTI, 1979.
- INSTITUTO DEL CEMENTO PORTLAND ARGENTINO Sistemas de viviendas prefabricadas con hormigon: producidos en la Argentina, Buenos Aires, sd., 32p.
- INSTITUTO EDUARDO TORROJA Informes de la construcción - vol. 4, nº 398, nov/dic 1988 "Una proposta esquematica para analisis de la autoconstruccion en latino america
- LAMPARELLI, Celso M. A habitação e a industrialização das construções. São Carlos, EESC-USP, 1982.
- LUCINI, Hugo C. Desenvolvimento de novos sistemas construtivos, São Carlos, 1985, 240p.
- MAGALINI, Adriana F., Melo, Gianna, Castro, M. Solange G., Cunha, Rita D. A. Tecnologia e habitação popular. Estudo de caso: Protótipo de habitação em argamassa armada da EESC-USP. Industrialização da construção II, SAP-EESC-USP, São Carlos, 1989, 86p.
- MARCELLINO, N.A., LIMA, F.B., FURLAN JR., S., MONTANARI, O.J. Estudo de um galpão leve. In: Estruturas pré-moldadas de concreto, São Carlos, SET-EESC-USP, 1988.

- MIRONKOV, B. A. Ferrocement Applications in the USSR,
Journal of ferrocement, vol.8, n.3, July 1978.
- MOKK, L. Construcciones con materiales prefabricados de
hormigon armado, Bilbao, Urno, 1969.
- MOLLICA JUNIOR, S. O uso da tela soldada no combate a
fissuração. São Paulo, IBTS, 1986. 76p.
- NERVI, P. L. Nuevas estructuras. Barcelona, G. Gili, 1963. 167p.
- OLIVERI, G. Mario Pré-fabricación o metaprojeto construti-
vo. Barcelona, Editorial Gustavo Gili, 1972.
- PICA, A. Pier Luigi Nervi. Editorial Gustavo Gili,
Barcelona, 1969.
- PCI - PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTE Manual for structural
design of architectural precast concrete. Chicago, 1977
- ROSSO, TEODORO Teoria e prática da coordenação modular.
FAU-USP, 1976
- ROSSO, TEODORO Métodos artesanais e métodos industriais.
São Paulo, FAU-USP, 1980.
- SALAS SERRANO, J. Construção industrializada: pré-fabrica
ção. São Paulo, IPT, 1987.
- SCHIEL, Kristian Ritmo, Módulo, Racionalização, Flexibili-
dade da Arquitetura. DAP-EESC-USP, São Carlos, 1990.
- SIMPÓSIO NACIONAL DE TECNOLOGIA DA CONSTRUÇÃO IV: Sistemas
pré-moldados para a construção de edifícios industriais
e habitacionais. São Paulo, EPUSP, 1987, 209p.
- TECNOLOGIA DAS EDIFICAÇÕES - IPT. São Paulo, Editora Pini,
1988, 708p.
- WAINSHOK RIVAS, H. Guia para diseño y construcción de
elementos de ferrocemento. Cuba, 1986. 31p.

