

ARGAMASSA ARMADA: DIMENSIONAMENTO
DE PERFIS SUBMETIDOS À FLEXÃO.
Fundamentos e Experimentação

Autor: Eng^o JOSÉ SAMUEL GIONGO
Orientador: Prof.Dr. JOÃO BENTO DE HANAI

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

ARGAMASSA ARMADA:
DIMENSIONAMENTO DE PERFIS
SUBMETIDOS À FLEXÃO.
FUNDAMENTOS E EXPERIMENTAÇÃO.

ENGº JOSÉ SAMUEL GIONGO

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São
Carlos da Universidade de São Paulo como parte
dos requisitos para obtenção do título de
"Doutor em Engenharia Civil".

Orientador: PROF. DR. JOÃO BENTO DE HANAI

SÃO CARLOS, JULHO DE 1990

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

ARGAMASSA ARMADA:
DIMENSIONAMENTO DE PERFIS
SUBMETIDOS À FLEXÃO.
FUNDAMENTOS E EXPERIMENTAÇÃO.

ENGº JOSÉ SAMUEL GIONGO

Orientador: PROF. DR. JOÃO BENTO DE HANAI

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São
Carlos da Universidade de São Paulo como parte
dos requisitos para obtenção do título
"Doutor em Engenharia Civil".

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. Aloísio Fontana Margarido
Prof. Dr. Augusto Carlos de Vasconcelos
Prof. Titular Ílio Montanari
Prof. Dr. Mounir Khalil El Debs
Prof. Associado João Bento de Hanai

Suplentes

Prof. Dr. Marcos Vinício Costa Agnesini
Prof. Dr. Regis Latorraca Ribeiro Lima
Prof. Dr. Walter Abrahão Nimir
Prof. Dr. Roberto Luiz de Arruda Barbato

SÃO CARLOS, OUTUBRO 1990

Este trabalho é dedicado a:

Ilio Montanari - orientador do meu mestrado,
Toshiaki Takeya e Álvaro Giongo; os dois
primeiros, nomes ilustres da engenharia de
estruturas; o terceiro, o primeiro grande
"engenheiro" que conheci, que as agruras da vida
não permitiram que fosse engenheiro de direito,
pai.

O Autor agradece a:

Clydi Carrega Giongo, mãe, Maria Ângela, exemplo de dedicação à família e, Renata, Samuel e Gabriel, filhos amados, a quem também oferece este trabalho;

João Bento de Hanai, orientador deste trabalho, capaz, seguro e incentivador constante;

Laércio Souza Gil, engenheirando, bolsista de iniciação científica da FAPESP, incansável colaborador deste trabalho;

Flávio Barboza de Lima, mestrando, professor na Universidade Federal de Alagoas, pela contribuição em diversas fases do trabalho;

Francisco José Marcelo Thomaz Ramos, professor da Faculdade de Engenharia de Barretos, introdutor do Autor nos caminhos da engenharia de estruturas;

Colegas Professores do Departamento de Estruturas - EESC - USP, em especial a Walter Savassi, Libânio Miranda Pinheiro, Mounir Khalil El Debs, Walter Abrahão Nimir, Wilson Sérgio Venturini, Norberto Costardi;

João Marques Póvoa Junior, Laércio Ferreira e Silva, Jefferson Libardi Libório, Dirceu Spinelli, Rita Dione Araújo Cunha, Ruy Franco Bentes, Paulo Cesar Marquês de Cóllo, Miguel Nader, Adriano Wagner Ballarin, Hugo da Costa Rodrigues Filho, Osny Pellegrino Ferreira, Volker Schimidt;

Guarino Zambon Junior, Pedro Vall, Jorge Rodrigues Brabo, Mauri Sérgio Dias Guillen, Valdir Carlos de Lucca, Amaury Ignácio da Silva, Lineu Lopes Filho, Mário Botelho, Alberto de Oliveira, Rubens Soares (técnicos do LE-EESC-USP), Pedro Bellobraydic, Mário Aparecido Santinon e Fernandez Thomaz Bellobraydic (técnicos do Setor de Marcenaria e Carpintaria), colaboradores na parte experimental;

Maria Nadir Minatel, colaboradora no levantamento bibliográfico;

Wilma Provinciali Vall e Rosi Aparecida Jordão Rodrigues pelo trabalho de digitação do texto; Sylvia Helena Moretti Villani e Francisco Carlos Guete de Brito, pelo trabalho de desenho.

Entidades Patrocinadoras: FAPESP, FINEP, CNPq.

RESUMO

Analisa-se neste trabalho os fundamentos para o dimensionamento de perfis de argamassa armada submetidos a esforços solicitantes oriundos da flexão. São estudados os critérios de verificação dos estados limites últimos e de utilização indicados no projeto de norma brasileira (CE 18:05.14-001/89) e nas recomendações soviética (SN 366/77) e norte americana (ACI 549.1R-88).

Foram ensaiadas vigas de argamassa armada com seção transversal duplo T, com armação constituída por telas soldadas, com fios de 2mm de espessura e malha retangular de 25mm por 50mm, e fios complementares de aço. Na composição da argamassa utilizaram-se, além da areia e cimento, pedra britada com dimensão máxima de 4,8mm.

Os resultados dos ensaios são comparados com os resultados teóricos obtidos com os critérios indicados pela norma brasileira de argamassa armada.

É apresentado um programa para microcomputador para o dimensionamento de peças de argamassa armada submetidas à flexão respeitando as indicações da norma brasileira.

ABSTRACT

This thesis presents the fundamentals of ferrocement beam design submitted to bending moment. The verification criteria for the ultimate and serviceability limit states indicated by the brazilian code (CE 18: 05. 14/89), soviet (SN 366/77) and american (ACI 549.1R - 88) are analyzed.

Double " T " cross section ferrocement beam with reinforcement welded wire meshes and complementary steel wires were experimentally tested. On the mortar composition it has been used regular sand, cement and crushed stone with maximum size of 4,8mm.

The tests results are compared with those indicated by the ferrocement brazilian code.

It is presented a microcomputer program for ferrocement element design in flexure with the brazilian code recommendations.

CONTEÚDO

1. INTRODUÇÃO

1.1 HISTÓRICO	1-1
1.2 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1-3
1.3 OBJETIVOS	1-9
1.4 METODOLOGIA	1-13

2. DIMENSIONAMENTO NO ESTADO LIMITE ÚLTIMO

2.1 DETERMINAÇÃO DO MOMENTO FLETOR RESISTENTE DE CÁLCULO SEGUNDO AS ESPECIFICAÇÕES DA CE/ABNT	2-1
2.1.1 Considerações Gerais	2-1
2.1.2 Hipóteses de Cálculo	2-2
2.1.3 Caso em que a linha neutra se localiza na mesa comprimida	2-6
2.1.4 Caso em que a linha neutra se localiza na alma	2-10
2.1.5 Caso em que a linha neutra se localiza na mesa tracionada	2-13
2.1.6 Solução para os sistemas de equações	2-16
2.2 DETERMINAÇÃO DO MOMENTO FLETOR RESISTENTE DE CÁLCULO SEGUNDO AS RECOMENDAÇÕES DA SN 366/77	2-17
2.2.1 Considerações Gerais	2-17
2.2.2 Hipóteses de cálculo	2-17
2.3 DETERMINAÇÃO DO MOMENTO FLETOR RESISTENTE DE CÁLCULO SEGUNDO AS ESPECIFICAÇÕES DO ACI 549.1R-88	2-20
2.3.1 Considerações Gerais	2-20
2.3.2 Hipóteses de Cálculo	2-20

2.4 DETERMINAÇÃO DA FORÇA CORTANTE RESISTENTE DE CÁLCULO SEGUNDO AS ESPECIFICAÇÕES DA CE/ABNT	2-23
2.4.1 Equacionamento do problema	2-23
2.5 DETERMINAÇÃO DA FORÇA CORTANTE RESISTENTE DE CÁLCULO SEGUNDO AS ESPECIFICAÇÕES DA SN 366-77	2-26
2.5.1 Caso em que há grande possibilidade de não aparecerem fissuras de cisalhamento	2-26
2.5.2 Caso em que há possibilidade de aparecer fissuras de cisalhamento	2-27
3. VERIFICAÇÃO DOS ESTADOS LIMITES DE UTILIZAÇÃO	
3.1 CÁLCULO DAS TENSÕES NO ESTÁDIO II	3-1
3.1.1 Generalidades	3-1
3.1.2 Caso em que a linha neutra se localiza na mesa comprimida	3-3
3.1.3 Caso em que a linha neutra se localiza na alma	3-3
3.1.4 Caso em que a linha neutra se localiza na mesa tracionada	3-4
3.1.5 Solução para o sistema de equações	3-5
3.2 VERIFICAÇÃO DO ESTADO LIMITE DE FORMAÇÃO DE FISSURAS COM OS CRITÉRIOS DA CE/ABNT	3-5
3.2.1 Considerações gerais	3-5
3.2.2 Hipóteses de cálculo	3-6
3.2.3 Caso em que a linha neutra se localiza na mesa comprimida	3-9
3.2.4 Caso em que a linha neutra se localiza na alma	3-11
3.2.5 Caso em que a linha neutra se localiza na mesa tracionada	3-13
3.2.6 Rotina de Cálculo	3-16

3.3 VERIFICAÇÃO DO ESTADO DE FORMAÇÃO DE FISSURAS COM OS CRITÉRIOS SN 366/77	3-17
3.4 VERIFICAÇÃO DO ESTADO DE FISSURAÇÃO INACEITÁVEL COM O CRITÉRIO DA CE/ABNT	3-19
3.4.1 Considerações Gerais	3-19
3.4.2 Formação Sistemática de Fissuras	3-21
3.4.3 Formação Assistemática de Fissuras	3-30
3.5 VERIFICAÇÃO DO ESTADO DE FISSURAÇÃO INACEITÁVEL COM O CRITÉRIO DA SN 366/77	3-35
3.5.1 Considerações Gerais	3-35
3.5.2 Caso de abertura de fissuras normais ao eixo longitudinal da viga	3-36
3.5.3 Caso de abertura de fissuras inclinadas ao eixo longitudinal da viga	3-39
3.5.4 Limitações com relação as telas normalizadas pela SN 366/77	3-41
3.6 VERIFICAÇÃO DO ESTADO DE FISSURAÇÃO INACEITÁVEL COM O CRITÉRIO DO ACI 549.1R-88	3-42
3.6.1 Considerações Gerais	3-42
3.6.2 Cálculo das Aberturas das Fissuras	3-42
3.7 VERIFICAÇÃO DO ESTADO DE DEFORMAÇÃO EXCESSIVA COM OS CRITÉRIOS DA CE/ABNT	3-44
3.7.1 Considerações Gerais	3-44
3.7.2 Indicações para o cálculo dos deslocamentos	3-45
3.7.3 Cálculo dos deslocamentos para vigas submetidas a carga uniformemente distribuída	3-47
3.7.4 Cálculo dos deslocamentos para vigas submetidas a cargas concentradas nos terços	3-48

3.7.5	Cálculo dos deslocamentos para vigas submetidas a cargas concentradas equidistantes dos apoios	3-48
3.8	VERIFICAÇÃO DO ESTADO DE DEFORMAÇÃO EXCESSIVA COM CRITÉRIOS DA SN 366/77	3-49
3.8.1	Considerações Gerais	3-49
3.8.2	Cálculo dos deslocamentos	3-51
3.9	COMENTÁRIOS SOBRE O PROGRAMA PARA MICROCOMPUTADOR	3-52
4.	DESCRIÇÃO DOS MODELOS E DOS ENSAIOS	
4.1	OS MODELOS UTILIZADOS	4-1
4.1.1	Condições gerais	4-1
4.1.2	Descrição dos modelos da série 1	4-2
4.1.3	Descrição dos modelos da série 2	4-13
4.1.4	Descrição dos modelos da série 3	4-20
4.1.5	Descrição do modelo 4/1	4-21
4.1.6	Descrição do modelo 5/1	4-30
4.1.7	Descrição do modelo 5/1A	4-30
4.2	ARGAMASSA	4-35
4.3	ARMADURAS	4-41
4.4	FÔRMAS	4-46
4.5	PREPARAÇÃO DA ARMAÇÃO, MOLDAGEM, DESFORMA E CURA	4-50
4.6	DISPOSITIVOS E PROCEDIMENTOS DE ENSAIOS	4-58

5. RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS

5.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS	5-1
5.2 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	5-3
5.2.1 Modelo 1/1	5-4
5.2.2 Modelo 1/2	5-11
5.2.3 Modelo 1/3	5-18
5.2.4 Modelo 1/4	5-25
5.2.5 Modelo 2/1	5-32
5.2.6 Modelo 2/2	5-39
5.2.7 Modelo 2/3	5-46
5.2.8 Modelo 3/1	5-53
5.2.9 Modelo 3/2	5-60
5.2.10 Modelo 3/3	5-67
5.2.11 Modelo 4/1	5-74
5.2.12 Modelo 5/1	5-81
5.2.13 Modelo 5/1A	5-88

6. ANÁLISE DOS RESULTADOS

6.1 ESTADO LIMITE ÚLTIMO	6-1
6.2 ESTADO DE FORMAÇÃO DE FISSURAS	6-7
6.3 ESTADO DE UTILIZAÇÃO	6-10
6.3.1 Considerações Iniciais	6-10
6.3.2 Modelos da série 1	6-13
6.3.3 Modelos da série 2	6-24
6.3.4 Modelos da série 3	6-32
6.3.5 Modelos 4/1, 5/1 e 5/1A	6-39

7. CONCLUSÃO

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

APÊNDICE

A1 PROGRAMA PARA VERIFICAÇÃO DA SEGURANÇA DE PEÇAS DE ARGAMASSA ARMADA SUBMETIDAS A ESFORÇOS DE FLEXÃO

A1.1 Considerações Gerais	A1-1
A1.2 Descrição do funcionamento do programa	A1-6
A1.3 Diagrama Esquemático de Blocos	A1-8
A1.4 Listagem do Programa	A1-11

A2 DOCUMENTAÇÃO FOTOGRÁFICA

A3 FISSURACÃO - CONSIDERAÇÃO DA RETRACÃO

A3.1 RETRACÃO DA ARGAMASSA	A3-1
A3.1.1 Cálculo do valor da retração segundo a NBR 7197	A3-1
A3.2 CONSIDERAÇÃO DA ARMAÇÃO NO EFEITO DE RETRACÃO	A3-4
A3.2.1 Considerações Gerais	A3-4
A3.2.2 Peça com armadura dupla	A3-4
A3.3 RETRACÃO MEDIDA NO MODELO 1/2	A3-7
A3.4 RETRACÃO MEDIDA EM CORPOS-DE-PROVA DE ARGAMASSA	A3-10

1. INTRODUÇÃO

1.1 HISTÓRICO

"Fer-ciment", era descrito por Lambot, em 1848, na França, como sendo constituído por "uma rede ou conjunto de arames ou barras metálicas encaixadas ou cimentadas juntas com cimento hidráulico de tal maneira a formar vigas ou pranchas de qualquer tamanho desejado", conforme HANAI [1981]¹.

"Peça de argamassa armada: Aquela de pequena espessura, composta de argamassa e armadura de tela de aço de malhas de abertura limitada, distribuída em toda seção transversal. Considera-se como peça de pequena espessura aquela em que essa dimensão não ultrapasse o valor convencional de 40mm". [ABNT-CE 18:05.14-001-1986/88]².

"A argamassa armada podendo ser vista como um tipo particular de concreto armado deve ser objeto de todos os cuidados inerentes a essa tecnologia, além dos estabelecidos nesta Norma" [ABNT-CE 18:05.14-001-1986/88]².

Cento e quarenta anos contemplam a evolução do "fer-ciment" de Lambot até a "argamassa armada" da Comissão de Estudos do Comitê Brasileiro nº 18, da Associação Brasileira de Normas Técnicas, que elaborou o texto do projeto de norma,

"Projeto e Execução de Argamassa Armada"².

Contribuíram decisivamente para essa evolução a retomada de Pier Luigi Nervi^{3,4,5,6}, na Itália, em 1943, com suas notáveis obras em "ferrocimento". No Brasil, especificamente na Escola de Engenharia de São Carlos - USP, em 1960, Dante A.O. Martinelli e Frederico Schiel⁷ desenvolveram projetos de coberturas para edificações no "Campus" utilizando telas de fios de aço entrelaçados.

Da semente inicial lançada por Martinelli e Schiel muitas outras obras e pesquisas foram realizadas, destacando-se as de Petroni com lajes [1971]⁸ e vigas [1974]⁹ de argamassa armada e por Machado Junior [1980]¹⁰ com piscinas e reservatórios.

Em nova fase do desenvolvimento da tecnologia, destaca-se o importante trabalho de Hanai [1981]¹ que trouxe um grande impulso à argamassa armada, oficializando, a partir daí, o chamado Grupo de São Carlos. Hanai, além do estudo que culminou em sua tese de doutorado, se encarregou de inúmeras palestras técnicas realizadas pelo país, lançando, por sua vez novas sementes. Contou, nessa fase, com o decisivo apoio da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP).

Paralelamente aos trabalhos desenvolvidos por Hanai, o arquiteto João Filgueiras Lima [1984]¹¹ inicia em Salvador-BA, a produção de elementos pré-fabricados de argamassa armada para construções diversas.

Ainda, como fruto da semente lançada por Martinelli, encontra-se o trabalho de El Debs [1986]¹² que resultou na sua tese de doutorado, sobre galerias enterradas montadas em elementos pré-moldados de Argamassa Armada. Esse trabalho recebeu o prêmio Cinquentenário da ABCP.

O Estado da Arte pode ser encontrado em detalhes na tese de doutorado [1981]¹ e, na não menos importante, tese de livre-docência [1987]¹³ desenvolvidas por Hanai na EESC-USP.

Trabalhos mais recentes realizados na EESC-USP têm contribuído para o desenvolvimento da argamassa armada citando-se: Migliore Junior [1987]¹⁴ que escreveu sobre estruturas de contenção com elementos pré-moldados; Ballarin [1989]¹⁵ que analisou as propriedades mecânicas da argamassa armada com telas soldadas; Agnesini [1989]¹⁶ que trabalhou com

o tema pontilhões rodoviários em zonas urbanas e estradas vicinais; Libório [1990]¹⁷ que realizou estudo patológico de construções de argamassa armada construídas no Brasil.

Em 1983, foi realizado em São Carlos-SP, o "Ciclo de Palestras sobre Tecnologia de Argamassa Armada", com o patrocínio da EESC-USP e da UFSCar, coordenado por Hanai, com o objetivo de reunir pesquisadores e usuários da argamassa armada, com a finalidade de trocarem e transmitirem suas experiências aos participantes.

Em junho de 1986 realizou-se na Escola Politécnica - USP, o "1º Simpósio Nacional de Argamassa Armada"¹⁸ onde os vários grupos de pesquisa expuseram as suas idéias e conhecimentos.

A partir de todas essas atividades, o meio técnico sugeriu que já era o momento de se realizar a normalização da Argamassa Armada. Assim a Associação Brasileira de Normas Técnicas, no âmbito do Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados (CB-18), criou a Comissão de Estudos de Argamassa Armada (CE 18:05.14), sob a presidência de Hanai e Secretaria do Autor e de Ballarin, com a finalidade de propor um texto normativo. A Comissão se reuniu pela primeira vez em 1º de setembro de 1986. Em 29 de agosto de 1989 realizou-se a última reunião, tendo a Comunidade Técnica do país aprovado o texto do projeto de norma "Projeto e Execução de Argamassa Armada", colocado à disposição pela ABNT para análise e votação. Até esta data, a norma aguarda registro no INMETRO.

Com este trabalho espera o Autor contribuir, um pouco, para o conhecimento da argamassa armada pelo meio técnico e científico.

1.2 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O panorama internacional com relação ao projeto de peças fletidas de argamassa armada é o de tratá-la como um material homogêneo, constituído por uma matriz de argamassa com altas taxas de armadura de telas com a eventual colocação de fios e barras complementares.

A principal característica das peças projetadas por Nervi era a infissurabilidade e grande alongabilidade. Nervi empregava telas de aço de fios obtidos por laminação com massa de $0,6 \text{ kg/m}^2$ a $1,5 \text{ kg/m}^2$, e fios com diâmetro de 0,5 mm a 1,5 mm, formando malhas quadradas de 10 mm.

Os pesquisadores de centros internacionais consideram para o ferrocimento critérios de avaliação análogos aos adotados para o concreto armado, diferenciando com a introdução de parâmetros próprios para materiais compostos.

Assim, a superfície específica da armadura (A_{se}) é definida como sendo a relação entre a superfície da armadura aderida à argamassa e o volume de material composto.

A taxa geométrica de armadura, pode ser definida em termos volumétricos, chamando-se de volume específico da argamassa (V_f) a relação entre o volume da armadura e do material composto. O consumo de aço (c_s) por unidade de volume da argamassa pode ser obtido multiplicando-se o volume específico pela massa específica do aço.

Esses parâmetros não foram considerados no tratamento analítico utilizado pela norma de argamassa armada escrita pela Comissão de Estudos da ABNT. Pois, desde os primórdios da aplicação da argamassa armada no Brasil, se procurou diferenciá-la do ferrocimento como material sinérgico, aquele que é resultante de uma composição ou fusão entre materiais (argamassa e aço), conforme indicado por Balaguru, Naaman & Shah [1977]¹⁹, Naaman [1979]²⁰ e adotado pelo guia norte-americano do ACI²¹ e pelas recomendações italianas²².

A consideração do material como sinérgico ou assinérgico, está diretamente relacionada com as taxas de armaduras empregadas no ferrocimento quando comparadas às utilizadas na argamassa armada. A opção por uma determinada taxa de armadura a ser empregada no elemento, depende muito mais da finalidade de utilização do que da concepção do material.

Por exemplo, podem ser citados os barcos de ferrocimento nos quais há necessidade de altas taxas de armadura, para que o comportamento estrutural de seus cascos se aproxime de um material sinérgico com características de impermeabilidade e

capacidade de absorção de impactos. Por outro lado se encontram os elementos de coberturas de argamassa armada, onde há necessidade de resistir esforços solicitantes oriundos da flexão, para os quais se podem projetar formas das seções transversais compatíveis, nos quais o arranjo da armação é estudado em função dessa particularidade. Basicamente esses elementos podem ser constituídos por um material associado (argamassa e aço), onde cada uma das partes mantém suas propriedades originais.

Com relação aos autores internacionais, eficiente levantamento bibliográfico havia sido feito por Hanai [1981]¹ e [1987]¹³ onde comparou processos de cálculo e critérios de análise estrutural.

Em nível de normalização internacional se dispunham das normas que são indicadas a seguir.

A Norma Soviética "Instruções para projeto de estruturas de Cimento Armado - SN 366"²³ foi a primeira norma elaborada, que se tem notícia, e teve a sua versão de 1977 traduzida para o português, sob o patrocínio da ABCP, no início dos trabalhos da Comissão de Estudos da ABNT, ocasião em que se recebeu de Wainshtok Rivas uma versão em espanhol. Essa norma ressalta o caráter assinergético que é atribuído ao material, os critérios para cálculo dos elementos são semelhantes aos adotados pelas normas soviéticas de concreto armado.

Wainshtok Rivas [1986]²⁴, pesquisador cubano, relata no "Guía para el Diseño y Construcción de Elementos de Ferrocemento", exemplos recentes da aplicação da argamassa armada em construções as mais variadas. As hipóteses de cálculo, para projetos de elementos estruturais, apresentadas nesse trabalho são baseadas no guia norte-americano do ACI, portanto trata o material como sinergético.

A revista "Concrete Internacional" de agosto de 1982 trazia o artigo "State-of-the-Art Report on Ferrocement - ACI 549R-82"²⁵ que seria o antecessor do guia "Guide for the Design, Construction, and Repair of Ferrocement - ACI 549.1R-88"²¹ publicado no "ACI Structural Journal" de maio-junho de 1988. Este guia foi baseado em estudos experimentais de diversos pesquisadores que usualmente empregam

taxas de armaduras próximas daquelas empregas por Nervi.

As recomendações italianas "Raccomandazioni tecniche A.I.C.A.P. per l'impiego del ferrocemento"²² foram publicadas na "L'Industria Italiana del Cemento" edição de novembro de 1984. Essas recomendações também seguem as indicações do ACI 549.1R-88

Desde as primeiras experiências realizadas nos projetos das coberturas de edificações da Escola de Engenharia de São Carlos-USP, se procurou reduzir o consumo de cimento e a quantidade de telas empregadas.

Os perfis inicialmente moldados revelaram ótimas características de desempenho, com emprego de taxas de armadura entre 250 kg/m^3 e 300 kg/m^3 e com consumo de cimento de cerca de 700 kg/m^3 . Utilizavam-se telas entrelaçadas do tipo peneira, com os fios de diâmetro igual a 1,25 mm e abertura de malha de 12,7 mm, com a colocação de barras de aço de 4,8 mm de diâmetro.

Telas soldadas com diâmetro dos fios de 2,7 mm e malha quadrada de 50 mm de espaçamento foram empregados pela primeira vez nas cascas piramidais para o Centro de Pesquisas do Cacau, em Itabuna, Bahia, projetados por Martinelli, Montanari e Savassi [1966]²⁶, que resultaram consumo de aço inferior a 100 kg/m^3 .

Essa preocupação de diminuir consumo dos materiais externada pelos pesquisadores nacionais encontrava a mesma concepção nas experiências soviéticas, que na SN 366/67 já definia o armocimento como um concreto de granulometria fina, a ser empregado em peças delgadas de até 30 mm de espessura.

Os primeiros elementos lineares de argamassa armada projetados por Martinelli & Schiel [1960]⁷ e Petroni [1974]^{8,9} levavam em conta na verificação do momento fletor resistente (Estádio III) apenas os fios das telas distribuídos na mesa tracionada com a eventual colaboração de fios ou barras complementares. Na mesa comprimida só consideravam a contribuição da argamassa, desprezando a contribuição dos fios das telas e dos fios distribuídos ao longo da alma. A verificação ao cisalhamento era feita considerando um valor admissível para as tensões tangenciais calculadas de acordo com

as indicações da Resistência dos Materiais (Petroni - 1974⁹).

Ainda, nesses trabalhos, não se verificaram os estados limites de fissuração e de aberturas de fissuras. O estado de deformação excessiva era verificado com as indicações da Resistência dos Materiais, porém, considerando o efeito da deformação lenta de modo aproximado.

Alguns critérios empíricos eram adotados nesses projetos com relação ao detalhamento das vigas, com o objetivo de se limitar as aberturas das fissuras, colocando-se uma tela para cada centímetro de espessura da alma e das mesas das vigas. Outro critério indicava que se fosse mantida a tensão na borda mais tracionada em valores da ordem de 8MPa, determinada no Estádio I, as aberturas das fissuras ficariam com valores da ordem de 0,05mm.

Ainda, até aplicações de maior porte como as coberturas da Fábrica de Laticínios de São Carlos executadas em 1975 [Hanai]¹ se consideravam simplificadaamente os critérios de verificação do Estádio III.

Para os critérios de dimensionamento que eram adotados não havia comprovação experimental que justificasse o caminho a seguir. Por outro lado, o sucesso alcançado nas aplicações o comprovam, havia muito bom senso nas soluções dadas aos projetos.

Até essa data encontravam-se em língua portuguesa, os trabalhos escritos pelos pesquisadores do Grupo (Inicial) de São Carlos e por Lima¹¹ e, principalmente, a tese de doutorado de Hanai [1981]¹, que apresentava extenso apanhado sobre os trabalhos técnicos que haviam sido publicados no exterior e no país.

As reduções iniciais no consumo de cimento e de armadura obrigavam a um tratamento diferenciado do ferrocimento com relação ao projeto global das peças de argamassa armada. Muito contribuiu para essa análise o processo de industrialização que se sentiu desde as primeiras aplicações no país.

O Projeto de Norma de Argamassa Armada² prevê, para o cálculo do momento fletor resistente, no estado limite último, que nas peças submetidas a solicitações normais as hipóteses de cálculo são as indicadas na NBR 6118/80²⁷ com as prescrições

adicionais dessa norma.

A determinação do momento fletor resistente de cálculo para elementos estruturais de argamassa armada deve levar em conta a contribuição dos fios longitudinais das telas, posicionados ao longo da linha esqueleto da seção transversal e da armadura complementar.

Hanai [1987]¹⁹, alerta que a contribuição dos fios longitudinais das telas na resistência aos esforços de compressão deve ser considerada com algumas precauções. As vezes torna-se necessário considerar a redução da tensão de compressão da argamassa, para compensar o efeito desfavorável de telas na região comprimida. Esse fato decorre da impossibilidade de se garantir a estabilidade dos fios longitudinais comprimidos. Esse fato é minimizado, em parte, no caso de se utilizar telas soldadas, onde não há grandes ondulações. Como se verá no capítulo 2 não se fez essa redução, pois o próprio projeto de norma não prevê.

Para as peças fletidas, a verificação da resistência à força cortante, segundo o projeto de norma de argamassa armada, deve ser feita aplicando-se as prescrições da NBR 6118/80, que por sua vez indica que o cálculo da armadura transversal das peças lineares deve seguir a teoria clássica da treliça de Ritter - Mörsch, cuja teoria pode ser encontrada em Amaral [1974]²⁸, Leonhardt [1978]²⁹, Fusco [1982]³⁰ e Santos Netto [1977]³¹.

Com relação ao estado limite de utilização as várias verificações foram analisadas pela Comissão de Estudos, cujos valores limites foram adotados com os critérios das normas NBR 6118/80 se se tratarem de peças de argamassa armada moldada no local e da NBR 9062/85³² para os casos de peças pré-fabricadas.

Os processos para verificação dos estados limites de utilização foram adotados a partir das experiências anteriores realizadas pelo Grupo de São Carlos, de observações de normas nacionais (NBR 6118) e das normas internacionais.

O Estado de Formação de Fissuras é verificado com as indicações, exclusivamente, da NBR 6118, para cálculo do momento fletor de fissuração (M_r). Essa decisão foi baseada em ensaios experimentais realizados, cujos valores teóricos haviam

se mostrado compatíveis com os valores experimentais observados.

Em se tratando do Estado de Fissuração Inaceitável consideraram-se as indicações da NBR 6118, para cálculo do valor característico das aberturas das fissuras com adaptação para peças de concreto armado, com uso de telas soldadas, conforme discutido por Mollica Junior [1986]³³ em publicação do Instituto Brasileiro de Telas Soldadas.

Neste trabalho, quando se analisou os resultados sobre esse item, se procurou dar outra conotação ao Estado de Fissuração Inaceitável, relacionando o valor da abertura convencional das fissuras com a taxa de armadura (ρ_r) e com a tensão de serviço na armadura (σ_s).

A verificação do Estado de Deformação Excessiva deve ser feita considerando os valores das curvaturas fornecidas no projeto de norma de argamassa armada. O valor do módulo de deformação longitudinal da argamassa (E_c) secante considerado é igual ao módulo na origem multiplicado por 0,85, a exemplo do que faz a norma soviética SN 366/77, bem como os coeficientes que levam em conta o efeito da deformação lenta.

Neste trabalho se comparam os resultados experimentais obtidos em ensaios de modelos com os resultados teóricos calculados com os critérios indicados no projeto de norma de argamassa armada.

1.3 OBJETIVOS

A grande maioria das telas usadas internacionalmente em peças de argamassa armada e especificadas pelas normas apresentadas não se coadunam com as telas eletrosoldadas utilizadas na prática da argamassa armada brasileira.

Até o início deste trabalho, em elementos lineares de argamassa armada submetidos a esforços solicitantes oriundos da flexão, só se usavam na composição da argamassa areia e cimento. Com o intuito de diminuir o consumo de cimento, inclusive com valor abaixo do indicado pelo projeto de norma de argamassa armada, adotou-se nesse trabalho na composição da

argamassa areia, pedra britada com dimensão máxima de 4,8mm e cimento. O fator água-cimento máximo indicado pelo projeto de norma de argamassa armada é 0,45; neste trabalho se adotou 0,55 em função de estudo de trabalhabilidade efetuado. Essas modificações adotadas na composição da argamassa poderiam gerar uma diminuição nas resistências.

Os critérios de verificação dos estados limites últimos e de utilização indicados pela norma de argamassa armada, e comentados no item 1.2, foram adotados pela Comissão de Estudos em função de experiências anteriores de seus membros e através das normas internacionais citadas. Se procurou compatibilizar os critérios indicados nas normas internacionais com os materiais utilizados no país e com o que vinha sendo feito pelo meio técnico na área de argamassa armada.

Em função disto, se recentia da falta de um trabalho que apresentasse no seu conjunto, de forma clara, um texto que abordasse os critérios de verificação dos estados limites últimos e de utilização à luz do projeto de norma de argamassa armada e das normas internacionais.

Por outro lado havia necessidade de comprovação experimental, mediante ensaio de modelos de argamassa armada, desses critérios estabelecidos por aquela Comissão de Estudos.

Entre os objetivos deste trabalho um deles é apresentar uma rotina de verificação dos estados limites últimos e de utilização, para peças de argamassa armada submetidas a esforços solicitantes oriundos da flexão, fundamentados no projeto de norma "Projeto e Execução de Argamassa Armada"² e fundamentados em experimentação de modelos, cujos ensaios foram realizados no Laboratório de Estruturas da EESC-USP.

O trabalho foi desenvolvido de modo a apresentar as teorias com as quais se verificam os Estados Limites Últimos (de ruína), atingidos de modo convencional por ação de momento fletor e força cortante, e os Estados Limites de Utilização (de Serviço).

Pretende-se que este documento possa ser utilizado pelo meio técnico como referência para os projetistas de argamassa armada advindo, dessa idéia, a conotação de texto didático que pode ser sentida em alguns capítulos.

Assim, no capítulo 2 apresentam-se as hipóteses de cálculo e as equações com as quais se determinam o momento fletor resistente de cálculo e a força cortante de cálculo para a seção transversal duplo T, ou a ela transformável, conforme definida no item 1.3, segundo as indicações do projeto de norma brasileira, da norma soviética e do guia norte-americano.

No capítulo 3, analisam-se as hipóteses de cálculo e as verificações que devem ser feitas com relação aos Estados Limites de Utilização (de serviço) dividindo-os em: cálculo das tensões no Estádio II, Estado Limite de Formação de Fissuras, Estado Limite de Fissuração Inaceitável e Estado de Deformação Excessiva. Estes estados também são verificados com as indicações do projeto de norma brasileira, da norma soviética e do guia norte-americano.

No capítulo 4, apresentam-se as formas das seções transversais, as vistas longitudinais dos modelos e as formas dos elementos de enrequecimento junto as seções transversais dos apoios; os detalhamentos das armaduras dos modelos especificando comprimento de corte e de dobramento bem como a posição da armação nas fôrmas.

É apresentado ainda um estudo detalhado da granulometria dos materiais que constituem a argamassa e da mistura. Alguns resultados de trabalhabilidade e resistência, obtidos na fase inicial da pesquisa, são ai apresentados.

Com relação as armaduras apresentam-se os resultados dos ensaios de corpos-de-prova de fios retirados das telas utilizadas, bem como dos fios de aço usados como armadura complementar.

Comentam-se ainda, a respeito dos projetos e montagem das fôrmas que se utilizaram nas moldagens, sobre as dificuldades encontradas na moldagem dos modelos em função dos projetos adotados.

As operações de corte, retificação, dobramento e montagem das armaduras também são descritas, inclusive os procedimentos em laboratório, quanto à moldagem, cura na fôrma, desmoldagem e cura final. Finalmente apresentam-se nesse capítulo as descrições dos dispositivos utilizados e dos procedimentos de ensaio.

No capítulo 5, apresentam-se todos os resultados obtidos nos ensaios dos modelos. Para melhor entendimento, os resultados foram depurados e mostrados na forma de tabelas e diagramas para a variação dos deslocamentos e das deformações em função das forças aplicadas nas diversas etapas. As resistências à compressão e à tração, bem como os diagramas tensão-deformação, com indicação do módulo de deformação longitudinal na origem, da argamassa utilizada são mostrados nesse capítulo, como também o acompanhamento do processo de fissuração através da leitura das aberturas e o espaçamento das fissuras medidas depois do ensaio terminado.

No capítulo 6 é feita a análise dos resultados obtidos nos ensaios, novamente subdividindo-se em observação com relação aos estados limites últimos, estado limite de formação de fissuras e por fim analisam-se os comportamentos dos modelos desde a primeira etapa de ensaio até a ruptura.

Os resultados experimentais, obtidos de acordo com a subdivisão indicada, são comparados com os resultados teórico-experimentais calculados com as expressões deduzidas nos capítulos 2 e 3, que levaram em conta as indicações do projeto de norma de argamassa armada.

Ênfase é dada a uma análise da relação entre as taxas de armaduras dos diversos modelos, a deformação e tensão da armadura complementar posicionada na mesa tracionada, com as aberturas das fissuras.

Os resultados dos ensaios são comparados entre os modelos de uma mesma série e entre os modelos de séries diferentes, desde que mantida a mesma forma da seção transversal.

No capítulo 7 se faz a conclusão do trabalho apresentando possibilidades de continuação e aprimoramento da pesquisa.

São apresentadas as referências bibliográficas e a bibliografia complementar que orientaram e forneceram subsídios para a elaboração do presente trabalho.

Por fim, os apêndices: no primeiro apresenta-se o programa, para cálculo de peças fletidas de argamassa armada, exclusivamente, atendendo os critérios do projeto de norma "Projeto e Execução de Argamassa Armada"; no segundo, a documentação fotográfica realizada ao longo da pesquisa e no

terceiro, algumas considerações sobre o efeito da retração nas peças de argamassa armada.

1.4 METODOLOGIA

Analisaram-se, experimentalmente, modelos de vigas de argamassa armada com seções transversais duplo T, constituída por mesa de compressão, alma e mesa de tração (Figura 1.1) com armação composta por telas eletrosoldadas especificadas pela NBR 7481/82³⁴ e por fios ou barras de aço, como armadura complementar, especificadas pela NBR 7480/80³⁵.

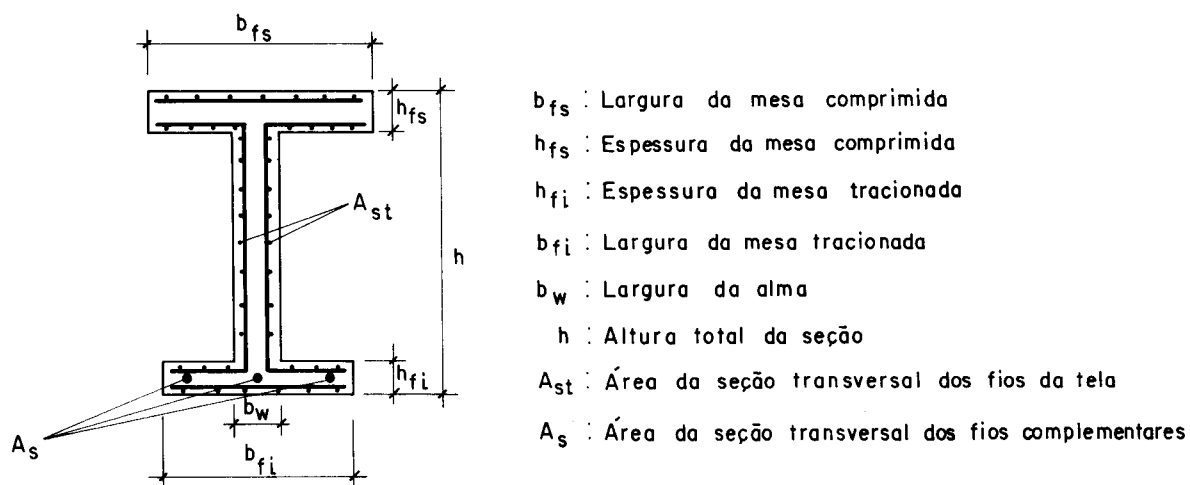


FIGURA 1.1 - SEÇÃO TRANSVERSAL TÍPICA DOS MODELOS

A composição da argamassa, com a qual se moldaram os modelos, consistiu em areia de granulometria média com diâmetro nominal máximo de 2,4mm e de pedra britada de diâmetro nominal máximo igual a 4,8mm. Os aglomerantes usados foram o Cimento Portland comum CP-32, especificado pela NBR 5732/80³⁶ para moldagem de parte dos modelos e Cimento Portland de alta resistência inicial especificado pela NBR 5733/80³⁷.

Adotou-se aquele tipo de seção transversal por constituir-se em seção típica para elementos de argamassa armada resistentes à flexão, que confere ao elemento estrutural resistência pela forma. Ainda, já haviam sido desenvolvidos no Laboratório de Estruturas da EESC-USP, trabalhos que estudaram, através de ensaios de modelos de vigas de seção transversal

tipo U e T-invertido, realizados por Marquês de Collo [1987]³⁸ e vigas de seções transversal tipo V e duplo T por Nader [1987]³⁹, que mostraram a viabilidade de se continuar na linha de pesquisa. Esses trabalhos, orientados por Hanai e co-orientados pelo Autor, desenvolvidos com apoio da FAPESP, permitiram escolher esse tipo de seção para análise mais profunda.

Esses pesquisadores iniciaram a montagem de um programa para microcomputador compatível com a linha IBM/PC, com a finalidade de calcular os esforços resistentes para uma viga de seção duplo T ou a ela associada. O programa ainda verificava os estados limites de utilização.

Gil [1990]⁴⁰, sob responsabilidade dos mesmos orientadores e com auxílio da mesma instituição, ampliou e concluiu o programa que foi utilizado no capítulo 6, para obtenção dos resultados teórico-experimentais e é apresentado com detalhes no apêndice 1 deste trabalho.

Os resultados experimentais obtidos, foram comparados com os teóricos calculados com o auxílio do programa citado.

2. DIMENSIONAMENTO NO ESTADO LIMITE ÚLTIMO

2.1 DETERMINAÇÃO DO MOMENTO FLETOR RESISTENTE DE CÁLCULO SEGUNDO AS ESPECIFICAÇÕES DA CE/ABNT

2.1.1 Considerações Gerais

O cálculo do momento fletor resistente, no estado limite último, para uma peça submetida à flexão simples, foi feito com as hipóteses de cálculo prescritas pela NBR 6118/80²⁷, conforme indicação do Projeto de Norma Brasileira de Argamassa Armada².

Neste capítulo é tratado o estado limite último correspondente à ruína por ruptura e por deformação plástica excessiva.

A determinação do momento fletor resistente de cálculo, para seções transversais de peças de argamassa armada submetidas à flexão simples, deve levar em conta a contribuição dos fios longitudinais das telas, posicionadas paralelamente ao eixo longitudinal da peça, e da armadura complementar.

As análises teórica e experimental apresentadas neste trabalho consideram que os fios longitudinais das telas são paralelos ao eixo longitudinal da peça.

Os casos de armadura constituída de telas de aço soldadas com os fios longitudinais das telas inclinadas em relação ao eixo da peça não foram analisados neste trabalho.

2.1.2 Hipóteses de Cálculo

As hipóteses de cálculo prescritas pela NBR 6118 para a determinação do momento fletor resistente de cálculo no estado limite último são as seguintes:

a) As seções transversais planas permanecem planas depois da peça sofrer deformações.

b) Os casos possíveis de deformações, para peças submetidas à flexão simples são os representados pelos domínios 2, 3 e 4 (Figura 2.1), a saber:

- domínio 2: flexão simples sem ruptura da argamassa $\epsilon_c < 3,5\text{‰}$ e ϵ_s igual ao máximo permitido ($\epsilon_s = 10\text{‰}$),
- domínio 3: flexão simples (seção subarmada) com ruptura à compressão da argamassa e com escoamento do aço ($\epsilon_s \geq \epsilon_{yd}$),
- domínio 4: flexão simples (seção super-armada) com ruptura à compressão da argamassa e aço tracionado sem escoamento ($\epsilon_s < \epsilon_{yd}$);

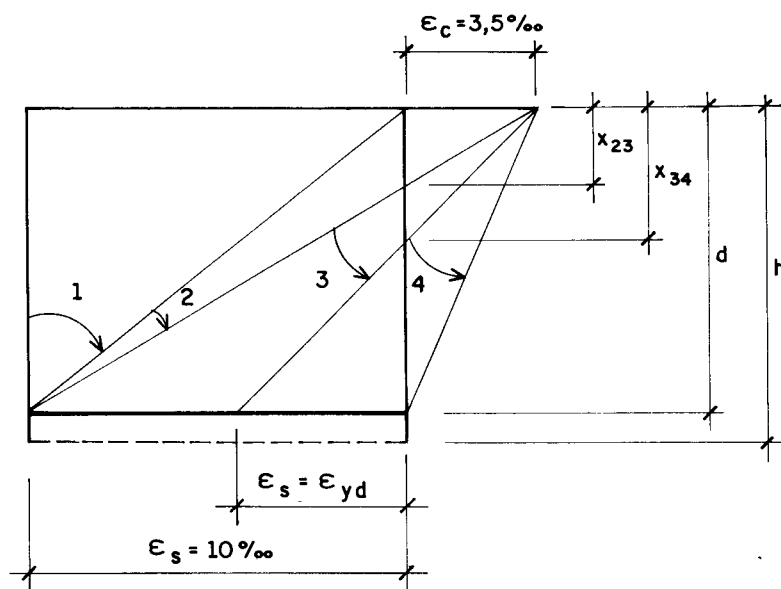


FIGURA 2.1 - DOMÍNIOS DE DEFORMAÇÕES (NBR 6118)

c) O encurtamento convencional de ruptura da argamassa nas seções não inteiramente comprimidas (flexão simples) é igual a 3,5 % .

d) O alongamento máximo permitido ao longo da armadura de tração, mais próxima da borda tracionada, é de 10 % .

e) A distribuição de tensões na argamassa se faz de acordo com o diagrama parábola-retângulo (Figura 2.2) baseado no diagrama tensão-deformação simplificado da Figura 2.3 (NBR 6118). O diagrama parábola-retângulo pode ser substituído por um diagrama retangular de altura $y = 0,8x$ com a seguinte tensão:

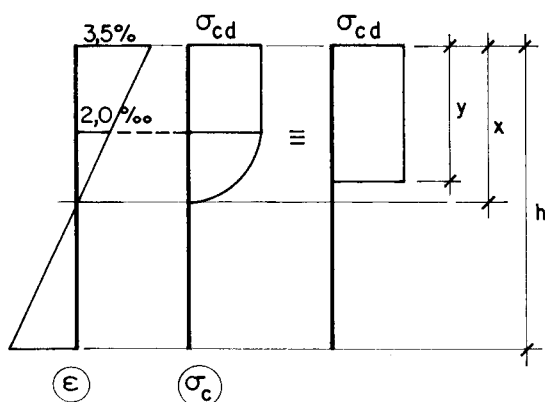


FIGURA 2.2 - DIAGRAMA PARÁBOLA-RETÂNGULO

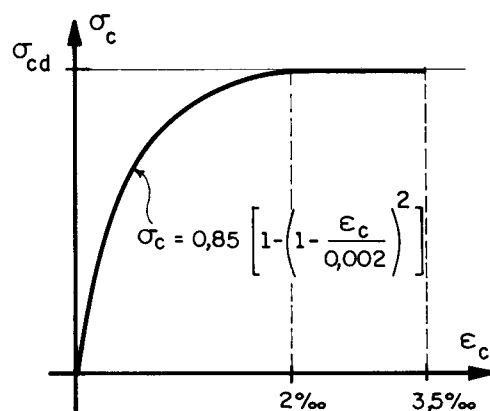


FIGURA 2.3 - DIAGRAMA TENSÃO - DEFORMAÇÃO DA ARGAMASSA

$$\sigma_{cd} = 0,85 \cdot f_{cd} = \frac{0,85 \cdot f_{ck}}{\gamma_c}$$

ou

$$\sigma_{cd} = 0,80 \cdot f_{cd} = \frac{0,80 \cdot f_{ck}}{\gamma_c}$$

Sendo, o coeficiente 0,85 adotado no caso da largura da seção transversal, medida paralelamente a linha neutra, aumentar a partir desta para a borda comprimida; e 0,80 se a largura diminuir.

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, que no caso de flexão simples deve seguir os limites dos domínios da Figura 2.1. Os diagramas tensão-deformação a adotar no cálculo são os indicados nas Figuras 2.4-a (aço classe A) e 2.4-b (aço classe B).

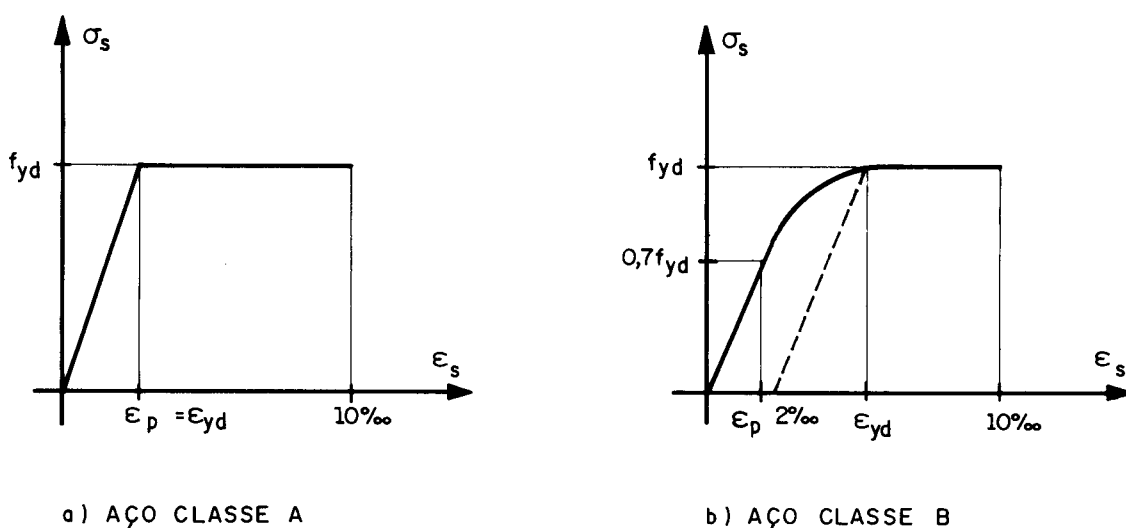


FIGURA 2.4 – DIAGRAMAS TENSÃO – DEFORMAÇÃO DOS AÇOS

O módulo de deformação longitudinal do aço adotado no cálculo é $E_s = 210.000\text{MPa}$.

As barras ou fios de aço usados como armadura complementar devem seguir as especificações da NBR 7480³⁵.

h) As telas de aço soldadas, especificadas pela NBR 7481³⁴, são constituídas por fios de aço classe B, com limite convencional de escoamento (f_{yk}) mínimo de 500MPa (CA-50A ou CA-50B) ou 600MPa (CA-60). Esse limite é determinado segundo o diagrama tensão-deformação da Figura 2.4-b para a deformação convencional $\varepsilon_s = 2 \%$.

São usualmente empregados em argamassa armada telas de aço soldadas de espaçamento máximo igual a 50mm, nas duas direções com diâmetros máximos dos fios de 3mm.

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 ou fios complementares, são os indicados na NBR 6118, com as definições da NBR 8681/84⁴¹.

Se a peça de argamassa armada for moldada no local γ_c pode ser adotado igual a 1,4 (NBR 6118) e se pré-moldada γ_c igual a 1,3 conforme indicação da NBR 9062/85³².

Para o aço γ_s é igual a 1,15 desde que sejam obedecidas as indicações da NBR 7480/85³⁵ quanto ao controle de qualidade.

j) A condição de segurança com relação aos estados limites últimos, é tal que, a resistência de cálculo deve ser maior ou igual a solicitação de cálculo, isto é:

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

O coeficiente de ponderação (γ_f) com o qual se majora a solicitação característica deve ser definido de acordo com os critérios da NBR 8681 [1984].

Considerando uma seção transversal (Figura 2.5) constituída por mesa superior, alma e mesa inferior, com distribuição de armadura em telas nestas três partes e, ainda, com a eventual colocação de armadura complementar de barras ou fios de aço e conhecendo-se as resistências dos materiais, pode-se determinar o valor do momento fletor resistente de cálculo.

Nos itens seguintes fazem-se as deduções das equações que fornecem o valor do momento fletor resistente de cálculo, para a seção duplo T, especificada acima, analisando os três casos possíveis para a posição da linha neutra: linha neutra na mesa comprimida-superior (item 2.1.3), na alma (item 2.1.4) e na mesa tracionada-inferior (item 2.1.5).

A determinação da posição da linha neutra é feita por processo iterativo. Em função dessa posição com relação as três partes da seção transversal da viga, verifica-se qual dos três equacionamentos deve ser utilizado.

Nos três casos citados montam-se três relações: a primeira é obtida considerando o equilíbrio das tensões normais atuantes

na seção transversal; a segunda, é obtida calculando-se os momentos resultantes das tensões normais em relação a um polo previamente eleito e fazendo-se o equilíbrio com o momento fletor; a terceira relação é obtida a partir da compatibilidade de deformações.

2.1.3 Caso em que a linha neutra se localiza na mesa comprimida

A seção transversal da Figura 2.5 está submetida à ação do momento fletor solicitante de cálculo (M_{Rd}). Efetuando um corte na peça por um plano perpendicular ao eixo da viga, para manter o equilíbrio, a seção fica submetida às ações das resultantes normais em cada fio da tela, na armadura complementar e na argamassa comprimida. A contribuição da argamassa tracionada, abaixo da linha neutra, no estado limite último, é desprezada para efeito de cálculo do momento fletor resistente.

Sendo:

R_{stss} : resultante das tensões de compressão na tela posicionada na mesa comprimida, camada superior; com a respectiva tensão σ_{stss} e deformação ϵ_{stss} ;

R_{sttsi} : resultante das tensões de tração (podendo ser de compressão) na tela posicionada na mesa superior, camada inferior, com a respectiva tensão σ_{stsi} e deformação ϵ_{stsi} ;

R_{sttj} : resultante das tensões de tração nos fios longitudinais da tela, posicionados na alma, no nível j;

R_{sttis} : resultante das tensões de tração nos fios da tela posicionada na mesa inferior, camada superior;

R_{sttii} : resultante das tensões de tração nos fios da tela posicionada na mesa inferior, camada inferior;

R_{st} : resultante de tração na armadura complementar

constituída por barras ou fios de aço;

R_{cc} : resultante de compressão na argamassa;

a seguir se expõe as deduções das equações de equilíbrio.

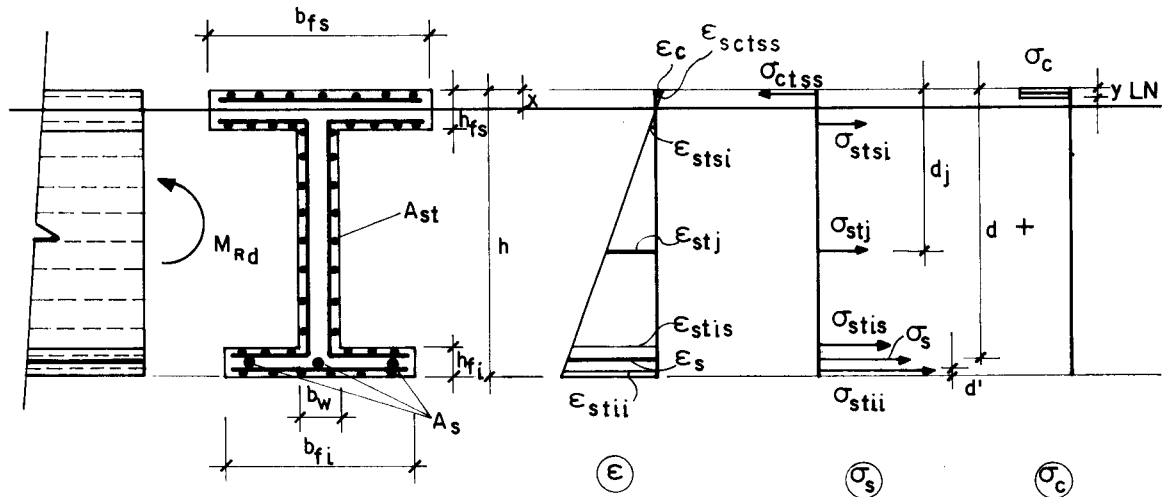


FIGURA 2.5 - FLEXÃO SIMPLES - LN. NA MESA DE COMPRESSÃO

Considerando o equilíbrio de forças normais, atuantes na seção transversal resulta:

$$R_{sctii} + R_{st} + R_{sttis} + \sum_{j=1}^n R_{sttj} + R_{sttsi} - R_{sttss} = R_{cc} \quad (2.1)$$

Na seção considerada o momento fletor deve ser equilibrado pelas forças internas; fazendo-se a soma dos momentos das resultantes em relação ao centro geométrico da armadura constituída pela tela posicionada na mesa inferior, camada inferior, resulta:

$$\begin{aligned} M_{Rd} = \gamma_f \cdot M_k = & R_{cc} \cdot (h - 0,4x - d') + R_{sctss} \cdot (h - 2d') + \\ & - R_{sttsi} \cdot (h - d' - h_{fs} + d') - \sum_{j=1}^n R_{sttj} \cdot (h - d' - d_j) - \\ & + R_{sttis} \cdot (h_{fi} - 2d') - R_{st} \cdot (h - d' - d) \end{aligned} \quad (2.2)$$

Pode-se deduzir uma equação que retrata o equilíbrio da seção, sob a ação do momento fletor M_{Rd} , fazendo-se a soma dos momentos internos, agora, em relação à resultante de compressão, obtendo-se a equação (2.3).

$$M_{Rd} = M_k \cdot \gamma_f = R_{sctss} \cdot (0,4x - d') - R_{sttsi} \cdot (h_{fs} - d' - 0,4x) + \\ - \sum_{j=1}^n R_{sttj} \cdot (d_j - 0,4x) - R_{sttis} \cdot (h - 0,4x - h_{fi} + d') - \\ R_{st} \cdot (d - 0,4x) - R_{stii} \cdot (h - 0,4x - d') \quad (2.3)$$

Sendo:

- A_{st} : área da seção transversal de um fio da tela;
- n : número de camadas de fios distribuídos ao longo da altura da alma;
- n_j : números de fios que se encontram em uma mesma camada na alma;
- n_{ss} : número de fios posicionados na mesa de compressão, camada superior;
- n_{si} : número de fios posicionados na mesa de compressão, camada inferior;
- n_{is} : número de fios posicionados na mesa de tração, camada superior;
- n_{ii} : número de fios posicionados na mesa de tração, camada inferior;
- σ_{st} : tensão nos fios da tela, com os índices que indicam as posições dos fios;

considerando a tensão de compressão na argamassa armada igual a 0,85 da resistência de cálculo, as resultantes ficam iguais a:

$$R_{cc} = 0,85 \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \cdot 0,8 \cdot x \cdot b_{fs} = 0,68 \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b_{fs}$$

$$R_{sctss} = A_{stss} \cdot n_{ss} \cdot \sigma_{sctss}$$

$$R_{sttsi} = A_{stsi} \cdot n_{si} \cdot \sigma_{stsi}$$

$$R_{sttj} = n_{sj} \cdot A_{stj} \cdot \sigma_{stj} \quad (2.4)$$

$$R_{sttis} = A_{stis} \cdot n_{is} \cdot \sigma_{stis}$$

$$R_{sttii} = A_{stii} \cdot n_{ii} \cdot \sigma_{stii}$$

$$R_{st} = A_s \cdot \sigma_s$$

Substituindo as expressões das resultantes nas equações (2.1), (2.2) e (2.3) obtém-se (2.5), (2.6) e (2.7), respectivamente:

$$\begin{aligned} n_{ii} \cdot A_{stii} \cdot \sigma_{stii} + A_s \cdot \sigma_s + n_{is} \cdot A_{stis} \cdot \sigma_{stis} + \sum_{j=1}^n A_{stj} \cdot \sigma_{stj} + \\ + n_{si} \cdot A_{stsi} \cdot \sigma_{stsi} - n_{ss} \cdot A_{stss} \cdot \sigma_{stss} = 0,68 \cdot b_{fs} \cdot f_{cd} \end{aligned} \quad (2.5)$$

$$\begin{aligned} M_{Rd} = 0,68 \cdot x \cdot b_{fs} \cdot (h - 0,4x - d') \cdot f_{cd} + n_{ss} \cdot A_{stss} \cdot \sigma_{stss} \cdot (h + \\ - 2d') - n_{si} \cdot A_{stsi} \cdot \sigma_{stsi} \cdot (h - h_{fs}) - \sum_{j=1}^n n_{sj} \cdot A_{stj} \cdot \sigma_{stj} \cdot \\ \cdot (h - d' - d_j) - n_{is} \cdot A_{stis} \cdot \sigma_{stis} \cdot (h_{fi} - 2d') - A_s \cdot \sigma_s \cdot (h + \\ - d' - d) \end{aligned} \quad (2.6)$$

$$\begin{aligned} M_{Rd} = n_{ss} \cdot A_{stss} \cdot \sigma_{stss} \cdot (0,4x - d') - n_{si} \cdot A_{stsi} \cdot \sigma_{stsi} \cdot (h_{fs} - d' + \\ - 0,4x) - \sum_{j=1}^n n_j \cdot A_{stj} \cdot \sigma_{stj} \cdot (d_j - 0,4x) - n_{is} \cdot A_{stis} \cdot \sigma_{stis} \cdot \\ \cdot (h - 0,4x - h_{fi} + d') - A_s \cdot \sigma_s \cdot (d - 0,4x) - n_{ii} \cdot A_{stii} \cdot \\ \cdot \sigma_{stii} \cdot (h - 0,4x - d') \end{aligned} \quad (2.7)$$

Considerando a compatibilidade de deformações, Figura 2.5, obtém-se as seguintes equações (2.8):

$$\frac{\epsilon_c}{x} = \frac{\epsilon_{stss}}{x - d'} = \frac{\epsilon_{stsi}}{h_f - d' - x} = \frac{\epsilon_{stj}}{d_j - x} = \frac{\epsilon_{stis}}{h - h_{fi} + d' - x} = \frac{\epsilon_s}{d - x} = \frac{\epsilon_{stii}}{h - d' - x} \quad (2.8)$$

2.1.4 Caso em que a linha neutra se localiza na alma

Para este caso de linha neutra passando na alma da viga (Figura 2.6), submetida à ação de um momento fletor M_{Rd} , as equações de equilíbrio interno são as que se deduzem a seguir.

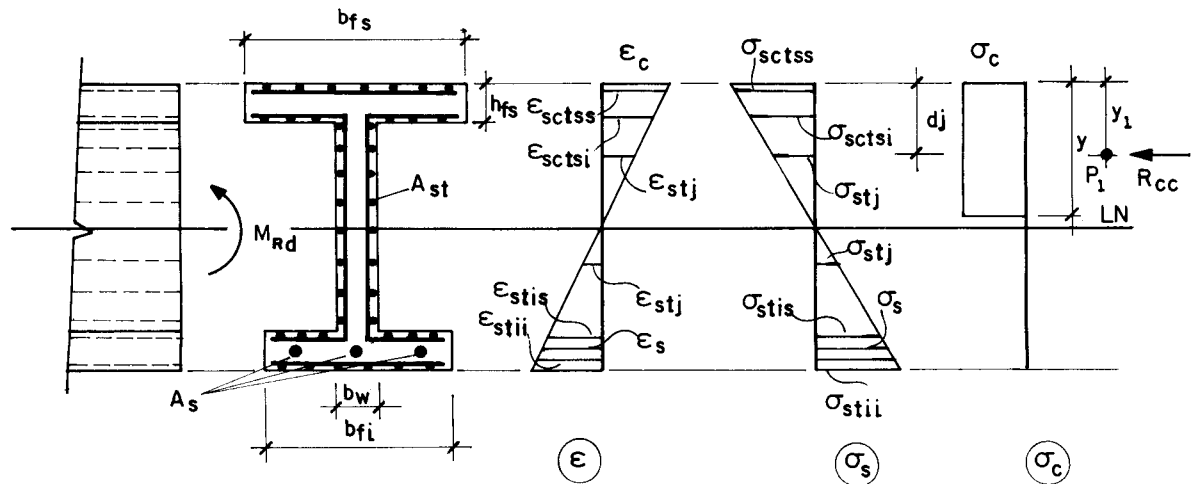


FIGURA 2.6 - FLEXÃO SIMPLES - L.N. NA ALMA

Considerando o equilíbrio de forças internas, atuantes paralelamente ao eixo longitudinal da viga, resulta:

$$R_{sttii} + R_{st} + R_{sttis} + \sum_{j=1}^n R_{sttj} - R_{sctsi} - R_{sctss} = R_{cc} = R_{cc1} + R_{cc} \quad (2.9)$$

sendo, R_{cc} a soma de R_{cc1} e R_{cc2} , atuantes respectivamente na alma e na mesa da viga, assim separadas para facilitar o equacionamento.

O momento fletor em uma seção genérica da viga, deve estar em equilíbrio com os momentos das resultantes internas calculados em relação a um polo fixo. Escolhendo para polo o

ponto de aplicação da força R_{stii} , resulta a equação (2.10):

$$\begin{aligned}
 M_{Rd} = M_k \cdot \gamma_f = & R_{cc1} \cdot (h - 0,4x - d') + R_{cc2} \cdot (h - 0,5h_f + \\
 & - d') + R_{sctss} \cdot (h - 2d') + R_{sctsi} \cdot ((h - d') - h_{fs} + d') + \\
 & + \sum_{j=1}^n R_{sttj} \cdot (h - d' - d_j) - R_{stis} \cdot (h_{fi} - 2d') - R_{st} \cdot (h + \\
 & - d' - d)
 \end{aligned} \quad (2.10)$$

Considerando que a força $R_{cc} = R_{cc1} + R_{cc2}$ está aplicada a uma distância y_1 , medida a partir da face superior da viga, pode-se determinar a equação que rege o equilíbrio interno calculando os momentos em relação a este ponto.

Sendo a ordenada do ponto de aplicação de R_{cc} igual a $(h - y_1)$, com y_1 assim determinada:

$$y_1 = \frac{1}{R_{cc}} \cdot (R_{cc1} \cdot 0,4x + R_{cc2} \cdot 0,5h_f) \quad (2.10A)$$

obtém-se a equação de equilíbrio (2.11):

$$\begin{aligned}
 M_{Rd} = \gamma_f \cdot M_k = & R_{sctss} \cdot (y_1 - d') + R_{sctsi} \cdot (y_1 - h_f + d') + \\
 & + \sum_{j=1}^n R_{sttj} \cdot (d_j - y_1) + R_{sttis} \cdot (h - h_{fi} + d' - y_1) + \\
 & + R_{st} \cdot (d - y_1) + R_{sttii} \cdot (h - d' - y_1)
 \end{aligned} \quad (2.11)$$

Sendo as resultantes na argamassa comprimida igual a:

$$\begin{aligned}
 R_{cc1} = & 0,85 \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \cdot b_w \cdot 0,8 \cdot x = 0,68 \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot x \\
 R_{cc2} = & 0,85 \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \cdot (b_{fs} - b_w) \cdot h_{fs} = 0,85 \cdot f_{cd} \cdot (b_{fs} + \\
 & - b_w) \cdot h_{fs}
 \end{aligned} \quad (2.12)$$

com as resultantes nos fios (comprimidos ou tracionados) das telas e da armadura indicadas em (2.4), e, substituindo estes valores nas equações (2.9), (2.10) e (2.11), obtém-se as equações (2.13), (2.14) e (2.15) que regem o equilíbrio de uma

viga de seção duplo T, submetida à flexão, quando a linha neutra está na alma.

$$\begin{aligned}
 n_{ii} \cdot A_{stii} \cdot \sigma_{stii} + A_s \cdot \sigma_s + n_{is} \cdot A_{stis} \cdot \sigma_{stis} + \sum_{j=1}^n R_{sttj} + \\
 - n_{si} \cdot A_{stsi} \cdot \sigma_{stsi} - n_{ss} \cdot A_{stss} \cdot \sigma_{stss} = 0,68 \cdot f_{cd} \cdot \\
 \cdot b_w \cdot x + 0,85 \cdot f_{cd} \cdot (b_{fs} - b_w) \quad (2.13)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{Rd} = 0,68 \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot x \cdot (h - 0,4x - d') + 0,85 \cdot f_{cd} \cdot (b_{fs} + \\
 - b_w) \cdot h_{fs} \cdot (h - 0,5h_{fs} - d') + n_{ss} \cdot A_{stss} \cdot \sigma_{stss} \cdot (h + \\
 - 2d') + n_{si} \cdot A_{stsi} \cdot \sigma_{stsi} \cdot ((h - d') - h_{fs} + d') + \\
 + \sum_{j=1}^n n_j \cdot A_{stj} \cdot \sigma_{stj} \cdot (h - d' - d_j) + - n_{is} \cdot \\
 \cdot A_{stis} \cdot \sigma_{stis} \cdot (h_{fi} - 2d') - A_s \cdot \sigma_s \cdot (h - d' - d) \quad (2.14)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{Rd} = n_{ss} \cdot A_{stss} \cdot \sigma_{stss} \cdot (y_1 - d') + n_{si} \cdot A_{stsi} \cdot \sigma_{stsi} \cdot (y_1 + \\
 - h_f + d') + \sum_{j=1}^n n_j \cdot A_{stj} \cdot \sigma_{stj} \cdot (d_j - y_1) - n_{is} \cdot A_{stis} \cdot \\
 \cdot \sigma_{stis} \cdot (h - h_{fi} + d' - y_1) - A_s \cdot \sigma_s \cdot (d - y_1) - n_{ii} \cdot \\
 \cdot A_{stii} \cdot \sigma_{stii} \cdot (h - d' - y_1) \quad (2.15)
 \end{aligned}$$

Considerando o diagrama de deformações da Figura 2.6, pode-se escrever as equações (2.16) de compatibilidade de deformações:

$$\begin{aligned}
 \frac{\epsilon_c}{x} = \frac{\epsilon_{stss}}{x-d'} = \frac{\epsilon_{stsi}}{x-h_f+d'} = \frac{\epsilon_{stsj}}{x-d_j} = \frac{\epsilon_{stis}}{h-h_f+d'-x} = \frac{\epsilon_s}{d-x} = \\
 = \frac{\epsilon_{stii}}{h-d'-x} \quad (2.16)
 \end{aligned}$$

2.1.5 Caso em que a linha neutra se localiza na mesa tracionada

Considerando o equilíbrio das resultantes das forças axiais, pode-se escrever a equação (2.17), sendo que a resultante de compressão na argamassa foi dividida em três parcelas: R_{cc1} , R_{cc2} e R_{cc3} , atuando, respectivamente, na alma, na mesa superior e mesa inferior.

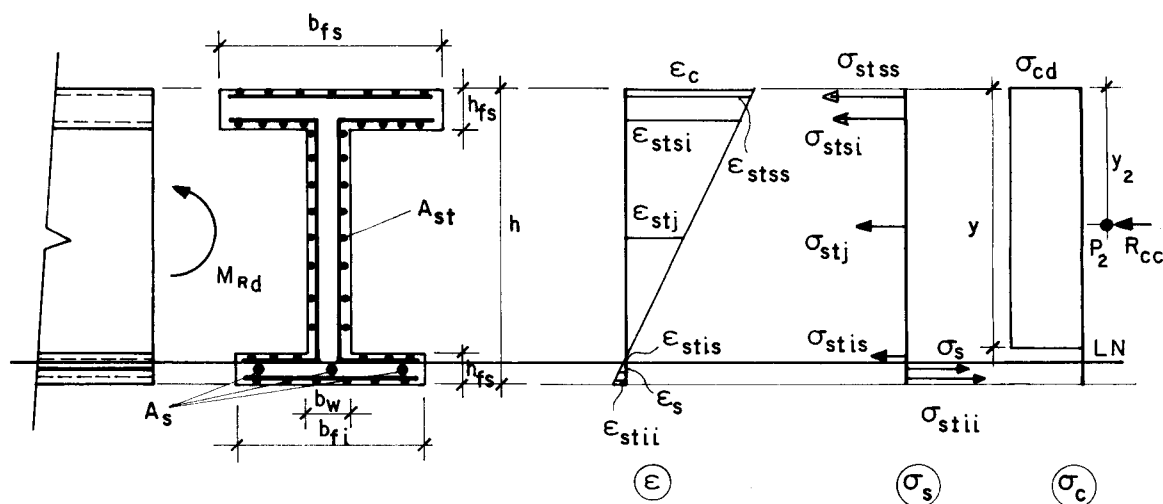


FIGURA 2.7 — FLEXÃO SIMPLES — L.N. NA MESA INFERIOR

$$\begin{aligned}
 R_{sttii} + R_{st} - R_{sctis} - R_{sctj} - R_{sctsi} - R_{sctss} &= \\
 &= R_{cc} = R_{cc1} + R_{cc2} + R_{cc3} \quad (2.17)
 \end{aligned}$$

Tomando para polo o ponto de aplicação da força R_{sttii} a equação com a qual se calcula o momento fletor resistente é dada pela expressão 2.18:

$$\begin{aligned}
 M_{Rd} = \gamma_f \cdot M_k = R_{cc1} \cdot (h - d' - 0,4x) + R_{cc2} \cdot (h - d' - 0,5h_{fs}) + \\
 + R_{cc3} \cdot (0,5h + 0,5h_{fi} - 0,4x - d') + R_{sctss} \cdot (h - 2d') + \\
 + R_{sctsi} \cdot (h - d' - h_{fs} + d') + \sum_{j=1}^n R_{sctj} \cdot (h - d_i - d_j) + \\
 + R_{sctis} \cdot (h_{fi} - 2d') - R_s \cdot (h - d' - d) \quad (2.18)
 \end{aligned}$$

A ordenada do ponto de aplicação da resultante de compressão R_{cc} é igual a $(h - y_2)$, com y_2 , medido a partir da

borda superior, igual a:

$$y_2 = \frac{1}{R_{cc}} \cdot \left[R_{cc1} \cdot 0,4 \cdot x + R_{cc2} \cdot 0,5 \cdot h_{fs} + R_{cc3} \cdot (0,5 \cdot h + 0,5 \cdot h_{fi} + 0,4 \cdot x) \right] \quad (2.19)$$

Calculando os momentos de todas as resultantes em relação a esse ponto, somando-os, e igualando ao momento fletor solicitante de cálculo, obtém-se a seguinte equação (2.20):

$$M_{Rd} = \gamma_f \cdot M_k = R_{sctss} \cdot (y_2 - d') + R_{sctsi} \cdot (y_2 - h_{fs} + d') + \sum_{j=1}^n R_{sctj} \cdot (d_j - y_2) - R_{sttis} \cdot (h - h_{fi} + d' - y_2) + R_s \cdot (d - y_2) + R_{sttii} \cdot (h - d' - y_2) \quad (2.20)$$

Considerando que as três parcelas da força resultante de compressão na argamassa valem:

$$\begin{aligned} R_{cc1} &= 0,85 \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \cdot b_w \cdot 0,8 \cdot x = 0,68 \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \cdot b_w \cdot x \\ R_{cc2} &= 0,85 \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \cdot (b_{fs} - b_w) \cdot h_{fs} \\ R_{cc3} &= 0,85 \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \cdot (b_{fi} - b_w) \cdot (h_{fi} - h + 0,8x) \end{aligned} \quad (2.21)$$

e, ainda, considerando que as resultantes nas telas nas várias camadas e no aço da armadura são determinadas como se fez nos casos anteriores, pode-se, substituindo estas resultantes nas equações (2.17), (2.18) e (2.20), obter as equações (2.22), (2.23) e (2.24) que regem o equilíbrio de uma seção transversal de uma peça fletida, de argamassa armada, submetida a ação de momento fletor.

$$\begin{aligned}
& n_{ii} \cdot A_{stii} \cdot \sigma_{stii} + A_s \cdot \sigma_s - n_{is} \cdot A_{stis} \cdot \sigma_{stis} - \sum_{j=1}^n n_j \cdot \\
& \cdot A_{stj} \cdot \sigma_{stj} - n_{si} \cdot A_{stsi} \cdot \sigma_{stsi} - n_{ss} \cdot A_{stss} \cdot \sigma_{stss} = \\
& = 0,68 \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \cdot b_w \cdot x + 0,85 \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \cdot (b_{fs} - b_w) \cdot h_{fs} + \\
& + 0,85 \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \cdot (b_{fi} - b_w) \cdot (0,5h_{fi} + 0,5h - 0,4x - d') \\
& \hspace{15em} (2.22)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_{Rd} = & 0,68 \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \cdot b_w \cdot x \cdot (h - d' - 0,4x) + 0,85 \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \cdot \\
& \cdot (b_{fs} - b_w) \cdot h_{fs} \cdot (h - d' - 0,5h_{fs}) + 0,85 \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \cdot \\
& \cdot (b_{fi} - b_w) \cdot (0,5h_{fi} + 0,5h + 0,4x - d') + n_{ss} \cdot A_{stss} \cdot \\
& \cdot \sigma_{stss} \cdot (h - 2d') + n_{si} \cdot A_{stsi} \cdot \sigma_{stsi} \cdot (h - d' - h_{fs} + \\
& + d') + \sum_{j=1}^n n_j \cdot A_{stj} \cdot \sigma_{stj} \cdot (h - d_i - d_j) + n_{is} \cdot A_{stis} \cdot \\
& \cdot \sigma_{stis} \cdot (h_{fi} - 2d') - A_s \cdot \sigma_s \cdot (h - d' - d) \\
& \hspace{15em} (2.23)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_{Rd} = & n_{ss} \cdot A_{stss} \cdot \sigma_{stss} \cdot (y - d') + n_{si} \cdot A_{stsi} \cdot \sigma_{stsi} \cdot (y_2 + \\
& - h_{fs} + d') + \sum_{j=1}^n n_j \cdot A_{stj} \cdot \sigma_{stj} \cdot (d_j - y_2) - n_{is} \cdot \\
& \cdot A_{stis} \cdot \sigma_{stis} \cdot (h - h_{fi} + d' - y_2) + A_s \cdot \sigma_s \cdot (d - y_2) + \\
& + n_{ii} \cdot A_{stii} \cdot \sigma_{stii} \cdot (h - d' - y_2) \\
& \hspace{15em} (2.24)
\end{aligned}$$

A equação (2.25) de compatibilidade de deformações, considerando o diagrama de deformações da Figura 2.3, fica:

$$\begin{aligned}
\frac{\epsilon_c}{x} = \frac{\epsilon_{stss}}{x - d'} = \frac{\epsilon_{stsi}}{x - h_f + d'} = \frac{\epsilon_{stsj}}{x - d_j} = \frac{\epsilon_{stis}}{h - h_f + d' - x} = \frac{\epsilon_s}{d - x} = \\
= \frac{\epsilon_{stii}}{h - d' - x} \hspace{15em} (2.25)
\end{aligned}$$

2.1.6 Solução para os sistemas de equações

Com as hipóteses de cálculo preconizadas pelo projeto de norma de argamassa armada e apresentadas no item 2.1.2 procura-se determinar o valor do momento fletor resistente de cálculo, com o qual se define o valor do momento fletor solicitante de cálculo. Feita a análise da segurança, determina-se a ação característica que se pode aplicar à viga em estudo.

Considerando que todos os fios longitudinais distribuídos na alma e nas mesas superior e inferior, contribuem para absorver o momento fletor aplicado à seção transversal, para se determinar a tensão em cada fio, faz-se necessário conhecer a sua deformação e, por conseguinte, a posição da linha neutra.

O problema é resolvido por processo iterativo, no qual se adota a posição da linha neutra; usando as equações de compatibilidade determinam-se as deformações em cada uma das camadas de fios longitudinais distribuídos ao longo da seção transversal. Conhecendo-se os diagramas tensão-deformação do aço que compõem as telas determinam-se as tensões que estão atuando nos fios de uma mesma camada.

Usando as equações deduzidas a partir do equilíbrio das forças normais e determinando as resultantes de compressão na argamassa, nas telas comprimidas e nas telas tracionadas, verifica-se se para a posição da linha neutra inicialmente escolhida há o equilíbrio. Havendo, a posição da linha neutra escolhida é a definitiva, no estado limite último, para a seção em estudo e com as hipóteses de cálculo escolhidas. Em caso contrário, repete-se o processo, tantas vezes quantas necessárias até se obter o equilíbrio das forças normais.

A partir desse ponto, com a posição da linha neutra calculada, determina-se o valor do momento fletor resistente de cálculo usando as equações deduzidas para os três casos possíveis da posição da linha neutra.

Para otimizar os cálculos foi montado um programa para microcomputador apresentado no Apêndice 1.

2.2 DETERMINAÇÃO DO MOMENTO FLETOR RESISTENTE DE CÁLCULO SEGUNDO AS ESPECIFICAÇÕES DA SN 366/77

2.2.1 Considerações Gerais

Este item é baseado na norma "Instrução para Projetos de Estruturas de Argamassa Armada" - SN 366/1977²³ editada sob a responsabilidade do Comitê Federal do Conselho de Ministros da URSS para Assuntos de Estruturas.

Essa norma se aplica a projetos de estruturas de argamassa armada, que são "estruturas de paredes delgadas de espessura não maior que 30mm, elaborada com argamassa e nas quais se pode usar como armadura tela de aço soldada", entre outras.

As estruturas de argamassa armada não devem ser submetidas a temperaturas maiores que 50°C e não inferiores a -70°C.

A segurança das estruturas de argamassa armada deve ser verificada para os estados limites últimos (estados limites do primeiro grupo) e para os estados limites de utilização (estados limites do segundo grupo) de acordo com os critérios das normas soviéticas para concreto armado e protendido, atendo-se às particularidades especificadas pela SN 366.

O cálculo dessas estruturas deve ser feito analisando-se as possíveis combinações desfavoráveis das cargas, tendo em conta a duração de suas influências para todos os estados de trabalho da estrutura: construção, transporte, instalação e exploração.

2.2.2 Hipóteses de Cálculo

Para a determinação do momento fletor resistente de cálculo, das peças submetidas à flexão simples, no estado limite último (estado limite do primeiro grupo), a norma soviética SN 366-77, faz as indicações que seguem.

a) O cálculo da solicitação resistente deve ser feito para as seções normais ao eixo longitudinal e também para as seções

inclinadas a este na direção mais desfavorável e, além disto, é necessário verificar a ação local das cargas.

b) Se a distância entre os fios das telas for menor que dez vezes a espessura do elemento estrutural analisado, para efeito do cálculo do momento fletor resistente, a armadura deve ser considerada uniformemente distribuída na altura (alma) da seção transversal, com um coeficiente de correção para a armadura dado por:

-para a armadura disposta na região tracionada:

$$\alpha_{t1} = \alpha_t + \alpha_s \cdot \frac{f_{yd}}{f_{ydt}} \quad (2.26)$$

-para a armadura disposta na região comprimida:

$$\alpha'_{t1} = \alpha'_t + \alpha'_s \cdot \frac{f_{ycd}}{f_{ycdt}} \quad (2.27)$$

onde:

$$\alpha_t = \frac{A_{st}}{t} \quad e \quad \alpha'_t = \frac{A'_{st}}{t} \quad (2.28)$$

são os coeficientes de armação das telas, com A_{st} e A'_{st} iguais as áreas da seção de telas por unidade de comprimento, correspondente às regiões de tração e compressão, respectivamente.

Quando a distância entre os fios das telas for maior que dez vezes a espessura do elemento estrutural os fios (em uma mesma camada) das telas, e as barras ou fios complementares, devem ser considerados discretos conforme adotado pelo projeto de norma brasileira e, neste trabalho, já analisado no item 2.1.

c) A resistência à tração da argamassa é desprezada para o cálculo do momento fletor resistente no estado limite último.

d) Para cálculo da resultante de compressão na argamassa, a tensão de cálculo é σ_{cd} , considerada uniformemente distribuída na zona comprimida da seção.

e) As tensões, na armadura de telas posicionadas na zona comprimida da seção, se consideram constantes e não maiores que o valor de cálculo f_{ycdt} .

f) As tensões de tração na armadura de telas são consideradas constantes ao longo da altura da região tracionada ($h-x$) e não maiores que o valor de cálculo f_{ydt} .

Na figura 2.8 ilustra-se a distribuição de tensões na seção transversal de acordo com as hipóteses citadas.

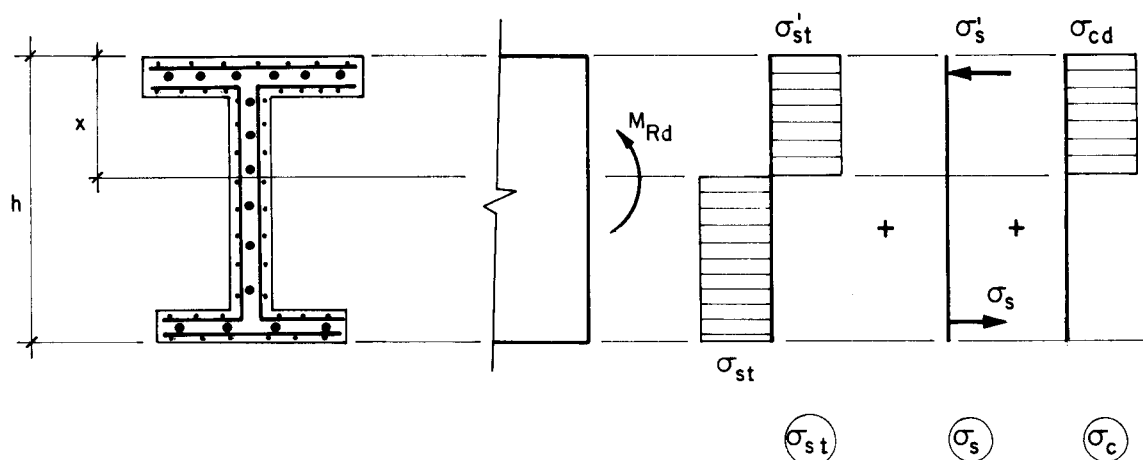


FIGURA 2.8 – FLEXÃO SIMPLES – ESQUEMA DE TENSÕES EM UMA SEÇÃO(SN 366/77)

De acordo com as normas soviéticas, segundo BAYKOV & SIGALOV [1980]⁴², as resistências de cálculo das armaduras complementares devem levar em conta os correspondentes coeficientes de condição de trabalho das armaduras (γ_i) adotado de conformidade com as normas soviéticas para concreto armado.

g) Reduzem-se as resistências das telas na zona comprimida, multiplicando-a por 0,75 quando a taxa de armadura de telas for superior a 1,5%.

h) O módulo de deformação longitudinal das telas deve ser adotado igual 150.000MPa, lembrando-se que as telas mais

utilizadas são de fios soldados ou entrelaçados, de diâmetro entre 0,05mm e 1,20mm, com malhas quadradas entre 6mm e 12mm.

O cálculo das seções normais ao eixo longitudinal do elemento estrutural, quando o momento fletor atua no plano do eixo de simetria, deve ser feito levando-se em conta a altura relativa da zona comprimida (β_x), determinada pelas condições de equilíbrio.

O momento fletor resistente é calculado com as expressões que foram deduzidas nos itens 2.1.3, 2.1.4 e 2.1.5 com as adaptações necessárias para levar em conta os diagramas de tensões da figura 2.8, quando a distância entre os fios longitudinais das telas for maior que dez vezes a espessura do elemento.

2.3 DETERMINAÇÃO DO MOMENTO FLETOR RESISTENTE DE CÁLCULO SEGUNDO AS ESPECIFICAÇÕES DO ACI 549.1R-88

2.3.1 Considerações Gerais

Analisa-se o critério e o roteiro para projeto de peças fletidas de argamassa armada indicados no "Guide for the design, construction, and repair of ferrocement"²⁴, que por sua vez, foi escrito com base no trabalho "State-of-the-art report on ferrocement"²⁵.

O guia prescreve indicações para armadura constituída por telas e fios de aço e para argamassa feita com cimento hidráulico.

2.3.2 Hipóteses de Cálculo

A análise da seção transversal de uma peça de argamassa armada submetida à ação de momento fletor, baseada nas deformações ou nas resistências de cálculo, é similar à análise feita para vigas de concreto armado, com a diferença que os fios de aço são distribuídos em várias camadas.

A figura 2.9 apresenta a distribuição de telas ao longo da

altura da seção transversal da peça e os diagramas de deformações e de tensões na argamassa e nos fios da tela.

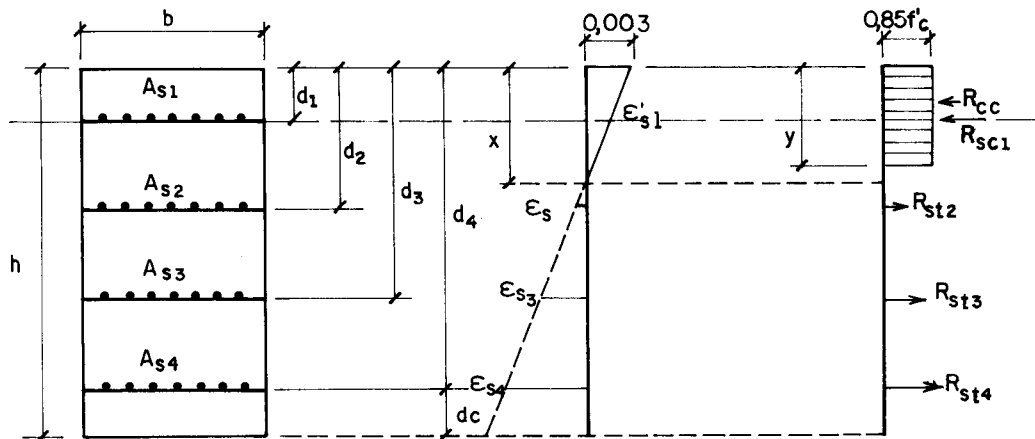


FIGURA 2.9 — DEFORMAÇÕES E TENSÕES NO ESTADO LIMITE ÚLTIMO EM SEÇÕES DE ARGAMASSA ARMADA (ACI 549.1R 88)

Para a determinação da resistência das peças de argamassa armada submetidas à flexão o ACI 549.1R-88 faz as seguintes indicações:

a) A resistência de cálculo, para qualquer seção transversal deve ser maior que a solicitação de cálculo, com os coeficientes de ponderação especificados pelo ACI 318M-83^{4a}.

b) A resistência de cálculo da armadura deve ser adotada igual a 450 MPa para as telas de aço soldadas. O módulo de deformação longitudinal pode ser adotado igual a 200.000MPa.

c) A distribuição de tensões nos fios das telas é linear, na região tracionada; na comprimida a distribuição de tensões na argamassa pode ser adotada retangular.

d) As deformações na argamassa e nos fios paralelos ao eixo axial das seções, são diretamente proporcionais à sua distância até a linha neutra.

e) A máxima deformação na argamassa armada deve ser

adotada igual a 3% com tensão de cálculo igual a $0,85f_{cd}$; essas indicações valem também para peças de concreto armado.

f) A resistência à tração da argamassa não deve ser considerada.

g) A distribuição de tensões na região comprimida é retangular com altura y definida em função do coeficiente β_1 que depende da resistência f'_c , a saber:

$$\beta_1 = 0,85 \quad \text{se} \quad f'_c \geq 282 \text{ MPa} \quad (2.30)$$

Para resistências acima de 282 MPa β_1 pode ser reduzido de 5% para cada 70 MPa; β_1 não pode ser tomado menor que 0,65.

A tensão de cálculo é adotada igual a:

$$\sigma_c = 0,85 \cdot f'_c \quad (2.31)$$

onde, f'_c é a resistência característica da argamassa.

h) A área de armadura de tela por camada considerada como resistente à tração é determinada pela expressão:

$$A_{si} = \eta \cdot V_{fi} \cdot A_c \quad (2.32)$$

onde:

A_{si} : área efetiva dos fios da tela por camada i .

η : fator de eficiência global da armadura de tela na direção considerada.

V_{fi} : fração do volume de armadura por camada de tela i .

A_c : área total de argamassa da seção transversal.

O fator de eficiência global η , depende do tipo de tela e da direção dos fios em relação ao plano de solicitação. Para telas de malhas quadradas, η é igual a 0,5 quando a carga é aplicada na direção de um plano que contém um dos eixos principais de inércia. Para os fios complementares, nestas condições, η é tomado igual a 1.

Notam-se que as hipóteses de cálculo indicadas no ACI 549.1R-88), coincidem com as hipóteses de cálculo estudadas no item 2.1 deste trabalho e preconizadas pela norma brasileira de argamassa armada da ABNT.

Lembra-se que essa identidade existe quando se utilizam telas de aço soldadas de malha retangular.

2.4 DETERMINAÇÃO DA FORÇA CORTANTE RESISTENTE DE CÁLCULO SEGUNDO AS ESPECIFICAÇÕES DA CE/ABNT

2.4.1 Equacionamento do problema

O projeto de norma de argamassa armada, prevê que no dimensionamento de peças fletidas submetidas a tensões tangenciais, oriundas da flexão (ou da torção), aplicam-se as prescrições da NBR 6118.

A NBR 6118 prescreve que o valor de cálculo da tensão convencional de cisalhamento no concreto, na alma das peças (tensão de referência) é dado pela expressão 2.33:

$$\tau_{wd} = \frac{V_d}{b_w \cdot d} \quad (2.33)$$

onde V_d é a força cortante de cálculo ($\gamma_f \cdot V_k$), b_w é a espessura da alma da viga e d é a altura útil. V_k é a força cortante característica e γ_f é o coeficiente de ponderação das ações dado pela NBR 8681.

Essa tensão não deve ser maior que o valor último da tensão de cálculo indicada na NBR 6118, dada pela expressão 2.34 e válida quando se utiliza armadura transversal perpendicular ao eixo da peça.

$$\tau_{wu} = 0,25 \cdot f_{cd} \leq 4,5 \text{MPa} \quad (2.34)$$

O anexo ao Projeto de Norma NBR 7197/88⁴⁴, que altera dispositivos da NBR 6118, prescreve como tensão última de cálculo, nos casos de peças lineares com $b_w \leq 5h$ com toda a

armadura transversal perpendicular ao eixo da peça, o seguinte valor:

$$\tau_{wu} = 0,30 \cdot f_{cd} \leq 4,5 \text{MPa} \quad (2.35)$$

Há um acréscimo nesse limite de 20% em relação ao valor da NBR 6118, porém, tanto nesta norma quanto no Anexo da NBR 7197/88, os limites absolutos são iguais a 4,5 MPa.

O cálculo da armadura transversal é feito, pela teoria clássica da treliça de Ritter - Morsch indicada na NBR 6118, com base na tensão τ_d dada por:

$$\tau_d = 1,15 \cdot \tau_{wd} - \tau_c \quad (2.36)$$

Onde τ_c é o valor da contribuição da argamassa comprimida na resistência da peça à força cortante, calculada pela expressão 2.37.

$$\tau_c = \psi_1 \cdot \sqrt{f_{ck}} \quad (\text{em MPa}) \quad (2.37)$$

ψ_1 é dado pela NBR 6118 em função de ρ_1 que é a menor taxa da armadura longitudinal de tração no trecho de comprimento $2h$, medido a partir da face do apoio.

Analisando os limites de ψ_1 , dados pela NBR 6118, em função de ρ_1 , pode-se montar uma equação de interpolação válida para $0,001 \leq \rho_1 \leq 0,015$, dada pela expressão 2.38.

$$\psi_1 = 0,05 \cdot \rho_1 + 0,065 \quad (\rho_1 \text{ em } \%) \quad (2.38)$$

Nos casos de flexão simples o Anexo do Projeto de Norma NBR 7197 [1988], prevê que τ_c deve ser calculado por:

$$\tau_c = 0,15 \cdot \sqrt{f_{ck}} \quad (\text{em MPa}) \quad (2.39)$$

A determinação da área da seção transversal da armadura, posicionada perpendicularmente ao eixo longitudinal da viga, é feita usando a expressão 2.40, obtida igualando-se a

resistência de cálculo na armadura ($A_{sw} \cdot f_{ywd}$) com a solicitação de cálculo na armadura ($\tau_d \cdot b_w \cdot s$).

$$\frac{A_{sw}}{s \cdot n} = \frac{\tau_d}{f_{ywd}} \cdot b_w \cdot \frac{100}{1} \cdot \frac{1}{n} \quad [\text{cm}^2/\text{m}] \quad (2.40)$$

Na expressão anterior, n é o número de ramos da armadura transversal e f_{ywd} é o valor da resistência de cálculo para a armadura transversal que é igual a resistência de cálculo do aço à tração e não maior que 435 MPa, segundo indicações da NBR 6118.

Chamando o primeiro membro da expressão 2.40 de a_{sw} , ou seja, área de armadura transversal por unidade de comprimento, em cm^2/m , já dividida pelo número de telas posicionados na alma da viga e, usando a expressão 2.33, pode-se escrever a expressão 2.41 que fornece o valor de V_d em função de τ_c , f_{ywd} , d , b_w , n e a_{sw} .

$$V_d = \frac{b_w \cdot d}{1,15} \left[\tau_c + \frac{a_{sw} \cdot n \cdot f_{ywd}}{100 \cdot b_w} \right] \quad (2.41)$$

Para cálculo de ρ_1 , e conseqüentemente de ψ_1 e τ_c , consideram-se a contribuição dos fios horizontais das telas posicionados no banzo tracionado da viga, desprezando-se, portanto, a contribuição dos fios longitudinais posicionados na alma.

A expressão 2.41 pode ser escrita como mostrado pela expressão 2.42, desde que o segundo termo do colchete seja substituído por τ_d determinado de 2.40.

$$V_d = \frac{b_w \cdot d}{1,15} \left[\tau_c + \tau_d \right] \quad (2.42)$$

Essas expressões foram incorporadas ao programa, que é apresentado no Apêndice 1.

2.5 DETERMINAÇÃO DA FORÇA CORTANTE RESISTENTE DE CÁLCULO SEGUNDO AS ESPECIFICAÇÕES DA SN 366-77

2.5.1 Caso em que há grande probabilidade de não aparecerem fissuras de cisalhamento

A resistência das seções inclinadas deve ser verificada para a argamassa comprimida entre fissuras inclinadas sob a ação de força cortante e para fissuras inclinadas sob a ação do momento fletor.

Para peças de argamassa armada, de alma de seção retangular, a segurança contra a ruptura da argamassa na região comprimida e posicionada entre fissuras inclinadas é verificada pela expressão:

$$V_d \leq 0,3 \cdot \alpha_w \cdot \alpha_c \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d \quad (2.43)$$

O coeficiente 0,3 leva em conta a influência do tipo de agregado que compõe a argamassa.

O coeficiente α_w , que pode ser calculado pela expressão 2.44, leva em conta a influência dos fios transversais das telas.

$$\alpha_w = 1 + 15 \cdot \frac{E_s}{E_c} \cdot \alpha_{tw} \quad (2.44)$$

Na expressão anterior α_{tw} é o coeficiente de armação da alma da viga determinado por:

$$\alpha_{tw} = \frac{A_{swtr}}{s_r \cdot b_w} + \frac{A_{swr} \cdot f_{yd}}{s_r \cdot b_w \cdot f_{ytd}} \quad (2.45)$$

onde:

A_{swtr} é a área da seção transversal dos fios transversais que compõem as telas e distribuídos ao longo do comprimento da fissura inclinada;

A_{swr} é a área da seção transversal dos fios ou barras transversais complementares e distribuídos ao longo do comprimento da fissura inclinada;

s_r é a posição, no plano vertical paralelo ao eixo da viga, da fissura inclinada, cuja inclinação é adotada igual a 45° .

O coeficiente α_c é determinado em função da resistência de cálculo da argamassa, pela fórmula:

$$\alpha_c = 1 - 0,01 \cdot f_{cd} \quad (2.46)$$

com f_{cd} em MPa.

2.5.2 Caso em que há possibilidade de aparecer fissuras de cisalhamento

A verificação da segurança das seções inclinadas, em relação ao eixo longitudinal da peça fletida, sob ação de força cortante, é feita a partir da condição:

$$V_d \leq V_t + V_c \quad (2.47)$$

onde, V_d é a força cortante de cálculo, V_t é a parcela da força cortante absorvida pelos fios transversais das telas que passam pela fissura inclinada, V_c é a parcela absorvida pela região comprimida da argamassa na seção inclinada.

O valor de V_t é determinado por:

$$V_t = \frac{f_{ytd} \cdot \alpha_{tw} \cdot b_w}{\text{sen} [90^\circ - \beta]} \cdot s_r \quad (2.48)$$

onde, β é o ângulo de inclinação da alma do elemento com relação ao eixo vertical contendo a seção transversal do elemento.

A contribuição da argamassa comprimida (V_c) é determinada pela expressão 2.49:

$$V_c = \frac{0,75 \cdot f_{td} \cdot b_w \cdot h^2}{s_r \cdot \text{sen} [90^\circ - \beta]} \quad (2.49)$$

A SN 366-77 permite adotar $s_r = h - h_{fs} - h_{fi}$ quando a zona comprimida da viga se encontra na mesa superior.

OBSERVAÇÃO:

O guia norte-americano e as recomendações italianas não fornecem indicações diretas para o cálculo da força cortante resistente. Remetem, essa verificação, para as indicações apresentadas nas respectivas normas de concreto armado.

3. VERIFICAÇÃO DOS ESTADOS LIMITES DE UTILIZAÇÃO

3.1 CÁLCULO DAS TENSÕES NO ESTÁDIO II

3.1.1 Generalidades

As verificações dos estados limites de utilização - estado de fissuração inaceitável e estado de deformação excessiva - são feitas considerando os carregamentos e, portanto, as solicitações de serviço previstas para o uso normal das peças fletidas.

As combinações das solicitações com as quais se verificam os estados limites de utilização são dados pela NBR 8681.

Supondo peça fissurada, em serviço, a rigidez a considerar é calculada com o momento de inércia determinado com as hipóteses do Estádio II.

As hipóteses de cálculo adotadas são as do Método Clássico aplicadas às peças fletidas de concreto armado que supõe o material homogêneo, isotrópico e elástico.

Há necessidade, portanto, de se homogeneizar a seção transversal multiplicando as áreas de armadura por:

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_c} \quad (3.1)$$

A área de concreto homogeneizada fica:

$$A_{ch} = \alpha_e \cdot A_s + A_c \quad (3.2)$$

A seção homogeneizada é uma seção ideal com um só módulo de deformação longitudinal - E_c , sendo esta seção composta da área de concreto acrescida de α_e vezes a área da seção transversal da armadura.

Desse modo pode-se analisar a seção transversal, submetida à ação do momento fletor (M_d), com o qual se verifica os estados limites de utilização e calculando com as indicações da NBR 6118, usando-se as equações deduzidas com os critérios apresentados pela Resistência dos Materiais.

Na verificação do estado de fissuração inaceitável deve-se calcular a tensão (σ_s) na armadura mais próxima da borda tracionada e na verificação do estado de deformação excessiva deve-se calcular o momento de inércia; em ambos os casos supondo a peça em serviço, isto é, no estágio II - peça fissurada e distribuição linear de tensões na região comprimida da viga.

As deduções para as afirmações e equações apresentadas a seguir podem ser encontradas em AMARAL [1973].⁴⁵

A tensão na armadura é dada pela expressão:

$$\sigma_s = \frac{\alpha_e \cdot M_d}{I_{II}} \cdot (d - x_{II}) \quad (3.3)$$

onde:

I_{II} é o momento de inércia da seção transversal calculado em relação à posição da linha neutra no estágio II;

d é a distância do centro geométrico da área da armadura longitudinal, mais próxima da borda tracionada, até a borda comprimida.

A posição da linha neutra é determinada sabendo-se que ela "passa pelo centro de gravidade da seção homogeneizada (A_{ch})", e que "o momento estático da seção de concreto acrescido do momento estático de α_e vezes a seção da armadura é igual a zero" (AMARAL [1973]).⁴⁵

Considerando uma viga de argamassa armada de seção transversal duplo T, com armação constituída por telas de aço e por armadura complementar de fios ou barras de aço localizada na borda tracionada, a posição da linha neutra no estágio II pode estar na mesa comprimida, na alma ou na mesa tracionada.

Para as deduções que seguem, usam-se as convenções adotadas no capítulo 2 deste trabalho.

3.1.2 Caso em que a linha neutra se localiza na mesa comprimida (superior)

A equação que fornece a posição da linha neutra no estágio II para a seção duplo T é a seguinte :

$$\frac{b_{fs}}{2} \cdot x^2 + \alpha_e \cdot \left[A_s + A_t \cdot (n_{ss} + n_{si} + n_{sj} \cdot n + n_{is} + n_{ii}) \right] \cdot x - \alpha_e \cdot \left\{ A_s \cdot d + A_t \cdot \left[n_{ii} \cdot (h - d') + n_{is} \cdot (h - h_{fs} + d') + n_{sj} \cdot \sum_{j=1}^n d_j + n_{si} \cdot (h_{fs} - d') + n_{ss} \cdot d' \right] \right\} = 0 \quad (3.4)$$

O valor do momento de inércia, no caso da linha neutra passar pela mesa superior, é dado por:

$$I_{II} = \frac{b_{fs} \cdot x^3}{12} + \frac{b_{fs} \cdot x^3}{4} + \alpha_e \cdot n_{ss} \cdot A_t \cdot (d' - x)^2 + \alpha_e \cdot n_{si} \cdot A_t \cdot (h_{fs} - d' - x)^2 + \alpha_e \cdot A_t \cdot n_{sj} \cdot \sum_{j=1}^n (d_j + x)^2 + \alpha_e \cdot n_{is} \cdot A_t \cdot (h - h_{fi} + d' - x)^2 + \alpha_e \cdot A_s \cdot (d - x)^2 + \alpha_e \cdot n_{ii} \cdot A_t \cdot (h - d' - x)^2 \quad (3.5)$$

3.1.3 Caso em que a linha neutra se localiza na alma

A posição da linha neutra é determinada pela expressão:

$$\begin{aligned}
& \frac{b_w}{2} \cdot x^2 + \left\{ \alpha_e \cdot \left[A_s + A_t \cdot (n_{ss} + n_{si} + n_{sj} \cdot n + n_{is} + \right. \right. \\
& \left. \left. + n_{ii}) \right] + h_{fs} \cdot (b_{fs} - b_w) \right\} \cdot x - \alpha_e \cdot \left[A_s \cdot d + A_t \cdot (n_{ss} \cdot d' + \right. \\
& \left. + n_{si} \cdot (h_{fs} - d') + n_{sj} \cdot \sum_{j=1}^n d_j + n_{is} \cdot (h - h_{fi} + d') + n_{ii} \cdot \right. \\
& \left. \cdot (h - d') \right] + \frac{h_{fs}^2}{2} \cdot (b_w - b_{fs}) = 0 \quad (3.6)
\end{aligned}$$

A expressão com a qual se calcula o valor do momento de inércia fica:

$$\begin{aligned}
I_{II} = & \frac{b_{fs} \cdot h_{fs}^3}{12} + b_{fs} \cdot h_{fs} \cdot \left(x - \frac{h_{fs}}{2} \right)^2 + \frac{b_w \cdot (x - h_{fs})^3}{12} + \\
& + \frac{b_w \cdot (x - h_{fs})^3}{12} + \frac{b_w \cdot (x - h_{fs})^3}{4} + \alpha_e \cdot n_{ss} \cdot A_t \cdot (d' - x)^2 + \\
& + \alpha_e \cdot n_{si} \cdot A_t \cdot (h_{fs} - d' - x)^2 + \alpha_e \cdot A_t \cdot n_{sj} \cdot \\
& \cdot \sum_{j=1}^n (d_j - x)^2 + \alpha_e \cdot n_{is} \cdot A_t \cdot (h - h_{fi} + d' - x)^2 + \\
& + \alpha_e \cdot A_s \cdot (d - x)^2 + \alpha_e \cdot n_{ii} \cdot A_t \cdot (h - d' - x)^2 \quad (3.7)
\end{aligned}$$

3.1.4 Caso em que a linha neutra se localiza na mesa tracionada (inferior)

A posição da linha neutra, no estágio II, quando ela se localiza na mesa tracionada é dada por:

$$\begin{aligned}
& \frac{b_{fi}}{2} \cdot x^2 + \left\{ \alpha_e \cdot \left[A_s + A_{st} \cdot (n_{ss} + n_{si} + n_{sj} \cdot n + n_{is} + \right. \right. \\
& \left. \left. + n_{ii}) \right] + b_w \cdot (h - h_{fs} - h_{fi}) + h_{fs} \cdot b_{fs} + b_{fi} \cdot h_{fi} - b_{fi} \cdot \right. \\
& \left. \cdot h \right\} \cdot x - \alpha_e \cdot \left\{ A_s \cdot d + A_{st} \cdot \left[n_{ii} \cdot (h - d') + n_{is} \cdot (h + \right. \right.
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& - h_{fi} + d') + n_{sj} \cdot \sum_{j=1}^n d_j + n_{si} \cdot (h_{fs} - d') + n_{ss} \cdot d') \Big] \Big\} + \\
& + \frac{h_{fs}}{2} \cdot (b_w - b_{fs}) + (b_{fi} - b_w) \cdot (h_{fi} - h)^2 \cdot \frac{1}{2} = 0 \quad (3.8)
\end{aligned}$$

O cálculo do momento de inércia é feito pela expressão:

$$\begin{aligned}
I_{II} = & \frac{(b_{fs} - b_w) \cdot h_{fs}^3}{12} + (b_{fs} - b_w) \cdot h_{fs} \cdot \left(x - \frac{h_{fs}}{2}\right)^2 + \\
& + \frac{b_w \cdot x^3}{12} + \frac{b_w \cdot x^3}{4} + \frac{(b_{fi} - b_w) \cdot [h_{fi} - (h-x)]^3}{12} + \\
& + \frac{(b_{fi} - b_w) \cdot (h_{fi} - h + x)^3}{4} + \alpha_e \cdot n_{ss} \cdot A_{st} \cdot (d' - x)^2 + \\
& + \alpha_e \cdot n_{si} \cdot A_{st} \cdot (h_{fs} - d' - x)^2 + \alpha_e \cdot A_{st} \cdot n_{sj} \cdot \\
& \cdot \sum_{i=1}^n (d_j - x)^2 + \alpha_e \cdot n_{is} \cdot A_{st} \cdot (h - h_{fi} + d' - x)^2 + \alpha_e \cdot \\
& \cdot A_s \cdot (d - x)^2 + \alpha_e \cdot n_{ii} \cdot A_{st} \cdot (h - d' - x)^2 \quad (3.9)
\end{aligned}$$

3.1.5 Solução para o sistema de equações

A determinação da linha neutra no Estádio II é feita adotando-se inicialmente uma das três posições possíveis - mesa comprimida, alma e mesa tracionada. Se o valor obtido por uma das três equações deduzidas for compatível com a hipótese adotada este valor é o real.

Para o cálculo do Momento de Inércia da seção transversal no Estádio II, desprezou-se o valor do momento de inércia da seção transversal da armadura, quando calculado em relação ao eixo que passa pelo seu centro geométrico.

3.2 VERIFICAÇÃO DO ESTADO LIMITE DE FORMAÇÃO DE FISSURAS COM OS CRITÉRIOS DA CE/ABNT

3.2.1 Considerações Gerais

Com relação à verificação do estado de formação de fissuras, para peças fletidas, o projeto de norma de argamassa armada adotou as indicações da NBR 6118 edição de 1980.

O momento fletor de fissuração teórico, calculado com aquelas hipóteses, resultou próximo do momento fletor de fissuração experimental observado em ensaios realizados por Marquês de Collo [1987]³⁸ e Nader [1987]³⁹ e, posteriormente, analisados por Giongo [1988]⁴⁰.

3.2.2 Hipóteses de Cálculo

O cálculo do momento fletor de fissuração (M_r), o qual se atingido na seção transversal estudada haverá uma grande probabilidade de iniciar-se a formação de fissuras normais à armadura longitudinal de tração, será feito com as hipóteses da NBR 6118.

Essas hipóteses, com as quais se elaboram as equações do chamado estágio Ib (Amaral [1973]⁴⁵), para peças de concreto armado submetidos à flexão, são as seguintes (Figura 3.1):

- a) a deformação de ruptura à tração do concreto (argamassa) é igual a $2,7 \cdot f_{tk}/E_c$;

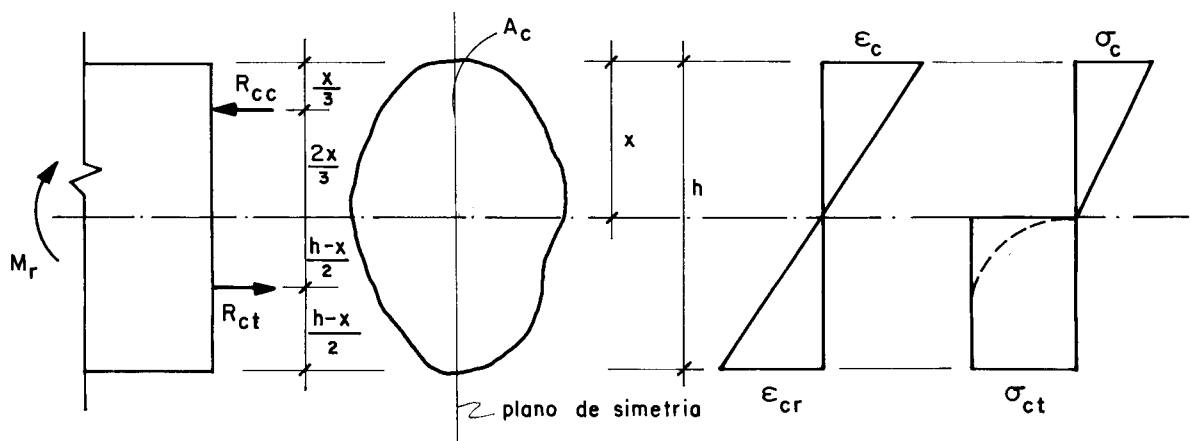


FIGURA 3.1 – ESTADO DE FORMAÇÃO DE FISSURAS

- b) na flexão, o diagrama de tensões de compressão no concreto 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;

d) o efeito da retração, como simplificação, pode ser considerado supondo-se a tensão de tração igual a $0,75 f_{tk}$ e desprezando-se a armadura.

Considerando as indicações das alíneas a), b), c) e d) a deformação de ruptura à tração da argamassa - ε_{cr} (expressão 3.10) e a tensão de tração - σ_{cr} (expressão 3.11) ficam, respectivamente iguais a:

$$\varepsilon_{cr} = 1,5 \cdot 2,7 \cdot 0,75 \cdot \frac{f_{tk}}{E_c} \quad (3.10)$$

$$\sigma_{cr} = 0,75 \cdot f_{tk} \quad (3.11)$$

De acordo com o Projeto de Norma de Argamassa Armada o módulo de deformação longitudinal da argamassa, quando não houver determinação experimental, pode ser adotado igual ao valor prescrito pela NBR 6118 minorando-o em 20% (GORISSE [1972]⁴⁷) resultando (expressão 3.12):

$$E_{c,arg} = 0,8 \cdot E_{c,conc} \quad (3.12)$$

Sendo o módulo secante do concreto igual a 85% do módulo na origem dado pela NBR 6118, a expressão 3.12 pode ser escrita do seguinte modo (expressão 3.13):

$$E_c = 0,8 \cdot 0,85 \cdot 6.600 \cdot \sqrt{f_{ck} + 3,5} \quad (\text{em MPa}) \quad (3.13)$$

Com a hipótese c) e com o diagrama de compatibilidade de deformações, da Figura 3.1, obtém-se a equação 3.14, com a qual calcula-se ε_c em função de ε_{cr} .

$$\frac{\varepsilon_c}{x} = \frac{\varepsilon_{cr}}{h-x} \quad (3.14)$$

Com a deformação ε_{cr} definida em 3.10 e substituindo-a em 3.14, a deformação da argamassa armada na região comprimida

fica dada pela expressão 3.15 :

$$\varepsilon_c = 1,5 \cdot 2,7 \cdot 0,75 \cdot \frac{f_{tk}}{E_c} \cdot \frac{x}{h-x} \quad (3.15)$$

A tensão de compressão na argamassa (σ_c) é igual ao produto do módulo de deformação longitudinal da argamassa (E_c) pela respectiva deformação (ε_c), resultando a equação (3.16):

$$\sigma_c = 1,5 \cdot 2,7 \cdot 0,75 \cdot f_{tk} \cdot \frac{x}{h-x} \quad (3.16)$$

A resistência característica à tração em função da resistência característica à compressão, quando não houver determinação experimental, pode ser calculada pela expressão (3.17) :

$$f_{tk} = 0,06 \cdot f_{ck} + 0,7 \quad (\text{em MPa}) \quad (3.17)$$

Essa expressão é indicada pela NBR 6118, quando $f_{ck} > 18$ MPa.

Com essas hipóteses montam-se equações de equilíbrio para as forças normais e compatibilidade de deformações que, convenientemente desenvolvidas, fornecem a posição da linha neutra (x) e o valor do momento fletor de fissuração (M_r) no estágio Ib.

Considerando uma seção transversal constituída por mesa superior, alma e mesa inferior, a exemplo do que se fez no capítulo anterior, desprezando-se a contribuição das armaduras, e, conhecendo-se a resistência à tração da argamassa, pode-se determinar o valor do momento fletor de fissuração (M_r).

Nos itens seguintes efetuam-se as deduções das equações que fornecem o valor do momento fletor de fissuração, para seções duplo T, ou a elas transformáveis, analisando-se os três casos possíveis para a posição da linha neutra: linha neutra posicionada na mesa comprimida -superior- (3.2.3), na alma (3.2.4) e na mesa inferior (3.2.5).

A posição da linha neutra é determinada fazendo-se a soma das forças axiais que agem na seção transversal igual a zero.

O momento fletor de fissuração (M_r) é facilmente calculado, determinando-se o momento resultante das forças axiais elegendo-se para polo um ponto conveniente na seção transversal.

3.2.3 Caso em que a linha neutra se localiza na mesa comprimida (superior)

Quando a linha neutra se localiza na mesa comprimida-superior, isto é $x_r \leq h_{fs}$, a resultante de compressão na argamassa armada está aplicada a $x_r/3$ a partir da borda mais comprimida. Para efeito de dedução das equações, a resultante de tração na argamassa R_{ct} , pode ser dividida em: R_{ctfs} , resultante de tração na mesa superior; R_{ctw} , resultante de tração atuante na alma da viga e R_{ctfi} , resultante de tração na mesa inferior.

As resultantes de compressão e de tração na argamassa podem ser calculadas pelas expressões 3.18, 3.19, 3.20 e 3.21.

$$R_{cc} = \sigma_c \cdot \frac{b_{fs} \cdot x}{2} \quad (3.18)$$

$$R_{ctfs} = \sigma_{ct} \cdot (b_{fs} - b_w) \cdot (h_{fs} - x) \quad (3.19)$$

$$R_{ctw} = \sigma_{ct} \cdot b_w \cdot (h - x) \quad (3.20)$$

$$R_{ctfi} = \sigma_{ct} \cdot (b_{fi} - b_w) \cdot h_{fi} \quad (3.21)$$

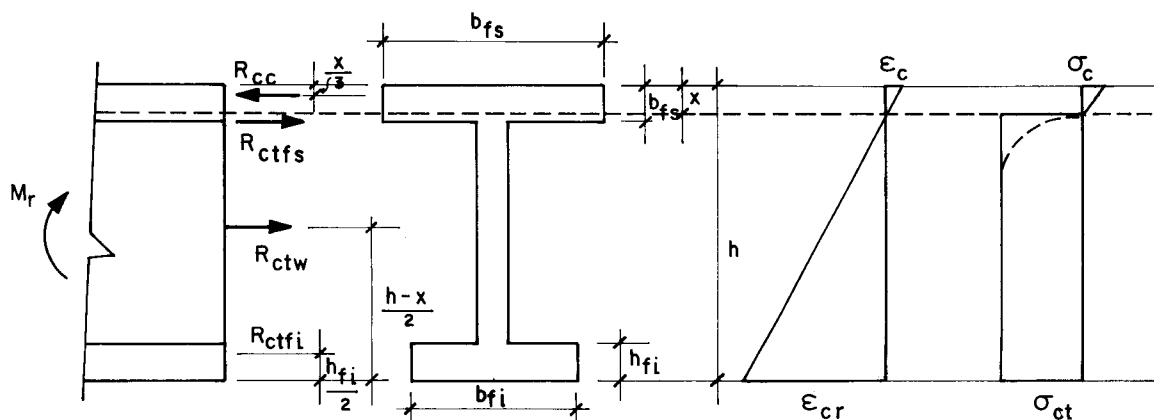


FIGURA 3.2 - MOMENTO DE FISSURAÇÃO - LN NA MESA SUPERIOR

A equação que fornece o valor da linha neutra fica determinada ao se verificar o equilíbrio interno da seção transversal com relação às forças axiais, resultando (3.22):

$$R_{cc} = R_{ctfs} + R_{ctw} + R_{ctfi} \quad (3.22)$$

Substituindo os valores de σ_{ct} e σ_{cc} , dados pelas expressões 3.10 e 3.16 respectivamente, nas expressões 3.18, 3.19, 3.20, 3.21 e, posteriormente, substituindo na expressão 3.22 resulta a equação 3.23 com a qual se determina a posição da linha neutra quando $x \leq h_{fs}$.

Assim sendo, resulta:

$$1,025 \cdot b_{fs} \cdot x^2 + \left[(b_{fs} - b_w) \cdot (h_{fs} + h) + h_{fi} \cdot (b_{fi} - b_w) \right] \cdot x + (b_w - b_{fs}) \cdot h \cdot h_{fs} - b_w \cdot h^2 + (b_w - b_{fi}) \cdot h \cdot h_{fi} = 0 \quad (3.23)$$

O momento fletor de fissuração (M_r) é calculado sabendo-se que o momento das resultantes de tração (e compressão), calculados em relação a um polo qualquer, está em equilíbrio com o momento M_r .

Elegendo para polo o ponto de aplicação da resultante R_{cc} (Figura 3.2), isto é, à distância $x/3$ da borda mais comprimida, a expressão que fornece o valor do momento fletor de fissuração fica:

$$M_r = R_{ctfs} \cdot \left[\frac{h_{fs} - x}{2} + \frac{2}{3} \cdot x \right] + R_{ctw} \cdot \left[h - \frac{h - x}{2} + \frac{x}{3} \right] + R_{ctfi} \cdot \left[h - \frac{h_{fi}}{2} - \frac{x}{3} \right] \quad (3.24)$$

Substituindo na expressão (3.24) as expressões 3.19, 3.20 e 3.21, que fornecem os valores das resultantes de tração que atuam na mesa superior, na alma e na mesa inferior, respectivamente, resulta a expressão 3.25 que fornece o valor do momento fletor de fissuração (M_r), no caso particular da linha neutra se encontrar na mesa superior da seção transversal

da viga.

$$\begin{aligned}
 M_r = & 0,75 \cdot f_{tk} \cdot \left[(b_{fs} - b_w) \cdot (h_{fs} - x) \cdot \left(\frac{3h_{fs} + x}{6} \right) + \right. \\
 & + b_w \cdot (h - x) \cdot \left(\frac{3h + x}{6} \right) + (b_{fi} - b_w) \cdot h_{fi} \cdot \\
 & \left. \cdot \left(\frac{6h - 3h_{fi} - 2x}{6} \right) \right] \quad (3.25)
 \end{aligned}$$

3.2.4 Caso em que a linha neutra se localiza na alma

No caso em que $h_{fs} < x < h - h_{fs}$, ou seja, a linha se encontra na alma da viga, o procedimento, para determinação do momento fletor de fissuração (M_r), segue o mesmo roteiro que o desenvolvimento no item 3.2.3.

A resultante de tração na argamassa pode ser dividida em R_{ctw} que atua na alma da viga e R_{ctfi} que age na mesa inferior. A resultante de compressão, que atua na região comprimida da viga, pode ser separada em R_{ccfs} que atua na mesa superior e R_{ccw} que atua na alma.

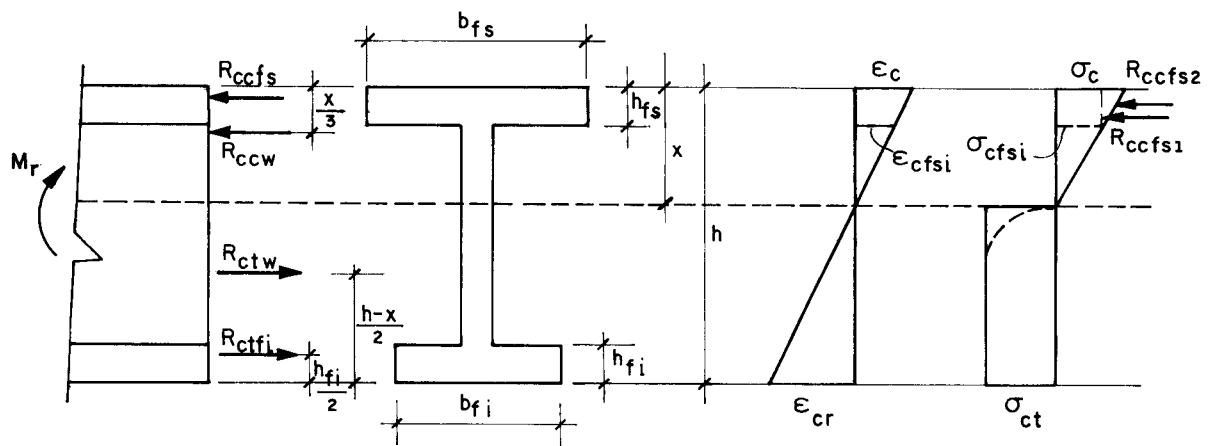


FIGURA 3.3 — MOMENTO DE FISSURAÇÃO — LN NA ALMA

As resultantes (Figura 3.3) podem ser calculadas pelas expressões seguintes:

$$R_{ccfs1} = \sigma_{cfsi} \cdot (b_{fs} - b_w) \cdot h_{fs} \quad (3.26)$$

$$R_{ccfsz} = (\sigma_c - \sigma_{cfsi}) \cdot h_{fs} \cdot \frac{1}{2} \cdot (b_{fs} - b_w) \quad (3.27)$$

$$R_{ccw} = \sigma_c \cdot b_w \cdot x \cdot \frac{1}{2} \quad (3.28)$$

$$R_{ctw} = \sigma_{ct} \cdot b_w \cdot (h - x) \quad (3.29)$$

$$R_{ctfi} = \sigma_{ct} \cdot (b_{fi} - b_w) \cdot h_{fi} \quad (3.30)$$

Nas expressões 3.26 e 3.27 a tensão de compressão na argamassa junto à face inferior da mesa comprimida pode ser calculada por:

$$\sigma_{cfsi} = \sigma_c \cdot \frac{x - h_{fs}}{x} \quad (3.31)$$

A resultante na argamassa comprimida na mesa superior foi separada em R_{ccfs1} , que é a contribuição do retângulo de lados σ_{cfs1} e h_{fs} , e, R_{ccfs2} , que é a contribuição do triângulo retângulo de catetos $(\sigma_c - \sigma_{cfs1})$ e h_{fs} , conforme mostrado no diagrama de tensões da figura 3.3.

Portanto, substituindo 3.31 em 3.26 e 3.27 resulta:

$$R_{ccfs1} = \sigma_c \cdot \frac{(x - h_{fs})}{x} \cdot (b_{fs} - b_w) \cdot h_{fs} \quad (3.32)$$

$$R_{ccfs2} = \sigma_c \cdot \frac{h_{fs}^2}{2x} \cdot (b_{fs} - b_w) \quad (3.33)$$

A posição da linha neutra é determinada igualando-se a resultante de compressão à de tração, resultando:

$$R_{ccfs1} + R_{ccfs2} + R_{ccw} = R_{ctw} + R_{ctfi} \quad (3.34)$$

Substituindo σ_{ct} e σ_c , dados pelas expressões 3.10 e 3.16, respectivamente, nas expressões 3.26, 3.27, 3.28, 3.29, 3.30, obtém-se os valores das resultantes em função da resistência à tração da argamassa e da geometria da seção transversal.

Com as resultantes assim calculadas e substituindo os seus valores em 3.34 obtém-se a equação 3.35 que fornece o valor da

linha neutra para este caso.

$$\begin{aligned}
 & 1,025 b_w \cdot x^2 + \left[4,05 \cdot h_{fs} \cdot (b_{fs} - b_w) + 2 \cdot b_w \cdot h + h_{fi} \cdot \right. \\
 & \left. \cdot (b_{fi} - b_w) \right] \cdot x - 2,025 \cdot h_{fs}^2 \cdot (b_{fs} - b_w) - b_w \cdot h^2 + h \cdot \\
 & \cdot h_{fi} \cdot (b_w + - b_{fi}) = 0 \quad (3.35)
 \end{aligned}$$

O momento fletor de fissuração (M_r) fica determinado montando-se a equação de equilíbrio interno do momento M_r e dos momentos das resultantes de compressão e de tração na argamassa.

Elegendo para polo o ponto de aplicação de R_{cw} (Figura 3.3), obtém-se:

$$\begin{aligned}
 M_r = & R_{ccfs1} \cdot \left[\frac{x}{3} - \frac{h_{fs}}{2} \right] + R_{ccfs2} \cdot \left[\frac{x}{3} - \frac{h_{fs}}{3} \right] + R_{ctw} \cdot \\
 & \cdot \left[h - \frac{h-x}{2} - \frac{x}{3} \right] + R_{ctfi} \cdot \left[h - \frac{h_{fi}}{2} - \frac{x}{3} \right] \quad (3.36)
 \end{aligned}$$

Substituindo em 3.36 as expressões com as quais se calculam as resultantes, vem:

$$\begin{aligned}
 M_r = & 0,75 \cdot f_{tk} \cdot \left[4,05 \cdot \frac{(x - h_{fs})}{(h - x)} \cdot \frac{(2x - 3h_{fs})}{6} \cdot (b_{fs} + \right. \\
 & \left. - b_w) \cdot h_{fs} + 2,025 \cdot \frac{h_{fs}^2}{h - x} \cdot (b_{fs} - b_w) \cdot \right. \\
 & \left. \cdot \left(\frac{x - h_{fs}}{3} \right) + b_w \cdot (h - x) \cdot \left(\frac{3h + x}{6} \right) + (b_{fi} - b_w) \cdot \right. \\
 & \left. \cdot h_{fi} \cdot \left[\frac{6h - 3h_{fi} - 2x}{6} \right] \right] \quad (3.37)
 \end{aligned}$$

3.2.5 Caso em que a linha neutra se localiza na mesa tracionada (inferior)

Se a linha neutra estiver na mesa inferior ($h - h_{fi} \leq x \leq h$) as expressões com as quais se determinam o seu valor e o do

momento fletor de fissuração são deduzidas como a seguir se expõe.

As deduções são feitas na mesma sequência que as utilizadas nos itens anteriores.

As resultantes de compressão e de tração, as quais equilibram a ação do momento fletor de fissuração (M_r), têm as posições indicadas na Figura 3.4 e, são calculadas pelas expressões seguintes:

$$R_{ccfs1} = \sigma_{cfsi} \cdot (b_{fs} - b_w) \cdot h_{fs} \quad (3.38)$$

$$R_{ccfs2} = (\sigma_c - \sigma_{cfsi}) \cdot (b_{fs} - b_w) \cdot h_{fs} \cdot \frac{1}{2} \quad (3.39)$$

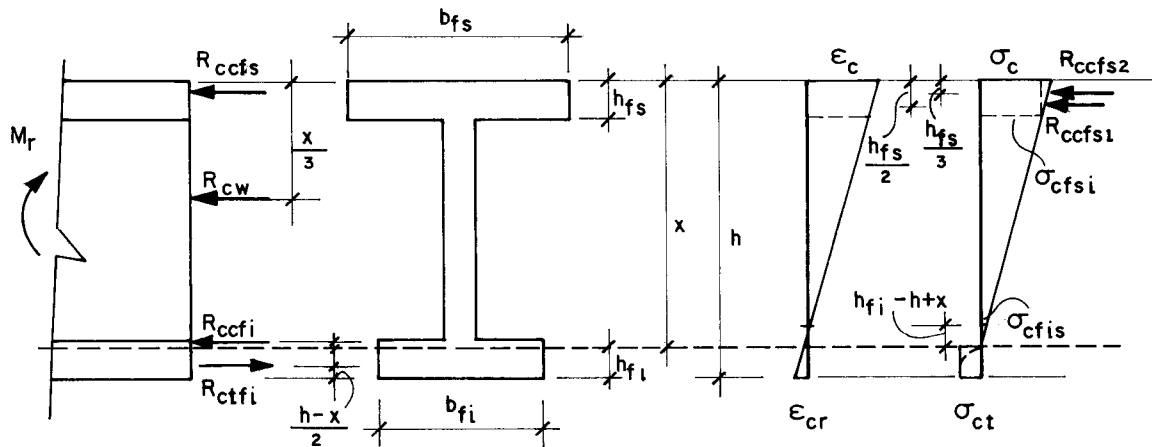


FIGURA 3.4 — MOMENTO DE FISSURAÇÃO — LN NA MESA INFERIOR

Considerando a expressão 3.31 vem:

$$R_{ccfs1} = \sigma_c \cdot \frac{(x - h_{fs})}{x} \cdot (b_{fs} - b_w) \cdot h_{fs} \quad (3.40)$$

$$R_{ccfs2} = \sigma_c \cdot (b_{fs} - b_w) \cdot h_{fs}^2 \cdot \frac{1}{2x} \quad (3.41)$$

As demais resultantes de compressão ficam:

$$R_{ccw} = \sigma_c \cdot b_w \cdot x \cdot \frac{1}{2} \quad (3.42)$$

$$R_{ccfi} = \sigma_{cfis} \cdot (b_{fi} - b_w) \cdot (h_{fi} - h + x) \cdot \frac{1}{2} \quad (3.43)$$

A tensão de compressão na mesa tracionada (inferior), junto à face superior desta mesa, pode ser calculada pela expressão 3.44.

$$\sigma_{cfis} = \sigma_c \cdot \left[\frac{h_{fi} - h + x}{x} \right] \quad (3.44)$$

Substituindo em 3.43 obtém-se:

$$R_{ccfi} = \sigma_c \cdot (b_{fi} - b_w) \cdot (h_{fi} - h + x)^2 \cdot \frac{1}{2x} \quad (3.45)$$

A resultante de tração é calculada com:

$$R_{ctfi} = \sigma_{ct} \cdot (h - x) \cdot h_{fi} \quad (3.46)$$

A posição da linha neutra é determinada verificando-se o equilíbrio das forças normais à seção transversal, resultando:

$$R_{ccfs1} + R_{ccfs2} + R_{ccw} + R_{ccfi} = R_{ctfi} \quad (3.47)$$

Substituindo nas expressões anteriores os valores de σ_{ct} (3.10) e σ_c (3.16), obtém-se a equação 3.48 que fornece o valor da posição da linha neutra para este caso.

$$\begin{aligned} & \left[2,025 \cdot b_{fi} - h_{fi} \right] \cdot x^2 + 4,05 \cdot \left[(h_{fi} - h) \cdot (b_{fi} - b_w) + \right. \\ & \left. + h_{fs} \cdot (b_{fs} - b_w) + 2 \cdot h \cdot h_{fi} \right] \cdot x + 4,05 \cdot \left[- \frac{h_{fs}^2}{2} \cdot \right. \\ & \left. \cdot (b_{fs} - b_w) + \frac{1}{2} \cdot (b_{fi} - b_w) \cdot (h_{fi} - h)^2 \right] - h^2 \cdot h_{fi} = 0 \end{aligned} \quad (3.48)$$

A expressão 3.49 com a qual se calcula o momento fletor de fissuração (M_r), quando a linha neutra passa pela mesa inferior, é obtida verificando-se o equilíbrio interno, calculando os momentos das resultantes em relação ao ponto de aplicação de R_{cw} (Figura 3.4).

$$\begin{aligned} M_r = & R_{ccfs1} \cdot \left[\frac{x}{3} - \frac{h_{fs}}{2} \right] + R_{ccfs2} \cdot \left[\frac{x}{3} - \frac{h_{fs}}{3} \right] - R_{ccfi} \cdot \\ & \cdot \left[h - \frac{x}{3} - h_{fi} + \frac{1}{3} \cdot (h_{fi} - h + x) \right] + R_{ctfi} \cdot \left[h + \right. \end{aligned}$$

$$- \frac{x}{3} + \frac{h-x}{2}] \quad (3.49)$$

Substituindo em 3.49 as expressões que fornecem os valores das resultantes para este caso, obtém-se:

$$M_r = 4,05 \cdot 0,75 \cdot f_{tk} \cdot \frac{x}{(h-x)} \cdot \left\{ (b_{fs} - b_w) \cdot \left[\frac{(x - h_{fs})}{x} \cdot h_{fs} \cdot \left[\frac{x}{3} - \frac{h_{fs}}{2} \right] + \frac{h_{fs}^2}{2x} \cdot \left[\frac{x}{3} - \frac{h_{fs}}{3} \right] \right] + \frac{(b_{fi} - b_w)}{x} \cdot \frac{(h - h_{fi})}{3} \cdot (h_{fi} - h + x)^2 \right\} + 0,75 \cdot f_{tk} \cdot (h - x) \cdot h_{fi} \cdot \left[\frac{3 \cdot h + x}{6} \right] \quad (3.50)$$

3.2.6 Rotina de Cálculo

As deduções anteriores foram feitas imaginando-se a linha neutra na mesa superior, na alma e na mesa inferior da seção genérica em forma de duplo T. As equações, para os três casos, com as quais se calcula a posição da linha neutra, dependem apenas das dimensões e da forma da seção transversal; para cálculo do momento fletor de fissuração, além das dimensões é necessário conhecer a resistência característica à tração da argamassa.

Ao se fazer a verificação do estado de formação de fissuras para uma viga de argamassa armada, adota-se inicialmente, por exemplo, a linha neutra na alma. Ao se calcular a posição da linha neutra, com o equacionamento assim deduzido, analisam-se as raízes da equação de segundo grau. Se a solução for compatível com o inicialmente adotado, calcula-se o valor do momento fletor de fissuração da viga. Se a solução for absurda (por exemplo, duas raízes negativas, ou determinante da equação do segundo grau negativo) a posição da linha neutra inicialmente adotada não é verdadeira. E, portanto, reinicia-se a verificação adotando, por exemplo, a

linha neutra na mesa superior, usando o respectivo equacionamento.

3.3 VERIFICAÇÃO DO ESTADO DE FORMAÇÃO DE FISSURAS COM OS CRITÉRIOS SN 366/77

A norma soviética indica a seguinte expressão para cálculo do momento de fissuração:

$$M_r = W_r \cdot f_{td, serv} \quad (3.51)$$

onde W_r é o módulo de resistência à flexão para a fibra mais tracionada da seção transversal, levando-se em conta a deformação não elástica da argamassa tracionada e que se determina pela fórmula:

$$W_r = \frac{2 [I_{cc} + \alpha_e \cdot I_{tc} + \alpha_e \cdot I_{tt}]}{h - x} + S_{ct} \quad (3.52)$$

Sendo:

I_{cc} : momento de inércia da região comprimida da seção transversal em relação à linha neutra;

I_{tc} : momento de inércia dos fios das telas posicionados na região comprimida da seção transversal;

I_{tt} : momento de inércia dos fios das telas posicionados na região tracionada da seção transversal;

$\alpha_e = \frac{E_s}{E_c}$: relação entre os módulos de deformação longitudinal dos fios que compõem a tela e da argamassa;

$h-x$: distância da linha neutra até a fibra mais tracionada;

$f_{td, ser}$: resistência de cálculo da argamassa, de serviço,

que é a resistência de cálculo da argamassa multiplicado pelo coeficiente de trabalho da argamassa α_c .

O coeficiente de trabalho da argamassa (α_c) pode ser tomado de acordo com a tabela 3.1, em função das relações entre as tensões normais (σ_x e σ_y) correspondentes às direções principais x e y.

TABELA 3.1 - COEFICIENTE DE TRABALHO DA ARGAMASSA (α_c)

$\frac{\sigma_x}{\sigma_y}$ ou $\frac{\sigma_y}{\sigma_x}$	α_c
0	1,0
-0,5	0,9
-1,0	0,8

Para valores intermediários da relação entre as tensões o coeficiente α_c é determinado por interpolação linear.

A posição da linha neutra é determinada pela expressão:

$$S_c + \alpha_e \cdot S_{tc} - \alpha_e \cdot S_{tt} = (h-x) \cdot \frac{A_{ct}}{2} \quad (3.53)$$

onde:

S_c : momento estático da região comprimida, calculado em relação à linha neutra;

S_{tc} : momento estático dos fios das telas distribuídas na região comprimida da seção transversal;

S_{tt} : momento estático dos fios das telas distribuídas na região tracionada da seção transversal;

A_{ct} : área da seção de concreto tracionada da seção transversal.

3.4 VERIFICAÇÃO DO ESTADO DE FISSURAÇÃO INACEITÁVEL COM O CRITÉRIO DA CE/ABNT

3.4.1 Considerações Gerais

O projeto de norma de argamassa armada prevê que a fissuração é nociva quando a abertura característica das fissuras na superfície da argamassa ultrapassa os seguintes valores:

- a) 0,10mm no caso de peças em ambientes expostos;
- b) 0,15mm para peças em ambientes protegidos.

A espessura nominal do cobrimento, não deve ser inferior a 4mm, no caso de peças em ambientes protegidos e 6mm, no caso de ambientes medianamente agressivos.

A expressão apresentada pelo projeto de norma, com a qual se calcula a abertura característica das fissuras, foi apresentada por Mollica Junior [1986]³³, em trabalho no qual o autor aborda o uso de tela soldada no combate a fissuração de peças de concreto armado.

No âmbito do Grupo de São Carlos, Fortes Filho [1987]⁴⁸, realizou um estudo inicial acerca desse trabalho, mostrando a viabilidade de se adotar o mesmo roteiro para peças fletidas de argamassa armada.

O Autor, em trabalho anterior [1988]⁴⁶, usando aquela expressão pode comprovar a sua aplicabilidade em peças de argamassa armada, comparando os resultados assim calculados, com resultados experimentais obtidos no Laboratório de Estruturas - EESC - USP através de ensaios realizados por Nader [1987]³⁰ e Marquês de Collo [1987]³⁸.

A NBR 6118, no item Estado de Fissuração Inaceitável, apresenta duas expressões para cálculo da abertura característica de fissuras:

$$w_k = \frac{1}{10} \cdot \frac{\Phi}{2\eta_b - 0,75} \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} \cdot \left(\frac{4}{\rho_r} + 45 \right) \quad (3.54)$$

$$w_k = \frac{1}{10} \cdot \frac{\Phi}{2\eta_b - 0,75} \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} \cdot \frac{3\sigma_s}{f_{tk}} \quad (3.55)$$

Nas peças de concreto armado, ainda segundo a NBR 6118, a abertura das fissuras na superfície é considerada nociva quando ultrapassa os seguintes valores:

- c) 0,1mm para peças não protegidas, em meio agressivo;
- d) 0,2mm para peças não protegidas, em meio não agressivo;
- e) 0,3mm para peças protegidas.

A NBR 6118 considera que se um dos valores de w_k calculados pelas expressões 3.54 ou 3.55, for menor que as aberturas características limites indicados nos casos c), d) e e), a fissuração não é nociva.

Para que o estado de fissuração seja inaceitável, isto é, no caso das fissuras se apresentarem com abertura prejudicial ao uso ou à durabilidade da peça, as aberturas características calculadas com as expressões 3.54 e 3.55 devem ultrapassar as aberturas limites.

Nas expressões 3.54 e 3.55 têm-se:

σ_s : tensão na armadura sob solicitação dada por combinação de esforços dada pela NBR 8681 (tensão em serviço);

Φ : diâmetro das barras, medido em milímetros;

η_b : coeficiente de conformação superficial das barras da armadura (NBR 7480);

E_s : módulo de deformação longitudinal do aço dado pela NBR 6118;

f_{tk} : resistência característica à tração do concreto;

$\rho_r = \frac{A_s}{A_{cr}}$ = taxa geométrica da armadura na seção transversal de concreto A_{cr} interessada pela fissuração; A_{cr} é calculada usando as indicações do Anexo da NBR 7197.

A expressão 3.54 foi deduzida imaginando-se formação sistemática de fissuras e a 3.55 formação assistemática.

A seguir será deduzida a formulação com a qual se calcula a abertura de fissuras com formações sistemática e assistemática.

3.4.2 Formação Sistemática de Fissuras

Considerando o prisma de concreto (Figura 3.5) de seção transversal A_c , armado com uma barra de diâmetro Φ e seção transversal A_s posicionada no eixo central, e, submetendo-o à ação da força de tração R_t - suposta centrada - a primeira fissura surge quando a tensão de tração no concreto for maior que a sua resistência à tração (f_t). Isso ocorre quando:

$$\sigma_{ct} = \frac{R_t}{A_c + (\alpha_e - 1) \cdot A_s} = \frac{R_t}{A_h} > f_t \quad (3.56)$$

Na seção transversal homogeneizada do prisma, na qual apareceu a primeira fissura, toda a força R_t é absorvida exclusivamente pela armadura, resultando:

$$R_t = A_s \cdot \sigma_s \quad (3.57)$$

onde, σ_s é a tensão na armadura.

Em função da aderência entre a barra de aço e o concreto, a força R_t , fora da seção da primeira fissura, passa a ser absorvida pelos dois materiais.

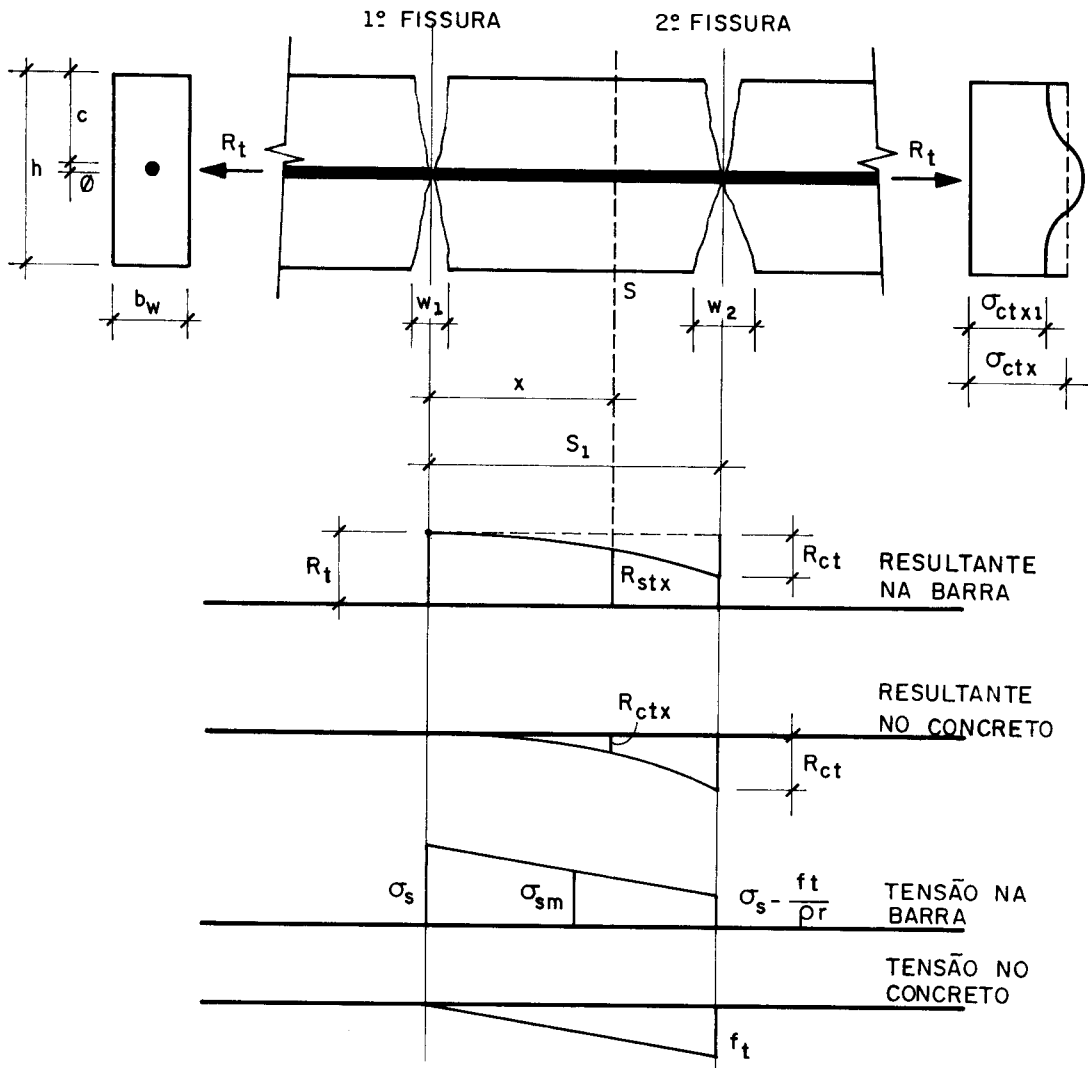


FIGURA 3.5 — FISSURAÇÃO SISTEMÁTICA

A segunda fissura (Figura 3.5) aparece a uma distância s_1 da primeira e em uma seção transversal onde a resistência à tração do concreto é maior do que a resistência do concreto na região da primeira fissura.

A formação sistemática de fissuras ocorre quando a resultante de tração na barra de aço for maior, ou pelo menos igual a resultante de tração no concreto, isto é:

$$A_s \cdot \sigma_s \geq A_c \cdot f_t \quad (3.58)$$

ou seja:

$$\rho_r \geq \frac{f_t}{\sigma_s} \quad (3.59)$$

onde ρ_r é a taxa geométrica da armadura.

O espaçamento entre fissuras varia entre s_1 e $2s_1$.

As deduções que seguem são baseadas na teoria clássica da fissuração e já apresentadas por outros autores e mais recentemente em trabalho já citado³⁹. Essa teoria é válida para peças com taxa de armadura definida em 3.59 e consideradas adequadamente armadas.

Sendo w_m a abertura média das fissuras, s o espaçamento médio entre fissuras, pode-se escrever a expressão 3.60.

$$w_m = s \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \quad (3.60)$$

A expressão 3.60 foi deduzida a partir do aumento do comprimento do prisma ($\Delta L = \varepsilon_c \cdot L$) acrescido do número de fissuras no comprimento L ($n = L/s$) e, ainda, considerando que ΔL é igual a $\varepsilon_s \cdot L$.

Considerando que a deformação específica média do concreto entre fissuras (ε_{cm}) é muito menor que a deformação específica média do aço entre fissuras (ε_{sm}), pode-se escrever:

$$w_m = s \cdot \varepsilon_{sm} \quad (3.61)$$

A tensão medida no aço entre fissuras (σ_{sm}) é proporcional à deformação média do aço entre fissuras (ε_{sm}), resultando:

$$w_m = s \cdot \frac{\sigma_{sm}}{E_s} \quad (3.62)$$

onde:

E_s é o módulo de deformação longitudinal do aço.

Tendo-se por objetivo calcular a abertura média entre fissuras, resolve-se o problema determinando s e σ_{sm} .

A) Determinação do espaçamento médio entre fissuras (s)

Analisando a figura 3.5, nota-se que as tensões no concreto aumentam à medida que as seções em análise se afastam da seção fissurada. A tensão também varia, em uma seção S qualquer, mudando a referência do centro da barra até as bordas do prisma.

A segunda fissura surge quando σ_{cx1} atinge o valor da resistência do concreto à tração (f_t), sendo que, σ_{ctx1} depende do cobrimento (c) e de um coeficiente ξ_1 determinado experimentalmente.

A tensão σ_{ctx1} pode ser expressa por:

$$\sigma_{ctx1} = \sigma_{ctx} \cdot \left(1 - \xi_1 \cdot \frac{c + \phi/2}{x} \right) \quad (3.63)$$

onde:

σ_{cx} é a tensão média no concreto na seção S;

R_{ctx} é a resultante de tração no concreto na seção S;

R_{stx} é a resultante de tração no aço na seção S;

σ_{sx} é a tensão na barra na seção S ;

x é a distância da seção S à seção na qual ocorrem a primeira fissura.

A tensão de tração no concreto, na seção S, é igual a resultante de tração no concreto dividida pela área A_c ; substituindo em 3.63 vem:

$$\sigma_{ctx1} = \frac{R_{ctx}}{A_c} \cdot \left(1 - \xi_1 \cdot \frac{c + \frac{\phi}{2}}{x} \right) \quad (3.64)$$

Analisando a figura 3.5, percebe-se que a resultante de tração no concreto (R_{ctx}) é equilibrada pela ação do concreto que envolve a barra, desde a seção da primeira fissura até a seção S, resultando:

$$R_{ctx} = \tau_{bmx} \cdot x \cdot n \cdot \pi \cdot \Phi \quad (3.65)$$

onde:

τ_{bmx} é a tensão média de aderência entre o aço e o concreto e n é o número de barras da armadura.

A segunda fissura aparece no prisma da figura 3.5 quando: a tensão no concreto na superfície, na seção S, σ_{ctx1} , atinge a resistência à tração do concreto; a variável x for igual a S (espaçamento médio entre fissuras); a tensão média de aderência entre a 1a. fissura e a seção S for igual a tensão de aderência τ_b .

Substituindo 3.65, com as indicações do parágrafo anterior, em 3.66 resulta a expressão com a qual se calcula o valor de s .

$$s = \xi_1 \cdot \left(c + \frac{\Phi}{2} \right) + \frac{f_t \cdot \Phi}{4 \cdot \tau_b \cdot \rho_r} \quad (3.66)$$

Lembrando que f_t e τ_b são obtidos experimentalmente, pode-se escrever:

$$s = \xi_1 \cdot \left(c + \frac{\Phi}{2} \right) + \xi_2 \cdot \frac{\Phi}{\rho_r} \quad (3.67)$$

Os coeficientes ξ_1 e ξ_2 , determinados experimentalmente, foram adotados iguais a 1,5 e 0,16 (para barras de aço com alta aderência), respectivamente, chegando-se a:

$$s = 1,5 \cdot \left(c + \frac{\Phi}{2} \right) + 0,16 \cdot \frac{\Phi}{\rho_r} \quad (3.68)$$

B) Determinação da tensão média na barra de aço entre fissuras (σ_{sm})

Considerando o equilíbrio entre os esforços solicitantes na seção S e a ação externa R_t , pode se escrever:

$$R_t = R_{stx} + R_{ctx} \quad (3.69)$$

ou ainda:

$$R_t = A_s \cdot \sigma_{sx} + A_c \cdot \sigma_{cx} \quad (3.70)$$

A tensão na barra de aço na seção S, considerando que na seção da primeira fissura toda a ação externa é absorvida pela barra com tensão σ_s , é calculada pela expressão 3.71:

$$\sigma_{sx} = \sigma_s - \frac{\sigma_{cx}}{\rho_r} \quad (3.71)$$

Analisando os diagramas de tensão na barra e no concreto entre a primeira e segunda fissura, mostrados na Figura 3.5, pode-se calcular a tensão média na armadura, no trecho de referência. Para isso as variações, nesse trecho, foram consideradas lineares.

Portanto σ_{sm} fica:

$$\sigma_{sm} = \sigma_s - \frac{1}{2} \cdot \frac{f_t}{\rho_r} \quad (3.72)$$

A NBR 6118 considera o valor da tensão média igual a 2/3 da tensão no aço na seção da primeira fissura, isto é:

$$\sigma_{sm} = \frac{2}{3} \cdot \sigma_s \quad (3.73)$$

C) Expressão da NBR 6118, relativa à fissuração sistemática

Substituindo a expressão 3.68 e 3.73 em 3.62 resulta, para o cálculo da abertura média de fissuras, a seguinte expressão:

$$w_m = \left[1,5 \cdot \left(c + \frac{\Phi}{2} \right) + 0,16 \cdot \frac{\Phi}{\rho_r} \right] \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} \quad (3.74)$$

Considerando $c + \frac{\Phi}{2} = 1,2\Phi$ vem:

$$w_m = \left[1,8 + \frac{0,16}{\rho_r} \right] \cdot \Phi \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} \quad (3.75)$$

As aberturas das fissuras (w) são consideradas diferentes entre si para cada seção do prisma, podendo ser considerada como uma variável aleatória com distribuição normal. A abertura característica (w_k) é calculada em função da abertura média das fissuras, adotando-se coeficiente de variação δ igual a 0,4 e com quantil de 5%, isto é, 95% das aberturas das fissuras serão menores do que w_k . Nessa situação tem-se $\xi = 1,645$, com w_k calculada pela expressão 3.73.

$$w_k = w_m \cdot (1 + \xi \cdot \delta) = 1,658 \cdot w_m \quad (3.76)$$

Multiplicando o primeiro e o segundo membro da expressão 3.76 por 10 e substituindo a expressão de w_m dada por 3.75 resulta:

$$10 \cdot w_k = 0,442 \cdot \Phi \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} \cdot \left[\frac{4}{\rho_r} + 45 \right] \quad (3.77)$$

Essa expressão é válida quando o prisma é armado com barras de alta aderência, $\xi_2 = 0,16$ na expressão 3.67.

Sendo η_b o coeficiente de conformação superficial da barra da armadura, suposto igual a 1,0 para barra lisa e 1,5 para barra com alta aderência, a expressão 3.77 precisa ser ajustada para estes valores η_b .

O coeficiente 0,442 foi obtido por se ter adotado no início da demonstração $\eta_b = 1,5$. A diminuição da aderência mecânica da barra de aço, provoca o aumento do espaçamento e o valor da abertura das fissuras aproximadamente em 80%. Isso significa corrigir aquele coeficiente, multiplicando-o por 1,8, resultando, no caso de $\eta_b = 1,0$ o valor 0,8.

A expressão final, com a qual se avalia o valor da abertura característica das fissuras, no caso de fissuração sistemática, fica:

$$w_k = \frac{1}{10} \cdot \frac{\Phi}{2\eta_b - 0,75} \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} \cdot \left[\frac{4}{\rho_r} + 45 \right] \quad (3.78)$$

D) Expressão da fissuração sistemática para peças armadas com telas soldadas

O uso de telas soldadas é favorável com relação à fissuração. A melhora na ancoragem, em função da aderência mecânica obtida através da solda dos fios longitudinais e transversais, é significativa. Isso leva ao aparecimento de fissuras com menor espaçamento médio (s) e menor abertura média (w_m).

Reconsiderando-se a expressão 3.61 tem-se:

$$w_m = s \cdot \varepsilon_{sm} \quad (3.79)$$

Para barras com alta aderência, o espaçamento médio entre fissuras (s_1), fica igual a:

$$s_1 = \left[1,8 + \frac{0,16}{\rho_r} \right] \cdot \Phi \quad (3.80)$$

Para barras lisas, o espaçamento médio entre fissuras (s_2) resulta:

$$s_2 = 1,8 \cdot s_1 = 1,8 \cdot \left[1,8 + \frac{0,16}{\rho_r} \right] \cdot \Phi \quad (3.81)$$

Na expressão final para o cálculo da abertura característica é levado em conta o coeficiente η_b , procurando introduzir o efeito da aderência mecânica melhorada com uso das telas soldadas, adaptando a formulação da NBR 6118.

O cálculo do espaçamento médio entre fissuras (s) é feito considerando o espaçamento entre juntas soldadas (e) medida na direção perpendicular à ação da resultante de tração (R_{st}) nos fios da armadura.

Considerando a expressão 3.68 com a qual se calcula o espaçamento médio entre fissuras (s), quando se usa aço com alta aderência, este espaçamento (s_1) pode ser maior ou menor do que o espaçamento transversal (a_t) entre juntas soldadas.

No caso de $s_1 < a_t$, calcula-se s_2 com a expressão 3.81 e compara-se s_2 com a_t .

Se $s_2 > a_t$, adota-se $s = a_t$.

Se $s_2 < a_t$, adota-se $s = s_2$.

Para o caso de fissuração sistemática a estimativa do valor das aberturas das fissuras em peças de concreto armado, quando se usa telas soldadas, pode ser feita pela expressão 3.82, obtida de 3.78 com a introdução da relação s/s_1 .

$$10 \cdot w_k = \frac{\Phi}{2,25} \cdot \frac{s}{s_1} \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} \cdot \left[\frac{4}{\rho_r} + 45 \right] \quad (3.82)$$

Nessa expressão s é calculado com os indicações anteriores e s_1 com 3.80.

E) Formulação da Norma de Argamassa Armada

A abertura característica da fissura, conforme já visto pela expressão 3.76, pode ser escrita:

$$w_k = 1,658 \cdot w_m \quad (3.83)$$

Com w_m dada por 3.61 resulta:

$$w_k = 1,658 \cdot s \cdot \epsilon_{sm} \quad (3.84)$$

Considerando o que se viu na alínea D) deste item, s pode assumir os seguintes valores:

$$\begin{array}{lll} s = s_1 & \text{se} & s_1 \geq a_t \\ s = 1,8 \cdot s_1 & \text{se} & 1,8 \cdot s_1 \leq a_t \\ s = a_t & \text{se} & 1,8 \cdot s_1 > a_t \text{ e } s_1 < a_t \end{array}$$

Sendo s_1 dado pela expressão 3.68, isto é

$$s_1 = 1,5 \cdot \left[c + \frac{\Phi}{2} \right] + 0,16 \cdot \frac{\Phi}{\rho_r} \quad (3.85)$$

A deformação média do fio mais tracionado, no trecho entre duas fissuras é dada pela expressão 3.72, fazendo-se $f_t = f_{tk}$,

resultando:

$$\varepsilon_{sm} = \frac{1}{E_s} \cdot \left(\sigma_s - \frac{1}{2} \cdot \frac{f_{tk}}{\rho_r} \right) \quad (3.86)$$

Nas expressões anteriores as variáveis envolvidas têm os seguintes significados:

s : espaçamento médio entre fissuras;

s₁ : espaçamento de referência entre fissuras;

a_t : espaçamento entre os fios transversais da tela, em relação ao eixo da peça;

σ_s : tensão em serviço da armadura mais tracionada;

f_{tk} : resistência característica à tração;

ρ_r = $\frac{A_s}{A_c}$: taxa geométrica da armadura, calculada de acordo com a NBR 6118;

ϕ : diâmetro da tela na direção do eixo da peça;

c : cobrimento da armadura.

3.4.3 Formação Assistemática de Fissuras

A formação não sistemática de fissuras ocorre quando a taxa geométrica de armadura é menor do que o quociente entre a resistência à tração do concreto e a tensão na armadura, isto é:

$$\rho_r < \frac{f_t}{\sigma_s} \quad (3.87)$$

A fissuração assistemática ocorre, portanto, nas peças com baixas taxas de armadura. Quando ocorre a primeira fissura, a tensão no concreto é transferida ao aço, sem que ocorra uma

tensão σ_{ct} maior que a resistência à tração (f_t).

Na seção que ocorre a primeira fissura, admite-se que a barra que arma o tirante esteja ancorada, à esquerda e à direita, no concreto, com comprimento de ancoragem s' (Figura 3.6).

Considerando o que foi visto para a expressão 3.62, pode-se escrever:

$$w_m = 2 \cdot s' \cdot \frac{\sigma'_{sm}}{E_s} \quad (3.88)$$

sendo, $\sigma'_{sm} = \sigma_s/2$ a tensão média na barra calculada no trecho s' (Figura 3.6).

A) Determinação do comprimento de ancoragem s'

Considerando que a tensão na barra, na região de comprimento s' , deve ser transferida para o concreto do tirante, tem-se:

$$A \cdot \sigma = \tau_b \cdot s' \cdot n \cdot \pi \cdot \Phi \quad (3.89)$$

onde, τ_b é a tensão média de aderência entre o aço e o concreto.

Substituindo em 3.89 a área de armadura relativa a n barras, resulta:

$$s' = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\sigma_s}{\tau_b} \quad (3.90)$$

B) Expressão da NBR 6118, relativa à fissuração assistemática

Substituindo 3.90 em 3.88, com $\sigma'_{sm} = \sigma_s/2$, obtém-se:

$$w_m = \frac{\phi}{4 \cdot \tau_b} \cdot \frac{\sigma_s^2}{E_s} \quad (3.91)$$

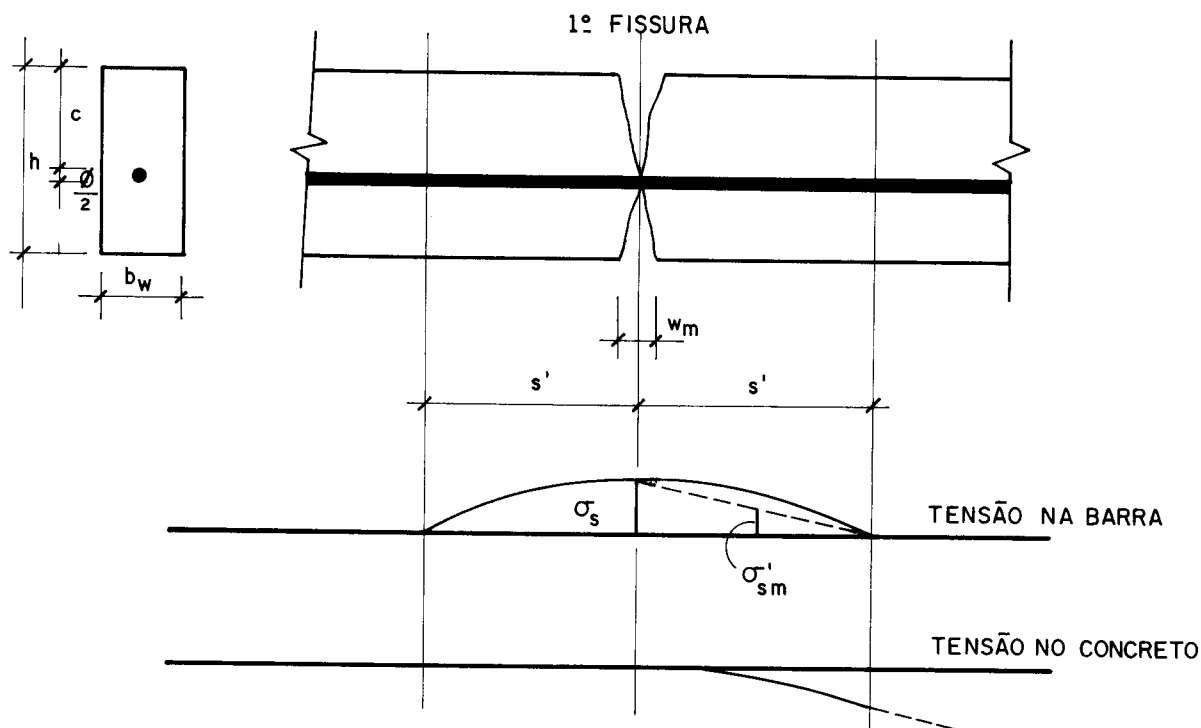


FIGURA 3.6 — FISSURAÇÃO ASSISTEMÁTICA

Lembrando que $\xi_2 = 0,16$ vem:

$$w_m = \frac{0,16 \cdot \phi}{f_t} \cdot \frac{\sigma_s^2}{E_s} \quad (3.92)$$

Sendo $f_t = f_{tm}$, resistência média à tração, pode-se escrever:

$$f_{tk} = 0,6 \cdot f_{tm}$$

que substituída em 3.92, resulta:

$$w_m = \phi \cdot \frac{0,096 \cdot \sigma_s}{f_{tk}} \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} \quad (3.93)$$

Considerando a expressão 3.76 e, lembrando que para este caso de fissuração não sistemática foram considerados desvios padrões menores que os adotados para fissuração sistemática, pode-se escrever:

$$w_k = 1,3 \cdot w_m \quad (3.94)$$

Multiplicando membro a membro a expressão 3.94 por 10, e substituindo w_m em 3.93, resulta:

$$10 \cdot w_k = \Phi \cdot \frac{1,248 \cdot \sigma_s}{f_{tk}} \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} \quad (3.95)$$

Para generalizar a expressão anterior para barras de aço com qualquer tipo de aderência, pode-se multiplicar e dividir o segundo membro de 3.95 por 0,442.

Lembrando que a expressão:

$$\frac{1}{2\eta_b - 0,75} = 0,442 \quad (3.96)$$

foi obtida para barras de aço com alta aderência e seguindo a mesma justificativa usada na expressão 3.78 pode-se escrever:

$$w_k = \frac{1}{10} \cdot \frac{\Phi}{2\eta_b - 0,75} \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} \cdot \frac{3 \cdot \sigma_s}{f_{tk}} \quad (3.97)$$

que é a expressão final, indicada na NBR 6118, com a qual se avalia a abertura característica de fissuras, no caso de fissuração não sistemática.

C) Expressão da fissuração assistemática para peças com telas soldadas

Retomando a expressão 3.93 pode-se escrever que o espaçamento s' , para barras com alta aderência vale:

$$s'_1 = 0,096 \cdot \Phi \cdot \frac{\sigma_s}{f_{tk}} \quad (3.98)$$

e, a exemplo do que se fez no caso de fissuração assistemática, o espaçamento s' , para barras lisas resulta:

$$s'_2 = 1,8 \cdot s'_1 \quad (3.99)$$

No caso de barras de alta resistência ($\eta_b = 1,5$) a tensão na armadura, calculada com a expressão 3.97, resulta:

$$\sigma_s^2 = \frac{7,5 \cdot w_k \cdot E_s \cdot f_{tk}}{\Phi} \quad (3.100)$$

Substituindo σ_s em 3.98 obtém-se a expressão com a qual se calcula s_1' em função de w_k , por exemplo w_k limite.

$$s_1' = \frac{0,096 \cdot \Phi}{f_{tk}} \cdot \sqrt{\frac{7,5 \cdot w_k \cdot E_s \cdot f_{tk}}{\Phi}} \quad (3.101)$$

No caso de $s_1' > a_t$, s_1' calculado com 3.101, pode-se adotar $s' = s_1'$.

Se $s_1' < a_t$, calcula-se s_2' com 3.99 e, se $s_2' > a_t$, adota-se $s' = a_t$.

Em caso contrário, se $s_2' < a_t$, adota-se $s' = s_2'$.

Lembrar que a_t é o espaçamento transversal entre juntas soldadas da tela.

D) Formulação proposta para peças de argamassa armada

Embora as peças fletidas de argamassa armada apresentem, na grande maioria dos casos, fissuração sistemática, nesta sessão apresenta-se o resumo da formulação deduzida nos sub-itens anteriores.

A abertura da fissura pode ser calculada por 3.94 resultando:

$$w_k = 1,3 \cdot s' \cdot \epsilon_{sm} \quad (3.102)$$

Considerando a alínea C), s' fica:

$$s' = s_1' \quad \text{se} \quad s_1' \geq a_t$$

$$s' = 1,8 \cdot s_1' \quad \text{se} \quad 1,8 s_1' < a_t$$

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

onde:

$$s'_1 = 0,096 \cdot \Phi \cdot \frac{\sigma_s}{f_{tk}} \quad (3.103)$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s}{E_s} \quad (3.104)$$

Nas expressões anteriores as variáveis envolvidas têm os seguintes significados:

s' : distância entre a primeira fissura até a seção na qual σ_s é zero;

s'_1 : espaçamento de referência;

a_t : espaçamento entre os fios transversais da tela, em relação ao eixo da peça;

σ_s : tensão em serviço, da armadura mais tracionada;

E_s : módulo de deformação longitudinal da armadura;

Φ : diâmetro da tela na direção do eixo da peça.

3.5 VERIFICAÇÃO DO ESTADO DE FISSURAÇÃO INACEITÁVEL COM O CRITÉRIO DA SN 366/77

3.5.1 Considerações Gerais

Baykov e Sigalov [1980]⁴², afirmam que a pequena abertura das fissuras é a principal particularidade da argamassa armada, o que permite utilizar plenamente a resistência mecânica das malhas da armadura em estruturas sem protensão.

A SN 366-77 indica que as estruturas de argamassa armada devem ser usadas, como regra geral, em ambientes não agressivos. Permite, a sua utilização em ambientes com um pequeno grau de influência agressiva, sempre que se cumpram as exigências que são estabelecidas por outras normas soviéticas.

O cobrimento mínimo indicado é de 4mm para os fios das telas e 8mm para as barras ou fios que compõem a armadura complementar.

As especificações, para verificação do estado de fissuração, são divididas em duas categorias. Na primeira categoria não se permite a formação de fissuras (Estádio I) e na segunda é permitida a formação de fissuras, porém, limita-se a sua abertura (Estádio II). A norma soviética, estabelece condições que levam em conta o grau de exposição da estrutura o tipo das ações e das armaduras e, também, o valor limite da abertura da fissura.

A norma soviética prevê que as aberturas de fissuras podem chegar a 0,05 mm quando forem utilizadas telas combinadas com fios ou barras, em peças tracionadas ou parcialmente comprimidas. Se a peça, armada só com telas, fizer parte de uma estrutura destinada a conter pressões de líquidos e gases deve-se verificar o estado de formação de fissuras

Nas peças utilizadas em edifícios com calefação e umidade relativa do ar interior superior a 75%, e também ao ar livre e em edifícios sem calefação deve-se respeitar o estudo de formação de fissuras no caso de telas de aço sem a colocação de fios ou barras combinadas, distribuídas ao longo do esqueleto da seção da viga.

No caso de peças situadas em edifícios com calefação e a umidade relativa do ar interior ficar entre 60% e 75%, permite-se aberturas de fissuras de até 0,15 mm, quando se utilizar como armação telas com armaduras combinadas. Quando se utilizar armação só de telas esse valor deve ser de 0,07mm.

A SN 366-77 entende como aberturas de fissuras não-permanentes aquelas que surgem pela ação conjunta de cargas permanentes de longa e de curta duração, e aberturas de fissuras permanentes aquelas que são produzidas por cargas permanentes e de longa duração.

3.5.2 Caso de aberturas de fissuras normais ao eixo longitudinal da viga

No caso de peças armadas com telas de aço soldada de malha

retangular, a abertura média da fissura, normal ao eixo longitudinal, é dada pela expressão:

$$w_m = \eta_{t1} \cdot k_1 \cdot \frac{\sigma_{sm}}{E_{st}} \cdot a_{tr} \quad (3.105)$$

onde:

$\eta_{t1} = 3$, no caso de telas soldadas;

$k_1 = 1,0$, para ações de curta duração;

$k_1 = 1,5$, para ações repetidas, e também, para ações de longa duração, quando se empregar argamassa com cura normal ou térmica à pressão atmosférica;

$k_1 = 1,65$, nas mesmas condições de solicitação, porém, nos casos de cura em autoclave;

$k_1 = 1,7$, com as mesmas condições de solicitação, com cura úmida sob pressão atmosférica (segundo o que se depreende de Baykov e Sigalov [1980]⁴²;

a_{tr} : espaçamento medido, em milímetros, das telas de aço soldadas;

σ_s : tensão no fio mais tracionado, com a viga na condição de serviço (Estádio II);

E_s : módulo de deformação longitudinal aparente, adotado igual a 150.000MPa pela norma soviética;

Quando na armação da viga se utilizam além de telas, barras ou fios complementares, a abertura média das fissuras pode ser calculada por:

$$w_m = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot \eta_{t2} \cdot \frac{\sigma_s}{E_{s,eq}} \cdot 20 \cdot (3,5 - 100\rho_{eq}) \cdot \sqrt[3]{\phi_s} \quad (3.106)$$

onde:

k_1 : têm as mesmas indicações do caso peça armada só com telas;

$k_2 = 1,0$, no caso de flexão ou compressão excêntrica;

$k_2 = 1,2$, no caso de elementos tracionados;

$k_3 = 4,5$ para $0,4\% < \rho_{eq} < 1,0\%$;

$k_3 = 3,0$ para $1,0\% < \rho_{eq} < 2,0\%$;

$k_3 = 1,5$ para $\rho_{eq} > 2,0\%$;

$$\rho_{eq} = \rho_t + \rho_s \cdot \frac{f_{yd}}{f_{ydt}}$$

com, ρ_t e ρ_s iguais as taxas de armaduras de telas e de barras ou fios complementares, respectivamente, calculados em relação à região tracionada (A_{ct});

$\eta_{tz} = 0,8$, no caso de telas soldadas;

$$E_{s,eq} = \frac{E_{st} \cdot \rho_t + E_s \cdot \rho_s}{\rho_t + \rho_s}$$

$E_{s,eq}$ é o módulo de deformação longitudinal equivalente da armação;

ϕ_s é o diâmetro em milímetros das barras ou fios da armadura complementar.

Baykov e Sigalov, afirmam que as normas soviéticas recomendam determinar as aberturas de fissuras, no nível do eixo da armadura tracionada, em peças de concreto armado, com a seguinte fórmula empírica:

$$w_m = k_1 \cdot k_2 \cdot \eta_b \cdot 20 \cdot (3,5 - 100 \rho_s) \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} \cdot \sqrt[3]{\phi_s} \quad (3.107)$$

Nota-se a semelhança entre as expressões indicadas pelas normas soviéticas para elementos fletidos de argamassa armada (3.106) e de concreto armado (3.107).

O coeficiente de conformação superficial das barras da armadura (η_b) pode ser adotado igual a 1,0 para barras de superfície com irregularidades periódicas; 1,2 para fios comuns; 1,3 para barras lisas laminadas a quente e 1,4 para fios de alta resistência.

O coeficiente k_g , que só aparece na expressão 3.106, leva em conta a contribuição das telas na verificação da abertura das fissuras nos elementos de argamassa armada.

Os demais coeficientes (k_1 e k_2) têm os mesmos significados e valores nas duas fórmulas (3.107 e 3.106).

3.5.3 Caso de abertura de fissuras inclinadas ao eixo longitudinal da viga

As fissuras inclinadas em relação ao eixo longitudinal da viga ocorrem nas regiões de ação das tensões principais de tração. O controle da fissuração é feito em vários locais, dependendo da forma da seção transversal e da variação dos diagramas de forças cortantes e momentos fletores. No caso de vigas de seção T, é necessário verificar a fissuração que ocorre na mesa em função da variação da tensão tangencial horizontal, oriunda da ligação da mesa com a alma.

Como se observa em ensaios de corpos-de-prova de concreto, submetidos a estado duplo de tensões - uma de compressão e outra de tração - a resistência à tração diminui com o aumento da tensão de compressão na outra direção. Esse efeito se manifesta acentuadamente em concretos de grande resistência, por exemplo com mais de 50 MPa.

A resistência mecânica da seção inclinada com relação à fissuração é assegurada, quando as tensões principais de tração satisfazem as seguintes condições:

$$\sigma_I \leq f_{td} \quad \text{para } \sigma_{II} \leq \gamma_m \cdot f_{cd} \quad (3.108)$$

$$\sigma_I \leq \gamma_n \cdot f_t \cdot \left(1 - \frac{\sigma_c}{f_{cd}}\right) \quad \text{para } \sigma_{II} \geq \gamma_n \cdot f_{cd} \quad (3.109)$$

Os coeficientes γ_m e γ_n dependem do tipo e resistência do concreto/argamassa e são mostrados na tabela 3.2.

TABELA 3.2 - COEFICIENTES γ_m E γ_n [BAYKOV & SIGALOV]⁴²

concreto/argamassa		coeficientes	
alta resistência (MPa)	agregados porosos (MPa)	γ_m	γ_n
≤ 40	≤ 20	0,500	2,00
50	25	0,375	1,60
60	30	0,250	1,33

A SN 366-77, neste caso, recomenda a expressão 3.110 para cálculo da abertura média de fissuras inclinados em relação ao eixo longitudinal e, válida quando a armação da peça for constituída por telas soldadas ou telas associadas a barras ou fios complementares.

$$w_m = k_1 \cdot k_4 \cdot (h_w - 30 \phi_{tr}) \cdot \frac{\eta_{tz}}{\rho_{w,eq}} \cdot \left[\frac{\tau_{wr}}{E_{s,eq}} \right]^2 \quad (3.110)$$

onde:

h_w : altura livre da alma das vigas;

k_1 e η_{tz} : têm os mesmos significados anotados nas fórmulas anteriores;

$k_4 = 10^3 \cdot (20 - 1.200 \rho_{eq})$, para telas soldadas;

$\rho_{w,eq} = \frac{A_{sw}}{b_w \cdot a_{tr}}$ = taxa de armadura transversal;

b_w : espessura da alma;

a_{tr} : espaçamento entre os fios transversais das telas de aço soldadas;

Φ_{tr} : diâmetro, em milímetros, dos fios das telas de aço transversais ao eixo longitudinal da peça;

$$\tau_{wr} = \frac{V_d}{b_w \cdot h_w} - 0,25 \cdot \frac{N_d}{A_c}$$

sendo, V_d a força cortante máxima no trecho considerado e N_d a força normal de cálculo (se houver).

A expressão 3.110 utilizada em peças fletidas de argamassa armada, segundo a SN 366-77, é semelhante à expressão, apresentada por Baykov e Sigalov, para peças de concreto armado. Nas peças de concreto armado, armadas com barras inclinadas em relação ao eixo longitudinal, deve-se acrescentar à taxa ρ_{sw} a parcela relativa a esta armadura.

3.5.4 Limitações com relação as telas normalizadas pela SN 366-77

As telas de aço empregadas na União Soviética são telas de fios de diâmetros entre 0,7mm e 1,2mm e malhas quadradas de aberturas máximas de 12mm no caso de tecidas.

Para telas soldadas a SN 366-77 indica diâmetro nominal dos fios das telas de 0,5mm, quadradas, com espaçamento de 12,5mm.

Essas condições diferem das telas soldadas fabricadas, até o momento, pela indústria nacional.

Por outro lado, as equações aqui apresentadas podem ser empregadas para se obter valores de referência.

3.6. VERIFICAÇÃO DO ESTADO DE FISSURAÇÃO INACEITÁVEL COM O CRITÉRIO DO ACI 549.1R-88

3.6.1 Considerações Gerais

As indicações do Guia para o Projeto, Construção e Reparo de Ferrocimento, com relação às aberturas limites de fissuras para as condições de serviço, são as seguintes:

- a) $w_m \leq 0,10\text{mm}$ para peças em ambientes não corrosivos;
- b) $w_m \leq 0,05\text{mm}$ para peças em ambientes corrosivos e/ou em estruturas destinadas a reter água.

Com relação ao cobrimento das armaduras constituídas por telas e por armadura complementar, para elementos com 25mm de espessura, esse guia indica que cobrimentos de 2mm têm apresentado resultados satisfatórios.

3.6.2 Cálculo das Aberturas das Fissuras

As medidas das aberturas das fissuras podem ser determinadas experimentalmente, através de ensaios de modelos, ou analiticamente usando as equações indicadas no ACI 549R-82.

A abertura máxima das fissuras pode ser calculada segundo a expressão 3.111, indicada na referência citada, válida para peças submetidas à flexão e armadas com telas de aço de malha quadrada.

$$w_{\max} = \epsilon_s \cdot a_t \cdot \beta_d = \frac{\sigma_s}{E_e} \cdot a_t \cdot \beta_d \quad (3.111)$$

onde:

ϵ_s : deformação nos fios da tela na camada mais próxima da face tracionada;

σ_s : tensão nos fios da tela na camada mais próxima da face tracionada;

a_t : distâncias transversais dos fios das telas;

$\beta_d = \frac{h-x}{d_{II}-x}$: relação entre as distâncias à linha neutra, da fibra mais tracionada e dos fios longitudinais mais tracionados;

E_e : módulo efetivo de deformação longitudinal da armadura do sistema.

No caso de telas soldadas o módulo efetivo pode ser adotado igual a 200GPa.

A equação 3.111 foi baseada em observações experimentais realizadas por Balaguru, Naaman e Shah [1977]¹⁹ e Naaman [1979]²⁰, onde concluíram que a distância média entre fissuras, em peças fletidas é aproximadamente igual ao espaçamento entre os fios transversais da tela.

Tomando por base trabalhos dos autores citados, o ACI 549R-82 indica que tensão máxima no fio mais tracionado não deve ultrapassar os seguintes valores: 207MPa se a estrutura sofrer ao longo de sua vida útil dois milhões de ciclos de variação de tensão; 348MPa se sofrer um milhão de ciclos e 380MPa para cem mil ciclos.

Naaman [1979] indica que a abertura média das fissuras pode ser calculada pela expressão:

$$w_m = \frac{15,9}{E_e} \cdot (\sigma_s - 95) \quad (3.112)$$

O ACI 549R-82 indica que a abertura máxima das fissuras pode ser calculada pela expressão 3.113.

$$w_m = \frac{15,85}{E_e} \cdot (1,194 \cdot \sigma_s - 111) \quad (3.113)$$

onde as unidades são milímetros para w_m e w_{max} e σ_s e E_e medidos em mega Pascal.

3.7 VERIFICAÇÃO DO ESTADO DE DEFORMAÇÃO EXCESSIVA COM OS CRITÉRIOS DA CE/ABNT

3.7.1 Considerações Gerais

Os valores dos deslocamentos, provenientes das deformações, não devem ser maiores que os indicados na NBR 6118 no caso de peças moldadas no local e, maiores que os preconizados pela NBR 9062 para peças pré-moldadas.

De acordo com a NBR 6118 deve-se observar os seguintes limites para vigas e lajes:

a) as flechas medidas a partir do plano que contém os apoios, quando atuarem todas as ações, não devem ultrapassar $l/300$ (l é o vão teórico) e, no caso de balanços $l/150$;

b) os deslocamentos causados pelas cargas acidentais não deve ser maior que $l/500$ e $l/250$ no caso de balanços.

No caso de elementos pré-moldados a NBR 9062 estipula valores limites de flechas e contra-flechas em função da utilização do elemento estrutural.

Para elementos estruturais de cobertura sem contato, excluindo o contato nos apoios, com outros elementos, estruturais ou não, as limitações indicadas são as seguintes:

c) $L/150$ de contraflechas (flecha negativa), iniciais ou a longo do prazo, incluindo o efeito das cargas permanentes;

d) $L/400$ de flechas positivas, considerando carga eventual de empoçamento de água;

e) $L/200$ de flechas positivas, nos casos em que o elemento tenha inclinação que evite o empoçamento de água.

Quando os elementos estruturais de cobertura estiverem em contato com outros elementos estruturais ou não estruturais, nas regiões fora dos apoios, a variação da flecha (Δa),

calculada para as ações de longa duração e carga accidental, não deve ser maior que $L/250$.

No caso de elementos de piso, que não suportem ou que não tenham contato com elementos não estruturais a flecha positiva máxima, quando todas as cargas estiverem agindo, deve ser igual a:

f) $L/500$, no caso de flecha inicial;

g) $L/300$, no caso de flecha medida a longo prazo.

A variação da flecha (Δa), calculada para ações de longa duração e carga accidental não deve ser maior que $L/250$.

Os limites indicados devem ser obedecidos no caso de elementos de piso que suportem ou que estejam em contato, fora dos apoios, com outros elementos estruturais ou não estruturais.

3.7.2 Indicações para o cálculo dos deslocamentos

Os deslocamentos oriundos dos esforços de flexão podem ser calculados considerando as curvaturas dadas na Tabela 3.3.

TABELA 3.3 - VALORES DAS CURVATURAS ($1/r$)

Tipo de ações	Curta Duração	Longa Duração
Região com pequena probabilidade de formação de fissuras ($M_{max} \leq M_r$)	$\frac{M_d}{0,85 \cdot E_c \cdot I_h}$	$\frac{M_d \cdot \phi_{cc}}{0,85 \cdot E_c \cdot I_h}$
Região com grande probabilidade de formação de fissuras ($M_{max} > M_r$)	$\frac{M_d}{0,85 \cdot E_c \cdot I_r}$	$\frac{M_d \cdot \phi_{cc}}{0,85 \cdot E_c \cdot I_r}$

onde:

E_c : módulo de deformação longitudinal da argamassa na origem;

I_h : momento de inércia da seção homogeneizada, que simplificarmente pode ser considerado igual a I_c ;

- I_c : momento de inércia da seção geométrica;
 I_r : momento de inércia da seção fissurada, que simplifiadamente pode ser considerado igual a I_{II} ;
 I_{II} : momento de inércia da seção no estágio II;
 ϕ_{cc} : coeficiente que considera o efeito da fluência da argamassa;
 M_{max} : momento máximo;
 M_r : momento de fissuração;
 M_d : momento de cálculo para os estados limites de utilização.

Na falta de determinação experimental o módulo de deformação longitudinal à compressão pode ser calculado por:

$$E_c = 0,8 \cdot 6.600 \cdot \sqrt{f_{ck} + 3,5} \quad (\text{em MPa}) \quad (3.114)$$

O módulo de deformação longitudinal medido para o micro-concreto é menor do que o obtido para concreto com agregado graúdo de mesma resistência. A relação entre os módulos é 0,8.

A expressão 3.114, a menos do coeficiente 0,8, é dada pela NBR 6118 para cálculo do módulo de deformação longitudinal na origem.

O produto $0,85 \cdot E_c$, que aparece nos denominadores das expressões da Tabela 3.3, representa o valor numérico do módulo secante do micro-concreto.

O coeficiente ϕ_{cc} é dado na Tabela 3.4 em função da umidade ambiental média da região onde a peça vai ficar exposta e, do tipo de cura que será utilizada durante a moldagem.

TABELA 3.4 - VALORES DO COEFICIENTE DE FLUÊNCIA (ϕ_{cc})

Umidade ambiental média	Cura Normal	Cura a vapor
40% ou mais	2,6	3,0
menor que 40%	3,9	4,5

O coeficiente 0,85 e os valores do ϕ_{cc} da Tabela 3.4 adotados pelo Projeto de Norma de Argamassa Armada foram baseados na Norma Soviética SN 366/77.

Para se considerar a variação da rigidez ao longo do eixo do elemento fletido, pode-se considerar o momento de inércia equivalente, I_{eq} (Fórmula de Branson - ACI 318M-83⁴⁹), calculado pela expressão 3.115.

$$I_{eq} = \left[\frac{M_r}{M_{max}} \right]^3 \cdot I_c + \left[1 - \left[\frac{M_r}{M_{max}} \right]^3 \right] \cdot I_{II} \leq I_c \quad (3.115)$$

3.7.3 Cálculo dos deslocamentos para vigas submetidas a carga uniformemente distribuída

A equação 3.116 (SCHIEL [1982]⁴⁹) fornece o valor dos deslocamentos em uma viga submetida à ação do momento fletor M_d e com módulo de rigidez $0,85 \cdot E_c \cdot I$, com I igual a I_h ou I_r dependendo de tratar-se de regiões distintas da viga com relação à fissuração e de acordo com as indicações da Tabela 3.3.

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{1}{r} = - \frac{M_d}{0,85 \cdot E_c \cdot I_{eq}} \cdot (\phi_{cc}) \quad (3.116)$$

Considerando que para uma viga bi-apoiada o momento fletor na seção mais solicitada é $M = p\ell^2/8$ e, integrando duas vezes a equação 3.116, resulta:

$$a = \frac{5}{384} \cdot \frac{p\ell^4}{0,85 \cdot E_c \cdot I_{eq}} \cdot (\phi_{cc}) \quad (3.117)$$

O valor do momento de inércia pode ser calculado pela expressão 3.115 e com M_d calculado para o estado de deformação excessiva de acordo com a NBR 8681. O coeficiente que leva em conta o efeito da fluência da argamassa deve vir multiplicando o deslocamento inicial na expressão 3.116 se se tratar de ações de longa duração, em caso contrário, para cargas de curta

duração ϕ_{cc} deve ser adotado igual a unidade.

3.7.4 Cálculo dos deslocamentos para vigas submetidas a cargas concentradas nos terços

Os ensaios de vigas de argamassa armada, com seção transversal em forma de duplo T, foram realizados com duas forças concentradas (F), aplicadas nos terços do vão, (modelos da série 1).

Conforme PINHEIRO [1986]⁵⁰, o deslocamento inicial, no centro do vão, pode ser calculado pela expressão 3.118, com E_c já corrigido para o valor secante e com $I = I_{eq}$ da expressão 3.115.

$$a = \frac{23}{648} \cdot \frac{F \cdot \ell^3}{0,85 \cdot E_c \cdot I_{eq}} \cdot (\phi_{cc}) \quad (3.118)$$

No caso dos ensaios realizados o carregamento era de curta duração e, portanto, adotou-se ϕ_{cc} igual a unidade.

3.7.5 Cálculo dos deslocamentos para vigas submetidas a cargas concentradas equidistantes dos apoios

Os modelos das séries 2 e seguintes foram ensaiados com a aplicação de duas cargas equidistantes dos apoios.

A expressão 3.119 (PINHEIRO [1986]⁵⁰), fornece o valor do deslocamento neste caso:

$$a = \frac{1}{24} \cdot \frac{F \cdot \ell_o}{0,85 \cdot E_c \cdot I_{eq}} \cdot (3 \cdot \ell^2 - 4 \cdot \ell_o^2) \quad (3.119)$$

Nessa expressão ℓ_o é a distância dos centros dos apoios até o centro de aplicação da carga e, ℓ é o vão medido de centro a centro dos apoios.

3.8 VERIFICAÇÃO DO ESTADO DE DEFORMAÇÃO EXCESSIVA COM CRITÉRIOS DA SN 366/77

3.8.1 Considerações Gerais

No cálculo dos deslocamentos dos elementos sem fissuras na região tracionada, sob a ação de cargas de curta ou longa duração o coeficiente de segurança é adotado igual a unidade ($\gamma_f = 1$).

A rigidez dos elementos, submetidos a cargas de curta duração se calcula pela expressão 3.120

$$\text{rig} = 0,85 \cdot E_c \cdot I_h \quad (3.120)$$

O coeficiente 0,85 leva em conta a diminuição da rigidez devida as deformações não elásticas da argamassa na região tracionada.

E_c é o módulo de deformação longitudinal da argamassa submetida à compressão, medido na origem (módulo inicial).

I_h é o momento de inércia de toda a seção transversal homogeneizada, considerando toda a armadura transversal, com α_s sendo a relação entre os módulos do aço e da argamassa.

Os coeficientes de armação para o cálculo dos deslocamentos se determinam de acordo com as expressões:

-para a mesa comprimida

$$\alpha'_{t1} = \alpha'_t + \alpha'_s \cdot \frac{E_s}{E_t} \quad (3.121)$$

-para a alma

$$\alpha_{t1} = \alpha_{tv} \quad (3.122)$$

-para a mesa tracionada

$$\alpha_{t1} = \alpha_t + \alpha_s \cdot \frac{E_s}{E_t} \quad (3.123)$$

Os coeficientes citados nas expressões anteriores foram definidos no item 2.2.2.

O valor da curvatura dos elementos submetidos à flexão se calcula com a expressão:

$$\frac{1}{r} = \frac{M}{0,85 \cdot E_c \cdot I_h} + \frac{M \cdot \phi_{cc}}{0,85 \cdot [0,85 \cdot E_c \cdot I_h]} \quad (3.124)$$

O primeiro quociente do segundo membro da expressão anterior leva em conta as cargas permanentes de curta duração e, o segundo quociente as cargas de longa duração.

O coeficiente ϕ_{cc} tem o significado e os valores da tabela 3.4.

O coeficiente 0,85 introduzido no denominador do segundo quociente leva em conta a diminuição de rigidez (aumento da curvatura) durante a ação de cargas de longa duração, em função das deformações plásticas da argamassa na região comprimida.

No caso de elementos fletidos com fissuras na zona tracionada (Estádio II), o valor da rigidez é calculada pela expressão:

$$\text{rig} = \alpha \cdot E_c \cdot I_h \quad (3.125)$$

Na expressão 3.125 α é um coeficiente que leva em conta a diminuição da rigidez do elemento e definido em função do tipo de armação, do valor do coeficiente α'_{t1} para a mesa comprimida e do tipo de solicitação da armadura tracionada. O coeficiente α é dado na tabela 3.5.

A versão de 1967 da Norma Soviética apresentava para α os seguintes valores:

0,1 para armação com telas distribuídas na seção;

0,2 para armação constituída por telas distribuídas na seção e com fios ou barras complementares na região tracionada.

TABELA 3.5 - COEFICIENTE α PARA CÁLCULO DA RIGIDEZ

TIPO DA ARMADURA TRACIONADA	coeficiente de armação para a mesa comprimida α'_{t1}	coeficiente α
TELAS SOLDADAS	$\leq 1,5$	0,1
	$1,5 < \alpha'_{t1} \leq 3,0$	0,2
TELAS SOLDADAS COM FIOS OU BARRAS COMPLEMENTARES	$\leq 1,5$	0,1
	$1,5 < \alpha'_{t1} \leq 3,0$	0,12

O valor da curvatura é calculado pela expressão 3.126

$$\frac{1}{r} = \frac{M}{\alpha \cdot E_c \cdot I_h} + \frac{M}{0,8 \cdot [\alpha \cdot E_c \cdot I_h]} \quad (3.126)$$

Considerando o segundo membro da expressão anterior, o primeiro quociente representa a curvatura calculada para as ações de curta duração levando em conta as cargas permanentes e acidentais. O segundo quociente representa a curvatura produzida pelas mesmas cargas, porém de longa duração.

3.8.2 Cálculo dos deslocamentos

O deslocamento produzido pelas deformações oriundas das tensões normais se calcula por:

$$a = \int_0^l M \cdot \frac{1}{r} \cdot x \cdot dx \quad (3.127)$$

Na expressão 3.127 o momento fletor M é o calculado para a seção em análise, normalmente a mais solicitada; $1/r$ é o valor da curvatura do elemento na seção considerada, calculada para

composição de carregamentos considerada; l é o vão teórico do elemento.

A SN 366-77 indica que para elementos de seção constante, que apresentam fissuração na região tracionada, nos tramos em que o momento fletor não muda de sinal, a curvatura calculada para a seção submetida a maior tensão pode ser adotada para as demais seções cuidando-se de levar em conta a sua proporcionalidade com os valores dos momentos fletores.

Nos casos mais comuns de estruturas de barras e de carregamentos, os deslocamentos dos elementos fletidos podem ser determinados pela expressão:

$$a = \alpha_{ap} \cdot \frac{1}{r} \cdot l^2 \quad (3.128)$$

O coeficiente α_{ap} é determinado de acordo com as condições de apoio e do tipo de carregamento aplicado no elemento; $1/r$ é a curvatura calculada para a seção de maior valor do momento fletor, determinado para as cargas com as quais se determinam os deslocamentos.

Considerando a viga biapoiada com carga uniformemente distribuída, ou com duas cargas concentradas aplicadas nos terços, ou equidistantes dos apoios, pode-se usar, para cálculo dos deslocamentos as expressões 3.118 e 3.119 respectivamente com as rigidezes indicadas pela SN-366/77.

3.9 COMENTÁRIOS SOBRE O PROGRAMA PARA MICROCOMPUTADOR

Todas as expressões deduzidas neste capítulo, com os critérios da Norma de Argamassa Armada CE 18:05.14-001, foram introduzidas no programa AACALC, apresentado no Apêndice 1, com a finalidade de se obter para qualquer momento fletor de serviço, o valor do deslocamento no meio do vão da viga, o valor característico da abertura da fissura, as tensões no Estádio II, em cada fio da armadura e na argamassa junto à borda comprimida. Ainda, calcula também o valor do momento fletor de fissuração.

4. DESCRIÇÃO DOS MODELOS E DOS ENSAIOS

4.1 OS MODELOS UTILIZADOS

4.1.1 Condições Gerais

Em função dos objetivos traçados para este trabalho, optou-se por obter resultados experimentais através de ensaios de vigas fletidas de argamassa armada, com seção transversal duplo T.

A idéia inicial era comparar os resultados teóricos com os resultados experimentais abrangendo as hipóteses dos estados limites últimos e de utilização.

Desse modo, montou-se um plano de ensaios para observar o comportamento dos modelos com relação à ruptura por solicitações normais e ruptura por solicitações tangenciais. Nesse aspecto, pretendia-se observar as forças últimas aplicadas e as deformações, próximas da ruptura, da argamassa comprimida e dos fios complementares colocados junto a face tracionada.

Quanto aos modelos que romperam por força cortante, mediram-se as deformações na argamassa comprimida e as deformações na armadura no banzo tracionado e as cargas de

ruptura por cisalhamento.

Com relação ao estado limite de formação de fissuras, observou-se a formação da primeira fissura visível e com a carga relativa a essa fissura, calculou-se o momento fletor de fissuração experimental que foi comparado com o valor teórico determinado com as indicações do capítulo 3, item 3.2.

Durante os ensaios essa carga era determinada ao se perceber o aparecimento de fissuras na mesa tracionada, e conferida ao se notar a perda de rigidez do modelo, determinado por um acréscimo de deslocamento naquela etapa de carga. Se a fissura surgisse próximo da seção onde estavam instalados os extensômetros elétricos na armadura complementar, percebia-se no indicador de deformações um acréscimo de seu valor quando comparado com a leitura feita na etapa anterior ao do aparecimento da fissura.

As medidas das aberturas das fissuras eram feitas a partir do aparecimento das primeiras fissuras e medidas em todas as etapas de carregamento. Os valores das aberturas das fissuras foram comparadas com os valores teóricos calculados através das equações do item 3.4. Os espaçamentos entre as fissuras eram medidos depois do ensaio terminado.

Os deslocamentos foram medidos a partir do início de aplicação das cargas e até a fase próxima à ruína do modelo. Os valores observados foram comparados com os teóricos calculados com as hipóteses do item 3.7.

Com os objetivos citados optou-se por projetar modelos de tal modo que dentro de uma mesma série as alturas, as espessuras das mesas e da alma, as larguras das mesas comprimidas seriam as mesmas, inclusive as armaduras. As larguras das mesas tracionadas variaram, porém mantendo a armadura, aí posicionada, igual a do modelo de maior largura de mesa. Desse modo pretendeu-se obter resultados experimentais para fissuração com relação à variação da taxa de armadura.

4.1.2 Descrição dos modelos da série 1.

Os modelos da série 1 tinham 3.005mm de comprimento total, com distância de centro a centro dos apoios igual a 2.900mm. A

altura total era de 250mm. A largura da mesa de compressão (b_{fs}) foi fixada em 150mm. As espessuras das mesas de compressão (h_{fs}), e de tração (h_{fi}) e da alma (b_w) foram adotadas iguais a 25mm. A largura da mesa de tração foi adotada igual a:

MODELO	LARGURA DA MESA DE TRAÇÃO (mm)
1/1	425
1/2	325
1/3	225
1/4	125

O objetivo de se executar 4 modelos, com mesma largura da mesa de compressão, mesmas espessuras das mesas de compressão, tração e da alma, era observar o comportamento destes com relação à fissuração desde que mantida a mesma área de armadura longitudinal.

A armação dos modelos era constituída por telas eletrosoldadas, definidas pela NBR 7481/82³⁴, tipo EL 126/63, com direção dos fios longitudinais da tela paralelos aos eixos longitudinais dos modelos. Como armadura complementar, na mesa tracionada, posicionaram-se 4 fios de aço CA-60, com diâmetro igual a 6,3mm e que seguiam o prescrito na NBR 7480/85³⁵.

A tela eletrosoldada para argamassa armada tipo EL 126/63, produzida pela TELCON S.A. - Indústria e Comércio, tinha as seguintes características: fios longitudinais e transversais de aço CA-60, com 2mm de espessura; área da seção transversal dos fios, cortados por um plano perpendicular à direção longitudinal da tela, de $1,26\text{cm}^2/\text{m}$; área da seção transversal dos fios, cortados por um plano paralelo à direção longitudinal da tela, de $0,63\text{cm}^2/\text{m}$; espaçamento entre os fios longitudinais de 25mm e espaçamento entre os fios transversais de 50mm.

Esses dados são nominais e obtidos no catálogo do IBTS - Instituto Brasileiro de Telas Soldadas .

Os cobrimentos eram de 6mm, conforme indicado pelo Projeto de Norma de Argamassa Armada para peças em ambientes não protegidos.

Próximo às faces externas das mesas comprimidas e tracionadas posicionaram-se telas com comprimentos idênticos ao comprimento total da viga, respeitando os cobrimentos nas faces das vigas. Junto às faces internas e nas faces das almas colocaram-se telas que eram convenientemente dobradas junto às intersecções das faces das almas com as faces das mesas comprimidas e tracionadas.

Diafragmas de argamassa armada eram moldados e colados com massa plástica junto às faces dos modelos, com a finalidade de distribuir as reações nas seções transversais dos apoios.

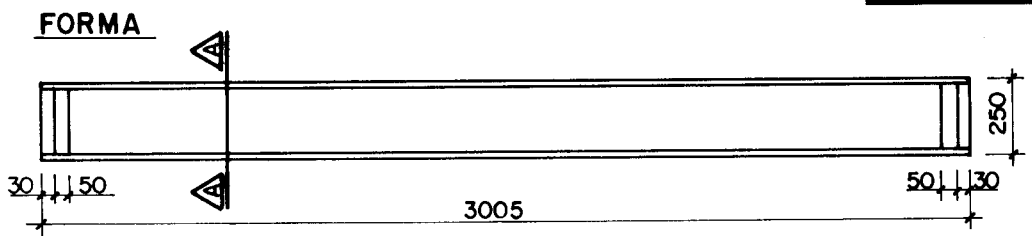
As figuras 4.1 a 4.8 apresentadas a seguir mostram a forma dos modelos, dos diafragmas junto aos apoios e o detalhamento das armaduras para cada modelo da série 1.

Nos modelos, de uma mesma série, com largura de mesa de tração menor, a armadura aí posicionada era mantida constante colocando-se fios adicionais, da tela EL 126/63. Os fios adicionais eram obtidos cortando-se os fios transversais da tela, mantendo-se, a partir dos nós, à direita e à esquerda, segmentos da ordem de 5mm, com a finalidade de melhorar a aderência e não enfraquecer os nós. Os resultados obtidos nos ensaios comprovaram que esse procedimento foi correto, pois, os momentos últimos experimentais para os modelos de uma mesma série ficaram próximos.

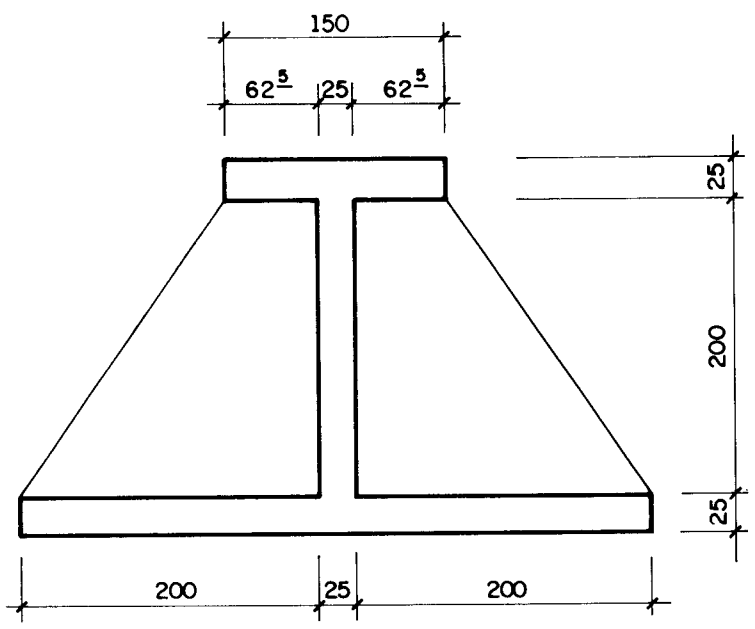
Os modelos desta série permitiram observações dos estados limites de utilização, ou seja, durante os ensaios foi possível acompanhar o estado de formação de fissuras, com a determinação do momento fletor de fissuração (M_r), do estado de fissuração inaceitável, com as medidas das aberturas das fissuras (w_r) em cada etapa do carregamento e das distâncias entre fissuras (s_r) medidas depois dos modelos descarregados. Em todas as etapas mediam-se os deslocamentos, com a finalidade de se analisar o estado de deformação excessiva.

Os quatro modelos desta série tiveram suas ações últimas definidas por ruptura causada por força cortante/tração, ou seja, os fios transversais das telas escoaram em seções contidas entre os apoios e os pontos de aplicações das cargas. As fissuras causadas pelas forças cortantes, próximo da fase de ruína apresentaram aberturas maiores que as fissuras de flexão

MODELO 1/1

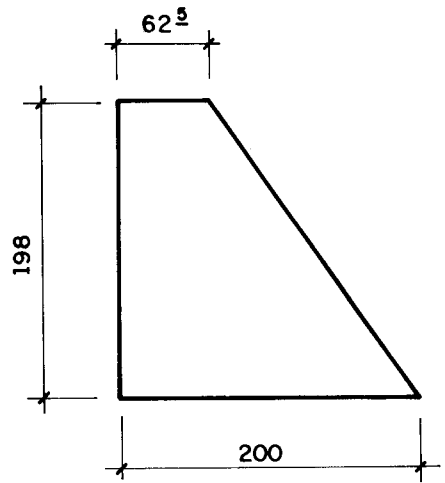


VISTA
ESC. 1:250

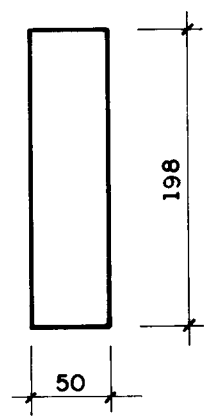


CORTE 
ESC. 1:50

DIAFRAGMAS NAS SEÇÕES DOS APOIOS



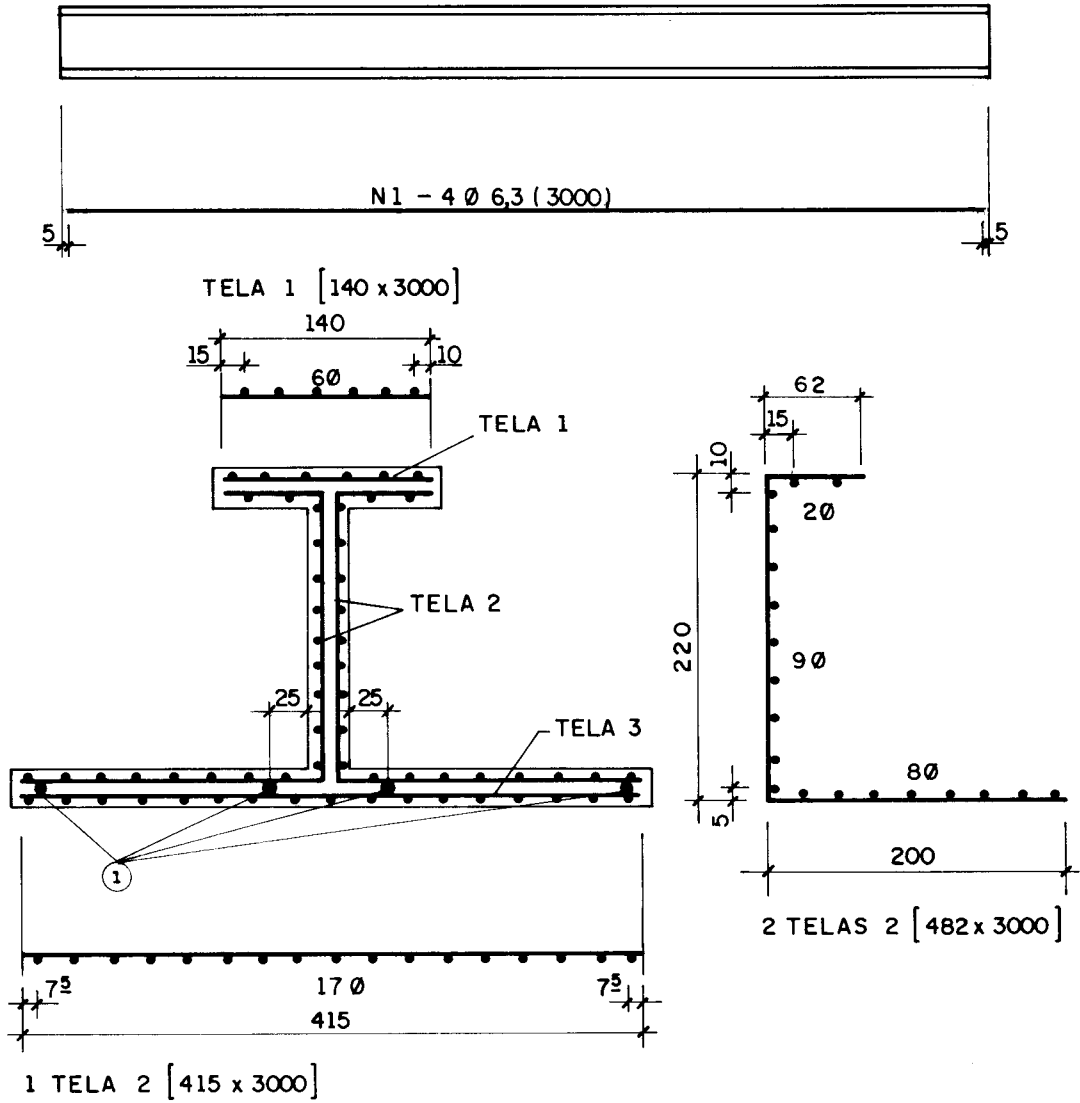
VISTA DE TOPO
ESC. 1:50



VISTA LATERAL
ESC. 1:50

FIGURA 4.1 - MODELO 1/1 - FORMA

ARMAÇÃO



DIAFRAGMAS PARA MODELO 1/1 - 4 UNIDADES

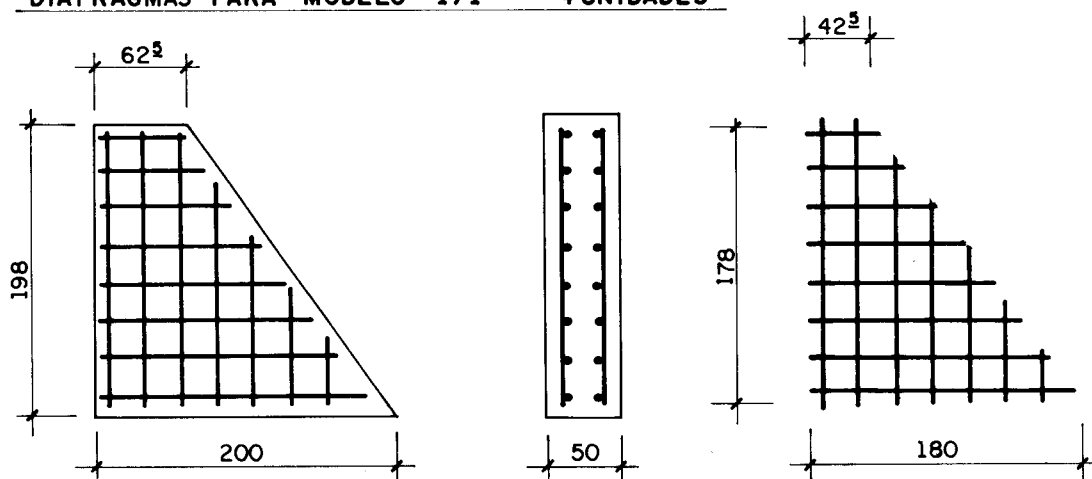
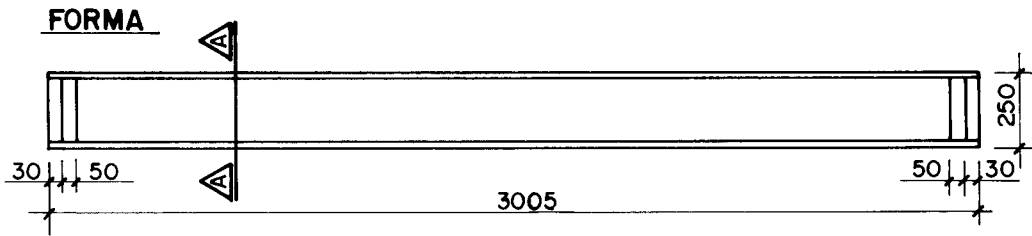
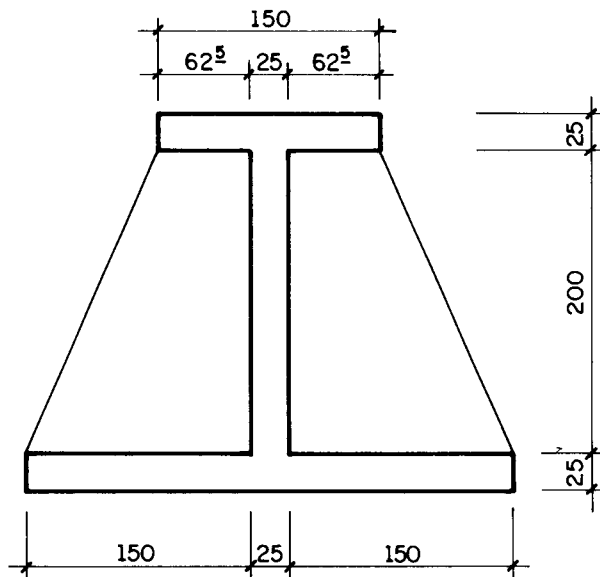


FIGURA 4.2 - MODELO 1/1 - ARMAÇÃO

MODELO 1/2

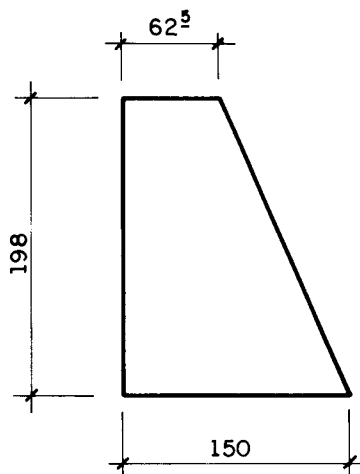


VISTA
ESC. 1:250

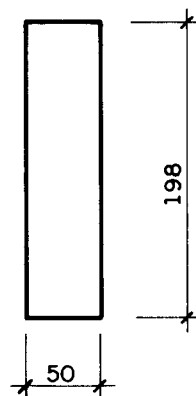


CORTE A
ESC. 1:50

DIAFRAGMAS NAS SEÇÕES DOS APOIOS



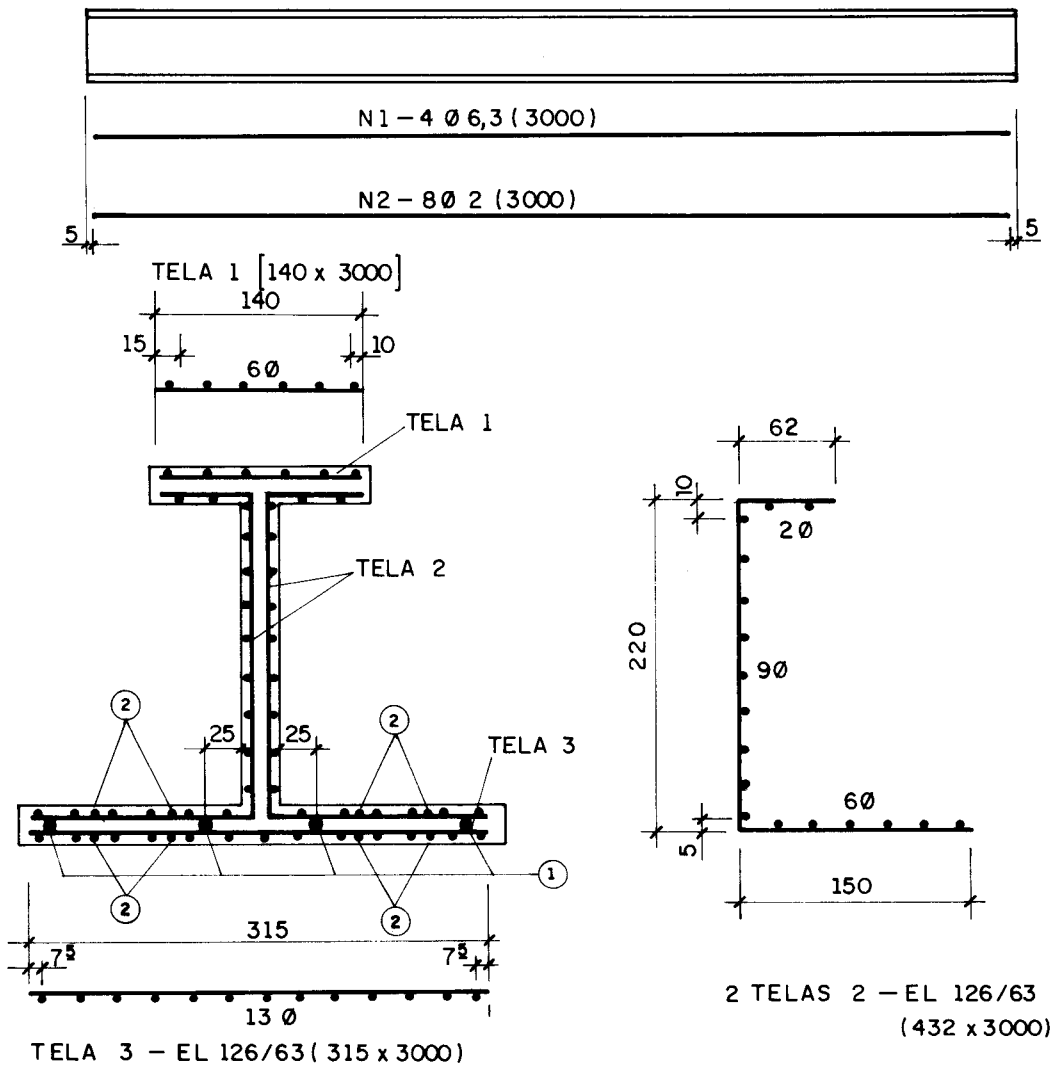
VISTA DE TOPO
ESC. 1:50



VISTA LATERAL
ESC. 1:50

FIGURA 4.3 — MODELO 1/2 — FORMA

ARMAÇÃO



DIAFRAGMAS PARA MODELO 1/2 - 4 UNIDADES

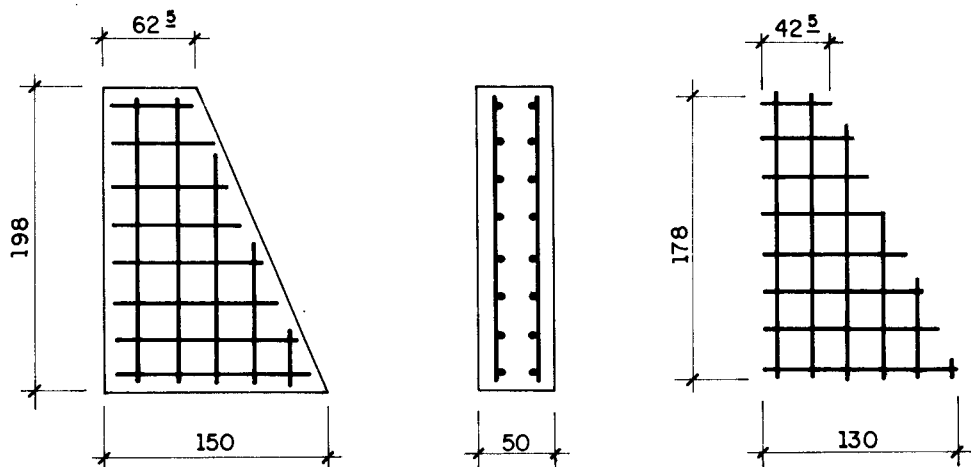
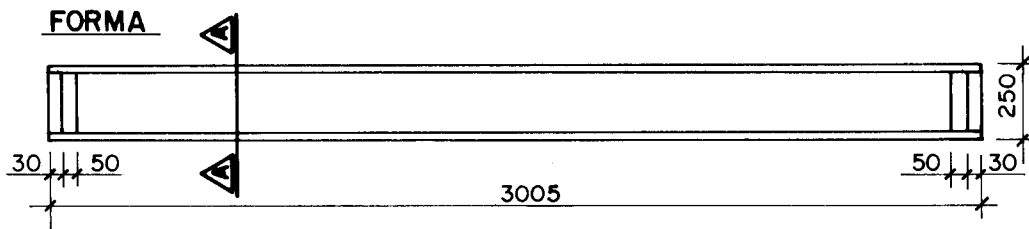
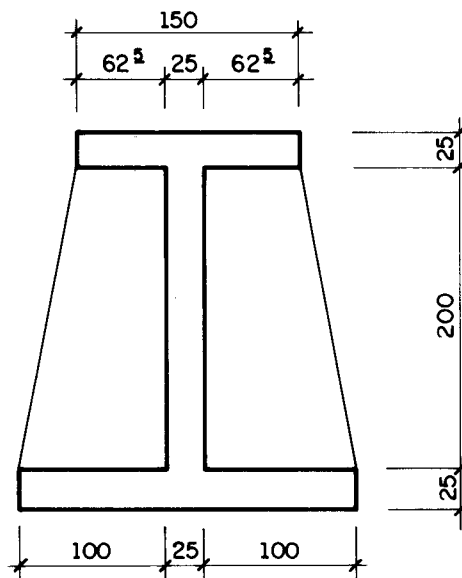


FIGURA 4.4 - MODELO 1/2 - ARMAÇÃO

MODELO 1/3

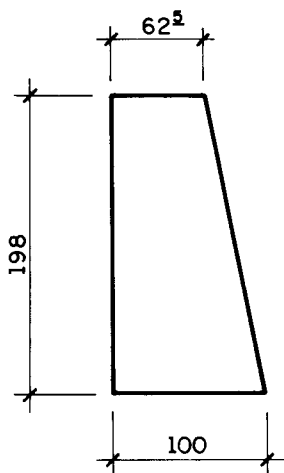


VISTA
ESC. 1:250

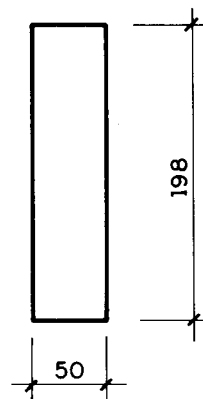


CORTE
ESC. 1:50

DIAFRAGMAS NAS SEÇÕES DOS APOIOS



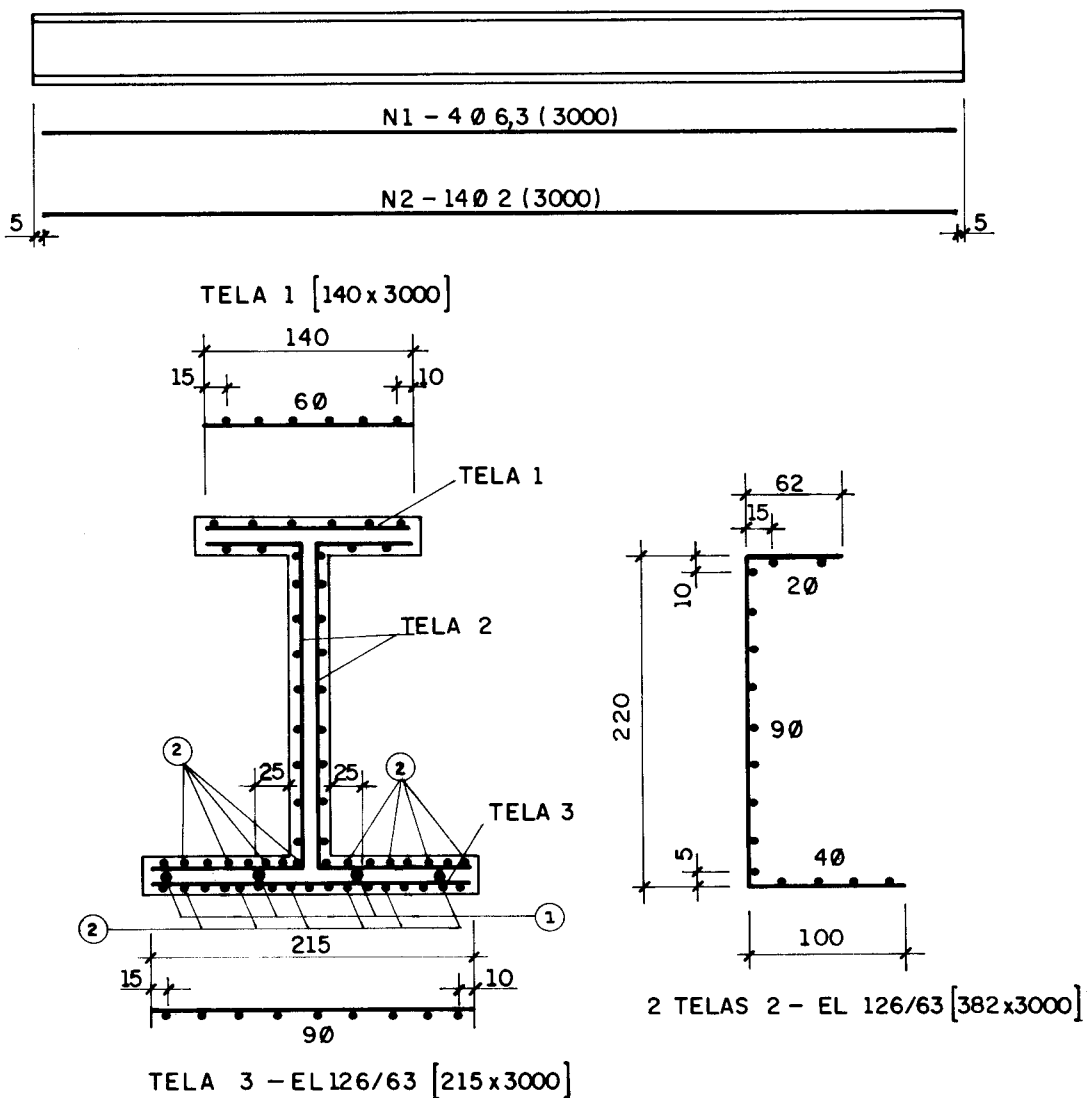
VISTA DE TOPO
ESC. 1:50



VISTA LATERAL
ESC. 1:50

FIGURA 4.5 — MODELO 1/3 — FORMA

ARMAÇÃO



DIAFRAGMAS PARA MODELO 1/3 - 4 UNIDADES

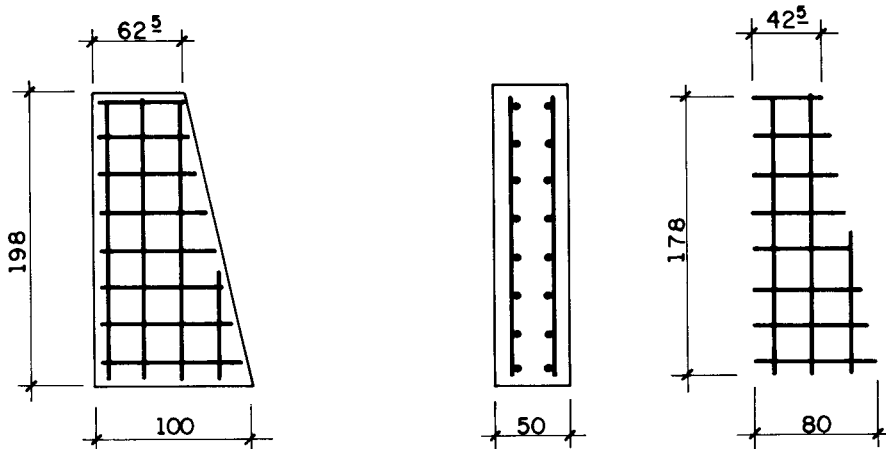
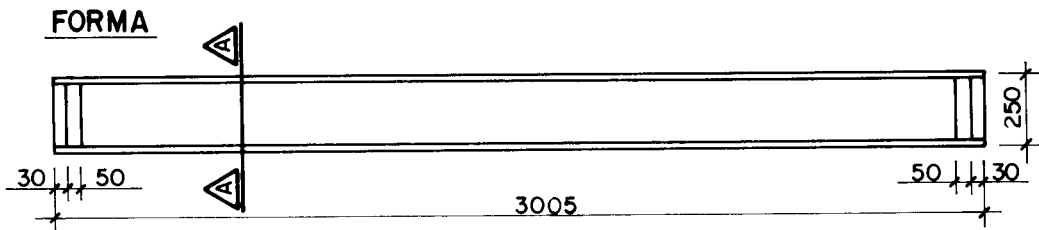
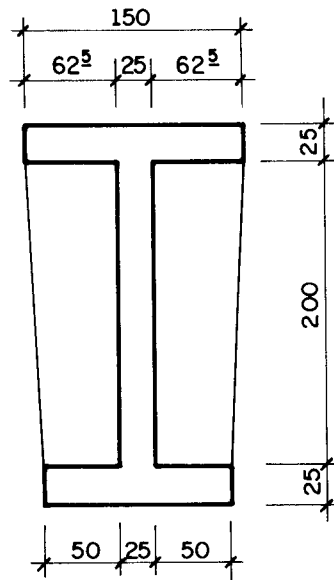


FIGURA 4.6 - MODELO 1/3 - ARMAÇÃO

MODELO 1/4

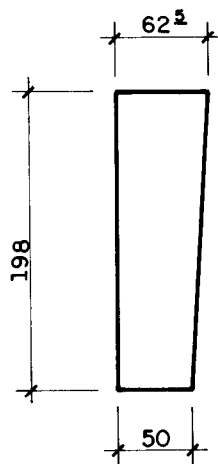


VISTA
ESC. 1:250

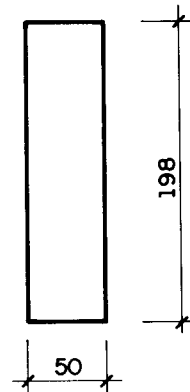


CORTE A
ESC. 1:50

DIAFRAGMAS NAS SEÇÕES DOS APOIOS



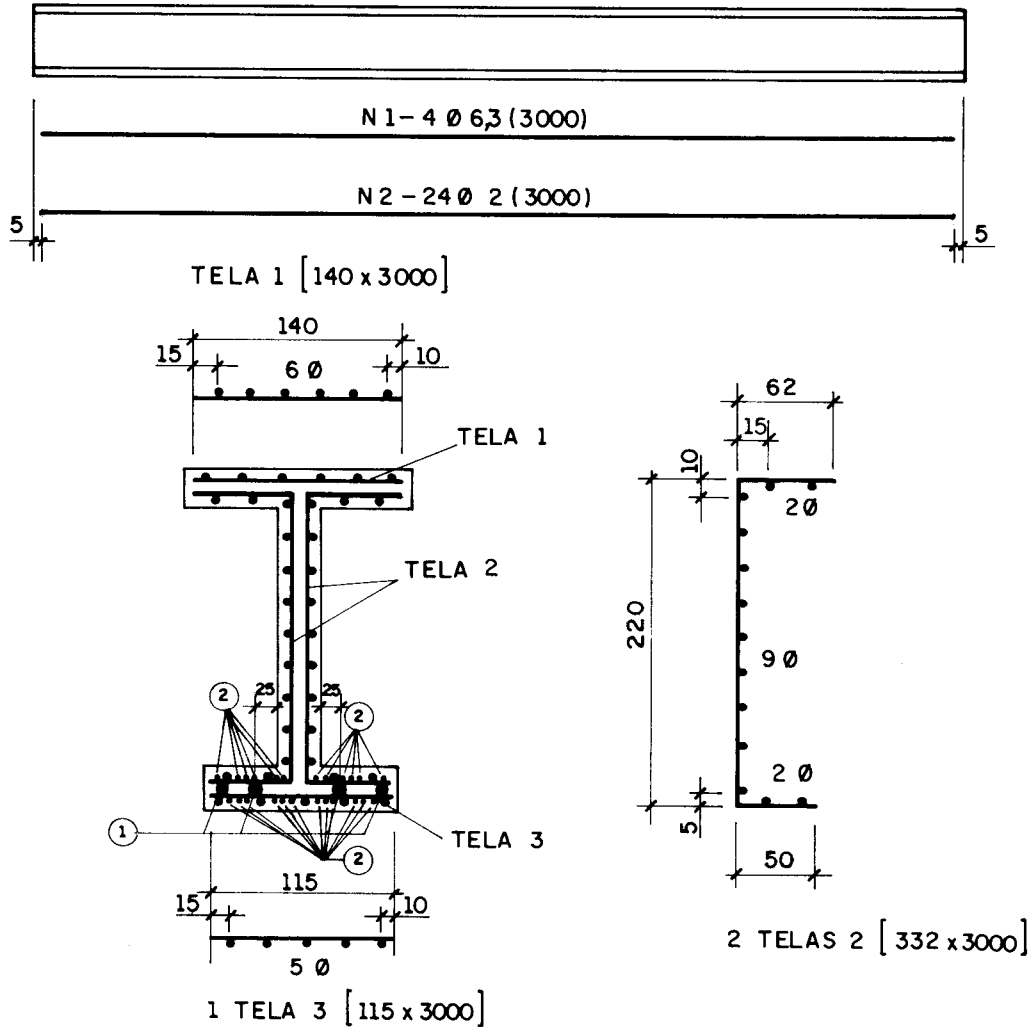
VISTA DE TOPO
ESC. 1:50



VISTA LATERAL
ESC. 1:50

FIGURA 4.7 — MODELO 1/4 — FORMA

ARMAÇÃO



DIAFRAGMA PARA MODELO 1/4 - 4 UNIDADES

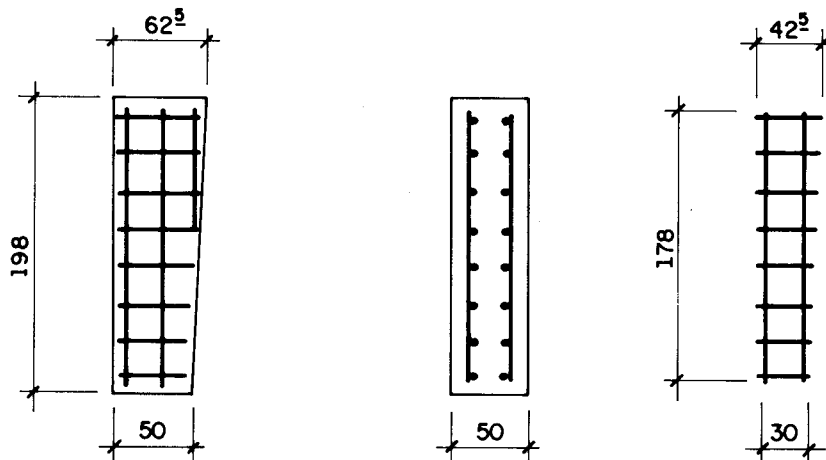


FIGURA 4.8 - MODELO 1/4 - ARMAÇÃO

em seções entre os planos de aplicação das cargas.

Sendo uma das finalidades deste trabalho acompanhar o progresso da fissuração até a ruína por ruptura da seção transversal, optou-se por projetar outro tipo de modelo que evitasse a ruína por força cortante.

4.1.3 Descrição dos modelos da série 2

Para esta série optou-se por construir modelos com 4.005mm de comprimento, medido de face a face e, projetou-se uma fôrma de tal modo a incorporar os diafragmas das extremidades. A seção duplo T foi mantida, porém, com as seguintes dimensões: largura da mesa comprimida (b_{fs}) igual a 100mm, espessuras da alma e da mesa tracionada (b_{fi}) iguais a 25mm.

A largura da mesa de tração (b_{fi}) foi adotado de acordo com a tabela seguinte:

MODELO	LARGURA DA MESA DE TRAÇÃO (mm)
2/1	325
2/2	225
2/3	125

Para facilitar a desforma, optou-se por prover os modelos com mísulas junto as ligações das mesas com as almas.

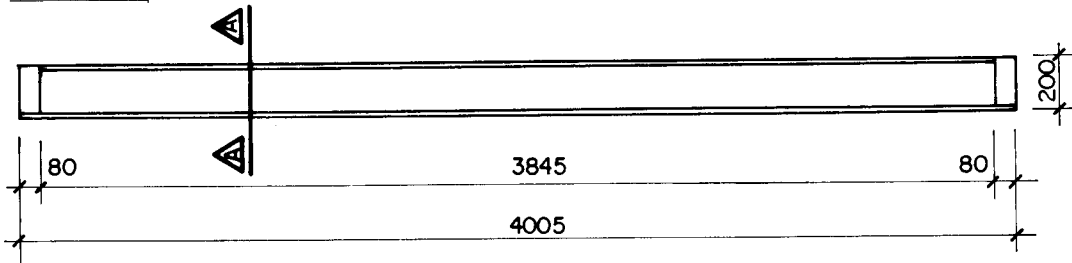
As mísulas junto a mesa comprimida eram constituídas por dois triângulos retângulos de catetos iguais a 37,5mm, paralelos à face comprimida, e 25mm, na direção perpendicular a essa. Próximo à mesa tracionada as mísulas eram constituídas por triângulos isóceles de catetos iguais a 25mm.

Os tipos de armações adotados foram idênticos aos dos modelos da série 1. Os fios longitudinais das telas tipo EL 126/63 ficaram posicionados paralelamente ao eixo longitudinal da peça. A armadura complementar adotada era constituída por 3 fios de 4,2mm de aço CA-60.

As formas dos modelos e os detalhamentos das armaduras são mostrados nas figuras 4.9 a 4.14.

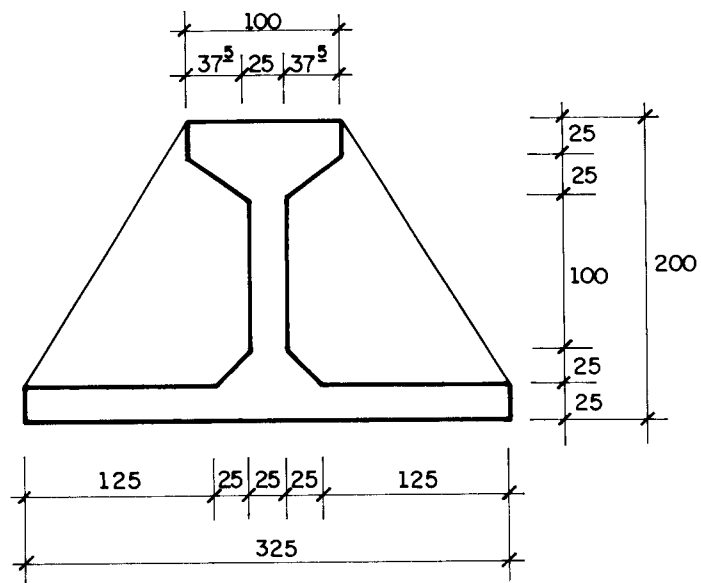
MODELO 2/1

FORMA



VISTA LATERAL

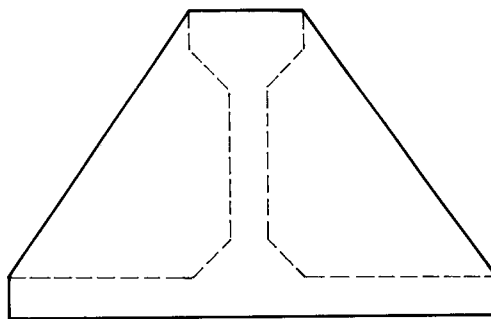
ESC. 1:30



CORTE A

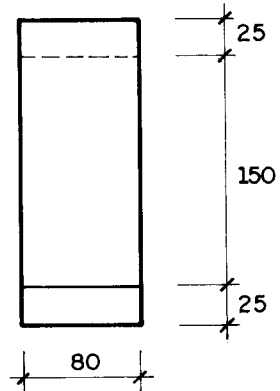
ESC. 1:5

SEÇÕES DOS APOIOS



VISTA DE TOPO

ESC. 1:5

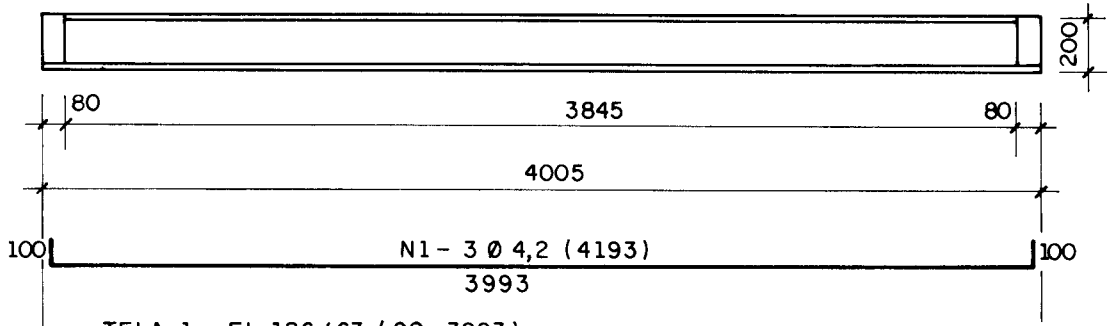


VISTA LATERAL

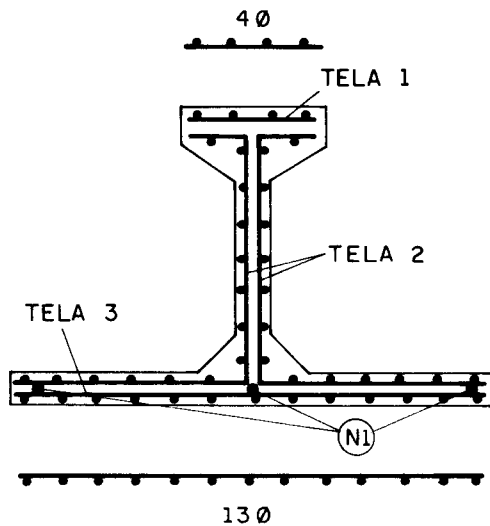
ESC. 1:5

FIGURA 4.9 - MODELO 2/1 - FORMA

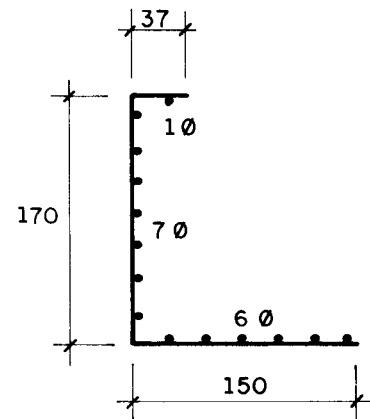
ARMAÇÃO



TELA 1 - EL 126/63 (90 x 3993)



TELA 3 - EL 126/63 (315 x 3993)



2 TELAS 2 - EL 126/63 (357 x 3993)

ARMAÇÃO DOS DIAFRAGMAS NOS ENSAIOS

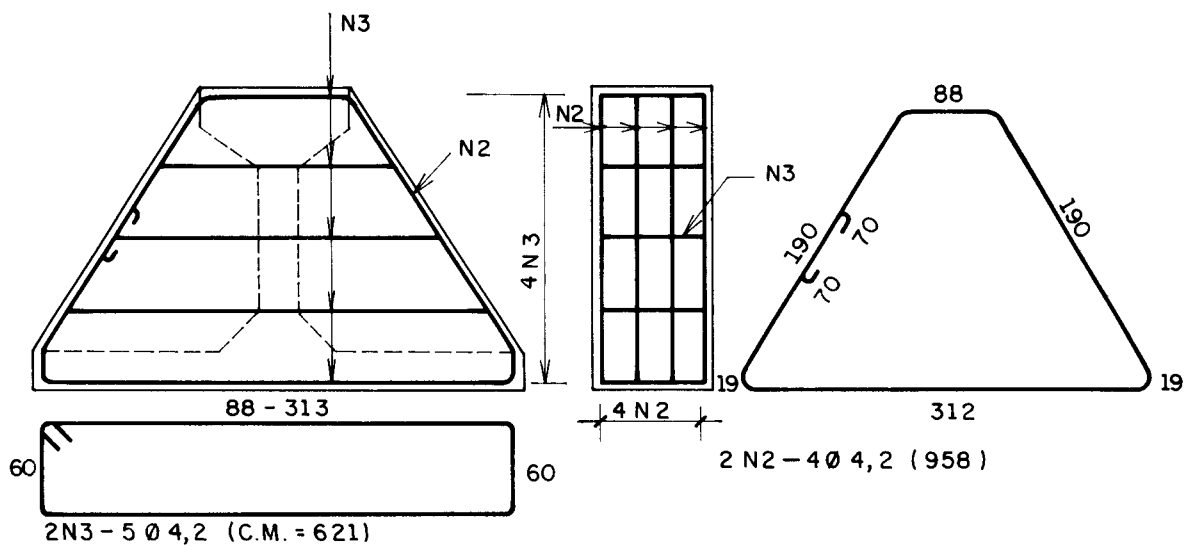
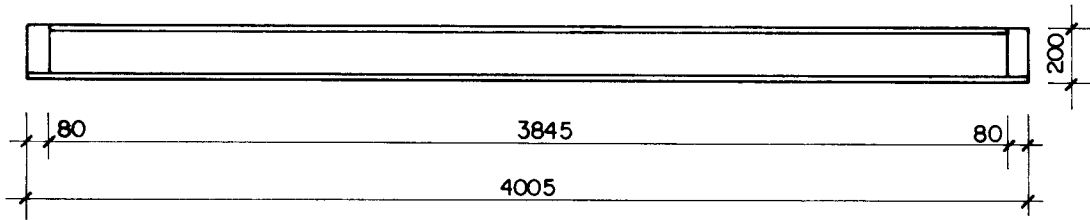


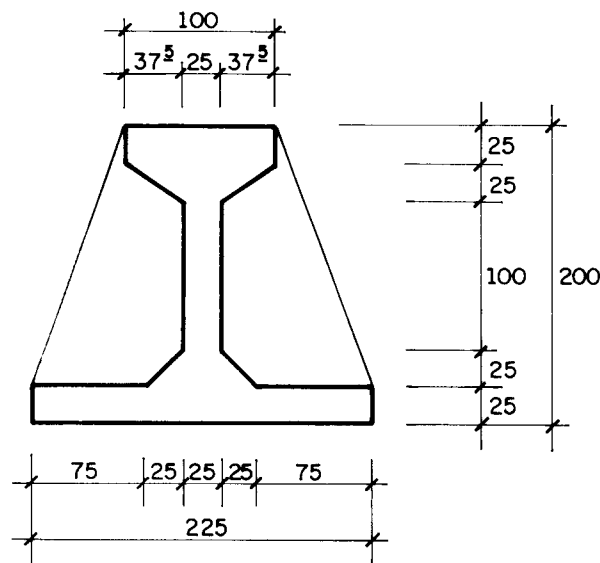
FIGURA 4.10 - MODELO 2/1 - ARMAÇÃO

FORMA



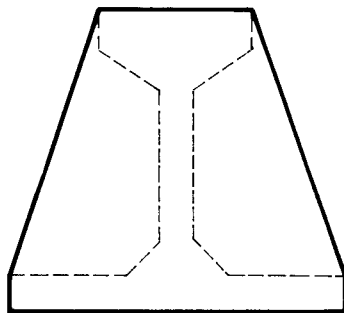
VISTA LATERAL

ESC. 1:30

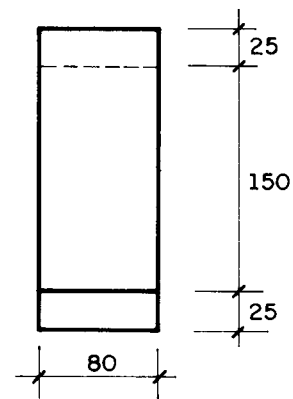


CORTE A
ESC. 1:5

SEÇÕES DOS APOIOS



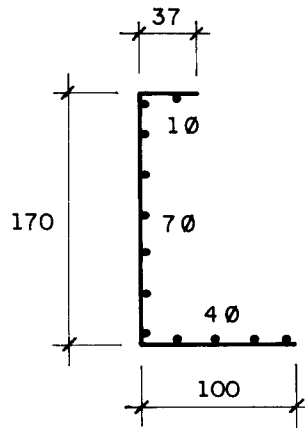
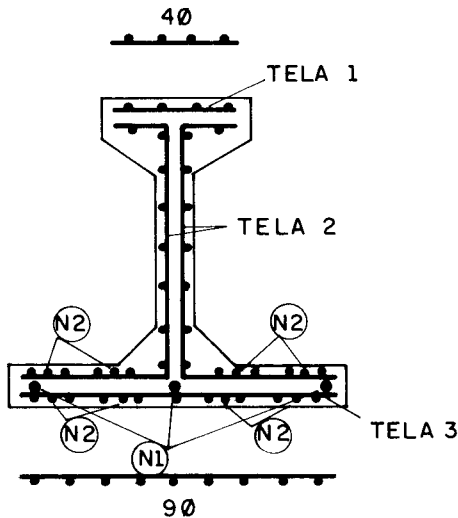
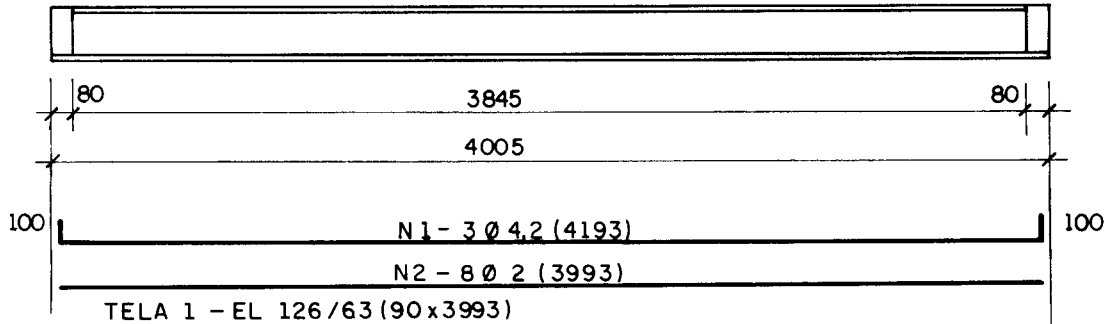
VISTA DE TOPO
ESC. 1:5



VISTA LATERAL
ESC. 1:5

FIGURA 4.11 - MODELO 2/2 - FORMA

ARMAÇÃO



TELA 3 - EL 126/63 (215 x 3993)

2 TELAS 2 - EL 126/63 (307 x 3993)

ARMAÇÃO DOS DIAFRAGMAS NOS APOIOS

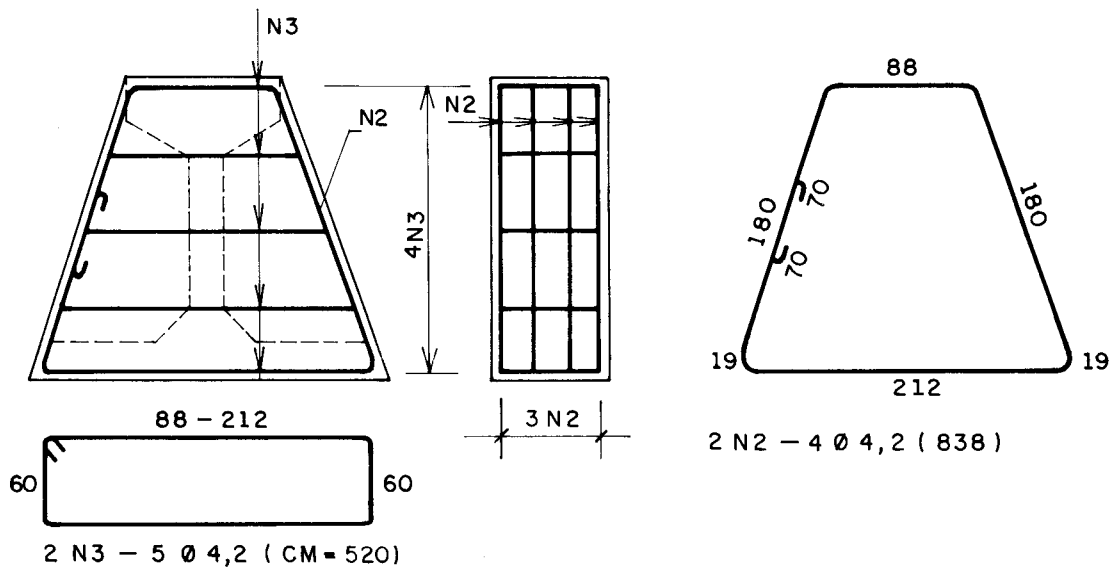
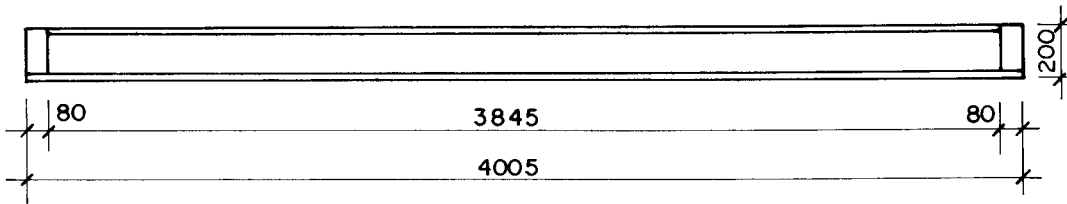


FIGURA 4.12 - MODELO 2/2 - ARMAÇÃO

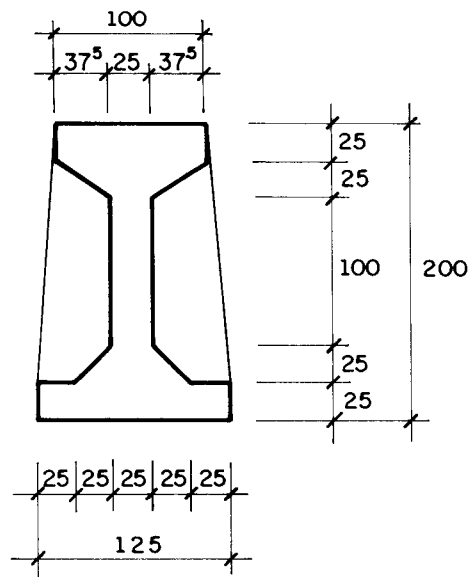
MODELO 2/3

FORMA



VISTA LATERAL

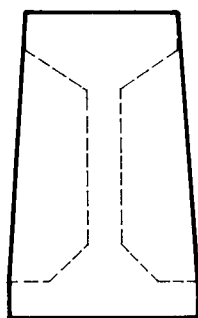
ESC. 1:30



CORTE A

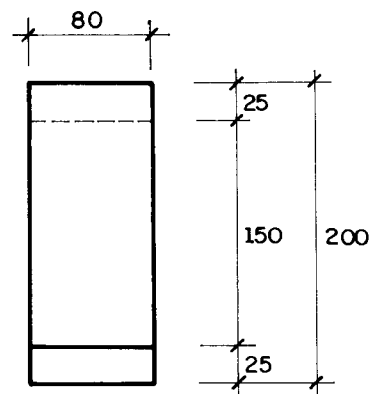
ESC. 1:5

SEÇÕES DOS APOIOS



VISTA DE TOPO

ESC. 1:5

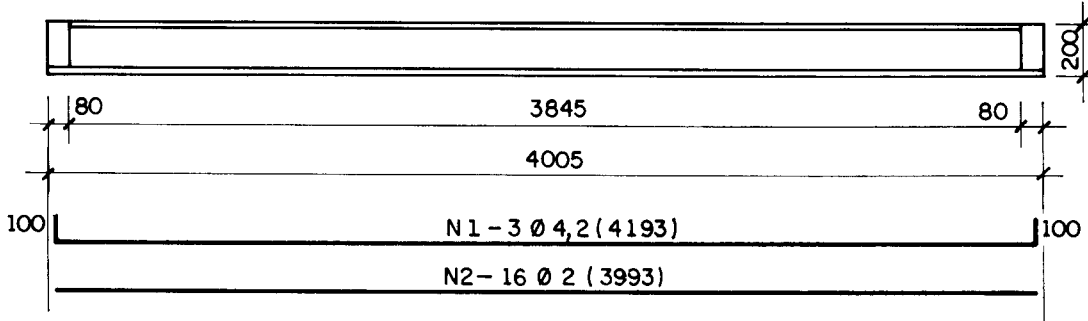


VISTA LATERAL

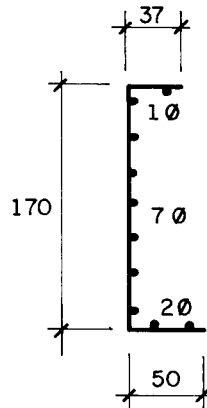
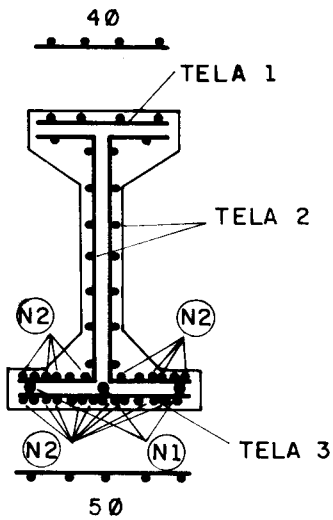
ESC. 1:5

FIGURA 4.13 — MODELO 2/3 — FORMA

ARMAÇÃO



TELA 1 - EL 126/63 (90 x 3993)



2 TELAS 2 - EL 126/63 (257 x 3993)

TELA 3 - EL 126/63 (115 x 3993)

ARMAÇÃO DOS DIAFRAGMAS NOS APOIOS

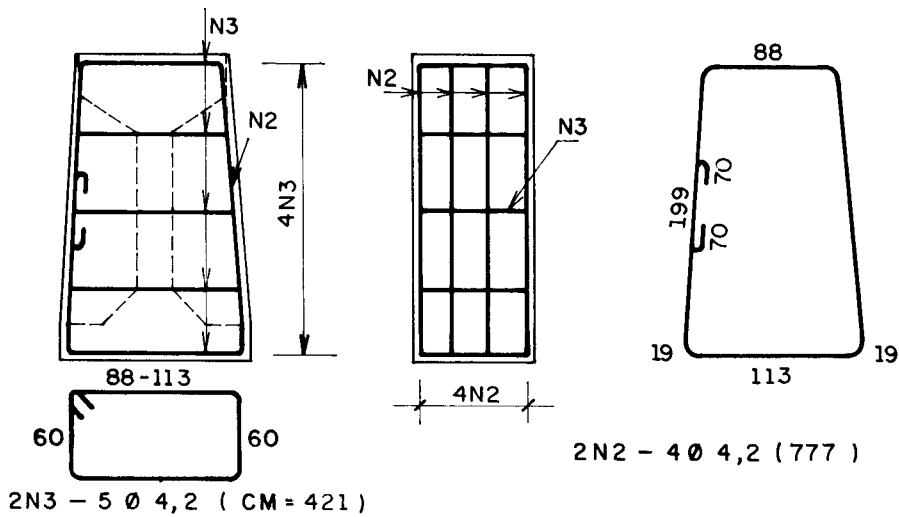


FIGURA 4.14 - MODELO 2/3 - ARMAÇÃO

Ao contrário do que ocorreu com os modelos da série 1, todos os três modelos desta série romperam por flexão, permitindo até o final dos ensaios observarem-se o progresso das fissurações e dos deslocamentos, bem como a observação do estado limite de formação de fissuras.

A incorporação dos diafragmas aos modelos, junto às extremidades, trouxe melhor distribuição de cargas nos apoios e um melhor comportamento global.

4.1.4 Descrição dos modelos da série 3

Os três modelos da série 3, possuíam as mesmas formas dos respectivos modelos da série 2. A alteração fundamental foi na posição da armadura constituída por telas. Naqueles, as direções longitudinais dos fios das telas EL 126/63 eram paralelas aos eixos longitudinais dos modelos. Nos modelos da série 3, se fizeram as direções transversais das telas EL 126/63 ficarem paralelas aos eixos longitudinais dos modelos.

Os fios transversais das armações dos modelos ficaram distribuídos um a cada 25mm, sendo que nos modelos da série 2 tinham-se a distribuição de um fio transversal a cada 50mm.

Como a dimensão transversal da tela adotada neste trabalho é de 900mm, e como os modelos desta série tinham 4005mm de comprimento, medido de face a face, houve necessidade de se emendar os fios transversais das telas, agora posicionados nas direções longitudinais dos modelos.

As emendas desses fios eram por traspasse, com a colocação de um fio adicional, cortado da tela EL 126/63, com 300mm de comprimento, e posicionado de tal modo a ficar 150mm para cada lado da justaposição das telas.

Para se obter a mesma distribuição de fios longitudinais que a adotada para os modelos da série 2, fios adicionais eram posicionados entre dois fios transversais da tela agora colocados de tal modo a ficarem paralelos ao eixo longitudinal dos modelos da série 3.

A exemplo do que se fez nos modelos da série 2, tinham-se três fios complementares de 4,2mm de diâmetro na mesa tracionada.

Com a colocação desses fios e dos fios adicionais de 2mm de diâmetro esperavam-se para os modelos da série 3 ruptura com os mesmos momentos fletores resistentes últimos, pelo menos teóricamente.

As figuras 4.15 a 4.20 apresentam as formas e os detalhes das armações dos modelos da série 3.

4.1.5 Descrição do modelo 4/1.

O modelo 4/1 tinha a mesma forma do modelo 2/1, diferindo apenas na armadura entre as seções transversais de aplicação das cargas, como pode ser visto nas figuras 4.21 e 4.22. Nessas seções posicionaram-se apenas uma tela EL 126/63 nas mesas comprimida e tracionada e na alma. Essas três telas tinham os fios longitudinais posicionados paralelamente ao eixo longitudinal do modelo. A exemplo do que se fez nos modelos das séries 2 e 3, para que o momento fletor último teórico fosse o mesmo, colocaram-se fios adicionais, com 2mm de diâmetro e cortados da tela EL 126/63. Apenas as seções entre as cargas ficaram com essa armação, pois nas seções transversais entre as cargas e os apoios mantiveram-se a armação do modelo 2/1 pretendendo-se, com isto, manter a capacidade resistente das seções com relação a força cortante.

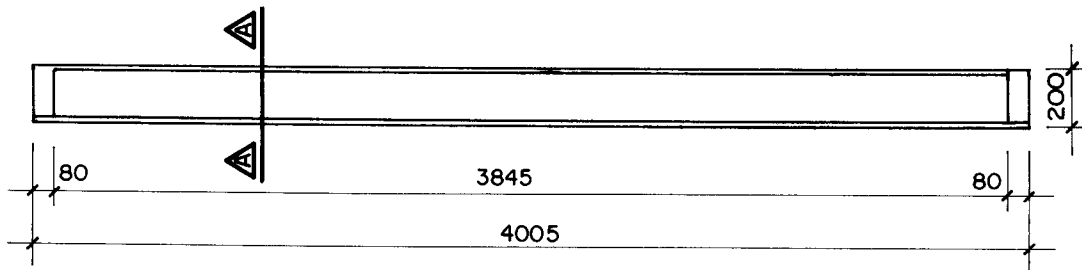
Assim, pode-se observar o progresso da fissuração quando essas seções foram armadas com apenas uma tela, e além disso observar o comportamento com relação ao aumento dos cobrimentos.

Deve-se notar que a taxa de armadura longitudinal, na região entre as cargas, deste modelo 4/1, era a mesma que a do modelo 2/1. A taxa de armadura transversal era metade da taxa do modelo 2/1.

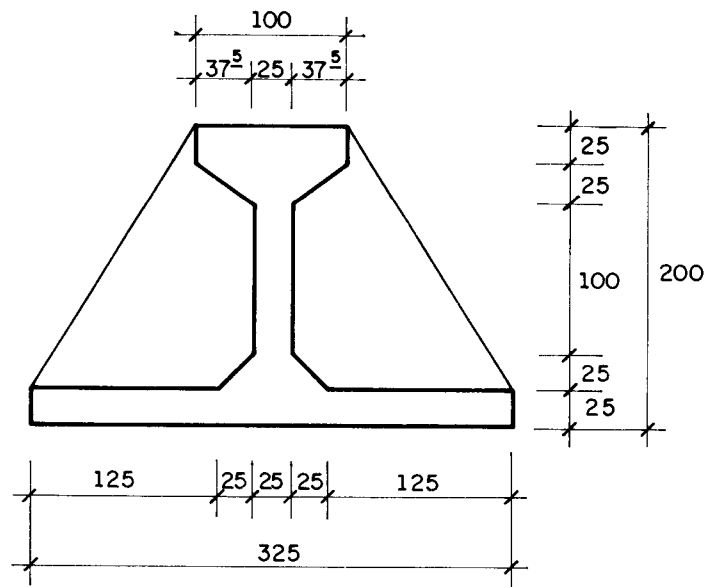
As emendas entre as armações, posicionadas entre as seções de aplicação das cargas e entre essas e as seções dos apoios, eram feitas por traspasse compreendendo quatro malhas em cada uma das telas emendadas o que resultou um comprimento de 100mm. Essas indicações atendiam o indicado no Projeto de Norma de Argamassa Armada.

FORMA

MODELO 3/1

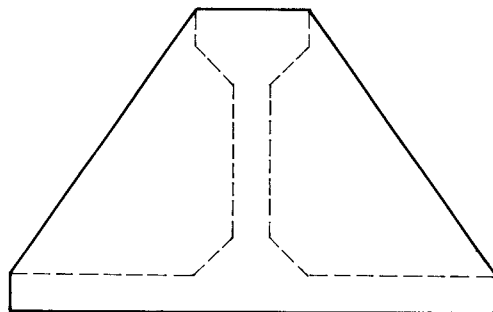


VISTA LATERAL
ESC. 1:30

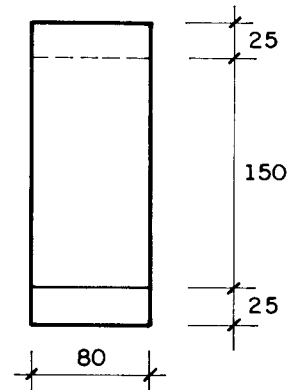


CORTE 
ESC. 1:5

SEÇÕES DOS APOIOS



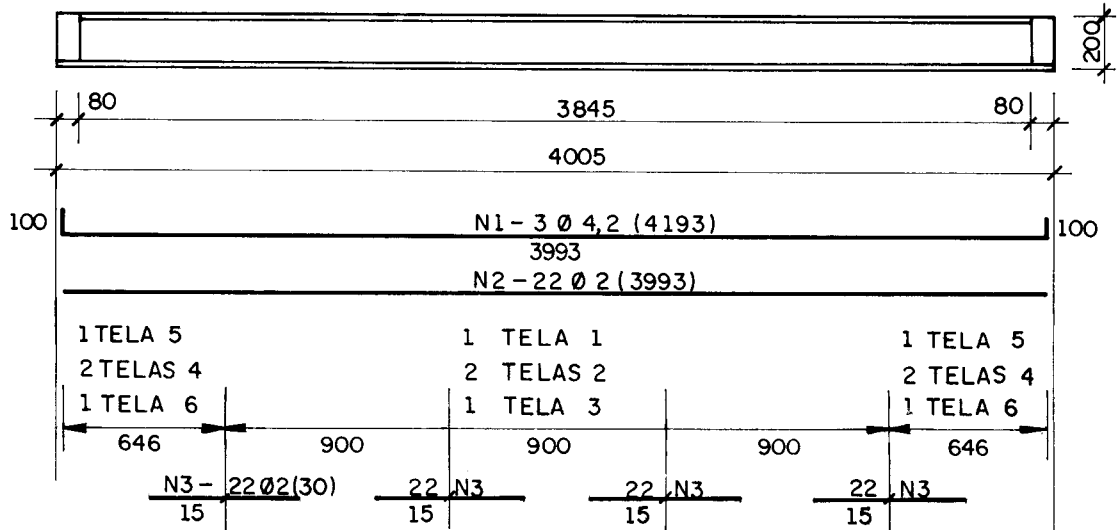
VISTA DE TOPO
ESC. 1:5



VISTA LATERAL
ESC. 1:5

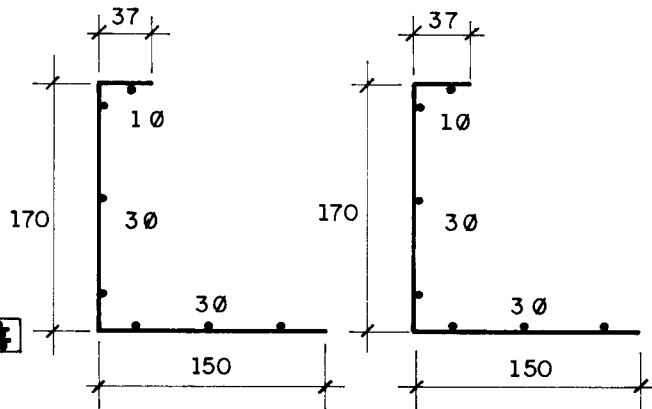
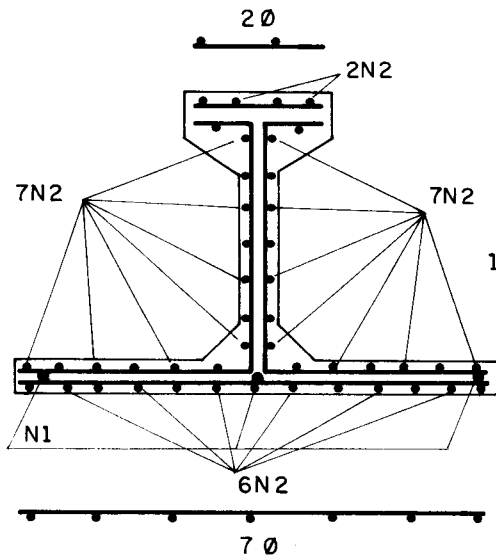
FIGURA 4.15 - MODELO 3/1 - FORMA

ARMAÇÃO



TELA 1 - EL 126/63 (90 x 900)

TELA 5 - EL 126/63 (90 x 646)



2 TELAS 4 - EL 126/63 (357 x 646)

3 x 2 TELA 2 - EL 126/63 (357 x 900)

TELA 3 - EL 126/63 (315 x 900)

TELA 6 - EL 126/63 (315 x 646)

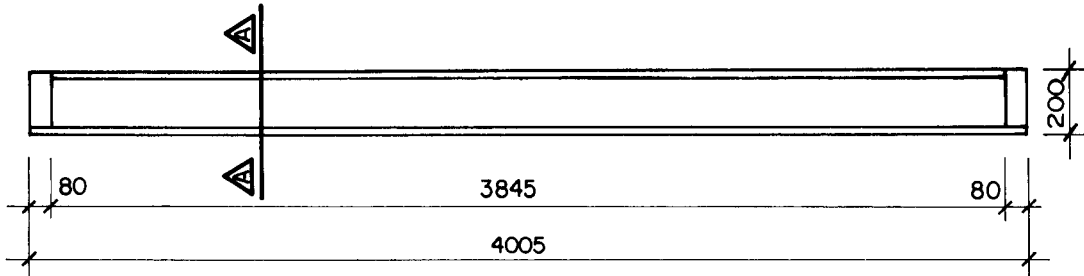
Obs. As armações dos diafragmas nos apoios são idênticas as do Modelo 2/1.

Os fios N3 emendam por traspasse os fios das telas justapostas.

FIGURA 4.16 - MODELO 3/1 - ARMAÇÃO

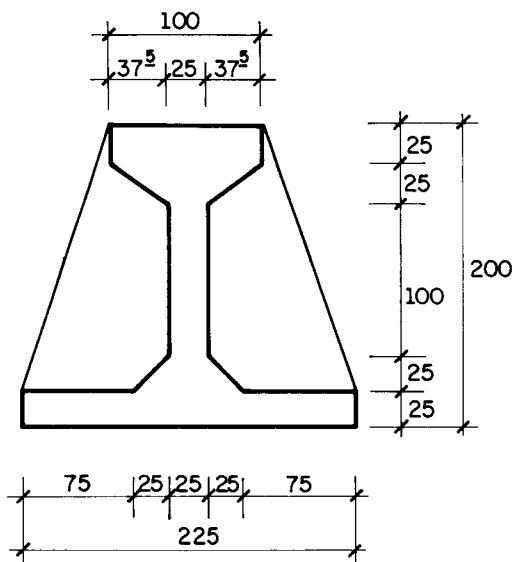
MODELO 3/2

FORMA



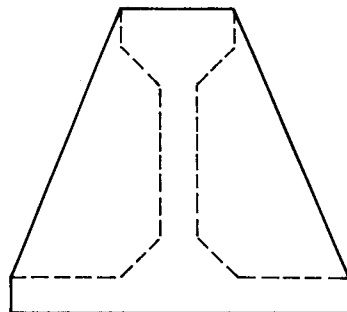
VISTA LATERAL

ESC. 1:30

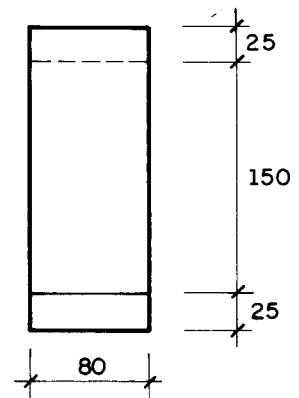


CORTE A
ESC. 1:5

SEÇÕES DOS APOIOS



VISTA DE TOPO
ESC. 1:5

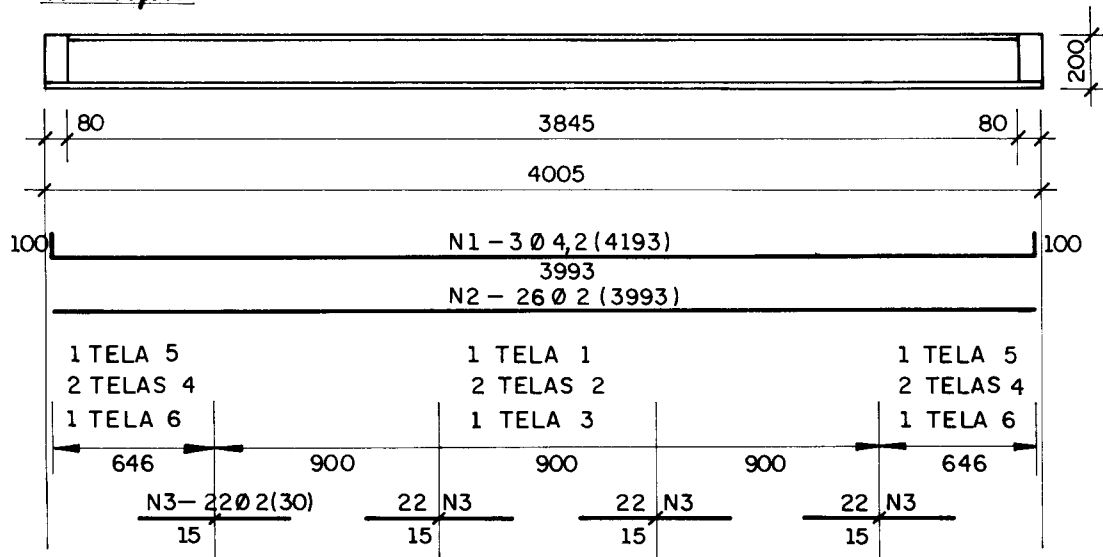


VISTA LATERAL
ESC. 1:5

FIGURA 4.17 — MODELO 3/2 — FORMA

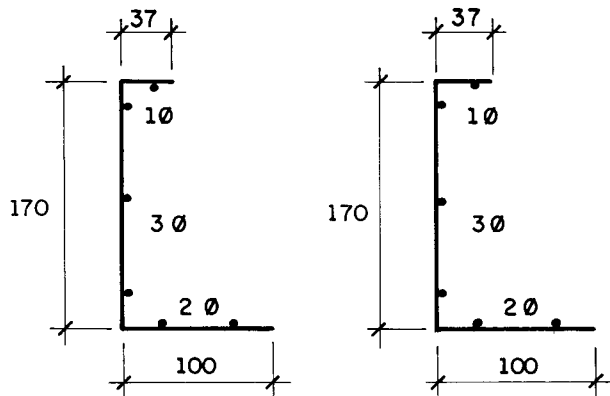
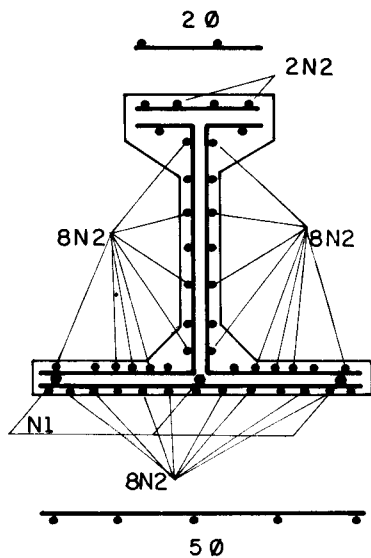
MODELO 3/2

ARMAÇÃO



TELA 1 - EL 126/63 (90 x 900)

TELA 5 - EL 126/63 (90 x 646)



2 TELAS 4 - EL 126/63 (307x646)

3x2 TELAS 2 - EL 126/63 (307 x 900)

TELA 3 - EL 126/63 (215x900)

TELA 6 - EL 126/63 (215x646)

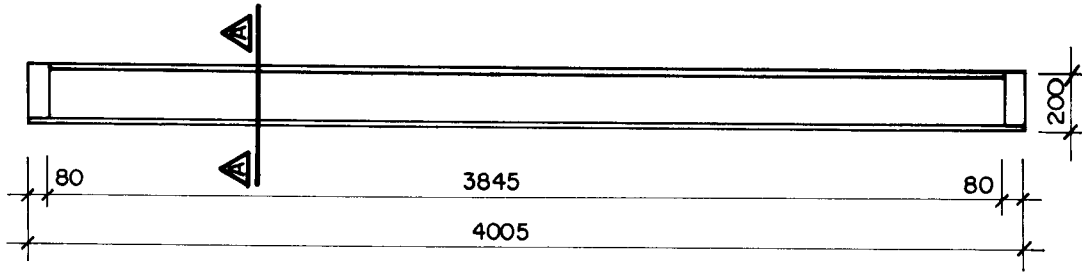
Obs. As armações dos diafragmas nos apoios são idênticas as do Modelo 2/2.

Os fios N3 emendam por traspasse os fios das telas justapostas.

FIGURA 4.18 - MODELO 3/2 - ARMAÇÃO

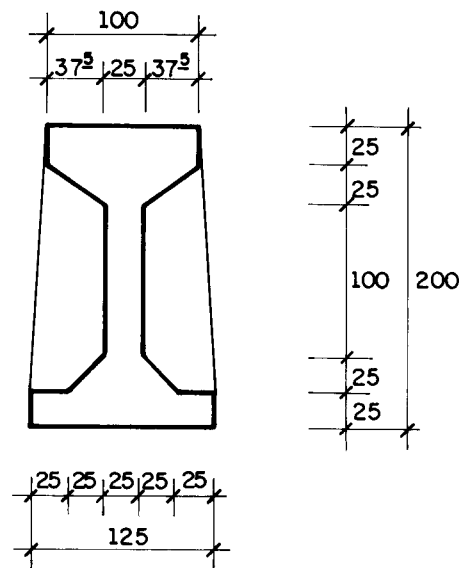
FORMA

MODELO 3/3



VISTA LATERAL

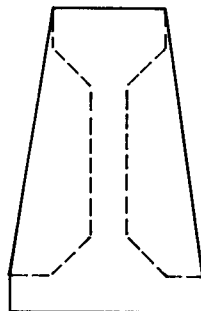
ESC. 1:30



CORTE A

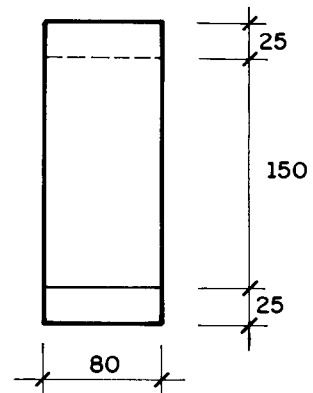
ESC. 1:5

SEÇÕES DOS APOIOS



VISTA DE TOPO

ESC. 1:5



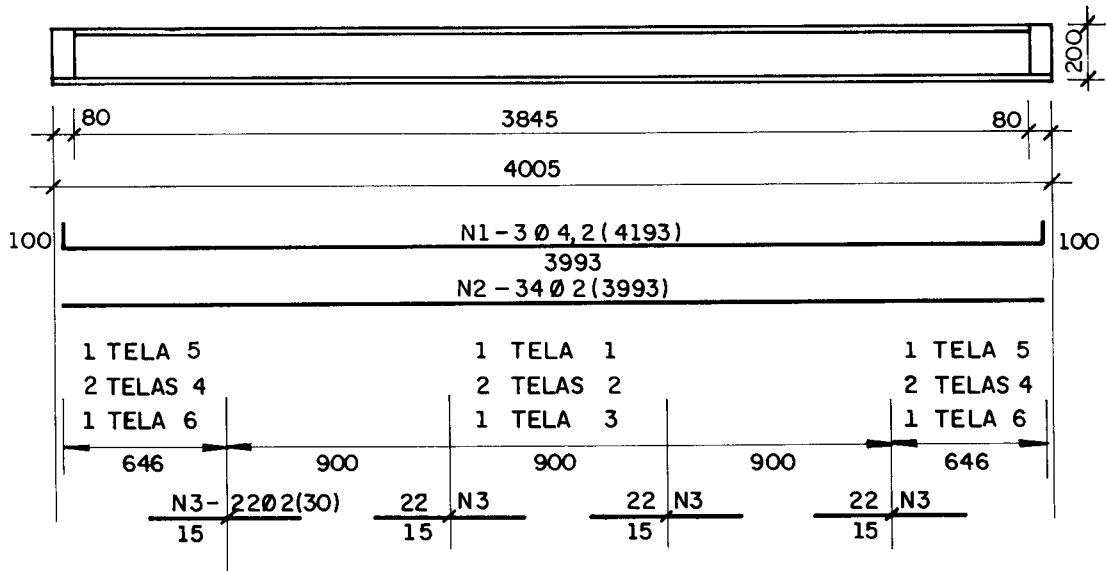
VISTA LATERAL

ESC. 1:5

FIGURA 4.19 - MODELO 3/3 - FORMA

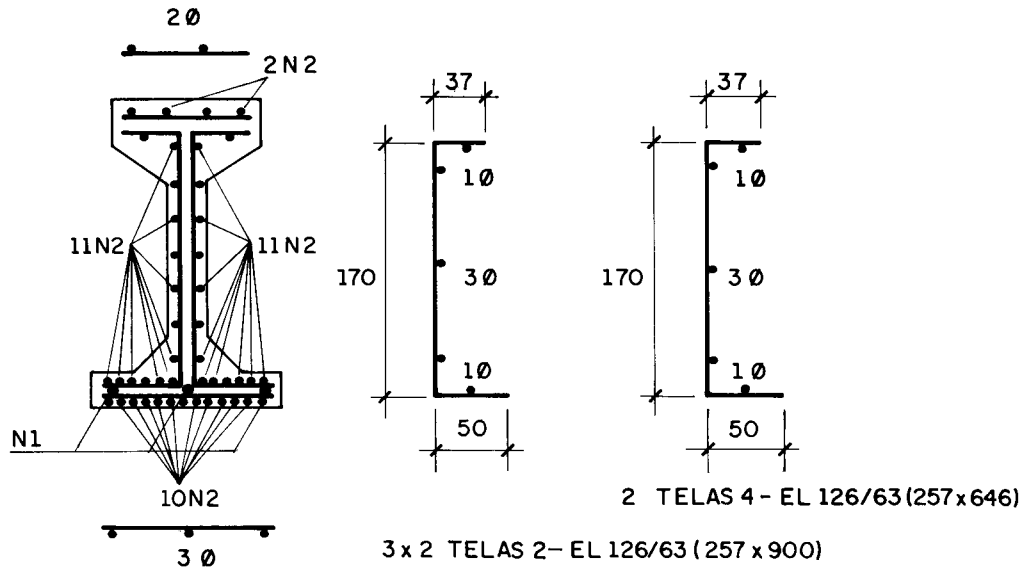
ARMAÇÃO

MODELO 3/3



TELA 1 - EL 126/63 (90 x 900)

TELA 5 - EL 126/63 (90 x 646)



TELA 3 - EL 126/63 (115 x 900)

TELA 6 - EL 126/63 (115 x 646)

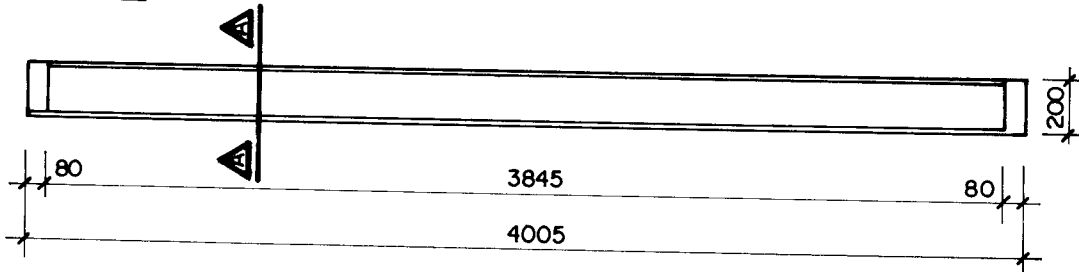
Obs. As armações dos diagramas nos apoios são idênticas as do Modelo 2/3.

Os fios N3 emendam por trasparse os fios das telas justapostas.

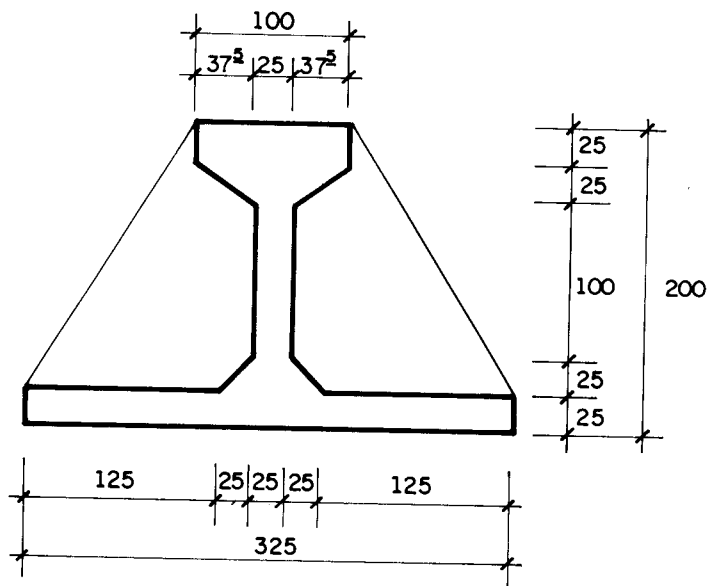
FIGURA 4.20 - MODELO 3/3 - ARMAÇÃO


FORMA

MODELO 4/1

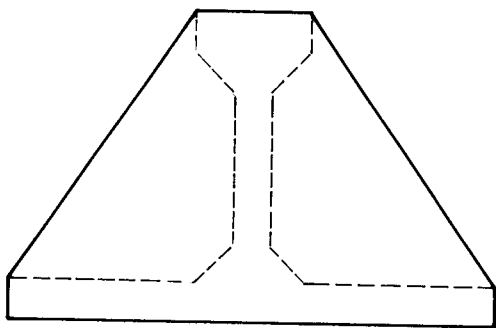


VISTA LATERAL
ESC. 1 : 30

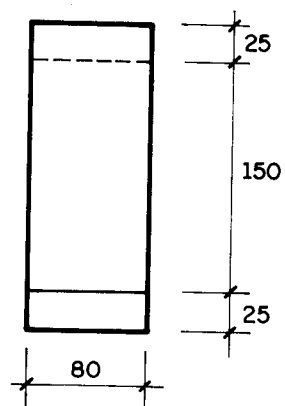


CORTE 
ESC. 1 : 5

SEÇÕES DOS APOIOS



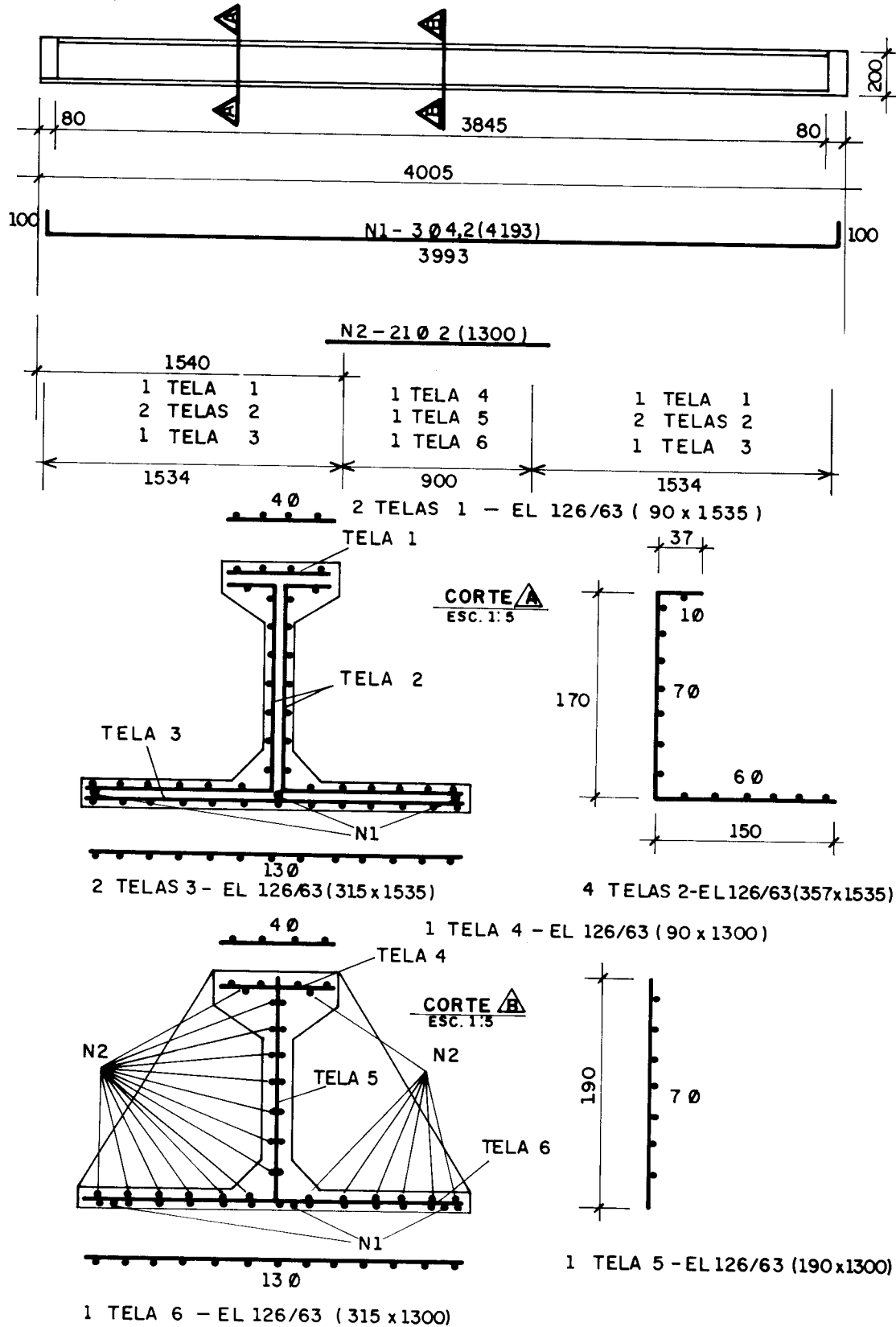
VISTA DE TOPO
ESC. 1 : 5



VISTA LATERAL
ESC. 1 : 5

FIGURA 4.21 — MODELO 4/1 — FORMA

ARMAÇÃO



Obs: As armações dos diafragmas nos apoios são idênticas as do Modelo 2/1

FIGURA 4.22 - MODELO 4/1 - ARMAÇÃO

4.1.6 Descrição do modelo 5/1

A forma e a armação do modelo 5/1 era semelhante a do modelo 3/1 diferindo apenas na armação posicionada entre as seções transversais de aplicação das cargas conforme mostrado nas figuras 4.23 e 4.24. Nessa região central, entre as seções de aplicação das cargas, posicionou-se uma tela nas mesas comprimida e tracionada e na alma.

Lembra-se que a armação dos modelos 3/1 e, agora a do modelo 5/1, eram tais que os fios longitudinais da tela ficavam posicionados paralelamente à seção transvesal. Com isso, os espaçamentos dos fios transversais nesses modelos eram de 25mm.

No modelo 5/1 também posicionaram-se fios adicionais de 2mm de diâmetro além dos três fios complementares de 4,2mm de diâmetro, com a finalidade de se manter o mesmo momento fletor último teórico dos modelos 2/1 e 3/1.

A exemplo do que se fez para o modelo 4/1, as emendas por traspasse foram montadas respeitando o mínimo de quatro malhas.

Nas regiões compreendidas entre as seções de aplicação das cargas e os apoios, as armações eram as mesmas adotadas para todas as seções transversais do modelo 3/1.

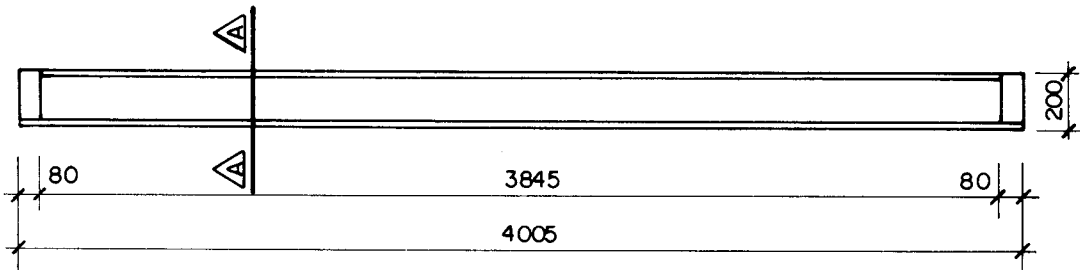
4.1.7 Descrição do modelo 5/1A

O modelo 5/1A era idêntico na forma (Figura 4.25) ao modelo 5/1 diferindo apenas na armação de telas posicionadas entre os planos dos apoios e os planos das cargas concentradas aplicadas nos modelos. Essa armação era idêntica a do modelo 2/1, isto é, com taxa de armadura transversal igual a 0,50%, com espaçamento entre os fios transversais igual a 50mm e, constituída por duas telas, conforme Figura 4.26 - Corte A. As armações nas seções transversais entre os planos perpendiculares ao eixo da peça, passando pelos centros de aplicação das cargas (Corte B), eram iguais as do modelo 5/1, ou seja, com taxa de armadura transversal igual a 0,50%.

Como a tela EL 126/63 tinha 900mm de largura, foi necessário emendar as telas posicionadas na região entre as cargas concentradas e as regiões entre estas e os apoios. As

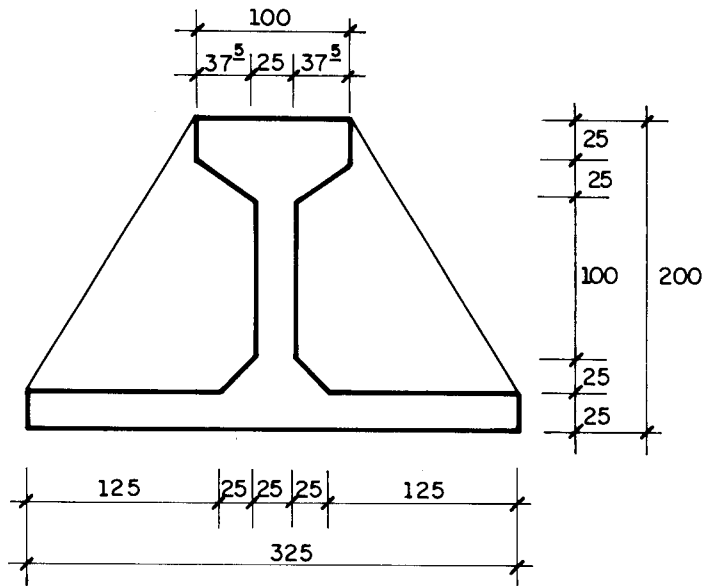
FORMA

MODELO 5/1



VISTA LATERAL

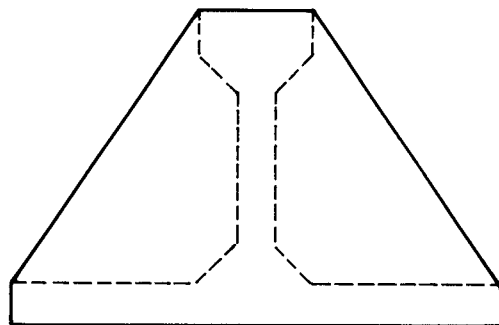
ESC. 1:30



CORTE

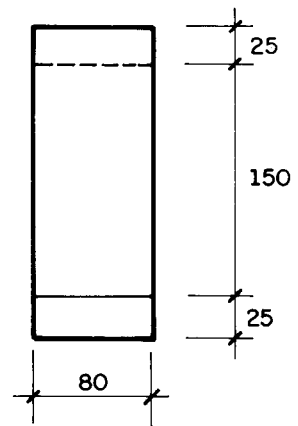
ESC. 1:5

SEÇÕES DOS APOIOS



VISTA DE TOPO

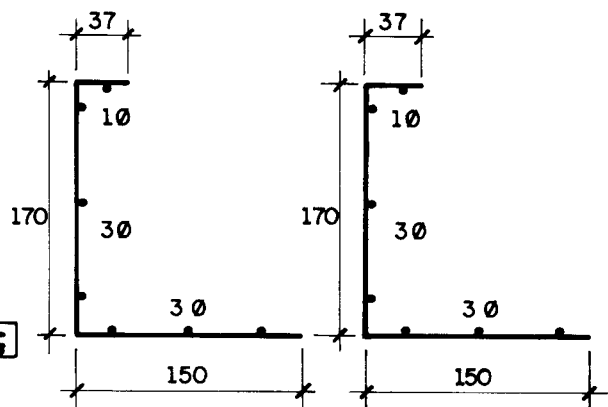
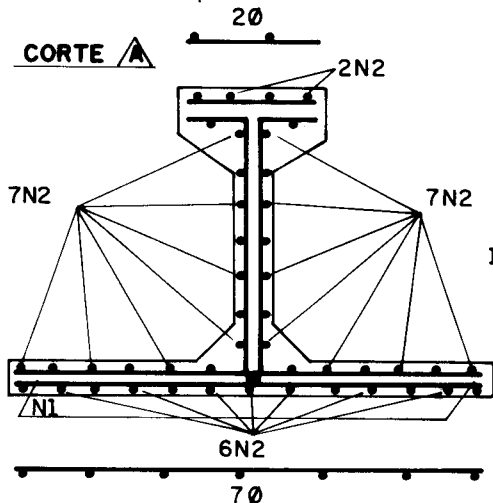
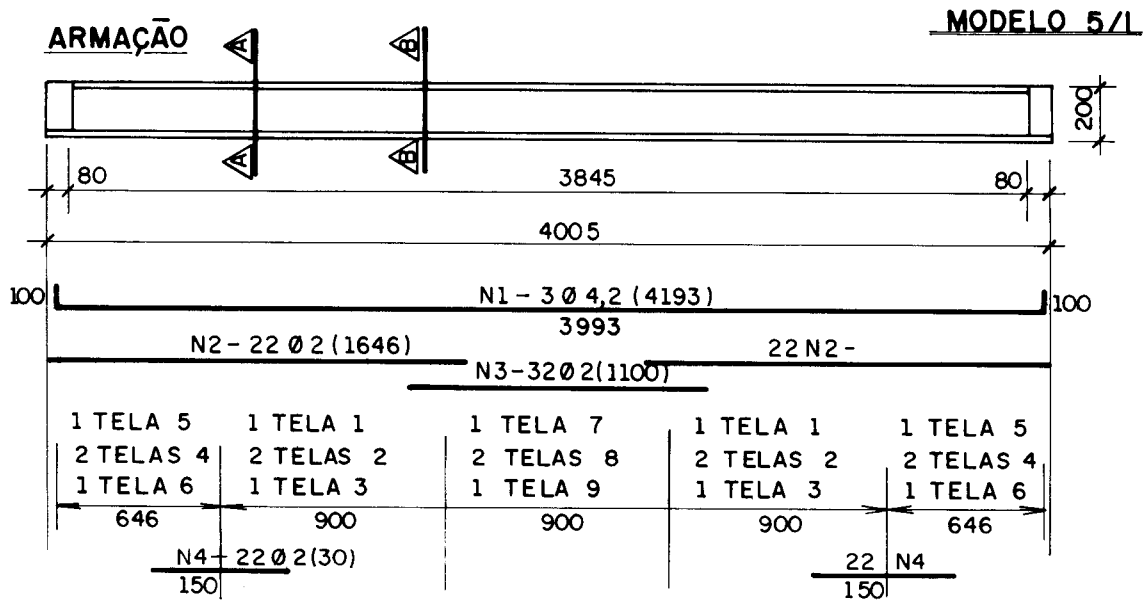
ESC. 1:5



VISTA LATERAL

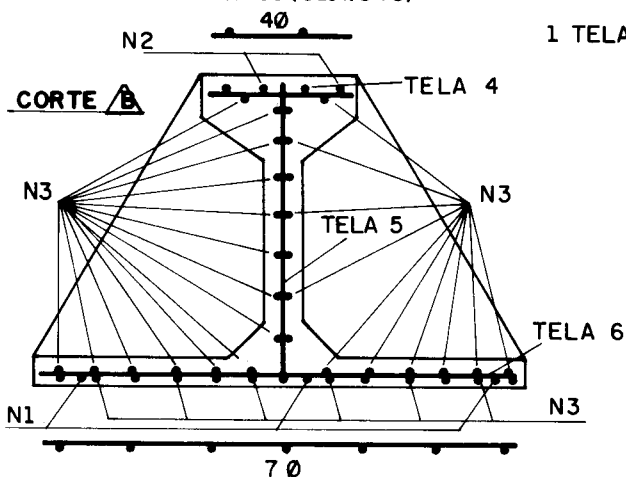
ESC. 1:5

FIGURA 4.23 - MODELO 5/1 - FORMA

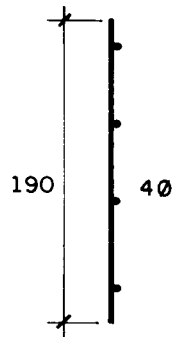


2 TELAS 4 - EL 126/63(357x646)
3 x 2 TELA 2 - EL 126/63(357x900)

TELA 3 - EL 126/63 (315x900)
TELA 6 - EL 126/63 (315x646)



1 TELA 7 - EL 126/63 (90 x 900)



1 TELA 8 - EL 126/63 (190x900)

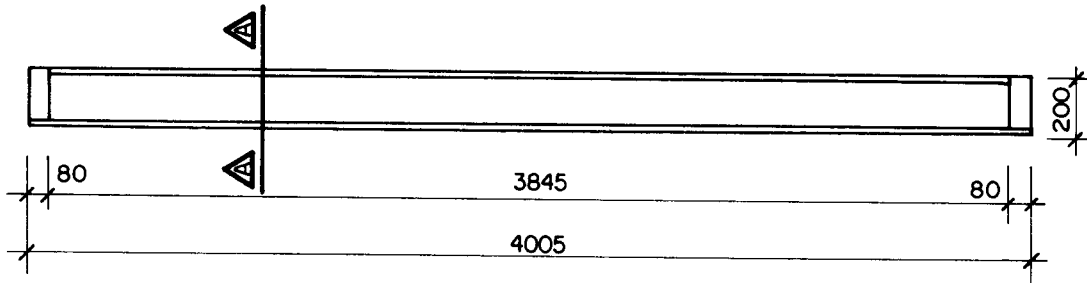
1 TELA 9 - EL 126/63 (315 x 900)

Obs: As armações dos diafragmas nos apoios são idênticas as do Modelo 2/1

FIGURA 4.24 - MODELO 5/1 - ARMAÇÃO

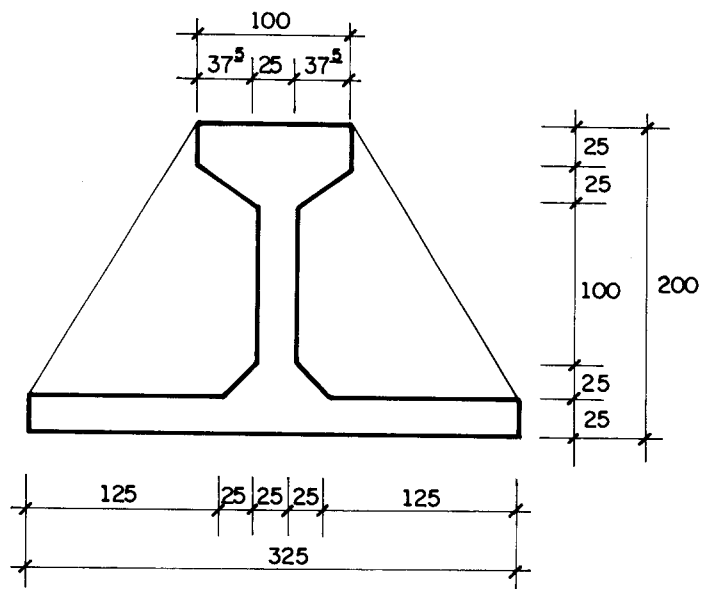
FORMA

MODELO 5/1A



VISTA LATERAL

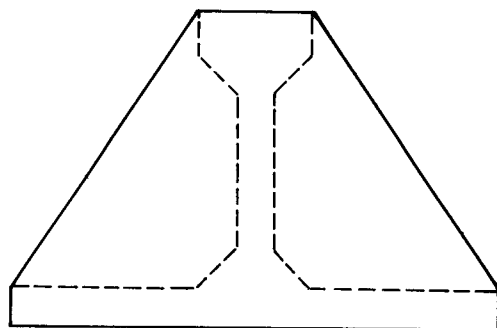
ESC. 1 : 30



CORTE A

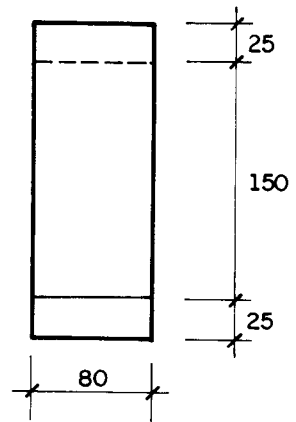
ESC. 1 : 5

SEÇÕES DOS APOIOS



VISTA DE TOPO

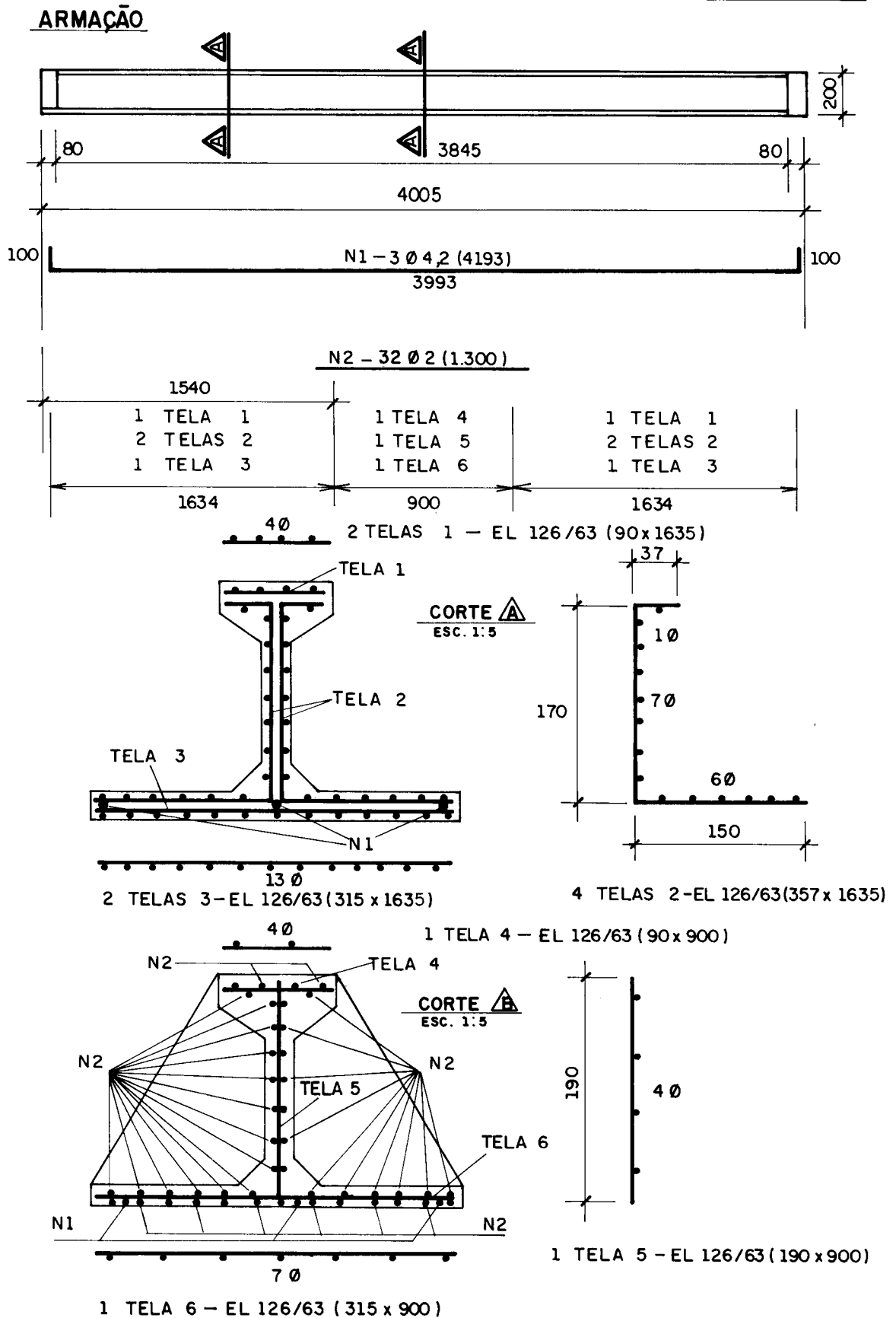
ESC. 1 : 5



VISTA LATERAL

ESC. 1 : 5

FIGURA 4.25 - MODELO 5/1A - FORMA



Obs : As armações dos diafragmas nos apoios são idênticas as do Modelo 2/1

FIGURA 4.26 - MODELO 5/1A - ARMAÇÃO

emendas eram por traspasse entre as telas únicas da região central e as duas telas colocadas entre os planos das cargas e dos apoios.

As emendas eram feitas com o traspasse de 4 malhas, ou seja, 100mm.

Os comprimentos das telas mostradas na Figura 4.26 já levam em conta os comprimentos das emendas por traspasse.

4.2 ARGAMASSA

Os materiais constituintes da argamassa eram areia de granulometria média fornecida por porto de areia do Rio Mogi-Guaçu e pedra britada. Tanto a areia quanto a pedra britada eram fornecidas por empresas da região de São Carlos(SP).

Cunha & Batista [1988]⁵¹ em pesquisa anterior tinham mostrado a viabilidade de se utilizar argamassa constituída por mistura de cimento, areia e pedra britada.

Para os modelos da série 1 utilizaram-se cimento CP-32 de endurecimento normal e para os modelos da série 2 e seguintes cimento de alta resistência inicial (ARI), ambos da CIMINAS.

Foi feito um estudo para a determinação da dosagem da argamassa de tal modo a se observarem critérios compatíveis com a resistência, lançamento e adensamento. Para esse estudo contou-se com o trabalho da Enga. Rita Cunha que desenvolvia pesquisa paralela sob orientação do Prof. Hanai. Foram usados os Laboratórios de Materiais do Departamento de Arquitetura e Planejamento da EESC-USP.

Fixou-se, inicialmente, que a argamassa deveria apresentar índice de consistência da ordem de 220mm, determinado de acordo com a NBR 7215/82⁵², em função das pequenas espessuras das mesas e da largura da alma, e também em função do processo de moldagem e da concentração de armadura na fôrma.

A resistência média dos corpos-de-prova, moldados e ensaiados com o modo indicado na NBR 7215, deveria ser da ordem de 40MPa, pois este valor havia sido usado no pré-dimensionamento dos modelos.

A análise granulométrica dos agregados, feita com os

critérios da NBR 7217/87⁵⁹, apresentou para as dimensões máximas dos agregados os valores de 2,4mm para a areia e 4,8mm para a pedra britada, conforme mostrado na Tabela 4.1.

A tabela 4.2 apresenta a composição granulométrica da areia e da pedra britada em função das aberturas nominais das peneiras padrão ABNT e comparados com os limites das zonas de granulometria da NBR 7217.

As curvas granulométricas dos agregados são mostrados nas figuras 4.27 e 4.28.

Várias proporções entre areia e pedra britada foram testadas com o objetivo de se aprimorar a trabalhabilidade da argamassa. De todas as proporções ensaiadas, optou-se por aquela que apresentava 60,6% de areia e 39,4% de brita, resultando uma dosagem em massa de 1:2:1,3.

A tabela 4.3 apresenta a análise granulométrica dessa mistura que tem dimensão máxima característica igual a 4,8 mm. A figura 4.29 mostra a curva granulométrica da mistura que tem porcentagens retidas acumuladas entre as zonas 3 e 4.

TABELA 4.1 — ESTUDO DAS CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DOS AGREGADOS

CARACTERÍSTICAS		%RET. ACUMULADA	
	ABERTURA DAS MALHAS(mm)	AREIA	BRITA
GRANULOMETRIA	9,5		
	6,3		1
	4,8	1	4
	2,4	3	60
	1,2	10	93
	0,6	30	100
	0,3	67	100
	0,15	98	100
DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA (mm)		2,4	4,8
MÓDULO DE FINURA		2,09	4,57
MASSA ESPECÍFICA REAL (g/cm ³)		2,60	2,81
MASSA ESPECÍFICA APARENTE (g/cm ³)		1,65	1,52

TABELA 4.2 – COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DOS AGREGADOS

PENEIRAS		LIMITES GRANULOMÉTRICOS ZONAS				COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA	
ARNT Nº	ABERTURAS NOMINAIS (mm)	1	2	3	4	AREIA	BRITA
						% ACUM.	% ACUM.
	9,5	0	0	0	0	0	0
	6,3	0-3	0-7	0-7	0-7	0	1
4	4,8	0-5	0-10	0-11	0-12	1	4
8	2,4	0-5	0-15	0-25	5-40	3	60
16	1,2	0-10	0-25	10-45	30-70	10	93
30	0,6	0-20	21-40	41-65	66-85	30	100
50	0,3	50-85	60-88	70-92	80-95	67	100
100	0,15	85-100	90-100	90-100	90-100	98	100

TABELA 4.3 – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DA MISTURA DE AGREGADOS

ABERTURA DAS PENEIRAS (mm)	AREIA % RETIDA ACUMULADA	AREIA 60,6 %	PEDRISCO % RETIDA ACUMULADA	BRITA 39,4 %	MISTURA (% RETIDA ACUMULADA)
9,5	—	—	—	—	—
6,3	—	—	1	0,4	0,4
4,8	1	0,6	4	1,6	2
2,4	3	1,8	60	23,6	25
1,2	10	6,1	95	36,6	43
0,6	30	18,2	100	39,4	58
0,3	67	40,6	100	39,4	80
0,15	98	59,4	100	39,4	99

DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA DOS GRÃOS DA MISTURA – 4,8mm

DOSAGEM – 1 : 2 : 1,3

60,6 % AREIA + 39,4% BRITA

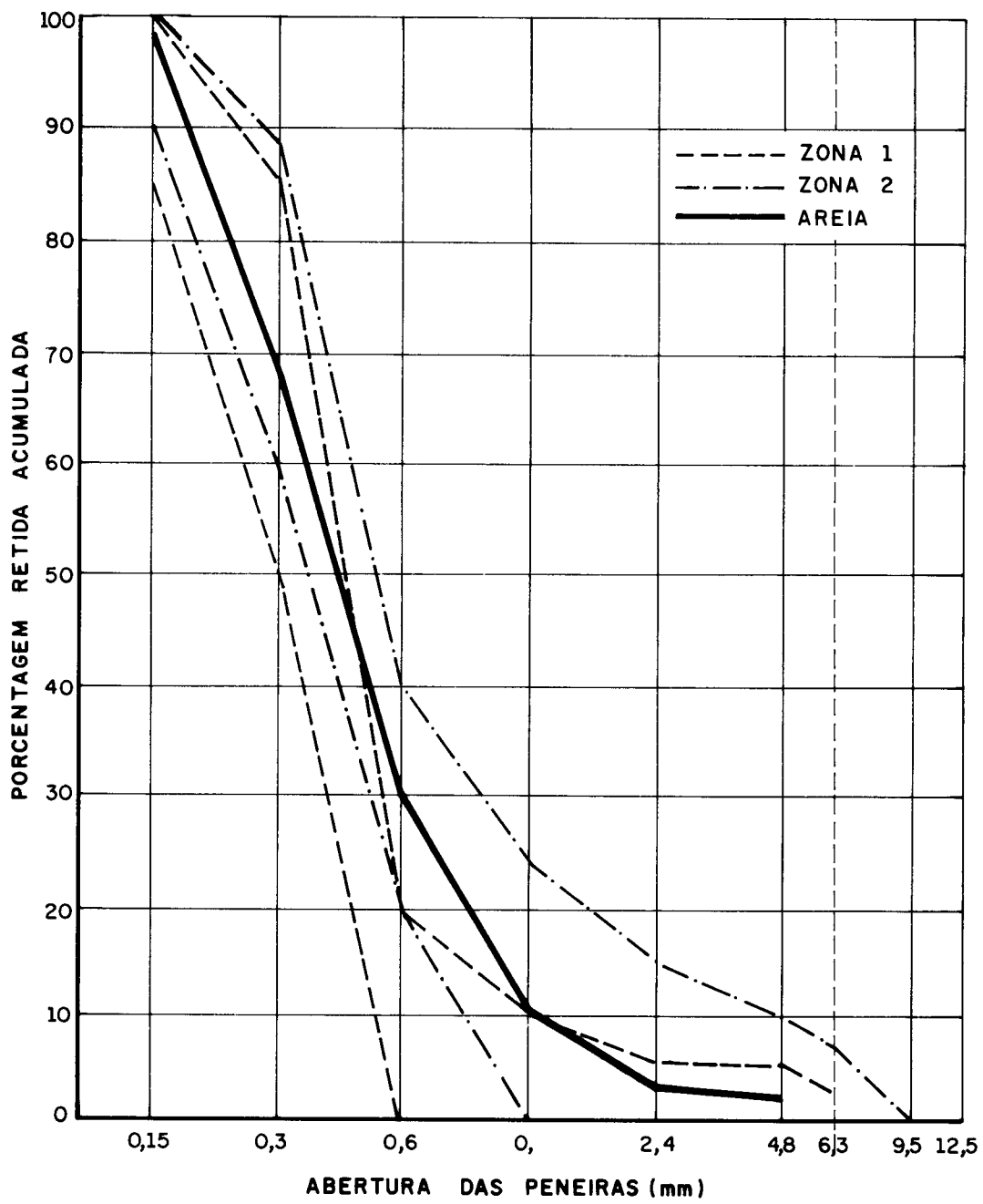


FIGURA 4.27 — CURVA GRANULOMÉTRICA DA AREIA

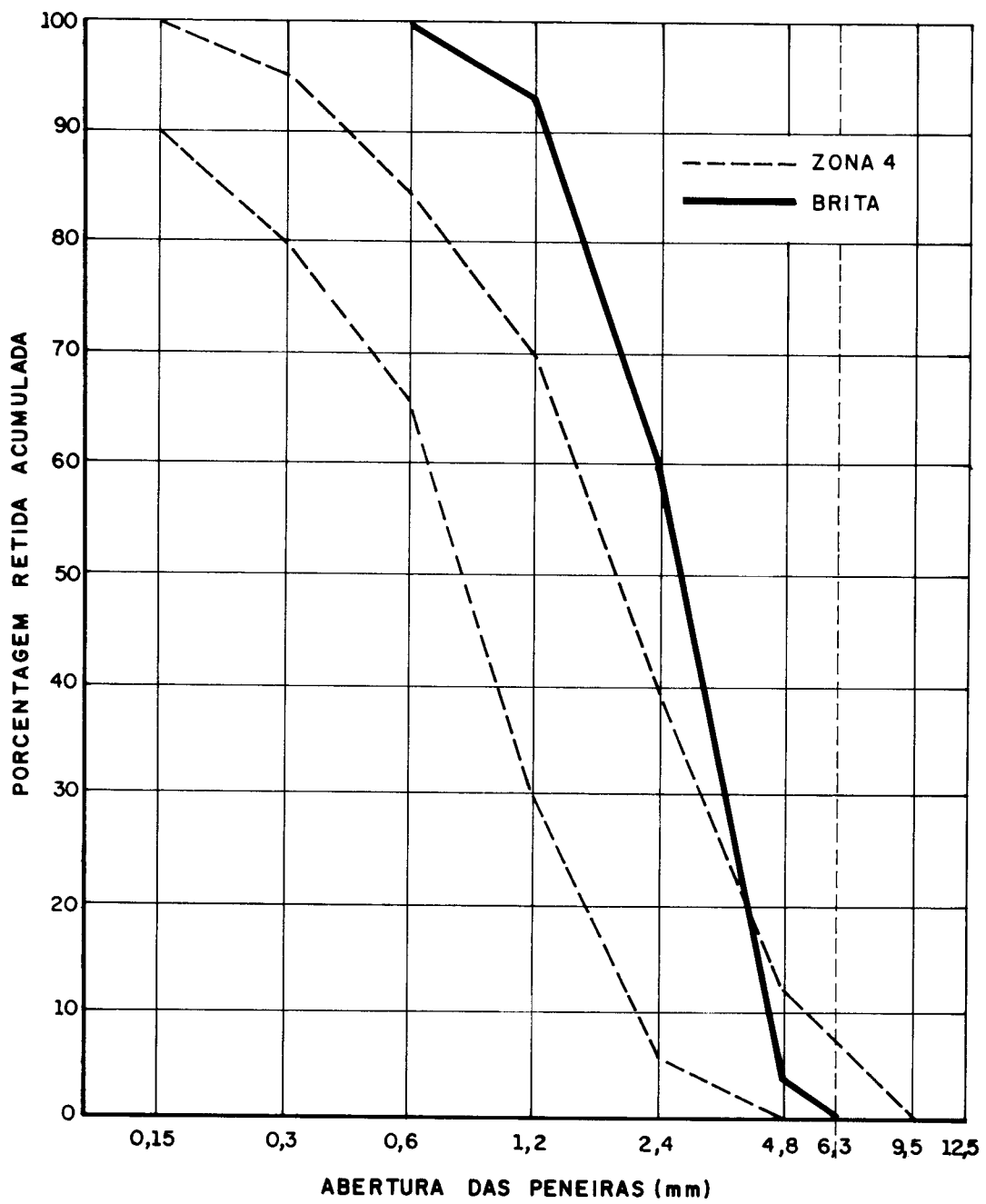


FIGURA 4.28 — CURVA GRANULOMÉTRICA DA BRITA

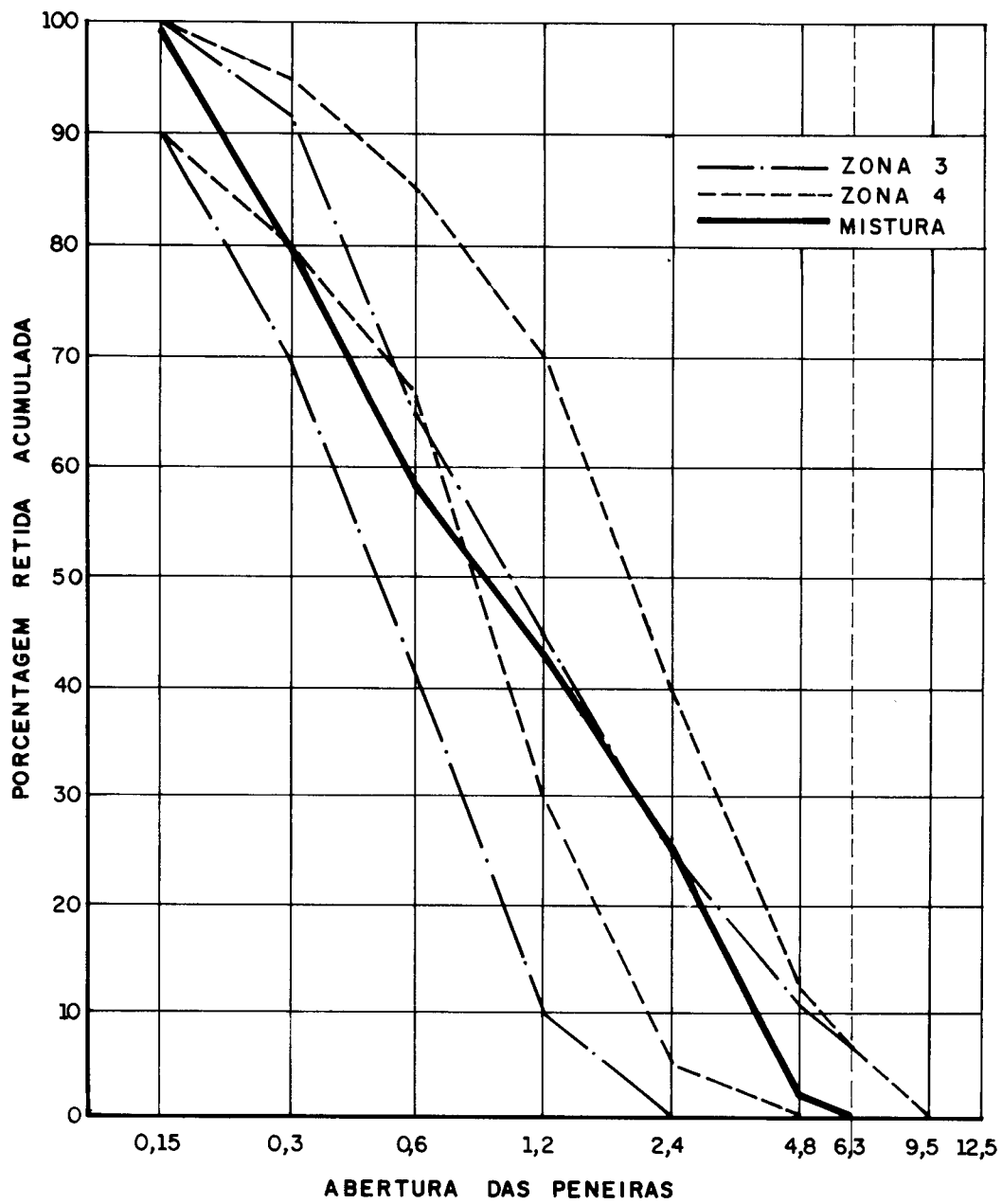


FIGURA 4.29 — CURVA GRANULOMÉTRICA DA MISTURA
(60,6% AREIA + 39,4% BRITA)

O fator água-cimento foi definido para uma argamassa que apresentasse diâmetro de 220mm em ensaio de mesa de consistência. Para esse valor a relação a/c ficou igual a 0,55, para um consumo de cimento por metro cúbico de argamassa da ordem de 490Kg. A resistência média à compressão, medida aos vinte e oito dias para cimento de resistência normal e aos sete dias para cimento de alta resistência inicial, resultou da ordem de 40MPa, como era esperado, pois tinham-se comparado com os valores obtidos por Agnesini [1988]⁵⁴.

4.3 ARMADURAS

Como já foi dito nos itens anteriores deste capítulo 4, foram utilizados em todos os modelos a tela EL 126/63. Essa tela é confeccionada com fios de 2mm de diâmetro de aço CA-60.

Do lote inicialmente separado para este trabalho, cortaram-se cinco corpos-de-prova constituídos pelos fios longitudinais da tela.

Esses corpos-de-prova foram ensaiados à tração, na máquina INSTRON do Departamento de Materiais da EESC-USP, com a colaboração do Prof. Dr. Dirceu Spinelli. Os diagramas tensão (σ_s) - deformação (ϵ_s) são mostrados na figura 4.30.

Como armadura complementar utilizaram-se fios de aço CA-60 de 6,3mm de diâmetro para os modelos da série 1 e fios de 4,2mm para os modelos da série 2 e seguintes.

Dos lotes adquiridos para esses ensaios separaram-se corpos-de-prova de cada diâmetro. Os resultados dos ensaios à tração são mostrados na figura 4.31 para os aços de diâmetro 6,3 e figura 4.32 para o diâmetro 4,2.

A tabela 4.4 apresenta os principais parâmetros obtidos nos ensaios dos corpos-de-prova dos diâmetros citados.

Os principais parâmetros são: deformação (ϵ_p) e resistência de proporcionalidade (f_p), deformação (ϵ_y) e resistência de escoamento (f_y), resistência última (f_u) e módulo de deformação longitudinal (E_s).

Os cinco corpos-de-prova de fios de 2mm de diâmetro da tela EL 126/63 romperam na ligação entre os fios longitudinais e transversais. Adotou-se, portanto, a resistência última

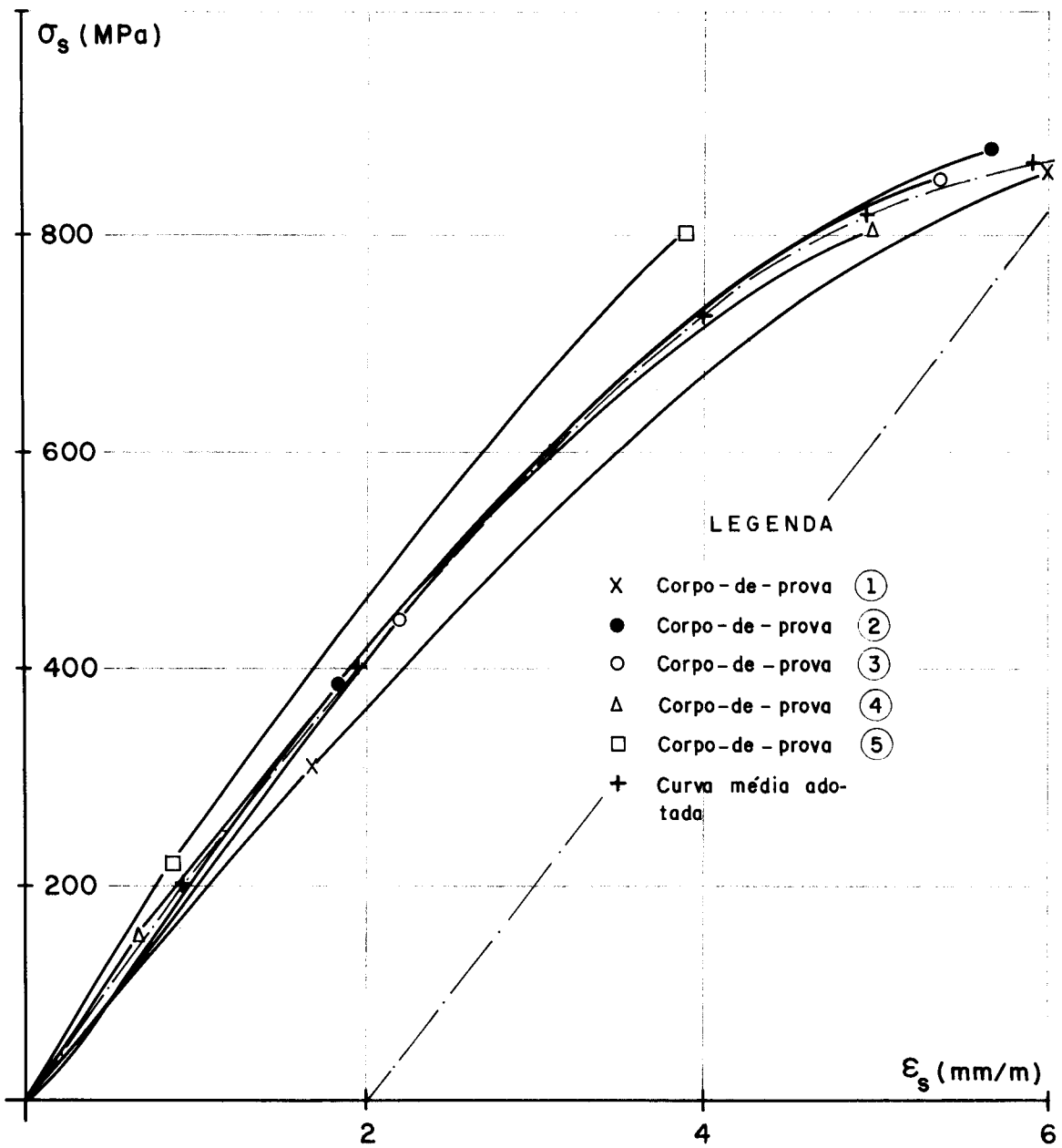


FIGURA 4.30 - DIAGRAMAS TENSÃO-DEFORMAÇÃO DOS FIOS LONGITUDINAIS DA TELA ($\Phi = 2$ mm)

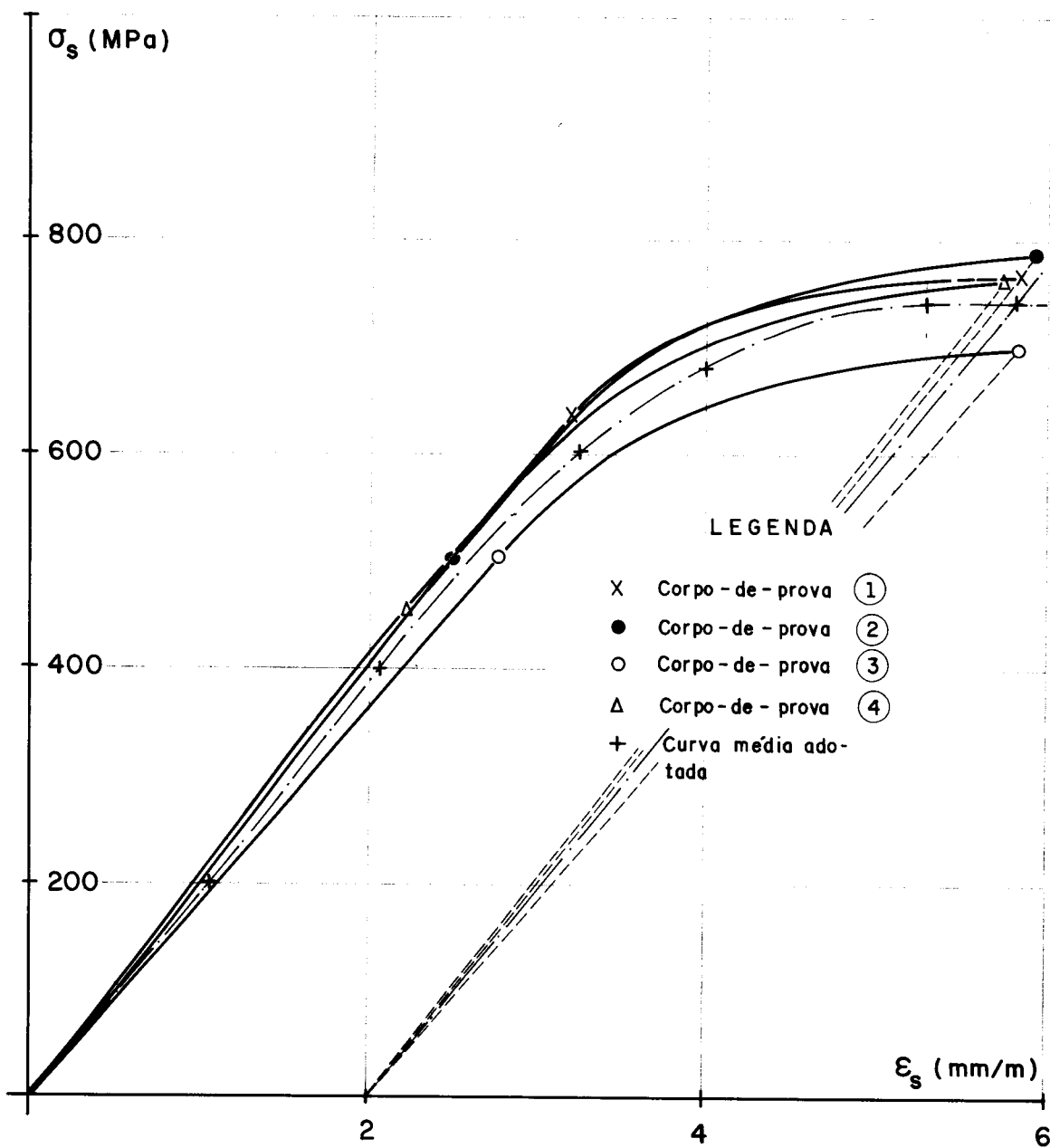


FIGURA 4.31 - DIAGRAMAS TENSÃO-DEFORMAÇÃO DOS FIOS COMPLEMENTARES
($\Phi = 6,3 \text{ mm}$)

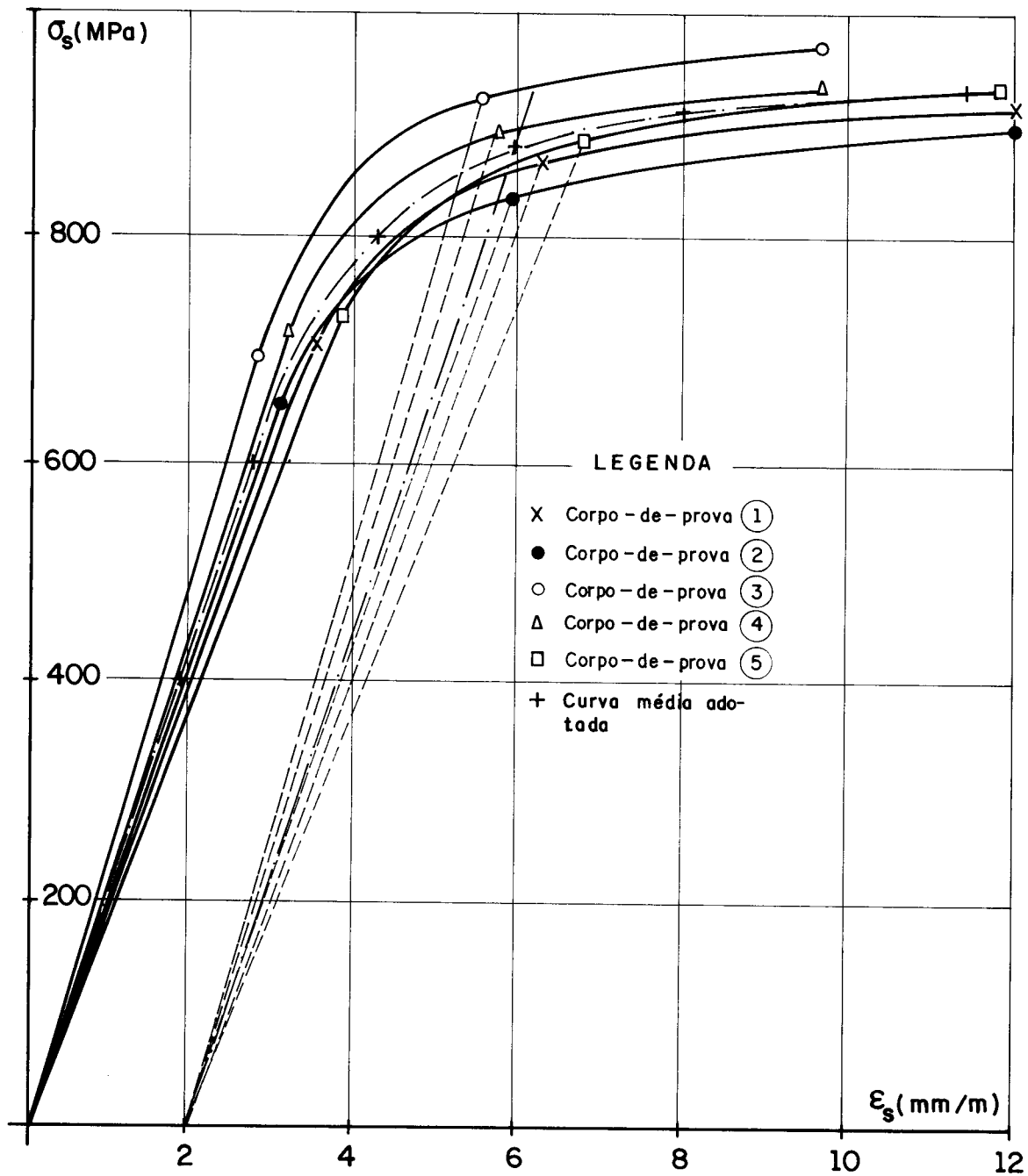


FIGURA 4.32 – DIAGRAMAS TENSÃO-DEFORMAÇÃO DOS FIOS COMPLEMENTARES
($\phi = 4,2$ mm)

**TABELA 4.4 — PRINCIPAIS PARAMETROS OBTIDOS NOS ENSAIOS DOS
CORPOS - DE - PROVA DE AÇO**

MATERIAL	CORPO - DE - PROVA	ϵ_p (‰)	f_p (MPa)	ϵ_y (‰)	f_y (MPa)	f_u (MPa)	E_s (MPa)
TELA EL126/63 Ø 2 (Longitudinal)	1	1,7	318	6,6		907	187.059
	2	1,8	398	5,7		907	221.111
	3	2,2	461	5,4		875	209.545
	4	0,7	159	5,0		827	227.143
	5	0,9	228	3,9		828	253.333
	CURVA ADOTADA	1,8	375	5,7		869	208.333
FIO Ø 6,3	1	3,2	658	5,8	802	1059	205.625
	2	2,5	525	5,9	818	1011	210.000
	3	2,7	525	5,8	730	1003	194.444
	4	2,2	473	5,7	786	1001	215.000
	CURVA ADOTADA	2,1	400	5,7	756		190.476
FIO Ø 4,2	1	3,6	700	6,3	837	924	194.444
	2	3,2	650	6,0	775	902	203.125
	3	2,8	693	5,5	919	989	247.500
	4	3,1	715	5,7	891	946	230.645
	5	3,7	722	6,8	881	938	195.135
	CURVA ADOTADA	2,8	600	6,0	864		214.286

desses corpos-de-prova como sendo a resistência última da tela.

4.4 FÔRMAS

Definidas as dimensões dos modelos da série 1 passou-se à construção da fôrma que foi utilizada nas moldagens desta série.

A fôrma foi projetada de tal modo a permitir a confecção de modelos com 3005mm de comprimento de face a face. Com relação às medidas da seção transversal, o projeto previa comprimentos das mesas tracionada e comprimida com várias dimensões e espessuras das mesas e da alma com possibilidades de serem moldadas com 25mm ou 50mm. Com relação às alturas elas poderiam ser iguais a 250mm, 350mm e 450mm. Os modelos da série 1 foram construídos com alturas iguais a 250mm.

A fôrma foi construída em aço, onde utilizaram-se chapas de 3mm e perfis metálicos ou perfis de chapa dobrada. Os elementos da fôrma eram conectados por parafusos. Os reforços eram soldados nas chapas.

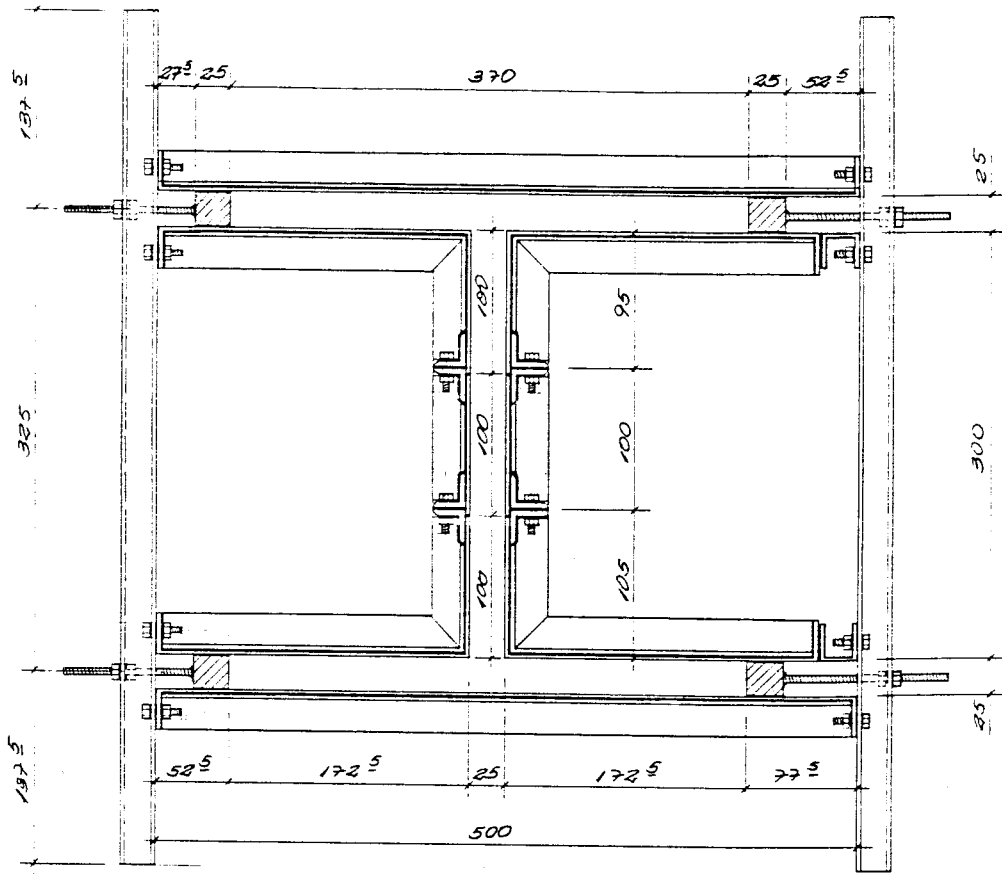
As moldagens desses modelos eram feitas com a fôrma posicionada na vertical, isto é, o eixo longitudinal do modelo perpendicular ao plano horizontal, com argamassa lançada pela face superior.

A preocupação principal ao se projetar a fôrma era com a facilidade de desforma. Portanto, a fôrma deveria ser facilmente desmontável para não prejudicar fisicamente o modelo.

As figuras 4.33 e 4.34 mostram as vistas superior e lateral, corte transversal e o detalhamento das peças que compunham a fôrma.

Os vibradores eram posicionados na fôrma através de dispositivos especiais de fixação cujas posições podem ser vistas nas fotografias números 1 e 2.

Os modelos da série 2 e seguintes exigiram um outro projeto de fôrma. Começou-se por mudar o processo de moldagem, que passou a ser feita por um plano vertical que continha o eixo longitudinal da viga e no sentido da mesa tracionada (parte de cima) para a comprimida (parte de baixo).



CORTE AA
ESC. 1:40

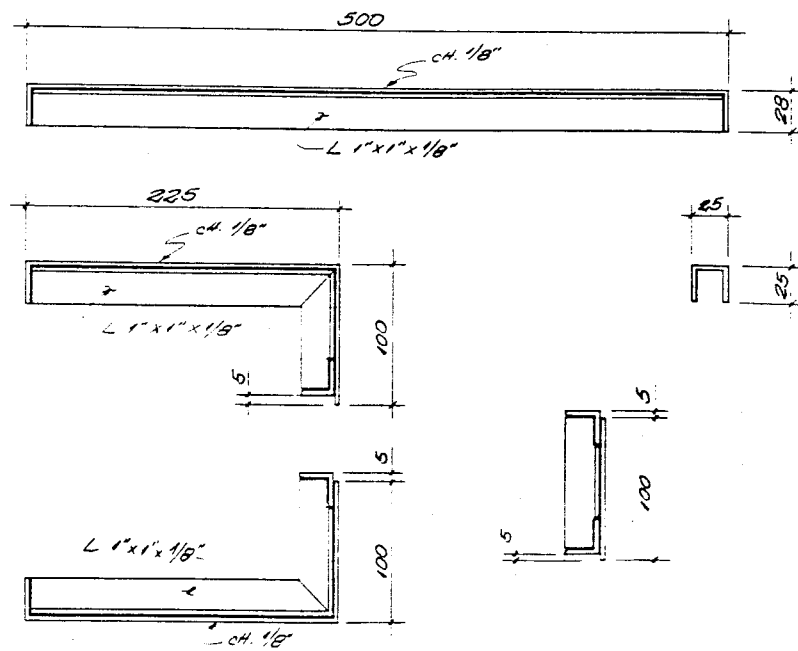
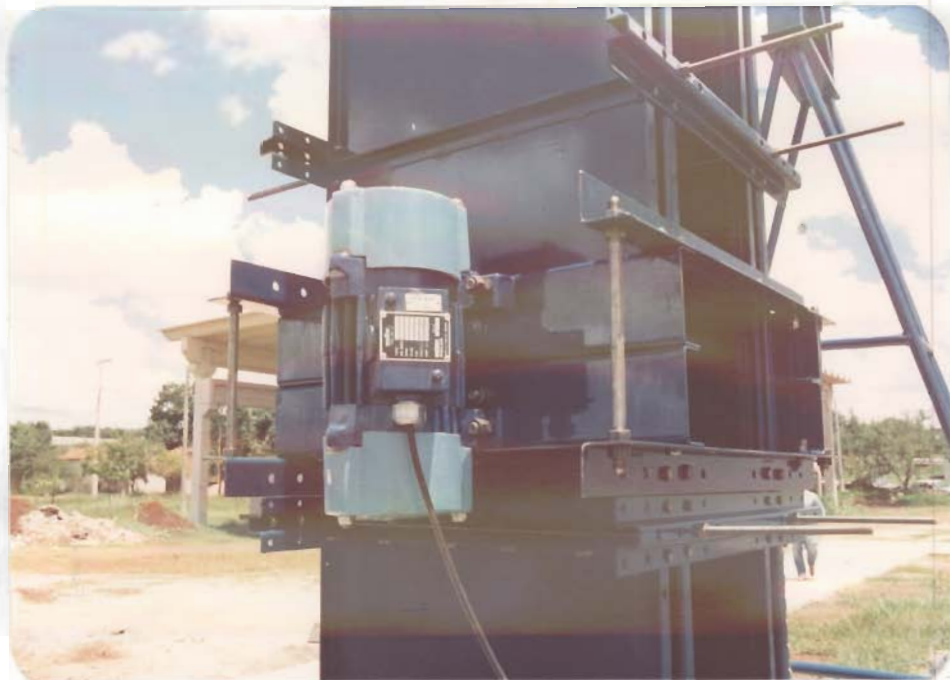


FIGURA 4.34 — DETALHES DA FÔRMA DOS MODELOS DA SÉRIE 1



FOTOGRAFIA 1 — FÔRMA
PARA MOLDAGEM DOS MO-
DELOS DA SÉRIE 1



FOTOGRAFIA 2 — DETALHE DE FIXAÇÃO DO VIBRADOR INFERIOR

Os vibradores ficavam posicionados na parte inferior da fôrma, sendo que esta peça foi aproveitada da fôrma dos modelos da série 1. Como estes modelos eram 1000mm mais comprimidos que aqueles, projetou-se um acréscimo, na fôrma, de 500mm de cada lado que eram convenientemente ligados à parte inicial por parafusos.

Os perfis que ligavam as faces externas da fôrma da série 1 também foram aproveitados.

Para facilitar a desforma os modelos da série 2 e seguintes foram imaginados com mísulas junto à alma e às mesas, conforme já visto nos desenhos apresentados neste capítulo.

As fôrmas das faces laterais dos modelos foram feitas com vigotas de peroba rosa cujas dimensões da seção transversal eram 60mm x 180mm que, convenientemente aparelhadas, ficavam nas dimensões exigidas para os modelos. As fôrmas da mesa tracionada, que ocupava a posição superior durante a moldagem, eram constituídas por táboas de pinho de 25mm de espessura e eram ligadas às vigotas e aos perfis metálicos que enrigeciam o conjunto.

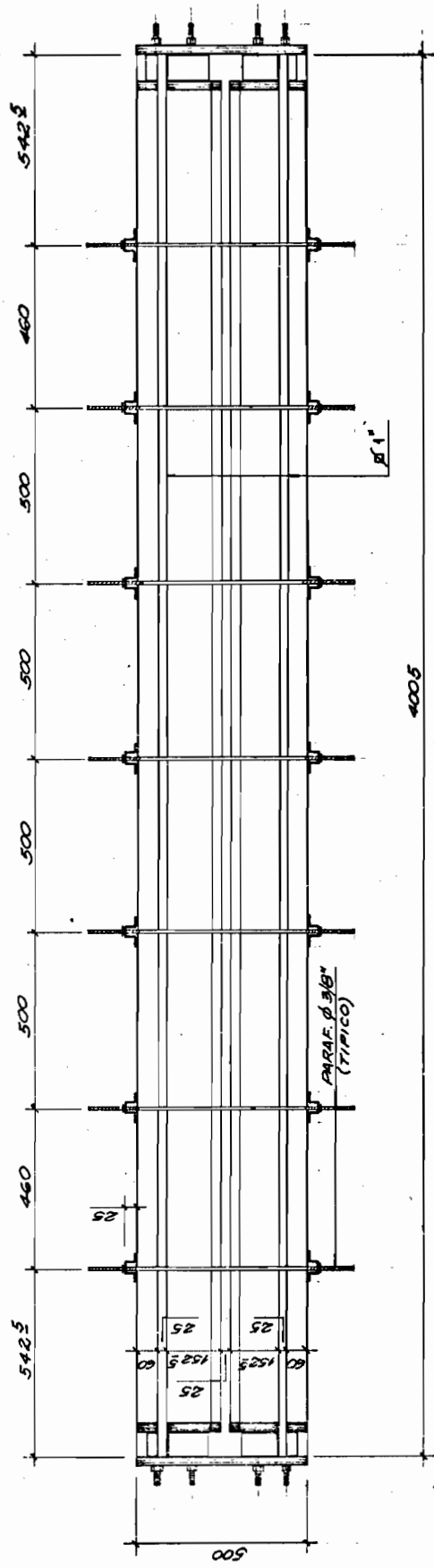
Esses conjuntos vigotas-táboas foram cortados segundo planos inclinados em relação à seção transversal e longitudinal da fôrma, com a finalidade de facilitar a desforma. As ligações entre as peças que foram cortadas eram obtidas com chapas de aço parafusadas.

As figuras 4.35 e 4.36 mostram as vistas superior e lateral, da fôrma usada para os modelos da série 2 e seguintes. A fotografia 3 mostra a vista lateral da fôrma e a fotografia 4 apresenta em detalhes o posicionamento, na face inferior, dos três vibradores.

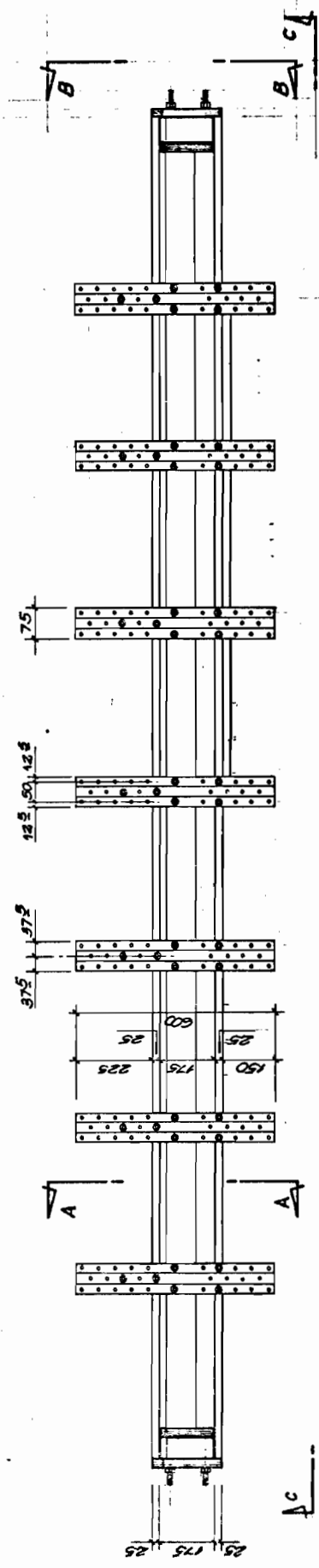
4.5 PREPARAÇÃO DA ARMAÇÃO, MOLDAGEM, DESFORMA E CURA

A tela usada nos modelos ensaiados neste trabalho era a EL 126/83 que é encontrada no comércio em rolos com comprimento total de 60m. Desse modo havia então necessidade de se retificarem as telas que foram usadas.

Na direção do comprimento mediam-se as telas que seriam usadas e com tórques comum ou de pressão, cortavam-se e

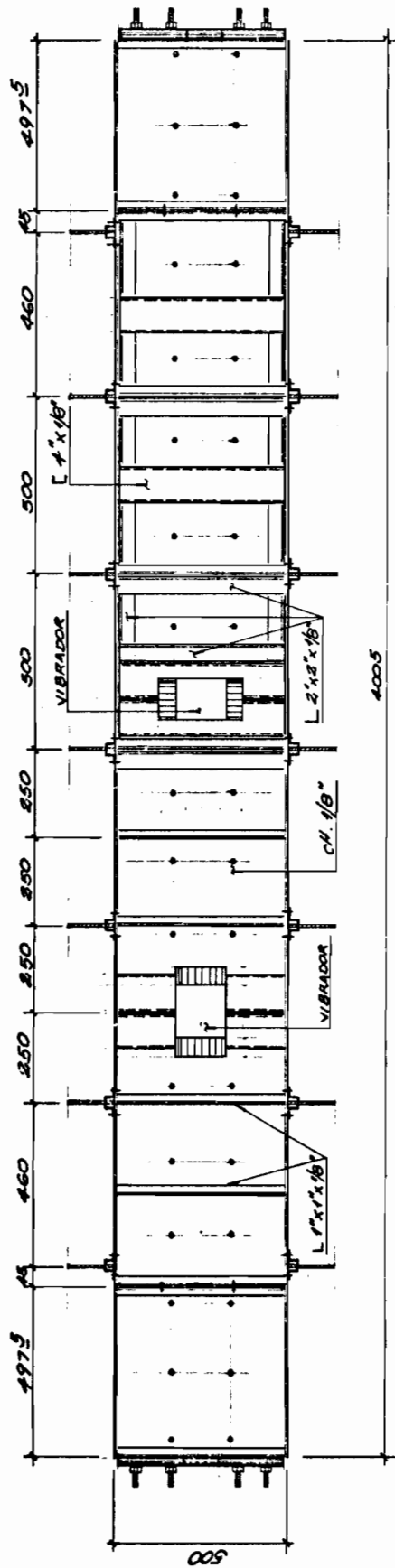


VISTA SUPERIOR
ESC. 1:15

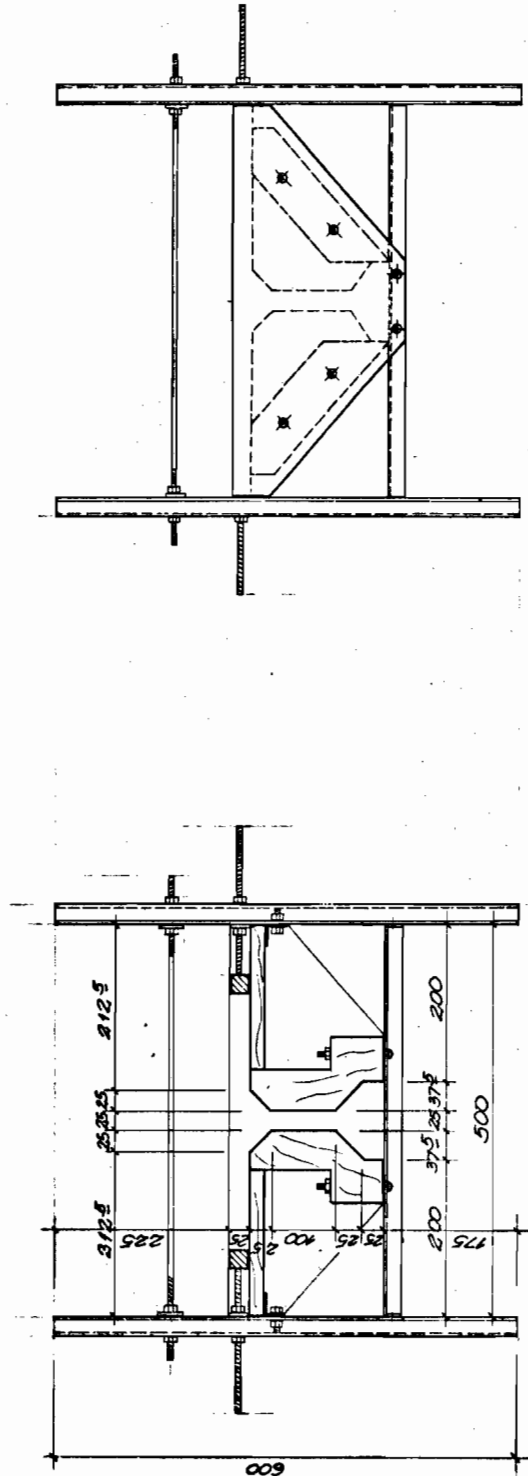


VISTA LATERAL
ESC. 1:15

FIGURA 4.35 — FÔRMA PARA MOLDAGEM DOS MODELOS DA SÉRIE 2 E DE MAIS



VISTA CC
ESC. 1:150



CORTE AA
ESC. 1:75

VISTA BB
ESC. 1:75

FIGURA 4.36 — DETALHES DA FÔRMA DOS
MODELOS DA SÉRIE 2 E DEMAIS



FOTOGRAFIA 3 — FÔRMA PARA MOLDAGEM DOS MODELOS DA SÉRIE 2 E SEQUINTE



FOTOGRAFIA 4 — DETALHE DE FIXAÇÃO DOS VIBRADORES

retificavam-se, posicionando-as contra um plano, por exemplo uma bancada de serviço ou piso resistente, aplicando leves pancadas com marreta de borracha ou marreta leve.

Para os modelos da série 1, pode-se usar uma máquina dobradeira, construída pelo Prof. Libório, que tinha comprimento total de 3.000mm. Como os modelos da série 2 tinham comprimento maior, as dobras das telas tinham que ser feitas utilizando-se os cantos vivos das bancadas de serviços do Laboratório de Estruturas.

Depois de todas as telas de um determinado modelo terem sido retificadas e dobradas, elas eram posicionadas conforme o projeto de cada modelo. Nas telas junto às faces externas colocavam-se espaçadores plásticos de tal modo a manter cobrimentos iguais a 6mm. As distâncias internas entre as telas eram obtidas adotando-se como espaçadores, segmentos da ordem de 7mm de comprimento, de fios de aço de 5mm de espessura.

Os fios complementares ficavam posicionados entre as telas externas e internas da mesa tracionada e desse modo já serviam de espaçadores.

Os espaçadores de segmentos de fios de aço bem como os fios complementares eram amarrados às telas com fios finos de arame galvanizado. Desse modo obtinha-se uma armação que podia facilmente ser manuseada e introduzida nas fôrmas.

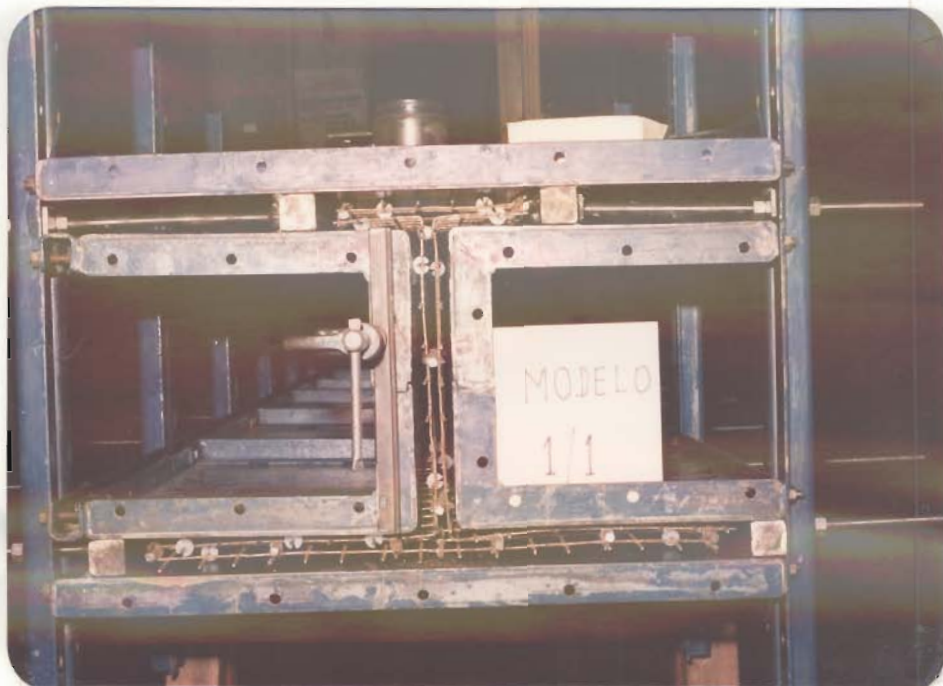
Nos modelos de todas as séries, as armações eram introduzidas com a fôrma posicionada na horizontal. A fôrma da série 1 era posteriormente posicionada na vertical já que a moldagem era feita nesta posição.

Para os modelos da série 2 e seguintes deixava-se um dos diafragmas sem armadura, para poder introduzir a armação na fôrma.

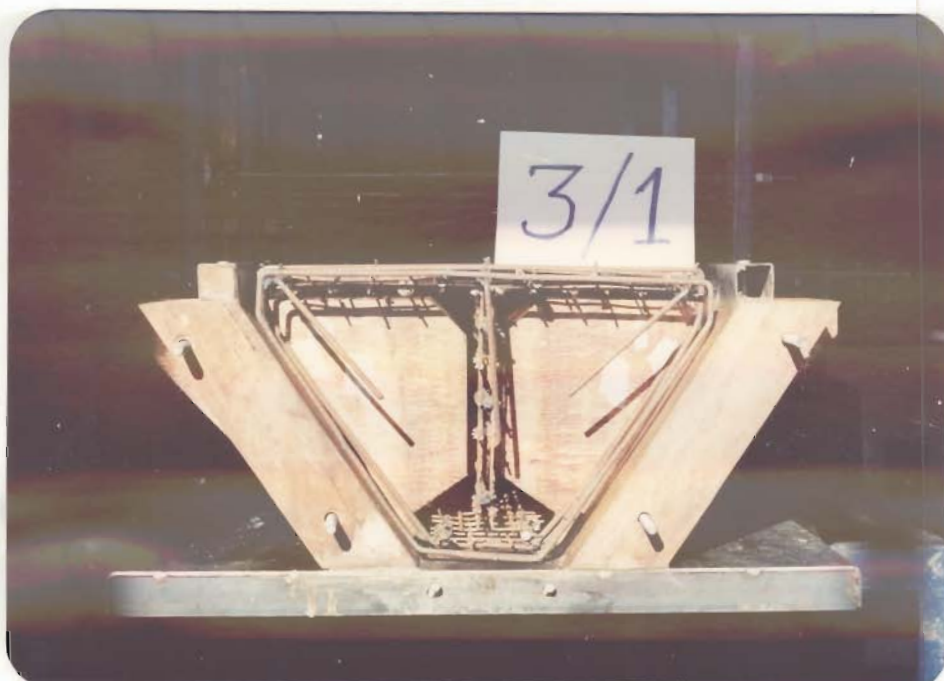
As fotografias 5, 6, 7 e 8 mostram o posicionamento das armaduras nas fôrmas.

Com os vibradores convenientemente posicionados nas fôrmas podia-se iniciar o processo de moldagem.

Na fôrma que serviu para moldar os modelos da série 1 utilizaram-se dois vibradores da marca WEILER com as seguintes características: 3600 RPM e 0,75 kW de potência.



FOTOGRAFIA 5 — VISTA DA ARMADURA DO MODELO 1/1
NA FORMA DE MOLDAGEM .



FOTOGRAFIA 6 — ARMADURA DO DIAFRAGMA DO MODELO 3/1



FOTOGRAFIA 7 - ASPECTO
GERAL DA ARMAÇÃO DO
MODELO 3/1



FOTOGRAFIA 8 - DETALHE DA ARMAÇÃO DO MODELO 3/1

Eles foram posicionados nas faces da fôrma junto à mesa da viga, um próximo a base e outro próximo a região de lançamento da argamassa.

Durante a moldagem ligavam-se os vibradores alternadamente, sendo que os vibradores eram retirados e a fôrma era colocada no tanque de cura. Os modelos da série 1 eram desmoldados após 7 dias e ensaiados aos 28 dias. Após a desmoldagem os modelos voltavam para o tanque de cura de onde eram retirados aos 21 dias.

A preparação da argamassa era feita em betoneira com os agregados medidos em massa na dosagem 1:2:1,3:0,55 com o consumo dos materiais calculados em função do volume de argamassa dos modelos.

Os modelos da série 2 e demais eram moldados com o auxílio de três vibradores: os dois que haviam sido usados nas moldagens dos modelos da série 1 e mais um da marca DYNAPAC, tipo ER-20, com as seguintes características: 2.850 RPM e 0,25 HP.

As curas dos modelos das séries 2, 3, 4 e 5 eram feitas colocando-se sobre a face tracionada - superior durante a moldagem, uma manta de espuma de borracha permanentemente embebida em água, por 4 dias mesmo depois da desforma que era feita 2 dias após.

Durante a moldagem dos modelos eram moldados 24 corpos-de-prova que eram ensaiados aos 3,7 e 28 dias para os modelos da série 1 e, 1,3 e 7 dias para os modelos da série 2 e demais.

Os corpos-de-prova eram cilíndricos medindo 50mm de diâmetro e 100mm de altura. Eram moldados e ensaiados segundo as prescrições da NBR 7215/82⁵¹.

Concomitantemente moldavam-se 3 corpos-de-prova prismáticos de 40mm x 40mm x 160mm com a finalidade de se medir o processo de retração da argamassa.

Em cada dia previsto 4 corpos-de-prova eram ensaiados à compressão axial, para se determinar a resistência média à compressão, e 4 à compressão diametral com a finalidade de se determinar a resistência média à tração da argamassa.

4.6 DISPOSITIVOS E PROCEDIMENTOS DE ENSAIOS

Foi montado, sobre a laje de reação do Laboratório de Estruturas (LE) da EESC-USP, um sistema de reação que permitiu aplicar duas forças consideradas concentradas nos modelos.

Todos os modelos foram ensaiados com a mesa tracionada virada para cima, ou seja, com a face inferior dos macacos apoiadas sobre blocos de concreto que por sua vez se apoiavam na laje de reação.

Os apoios dos modelos eram constituídos por dois pórticos metálicos, que, ao se aplicar as cargas nos modelos, ficavam com as suas barras tracionadas. Essas forças de tração eram transferidas para as laje de reação.

Nos modelos da série 1 as cargas eram aplicadas nos terços médios dos vãos (Figura 4.37); nos da série 2 e demais as cargas eram aplicadas a 1500mm dos centros dos apoios (Figura 4.39).

Utilizaram-se em todos os ensaios dois macacos hidráulicos da marca ZELOSO com capacidade nominal de 200kN. O controle da aplicação das cargas era feito por duas células de cargas, acopladas aos macacos, com capacidades nominais de 25kN e construídas no LE-EESC-USP. Essas células de cargas estavam ligadas a um indicador de deformações marca TRANSDUTEC modelo TMDE de leitura digital. Os macacos estavam, por sua vez, ligados a uma bomba hidráulica manual marca ENERPAC modelo P 462, com capacidade nominal de 200kN.

Para verificação do carregamento aplicado o indicador digital de deformações era ligado a um registrador gráfico marca HEWLETT - PACHARD, modelo 7004 B, sendo que em abscissas lia-se o tempo e em ordenadas o carregamento aplicado.

Em todos os ensaios as cargas eram aplicadas em etapas da ordem de 1/10 da carga última prevista para cada modelo.

Os deslocamentos eram medidos por relógios comparadores da marca MITUTOYO com sensibilidade de centésimo de milímetro (0,01mm) com curso total de 50mm. Eles eram posicionados nos alinhamentos dos apoios (D1 e D5), à 50mm dos alinhamentos dos pontos de aplicação das cargas (D2 e D4) e no centro geométrico do eixo longitudinal dos modelos (D3) (Figuras 4.37 e 4.39).

Todos os modelos foram instrumentados com extensômetros elétricos da marca KYOWA dos seguintes tipos: na armadura complementar KFC-5-C1-11 e na argamassa, junto a mesa comprimida, KFC-10-C1-11.

Nas mesas comprimidas colocavam-se três extensômetros; dois próximos às bordas (EC1 e EC3) e no centro da mesa (EC2).

Na armadura complementar, posicionada na mesa tracionada, instrumentavam-se três fios: dois junto as bordas (ES1 e ES3) e um no centro da mesa (ES2), no caso dos modelos da série 2 e demais. Para os modelos da série 1, que tinham 4 fios, o central instrumentado era o segundo fio a partir da direita (ES2) (Figuras 4.37 e 4.39).

O acompanhamento das deformações dos fios complementares e da argamassa comprimida era feito através de indicador de deformações marca TRANSDUTEC, modelo T832, com sensibilidade igual a 1×10^{-6} . O indicador era acoplado a uma caixa seletora marca HUGGENBERGER, modelo S12, com capacidade para 12 canais.

Para todos os modelos ensaiados os extensômetros elétricos eram instalados nas seções dos meios dos vãos.

As deformações na argamassa, nas mesas comprimida e tracionada, também foram medidas com extensômetros mecânicos marca HUGGENBERGER com sensibilidade de milésimo de milímetro (0,001mm), sobre bases de 100mm convenientemente coladas nas mesas nas seções de meio de vão dos modelos. As posições, na seção transversal, das bases dos extensômetros mecânicos são mostrados nas figuras 4.37 e 4.39.

As aberturas das fissuras eram medidas, por comparação, usando-se uma lupa, com retículo graduado até 0,16mm, da marca MITUTOYO. A partir desse valor utilizavam-se régua comparadora do LNEC. Essas aberturas eram medidas em cada etapa de carregamento, após o aparecimento da primeira fissura visível.

Para acompanhamento do progresso da fissuração ao longo dos ensaios, dividiram-se a mesa tracionada e alma em três regiões (Figuras 4.38 e 4.40):

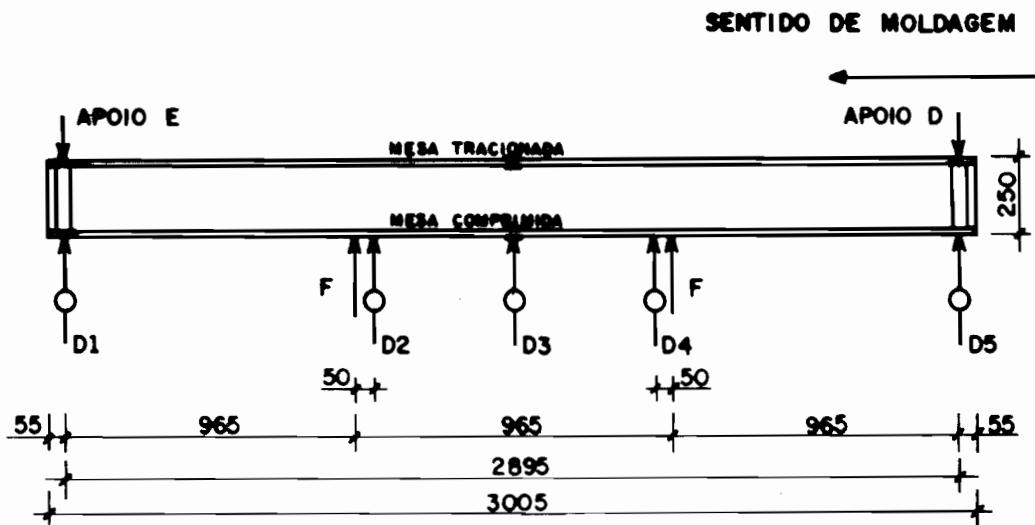
- região A, entre o apoio à esquerda e a seção de aplicação da carga esquerda;
- região B, que por sua vez foi dividida em três sub-regiões, B1, B2 e B3, entre as cargas concentradas;

- região C, entre a seção de aplicação da carga direita e o apoio direito.

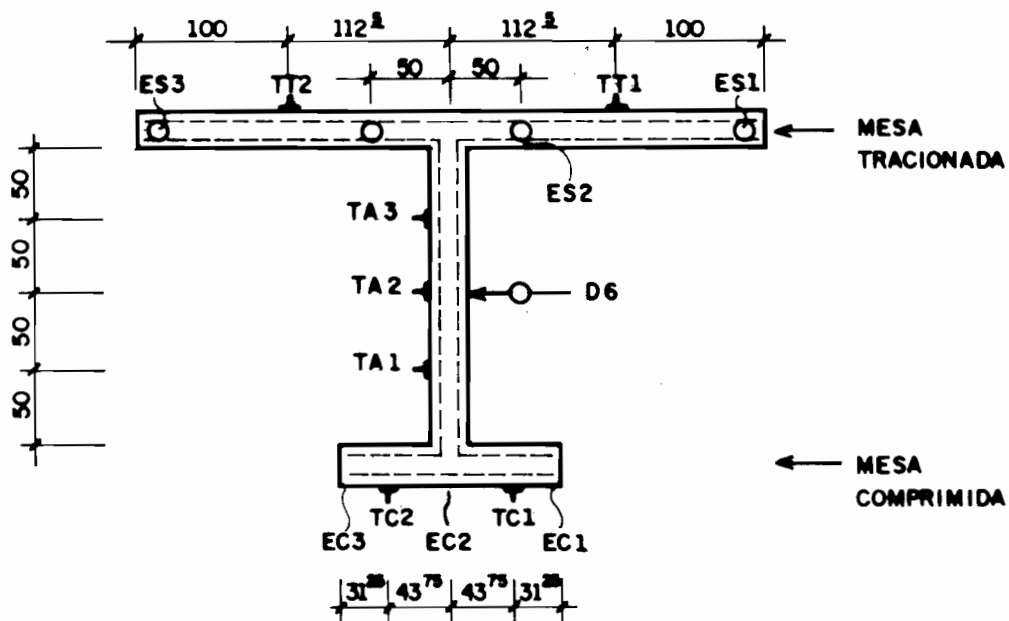
Quando se fizer referência a essas regiões A, B1, B2, B3, ou C, elas serão precedidas das letras maiúsculas A, quando se tratar das almas das vigas, e T, quando se tratar da mesa tracionada.

As medidas das distâncias entre as fissuras, depois do ensaio concluído, foram realizadas ao longo dos seguintes eixos(Figuras 4.38 e 4.40):

- eixo 1, na mesa tracionada, borda esquerda;
- eixo 2, na mesa tracionada, contido na intersecção do plano médio da alma com o plano inferior desta mesa;
- eixo 3, na intersecção do plano superior da mesa tracionada com o plano externo da alma;
- eixo4, na intersecção do plano externo da alma com um plano horizontal que passava na metade da altura da viga.



VISTA LATERAL
ESC. 1:280



SEÇÃO DO MEIO DO VÃO
ESC. 1:800

LEGENDA

- ES - EXTENSÔMETRO ELÉTRICO NA ARMADURA TRACIONADA
- EC - EXTENSÔMETRO ELÉTRICO NA MESA COMPRIMIDA
- TT - EXTENSÔMETRO MECÂNICO INSTALADO NA MESA TRACIONADA
- TC - EXTENSÔMETRO MECÂNICO INSTALADO NA MESA COMPRIMIDA
- TA - EXTENSÔMETRO MECÂNICO INSTALADO NA ALMA

FIGURA 4.37— INSTRUMENTAÇÃO DOS MODELOS DA SÉRIE 1

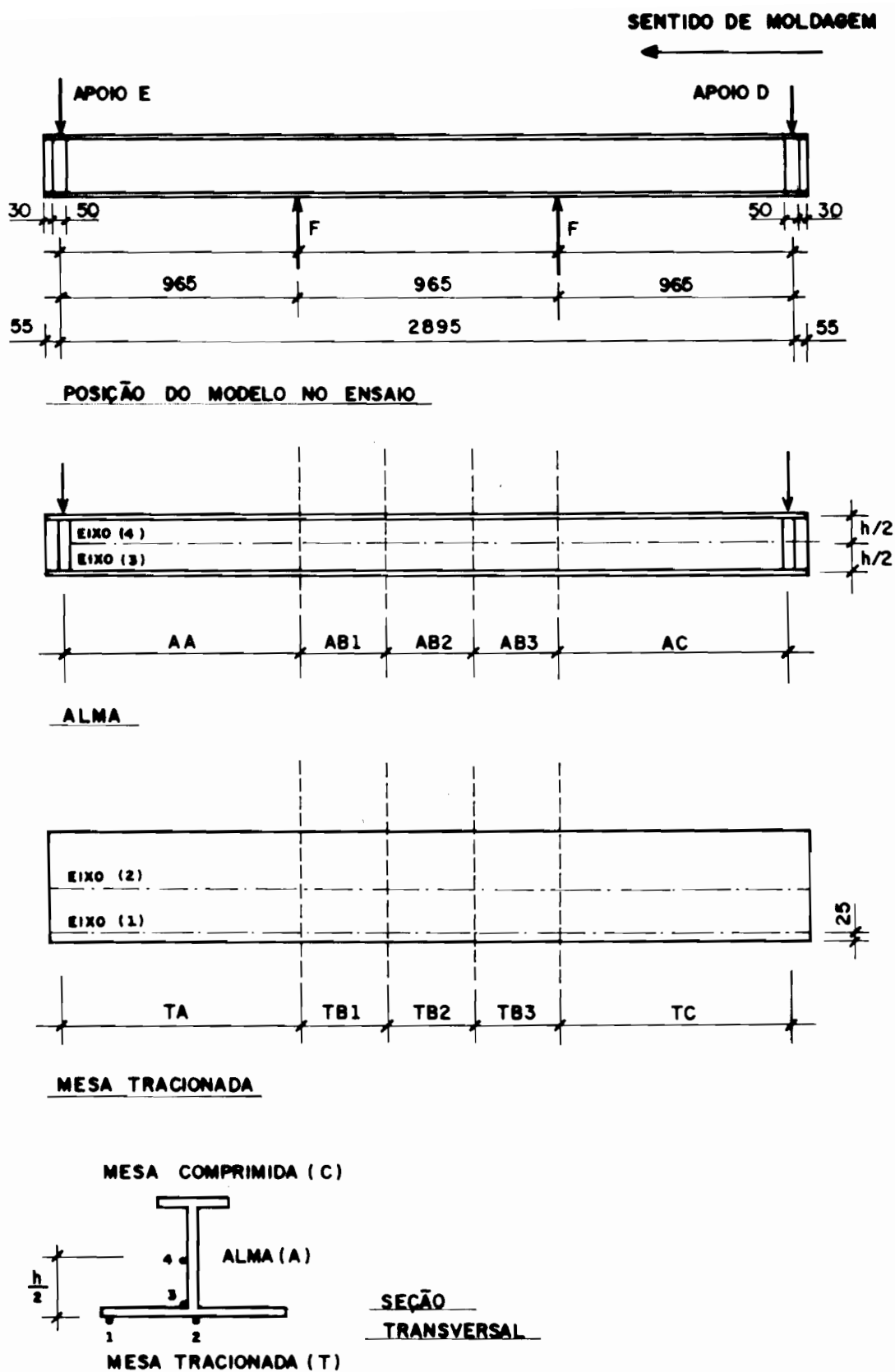
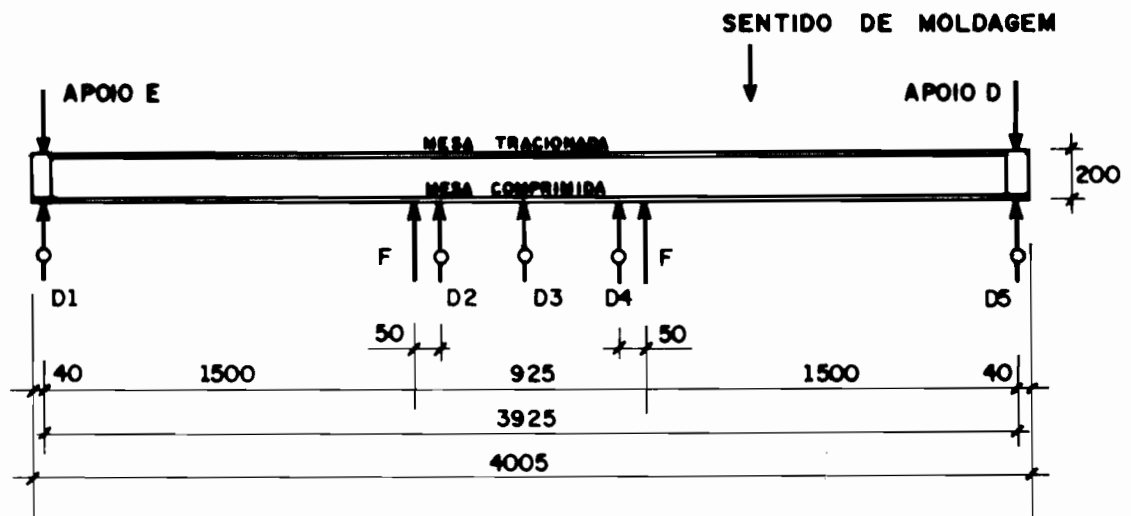
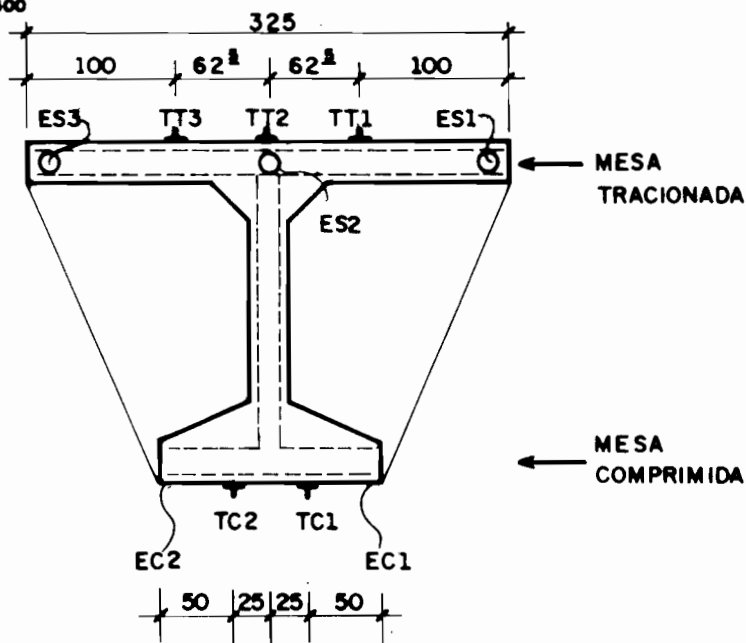


FIGURA 4.38 — REGIÕES DE OBSERVAÇÃO DE FISSURAS DOS MODELOS DA SÉRIE 1



VISTA LATERAL

ESC. 1 : 300



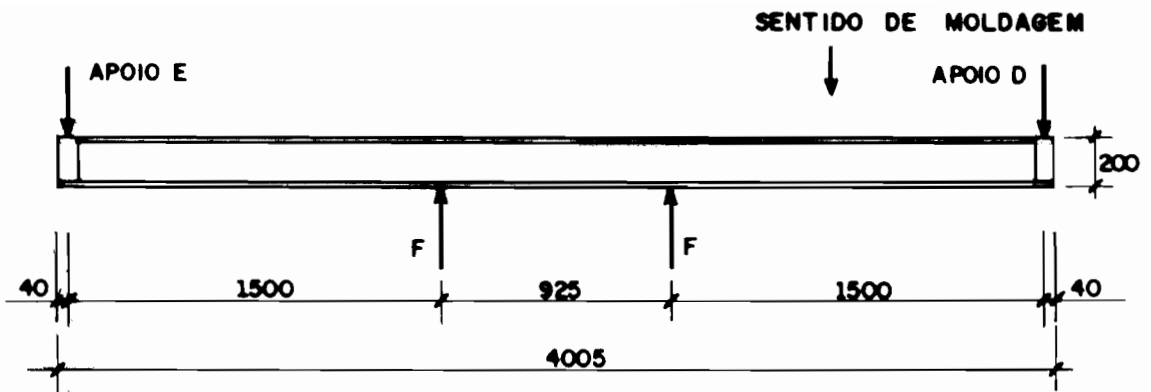
SEÇÃO DO MEIO DO VÃO

ESC. 1 : 300

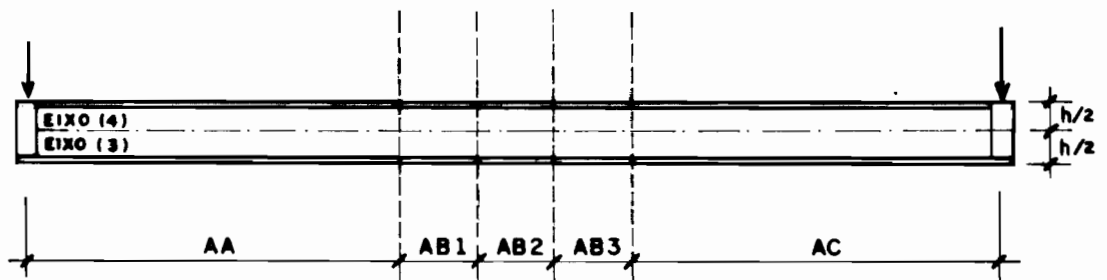
LEGENDA

- ES - EXTENSÔMETRO ELÉTRICO NA ARMADURA TRACIONADA
- EC - EXTENSÔMETRO ELÉTRICO NA MESA COMPRIMIDA
- TT - EXTENSÔMETRO MECÂNICO INSTALADO NA MESA TRACIONADA
- TC - EXTENSÔMETRO MECÂNICO INSTALADO NA MESA COMPRIMIDA

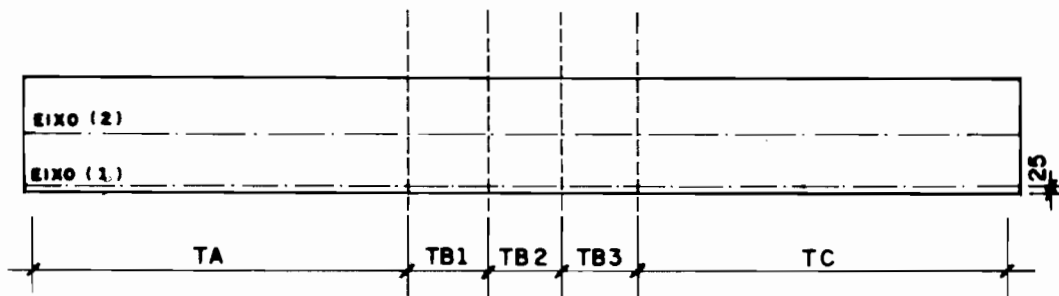
FIGURA 4.39— INSTRUMENTAÇÃO DOS MODELOS DAS SÉRIES 2,3,4 e 5



POSIÇÃO DO MODELO NO ENSAIO



ALMA



MESA TRACIONADA

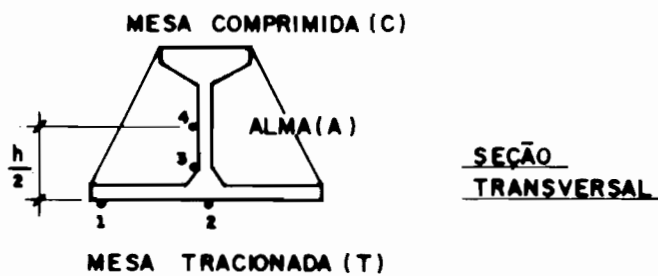


FIGURA 4.40 - REGIÕES DE OBSERVAÇÃO DE FISSURAS DOS MODELOS DAS SÉRIES 2, 3, 4 e 5

5. RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS

5.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Os resultados experimentais observados nos ensaios são apresentados neste capítulo. A ordem de apresentação é mantida para todos os modelos.

Na primeira página apresenta-se a tabela de deslocamentos absolutos em função da força aplicada e, como referência, listam-se também os tempos de início de cada etapa do ensaio. Os diagramas força-deslocamento, também apresentados na primeira página, foram feitos para os deslocamentos absolutos D2, D3 e D4 (Figuras 4.37 - modelos da série 1 e 4.39 - modelos das séries 2,3,4 e 5), calculados a partir dos deslocamentos relativos, medidos nos ensaios, subtraindo-se a média dos valores dos deslocamentos relativos dos apoios (Defletômetros D1 e D5 das Figuras 4.37 e 4.39), para os deslocamentos D3 e proporcionalmente para D2 e D4.

A segunda página traz os diagramas força-deformação, medidas com extensômetros elétricos, posicionados na argamassa, na borda comprimida e na armadura complementar. As posições dos extensômetros elétricos foram mostrados nas figuras 4.37 (modelos da série 1) e 4.39 (modelos da série 2 e demais). As

convenções dos diagramas acompanham as indicações dessas figuras. As deformações absolutas para cada etapa de carga, são mostradas na tabela daquela página.

As deformações da argamassa nas mesas tracionada e comprimida foram medidas com extensômetro mecânico. Os resultados são mostrados na tabela e nos diagramas força-deformação apresentados na terceira página. Os pontos da seção transversal onde se fixaram as bases para leitura são os mostrados nas figuras 4.37 (modelos da série 1) e 4.39 (modelos da série 2 e demais).

As resistências à tração e à compressão da argamassa, medida em corpos-de-prova estão nas tabelas da quarta página. Os resultados obtidos para todos os 24 corpos-de-prova moldados para cada modelo estão registrados, inclusive os valores das resistências médias. Os diagramas tensão (σ_c) - deformação (ϵ_c) da argamassa são também aí apresentados, com a indicação do valor do módulo de deformação longitudinal tangente na origem determinado por regressão linear dos cinco primeiros pontos da curva.

Para a determinação dos diagramas tensão-deformação da argamassa, apenas dois corpos-de-prova foram instrumentados para cada modelo.

O valor da resistência à tração dos corpos-de-prova de argamassa foi determinado com a expressão:

$$f_t = 0,85 \cdot \frac{2}{\pi} \cdot \frac{F_{cp}}{\phi_{cp} \cdot \ell_{cp}} \quad (5.1)$$

onde:

F_{cp} : força última aplicada durante o ensaio do corpo-de-prova cilíndrico submetido a compressão diametral;

ϕ_{cp} = 50mm, diâmetro do corpo-de-prova;

ℓ_{cp} = 100mm, comprimento do corpo-de-prova;

0,85 : coeficiente de conversão de resistências obtidas por

compressão diametral em resistências determinadas em corpos-de-prova submetidos à tração axial.

Nas duas últimas páginas, apresentam-se os dados de observação com relação à fissuração: o valor das aberturas das fissuras desde a etapa em que se observou a primeira fissura até uma etapa anterior à ruína, e, os espaçamentos entre as fissuras medidas ao longo dos eixos indicados nas figuras 4.38 (modelos da série 1) e 4.40 (modelos da série 2 e seguintes).

As páginas que abrem a apresentação dos resultados dos ensaios de cada modelo indicam as datas de moldagem e de ensaio do modelo.

5.2 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

5.2.1 MODELO 1/1

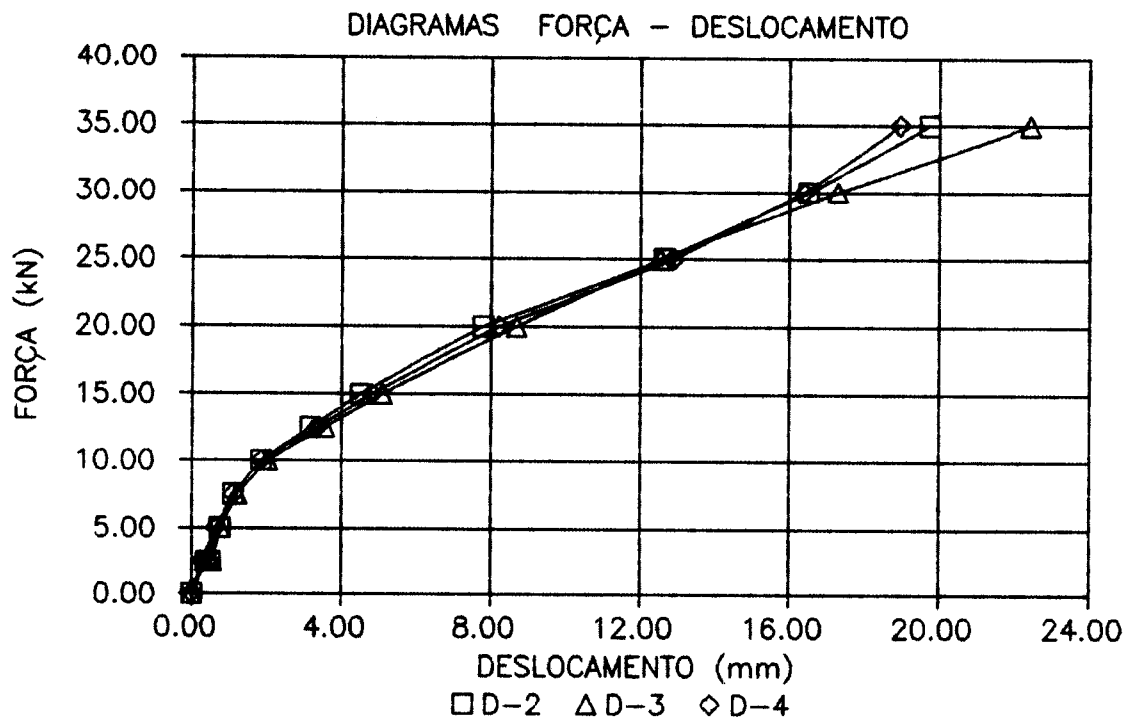
MOLDAGEM: 22/MAIO/89

ENSAIO: 18/JUNHO/89

DESLOCAMENTOS ABSOLUTOS
(mm)

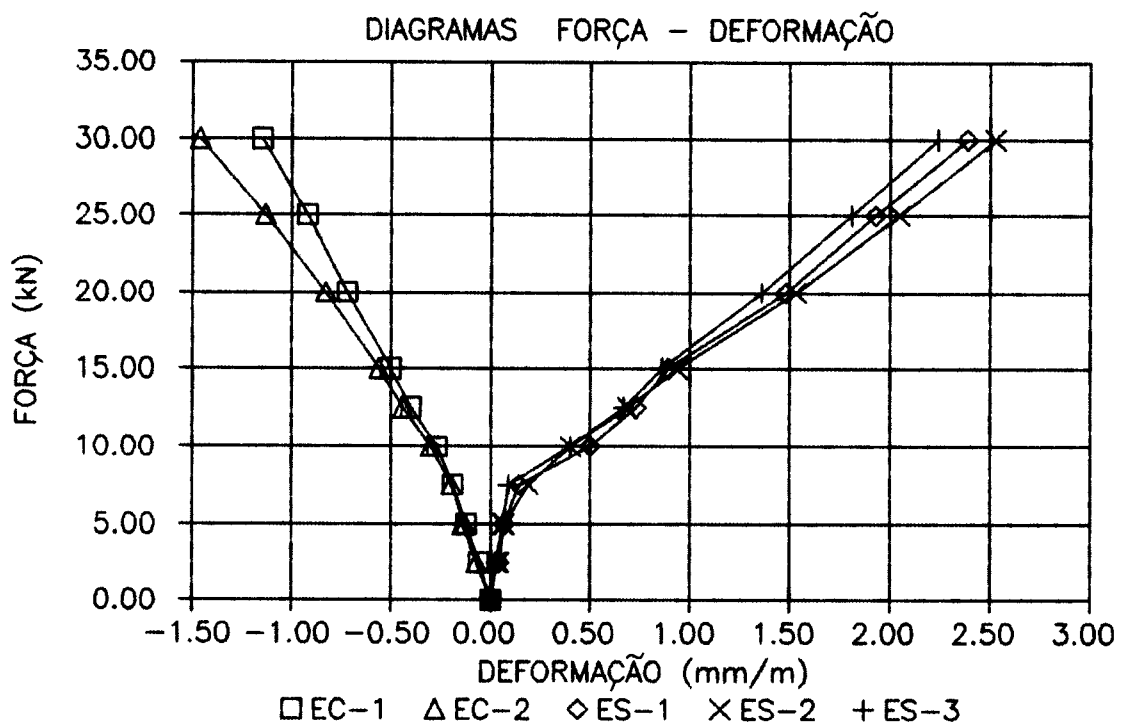
ETAPA	HDRA	FORÇA(kN)	D2	D3	D4
0	9h00	0.0	0.00	0.00	0.00
1	9h05	2.5	0.39	0.37	0.28
2	9h10	5.0	0.75	0.76	0.64
1	9h14	2.5	0.50	0.53	0.46
2	9h17	5.0	0.76	0.76	0.65
3	9h20	7.5	1.12	1.22	1.11
4	9h23	10.0	1.85	2.02	1.86
5	9h30	12.5	3.18	3.57	3.36
6	9h40	15.0	4.52	5.09	4.82
7	9h49	20.0	7.80	8.68	8.22
8	10h05	25.0	12.65	12.54	12.91
9	10h15	30.0	16.50	17.29	16.39
10	10h26	35.0	19.73	21.31	18.94

RUPTURA POR CISALHAMENTO $F_u = 35.0 \text{ kN}$



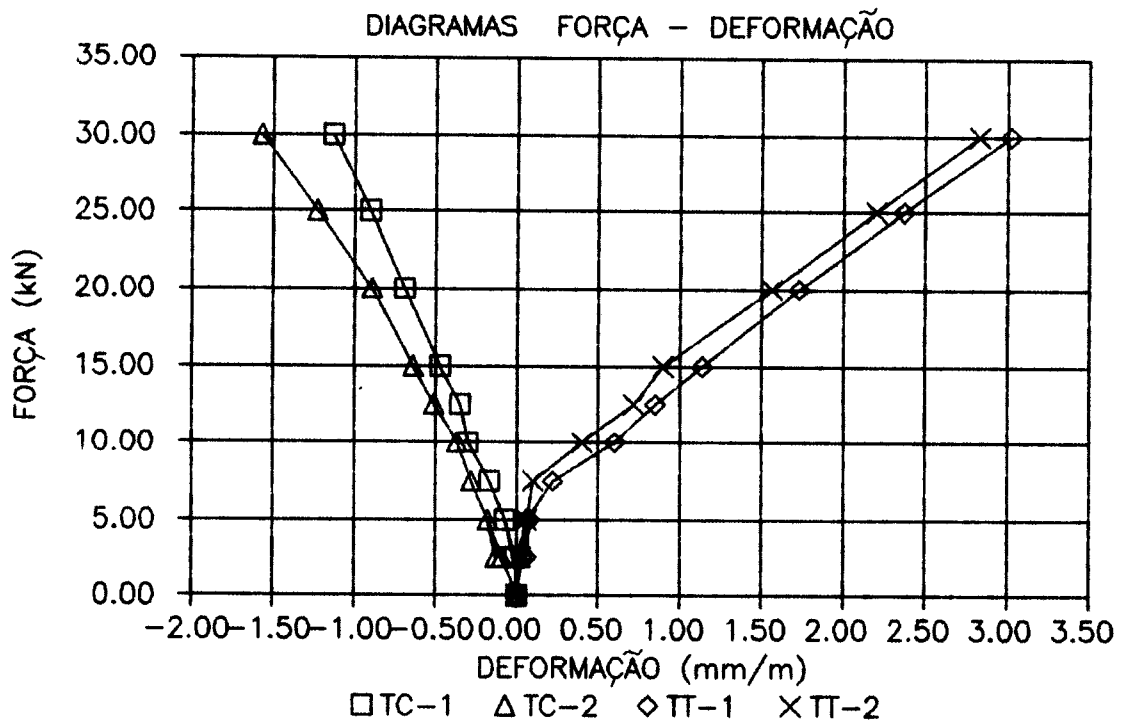
DEFORMAÇÕES MEDIDAS COM EXTENSÔMETROS ELÉTRICOS NA BORDA COMPRIMIDA
E NA ARMADURA COMPLEMENTAR
(mm/m)

ETAPA	FORÇA (kN)	EC1	EC2	EC3	ES1	ES2	ES3
0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	2.5	-0.06	-0.07	-0.04	0.03	0.03	0.03
2	5.0	-0.12	-0.14	-0.09	0.07	0.06	0.06
1	2.5	-0.06	-0.07	-0.05	0.04	0.04	0.03
2	5.0	-0.12	-0.13	-0.09	0.07	0.07	0.06
3	7.5	-0.19	-0.20	-0.14	0.14	0.19	0.09
4	10.0	-0.27	-0.30	-0.20	0.50	0.40	0.40
5	12.5	-0.40	-0.44	-0.28	0.73	0.69	0.67
6	15.0	-0.50	-0.56	-0.36	0.89	0.94	0.86
7	20.0	-0.72	-0.83	-0.51	1.48	1.53	1.36
8	25.0	-0.92	-1.13	-0.65	1.93	2.05	1.81
9	30.0	-1.15	-1.46	-0.80	2.39	2.53	2.24



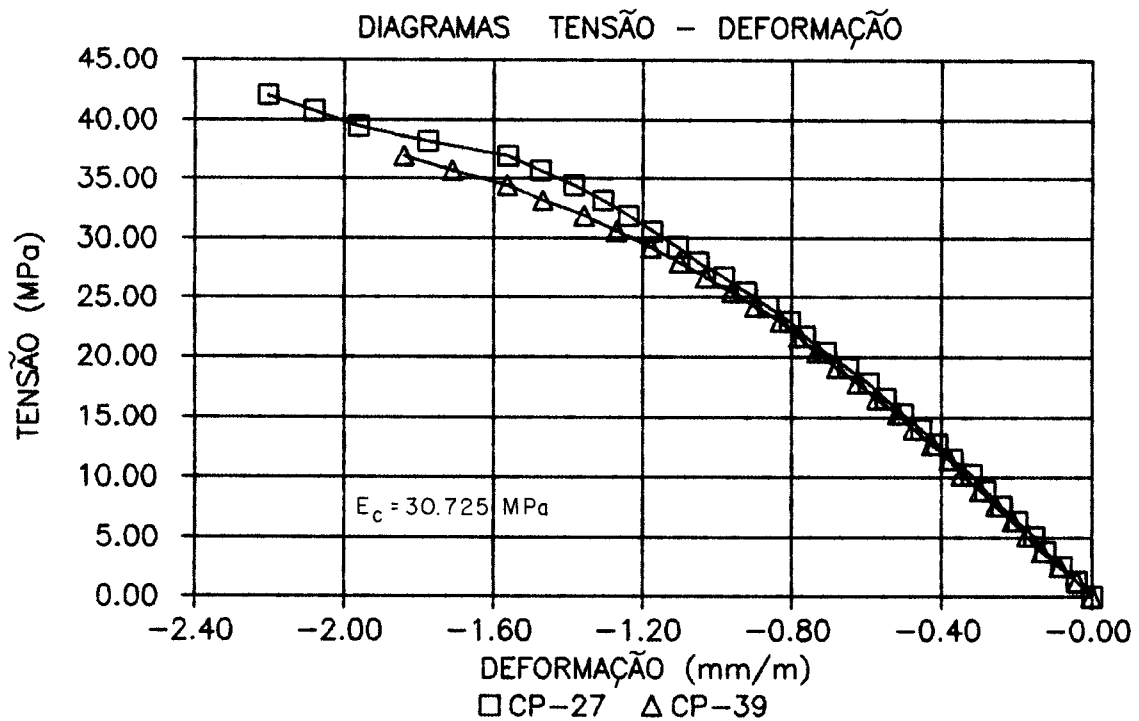
DEFORMAÇÕES MEDIDAS COM EXTENSÔMETRO MECÂNICO NAS BORDAS
 COMPRIMIDA E TRACIONADA
 (mm/m)

ETAPA	FORÇA (kN)	TEMP. (°C)	TC1	TC2	TT1	TT2
0	0.0	19	0.00	0.00	0.00	0.00
1	2.5	19	-0.01	-0.09	0.03	0.01
2	5.0	19	-0.07	-0.18	0.08	0.06
1	2.5	19	-0.02	-0.13	0.06	0.02
2	5.0	19	-0.07	-0.18	0.06	0.06
3	7.5	19	-0.17	-0.28	0.22	0.10
4	10.0	19	-0.30	-0.37	0.60	0.40
5	12.5	19.2	-0.35	-0.51	0.85	0.72
6	15.0	19.2	-0.47	-0.64	1.14	0.90
7	20.0	19.2	-0.69	-0.89	1.73	1.56
8	25.0	19.5	-0.90	-1.23	2.37	2.20
9	30.0	19.5	-1.13	-1.57	3.02	2.83



RESULTADOS DOS ENSAIOS DOS CORPOS-DE-PROVA DE ARGAMASSA

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)				RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (MPa)			
IDADE	3 DIAS	7 DIAS	29 DIAS	IDADE	3 DIAS	7 DIAS	29 DIAS
	18.8	27.4	43.9		1.6	2.6	3.1
	18.3	26.7	38.8		2.0	2.7	3.1
	19.7	28.6	37.9		2.0	2.6	3.2
	18.5	28.6	38.7		1.9	2.8	3.0
MÉDIA	18.8	27.8	39.8	MÉDIA	1.9	2.7	3.1



VALOR DAS ABERTURAS DAS FISSURAS (mm)

REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

ETAPA	FORÇA(KN)	TA	TB1	TB2	TB3	TC	AA	AB1	AB2	AB3	AC
4	10.0				0.05						
5	12.5	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05		0.05	0.05		0.05
6	15.0	0.07	0.05	0.05	0.07	0.05		0.04			0.07
7	20.0	0.09	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.05	0.06	0.05	0.10
8	25.0	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.10	0.06	0.07	0.06	0.13
9	30.0	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.13	0.07	0.07	0.06	0.14

ESPAÇAMENTO ENTRE FISSURAS NA ALMA JUNTO A MESA
(mm)

REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

AA	AB1	AB2	AB3	AC
30	30	20	50	50
20	40	80	50	20
20	30	50	50	60
30	30	50	48	40
35	20	50	31	45
30	25	40	23	28
45	30		42	15
25	50			35
30	45			15
	20			40
				25
				30
				50
MÉDIA	29	32	48	42
				35

ESPAÇAMENTO ENTRE FISSURAS NA ALMA NA ALTURA h/2
(mm)

REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

AA	AB1	AB2	AB3	AC
45	20	25	45	20
20	60	75	45	35
20	35	35	55	75
60	37	50	50	40
25	22	90	40	42
25	35		10	30
30	42		40	30
30	50			18
30	15			35
				40
MÉDIA	32	35	55	41
				37

ESPAÇAMENTO ENTRE FISSURAS NO CENTRO DA
MESA TRACIONADA (mm)

REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

	TA	TB1	TB2	TB3	TC
	30	21	30	60	47
	70	27	30	15	28
	23	22	17	28	18
	26	24	54	49	48
	31	54	45	53	51
	18	48	50	46	48
	28	25	52	46	48
	44	24	27		48
	50	20			51
	19	27			47
	29				51
	51				22
					23
MÉDIA	35	29	38	43	41

ESPAÇAMENTO ENTRE FISSURAS NA BORDA TRACIONADA
JUNTO A BORDA ESQUERDA (mm)

REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

	TA	TB1	TB2	TB3	TC
	34	28	27	20	24
	47	24	27	37	19
	40	21	22	18	37
	33	23	35	21	24
	49	48	41	25	16
	34	43	78	36	28
	35	32	20	12	32
	26	29		30	34
	38	19		16	25
	34			20	23
	34			16	51
	34			20	46
	15				19
	31				21
	25				35
	20				53
	28				53
MÉDIA	33	30	36	23	32

5.2.2 MODELO 1/2

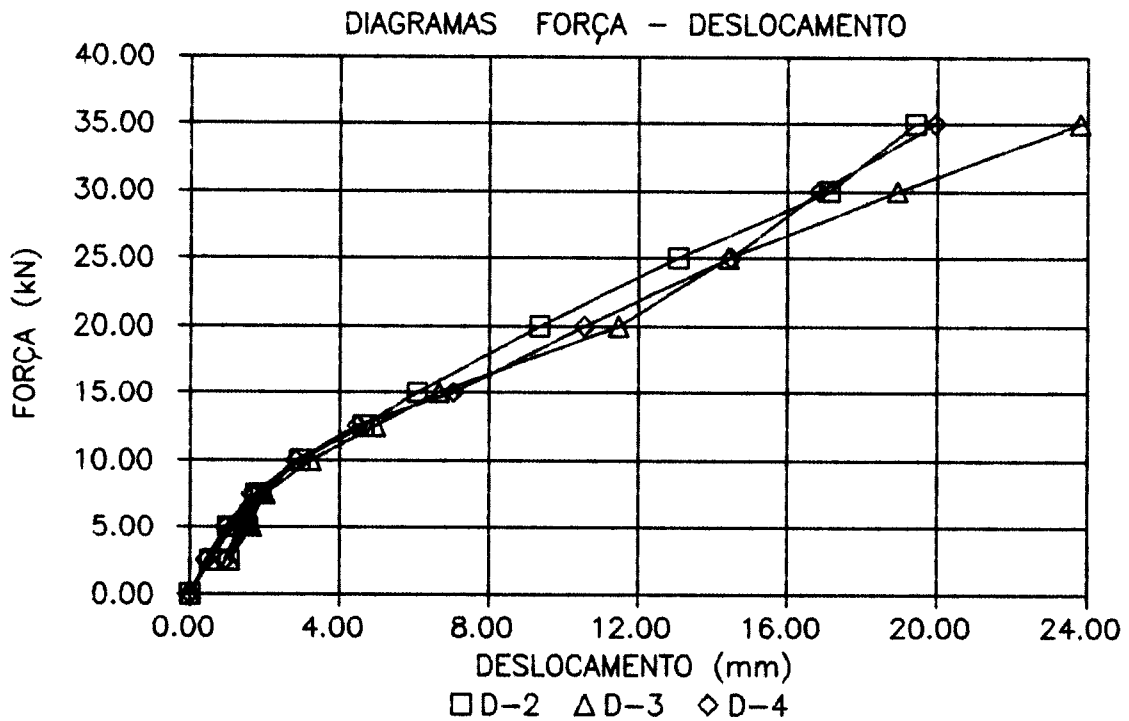
MOLDAGEM: 15/MAIO/89

ENSAIO: 12/JUNHO/89

DESLOCAMENTOS ABSOLUTOS
(mm)

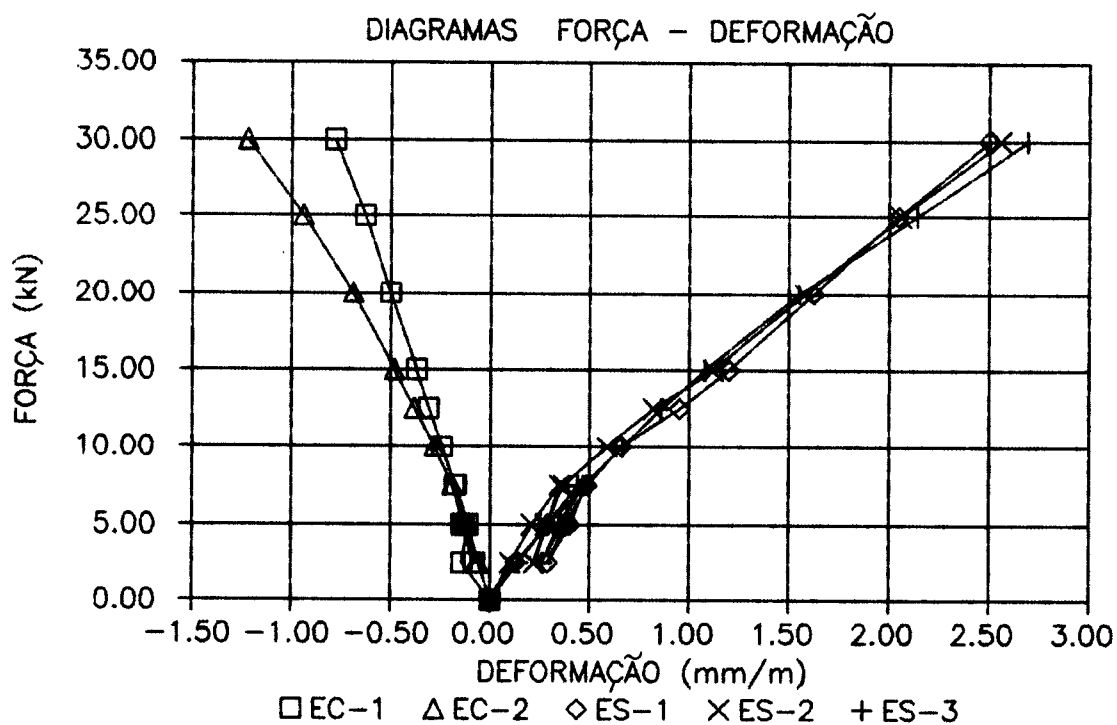
ETAPA	HORA	FORÇA (kN)	D2	D3	D4
0	14h23	0.0	0.00	0.00	0.00
1	14h32	2.5	0.53	0.55	0.44
2	14h42	5.0	1.03	1.14	0.96
3	14h47	7.5	1.76	1.92	1.64
2	14h53	5.0	1.53	1.65	1.55
1	14h56	2.5	1.05	1.07	0.94
2	14h59	5.0	1.48	1.52	1.32
3	15h02	7.5	1.89	2.01	1.75
4	15h05	10.0	2.95	3.23	2.84
5	15h10	12.5	4.64	4.97	4.47
6	15h20	15.0	6.08	6.67	7.05
7	15h36	20.0	9.36	11.48	10.57
8	15h52	25.0	13.07	14.41	14.48
9	16h04	30.0	17.12	18.93	16.84

RUPTURA POR CISALHAMENTO $F_u=33.0$ kN



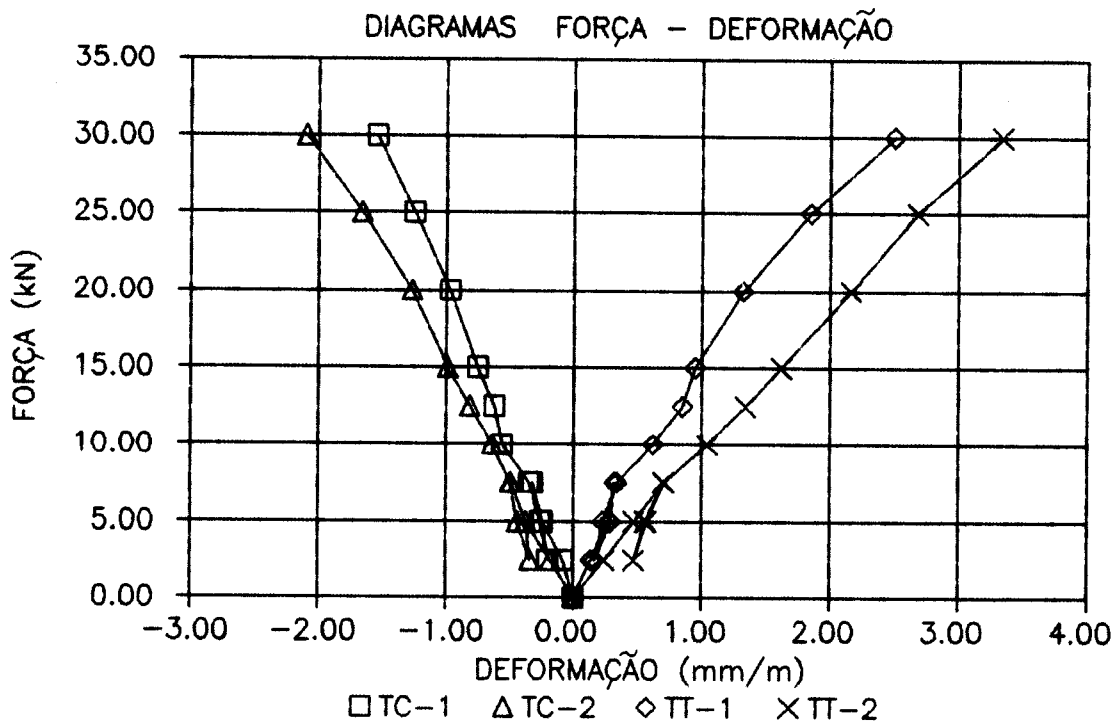
DEFORMAÇÕES MEDIDAS COM EXTENSÔMETROS ELÉTRICOS NA BORDA COMPRIMIDA
E NA ARMADURA COMPLEMENTAR
(mm/m)

ETAPA	FORÇA(kN)	EC1	EC2	EC3	ES1	ES2	ES3
0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	2.5	-0.14	-0.06	-0.09	0.13	0.10	0.14
2	5.0	-0.11	-0.11	-0.18	0.29	0.21	0.29
3	7.5	-0.17	-0.19	-0.30	0.48	0.35	0.44
2	5.0	-0.14	-0.13	-0.23	0.40	0.29	0.36
1	2.5	-0.08	-0.07	-0.14	0.29	0.22	0.26
2	5.0	-0.13	-0.13	-0.22	0.38	0.28	0.35
3	7.5	-0.18	-0.19	-0.31	0.49	0.37	0.47
4	10.0	-0.24	-0.28	-0.43	0.66	0.59	0.67
5	12.5	-0.31	-0.38	-0.59	0.95	0.82	0.86
6	15.0	-0.37	-0.48	-0.75	1.20	1.12	1.08
7	20.0	-0.50	-0.69	-1.05	1.62	1.58	1.55
8	25.0	-0.63	-0.94	-1.43	2.05	2.06	2.14
9	30.0	-0.78	-1.22	-1.86	2.50	2.56	2.69



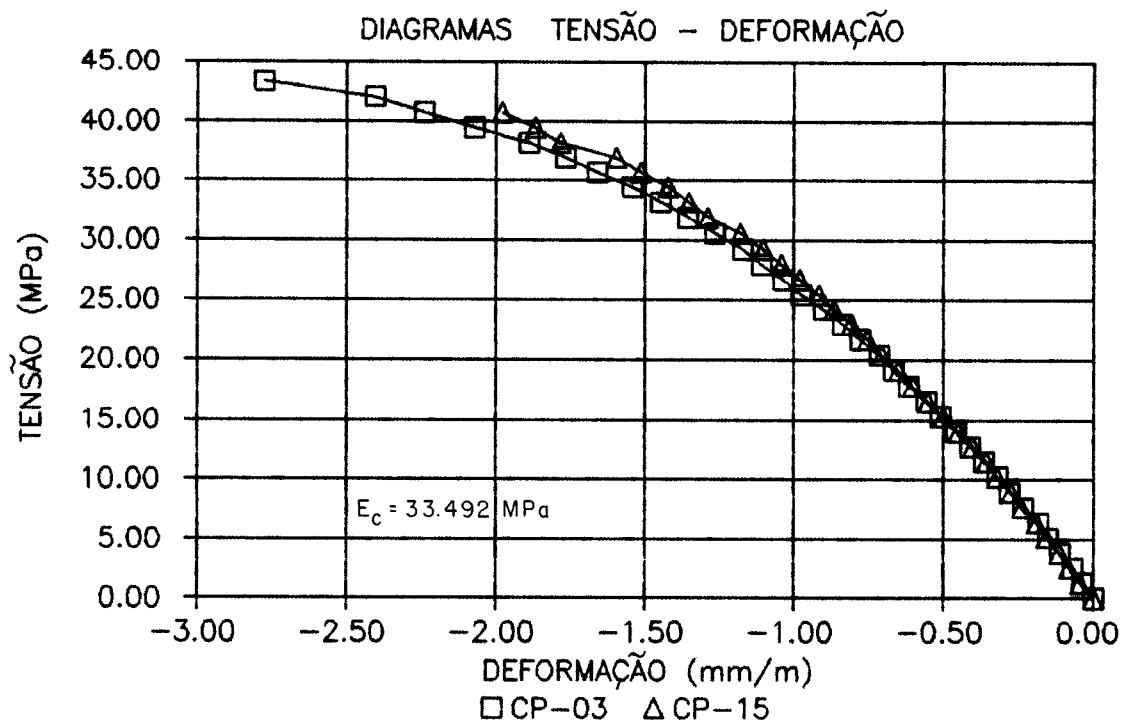
DEFORMAÇÕES MEDIDAS COM EXTENSÔMETRO MECÂNICO NAS BORDAS
 COMPRIMIDA E TRACIONADA
 (mm/m)

ETAPA	FORÇA (kN)	TEMP. (°C)	TC1	TC2	TT1	TT2
0	0.0	19.0	0.00	0.00	0.00	0.00
1	2.5	19.0	-0.08	-0.18	0.14	0.24
2	5.0	19.0	-0.24	-0.37	0.28	0.47
3	7.5	19.0	-0.32	-0.49	0.32	0.70
2	5.0	19.0	-0.24	-0.37	0.29	0.56
1	2.5	19.5	-0.20	-0.34	0.17	0.47
2	5.0	19.5	-0.26	-0.44	0.23	0.57
3	7.5	19.5	-0.35	-0.50	0.34	0.71
4	10.0	19.5	-0.56	-0.64	0.62	1.04
5	12.5	19.5	-0.62	-0.81	0.85	1.34
6	15.0	19.5	-0.75	-0.99	0.95	1.62
7	20.0	19.5	-0.97	-1.27	1.32	2.16
8	25.0	19.5	-1.25	-1.66	1.85	2.68
9	30.0	19.5	-1.54	-2.09	2.50	3.34



RESULTADOS DOS ENSAIOS DOS CORPOS-DE-PROVA DE ARGAMASSA

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)				RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (MPa)			
IDADE	3 DIAS	7 DIAS	29 DIAS	IDADE	3 DIAS	7 DIAS	29 DIAS
	18.6	29.5	43.3		1.4	3.0	2.8
	18.8	26.1	47.7		1.9	2.3	3.1
	18.3	28.6	41.4		2.2	2.3	3.4
	20.4	26.2	41.4		1.6	2.8	3.4
MÉDIA	19.0	27.6	43.5	MÉDIA	1.8	2.6	3.2



VALOR DAS ABERTURAS DAS FISSURAS (mm)

REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

ETAPA	FORÇA	TA	TB1	TB2	TB3	TC	AA	AB1	AB2	AB3	AC
3	7.5			0.05							
4	10.0		0.05	0.06				0.05	0.05		
5	12.5	0.05	0.06	0.06	0.06	0.05		0.05	0.05		0.05
6	15.0	0.06	0.07	0.07	0.07	0.05	0.10	0.05	0.05	0.05	0.07
7	20.0	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0.10	0.06	0.05	0.07	0.09
8	25.0	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0.11	0.06	0.05	0.07	0.09
9	30.0	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.13	0.07	0.06	0.07	0.09

ESPAÇAMENTO ENTRE FISSURAS NA ALMA JUNTO A MESA (mm)

REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

	AA	AB1	AB2	AB3	AC
50	50	20	30	30	
20	50	80	40	20	
60	50	50	30	20	
40	48	50	30	30	
45	31	50	20	35	
28	23	40	25	30	
15	42		30	45	
35			50	25	
15			45	30	
40			20		
25					
30					
50					
MÉDIA	35	42	48	32	29

ESPAÇAMENTO ENTRE FISSURAS NA ALMA NA ALTURA h/2 (mm)

REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

	AA	AB1	AB2	AB3	AC
20	45	25	20	45	
35	45	75	60	20	
75	55	35	35	20	
40	50	50	37	60	
42	40	90	22	25	
30	10		35	25	
30	40		42	30	
18			50	30	
35			15	30	
40					
MÉDIA	37	41	55	35	32

ESPAÇAMENTO ENTRE FISSURAS NO CENTRO
DA MESA TRACIONADA (mm)

REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

	TA	TB1	TB2	TB3	TC
	30	21	30	60	47
	70	27	30	15	28
	23	22	17	28	18
	26	24	54	49	48
	31	54	45	53	51
	18	48	50	46	48
	28	25	52	46	48
	44	24	27		48
	50	20			51
	19	27			47
	29				51
	51				22
					23
MÉDIA	35	29	38	43	41

ESPAÇAMENTO ENTRE FISSURAS NA MESA TRACIONADA
JUNTO A BORDA ESQUERDA (mm)

REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

	TA	TB1	TB2	TB3	TC
	24	20	27	28	34
	19	37	27	24	47
	37	18	22	21	40
	24	21	35	23	33
	16	25	41	48	49
	28	36	78	43	34
	32	12	20	32	35
	34	30		29	26
	25	16		19	38
	23	20			34
	51	16			34
	46	20			34
	19				15
	21				31
	35				25
	53				20
	53				28
MÉDIA	32	23	36	30	33

5.2.3 MODELO 1/3

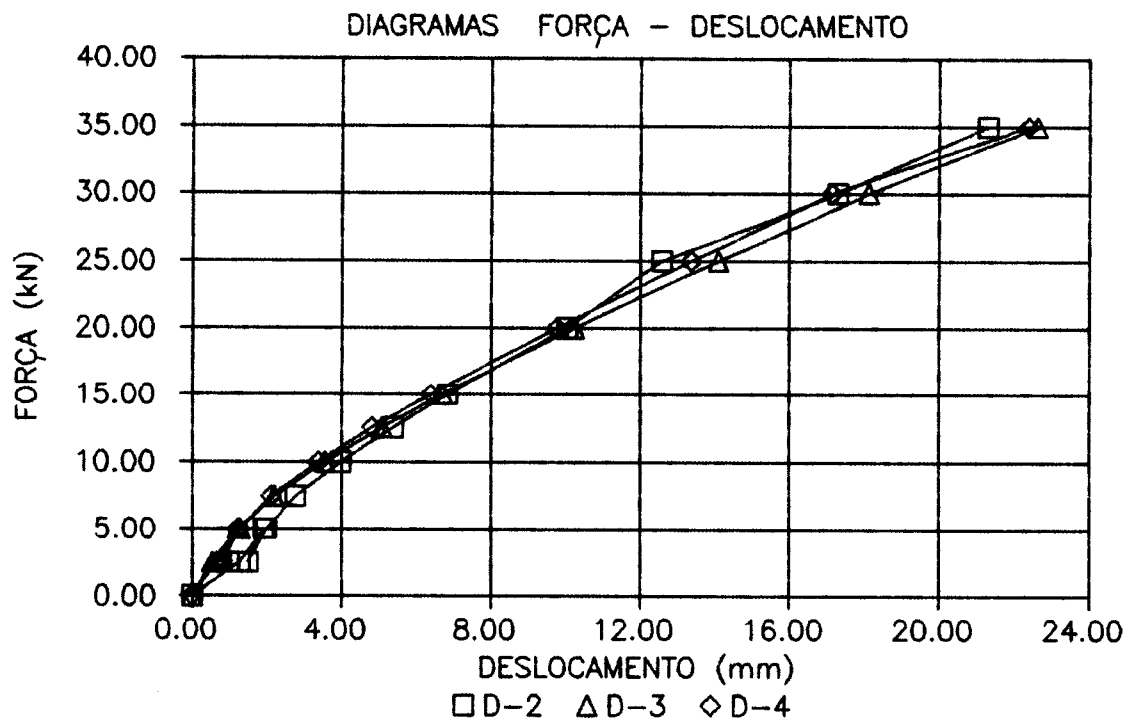
MOLDAGEM: 08/JUNHO/89

ENSAIO: 06/JULHO/89

DESLOCAMENTOS ABSOLUTOS
(mm)

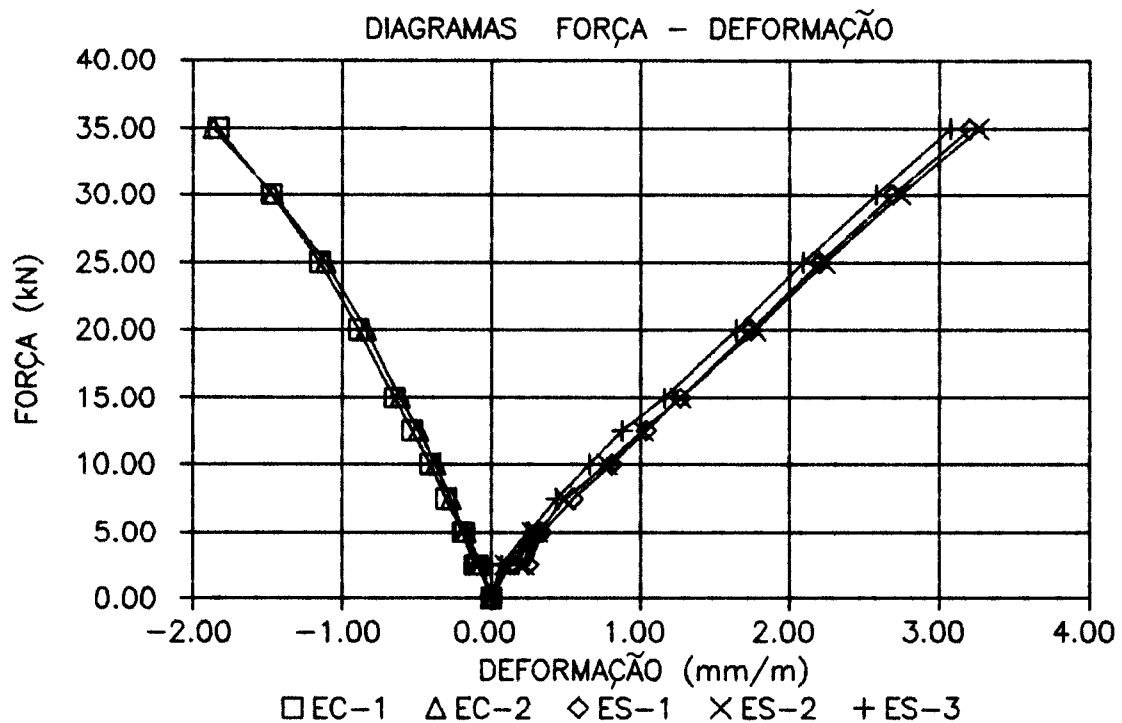
ETAPA	HORA	FORÇA (kN)	D2	D3	D4
0		0.0	0.00	0.00	0.00
1		2.5	1.27	0.53	0.66
2		5.0	1.92	1.21	1.22
1		2.5	1.50	0.75	0.78
2		5.0	1.98	1.28	1.26
3		7.5	2.76	2.19	2.11
4		10.0	3.98	3.57	3.38
5		12.5	5.38	5.09	4.82
6		15.0	6.84	6.70	6.39
7		20.0	10.06	10.24	9.78
8		25.0	12.59	14.09	13.38
9		30.0	17.29	18.12	17.13
10		35.0	21.30	22.61	22.37

RUPTURA POR CISCALHAMENTO $F_u = 39.8 \text{ kN}$



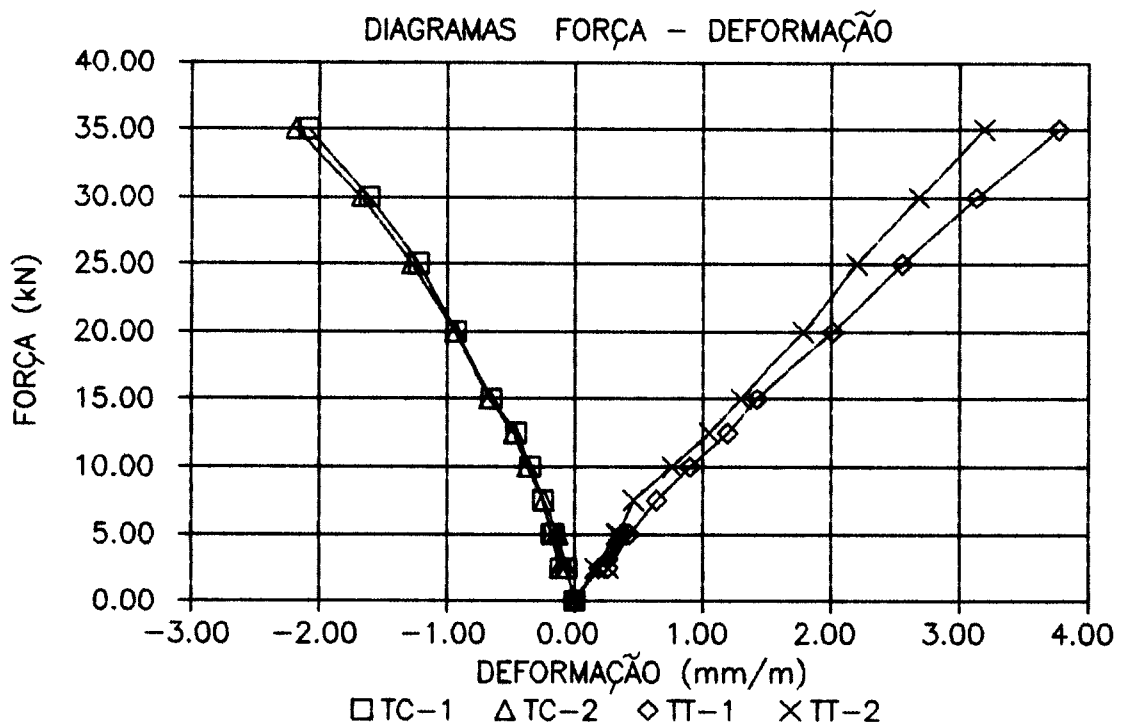
DEFORMAÇÕES MEDIDAS COM EXTENSÔMETROS ELÉTRICOS NA BORDA COMPRIMIDA
E NA ARMADURA COMPLEMENTAR
(mm/m)

ETAPA	FORÇA (kN)	EC1	EC2	EC3	ES1	ES2	ES3
0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	2.5	-0.09	-0.07	-0.06	0.13	0.10	0.07
2	5.0	-0.18	-0.17	-0.14	0.32	0.28	0.24
1	2.5	-0.11	-0.10	-0.08	0.25	0.22	0.18
2	5.0	-0.19	-0.18	-0.15	0.34	0.31	0.25
3	7.5	-0.30	-0.27	-0.24	0.55	0.50	0.44
4	10.0	-0.41	-0.37	-0.34	0.81	0.78	0.66
5	12.5	-0.53	-0.49	-0.46	1.04	1.02	0.88
6	15.0	-0.65	-0.61	-0.58	1.27	1.27	1.16
7	20.0	-0.89	-0.84	-0.81	1.74	1.77	1.64
8	25.0	-1.15	-1.11	-1.07	2.20	2.23	2.09
9	30.0	-1.47	-1.46	-1.36	2.69	2.74	2.58
10	35.0	-1.83	-1.86	-1.71	3.20	3.26	3.07



DEFORMAÇÕES MEDIDAS COM EXTENSÔMETRO MECÂNICO NAS BORDAS
 COMPRIMIDA E TRACIONADA
 (mm/m)

ETAPA	FORÇA (kN)	TEMP. (°C)	TC1	TC2	TT1	TT2
0	0.0	17.0	0.00	0.00	0.00	0.00
1	2.5	17.0	-0.06	-0.06	0.19	0.16
2	5.0	17.0	-0.16	-0.14	0.37	0.33
1	2.5	17.0	-0.11	-0.12	0.26	0.26
2	5.0	17.0	-0.18	-0.13	0.43	0.34
3	7.5	17.5	-0.25	-0.24	0.64	0.46
4	10.0	17.5	-0.35	-0.37	0.90	0.76
5	12.5	17.5	-0.46	-0.48	1.19	1.05
6	15.0	17.5	-0.65	-0.67	1.42	1.30
7	20.0	17.5	-0.93	-0.94	2.01	1.78
8	25.0	17.5	-1.22	-1.28	2.55	2.20
9	30.0	17.5	-1.61	-1.67	3.13	2.68
10	35.0	17.5	-2.08	-2.18	3.77	3.19



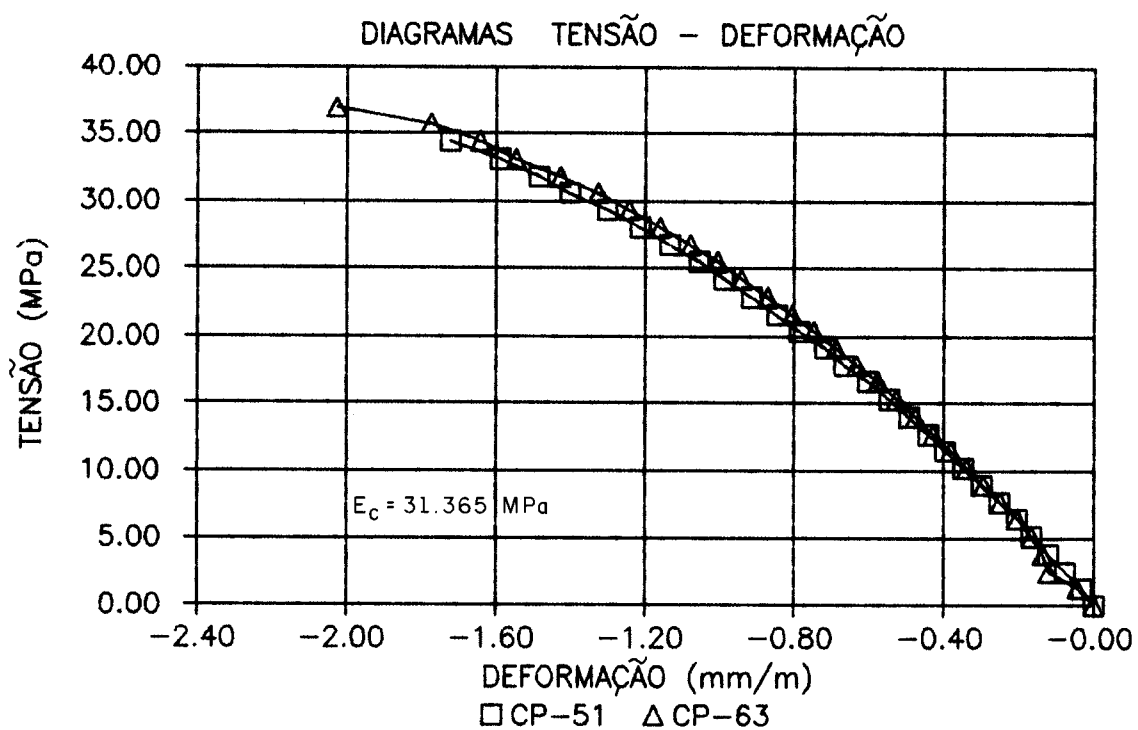
RESULTADOS DOS ENSAIOS DOS CORPOS-DE-PROVA DE ARGAMASSA

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)

IDADE	3 DIAS	7 DIAS	29 DIAS
	17.2	26.1	35.6
	17.8	26.1	37.7
	17.8	26.2	36.9
	17.8	25.9	31.3
MÉDIA	17.7	26.1	35.4

RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (MPa)

IDADE	3 DIAS	7 DIAS	29 DIAS
	1.8	2.3	3.3
	1.6	2.3	3.2
	1.9	2.0	4.1
	1.6	2.0	3.0
MÉDIA	1.7	2.2	3.4



VALORES DAS ABERTURAS DAS FISSURAS (mm)

REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

ETAPA	FORÇA(KN)	TA	TB1	TB2	TB3	TC	AA	AB1	AB2	AB3	AC
5	12.5				0.04		0.05	0.04	0.04	0.04	0.05
6	15.0	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06
7	20.0	0.05	0.06	0.06	0.05	0.05	0.07	0.07	0.06	0.05	0.07
8	25.0	0.08	0.08	0.06	0.06	0.06	0.08	0.07	0.06	0.05	0.09
9	30.0	0.07	0.08	0.06	0.06	0.08	0.11	0.08	0.07	0.07	0.13
10	35.0	0.07	0.08	0.07	0.06	0.08	0.15	0.08	0.08	0.07	0.16

ESPAÇAMENTO ENTRE FISSURAS NA ALMA JUNTO A MESA

(mm)

REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

AA	AB1	AB2	AB3	AC	
60	50	25	30	50	
40	45	30	70	50	
70	30	45	50	15	
55	50	50	25	50	
60	45	50	20	25	
45	35	40	55	50	
45	55	50		50	
50				45	
40				20	
50				20	
20				30	
50				30	
25				40	
40				30	
20				55	
25				50	
45				45	
25					
/					
MÉDIA	42	44	41	42	39

ESPAÇAMENTO ENTRE FISSURAS NA ALMA NA ALTURA h/2

(mm)

REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

AA	AB1	AB2	AB3	AC	
45	40	25	50	25	
125	45	25	65	20	
50	30	50	70	40	
65	55	46	35	15	
35	35	48	45	85	
25	35	55	25	45	
30	57	35		45	
55				50	
40				70	
40				50	
37				20	
27				25	
50				25	
23				70	
15				90	
40				60	
/					
MÉDIA	44	42	39	48	46

ESPAÇAMENTO ENTRE FISSURAS NO CENTRO
DA MESA TRACIONADA (mm)

REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

	TA	TB1	TB2	TB3	TC
	45	25	18	27	20
	40	30	15	22	20
	15	22	13	22	15
	35	16	24	20	15
	35	25	25	25	15
	15	25	35	33	30
	32	25	16	15	15
	27	20	20	27	15
	30	15	40	22	15
	30	15	21	20	20
	30	22	15	25	25
	25	25	17		50
	27	26	23		25
	22		25		20
	22				40
	30				40
	15				20
	35				25
					20
					25
MÉDIA	26	22	21	23	24

ESPAÇAMENTO ENTRE FISSURAS NA MESA TRACIONADA
JUNTO A BORDA ESQUERDA (mm)

REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

	TA	TB1	TB2	TB3	TC
	60	24	25	25	27
	40	30	15	21	22
	30	30	40	21	25
	30	20	23	23	33
	50	18	26	26	56
	25	25	25	26	25
	20	26	20	30	46
	30	25	30	20	40
	25	18	30	30	50
	45	30	20	15	50
	25	27	30	30	30
	33	22	25		22
	13	20			22
	30				30
	20				
	25				
	25				
	25				
MÉDIA	31	25	26	24	34

5.2.4 MODELO 1/4

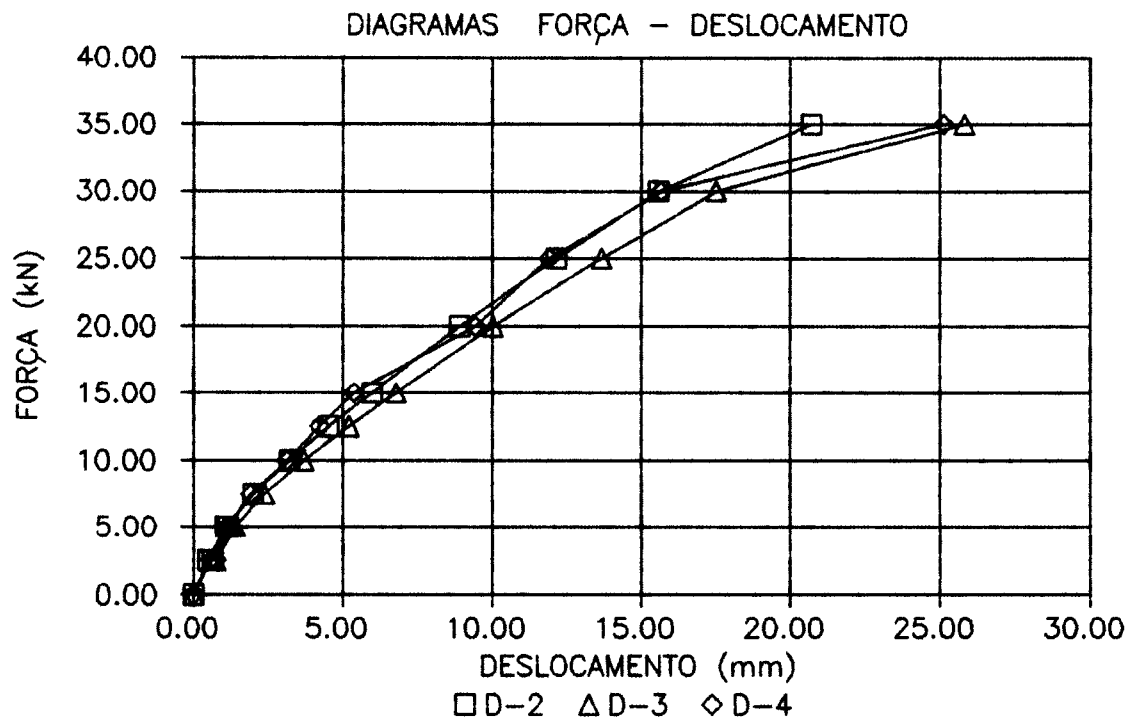
MOLDAGEM: 20/JUNHO/89

ENSAIO: 18/JULHO/89

DESLOCAMENTOS ABSOLUTOS
(mm)

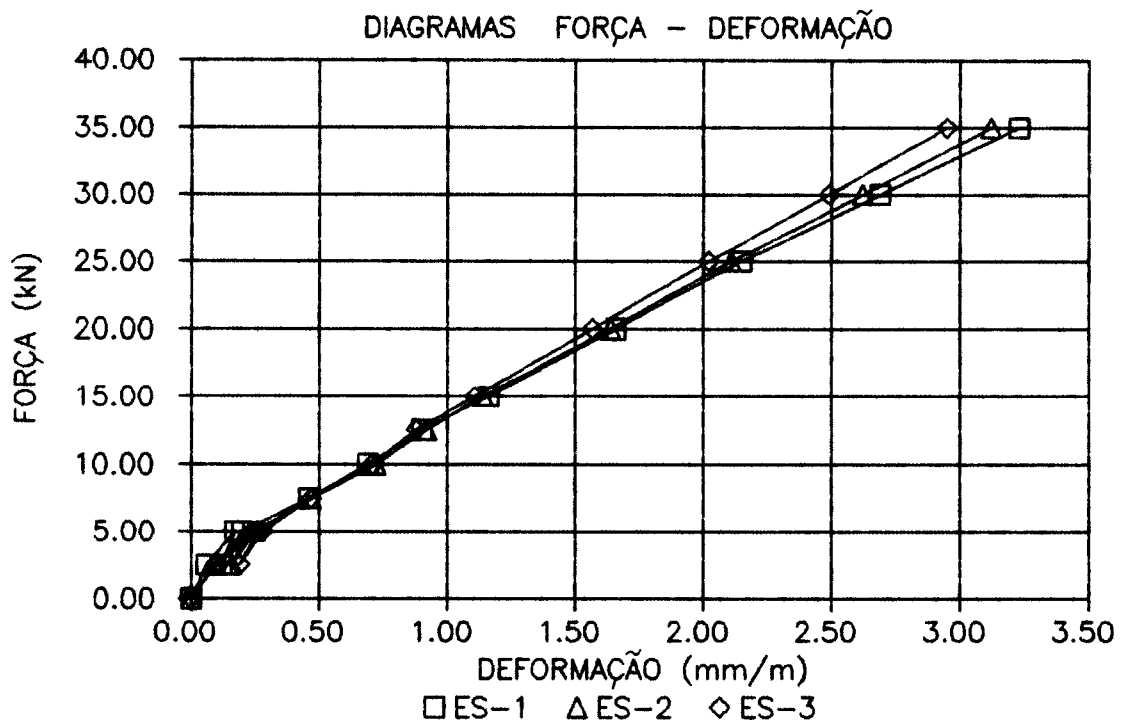
ETAPA	HDRA	FORÇA(kN)	D2	D3	D4
0	16h03	0.0	0.00	0.00	0.00
1	16h06	2.5	0.47	0.60	0.60
2	16h08	5.0	1.08	1.31	1.24
1	16h10	2.5	0.65	0.75	0.75
2	16h12	5.0	1.15	1.38	1.13
3	16h14	7.5	1.99	2.37	1.91
4	16h15	10.0	3.23	3.71	3.15
5	16h26	12.5	4.52	5.23	4.24
6	16h30	15.0	5.98	6.79	5.37
7	16h35	20.0	8.91	10.03	9.46
8	16h46	25.0	12.16	13.67	11.93
9	16h57	30.0	15.60	17.51	15.68
10	17h06	35.0	20.72	25.81	25.13

RUPTURA POR CISALHAMENTO $F_u = 35.00$ kN



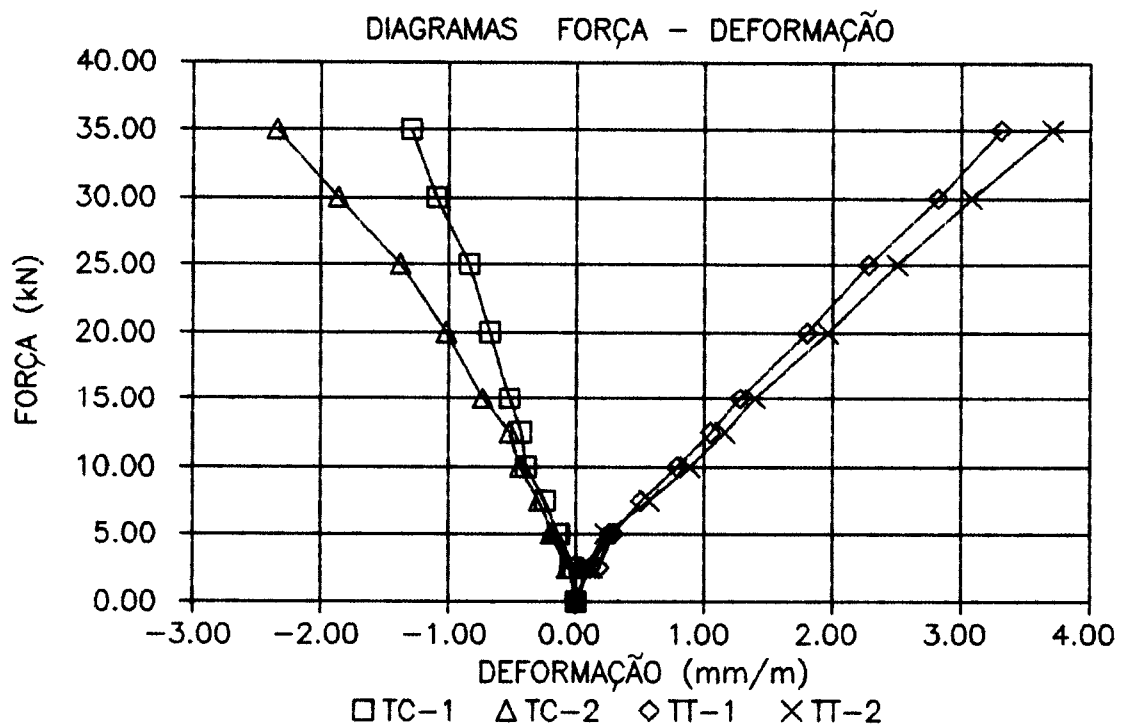
DEFORMAÇÕES MEDIDAS COM EXTENSÔMETROS ELÉTRICOS NA BORDA COMPRIMIDA
E NA ARMADURA COMPLEMENTAR
(mm/m)

ETAPA	FORÇA (kN)	ES1	ES2	ES3
0	0.0	0.00	0.00	0.00
1	2.5	0.06	0.09	0.10
2	5.0	0.17	0.23	0.26
1	2.5	0.12	0.16	0.19
2	5.0	0.20	0.25	0.28
3	7.5	0.46	0.47	0.47
4	10.0	0.69	0.72	0.71
5	12.5	0.90	0.92	0.88
6	15.0	1.16	1.14	1.11
7	20.0	1.66	1.64	1.57
8	25.0	2.15	2.11	2.02
9	30.0	2.69	2.62	2.49
10	35.0	3.23	3.12	2.95



DEFORMAÇÕES MEDIDAS COM EXTENSÔMETRO MECÂNICO NAS BORDAS
 COMPRIMIDA E TRACIONADA
 (mm/m)

ETAPA	FORÇA (kN)	TEMP. (°C)	TC1	TC2	TT1	TT2
0	0.0	21.0	0.00	0.00	0.00	0.00
1	2.5	21.0	-0.02	-0.05	0.11	0.08
2	5.0	21.0	-0.13	-0.20	0.26	0.23
1	2.5	21.0	-0.04	-0.07	0.18	0.13
2	5.0	21.0	-0.14	-0.18	0.29	0.23
3	7.5	21.0	-0.24	-0.29	0.51	0.57
4	10.0	21.0	-0.39	-0.44	0.79	0.89
5	12.5	21.0	-0.43	-0.52	1.05	1.16
6	15.0	21.0	-0.52	-0.73	1.28	1.40
7	20.0	20.5	-0.68	-1.02	1.80	1.96
8	25.0	20.0	-0.84	-1.38	2.28	2.50
9	30.0	20.0	-1.09	-1.86	2.82	3.08
10	35.0	20.0	-1.29	-2.34	3.31	3.71



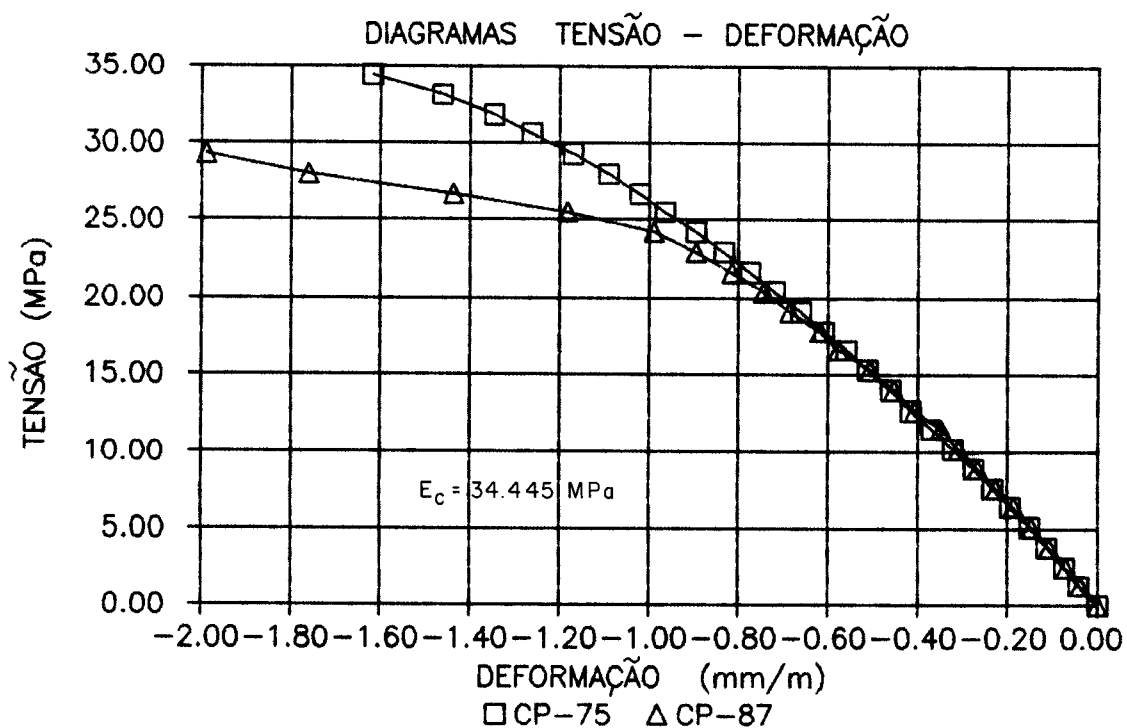
RESULTADOS DOS ENSAIOS DOS CORPOS-DE-PROVA DE ARGAMASSA

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)

RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (MPa)

IDADE	3 DIAS	7 DIAS	29 DIAS
	19.9	26.2	36.3
	19.4	29.5	39.0
	19.6	26.0	30.6
	18.1	27.6	40.0
MÉDIA	19.3	27.3	36.5

IDADE	3 DIAS	7 DIAS	29 DIAS
	2.1	2.3	3.1
	2.3	2.5	3.8
	1.7	2.4	3.1
	2.1	2.0	4.3
MÉDIA	2.1	2.3	3.6



VALORES DAS ABERTURAS DAS FISSURAS (mm)

REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

ETAPA	FORÇA	TA	TB1	TB2	TB3	TC	AA	AB1	AB2	AB3	AC
4	10.0		0.05	0.05	0.05						
5	12.5		0.06	0.06	0.06		0.05		0.06	0.06	
7	20.0		0.07	0.07	0.07	0.07	0.09	0.06	0.06	0.07	0.10
8	25.0	0.05	0.07	0.07	0.07	0.07	0.10	0.07	0.07	0.07	0.13
9	30.0	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.11	0.08	0.07	0.07	0.15

ESPAÇAMENTO ENTRE FISSURAS NA ALMA JUNTO A MESA
(mm)
REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

AA	AB1	AB2	AB3	AC
125	55	30	55	50
90	40	30	45	43
125	50	42	50	50
55	53	35	53	65
55	45	28	50	80
30		20	53	60
73		55		30
40		45		30
50		50		20
80				25
100				40
				75
				70
				60
				60
				60

ESPAÇAMENTO ENTRE FISSURAS NA ALMA NA ALTURA h/2
(mm)
REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

AA	AB1	AB2	AB3	AC
125	50	23	50	25
50	46	35	55	43
30	52	40	40	70
60	55	25	50	40
30	43	28	50	30
20	55	50	45	20
40		55		20
80		50		35
75				55
30				75
50				75
65				111

MÉDIA

MÉDIA

75 49 37 51 51

55 50 38 48 50

ESPAÇAMENTO ENTRE FISSURAS NO CENTRO
DA MESA TRACIONADA (mm)

REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

	TA	TB1	TB2	TB3	TC
	20	50	15	60	15
	50	10	25	25	13
	23	23	20	25	18
	50	25	25	30	23
	35	20	27	20	54
	10	23	10	15	10
		23	25	30	15
		15	20	10	15
		18	15	18	25
		17		15	15
		35			30
					30
					30
MÉDIA	31	24	20	25	23

ESPAÇAMENTO ENTRE FISSURAS NA MESA TRACIONADA
JUNTO A BORDA ESQUERDA (mm)

REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

	TA	TB1	TB2	TB3	TC
--	----	-----	-----	-----	----

OBS: AS FISSURAS NÃO SE FORMARAM NESTA REGIÃO

5.2.5 MODELO 2/1

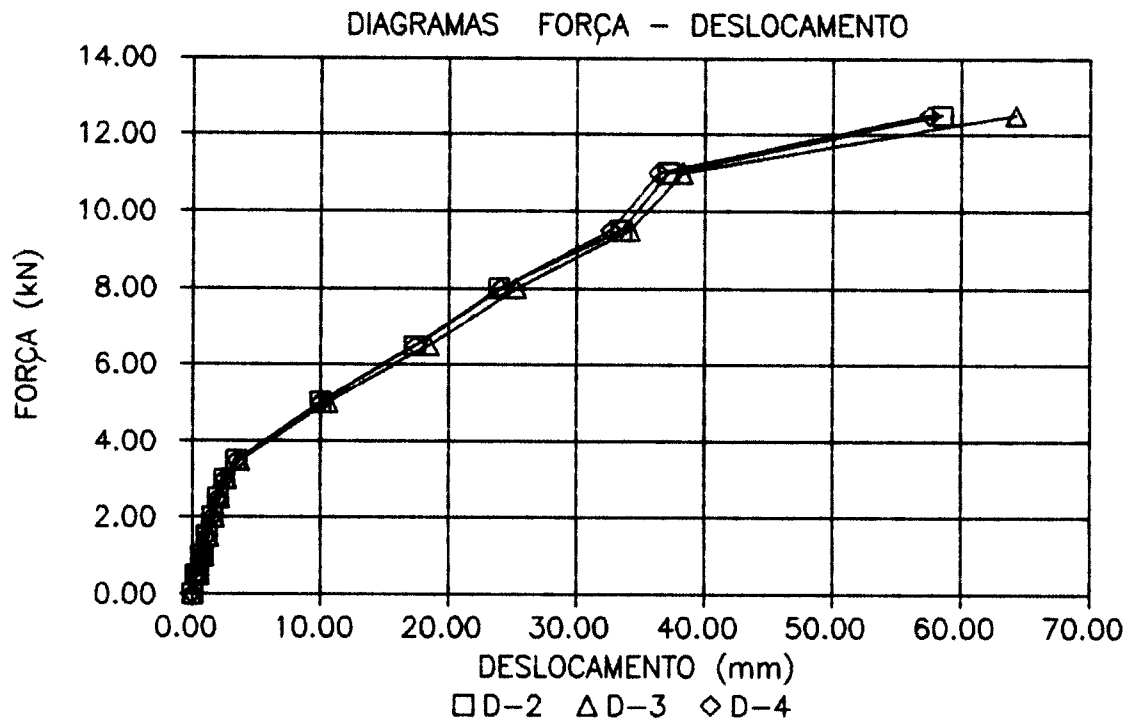
MOLDAGEM: 06/NOVEMBRO/89

ENSAIO: 14/NOVEMBRO/89

DESLOCAMENTOS ABSOLUTOS
(mm)

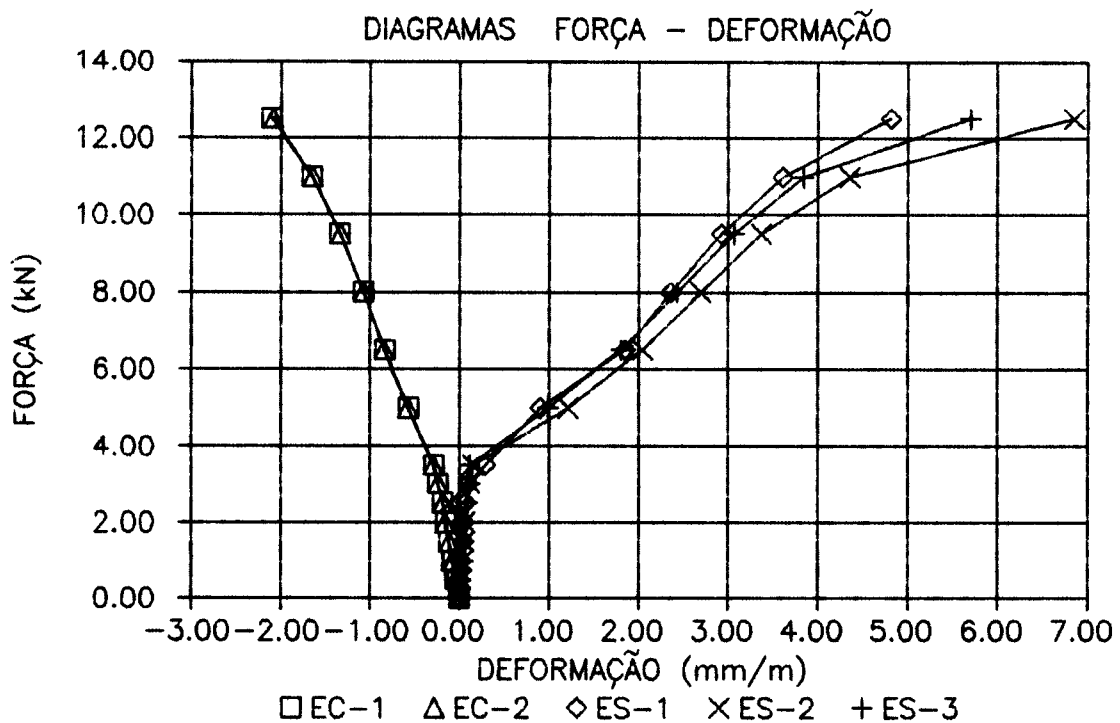
ETAPA	HORA	FORÇA(kN)	D2	D3	D4
0	9h43	0.0	0.00	0.00	0.00
1	9h46	0.5	0.27	0.33	0.32
2	9h50	1.0	0.67	0.73	0.70
3	9h54	1.5	1.14	1.23	1.18
2	9h57	1.0	0.84	0.88	0.85
1	10h00	0.5	0.48	0.54	0.51
2	10h03	1.0	0.74	0.83	0.78
3	10h06	2.0	1.58	1.67	1.60
4	10h08	2.5	1.98	2.14	2.06
5	10h13	3.0	2.48	2.65	2.51
6	10h15	3.5	3.43	3.67	3.48
7	10h22	5.0	10.02	10.59	10.05
8	10h39	6.5	17.34	18.45	17.43
9	10h55	8.0	23.91	25.26	24.02
10	11h05	9.5	33.46	34.18	32.65
11	11h28	11.0	37.16	38.23	36.40
12	11h38	12.5	58.52	64.23	57.53

RUPTURA POR FLEXÃO $F_u = 13.13$ kN



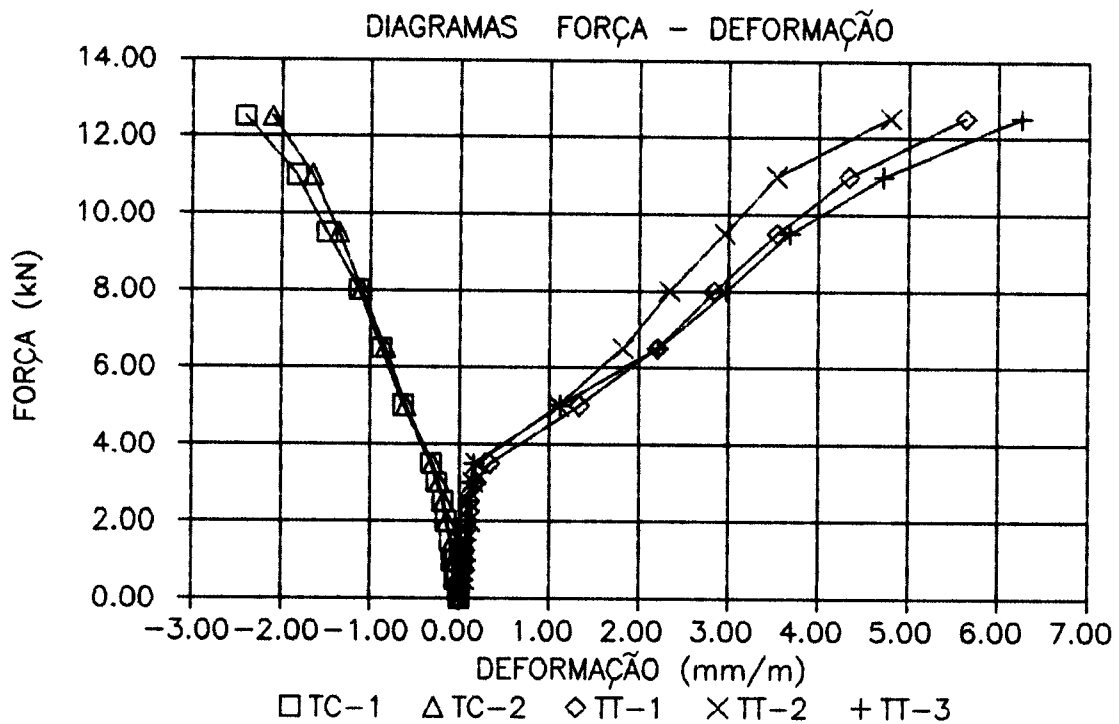
DEFORMAÇÕES MEDIDAS COM EXTENSÔMETROS ELÉTRICOS NA BORDA COMPRIMIDA
E NA ARMADURA COMPLEMENTAR
(mm/m)

ETAPA	FORÇA(kN)	EC1	EC2	EC3	ES1	ES2	ES3
0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.5	-0.03	-0.03	-0.03	0.01	0.01	0.01
2	1.0	-0.07	-0.07	-0.07	0.02	0.03	0.04
3	1.5	-0.12	-0.12	-0.11	0.04	0.05	0.05
2	1.0	-0.08	-0.08	-0.08	0.02	0.03	0.04
1	0.5	-0.05	-0.05	-0.05	0.01	0.02	0.02
2	1.0	-0.08	-0.08	-0.08	0.02	0.03	0.04
3	2.0	-0.15	-0.16	-0.15	0.05	0.06	0.07
4	2.5	-0.19	-0.19	-0.19	0.07	0.11	0.09
5	3.0	-0.24	-0.24	-0.24	0.10	0.11	0.11
6	3.5	-0.28	-0.29	-0.30	0.29	0.15	0.12
7	5.0	-0.57	-0.58	-0.58	0.90	1.22	0.99
8	6.5	-0.83	-0.84	-0.82	1.85	2.05	1.81
9	8.0	-1.07	-1.07	-1.04	2.36	2.70	2.43
10	9.5	-1.34	-1.33	-1.30	2.93	3.37	3.07
11	11.0	-1.65	-1.64	-1.59	3.61	4.35	3.84
12	12.5	-2.10	-2.08	-1.97	4.82	6.85	5.70



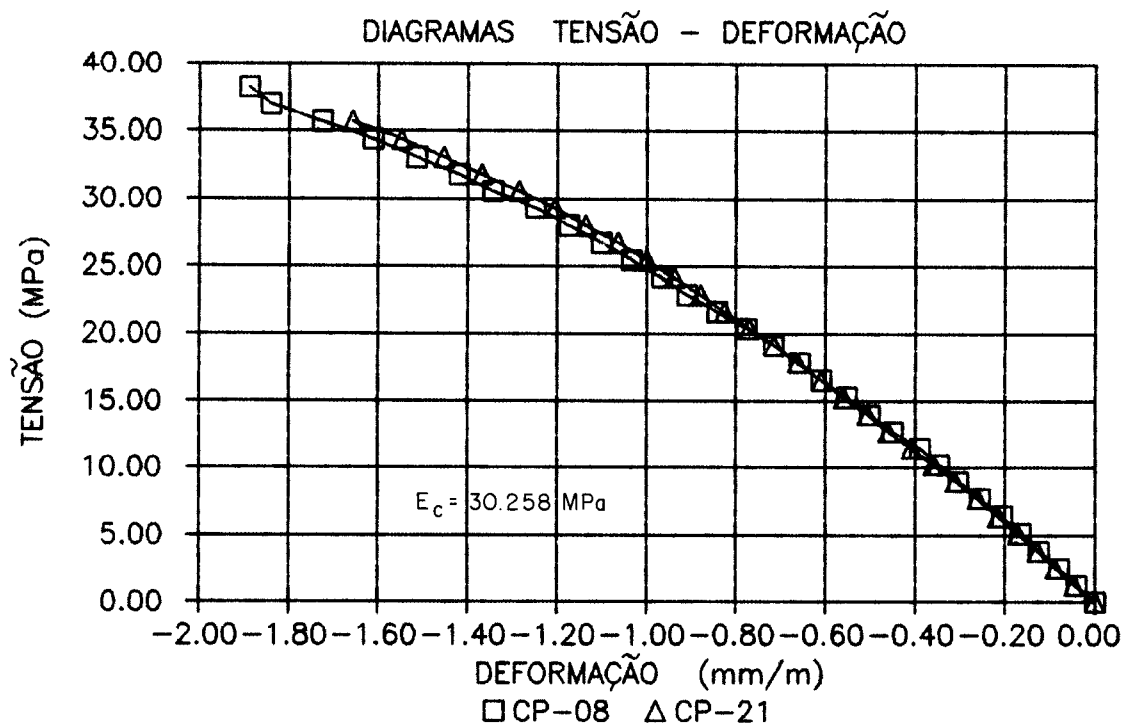
DEFORMAÇÕES MEDIDAS COM EXTENSÔMETRO MECÂNICO NAS BORDAS
COMPRIMIDA E TRACIONADA
(mm/m)

ETAPA	FORÇA (kN)	TEMP. (°C)	TC1	TC2	TT1	TT2	TT3
0	0.0	21.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.5	20.0	-0.03	-0.01	0.01	0.01	0.01
2	1.0	20.0	-0.08	-0.06	0.03	0.06	0.05
3	1.5	20.0	-0.11	-0.07	0.05	0.06	0.08
2	1.0	20.0	-0.07	-0.03	0.05	0.05	0.07
1	0.5	20.0	-0.05	-0.02	0.03	0.05	0.04
2	1.0	20.0	-0.05	-0.06	0.05	0.06	0.08
3	2.0	20.0	-0.15	-0.14	0.09	0.12	0.13
4	2.5	20.5	-0.19	-0.18	0.11	0.10	0.12
5	3.0	20.5	-0.26	-0.23	0.19	0.15	0.14
6	3.5	20.5	-0.32	-0.30	0.34	0.19	0.16
7	5.0	20.5	-0.63	-0.60	1.34	1.11	1.13
8	6.5	21.0	-0.88	-0.83	2.21	1.83	2.22
9	8.0	21.0	-1.13	-1.10	2.84	2.34	2.97
10	9.5	21.0	-1.49	-1.36	3.54	2.95	3.68
11	11.0	21.0	-1.83	-1.65	4.34	3.53	4.72
12	12.5	21.5	-2.40	-2.10	5.63	4.80	6.25



RESULTADOS DOS ENSAIOS DOS CORPOS-DE-PROVA DE ARGAMASSA

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)				RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (MPa)			
IDADE	1 DIA	3 DIAS	7 DIAS	IDADE	1 DIA	3 DIAS	7 DIAS
	14.0	30.6	38.8		1.5	2.7	3.7
	13.4	31.2	36.3		1.2	2.4	3.3
	12.7	31.2	36.3		1.2	2.7	3.0
	13.6	30.6	39.0		1.4	2.3	3.4
MÉDIA	13.4	30.9	37.6	MÉDIA	1.3	2.5	3.4



VALOR DAS ABERTURAS DAS FISSURAS (mm)

REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

ETAPA	FORÇA(KN)	TA	TB1	TB2	TB3	TC	AA	AB1	AB2	AB3	AC
6	3.5		0.05	0.05	0.05						
7	5.0	0.05	0.06	0.05	0.06	0.05	0.03	0.05	0.05	0.05	0.03
8	6.5	0.07	0.07	0.06	0.07	0.07	0.05	0.05	0.06	0.06	0.05
9	8.0	0.07	0.07	0.06	0.07	0.08	0.05	0.07	0.07	0.06	0.07
10	9.5	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.08	0.07
11	11.0	0.09	0.11	0.09	0.10	0.09	0.10	0.10	0.10	0.10	0.08
12	12.5	0.11	0.16	0.13	0.15	0.15	0.12	0.12	0.13	0.13	0.13

ESPAÇAMENTO ENTRE FISSURAS NA ALMA JUNTO A MESA
(mm)

REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

AA	AB1	AB2	AB3	AC
25	50	20	45	50
40	50	65	50	15
45	25	25	30	50
35	55	43	35	44
25	43	15	55	38
45		20	23	48
20		55	73	70
20				55
40				40
80				55
20				25
60				55
60				20
35				40
40				33
30				32
35				60
30				43
50				35
50				30
53				50

MÉDIA

40 45 35 44 43

ESPAÇAMENTO ENTRE FISSURAS NA ALMA NA ALTURA h/2
(mm)

REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

AA	AB1	AB2	AB3	AC
40	43	25	45	60
40	46	55	55	60
55	43	50	65	45
53	40	35	50	35
30	46	25	20	37
44		60	65	65
85				23
60				23
65				55
40				75
40				25
25				35
54				25
55				85
50				30
40				55
				40
				35
				30
				20

MÉDIA

49 44 42 50 43

ESPAÇAMENTO ENTRE FISSURAS NO CENTRO
DA MESA TRACIONADA (mm)

REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

TA	TB1	TB2	TB3	TC	
45	20	20	35	28	
25	15	40	40	30	
50	27	22	35	18	
25	55	50	30	28	
33	25	30	40	40	
40	50	50	48	30	
36	35	30	38	40	
33	20	15	15	40	
25	15	40	25	40	
25	30			55	
15				47	
40				55	
25				45	
30				32	
13				48	
30				45	
25				44	
44				55	
25				30	
25				20	
40				20	
55				55	
28				40	
15				50	
30				37	
20					
40					
40					
15					
15					
25					
35					
MÉDIA	30	29	33	34	39

ESPAÇAMENTO ENTRE FISSURAS NA MESA TRACIONADA
JUNTO A BORDA ESQUERDA (mm)

REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

TA	TB1	TB2	TB3	TC	
24	20	25	20	22	
37	15	35	20	27	
55	30	15	23	22	
24	40	30	33	28	
18	20	30	25	20	
45	30	45	15	10	
35	25	35	25	23	
25	25	20	28	27	
22	45	30	23	15	
52	20	25	28	15	
33		30	25	30	
35			20	22	
23			25	28	
35				29	
50				20	
23				10	
25				20	
15				25	
35				20	
22				23	
20				22	
22				15	
17				20	
25				22	
15				23	
45				43	
15				20	
25				30	
30				30	
18				28	
15				25	
				30	
				48	
				60	
				40	
				38	
				18	
				37	
MÉDIA	28	27	29	24	26

5.2.6 MODELO 2/2

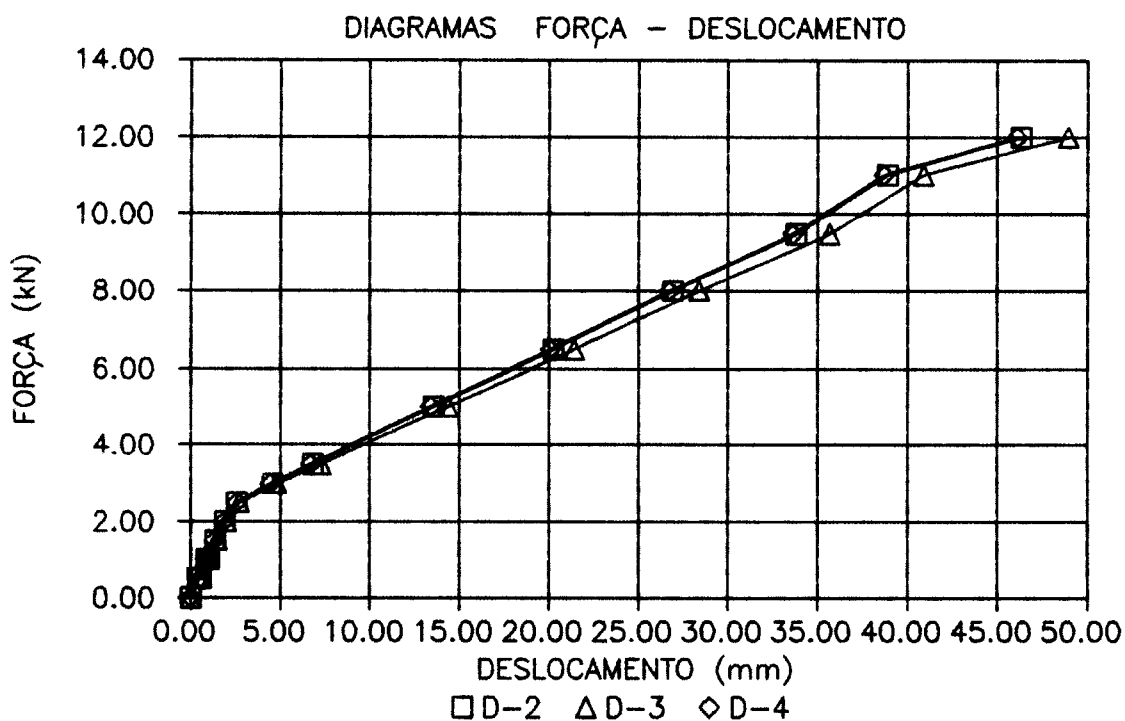
MOLDAGEM: 23/NOVEMBRO/89

ENSAIO: 30/NOVEMBRO/89

DESLOCAMENTOS ABSOLUTOS
(mm)

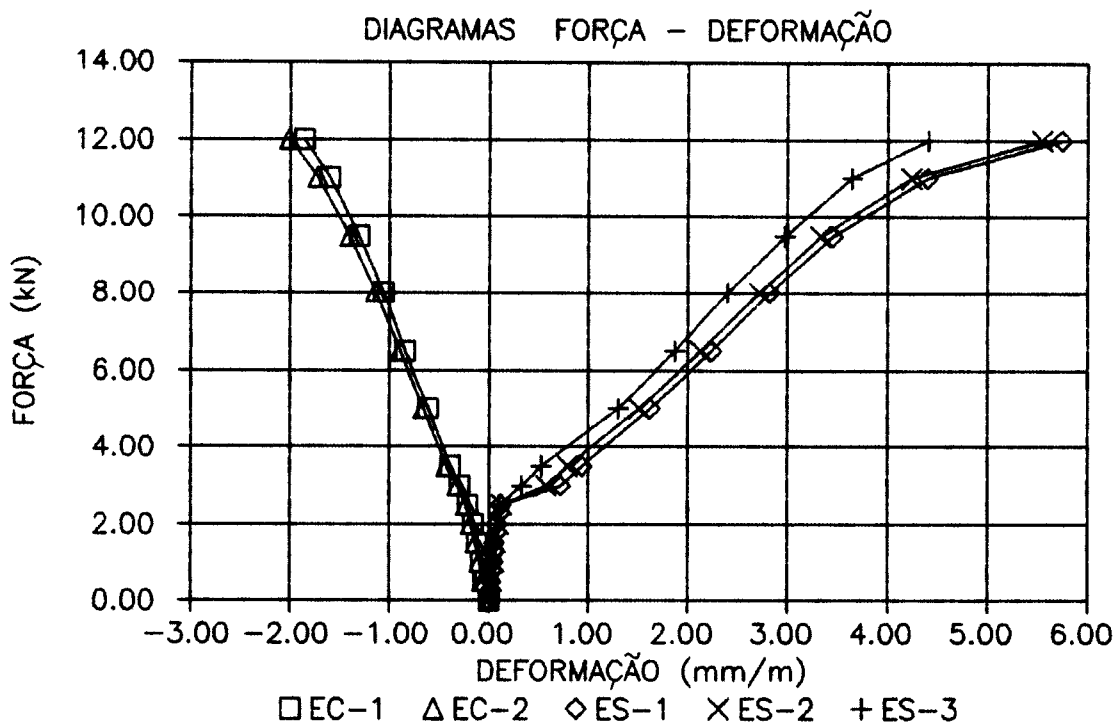
ETAPA	HORA	FORÇA (kN)	D2	D3	D4
0	9h00	0.0	0.00	0.00	0.00
1	9h06	0.5	0.42	0.44	0.63
2	9h09	1.0	0.90	0.95	0.87
3	9h14	1.5	1.40	1.46	1.34
2	9h22	1.0	1.02	1.02	0.97
1	9h23	0.5	0.61	0.59	0.57
2	9h24	1.0	0.98	1.02	0.93
3	9h25	2.0	1.93	2.02	1.86
4	9h27	2.5	2.58	2.73	2.56
5	9h31	3.0	4.56	4.82	4.46
6	9h40	3.5	6.82	7.27	6.70
7	9h54	5.0	13.56	14.38	13.41
8	10h08	6.5	20.26	21.45	20.09
9	10h20	8.0	26.93	28.38	26.73
10	10h32	9.5	33.82	35.65	33.63
11	10h51	11.0	38.88	40.89	38.68
12	10h52	12.0	46.31	48.93	46.11

RUPTURA POR FLEXÃO $F_u=12.90$ kN



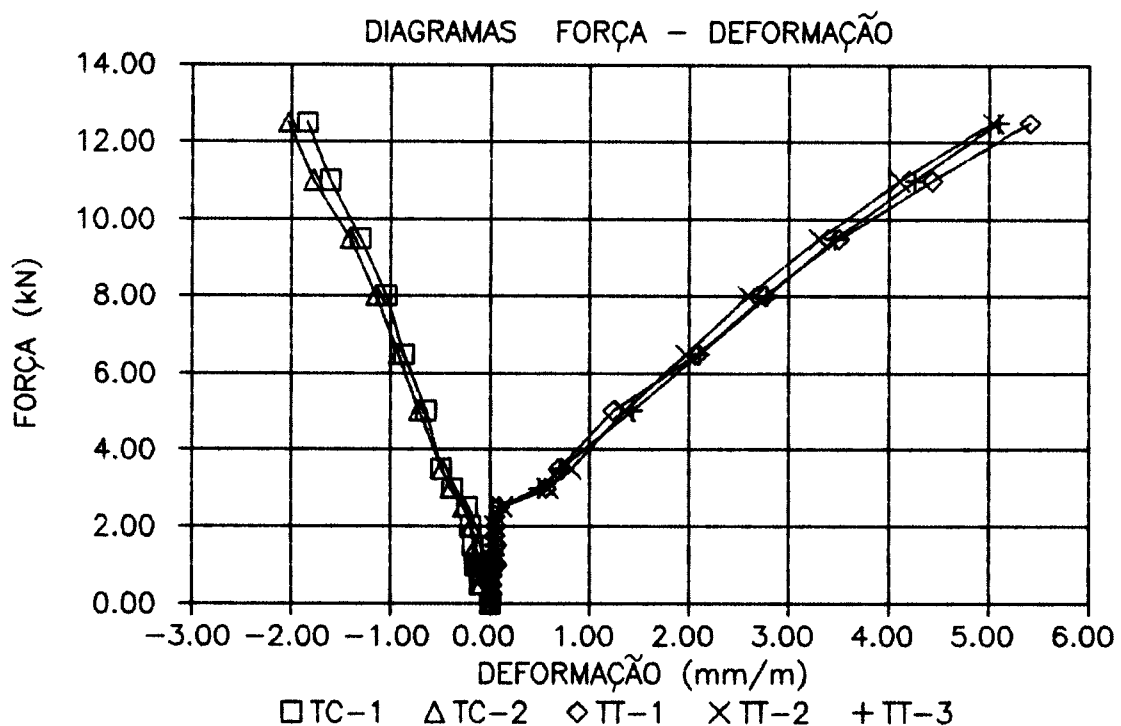
DEFORMAÇÕES MEDIDAS COM EXTENSÔMETROS ELÉTRICOS NA BORDA COMPRIMIDA
E NA ARMADURA COMPLEMENTAR
(mm/m)

ETAPA	FORÇA(kN)	EC1	EC2	EC3	ES1	ES2	ES3
0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.5	-0.04	-0.04	-0.05	0.02	0.02	0.01
2	1.0	-0.08	-0.09	-0.09	0.04	0.04	0.04
3	1.5	-0.12	-0.13	-0.13	0.06	0.07	0.06
2	1.0	-0.08	-0.09	-0.09	0.04	0.05	0.04
1	0.5	-0.05	-0.06	-0.05	0.02	0.03	0.02
2	1.0	-0.08	-0.09	-0.09	0.04	0.05	0.04
3	2.0	-0.16	-0.18	-0.18	0.08	0.10	0.08
4	2.5	-0.21	-0.23	-0.24	0.12	0.13	0.11
5	3.0	-0.29	-0.32	-0.35	0.72	0.58	0.33
6	3.5	-0.39	-0.43	-0.45	0.94	0.79	0.53
7	5.0	-0.61	-0.66	-0.69	1.62	1.51	1.30
8	6.5	-0.84	-0.89	-0.93	2.24	2.13	1.87
9	8.0	-1.06	-1.14	-1.17	2.82	2.72	2.40
10	9.5	-1.31	-1.40	-1.44	3.45	3.33	2.97
11	11.0	-1.60	-1.72	-1.77	4.40	4.24	3.64
12	12.0	-1.86	-2.01	-2.05	5.74	5.54	4.41



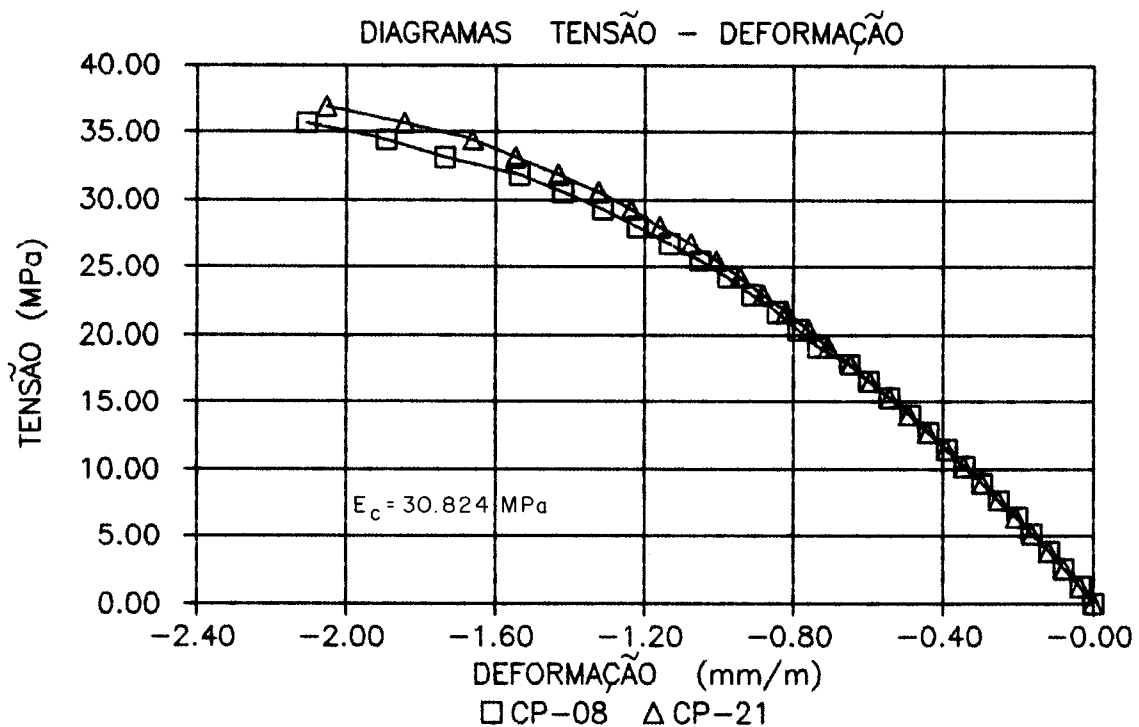
DEFORMAÇÕES MEDIDAS COM EXTENSÔMETRO MECÂNICO NAS BORDAS
 COMPRIMIDA E TRACIONADA
 (mm/m)

ETAPA	FORÇA(kN)	TEMP.(°C)	TC1	TC2	TT1	TT2	TT3
0	0.0	23.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.5	23.5	-0.08	-0.09	0.02	0.02	0.01
2	1.0	23.5	-0.14	-0.14	0.07	0.02	0.03
3	1.5	23.5	-0.17	-0.14	0.07	0.04	0.05
2	1.0	23.5	-0.15	-0.13	0.06	0.00	0.00
1	0.5	23.5	-0.10	-0.10	0.02	0.01	0.01
2	1.0	23.5	-0.11	-0.11	0.04	0.01	0.03
3	2.0	23.5	-0.20	-0.19	0.06	0.05	0.06
4	2.5	24.0	-0.23	-0.27	0.09	0.12	0.10
5	3.0	24.0	-0.38	-0.40	0.56	0.58	0.50
6	3.5	24.5	-0.49	-0.48	0.69	0.82	0.71
7	5.0	24.5	-0.64	-0.72	1.24	1.36	1.43
8	6.5	25.0	-0.87	-0.92	2.09	1.97	2.10
9	8.0	25.0	-1.04	-1.15	2.76	2.59	2.78
10	9.5	25.0	-1.31	-1.41	3.50	3.30	3.46
11	11.0	25.0	-1.61	-1.78	4.43	4.11	4.26
12	12.5	25.0	-1.84	-2.03	5.41	5.04	5.10



RESULTADOS DOS ENSAIOS DOS CORPOS-DE-PROVA DE ARGAMASSA

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)				RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (MPa)			
IDADE	1 DIA	4 DIAS	7 DIAS	IDADE	1 DIA	4 DIAS	7 DIAS
	16.3	31.8	35.7		2.0	2.2	3.9
	16.6	32.6	35.7		1.8	2.2	3.7
	16.7	32.6	37.6		1.8	2.3	2.7
	17.2	33.1	38.8		1.8	2.2	2.1
MÉDIA	16.7	32.5	37.0	MÉDIA	1.9	2.2	3.1



VALOR DAS ABERTURAS DAS FISSURAS (mm)

REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

ETAPA	FORÇA(kN)	TA	TB1	TB2	TB3	TC	AA	AB1	AB2	AB3	AC
5	3.0	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05					
6	3.5	0.06	0.06	0.06	0.06	0.05				0.05	
7	5.0	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.05	0.06	0.06
8	6.5	0.08	0.09	0.09	0.09	0.08	0.06	0.08	0.05	0.06	0.07
9	8.0	0.09	0.10	0.09	0.09	0.08	0.07	0.08	0.07	0.06	0.08
10	9.5	0.09	0.11	0.10	0.11	0.10	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09
11	11.0	0.11	0.16	0.13	0.16	0.14	0.11	0.13	0.13	0.13	0.12
12	12.0	0.12	0.16	0.16	0.16	0.16	0.14	0.16	0.13	0.15	0.14

ESPAÇAMENTO ENTRE FISSURAS NA ALMA JUNTO A MESA
(mm)
REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

AA	AB1	AB2	AB3	AC
50	27	45	65	37
105	75	45	20	10
43	53	30	50	35
72	30	35	25	38
42	68	62	20	50
55	30	35	6	20
100		50	30	44
36			20	30
10			24	50
10				8
78				59
16				60
32				68
42				76
60				38
58				86
45				80
20				20
				68
				47

MÉDIA

49 47 43 29 46

ESPAÇAMENTO ENTRE FISSURAS NA ALMA NA ALTURA h/2
(mm)
REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

AA	AB1	AB2	AB3	AC
55	26	55	48	35
113	78	71	55	55
65	41	50	22	74
90	34	45	10	57
50	72	45	35	78
117	26	50	8	72
25			46	15
24				47
66				117
20				137
47				50
50				18
45				70
30				63
45				
43				

MÉDIA

55 46 53 32 63

ESPAÇAMENTO ENTRE FISSURAS NO CENTRO
DA MESA TRACIONADA (mm)

REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

TA	TB1	TB2	TB3	TC	
40	50	47	35	25	
48	38	36	27	25	
42	41	32	53	42	
90	30	6	43	30	
32	26	26	20	18	
30	28	37	8	25	
24	26	35	11	35	
24	38	22	25	22	
22	30	20	36	10	
32		30	25	31	
76		30		42	
14				40	
12				40	
24				22	
40				45	
48				25	
45				35	
24				35	
22				20	
24				47	
24				35	
55			6		
44			4		
28				45	
48				32	
				40	
				45	
				22	
				55	
				23	
				26	
				55	
MÉDIA	35	34	29	28	31

ESPAÇAMENTO ENTRE FISSURAS NA MESA TRACIONADA
JUNTO A BORDA ESQUERDA (mm)

REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

TA	TB1	TB2	TB3	TC	
35	44	10	31	16	
44	20	25	20	17	
62	25	45	25	20	
95	52	40	40	25	
30	44	40	18	22	
28	37	23	15	18	
27	23	42	20	37	
22	46	22	30	45	
32	22	18	20	27	
32	10	23	35	23	
84		32		5	
46				30	
25				50	
42				18	
70				23	
20				17	
44				12	
38				31	
5				28	
22				24	
18				30	
24				50	
40				25	
25				23	
30				23	
				37	
				18	
				33	
				65	
				28	
				44	
				24	
				28	
				53	
				40	
MÉDIA	38	32	29	25	28

5.2.7 MODELO 2/3

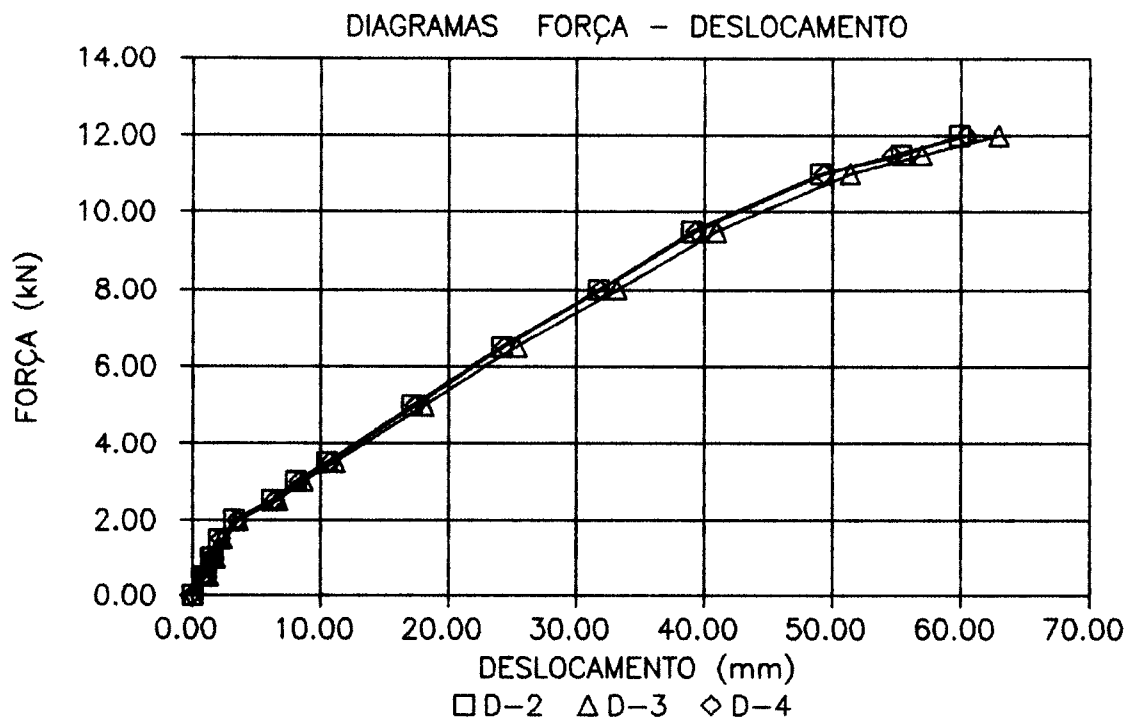
MOLDAGEM: 07/DEZEMBRO/89

ENSAIO: 14/DEZEMBRO/89

DESLOCAMENTOS ABSOLUTOS
(mm)

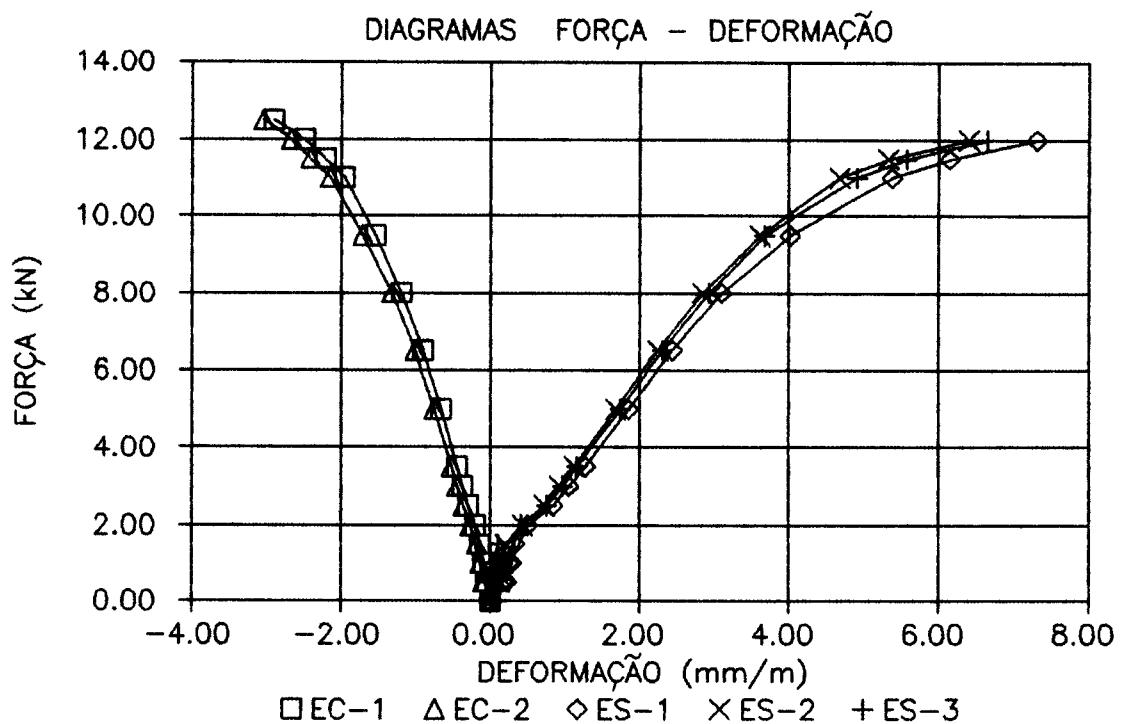
ETAPA	HORA	FORÇA(kN)	D2	D3	D4
0	14h37	0.00	0.00	0.00	0.00
1	14h42	0.50	0.85	0.98	0.90
2	14h48	1.00	1.41	1.50	1.50
3	14h51	1.50	2.07	2.34	2.21
2	14h54	1.00	1.58	1.76	1.66
1	14h56	0.50	1.05	1.24	1.10
2	15h00	1.00	1.59	1.68	1.67
3	15h02	2.00	3.24	3.55	3.49
4	15h10	2.50	6.24	6.66	6.44
5	15h13	3.00	8.09	8.63	8.34
6	15h16	3.50	10.52	11.16	10.77
7	15h21	5.00	17.17	18.06	17.41
8	15h36	6.50	24.18	25.32	24.35
9	15h50	8.00	31.72	33.18	31.85
10	16h07	9.50	39.02	40.93	39.32
11	16h21	11.00	49.08	51.37	49.30
12	16h35	11.50	55.31	56.95	54.63
13	16h45	12.00	59.85	62.92	60.46

RUPTURA POR FLEXÃO $F_u = 12.35 \text{ kN}$



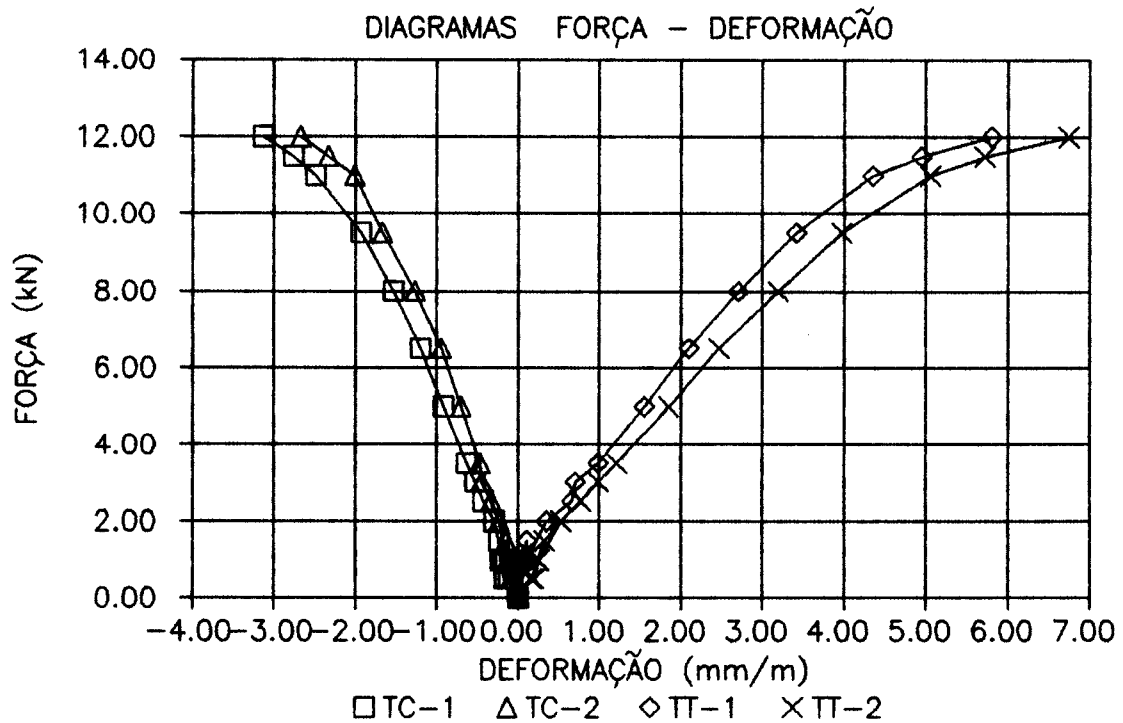
DEFORMAÇÕES MEDIDAS COM EXTENSÔMETROS ELÉTRICOS NA BORDA COMPRIMIDA
E NA ARMADURA COMPLEMENTAR
(mm/m)

ETAPA	FORÇA (kN)	EC1	EC2	ES1	ES2	ES3
0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.5	-0.04	-0.07	0.18	0.10	0.05
2	1.0	-0.08	-0.13	0.25	0.14	0.07
3	1.5	-0.13	-0.18	0.33	0.21	0.11
2	1.0	-0.09	-0.14	0.29	0.17	0.08
1	0.5	-0.05	-0.09	0.23	0.13	0.05
2	1.0	-0.09	-0.14	0.28	0.17	0.08
3	2.0	-0.20	-0.26	0.51	0.44	0.42
4	2.5	-0.29	-0.36	0.84	0.73	0.76
5	3.0	-0.37	-0.44	1.06	0.93	0.97
6	3.5	-0.44	-0.52	1.28	1.13	1.16
7	5.0	-0.66	-0.75	1.86	1.66	1.75
8	6.5	-0.90	-1.01	2.44	2.25	2.31
9	8.0	-1.19	-1.32	3.10	2.85	2.93
10	9.5	-1.54	-1.71	4.02	3.61	3.68
11	11.0	-1.95	-2.15	5.38	4.68	4.91
12	11.5	-2.21	-2.41	6.14	5.33	5.57
13	12.0	-2.49	-2.67	7.31	6.40	6.65



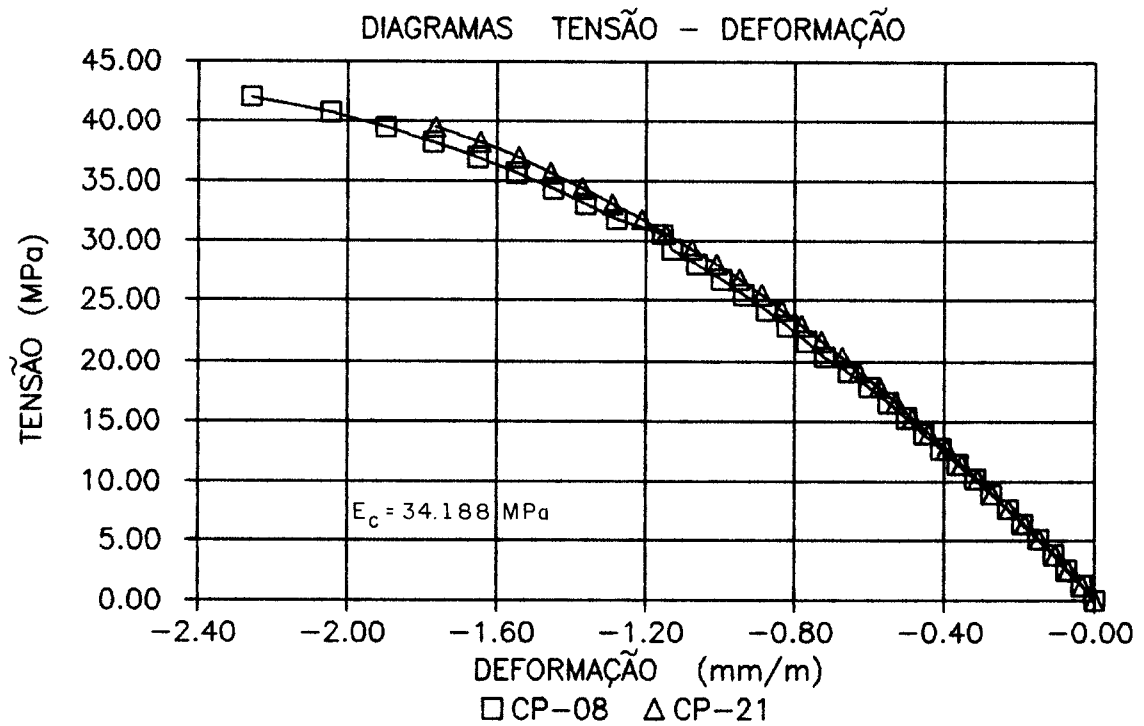
DEFORMAÇÕES MEDIDAS COM EXTENSÔMETRO MECÂNICO NAS BORDAS
 COMPRIMIDA E TRACIONADA
 (mm/m)

ETAPA	FORÇA (kN)	TEMP. (°C)	TC1	TC2	TT1	TT2
0	0.0	26.0	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.5	26.0	-0.12	-0.04	0.05	0.17
2	1.0	26.0	-0.15	-0.08	0.11	0.25
3	1.5	26.0	-0.23	-0.14	0.11	0.32
2	1.0	26.0	-0.21	-0.13	0.05	0.26
1	0.5	26.0	-0.16	-0.09	0.04	0.20
2	1.0	26.0	-0.18	-0.13	0.10	0.26
3	2.0	26.0	-0.29	-0.23	0.35	0.53
4	2.5	26.0	-0.43	-0.33	0.67	0.77
5	3.0	26.0	-0.53	-0.45	0.71	0.99
6	3.5	26.0	-0.63	-0.47	0.99	1.21
7	5.0	26.0	-0.91	-0.70	1.55	1.85
8	6.5	26.0	-1.20	-0.94	2.10	2.47
9	8.0	26.0	-1.53	-1.27	2.70	3.19
10	9.5	27.0	-1.93	-1.67	3.42	3.97
11	11.0	27.0	-2.48	-2.01	4.35	5.06
12	11.5	27.0	-2.76	-2.33	4.95	5.72
13	12.0	27.0	-3.13	-2.67	5.81	6.74



RESULTADOS DOS ENSAIOS DOS CORPOS-DE-PROVA DE ARGAMASSA

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)			RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (MPa)		
IDADE	4 DIAS	7 DIAS	IDADE	4 DIAS	7 DIAS
	35.9	43.3		2.8	3.3
	35.0	39.0		2.8	3.2
	34.4	39.9		3.1	3.3
	33.7	43.4		2.6	3.3
	31.8			2.4	
	33.1			3.4	
	37.6			2.3	
	35.6			2.8	
MÉDIA	34.6	41.4	MÉDIA	2.8	3.3



VALOR DAS ABERTURAS DAS FISSURAS (mm)

REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

ETAPA	FORÇA(kN)	TA	TB1	TB2	TB3	TC	AA	AB1	AB2	AB3	AC
7	5.0	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.05	0.06	0.05
8	6.5	0.06	0.06	0.05	0.06	0.06	0.07	0.08	0.07	0.07	0.06
9	8.0	0.07	0.08	0.07	0.08	0.07	0.10	0.10	0.07	0.07	0.06
10	9.5	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10
11	11.0	0.10	0.08	0.08	0.10	0.09	0.14	0.14	0.11	0.11	0.11
12	11.5	0.13	0.10	0.10	0.11	0.10	0.15	0.14	0.14	0.13	0.14
13	12.0	0.13	0.13	0.11	0.11	0.11	0.16	0.15	0.15	0.15	0.14

ESPAÇAMENTO ENTRE FISSURAS NA ALMA JUNTO A MESA

(mm)
REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

AA	AB1	AB2	AB3	AC	
63	25	40	55	50	
70	20	25	47	55	
40	30	22	30	60	
33	75	63	30	50	
125	50	55	35	30	
80	50	53	45	75	
80	25			22	
55				70	
25				40	
60				47	
30				80	
70				65	
50				40	
70				50	
60				35	
				60	
				90	
				125	
/					
MÉDIA	61	39	43	40	58

ESPAÇAMENTO ENTRE FISSURAS NA ALMA NA ALTURA h/2

(mm)
REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

AA	AB1	AB2	AB3	AC	
125	45	45	62	50	
110	45	58	20	50	
40	68	55	25	35	
65	45	52	30	95	
70	40	43	20	75	
25	25	45	45	75	
90			45	90	
95				95	
95				45	
80				70	
35				70	
70				50	
60				45	
55				80	
100				30	
				90	
/					
MÉDIA	74	45	50	35	65

ESPAÇAMENTO ENTRE FISSURAS NO CENTRO
DA MESA TRACIONADA (mm)

REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

TA	TB1	TB2	TB3	TC	
44	15	13	23	20	
48	13	20	27	17	
25	8	14	28	20	
35	18	15	27	18	
32	17	12	22	19	
20	18	17	23	18	
15	24	26	30	26	
12	18	11	22	10	
30	16	25	30	20	
30	26		25	22	
35	18		20	14	
37	10		17	18	
30	20			18	
27	15			18	
25	14			26	
18	18			27	
20	18			10	
30	20			22	
26				25	
18				27	
30				23	
25				21	
20				28	
15				27	
25				24	
30				35	
28				32	
20				33	
26				16	
24				20	
23				18	
20				18	
32				24	
27				24	
23				20	
18				30	
20				30	
15				30	
25				24	
20				25	
				15	
				20	
				40	
				35	
				33	

MEDIA	26	17	17	25	23

ESPAÇAMENTO ENTRE FISSURAS NA MESA TRACIONADA
JUNTO A BORDA ESQUERDA (mm)

REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

TA	TB1	TB2	TB3	TC	
50	16	20	13	16	
28	18	22	17	10	
34	8	30	25	20	
45	15	15	20	12	
28	13	28	30	28	
18	17	12	25	7	
10	25	22	15	25	
20	22	8	15	30	
20	20	10	30	25	
30	15	20	15	20	
30	35	18	30	15	
45	27	20	22	40	
30	20	25	17	18	
25	20	22	15	25	
20	13	18		18	
18	23			40	
22				25	
37				30	
18				15	
30				15	
20				28	
18				30	
18				23	
22				20	
15				40	
35				30	
30				38	
20				13	
30				20	
20				25	
20				20	
20				20	
28				28	
15				30	
35				25	
30				20	
18				18	
18				15	
10				30	
30				40	
25				35	
20				30	

MEDIA	25	19	19	21	24

5.2.8 MODELO 3/1

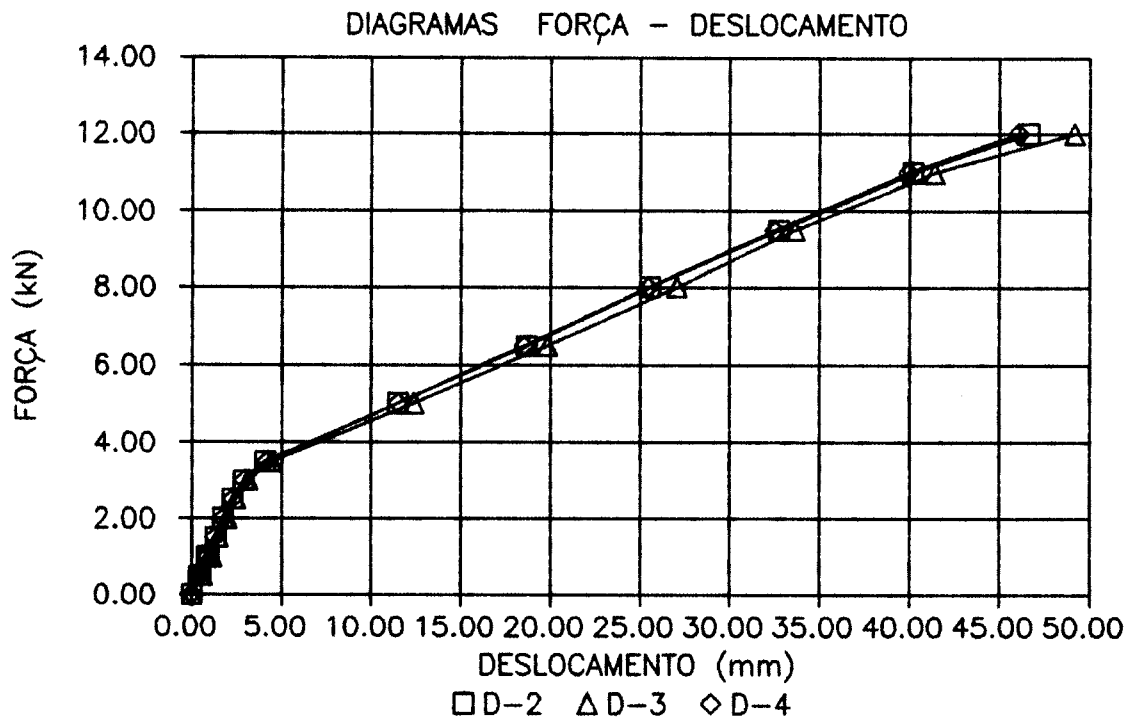
MOLDAGEM: 15/JANEIRO/90

ENSAIO: 22/JANEIRO/90

DESLOCAMENTOS ABSOLUTOS
(mm)

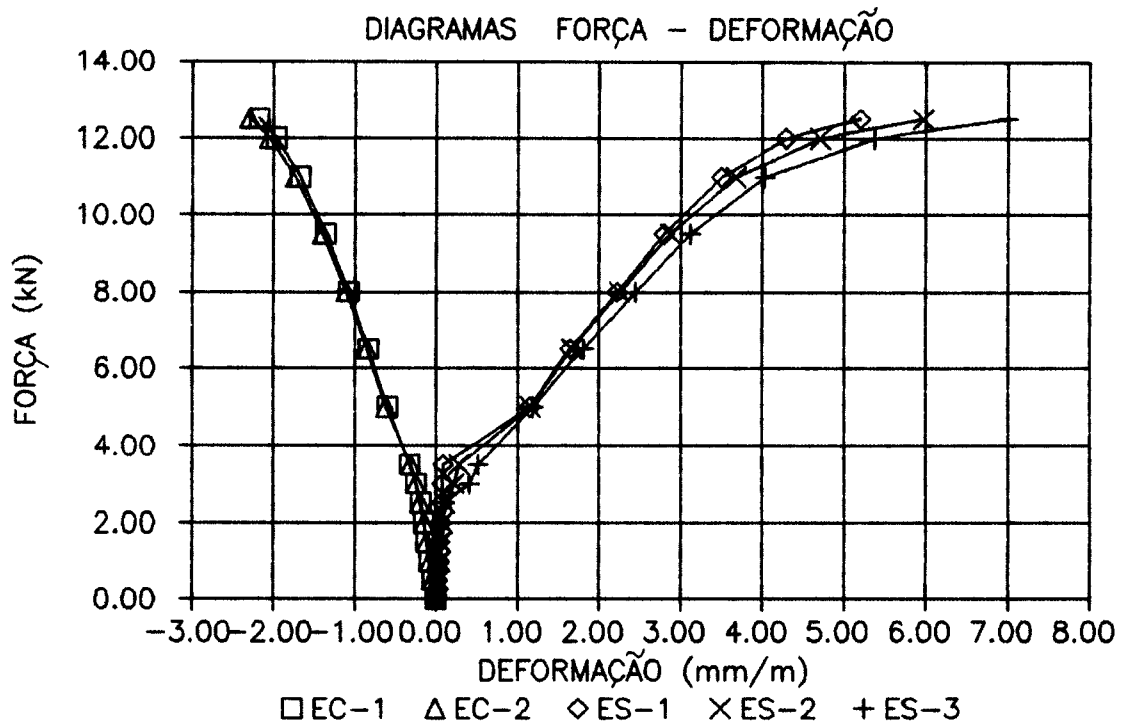
ETAPA	HORA	FORÇA (kN)	D2	D3	D4
0	8h47	0.0	0.00	0.00	0.00
1	8h49	0.5	0.40	0.49	0.38
2	8h52	1.0	0.87	0.99	0.85
3	8h55	1.5	1.35	1.47	1.31
2	8h57	1.0	0.94	1.10	0.92
1	8h59	0.5	0.50	0.58	0.49
2	9h01	1.0	0.91	1.02	0.88
3	9h03	2.0	1.75	1.96	1.76
4	9h05	2.5	2.27	2.47	2.26
5	9h07	3.0	2.90	3.12	2.90
6	9h09	3.5	4.11	4.45	4.16
7	9h17	5.0	11.50	12.36	11.51
8	9h32	6.5	18.68	19.84	18.54
9	9h46	8.0	25.57	27.05	25.48
10	10h06	9.5	32.72	33.62	32.50
11	10h22	11.0	40.17	41.39	39.92
12	10h42	12.0	46.64	49.16	46.05

RUPTURA POR FLEXÃO $F_u = 12,96 \text{ kN}$



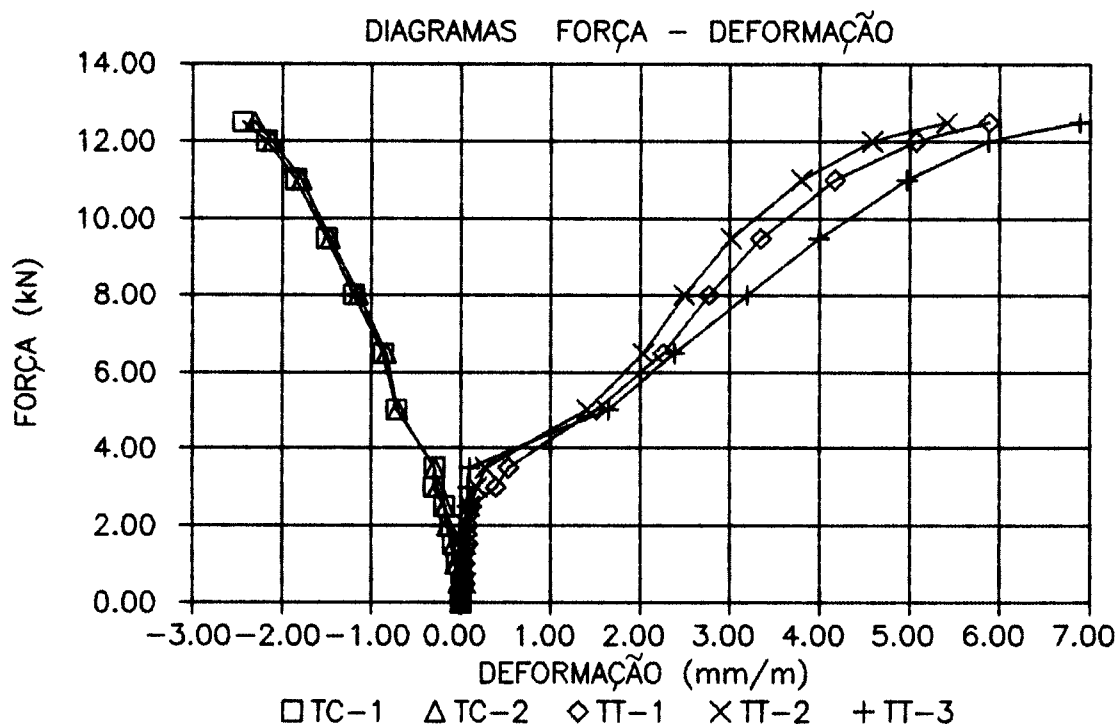
DEFORMAÇÕES MEDIDAS COM EXTENSÔMETROS ELÉTRICOS NA BORDA COMPRIMIDA
E NA ARMADURA COMPLEMENTAR
(mm/m)

ETAPA	FORÇA (kN)	EC1	EC2	ES1	ES2	ES3
0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.5	-0.04	-0.04	0.01	0.02	0.01
2	1.0	-0.08	0.01	0.03	0.04	0.03
3	1.5	-0.12	-0.12	0.04	0.06	0.05
2	1.0	-0.08	-0.08	0.04	0.05	0.04
1	0.5	-0.04	-0.05	0.02	0.03	0.02
2	1.0	-0.08	-0.08	0.04	0.05	0.04
3	2.0	-0.15	-0.15	0.06	0.08	0.07
4	2.5	-0.19	-0.20	0.08	0.10	0.10
5	3.0	-0.25	-0.25	0.08	0.22	0.41
6	3.5	-0.32	-0.31	0.09	0.28	0.51
7	5.0	-0.60	-0.62	1.15	1.16	1.19
8	6.5	-0.83	-0.85	1.65	1.67	1.81
9	8.0	-1.08	-1.11	2.22	2.25	2.45
10	9.5	-1.36	-1.40	2.80	2.88	3.12
11	11.0	-1.67	-1.73	3.50	3.68	4.03
12	12.0	-1.96	-2.05	4.29	4.71	5.37
13	12.5	-2.18	-2.30	5.20	5.97	7.00



DEFORMAÇÕES MEDIDAS COM EXTENSÔMETRO MECÂNICO NAS BORDAS
 COMPRIMIDA E TRACIONADA
 (mm/m)

ETAPA	FORÇA (kN)	TEMP. (°C)	TC1	TC2	TT1	TT2	TT3
0	0.0	25.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.5	26.0	0.01	-0.03	0.03	0.02	0.02
2	1.0	26.0	-0.05	-0.05	0.04	0.03	0.02
3	1.5	26.0	-0.09	-0.08	0.08	0.05	0.03
2	1.0	26.0	-0.05	-0.06	0.04	0.02	0.01
1	0.5	26.0	0.01	-0.03	0.04	0.05	0.03
2	1.0	26.0	-0.05	-0.06	0.03	0.03	0.02
3	2.0	26.0	-0.12	-0.15	0.08	0.07	0.05
4	2.5	26.0	-0.19	-0.18	0.12	0.10	0.07
5	3.0	26.0	-0.30	-0.27	0.39	0.18	0.08
6	3.5	26.0	-0.29	-0.29	0.53	0.27	0.10
7	5.0	26.0	-0.72	-0.71	1.52	1.41	1.65
8	6.5	26.5	-0.87	-0.83	2.26	2.04	2.39
9	8.0	26.0	-1.20	-1.15	2.77	2.49	3.19
10	9.5	26.0	-1.50	-1.46	3.34	3.02	3.99
11	11.0	26.0	-1.85	-1.78	4.17	3.80	4.97
12	12.0	26.0	-2.17	-2.11	5.07	4.59	5.87
13	12.5	26.0	-2.44	-2.31	5.88	5.41	6.88



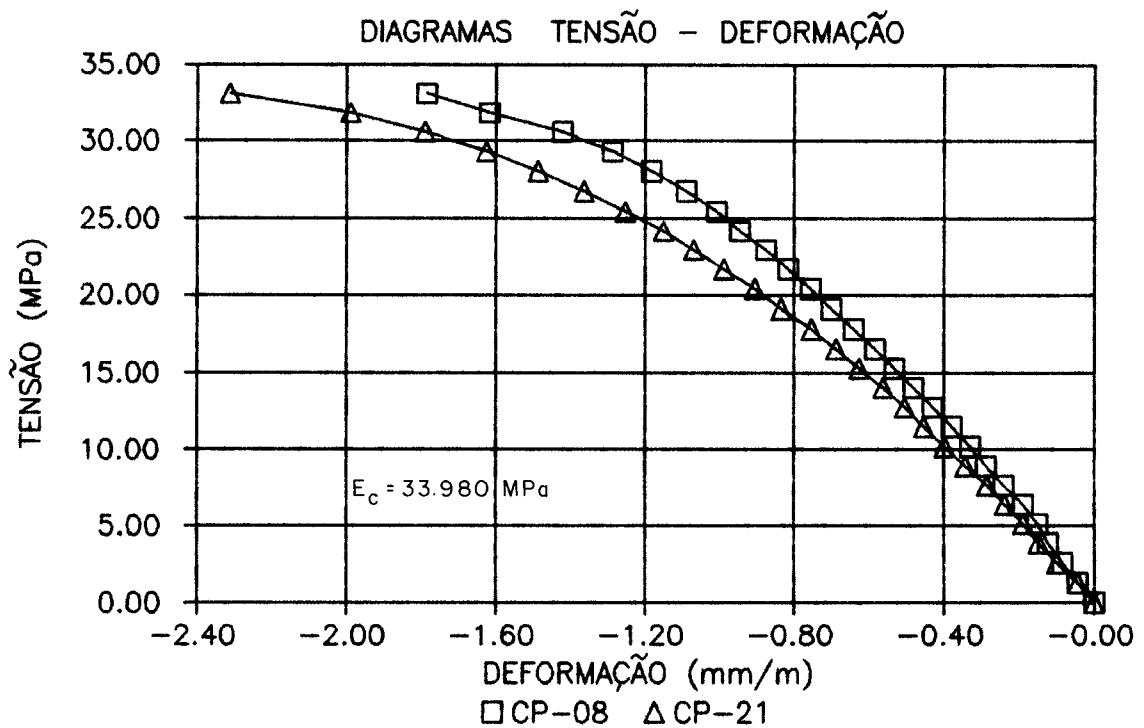
RESULTADOS DOS ENSAIOS DOS CORPOS-DE-PROVA DE ARGAMASSA

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)

RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (MPa)

IDADE	1 DIA	3 DIAS	7 DIAS
	14.6	31.2	33.6
	14.6	28.0	40.1
	14.2	29.9	33.5
	15.9	28.6	37.6
MÉDIA	14.8	29.4	36.2

IDADE	1 DIA	3 DIAS	7 DIAS
	1.8	2.8	2.7
	1.8	2.8	2.8
	1.8	2.7	2.9
	1.7	2.7	2.8
MÉDIA	1.8	2.8	2.8



VALOR DAS ABERTURAS DAS FISSURAS (mm)

REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

ETAPA	FORÇA(kN)	TA	TB1	TB2	TB3	TC	AA	AB1	AB2	AB3	AC
6	3.5		0.04	0.05	0.05						
7	5.0	0.06	0.05	0.06	0.06	0.05	0.04	0.05	0.05	0.05	0.04
8	6.5	0.07	0.08	0.08	0.08	0.05	0.06	0.05	0.05	0.07	0.05
9	8.0	0.07	0.10	0.10	0.10	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
10	9.5	0.09	0.11	0.11	0.11	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.07
11	11.0	0.10	0.15	0.15	0.12	0.10	0.08	0.10	0.10	0.10	0.10
12	12.0	0.12	0.16	0.16	0.16	0.11	0.10	0.11	0.11	0.13	0.12
13	12.5	0.14	0.20	0.20	0.20	0.13	0.12	0.12	0.12	0.15	0.15

ESPAÇAMENTO ENTRE FISSURAS NA ALMA JUNTO A MESA

(mm)

REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

AA	AB1	AB2	AB3	AC
40	40	55	55	64
45	85	30	47	33
35	25	33	42	52
85	47	65	34	10
56	35	37	55	50
50		35	70	50
43				40
45				50
35				40
54				55
44				33
45				80
40				20
38				47
55				35
				40
				75
				70

MÉDIA

47 46 43 50 47

ESPAÇAMENTO ENTRE FISSURAS NA ALMA NA ALTURA h/2

(mm)

REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

AA	AB1	AB2	AB3	AC
50	50	55	54	85
40	67	25	53	44
30	23	44	34	70
80	50	40	43	50
50	40	35	51	28
57		40	63	55
43				44
43				40
42				50
20				80
38				14
62				45
20				35
35				30
				73
				65

MÉDIA

44 46 40 50 50

ESPAÇAMENTO ENTRE FISSURAS NO CENTRO
DA MESA TRACIONADA (mm)

REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

TA	TB1	TB2	TB3	TC	
95	35	27	30	15	
70	15	37	10	20	
47	25	35	13	30	
70	40	23	20	27	
40	25	30	30	37	
26	27	25	28	50	
28	35	43	24	33	
26	10	22	15	20	
27	24	40	32	10	
50	45	20	8	34	
40	26	30	15	15	
30	25		25	17	
42			8	34	
42			19	32	
35			30	22	
30			10	28	
20				40	
20				50	
33				40	
42				34	
34				38	
40				25	
20				48	
33				50	
30				54	
15				33	
10				30	
25				35	
35				45	
MÉDIA	36	28	30	20	33

ESPAÇAMENTO ENTRE FISSURAS NA MESA TRACIONADA
JUNTO A BORDA ESQUERDA (mm)

REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

TA	TB1	TB2	TB3	TC	
67	25	15	28	10	
42	20	37	21	33	
20	47	20	17	18	
54	22	35	30	18	
63	30	8	45	35	
30	43	25	22	40	
38	22	20	25	33	
20	23	37	30	27	
15	25	33	20	8	
40	40	33	27	30	
32	25	20	19	18	
40	17	20	10	37	
30		27	20	30	
28			15	23	
50				33	
20				23	
10				33	
45				35	
23				25	
43				25	
28				10	
13				15	
10				30	
25				19	
20				28	
33				17	
50				58	
38				17	
23				37	
38				47	
20				40	
30				25	
MÉDIA	3.2	2.8	2.5	2.4	2.7

5.2.9 MODELO 3/2

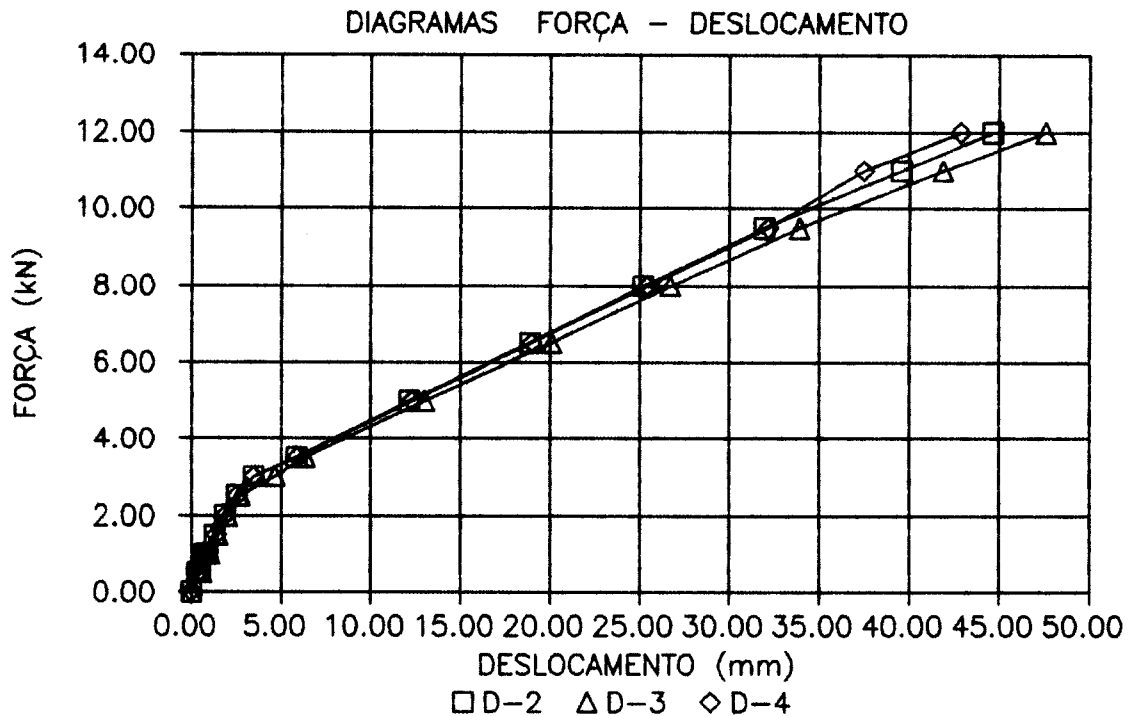
MOLDAGEM: 24/JANEIRO/90

ENSAIO: 31/JANEIRO/90

DESLOCAMENTOS ABSOLUTOS
(mm)

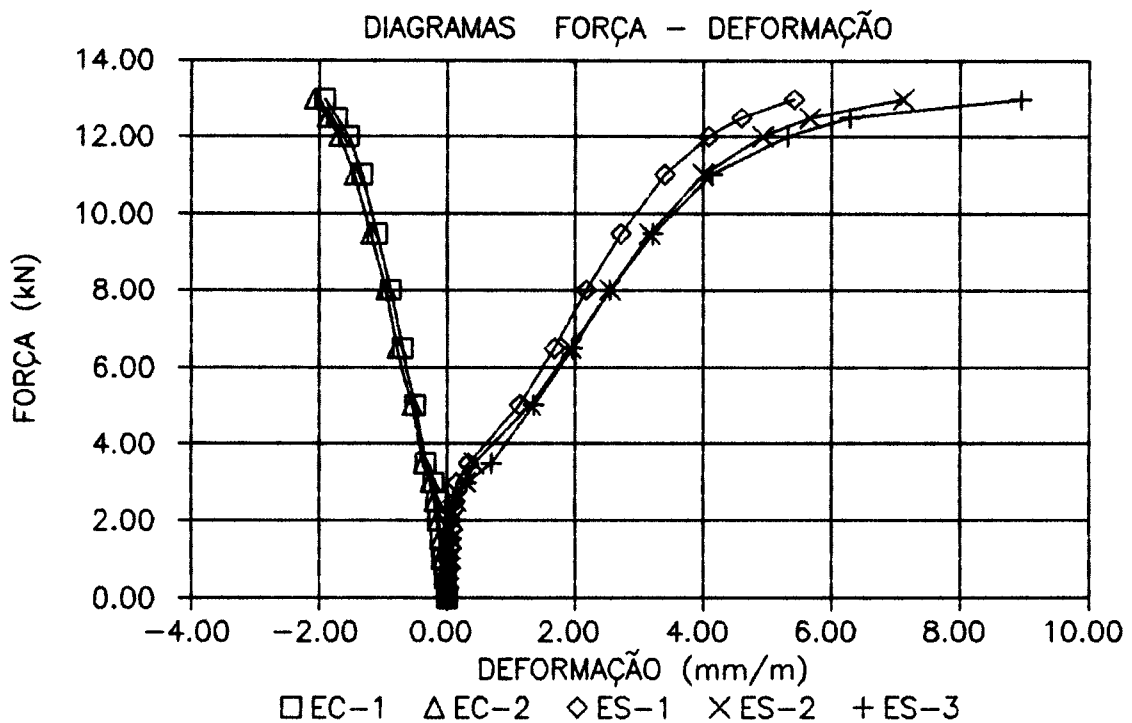
ETAPA	HORA	FORÇA(kN)	D2	D3	D4
0	8h39	0.0	0.00	0.00	0.00
1	8h42	0.5	0.32	0.44	0.36
2	8h44	1.0	0.78	0.93	0.84
3	8h47	1.5	1.30	1.46	1.38
2	8h50	1.0	0.89	1.01	0.91
1	8h52	0.5	0.49	0.57	0.46
2	8h54	1.0	0.84	0.99	0.91
3	8h56	2.0	1.87	2.00	1.86
4	8h59	2.5	2.55	2.70	2.54
5	9h03	3.0	3.49	4.67	3.49
6	9h08	3.5	5.85	6.33	5.92
7	9h20	5.0	12.17	12.99	12.29
8	9h45	6.5	18.92	20.09	19.01
9	10h06	8.0	25.20	26.71	25.43
10	10h25	9.5	31.96	33.90	32.16
11	10h40	11.0	39.56	41.88	37.49
12	10h53	12.0	44.63	47.54	42.84

RUPTURA POR FLEXÃO $F_u = 13.16$ kN



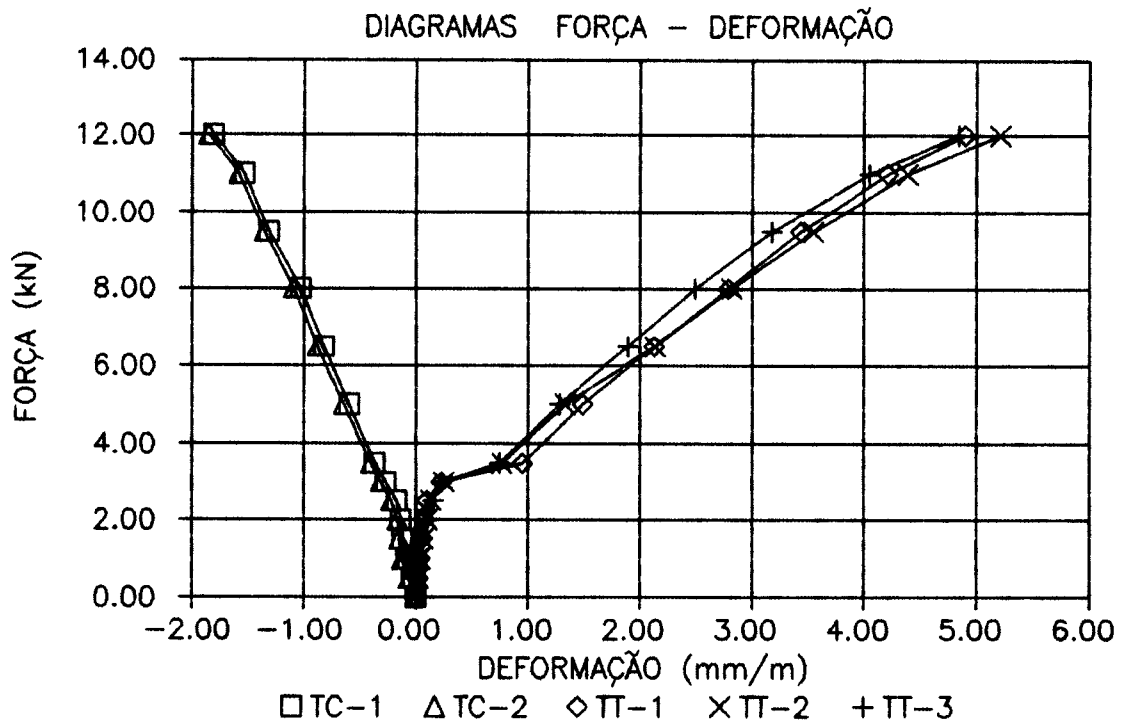
DEFORMAÇÕES MEDIDAS COM EXTENSÔMETROS ELÉTRICOS NA BORDA COMPRIMIDA
E NA ARMADURA COMPLEMENTAR
(mm/m)

ETAPA	FORÇA(kN)	EC1	EC2	ES1	ES2	ES3
0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.5	-0.03	-0.03	0.01	0.02	0.01
2	1.0	-0.06	-0.07	0.03	0.04	0.04
3	1.5	-0.10	-0.11	0.05	0.06	0.06
2	1.0	-0.07	-0.08	0.01	0.05	0.05
1	0.5	-0.04	-0.04	0.02	0.02	0.03
2	1.0	-0.07	-0.08	0.04	0.04	0.04
3	2.0	-0.13	-0.15	0.06	0.09	0.08
4	2.5	-0.16	-0.20	0.12	0.14	0.10
5	3.0	-0.21	-0.26	0.15	0.29	0.30
6	3.5	-0.33	-0.37	0.34	0.42	0.69
7	5.0	-0.50	-0.55	1.13	1.30	1.36
8	6.5	-0.69	-0.78	1.67	1.94	1.96
9	8.0	-0.88	-0.96	2.17	2.54	2.55
10	9.5	-1.09	-1.19	2.72	3.17	3.22
11	11.0	-1.33	-1.45	3.40	4.00	4.14
12	12.0	-1.54	-1.69	4.08	4.93	5.32
13	12.5	-1.72	-1.87	4.59	5.66	6.28
14	13.0	-1.91	-2.07	5.41	7.11	8.94



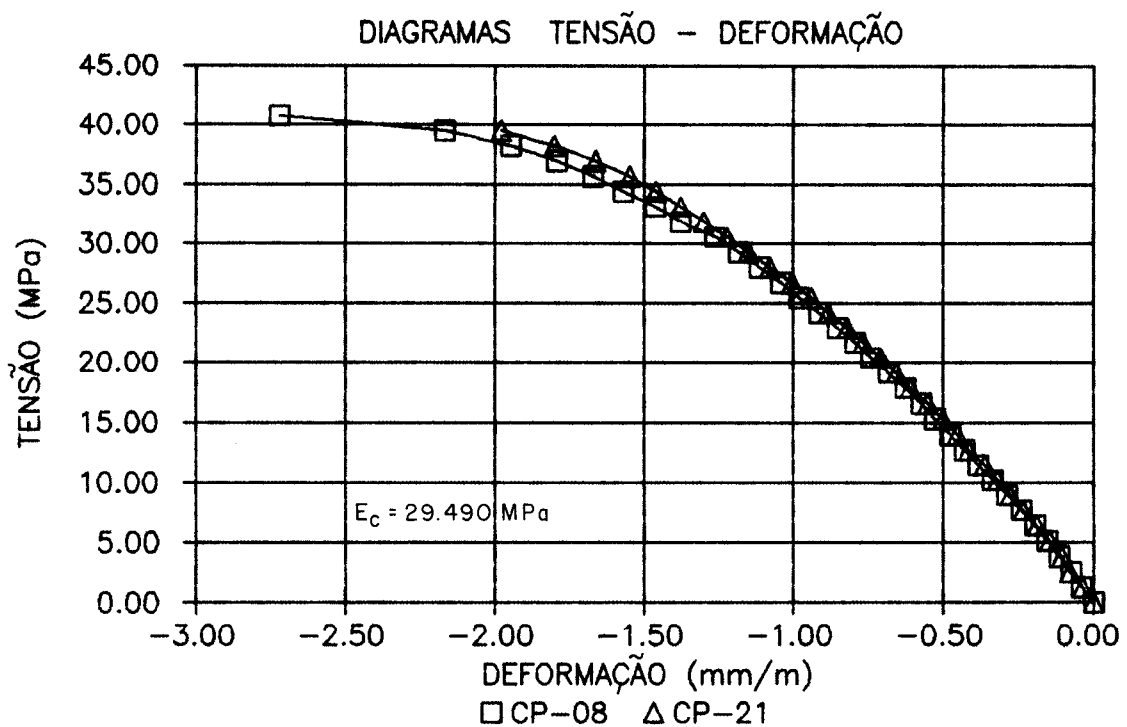
DEFORMAÇÕES MEDIDAS COM EXTENSÔMETRO MECÂNICO NAS BORDAS
 COMPRIMIDA E TRACIONADA
 (mm/m)

ETAPA	FORÇA (kN)	TEMP. (°C)	TC1	TC2	TT1	TT2	TT3
0	0.0	25.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.5	25.5	-0.02	-0.06	0.02	0.02	0.01
2	1.0	25.5	-0.07	-0.09	0.04	0.04	0.03
3	1.5	26.0	-0.12	-0.15	0.06	0.07	0.05
2	1.0	26.0	-0.08	-0.11	0.02	0.03	0.02
1	0.5	26.0	-0.03	-0.06	0.01	0.01	0.00
2	1.0	26.0	-0.08	-0.12	0.03	0.03	0.02
3	2.0	26.0	-0.13	-0.16	0.08	0.10	0.10
4	2.5	27.0	-0.17	-0.22	0.10	0.14	0.16
5	3.0	27.0	-0.27	-0.31	0.23	0.25	0.23
6	3.5	27.5	-0.37	-0.40	0.95	0.77	0.75
7	5.0	27.5	-0.59	-0.64	1.49	1.34	1.29
8	6.5	27.5	-0.82	-0.88	2.13	2.14	1.90
9	8.0	28.0	-1.03	-1.09	2.79	2.82	2.49
10	9.5	28.0	-1.31	-1.35	3.44	3.55	3.18
11	11.0	28.0	-1.53	-1.58	4.21	4.39	4.05
12	12.0	28.0	-1.81	-1.85	4.90	5.21	4.84



RESULTADOS DOS ENSAIOS DOS CORPOS-DE-PROVA DE ARGAMASSA

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)				RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (MPa)			
IDADE	1 DIA	3 DIAS	7 DIAS	IDADE	1 DIA	3 DIAS	7 DIAS
	19.4	31.8	40.9		1.8	3.0	3.5
	17.8	32.5	42.0		1.8	2.8	3.0
	19.1	30.6	39.6		1.8	2.8	4.2
	19.4	32.5	38.8		1.8	2.7	3.8
MÉDIA	18.9	31.9	40.3	MÉDIA	1.8	2.8	3.8



VALOR DAS ABERTURAS DAS FISSURAS (mm)

REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

ETAPA	FORÇA(kN)	TA	TB1	TB2	TB3	TC	AA	AB1	AB2	AB3	AC
6	3.5		0.03	0.03	0.03	0.03					
7	5.0	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	
8	6.5	0.06	0.07	0.05	0.05	0.06	0.05	0.06	0.05	0.05	0.04
9	8.0	0.06	0.11	0.07	0.07	0.07	0.05	0.06	0.05	0.06	0.05
10	9.5	0.07	0.11	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.06	0.07	0.07
11	11.0	0.07	0.10	0.11	0.11	0.08	0.08	0.12	0.08	0.10	0.12
12	12.0	0.08	0.13	0.15	0.11	0.12	0.12	0.13	0.12	0.13	0.12
13	12.5	0.10	0.13	0.15	0.13	0.12	0.12	0.15	0.14	0.16	0.14
14	13.0	0.10	0.16	0.16	0.20	0.16	0.16	0.20	0.16	0.16	0.16

ESPAÇAMENTO ENTRE FISSURAS NA ALMA JUNTO A MESA (mm)

REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

AA	AB1	AB2	AB3	AC	
86	43	50	36	40	
80	25	20	20	47	
55	42	47	33	28	
70	32	26	22	45	
25	43	38	18	37	
66	36	25	34	40	
42	27	40	55	41	
20	27	52	42	18	
54	26		32	35	
35			44	28	
55				48	
70				45	
58				38	
30				41	
25				43	
38				40	
50				38	
18				58	
28				72	
54				60	
26				45	
14				34	
18					
40					
MÉDIA	44	36	37	34	42

ESPAÇAMENTO ENTRE FISSURAS NA ALMA NA ALTURA h/2 (mm)

REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

AA	AB1	AB2	AB3	AC	
75	29	50	35	50	
75	29	32	45	35	
55	32	44	50	40	
60	45	32	55	30	
27	28	28	45	30	
72	42	35	20	43	
42	37	47	45	45	
62	32	58		65	
33	35			60	
73	24			35	
65				65	
37				65	
32				35	
39				50	
25				48	
53				85	
32				50	
52				33	
40				28	
27				123	
30					
MÉDIA	48	33	41	42	50

ESPAÇAMENTO ENTRE FISSURAS NO CENTRO
DA MESA TRACIONADA (mm)

REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

TA	TB1	TB2	TB3	TC	
85	10	25	15	25	
67	17	15	12	12	
46	16	32	25	13	
22	12	35	20	16	
40	33	10	27	30	
22	25	30	32	32	
25	30	20	12	31	
27	13	15	26	22	
37	27	18	22	22	
53	15	32	22	15	
28	20	15	20	25	
22	25	20	15	24	
20	26	30	21	18	
28	12		21	38	
27	20			17	
22	25			23	
18				33	
20				20	
30				28	
32				35	
18				17	
28				22	
30				35	
23				50	
20				33	
30				33	
15				20	
17				40	
10				65	
26				23	
10				36	
				31	
				30	
				47	
				41	
				30	
				45	
MÉDIA	29	20	23	21	29

ESPAÇAMENTO ENTRE FISSURAS NA MESA TRACIONADA
JUNTO A BORDA ESQUERDA (mm)

REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

TA	TB1	TB2	TB3	TC	
80	14	30	15	26	
80	8	18	12	18	
64	21	30	12	15	
18	17	20	20	30	
27	25	20	24	25	
30	15	12	12	10	
30	20	27	15	20	
38	10	20	16	27	
19	35	36	15	14	
20	13	22	15	32	
40	38	20	40	27	
33	15	21	10	17	
38	35	22	20	14	
34	30		15	28	
15	27		20	22	
28			17	18	
33			17	40	
16				35	
26				30	
24				28	
24				22	
19				32	
25				47	
43				20	
18				45	
21				25	
16				40	
22				65	
11				35	
14				54	
				45	
				68	
				38	
				65	
MÉDIA	30	22	22	17	32

5.2.10 MODELO 3/3

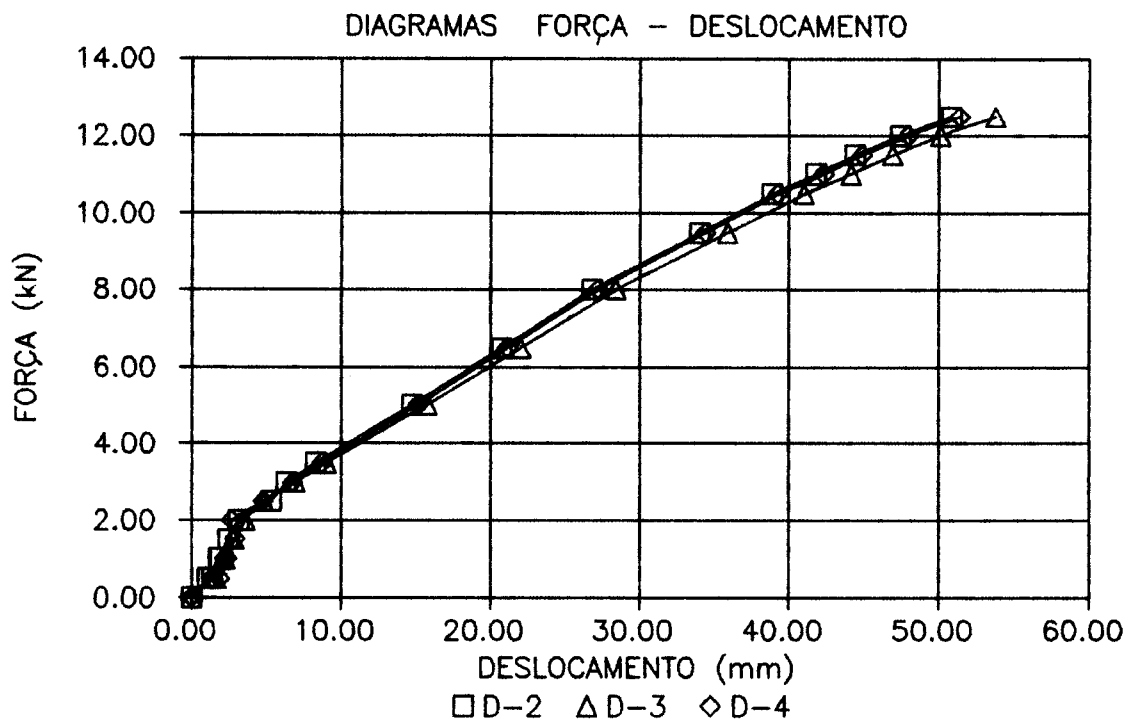
MOLDAGEM: 02/FEVEREIRO/90

ENSAIO: 09/FEVEREIRO/90

DESLOCAMENTOS ABSOLUTOS
(mm)

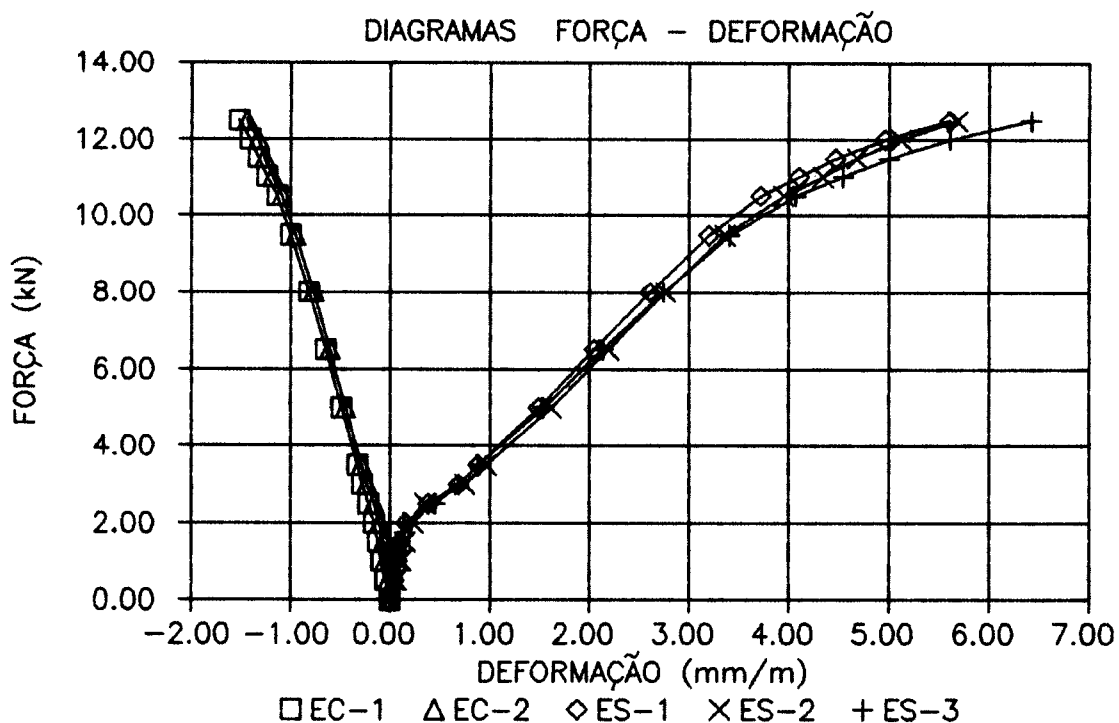
ETAPA	HDRA	FORÇA(kN)	D2	D3	D4
0	8h54	0.0	0.00	0.00	0.00
1	8h58	0.5	1.06	1.27	1.40
2	9h01	1.0	1.83	2.11	2.26
3	9h03	1.5	2.47	2.81	2.90
2	9h04	1.0	1.94	2.21	2.36
1	9h07	0.5	1.42	1.67	1.85
2	9h09	1.0	1.93	2.23	2.38
3	9h12	2.0	3.15	3.57	2.65
4	9h17	2.5	5.35	4.81	4.79
5	9h24	3.0	6.34	6.93	6.77
6	9h38	3.5	8.32	9.03	8.72
7	9h50	5.0	14.75	15.76	15.17
8	10h12	6.5	20.76	22.04	21.15
9	10h28	8.0	26.83	28.41	27.20
10	10h48	9.5	34.01	35.88	34.39
11	11h06	10.5	38.83	40.97	39.25
12	11h20	11.0	41.81	44.13	42.31
13	11h28	11.5	44.41	46.89	44.9
14	11h33	12.0	47.42	50.09	47.93
15	11h40	12.5	50.85	53.76	51.38

RUPTURA POR FLEXÃO $F_u = 13.47 \text{ kN}$



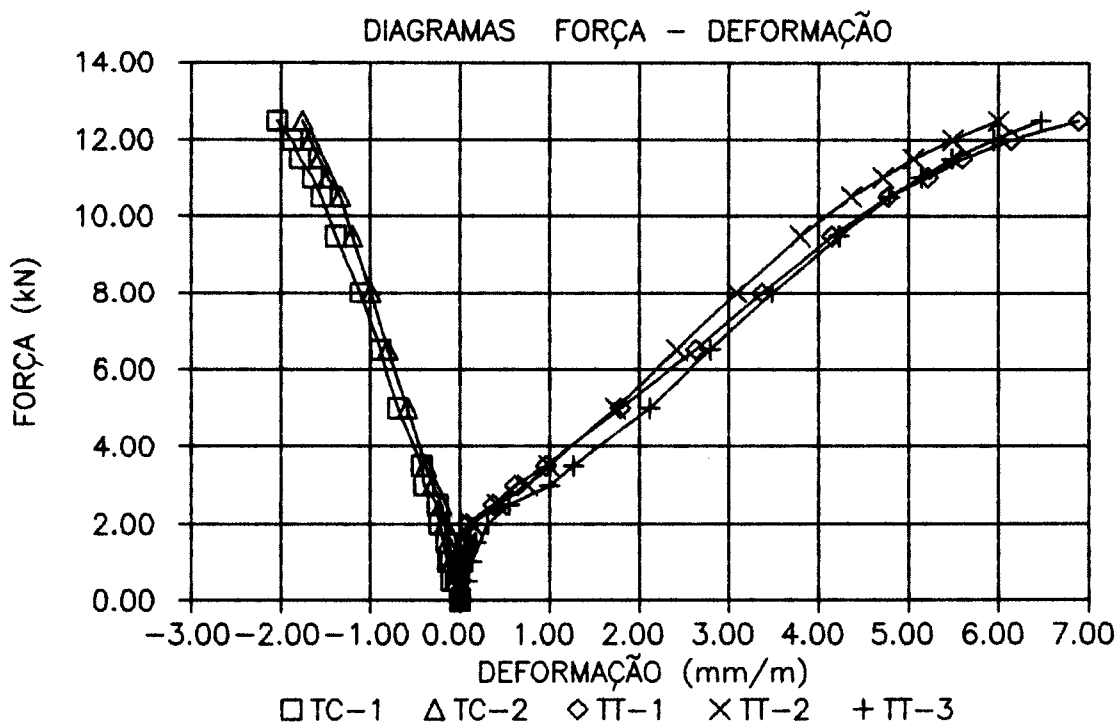
DEFORMAÇÕES MEDIDAS COM EXTENSÔMETROS ELÉTRICOS NA BORDA COMPRIMIDA
E NA ARMADURA COMPLEMENTAR
(mm/m)

ETAPA	FORÇA(kN)	EC1	EC2	ES1	ES2	ES3
0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.5	-0.04	-0.02	0.03	0.04	0.02
2	1.0	-0.08	-0.05	0.06	0.09	0.05
3	1.5	-0.12	-0.07	0.10	0.15	0.08
2	1.0	-0.09	-0.05	0.07	0.11	0.05
1	0.5	-0.05	-0.02	0.04	0.06	0.02
2	1.0	-0.09	-0.05	0.07	0.11	0.05
3	2.0	-0.16	-0.11	0.16	0.23	0.14
4	2.5	-0.22	-0.16	0.38	0.35	0.45
5	3.0	-0.28	-0.23	0.68	0.75	0.68
6	3.5	-0.33	-0.29	0.88	0.96	0.88
7	5.0	-0.49	-0.45	1.49	1.62	1.54
8	6.5	-0.65	-0.61	2.05	2.19	2.14
9	8.0	-0.82	-0.77	2.61	2.76	2.74
10	9.5	-1.00	-0.95	3.20	3.36	3.41
11	10.5	-1.14	-1.09	3.72	3.95	4.07
12	11.0	-1.24	-1.18	4.10	4.34	4.54
13	11.5	-1.33	-1.26	4.47	4.68	5.00
14	12.0	-1.41	-1.33	4.96	5.12	5.61
15	12.5	-1.52	-1.44	5.61	5.68	6.42



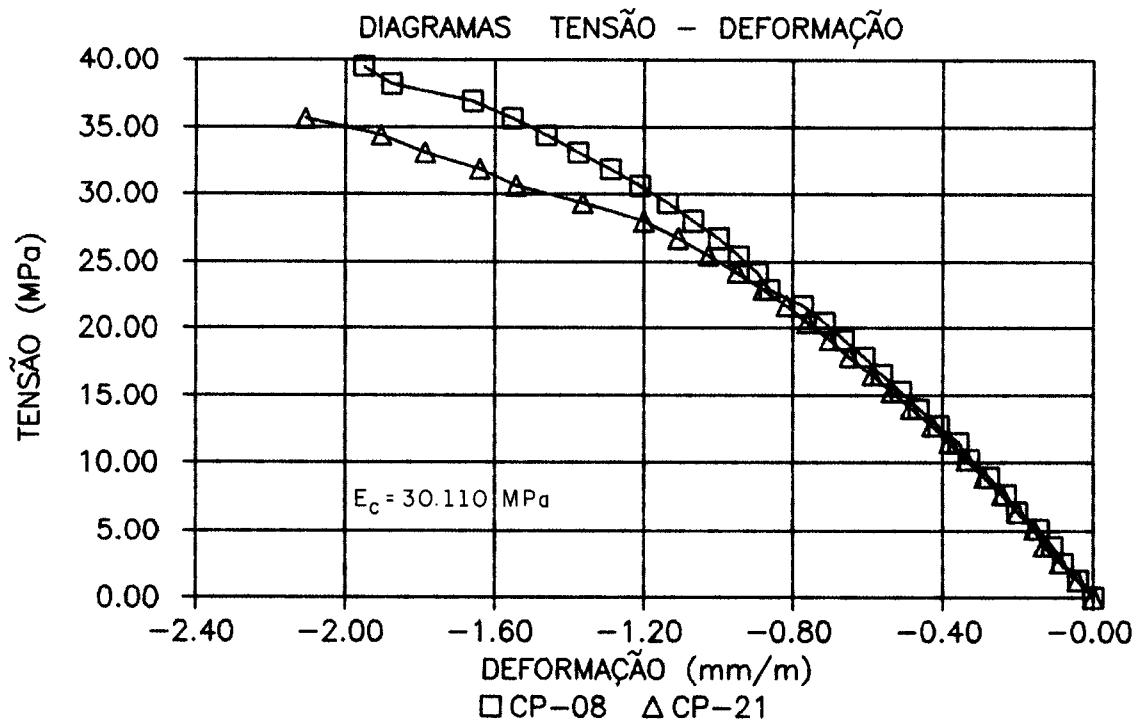
DEFORMAÇÕES MEDIDAS COM EXTENSÔMETRO MECÂNICO NAS BORDAS
 COMPRIMIDA E TRACIONADA
 (mm/m)

ETAPA	FORÇA (kN)	TEMP. (°C)	TC1	TC2	TT1	TT2	TT3
0	0.0	26.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.5	26.0	-0.05	-0.05	0.00	0.01	0.04
2	1.0	26.0	-0.11	-0.10	0.02	0.02	0.09
3	1.5	26.0	-0.15	-0.14	0.06	0.07	0.18
2	1.0	26.0	-0.13	-0.10	0.03	0.03	0.12
1	0.5	26.5	-0.10	-0.06	0.01	0.01	0.08
2	1.0	26.5	-0.13	-0.09	0.03	0.03	0.13
3	2.0	26.5	-0.23	-0.17	0.08	0.13	0.31
4	2.5	26.5	-0.25	-0.20	0.37	0.42	0.55
5	3.0	27.0	-0.40	-0.30	0.61	0.75	1.00
6	3.5	27.0	-0.43	-0.38	0.96	0.99	1.27
7	5.0	27.5	-0.69	-0.59	1.79	1.74	2.12
8	6.5	27.5	-0.89	-0.81	2.63	2.42	2.79
9	8.0	28.0	-1.11	-0.99	3.37	3.09	3.49
10	9.5	28.0	-1.38	-1.20	4.15	3.80	4.23
11	10.5	28.0	-1.54	-1.33	4.77	4.36	4.79
12	11.0	28.0	-1.64	-1.47	5.22	4.72	5.14
13	11.5	28.5	-1.78	-1.57	5.60	5.06	5.48
14	12.0	28.5	-1.87	-1.67	6.14	5.49	5.94
15	12.5	28.5	-2.04	-1.76	6.88	6.00	6.47



RESULTADOS DOS ENSAIOS DOS CORPOS-DE-PROVA DE ARGAMASSA

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)			RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (MPa)		
IDADE	3 DIAS	7 DIAS	IDADE	3 DIAS	7 DIAS
	30.6	37.6		2.6	2.6
	29.3	40.7		2.8	2.4
	26.7	39.3		2.8	3.7
	25.5	40.1		2.6	3.0
		39.0			3.7
		35.7			2.8
		42.7			3.7
		39.0			2.8
MÉDIA	28.0	39.3	MÉDIA	2.7	3.1



VALOR DAS ABERTURAS DAS FISSURAS (mm)

REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

ETAPA	FORÇA(KN)	TA	TB1	TB2	TB3	TC	AA	AB1	AB2	AB3	AC
4	2.5		0.04								
5	3.0		0.04	0.04	0.05						
6	3.5		0.05	0.05	0.05						0.05
7	5.0	0.05	0.07	0.06	0.05	0.06	0.05	0.05		0.05	0.05
8	6.5	0.06	0.07	0.06	0.05	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.07
9	8.0	0.06	0.08	0.08	0.08	0.08	0.06	0.06	0.05	0.05	0.08
10	9.5	0.09	0.10	0.10	0.10	0.09	0.07	0.08	0.05	0.07	0.08
11	10.5	0.10	0.11	0.12	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.12
12	11.0	0.11	0.12	0.13	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11	0.12
13	11.5	0.12	0.12	0.13	0.11	0.10	0.12	0.10	0.10	0.11	0.12
14	12.0	0.13	0.12	0.13	0.11	0.11	0.12	0.12	0.10	0.12	0.12
15	12.5	0.14	0.18	0.18	0.14	0.14	0.13	0.15	0.10	0.12	0.12

ESPAÇAMENTO ENTRE FISSURAS NA ALMA JUNTO A MESA

(mm)

REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

AA	AB1	AB2	AB3	AC
250	50	30	41	90
125	28	37	50	40
90	27	40	25	35
45	53	15	30	33
45	30	50	32	38
24	37	34	43	35
45	38	20	42	40
22			12	31
38			32	50
54				38
40				25
48				45
37				53
22				30
30				45
54				68
42				35
29				50
				150
				105

MÉDIA 38 38 32 34 39

ESPAÇAMENTO ENTRE FISSURAS NA ALMA NA ALTURA h/2

(mm)

REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

AA	AB1	AB2	AB3	AC	
265	43	43	24	78	
205	32	30	90	80	
50	25	42	28	60	
50	56	25	35	75	
65	20	51	33	72	
55	45	45	35	63	
52	38		45	66	
65				35	
40				25	
45				18	
50				85	
47				33	
25				37	
				165	
				95	
MÉDIA	50	37	39	41	66

ESPAÇAMENTO ENTRE FISSURAS NO CENTRO
DA MESA TRACIONADA (mm)

REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

TA	TB1	TB2	TB3	TC	
22	29	25	28	15	
38	15	7	18	13	
45	22	18	20	18	
28	7	26	20	19	
32	8	14	28	25	
32	10	14	20	27	
20	20	14	15	15	
33	20	12	20	17	
22	10	23	25	16	
15	10	11	8	15	
25	13	14	45	11	
25	12	40	31	13	
19	10	14		17	
15	20	17		13	
13	13	23		11	
17	30	13		15	
20	25			15	
17	20			15	
22				10	
26				17	
23				10	
18				15	
10				27	
15				25	
16				15	
15				20	
12				15	
12				20	
12				15	
20				15	
17				30	
11				10	
12				12	
18				20	
18				22	
				15	
				38	
				50	
				30	
				60	
				48	
				25	
				30	
				78	
MÉDIA	20	16	15	21	19

ESPAÇAMENTO ENTRE FISSURAS NA MESA TRACIONADA
JUNTO A BORDA ESQUERDA (mm)

REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

TA	TB1	TB2	TB3	TC	
25	20	20	17	28	
23	15	15	12	15	
52	17	15	22	37	
30	18	14	28	7	
13	12	18	31	35	
34	14	15	26	15	
30	13	5	18	25	
45	11	13	20	7	
38	10	15	35	20	
30	15	13	28	15	
22	16	13	33	10	
15	20	15		38	
25	26	7		15	
8	13	20		11	
28	25	20		22	
10	18	20		40	
22		30		34	
25				22	
32				18	
25				15	
20				13	
10				17	
10				27	
13				20	
10				13	
10				22	
26				15	
10				20	
10				15	
10				35	
15				40	
17				47	
10				30	
8				57	
15				48	
23				28	
MÉDIA	18	16	16	24	24

5.2.11 MODELO 4/1

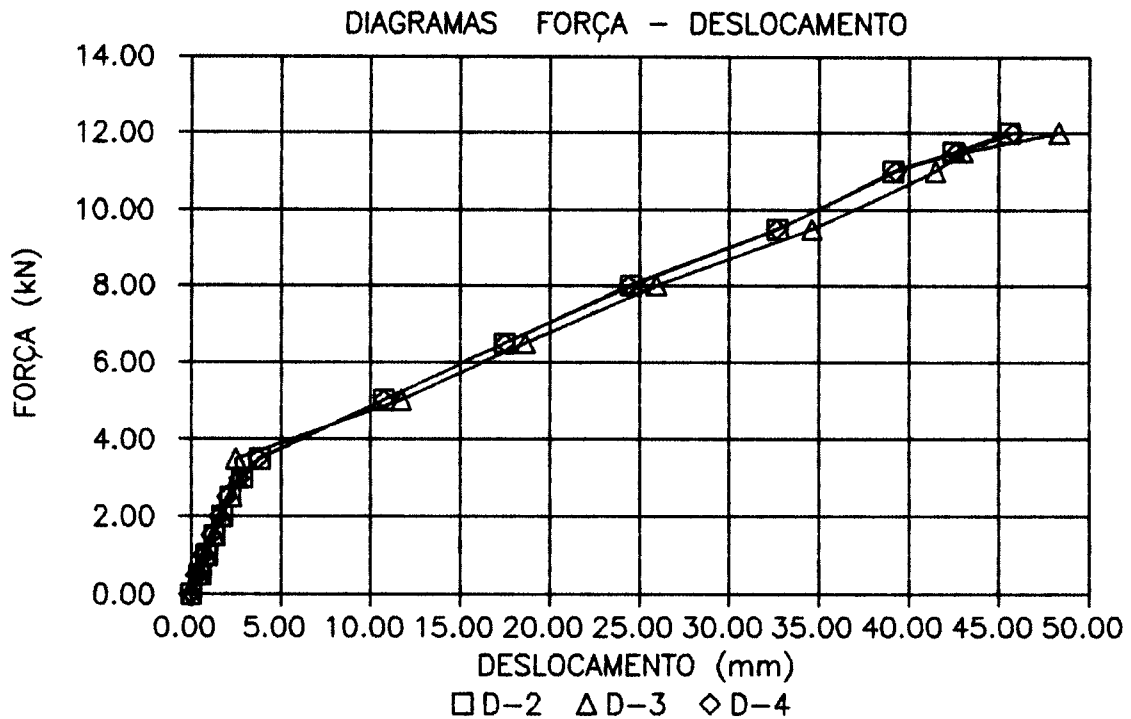
MOLDAGEM: 16/FEVEREIRO/90

ENSAIO: 23/FEVEREIRO/90

DESLOCAMENTOS ABSOLUTOS
(mm)

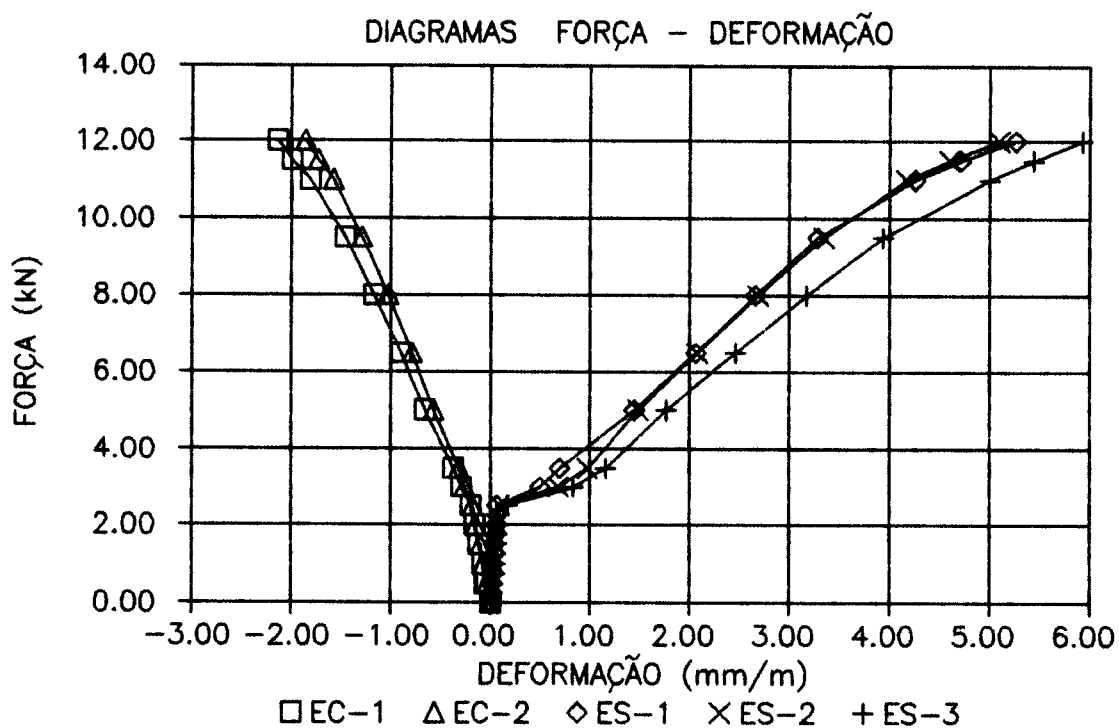
ETAPA	HORA	FORÇA(kN)	D2	D3	D4
0	8h11	0.0	0.00	0.00	0.00
1	8h15	0.5	0.44	0.41	0.26
2	8h17	1.0	0.85	0.83	0.69
3	8h19	1.5	1.29	1.28	1.11
2	8h24	1.0	0.90	0.89	0.72
1	8h25	0.5	0.53	0.51	0.35
2	8h30	1.0	0.91	0.90	0.73
3	8h36	2.0	1.72	1.75	1.55
4	8h39	2.5	2.19	2.25	2.00
5	8h48	3.0	2.84	2.56	2.65
6	8h55	3.5	3.83	2.51	3.72
7	9h05	5.0	10.75	11.73	10.73
8	9h17	6.5	17.48	18.63	17.47
9	9h31	8.0	24.53	25.97	24.42
10	9h50	9.5	32.70	34.59	32.66
11	10h12	11.0	39.14	41.46	39.25
12	10h24	11.5	42.45	42.99	42.58
13	10h37	12.0	45.57	48.31	45.77

RUPTURA POR FLEXÃO $F_u = 12.30 \text{ kN}$



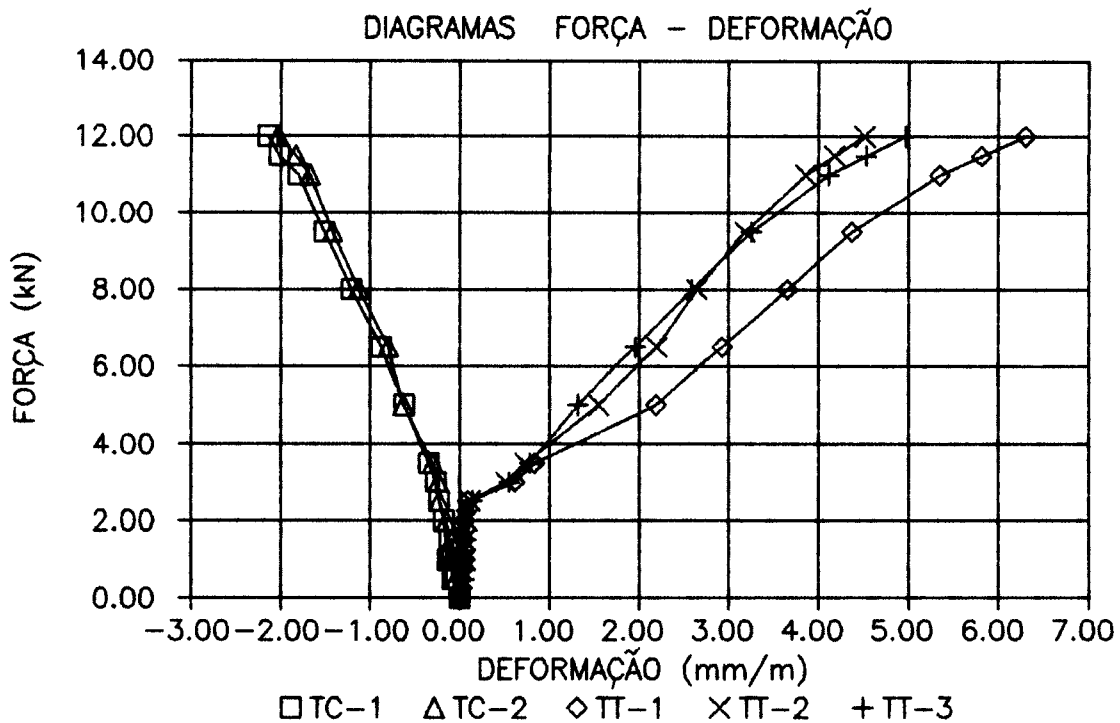
DEFORMAÇÕES MEDIDAS COM EXTENSÔMETROS ELÉTRICOS NA BORDA COMPRIMIDA
E NA ARMADURA COMPLEMENTAR
(mm/m)

ETAPA	FORÇA(kN)	EC1	EC2	ES1	ES2	ES3
0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.5	-0.04	-0.03	0.02	0.01	0.03
2	1.0	-0.08	-0.07	0.03	0.03	0.05
3	1.5	-0.12	-0.10	0.04	0.05	0.07
2	1.0	-0.08	-0.08	0.02	0.03	0.05
1	0.5	-0.05	-0.04	0.01	0.02	0.03
2	1.0	-0.08	-0.08	0.03	0.04	0.05
3	2.0	-0.16	-0.15	0.06	0.07	0.10
4	2.5	-0.20	-0.18	0.07	0.09	0.17
5	3.0	-0.29	-0.26	0.50	0.68	0.83
6	3.5	-0.37	-0.32	0.70	0.98	1.16
7	5.0	-0.66	-0.57	1.45	1.49	1.77
8	6.5	-0.90	-0.79	2.06	2.08	2.46
9	8.0	-1.17	-1.03	2.66	2.69	3.17
10	9.5	-1.46	-1.29	3.28	3.35	3.94
11	11.0	-1.81	-1.58	4.26	4.17	5.00
12	11.5	-1.99	-1.73	4.71	4.60	5.44
13	12.0	-2.14	-1.86	5.26	5.10	5.93



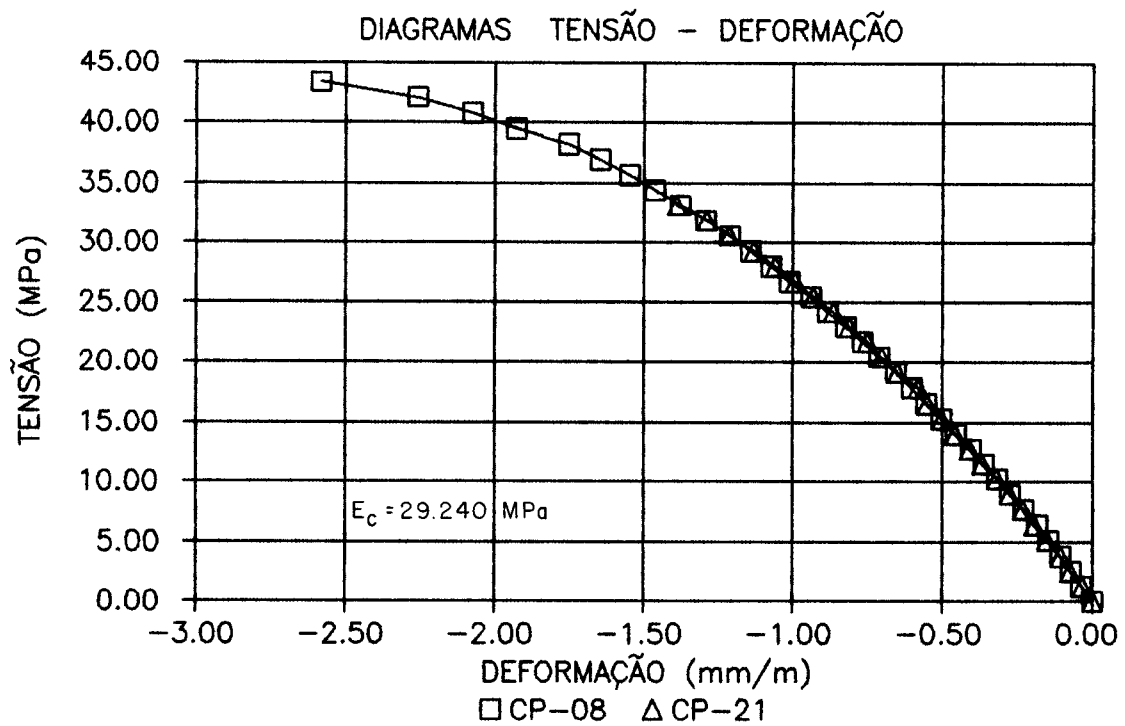
DEFORMAÇÕES MEDIDAS COM EXTENSÔMETRO MECÂNICO NAS BORDAS
 COMPRIMIDA E TRACIONADA
 (mm/m)

ETAPA	FORÇA(KN)	TEMP.(°C)	TC1	TC2	TT1	TT2	TT3
0	0.0	22.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.5	22.0	-0.08	-0.05	0.02	0.02	0.03
2	1.0	22.0	-0.09	-0.06	0.05	0.06	0.06
3	1.5	22.0	-0.12	-0.09	0.04	0.05	0.07
2	1.0	22.0	-0.10	-0.07	0.03	0.05	0.02
1	0.5	22.0	-0.04	-0.04	0.00	0.03	0.05
2	1.0	22.0	-0.13	-0.12	0.01	0.03	0.04
3	2.0	22.0	-0.18	-0.15	0.05	0.08	0.10
4	2.5	22.0	-0.23	-0.23	0.09	0.11	0.14
5	3.0	22.0	-0.27	-0.24	0.61	0.51	0.55
6	3.5	22.0	-0.35	-0.30	0.83	0.73	0.78
7	5.0	23.0	-0.62	-0.63	2.19	1.55	1.32
8	6.5	23.0	-0.88	-0.80	2.93	2.20	1.96
9	8.0	24.0	-1.21	-1.13	3.65	2.64	2.59
10	9.5	24.0	-1.51	-1.42	4.37	3.18	3.25
11	11.0	24.0	-1.80	-1.67	5.35	3.86	4.12
12	11.5	24.0	-2.01	-1.83	5.81	4.18	4.53
13	12.0	24.0	-2.14	-2.02	6.30	4.51	4.97



RESULTADOS DOS ENSAIOS DOS CORPOS-DE-PROVA DE ARGAMASSA

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)			RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (MPa)		
IDADE	3 DIAS	7 DIAS	IDADE	3 DIAS	7 DIAS
	28.6	44.6		2.2	3.0
	38.2	46.5		1.9	2.9
	36.9	44.6		2.4	3.0
	35.6	46.5		2.1	2.9
		45.8			3.6
		44.6			3.4
		33.7			3.1
		44.6			3.0
MÉDIA	34.8	43.9	MÉDIA	2.2	3.1



VALOR DAS ABERTURAS DAS FISSURAS (mm)

REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

ETAPA	FORÇA(kN)	TA	TB1	TB2	TB3	TC	AA	AB1	AB2	AB3	AC
5	3.0			0.05							
6	3.5		0.06	0.07	0.05						
7	5.0	0.04	0.13	0.12	0.10	0.04		0.04	0.04	0.04	
8	6.5	0.05	0.15	0.15	0.16	0.05	0.04	0.05	0.05	0.05	0.04
9	8.0	0.06	0.17	0.17	0.17	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.05
10	9.5	0.07	0.17	0.20	0.18	0.08	0.08	0.06	0.07	0.07	0.05
11	11.0	0.10	0.20	0.20	0.20	0.10	0.08	0.12	0.11	0.10	0.06
12	11.5	0.11	0.20	0.20	0.20	0.11	0.08	0.12	0.11	0.11	0.09
13	12.0	0.11	0.20	0.25	0.20	0.11	0.12	0.12	0.14	0.11	0.11

ESPAÇAMENTO ENTRE FISSURAS NA ALMA JUNTO A MESA
(mm)

REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

AA	AB1	AB2	AB3	AC
88	35	72	30	40
65	44	77	26	27
72	25	35	50	58
60	74	45	40	48
70	37	28	32	18
22	30		48	32
55			35	32
75				45
67				45
58				70
20				40
38				33
45				63
50				95
80				75
				63
				83

MEDIA

58 41 51 37 51

ESPAÇAMENTO ENTRE FISSURAS NA ALMA NA ALTURA h/2
(mm)

REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

AA	AB1	AB2	AB3	AC
88	40	56	27	18
90	62	80	18	40
43	70	70	58	60
59	30	30	63	45
54	30		56	35
50			48	10
45				55
78				22
65				45
63				82
75				18
40				60
60				53
67				88
				55
				80
				80

MEDIA

63 46 59 45 50

ESPAÇAMENTO ENTRE FISSURAS NO CENTRO
DA MESA TRACIONADA (mm)

REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

TA	TB1	TB2	TB3	TC	
80	25	25	22	33	
40	17	25	35	12	
38	40	62	18	40	
14	25	42	32	28	
20	20	50	15	50	
50	54	36	48	35	
50	43	40	22	27	
30	32		20	25	
35			45	35	
38			25	20	
35				50	
18				15	
40				35	
12				33	
37				32	
42				45	
13				25	
38				30	
42				30	
17				53	
30				40	
30				65	
45				55	
25				22	
23				78	
28					
22					
22					
42					
20					
22					
15					
MÉDIA	32	32	40	28	35

ESPAÇAMENTO ENTRE FISSURAS NA MESA TRACIONADA
JUNTO A BORDA ESQUERDA (mm)

REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

TA	TB1	TB2	TB3	TC	
108	30	32	25	15	
40	22	15	20	12	
25	20	35	32	25	
50	20	55	44	34	
50	22	28	35	45	
25	15	26	27	32	
38	20	35	33	32	
42	10		15	8	
23	22		14	35	
33	35		25	25	
14	27		25	22	
32	25			40	
45				72	
34				53	
45				43	
23				17	
23				22	
32				40	
38				35	
19				30	
28				13	
40				23	
14				62	
37				51	
22				45	
15				67	
30				25	
MÉDIA	34	22	32	27	34

5.2.12 MODELO 5/1

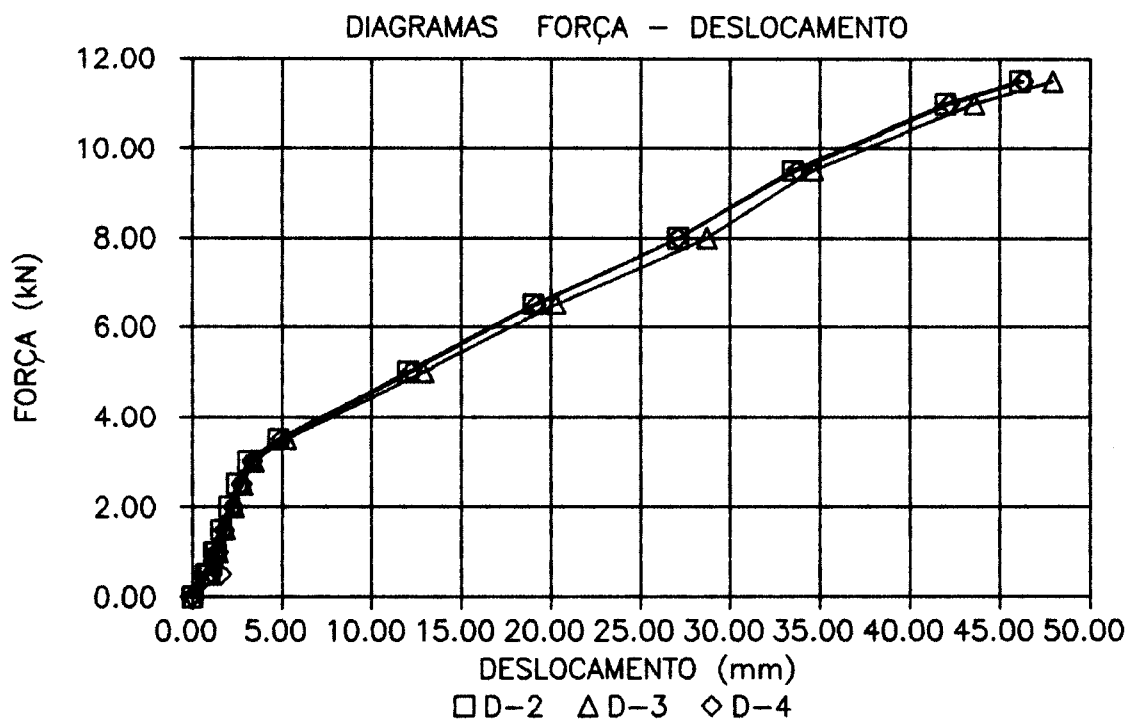
MOLDAGEM: 12/MARÇO/90

ENSAIO: 19/MARÇO/90

DESLOCAMENTOS ABSOLUTOS
(mm)

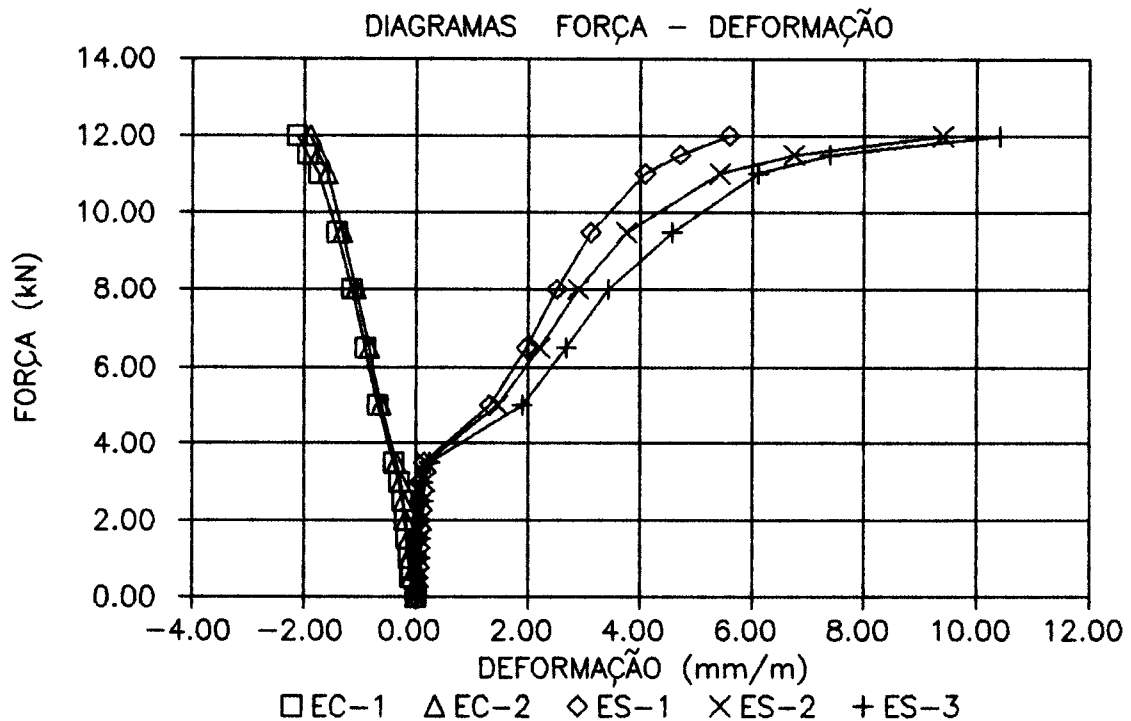
ETAPA	HORA	FORÇA(kN)	D2	D3	D4
0	14h05	0.0	0.00	0.00	0.00
1	14h10	0.5	0.75	0.90	1.61
2	14h15	1.0	1.21	1.36	1.36
3	14h17	1.5	1.59	1.81	1.80
2	14h19	1.0	1.29	1.44	1.56
1	14h21	0.5	0.94	1.02	1.08
2	14h24	1.0	1.28	1.43	1.43
3	14h27	2.0	2.05	2.32	2.28
4	14h29	2.5	2.51	2.79	2.74
5	14h33	3.0	3.12	3.42	3.34
6	14h42	3.5	4.81	5.22	4.98
7	14h48	5.0	12.01	12.92	12.19
8	15h00	6.5	19.05	20.25	19.18
9	15h15	8.0	27.08	28.70	27.09
10	15h30	9.5	33.50	34.64	33.70
11	15h45	11.0	41.96	43.57	42.17
12	15h57	11.5	46.11	47.91	46.28

RUPTURA POR FLEXÃO $F_u = 12.50$ kN



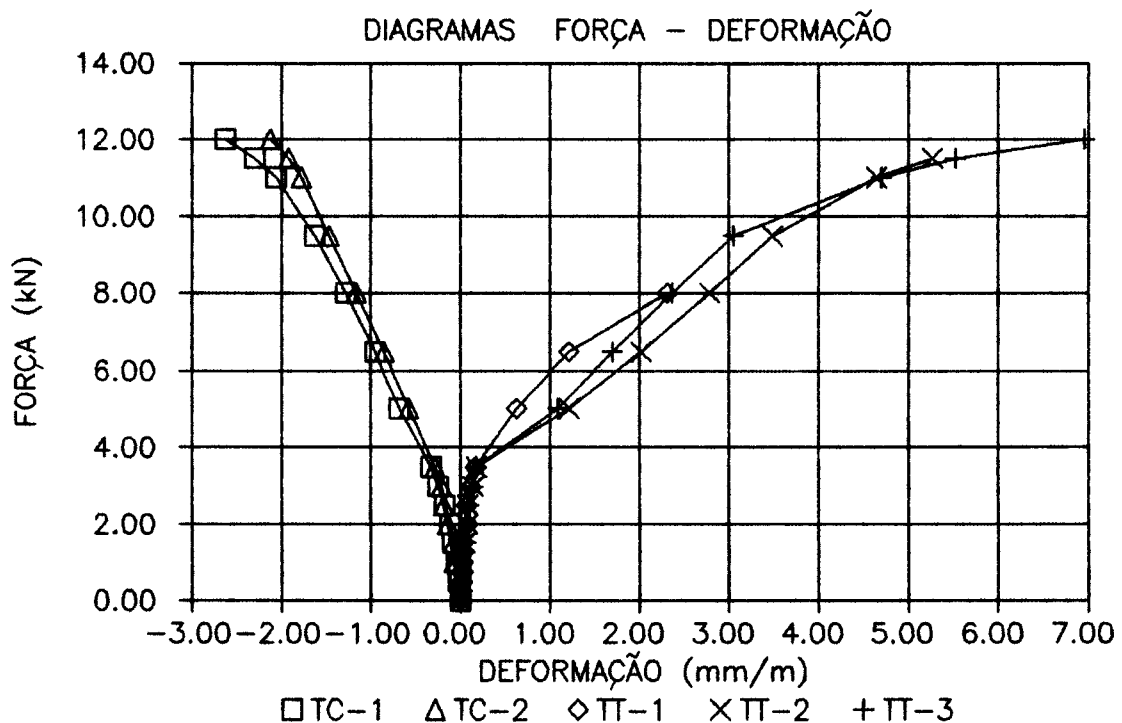
DEFORMAÇÕES MEDIDAS COM EXTENSÔMETROS ELÉTRICOS NA BORDA COMPRIMIDA
E NA ARMADURA COMPLEMENTAR
(mm/m)

ETAPA	FORÇA (kN)	EC1	EC2	ES1	ES2	ES3
0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.5	-0.08	-0.08	0.02	0.04	0.05
2	1.0	-0.12	-0.11	0.04	0.06	0.07
3	1.5	-0.16	-0.14	0.05	0.08	0.09
2	1.0	-0.13	-0.11	0.04	0.06	0.07
1	0.5	-0.09	-0.08	0.02	0.05	0.02
2	1.0	-0.13	-0.12	0.04	0.06	0.07
3	2.0	-0.20	-0.18	0.07	0.10	0.11
4	2.5	-0.23	-0.22	0.08	0.12	0.13
5	3.0	-0.29	-0.26	0.08	0.16	0.14
6	3.5	-0.40	-0.35	0.15	0.19	0.24
7	5.0	-0.67	-0.62	1.33	1.47	1.91
8	6.5	-0.91	-0.83	1.98	2.22	2.69
9	8.0	-1.15	-1.07	2.52	2.90	3.44
10	9.5	-1.41	-1.31	3.13	3.76	4.58
11	11.0	-1.74	-1.58	4.09	5.42	6.10
12	11.5	-1.94	-1.74	4.71	6.74	7.38
13	12.0	-2.13	-1.89	5.59	9.40	10.41



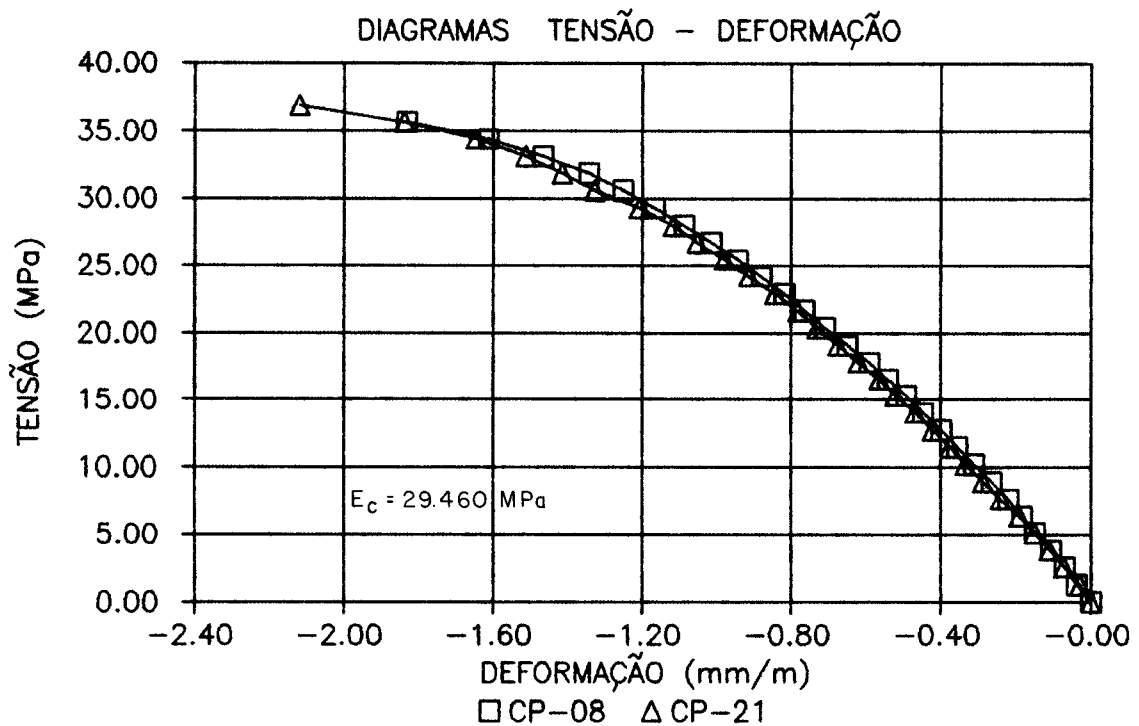
DEFORMAÇÕES MEDIDAS COM EXTENSÔMETRO MECÂNICO NAS BORDAS
 COMPRIMIDA E TRACIONADA
 (mm/m)

ETAPA	FORÇA(kN)	TEMP.(°C)	TC1	TC2	TT1	TT2	TT3
0	0.0	22.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.5	22.0	-0.03	-0.02	0.02	0.01	0.01
2	1.0	22.0	-0.03	-0.04	0.03	0.03	0.03
3	1.5	22.0	-0.09	-0.08	0.03	0.04	0.06
2	1.0	22.0	-0.04	-0.06	0.02	0.02	0.02
1	0.5	22.0	-0.01	-0.01	0.02	0.02	0.02
2	1.0	22.0	-0.05	-0.07	0.01	0.01	0.02
3	2.0	22.0	-0.12	-0.14	0.08	0.08	0.09
4	2.5	22.0	-0.18	-0.19	0.07	0.08	0.10
5	3.0	22.0	-0.25	-0.21	0.12	0.14	0.14
6	3.5	22.0	-0.33	-0.28	0.17	0.18	0.18
7	5.0	23.0	-0.68	-0.58	0.63	1.22	1.09
8	6.5	23.0	-0.95	-0.85	1.22	2.02	1.70
9	8.0	24.0	-1.28	-1.16	2.31	2.78	2.37
10	9.5	24.0	-1.62	-1.46		3.49	3.05
11	11.0	24.0	-2.06	-1.77		4.65	4.70
12	11.5	24.0	-2.30	-1.92		5.27	5.53
13	12.0	24.0	-2.63	-2.12		6.26	6.95



RESULTADOS DOS ENSAIOS DOS CORPOS-DE-PROVA DE ARGAMASSA

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)			RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (MPa)		
IDADE	3 DIAS	7 DIAS	IDADE	3 DIAS	7 DIAS
	28.0	37.6		2.6	3.1
	28.3	37.6		2.7	2.8
	26.7	36.8		2.7	2.6
	30.6	36.3		2.4	2.6
		34.4			2.8
		39.0			3.6
		37.0			3.7
		37.6			2.8
MÉDIA	28.4	37.0	MÉDIA	2.6	3.0



VALOR DAS ABERTURAS DAS FISSURAS (mm)

REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

ETAPA	FORÇA(KN)	TA	TB1	TB2	TB3	TC	AA	AB1	AB2	AB3	AC
6	3.5			0.05	0.05	0.05					
7	5.0	0.08	0.12	0.13	0.13	0.07					
8	6.5	0.08	0.20	0.18	0.18	0.08	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
9	8.0	0.10	0.20	0.20	0.20	0.10	0.08	0.06	0.06	0.05	0.06
10	9.5	0.12	0.20	0.20	0.20	0.12	0.10	0.08	0.08	0.08	0.09
11	11.0	0.16	0.25	0.25	0.25	0.12	0.12	0.08	0.12	0.08	0.12
12	11.5	0.16	0.30	0.25	0.25	0.15	0.12	0.08	0.12	0.08	0.14
13	12.0	0.16	0.30	0.25	0.25	0.15	0.12	0.10	0.12	0.10	0.14

ESPAÇAMENTO ENTRE FISSURAS NA ALMA JUNTO A MESA
(mm)

REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

AA	AB1	AB2	AB3	AC
53	63	26	33	34
54	61	32	25	42
75	53	30	37	97
20	20	35	30	30
33	32	22	35	35
26	66	50	15	24
23		35	37	30
53		25	50	60
20				66
40				66
23				78
14				61
52				
38				
38				
60				
50				
MÉDIA	39	49	32	33

ESPAÇAMENTO ENTRE FISSURAS NA ALMA NA ALTURA h/2
(mm)

REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

AA	AB1	AB2	AB3	AC
60	55	32	40	36
82	60	35	62	40
60	76	35	32	85
55	32	20	22	30
55	58	35	100	60
70		48		35
60		59		73
43				67
22				53
45				58
63				65
62				
55				
MÉDIA	56	56	38	51

ESPAÇAMENTO ENTRE FISSURAS NO CENTRO
DA MESA TRACIONADA (mm)

REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

TA	TB1	TB2	TB3	TC	
35	40	20	32	40	
40	54	38	42	25	
55	45	40	21	40	
92	28	27	40	25	
135	57	15	30	27	
10	50	53	23	38	
30		55	22	48	
30		30	38	31	
37				51	
23				40	
16				32	
30				50	
30				15	
32				37	
20				40	
33				55	
37				17	
29				35	
25				33	
17				15	
40				15	
30				15	
20				44	
MÉDIA	37	46	35	32	35

ESPAÇAMENTO ENTRE FISSURAS NA MESA TRACIONADA
JUNTO A BORDA ESQUERDA (mm)

REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

TA	TB1	TB2	TB3	TC	
56	45	19	12	32	
28	55	38	20	22	
30	25	10	60	50	
44	50	12	44	30	
52	47	13	25	23	
35	32	13	23	28	
35		18	18	8	
30		60	17	43	
33		35	24	34	
43		24	38	20	
30				14	
30				32	
45				30	
27				24	
33				48	
30				32	
42				27	
32				18	
25				78	
30				29	
42				50	
				60	
				58	
				40	
MÉDIA	36	42	23	28	35

5.2.13 MODELO 5/1A

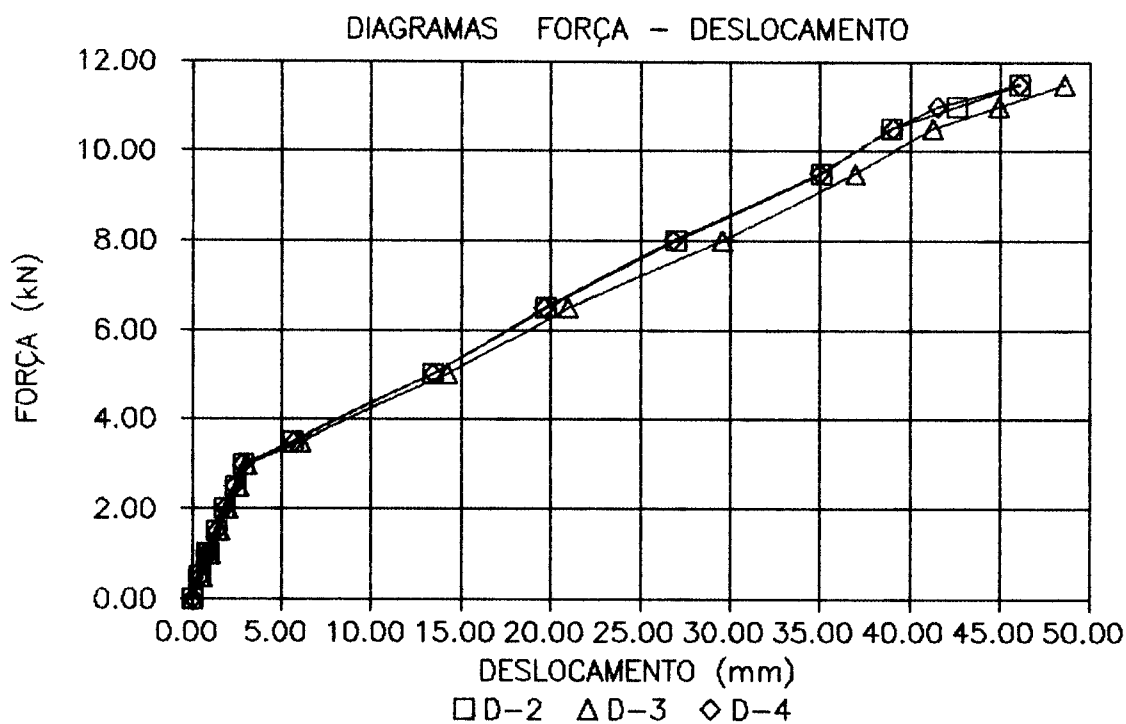
MOLDAGEM: 23/MARÇO/90

ENSAIO: 30/MARÇO/90

DESLOCAMENTOS ABSOLUTOS
(mm)

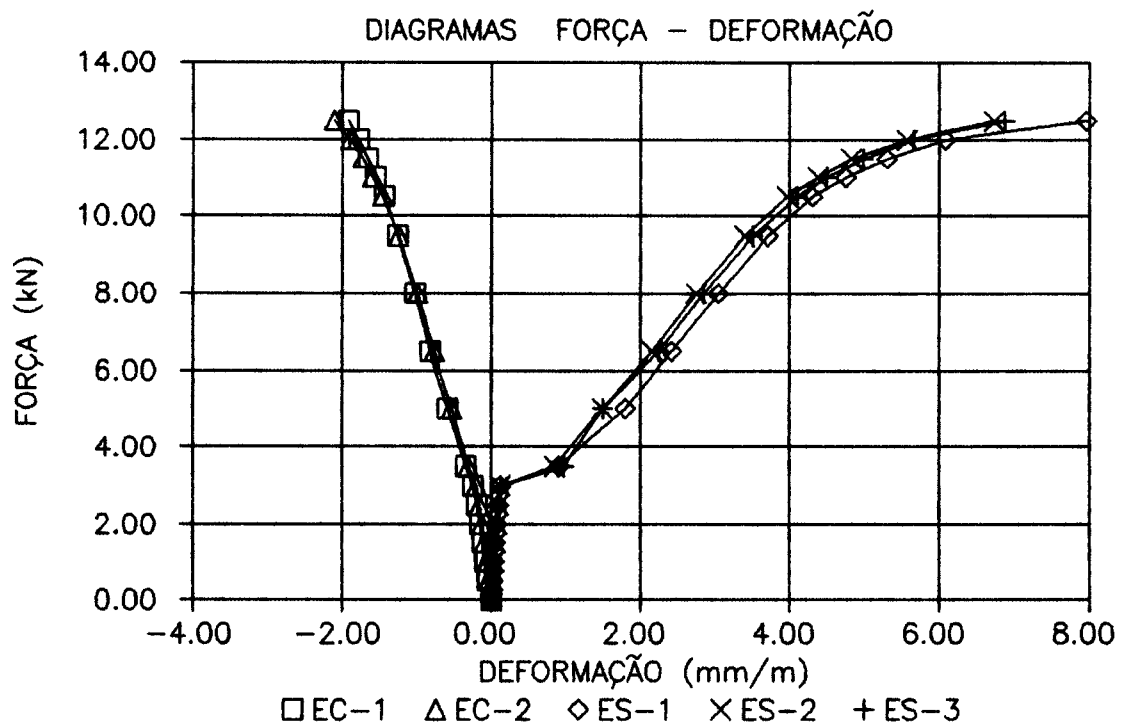
ETAPA	HORA	FORÇA(kN)	D2	D3	D4
0	9h02	0.0	0.00	0.00	0.00
1	9h07	0.5	0.42	0.51	0.43
2	9h11	1.0	0.84	0.95	0.84
3	9h15	1.5	1.33	1.49	1.31
2	9h17	1.0	0.92	1.03	0.92
1	9h19	0.5	0.49	0.58	0.49
2	9h21	1.0	0.90	1.02	0.91
3	9h25	2.0	1.80	1.99	1.76
4	9h27	2.5	2.38	2.58	2.35
5	9h30	3.0	2.82	3.03	2.79
6	9h40	3.5	5.64	6.04	5.68
7	9h50	5.0	13.42	14.25	13.41
8	10h08	6.5	19.75	20.94	19.63
9	10h28	8.0	27.01	29.54	26.86
10	10h40	9.5	35.08	36.98	35.02
11	11h00	10.5	38.99	41.24	39.07
12	11h10	11.0	42.59	44.88	41.55
13	11h17	11.5	46.07	48.52	46.07

RUPTURA POR FLEXÃO $F_u = 12.84$ kN



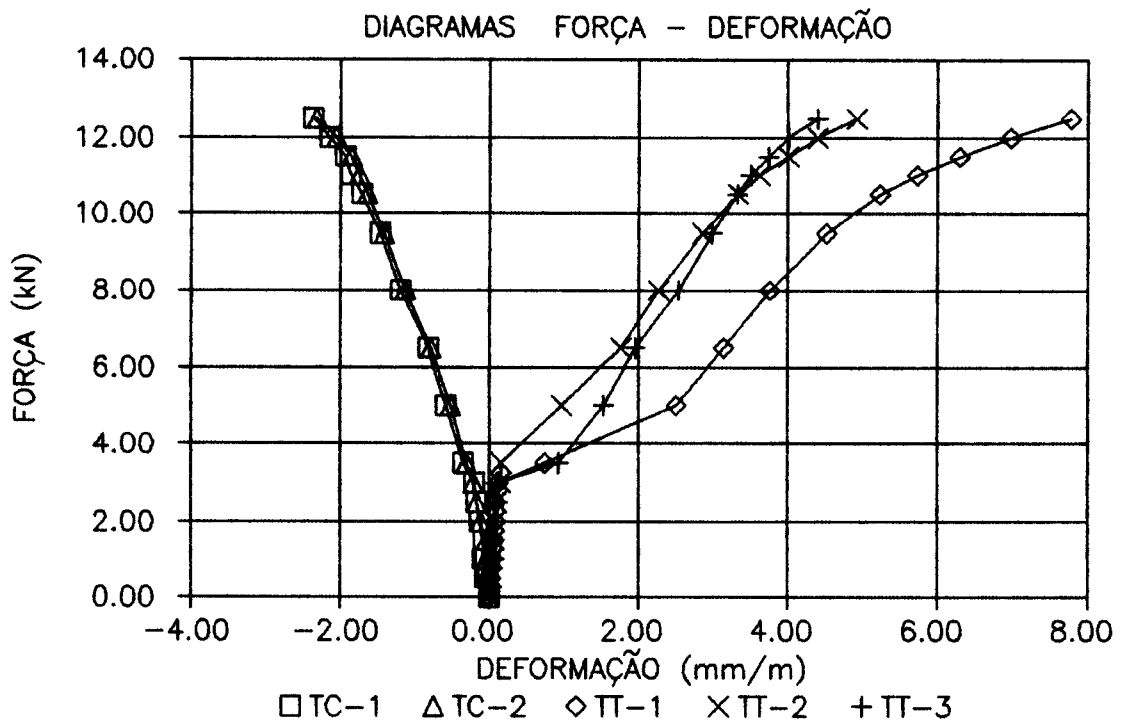
DEFORMAÇÕES MEDIDAS COM EXTENSÔMETROS ELÉTRICOS NA BORDA COMPRIMIDA
E NA ARMADURA COMPLEMENTAR
(mm/m)

ETAPA	FORÇA (kN)	EC1	EC2	ES1	ES2	ES3
0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.5	-0.04	-0.04	0.02	0.02	0.02
2	1.0	-0.07	-0.05	0.03	0.04	0.04
3	1.5	-0.11	-0.09	0.06	0.06	0.06
2	1.0	-0.08	-0.06	0.04	0.04	0.05
1	0.5	-0.05	-0.03	0.02	0.02	0.03
2	1.0	-0.08	-0.04	0.04	0.04	0.04
3	2.0	-0.15	-0.12	0.08	0.08	0.09
4	2.5	-0.19	-0.16	0.10	0.10	0.11
5	3.0	-0.24	-0.20	0.12	0.12	0.13
6	3.5	-0.34	-0.30	0.91	0.85	0.97
7	5.0	-0.58	-0.53	1.80	1.49	1.50
8	6.5	-0.81	-0.76	2.42	2.16	2.25
9	8.0	-1.02	-0.99	3.05	2.75	2.85
10	9.5	-1.25	-1.24	3.71	3.40	3.51
11	10.5	-1.43	-1.45	4.30	3.96	4.10
12	11.0	-1.55	-1.59	4.75	4.38	4.50
13	11.5	-1.65	-1.72	5.30	4.83	4.99
14	12.0	-1.77	-1.89	6.08	5.57	5.66
15	12.5	-1.91	-2.10	7.96	6.73	6.87



DEFORMAÇÕES MEDIDAS COM EXTENSÔMETRO MECÂNICO NAS BORDAS
COMPRIMIDA E TRACIONADA
(mm/m)

ETAPA	FORÇA(kN)	TEMP.(°C)	TC1	TC2	TT1	TT2	TT3
0	0.0	24.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.5	24.0	-0.05	-0.05	0.01	0.01	0.00
2	1.0	24.0	-0.08	-0.04	0.03	0.04	0.05
3	1.5	24.0	-0.07	-0.04	0.07	0.07	0.06
2	1.0	24.0	-0.07	-0.04	0.04	0.04	0.06
1	0.5	24.0	-0.02	-0.02	0.02	0.04	0.02
2	1.0	24.0	-0.05	-0.02	0.05	0.05	0.07
3	2.0	24.0	-0.12	-0.11	0.09	0.08	0.08
4	2.5	24.0	-0.17	-0.17	0.09	0.10	0.11
5	3.0	24.0	-0.20	-0.21	0.12	0.15	0.11
6	3.5	24.0	-0.35	-0.30	0.75	0.16	0.93
7	5.0	24.0	-0.58	-0.52	2.51	0.97	1.54
8	6.5	24.0	-0.81	-0.78	3.15	1.77	1.96
9	8.0	24.0	-1.19	-1.12	3.76	2.27	2.54
10	9.5	24.0	-1.47	-1.41	4.52	2.86	2.98
11	10.5	24.5	-1.71	-1.63	5.23	3.34	3.32
12	11.0	24.5	-1.86	-1.74	5.73	3.62	3.50
13	11.5	24.5	-1.93	-1.85	6.30	4.01	3.74
14	12.0	24.0	-2.14	-2.05	6.97	4.40	4.01
15	12.5	24.0	-2.36	-2.32	7.77	4.92	4.40



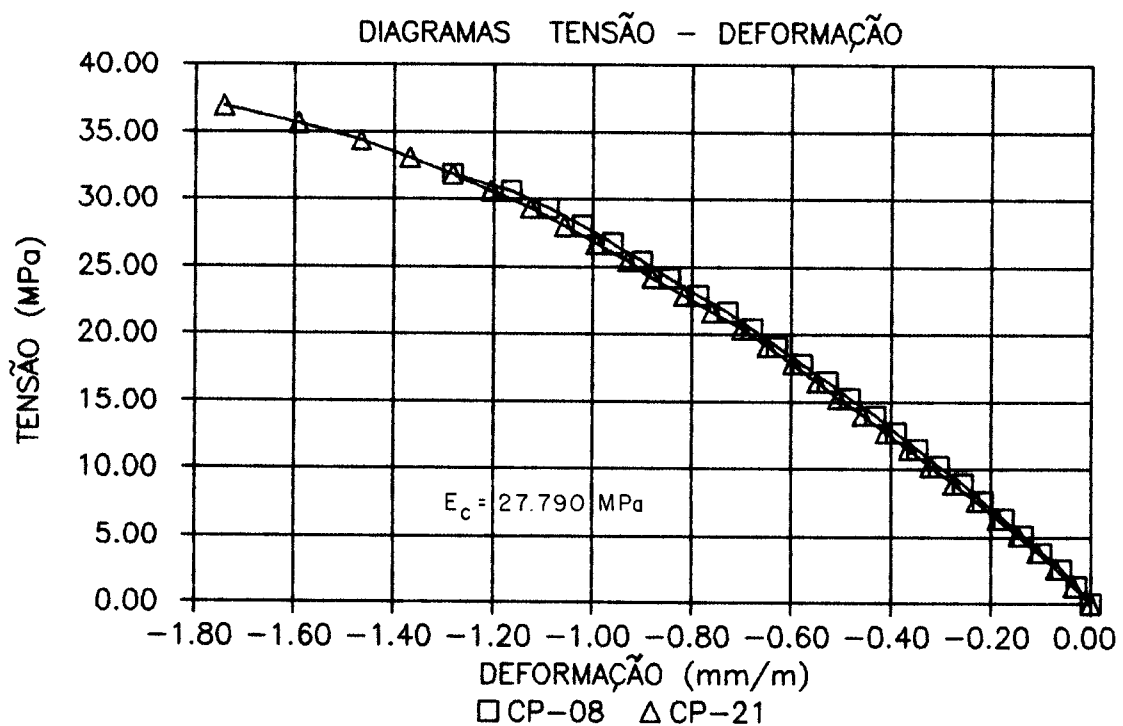
RESULTADOS DOS ENSAIOS DOS CORPOS-DE-PROVA DE ARGAMASSA

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)

RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (MPa)

IDADE	1 DIA	3 DIAS	7 DIAS
	21.0	33.1	39.6
	18.5	31.8	40.7
	20.4	31.8	37.3
	21.6	33.7	36.9
MÉDIA	20.4	32.6	38.6

IDADE	1 DIA	3 DIAS	7 DIAS
	2.0	2.2	3.4
	1.4	2.2	3.0
	1.9	2.8	3.4
	1.9	2.8	3.0
MÉDIA	1.8	2.5	3.2



VALOR DAS ABERTURAS DAS FISSURAS (mm)

REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

ETAPA	FORÇA(kN)	TA	TB1	TB2	TB3	TC	AA	AB1	AB2	AB3	AC
6	3.5			0.06	0.06	0.04					
7	5.0	0.06	0.09	0.10	0.10	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
8	6.5	0.10	0.12	0.12	0.12	0.08	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
9	8.0	0.12	0.12	0.12	0.14	0.08	0.06	0.06	0.05	0.07	0.07
10	9.5	0.12	0.13	0.13	0.16	0.12	0.09	0.09	0.09	0.09	0.12
11	10.5	0.15	0.16	0.16	0.20	0.13	0.12	0.12	0.14	0.14	0.12
12	11.0	0.16	0.20	0.16	0.20	0.13	0.13	0.12	0.14	0.14	0.15
13	11.5	0.16	0.20	0.20	0.20	0.16	0.12	0.14	0.14	0.14	0.16
14	12.0	0.16	0.20	0.20	0.25	0.16	0.14	0.16	0.14	0.14	0.16
15	12.5	0.16	0.20	0.20	0.25	0.16	0.14	0.16	0.16	0.14	0.16

ESPAÇAMENTO ENTRE FISSURAS NA ALMA JUNTO A MESA (mm)

REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

AA	AB1	AB2	AB3	AC	
36	47	45	88	25	
26	65	40	38	46	
58	57	48	43	60	
80	15	48	46	55	
50	107	56	37	33	
58		38	35	108	
55				48	
78				50	
55				53	
80				66	
50				30	
55				70	
33				98	
48				35	
28				52	
82				90	
MÉDIA	55	58	46	48	57

ESPAÇAMENTO ENTRE FISSURAS NA ALMA NA ALTURA h/2 (mm)

REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

AA	AB1	AB2	AB3	AC	
35	60	48	31	52	
66	53	50	67	49	
98	115	26	50	78	
78		57	38	53	
35		38	45	53	
65		65	42	50	
90			35	75	
78				55	
58				80	
62				45	
52				80	
90				15	
				53	
				30	
				65	
MÉDIA	67	76	47	44	56

ESPAÇAMENTO ENTRE FISSURAS NO CENTRO
DA MESA TRACIONADA (mm)

REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

TA	TB1	TB2	TB3	TC	
76	25	45	40	45	
31	20	60	25	35	
35	22	45	60	33	
33	41	35	50	40	
43	41	43	48	32	
58	50	46	37	32	
36	45		25	33	
20	30			57	
42	25			45	
23				25	
52				50	
45				37	
15				40	
40				35	
58				50	
48				55	
35				48	
38				32	
40				38	
40				53	
28					
35					
35					
23					
20					
MÉDIA	37	33	46	41	41

ESPAÇAMENTO ENTRE FISSURAS NA MESA TRACIONADA
JUNTO A BORDA ESQUERDA (mm)

REGIÕES DE OBSERVAÇÃO

TA	TB1	TB2	TB3	TC	
63	10	40	45	28	
43	15	25	50	42	
45	32	40	48	34	
45	33	48	20	36	
38	42	37	40	23	
42	45	32	40	33	
48	62	22	38	30	
15	25	15		33	
40	30			38	
45				38	
35				35	
28				33	
25				45	
43				45	
33				30	
58				25	
25				45	
46				58	
25				60	
30				32	
27				50	
12				50	
35					
34					
MÉDIA	37	33	32	40	38

6. ANÁLISE DOS RESULTADOS

6.1 ESTADO LIMITE ÚLTIMO

Os resultados experimentais obtidos através dos ensaios dos modelos foram comparados com os resultados teórico-experimentais utilizando-se os critérios de cálculo apresentados nos capítulo 2 deste trabalho. Esses resultados foram determinados utilizando-se o programa para microcomputador que é apresentado no apêndice 1.

Esse programa de verificação da resistência de peça fletida segue as indicações do Projeto de Norma de Argamassa Armada e, por conseguinte, no que couber, a NBR 6118. As situações de deformações, aceitas como convencionais, adotadas nos domínios 2 e 3, foram as indicadas na Figura 2.1 ou sejam, deformações máximas na argamassa junto à borda comprimida de 3,5% para o domínio 3 e menor que este valor para o domínio 2. Para os fios da tela na camada mais próxima da face mais tracionada da viga, as deformações aceitas são iguais a 10% para o domínio 2 e deformações entre este valor e a deformação de escoamento (ϵ_{yd}) para o domínio 3.

As deformações na argamassa junto à borda comprimida e nos fios complementares posicionados na mesa tracionada, foram medidas desde o carregamento inicial aplicado até uma etapa anterior à ruína do modelo. Com esses valores das deformações pode-se desenhar o diagrama de compatibilidade de deformações e determinar as deformações de cada fio da tela, desde que conhecida a sua posição. A tensão em cada fio foi determinada mediante consulta aos diagramas tensão (σ_s) - deformação (ϵ_s) apresentados no item 4.3 e fornecidos ao programa. Para cada modelo determinou-se a resistência média à compressão da argamassa, bem como, o diagrama tensão (σ_c) - deformação (ϵ_c) para dois corpos-de prova que foram instrumentados. De posse desses dados e usando o programa pode-se determinar o momento fletor resistente em cada etapa de carga. Em particular, determinou-se o momento fletor resistente para uma etapa de carregamento próximo da ruína.

Com esse objetivo alterou-se o programa AACALC substituindo a verificação da compatibilidade de deformações, com valores limites dos domínios 2 e 3, por deformações $\epsilon_{c,exp}$ e $\epsilon_{s,exp}$ medidas nos ensaios. Esse programa, agora chamado de ACCALC, foi também alimentado com o valor da posição da linha neutra (x_{exp}) calculada em função de $\epsilon_{c,exp}$ e $\epsilon_{s,exp}$. Seguindo, a partir daí, o procedimento normal do programa, obtinham-se como informações, o momento fletor resistente teórico-experimental, a força cortante teórico-experimental, as deformações e tensões na borda comprimida da argamassa e nos fios das telas posicionados segundo os detalhamentos apresentados no capítulo 4, que eram verificados antes das moldagens.

Para efeito de justificativa do processo de determinação do momento fletor resistente, levando em conta a contribuição dos fios longitudinais posicionados na alma calculam-se os momentos fletores teórico-experimentais obtidos com as hipóteses do item 2.1 usando o programa modificado para uma etapa de carga anterior à ruína. Ainda, com o mesmo fim, calcularam-se os esforços solicitantes últimos - momento fletor e força cortante com as hipóteses dos itens 2.1 e 2.4.

Os cálculos dos momentos fletores últimos teóricos e das forças cortantes últimas teóricas foram feitos com os valores das resistências da argamassa e dos fios da tela e da armadura complementar, obtidas em ensaios, sem nenhuma redução por coeficientes de ponderação das resistências.

Para os fios de aço das telas utilizaram-se o diagrama médio tensão (σ_s) - deformação (ϵ_s) da Figura 4.30 e para os fios de aço das armaduras complementares os diagramas médios das Figuras 4.31 (modelos da série 1) e 4.32 (modelos da série 2 e demais).

Os principais parâmetros - valores médios - desses diagramas foram adotados de acordo com a Tabela 4.4.

As resistências médias das argamassas com as quais se moldaram os modelos foram determinadas por ensaios de compressão axial (f_{cj}) e por compressão diametral (f_{tj}) de corpos-de-prova cilíndricos realizados nos mesmos dias dos ensaios dos modelos. Esses valores médios também são mostrados na Tabela 6.1.

As tensões de compressão nas fibras mais comprimidas das seções transversais dos modelos foram adotadas iguais as resistências médias à compressão determinada para cada modelo, isto é, $\sigma_c = f_{cj}$.

Como foi visto no item 2.1.2 - Hipóteses de Cálculo, figura 2.2, o diagrama adotado para representar as tensões de compressão na zona comprimida da seção transversal foi o diagrama retangular com comprimento $y = 0,8x$.

As posições dos fios longitudinais das telas foram consideradas como as indicadas nos detalhamentos apresentados no capítulo 4.

A Tabela 6.1 apresenta, para efeito de comparação, os esforços solicitantes últimos experimentais e os esforços solicitantes últimos teórico-experimentais, calculados com as hipóteses apresentadas no capítulo 2 deste trabalho e usando o programa desenvolvido.

Da análise desses resultados pode-se indicar:

a) Para todos os modelos da série 1, que romperam por ação da força cortante por deficiência de armadura transversal

TABELA 6.1 — COMPARAÇÃO ENTRE OS ESFORÇOS SOLICITANTES ÚLTIMOS EXPERIMENTAIS COM OS TEÓRICO - EXPERIMENTAIS.

MODELO	f_c (MPa)	f_t (MPa)	M_{uteo} (kN/m)	V_{uteo} (kN)	M_{uexp} (kN/m)	V_{uexp} (kN)	$\frac{S_{exp}}{S_{teo}}$
1 / 1	39,8	3,1		26,90		35,0	1,30
1 / 2	43,5	3,2		27,51		33,0	1,20
1 / 3	35,4	3,4		27,39		39,8	1,45
1 / 4	36,5	3,6		28,07		35,0	1,25
2 / 1	37,6	3,4	20,63	20,67	19,70	13,13	0,95
2 / 2	37,0	3,1	20,70	20,87	19,35	12,90	0,93
2 / 3	41,4	3,3	20,94	21,40	18,53	12,35	0,88
3 / 1	36,2	2,8	20,60	38,42	19,44	12,96	0,94
3 / 2	40,3	3,8	21,17	38,87	19,74	13,14	0,93
3 / 3	39,3	3,1	20,72	39,12	20,21	13,47	0,98
4 / 1	43,9	3,1	21,05	20,73	18,75	12,30	0,89
5 / 1	37,0	3,0	21,16	38,45	19,26	12,50	0,91
5 / 1 A	38,6	3,2	20,74	20,70	19,05	12,84	0,92

posicionada na alma, as forças aplicadas aos modelos ficaram em média 30% acima das forças cortantes calculadas com as hipóteses do item 2.4 deste trabalho.

b) Os modelos das séries 2, 3, 4 e 5 que romperam por flexão, tiveram a ruína caracterizada pelo domínio 2 - convencional - definido pelos domínios de deformações da NBR 6118. Os momentos últimos teórico-experimentais resultaram, em média 7% maiores que os momentos últimos experimentais.

c) Se todos os modelos da série 1 rompessem à flexão, esta seria caracterizada por deformações compatíveis com as do domínio 3 de deformações - convencional - da NBR 6118. Os modelos das séries 2 e demais romperiam, como de fato ocorreu, com deformações contidas no domínio 2 - convencional.

A Tabela 6.2 apresenta os momentos fletores experimentais observados em uma etapa anterior à ruptura e os momentos fletores teórico-experimentais calculados com o programa que leva em conta para a determinação destes, a contribuição de todos os fios das telas distribuídos nas almas. Essa tabela apresenta ainda: as tensões que se consideraram nas bordas mais comprimidas da seção transversal; as deformações médias experimentais medidas na argamassa comprimida ($\varepsilon_{c,exp}$) e nos fios das armaduras complementares ($\varepsilon_{s,exp}$) e a posição da linha neutra determinada experimentalmente (x_{exp}).

As tensões que se consideraram nas bordas comprimidas das seções transversais dos modelos foram adotadas iguais a 95% de σ_c . Convencionaram-se esses valores para levar em conta a diferença entre as resistências das argamassas medidas em corpos-de-prova e as resistências da argamassa junto à borda comprimida do modelo. As resistências das argamassas (f_c) foram determinadas nos diagramas tensão (σ_c) - deformação (ε_c) em função das deformações ($\varepsilon_{c,exp}$) medidas nos ensaios nas etapas consideradas.

Os momentos fletores experimentais listados na tabela 6.2 são referentes a etapas anteriores às últimas de carregamento

TABELA 6.2 — COMPARAÇÃO ENTRE O MOMENTO FLETOR EXPERIMENTAL E O TEÓRICO — EXPERIMENTAL EM UMA ETAPA ANTERIOR À RUÍNA.

MODELO	ϵ_c (‰)	σ_c (MPa)	$0,95 \sigma_c$ (MPa)	$\epsilon_{s \text{ exp}}$ (‰)	x_{exp} (mm)	M_{exp} (kNm)	M_{teo} (kNm)	$\frac{M_{\text{teo}}}{M_{\text{exp}}}$
1/1	1,137	28,9	27,5	2,387	76,6	28,96	29,38	1,01
1/2	1,287	31,4	29,8	2,583	79,0	28,96	32,22	1,11
1/3	1,800	35,0	33,3	3,177	85,9	33,79	37,46	1,11
1/4	1,815	30,0	28,5	3,100	87,7	33,79	32,55	1,04
2/1	2,050	37,6	35,7	5,790	49,0	18,75	21,15	1,13
2/2	1,973	35,9	34,1	5,230	51,4	18,00	20,71	1,15
2/3	2,970	41,4	39,3	10,170	42,4	18,53	21,45	1,16
3/1	2,240	32,5	30,9	6,057	50,6	18,75	18,59	0,99
3/2	1,990	38,9	37,0	7,153	40,8	19,50	20,42	1,05
3/3	1,480	35,0	33,3	5,903	37,6	18,75	16,89	0,90
4/1	2,000	40,0	38,0	5,430	50,5	18,00	22,70	1,26
5/1	2,010	36,4	34,6	8,467	36,0	18,00	18,43	1,02
5/1A	2,005	38,6	36,7	7,187	40,9	18,75	20,52	1,09

dos ensaios dos modelos e podem ser conferidos nas tabelas do item 6.3 deste capítulo, referente a cada modelo ensaiado.

Comparando os momentos fletores últimos experimentais com os momentos fletores últimos teóricos nota-se que a diferença entre eles é de 7,0% para os modelos da série 1 e 8,0% para os modelos das séries 2 e seguintes.

Com esses resultados confirmam-se plenamente o modelo físico-matemático proposto no capítulo 2, itens 2.1 e 2.4, deste trabalho.

6.2 ESTADO DE FORMAÇÃO DE FISSURAS

A verificação teórico-experimental do estado de formação de fissuras, para os modelos ensaiados, foi feita considerando as hipóteses apresentadas no item 3.2 deste trabalho e indicadas pelo Projeto de Norma de Argamassa Armada, que por sua vez, as remete para as indicações da NBR 6118/80.

As resistências médias à tração determinadas para as argamassas com as quais se moldaram os corpos-de-prova são mostradas na Tabela 6.3. Com essas resistências calcularam-se os momentos fletores de fissuração teórico-experimentais ($M_{r,teo}$) que são apresentados na Tabela 6.3.

As equações com as quais se calcularam os momentos fletores de fissuração para uma seção transversal duplo T, com linha neutra, neste estado, posicionada na mesa tracionada, alma e mesa comprimida, estão afetados do coeficiente 0,75. Lembra-se aqui que este coeficiente, como simplificação, reduz a resistência de tração na argamassa, na fibra mais tracionada, para levar em conta o efeito da retração, de acordo com as hipóteses de cálculo da NBR 6118.

Apresentam-se na Tabela 6.3, para cada modelo, as taxas de armadura longitudinais totais ($\rho_{s,tot}$) em que se levaram em conta todos os fios longitudinais distribuídos ao longo da linha esqueleto da seção transversal da viga e os fios complementares, taxa de armadura da tela ($\rho_{s,tela}$) em que se computaram apenas os fios das telas e taxa de armadura

TABELA 6.3 — ESTADO DE FORMAÇÃO DE FISSURAS—COMPARAÇÃO ENTRE OS MOMENTOS FLETORES DE FISSURAÇÃO EXPERIMENTAL E TEÓRICOS .

MODELO	ρ_{stot} (%)	ρ_{stela} (%)	ρ_{sw} (%)	f_{tj} (MPa)	$x_{r,exp}$ (mm)	$x_{r,teo}$ (mm)	$a_{r,exp}$ (mm)	$a_{r,teo}$ (mm)	$M_{r,exp}$ (kNm)	$M_{r,teo}$ (kNm)	$\frac{M_{r,exp}}{M_{r,teo}}$
1 / 1	1,63	0,99	0,50	3,1	120,1	111,1	1,22	1,25	7,24	6,34	1,14
1 / 2	1,87	1,14	0,50	3,2	80,5	102,0	1,09	0,93	6,28	5,33	1,18
1 / 3	2,20	1,33	0,50	3,4	86,9	91,4	1,28	1,03	4,83	4,36	1,11
1 / 4	2,66	1,61	0,50	3,6	61,6	79,0	0,75	0,60	2,41	3,21	0,75
2 / 1	1,15	0,89	0,50	3,4	129,7	91,5	2,65	2,81	4,50	4,28	1,05
2 / 2	1,36	1,05	0,50	3,1	122,7	82,2	2,73	2,62	3,75	2,99	1,25
2 / 3	1,67	1,29	0,50	3,3	62,8	72,6	3,55	2,38	3,00	2,23	1,35
3 / 1	1,15	0,89	1,00	2,8	83,2	91,5	3,15	2,50	4,50	3,53	1,29
3 / 2	1,36	1,05	1,00	3,8	91,4	82,2	2,70	2,74	3,75	3,67	1,02
3 / 3	1,67	1,29	1,00	3,1	81,1	72,6	3,57	2,70	3,00	2,10	1,43
4 / 1	1,15	0,89	$\frac{0,25}{0,50}$	3,1	118,8	91,5	2,25	2,43	3,75	3,90	0,96
5 / 1	1,15	0,89	$\frac{0,50}{1,00}$	3,0	128,3	91,5	3,42	2,89	4,50	3,77	1,19
5 / 1A	1,15	0,89	$\frac{0,50}{0,50}$	3,2	120,3	91,5	3,03	3,06	4,50	4,03	1,12

transversal onde se contou apenas com os fios verticais posicionados nas almas. Esses cálculos foram feitos segundo os detalhamentos das armaduras dos modelos apresentados no capítulo 4.

A posição da linha neutra ($x_{r,exp}$) no instante do aparecimento da primeira fissura, o deslocamento ($a_{r,exp}$) medido para esta etapa de carga e o momento fletor de fissuração experimental, mostrados na Tabela 6.3, para cada modelo, foram copiados das tabelas que serão vistas no item 6.3.

Os valores teóricos-experimentais, $x_{r,teo}$ e $M_{r,teo}$ foram calculados usando o programa, montado com as equações deduzidas no capítulo 3, item 3.2, deste trabalho. O deslocamento teórico-experimental foi calculado com as expressões 3.118 - modelos da série 1 e 3.119 - modelos das séries 2 e demais, substituindo-se $0,85 E_c$ por $E_{c,exp}$, cujos valores do módulo de deformação longitudinal tangente da argamassa foram determinados experimentalmente (resultados apresentados no capítulo 5), e substituindo-se o valor do momento de inércia equivalente I_{eq} pelo momento de inércia da seção transversal calculada em relação ao eixo, perpendicular ao eixo longitudinal da peça, passando pelo centro geométrico da seção.

Da análise da Tabela 6.3 pode-se observar:

a) O momento fletor de fissuração experimental diminuiu à medida que se diminuíram as larguras das mesas tracionadas e, por conseguinte, se aumentaram as taxas totais de armadura longitudinal.

b) Os modelos com mesma seção transversal, apresentaram o mesmo momento fletor de fissuração experimental, a menos do modelo 4/1. Disso se conclui que o valor da resistência à tração da argamassa e da taxa de armadura transversal (ρ_{sw}), para os modelos estudados e nas condições indicadas, não influenciaram de modo significativo nesse valor.

Essas influências, como será visto no item seguinte, são significativas nas aberturas e nos espaçamentos das fissuras.

c) Os valores teórico-experimentais, da posição da linha neutra ($x_{r,teo}$), do deslocamento ($a_{r,exp}$) e do momento fletor de fissuração ($M_{r,teo}$) embora não sejam iguais aos experimentais respectivos fornecem um bom indicativo para projetos.

Ressalta-se, e isso pode ser observado nas tabelas do item 6.3, que os momentos fletores de fissuração foram determinados através dos diagramas força-deslocamento e força-deformação apresentados no capítulo 4.

Durante os ensaios, um pouco antes de perder rigidez, devido ao aparecimento de fissuras visíveis, o processo de micro fissuração interna, junto a borda tracionada, deveria ser intenso. Isso pode ser notado acompanhando-se, nas tabelas do item 6.3, os valores obtidos para as etapas de ensaios próximas da etapa de carga para a qual se detectou perda de rigidez.

d) Nos modelos 4/1, 5/1 e 5/1A, nos quais se posicionaram apenas uma tela longitudinal ao longo do esqueleto da seção transversal, mantendo-se a resistência da seção colocando fios adicionais de tela, os momentos fletores de fissuração destes modelos foram praticamente iguais, (a menos do modelo 4/1), aos dos modelos 2/1 e 3/1 que possuíam a mesma seção transversal, porém com duas telas.

6.3 ESTADOS DE UTILIZAÇÃO

6.3.1 Considerações Iniciais

As tabelas apresentadas neste item foram montadas considerando-se os resultados mostrados no capítulo 5. As deformações na face comprimida da viga ($\varepsilon_{c,exp}$) e na armadura complementar ($\varepsilon_{s,exp}$) representam as médias dos valores medidos com os extensômetros elétricos. No modelo 1/4, $\varepsilon_{c,exp}$ representa a média das deformações na borda comprimida da viga medidas com extensômetro mecânico.

O valor da posição da linha neutra foi calculado considerando-se a hipótese que as seções planas permanecem

planas após as deformações. Considerando a compatibilidade de deformações, para peças submetidas à flexão simples, com armadura simples, pode-se escrever:

$$\frac{\epsilon_{c,exp}}{x} = \frac{\epsilon_{s,exp}}{d-x} \quad (6.1)$$

Para o cálculo das taxas de armaduras (ρ_r) considerou-se o critério do Anexo da NBR 7197 relativo aos Estados Limites de Aberturas de Fissuras sendo ρ_r dado pela expressão:

$$\rho_r = \frac{A_s}{A_{cr}} \quad (6.2)$$

onde,

A_s é a área de armadura constituída pela soma das áreas das seções transversais dos fios longitudinais das telas posicionadas abaixo da linha neutra, considerando a seção fissurada (Estádio II), acrescida da soma das áreas dos fios complementares posicionados nas mesas tracionadas;

A_{cr} é a área interessada à fissuração [NBR 6118] definida com o critério da figura 6.1, onde $7,5\phi$ é igual a 15mm pois o diâmetro dos fios das telas eram iguais a 2mm.

Analisando a figura 6.2 pode-se escrever para cálculo de A_{cr} a expressão 6.3

$$A_{cr} = (b_{fi} - b_w) \cdot h_{fi} + b_w \cdot [h-x] \quad (6.3)$$

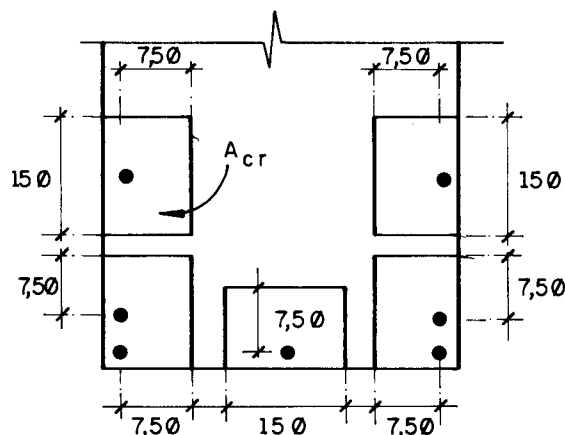


FIGURA 6.1 - DETERMINAÇÃO DE A_{cr} [NBR 7197]

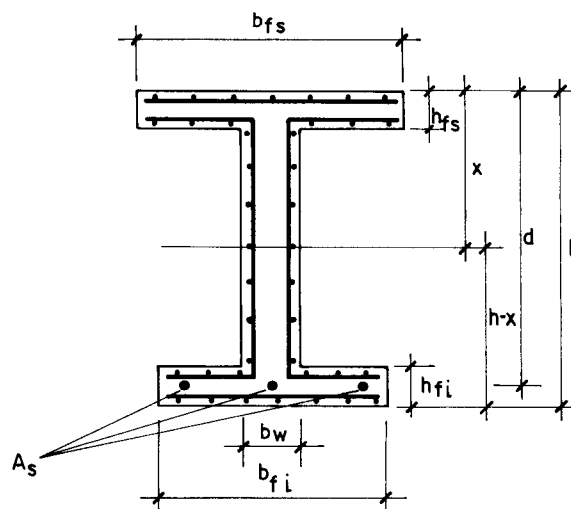


FIGURA 6.2 - CÁLCULO DE A_{cr}

Com relação ao valor das aberturas das fissuras apresentam-se os valores relativos às fissuras convencionadas para serem acompanhadas desde o seu aparecimento até a etapa anterior à ruína. Esses valores representam as médias das aberturas observadas na zona B, eixos 1 e 2, conforme figuras 4.38 - modelos da série 1 e 4.40 - modelos da série 2 e seguintes. Em cada trecho da zona B, se convencionou acompanhar, até à ruína do modelo, a primeira fissura observada.

A título de comparação, calculam-se as aberturas das fissuras média e característica com as expressões 3.61 e 3.76, deste trabalho, respectivamente. Para cálculo da abertura média experimental adotou-se espaçamento entre as fissuras, o valor médio experimental do trecho B de observação, e anotado em cada tabela representativa dos resultados de cada modelo.

As aberturas das fissuras calculadas, média e característica foram determinadas utilizando-se aquelas expressões citadas que haviam sido incorporadas ao programa, que só forneciam os valores das aberturas características, com os valores médios calculados pela expressão 3.61.

Os deslocamentos teóricos (a_{teo}) foram determinados usando os programas citados, em função do momento fletor de serviço, para cada etapa de aplicação de forças, com as expressões 3.118 - modelos da série 1 e 3.119 - modelos da série 2 e seguintes. O módulo de deformação longitudinal da argamassa utilizado para determinação dos deslocamentos foi o obtido experimentalmente.

Nas figuras 6.3 e 6.4 - modelos da série 1, 6.5 - modelos da série 2, 6.6 - modelos da série 3 e 6.7 - modelos 4,5 e 5/1A, apresentam-se, a título de comparação, os diagramas força-deslocamento calculados teoricamente e os observados experimentalmente.

Na tabela 6.22 apresentam-se os valores dos módulos de deformação longitudinal experimental e teórico calculado em função da resistência média à compressão da argamassa. Pode-se notar que a indicação de se calcular o módulo de deformação longitudinal da argamassa utilizando as recomendações do projeto de norma brasileira de argamassa armada, quando não se tem dados experimentais para esse valor, e calculando em função

da resistência média à compressão é válida.

Para os momentos fletores menores que o momento fletor de fissuração o momento de inércia utilizado no cálculo dos deslocamentos era os da seção íntegra (I_c); nos casos contrários, isto é, $M > M_f$, foi utilizado o valor do momento de inércia equivalente (I_{eq}) dado pela expressão 3.115.

Os programas para microcomputador também foram elaborados com as equações deduzidas no item 3.1 - Cálculo das Tensões no Estádio II. Com isso se obtinham os cálculos das deformações na borda comprimida e na armadura complementar posicionada na mesa tracionada e as respectivas tensões.

As hipóteses de cálculo no Estádio II eram consideradas válidas quando o momento fletor de serviço, fornecido como dado ao programa, gerava na borda comprimida, uma tensão menor que a tensão de serviço, isto é, $\sigma_c < 0,95f_c$.

6.3.2 Modelos da Série 1

Todos os modelos da série 1 romperam por ação de força cortante em plano contido entre o plano de aplicação de uma das forças e o plano da seção de um dos apoios.

O modelo 1/1 apresentou força de fissuração igual a 7,5kN (sublinhado com linha tracejada na tabela 6.4), como pode ser notado nos diagramas força-deslocamento e força-deformação mostrados no capítulo 5, com respectivo momento fletor de fissuração igual a 7,24kNm. A taxa média de armadura, calculada com o critério do Anexo da NBR 7197, resultou igual a 1,79% . A primeira fissura visível, notada no ensaio, surgiu com a carga de 10kN e momento fletor de 9,65kNm. A primeira fissura surgiu em seção transversal, contida entre os planos de aplicação das cargas, região B da figura 4.37, com abertura de 0,05mm. Na região de flexão pura, desprezando-se o efeito da força cortante, por ser pequena a contribuição do peso próprio em face das grandezas das forças concentradas aplicadas, as aberturas das fissuras progrediram até 0,08mm.

No Estádio II, seção fissurada, a posição da linha neutra variou de 88,5mm até 76,6mm.

Para a taxa média de armadura (ρ_r), calculada supondo seção fissurada, de 1,79%, as aberturas de fissuras, determinadas experimentalmente, ficaram entre 0,05mm e 0,08mm, com a tensão na armadura complementar variando entre 82,8MPa e 459MPa respectivamente.

As aberturas médias de fissuras ($w_{m,exp}$), calculadas com a equação 3.61, que leva em conta o espaçamento médio experimental entre as fissuras e a deformação na armadura complementar medida experimentalmente, resultaram praticamente iguais às aberturas convencionais medidas durante o ensaio e em cada etapa do carregamento.

Essa identidade também foi observada entre as aberturas das fissuras experimentais (w_{exp}) e as aberturas características calculadas ($w_{k,cal}$) usando o programa.

No modelo 1/2 (tabela 6.5) foi observado uma força de fissuração igual a 6,5kN, apontado pela perda de rigidez nos diagramas força-deslocamento e força-deformação (capítulo 5) e momento fletor de fissuração de 6,28kNm. A primeira fissura visível foi observada com a força de 7,5kN aplicadas nas seções de terço de vão. A taxa média de armadura resultou igual a 2,14% calculada considerando a seção fissurada. A posição da linha neutra, após a primeira fissura, permaneceu praticamente constante até a ruína.

As tensões na armadura variaram entre 84,4MPa e 496,3MPa desde o aparecimento da primeira fissura até a ruína. As aberturas das fissuras observadas experimentalmente (w_{exp}) ficaram entre 0,05mm e 0,09mm respectivamente.

As aberturas médias experimentais ($w_{m,exp}$) para as duas últimas etapas de carga resultaram praticamente iguais aos observados experimentalmente. As aberturas médias calculadas ($w_{m,calc}$) com o programa resultaram praticamente iguais às aberturas observadas durante o ensaio (w_{exp}).

No modelo 1/3 (tabela 6.6) notou-se que a perda de rigidez, correspondente ao início da fase de fissuração ocorreu para a força de 5kN, momento fletor de fissuração de 4,83kNm (capítulo 5, gráficos força-deslocamento e força-deformações). A primeira fissura visível só foi notada, durante o ensaio, para a força de 12,5kN (2,5 vezes a força de 5kN) e momento

fletor de 12,07kNm, com abertura de 0,04mm em seção transversal entre os planos de aplicação de cargas. A taxa média de armadura, considerando a seção fissurada, resultou igual a 2,65% . A tensão na armadura variou de 186,7MPa, relativa ao estágio no qual se observou a primeira fissura até 594,1MPa na fase que antecedeu à ruína. A posição da linha neutra ficou praticamente constante nas etapas de carregamento.

No modelo 1/4 (tabela 6.7) a perda de rigidez, situação que caracteriza a passagem do Estádio I para o Estádio II, ocorreu para a força de 2,5kN e momento fletor de fissuração correspondente de 2,41kNm (capítulo 5). A primeira fissura visível foi observada para a etapa de ensaio relativa a 10kN aplicada em cada terço, isto é, quatro vezes a carga em que ocorreu perda de rigidez segundo os diagramas força-deslocamento e força-deformação. A taxa média de armadura (ρ_r) foi de 3,67%. A tensão na armadura complementar variou entre 134,7MPa até 582,7MPa relativos às forças para a qual se observou a primeira fissura e a força anterior a etapa que ocorreu à ruína, respectivamente.

Também se observaram para os modelos 1/3 e 1/4 que as aberturas de fissuras experimentais (w_{exp}), as aberturas médias experimentais ($w_{m,exp}$) calculadas com a expressão 3.61 e a abertura média calculada com o programa são praticamente iguais.

Analisando as tabelas, apresentadas neste item, relativas aos modelos da série 1, podem-se concluir:

a) À medida que se diminuíram as rigidezes dos modelos, modificando-se as larguras das mesas tracionadas, diminuíram os momentos fletores de fissuração observados pela perda de rigidez dos modelos nos diagramas força-deslocamento e força-deformação;

b) Com as diminuições das larguras das mesas tracionadas e manutenção da armadura total para todos os modelos as taxas de armaduras aumentaram. Esse fato fez com que fosse retardado o aparecimento da primeira fissura visível;

c) As aberturas das fissuras nos modelos 1/3 e 1/4, com taxas de armaduras maiores em relação aos modelos 1/1 e 1/2, são algo menores.

d) A relação entre o $M_{r,exp}$ e $M_{u,exp}$ ficou da ordem de 28% do $M_{u,exp}$ em média. Com relação ao aparecimento da primeira fissura visível, o momento fletor de fissuração, observado nos diagramas força-deslocamento e força-deformação, diminuiu à medida que se minorou a rigidez dos modelos.

e) Com taxas de armaduras maiores a microfissuração interna pareceu ser intensa, retardando o aparecimento da primeira fissura visível.

f) A análise da tabela 6.8 onde se listam os espaçamentos médios entre as fissuras, medidas nas regiões de observação de fissuras indicadas na figura 4.39, mostram que à medida que se aumentou a taxa de armadura, o espaçamento médio diminuiu. Os espaçamentos médios experimentais, apresentados na tabela 6.21, são diferentes daqueles calculados usando as indicações da norma de argamassa armada e também do espaçamento transversal dos fios da tela.

g) Para as taxas de armaduras (ρ_r) dos modelos da série 1, as aberturas de fissuras convencionais ficaram entre 0,04mm e 0,08mm com tensões na armadura transversal variando entre 82,8MPa e 594,1MPa. Os modelos 1/1 e 1/2 apresentaram o mesmo valor da tensão na armadura relativa à primeira fissura visível. Os modelos 1/3 e 1/4, com taxas de armadura (ρ_r), maiores que os dois primeiros, apresentaram tensões maiores relativas à primeira fissura visível e também nas etapas últimas. Essas tensões, calculadas para a última etapa antes da ruína são praticamente iguais as resistências de escoamento médio (f_y) igual a 756MPa (tabela 4.4) dividida por 1,4 para a armadura complementar constituída por fios de diâmetro 6,3mm.

TABELA 6.4 - MODELO 1/1 - ESTADOS DE UTILIZAÇÃO

F (kN)	M (kNm)	M/M _U (%)	ε _{t,exp} (‰)	ε _{c,exp} (‰)	ε _{c,teo} (‰)	ε _{s,exp} (‰)	ε _{s,teo} (‰)	x _{exp} (mm)	x _{teo} (mm)	ρ _{r,exp} (%)
2.5	2.41	7.1	0.04	0.060		0.037		146.9		
5.0	4.83	14.3	0.06	0.113		0.067		149.1		
7.5	7.24	21.4	0.18	0.177	0.362	0.173	0.693	120.1	70.9	1.82
10.0	9.65	28.6	0.50	0.257	0.502	0.433	0.924	88.5		1.81
12.5	12.07	35.7	0.79	0.373	0.657	0.697	1.156	82.8		1.80
15.0	14.48	42.9	1.02	0.473	0.831	0.897	1.387	82.0		1.79
20.0	19.31	57.1	1.65	0.687	1.303	1.467	1.849	75.7		1.78
25.0	24.13	71.4	2.29	0.900		1.930		75.5		1.77
30.0	28.96	85.7	2.93	1.137		2.387		76.6		1.78
35.0	33.79	100.0								

F (kN)	M (kNm)	σ _{s,exp} (MPa)	w _{exp} (mm)	w _{m,exp} (mm)	w _{k,exp} (mm)	w _{m,calc} (mm)	w _{k,calc} (mm)	a _{exp} (mm)	a _{teo} (mm)
2.5	2.41	7.1						0.53	0.49
5.0	4.83	12.8						0.76	0.96
7.5	7.24	33.0						1.22	1.88
10.0	9.65	82.8	0.05	0.02	0.03	0.06	0.08	2.02	3.74
12.5	12.07	132.8	0.05	0.03	0.05	0.06	0.10	3.57	5.68
15.0	14.48	188.0	0.06	0.04	0.06	0.07	0.12	5.09	7.52
20.0	19.31	279.4	0.08	0.06	0.10	0.10	0.16	8.68	10.93
25.0	24.13	367.6	0.08	0.08	0.13			12.54	
30.0	28.96	459.0	0.08	0.10	0.16			17.29	
35.0	33.79							21.31	

$$P_{sw} = 0.50\%$$

$$P_{s,tot} = 1.63\%$$

$$P_{s,tela} = 0.99\%$$

$$s_{exp} = 40 \text{ mm}$$

$$s_{teo} = 50 \text{ mm}$$

ruptura por cisalhamento $F_u = 35.0 \text{ kN}$

TABELA 6.5 - MODELO 1/2 - ESTADOS DE UTILIZAÇÃO

F (kN)	M (kNm)	M/M _u (%)	$\epsilon_{t,exp}$ (‰)	$\epsilon_{c,exp}$ (‰)	$\epsilon_{c,teo}$ (‰)	$\epsilon_{s,exp}$ (‰)	$\epsilon_{s,teo}$ (‰)	x_{exp} (mm)	x_{teo} (mm)	$\rho_{r,exp}$ (%)
2.5	2.41	7.6	0.32	0.097		0.257		65.1		
5.0	4.83	15.2	0.40	0.160		0.337		76.5		
6.5	6.28									
7.5	7.24	22.7	0.53	0.227	0.339	0.443	0.691	80.5	67.90	2.15
10.0	9.65	30.3	0.83	0.317	0.469	0.640	0.921	78.7		2.14
12.5	12.07	37.9	1.10	0.427	0.596	0.877	1.152	77.8		2.14
15.0	14.48	45.4	1.29	0.533	0.769	1.133	1.382	76.0		2.13
20.0	19.31	60.6	1.74	0.747	1.130	1.583	1.843	76.1		2.13
25.0	24.31	76.3	2.27	1.000		2.083		77.0		2.14
30.0	28.96	90.9	2.92	1.287		2.583		79.0		2.15
33.0	31.86	100.0								

F (kN)	M (kNm)	$\sigma_{s,exp}$ (MPa)	w_{exp} (mm)	$w_{m,exp}$ (mm)	$w_{k,exp}$ (mm)	$w_{m,calc}$ (mm)	$w_{k,calc}$ (mm)	a_{exp} (mm)	a_{teo} (mm)
2.5	2.41	49.0						1.07	0.50
5.0	4.83	64.2						1.52	1.00
6.5	6.28								
7.5	7.24	84.4	0.05	0.01	0.02	0.03	0.05	2.01	2.45
10.0	9.65	121.9	0.06	0.02	0.03	0.04	0.07	3.23	4.34
12.5	12.07	167.1	0.06	0.03	0.05	0.05	0.09	4.97	6.15
15.0	14.48	215.8	0.07	0.04	0.06	0.06	0.10	6.67	7.84
20.0	19.31	301.5	0.08	0.05	0.08	0.08	0.14	11.48	11.01
25.0	24.31	396.8	0.08	0.07	0.11			14.41	
30.0	28.96	496.3	0.09	0.08	0.14			18.93	
33.0	31.86								

$$\rho_{sw} = 0.50\%$$

$$\rho_{s,tot} = 1.87\%$$

$$\rho_{s,tela} = 1.14\%$$

$$s_{exp} = 32 \text{ mm}$$

$$s_{teo} = 45 \text{ mm}$$

ruptura por cisalhamento $F_u = 33.0 \text{ kN}$

TABELA 6.6 - MODELO 1/3 - ESTADOS DE UTILIZAÇÃO

F (kN)	M (kNm)	M/M _u (%)	$\epsilon_{t,exp}$ (‰)	$\epsilon_{c,exp}$ (‰)	$\epsilon_{c,teo}$ (‰)	$\epsilon_{s,exp}$ (‰)	$\epsilon_{s,teo}$ (‰)	x_{exp} (mm)	x_{teo} (mm)	$\rho_{r,exp}$ (%)
2.5	2.41	6.3	0.26	0.097		0.217		73.4		
5.0	4.83	12.6	0.39	0.173	0.213	0.300	0.459	86.9	70.3	
7.5	7.24	18.8	0.55	0.270	0.329	0.497	0.688	83.6		
10.0	9.65	25.1	0.83	0.373	0.454	0.750	0.918	78.9		
12.5	12.07	31.4	1.12	0.493	0.591	0.980	0.871	79.5		2.69
15.0	14.48	37.7	1.36	0.613	0.741	1.233	1.377	78.9		2.69
20.0	19.31	50.3	1.90	0.847	1.117	1.717	1.836	78.5		2.68
25.0	24.13	62.8	2.38	1.110		2.173		72.3		2.40
30.0	28.96	75.4	2.91	1.430		2.670		82.8		2.71
35.0	33.79	87.9	3.48	1.800		3.177		85.9		2.73
39.8	38.42	100.0								

F (kN)	M (kNm)	$\sigma_{s,exp}$ (MPa)	w_{exp} (mm)	$w_{m,exp}$ (mm)	$w_{k,exp}$ (mm)	$w_{m,calc}$ (mm)	$w_{k,calc}$ (mm)	α_{exp} (mm)	α_{teo} (mm)
2.5	2.41	41.3						0.75	0.61
5.0	4.83	57.1						1.28	1.45
7.5	7.24	94.7						2.19	3.34
10.0	9.65	142.9						3.57	5.14
12.5	12.07	186.7	0.04	0.03	0.05	0.05	0.08	5.09	6.79
15.0	14.48	234.9	0.05	0.04	0.07	0.06	0.09	6.70	8.47
20.0	19.31	327.1	0.06	0.06	0.09	0.07	0.12	10.24	11.39
25.0	24.13	413.9	0.07	0.07	0.12	0.09	0.15	14.09	14.35
30.0	28.96	512.0	0.07	0.09	0.14			18.12	
35.0	33.79	594.1	0.07	0.10	0.17			22.61	
39.8	38.42								

$$P_{sw} = 0.50\%$$

$$P_{s,tot} = 2.20\%$$

$$P_{s,tela} = 1.33\%$$

$$s_{exp} = 32 \text{ mm}$$

$$s_{teo} = 41 \text{ mm}$$

ruptura por cisalhamento $F_u = 39.8 \text{ kN}$

TABELA 6.7 - MODELO 1/4 - ESTADOS DE UTILIZAÇÃO

F (kN)	M (kNm)	M/M _u (%)	ε _{t,exp} (‰)	ε _{c,exp} (‰)	ε _{c,teo} (‰)	ε _{s,exp} (‰)	ε _{s,teo} (‰)	x _{exp} (mm)	x _{teo} (mm)	P _{r,exp} (%)
2.5	2.41	7.1	0.16	0.055	0.102	0.157	0.229	61.6	67.04	
5.0	4.83	14.3	0.26	0.160	0.211	0.243	0.458	94.3		
7.5	7.24	21.4	0.54	0.265	0.326	0.467	0.687	86.0		
10.0	9.65	28.6	0.84	0.415	0.450	0.707	0.915	87.8		3.70
12.5	12.07	35.7	1.11	0.475	0.586	0.900	1.145	82.0		3.63
15.0	14.48	42.9	1.34	0.710	0.735	1.137	1.373	91.3		3.75
20.0	19.31	57.2	1.88	0.850	1.104	1.623	1.831	81.6		3.62
25.0	24.13	71.4	2.39	1.110	1.943	2.093	2.289	82.3		3.63
30.0	<u>28.96</u>	85.7	2.95	1.475		2.600		86.0		3.68
35.0	33.79	100.0	3.51	1.815		3.100		87.7		3.70

F (kN)	M (kNm)	σ _{s,exp} (MPa)	w _{exp} (mm)	w _{m,exp} (mm)	w _{k,exp} (mm)	w _{m,calc} (mm)	w _{k,calc} (mm)	d _{exp} (mm)	d _{teo} (mm)
2.5	2.41	29.9						0.75	0.71
5.0	4.83	46.3						1.38	2.19
7.5	7.24	89.0						2.37	3.91
10.0	9.65	134.7	0.05	0.02	0.03	0.03	0.05	3.71	5.46
12.5	12.07	171.4	0.06	0.02	0.03	0.04	0.07	5.23	6.95
15.0	14.48	216.6	0.06	0.03	0.04	0.05	0.08	6.79	8.40
20.0	19.31	309.1	0.07	0.04	0.06	0.07	0.11	10.03	11.27
25.0	24.13	398.7	0.07	0.05	0.08	0.09	0.15	13.67	14.11
30.0	<u>28.96</u>	499.4	0.07	0.06	0.10			17.51	
35.0	33.79	582.7		0.07	0.12			25.81	

$$P_{sw} = 0.50\%$$

$$P_{s,tot} = 2.66\%$$

$$P_{s,tela} = 1.61\%$$

$$s_{exp} = 23 \text{ mm}$$

$$s_{teo} = 34 \text{ mm}$$

ruptura por cisalhamento $F_u = 35.0 \text{ kN}$

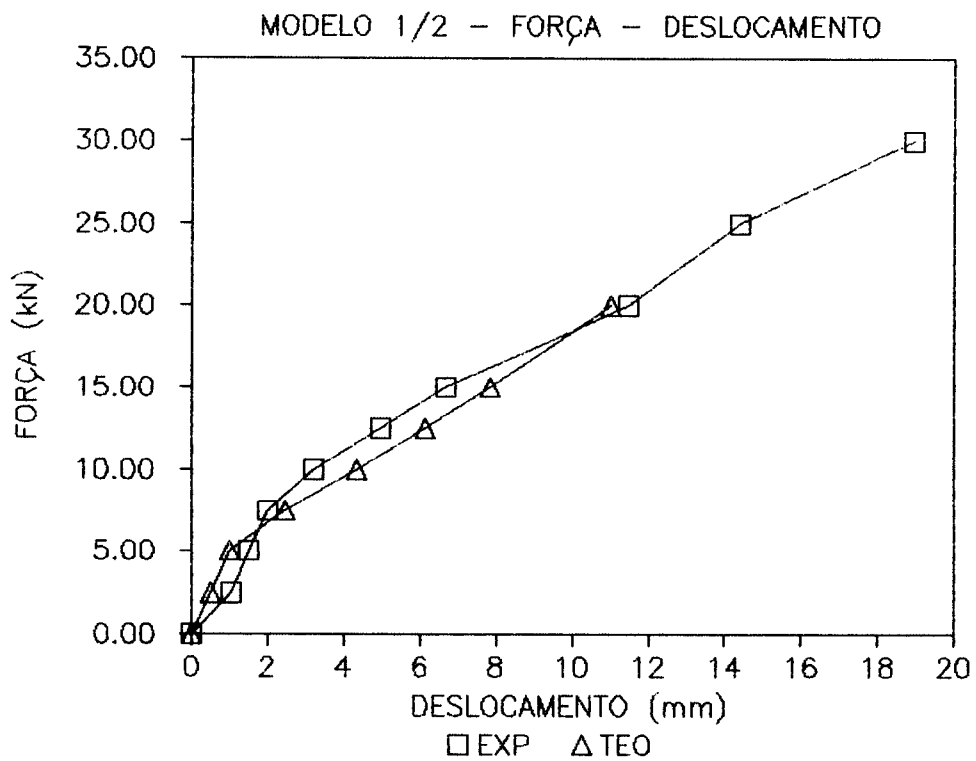
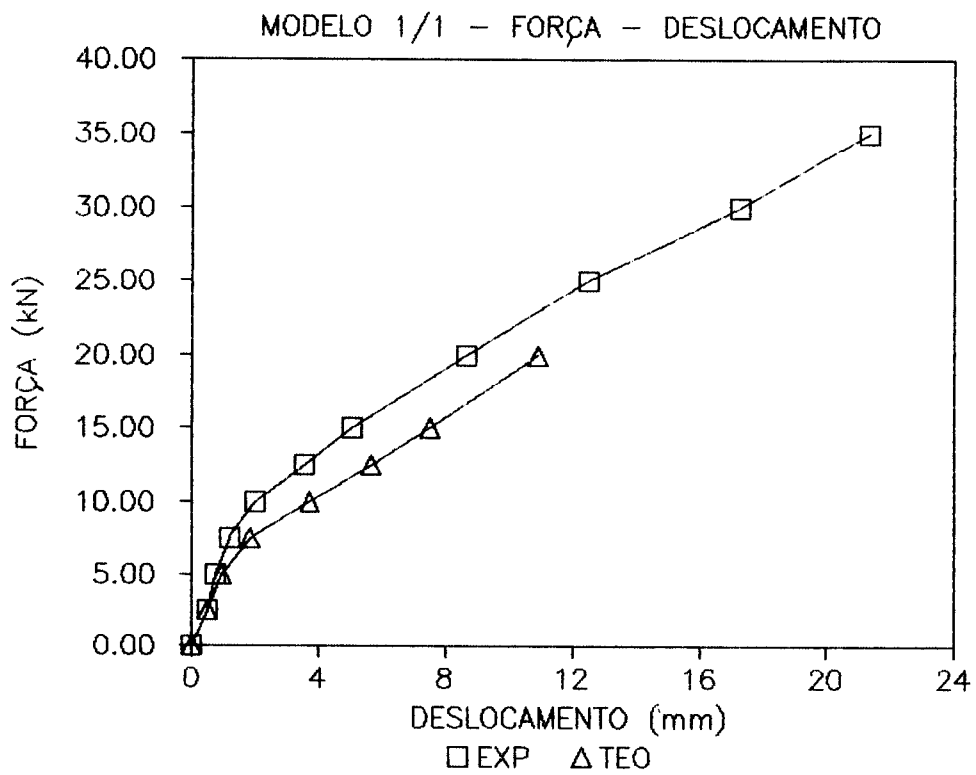


FIGURA 6.3 - DIAGRAMAS FORÇA - DESLOCAMENTO
 MODELOS : 1/1 e 1/2

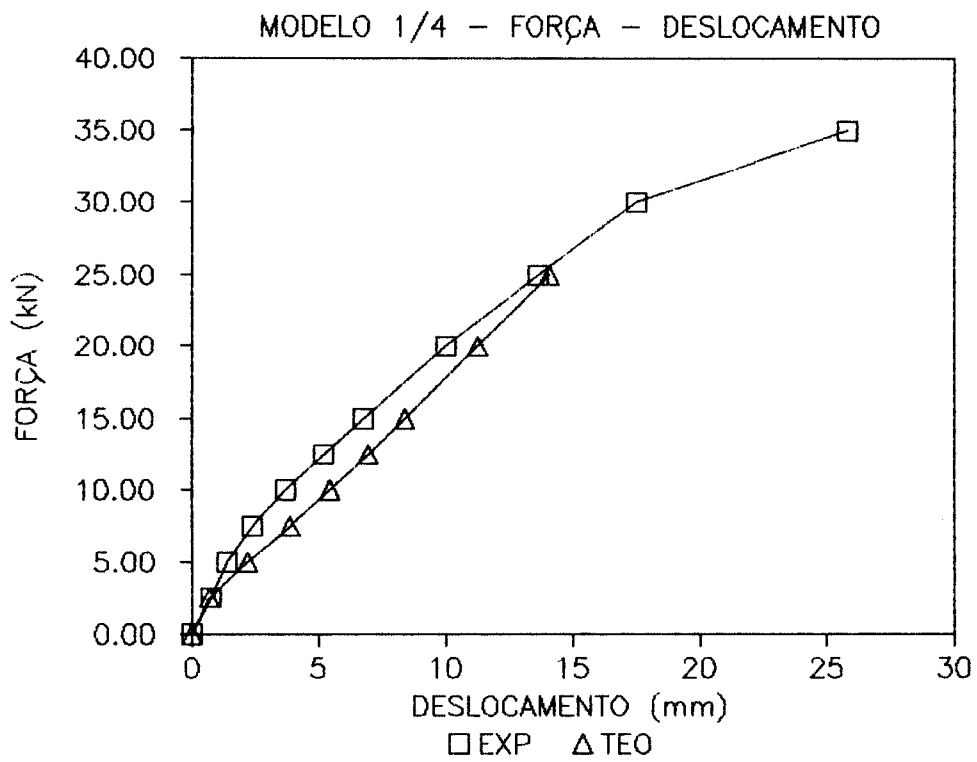
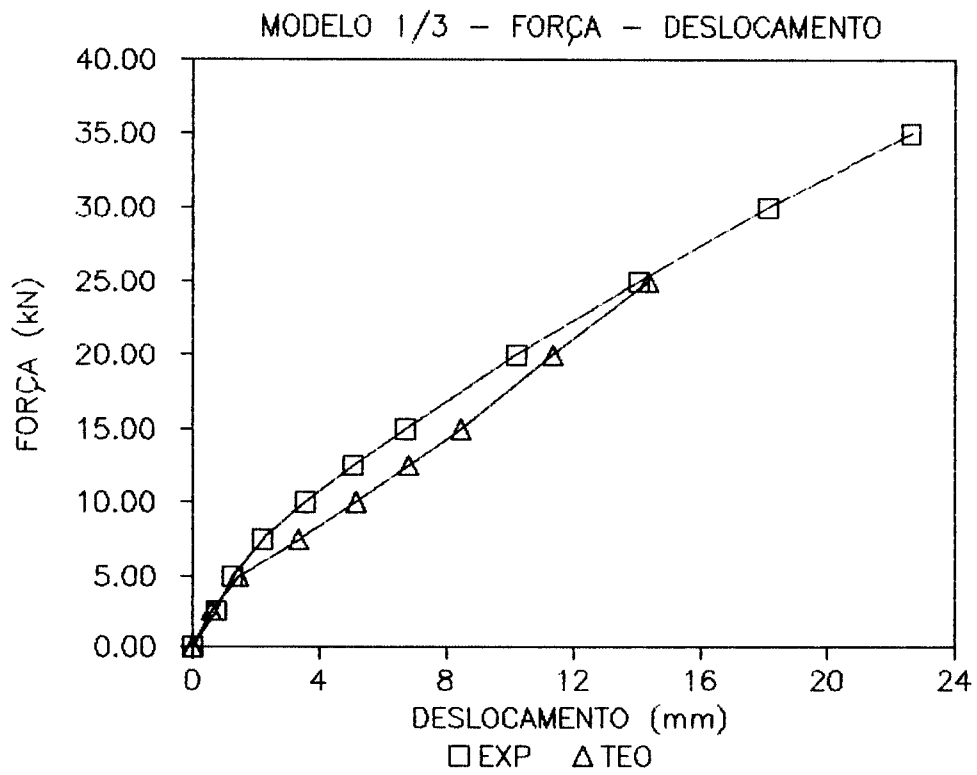


FIGURA 6.4 - DIAGRAMAS FORÇA - DESLOCAMENTO
 MODELOS : 1/3 e 1/4

TABELA 6.8 — ESPAÇAMENTO MÉDIO ENTRE FISSURAS (mm)
 MODELOS DA SÉRIE 1

MODELO	EIXO	REGIÕES DE OBSERVAÇÕES									
		AA	AB1	AB2	AB3	AC	TA	TB1	TB2	TB3	TC
1/1	1						42	40	37	37	38
	2						45	42	44	38	38
	3	45	44	43	43	56					
	4	39	49	42	49	54					
1/2	1						33	30	36	32	32
	2						35	29	38	30	41
	3	29	32	48	42	35					
	4	32	35	55	41	37					
1/3	1						31	25	26	24	34
	2						26	22	21	23	24
	3	42	44	41	42	39					
	4	44	42	39	48	46					
1/4	1						NÃO PROLONGARAM ATÉ O EIXO				
	2						31	24	20	25	23
	3	68	49	37	51	51					
	4	55	50	38	48	50					

6.3.3 Modelos da Série 2

Todos os modelos da série 2, romperam por flexão com deformação na armadura tracionada próxima (modelos 2/1 e 2/2) e acima (modelos 2/3) da deformação de escoamento (ϵ_y) da curva média adotada - Figura 4.32 e Tabela 4.4 - para os fios de aço da armadura complementar que eram de 4,2mm.

As deformações últimas na argamassa na borda comprimida eram praticamente iguais a 2% nos modelos 2/1 e 2/3 e 3% no modelo 3/3, o que está de acordo com as resistências médias à compressão dos corpos-de-prova moldados para esses modelos, que foram iguais a 37,6MPa, 37,0MPa e 41,4MPa, respectivamente.

As taxas médias de armaduras calculadas com as hipóteses dos Estados Limites de Fissuração - Anexo da NBR 7197 resultavam: 1,25% para o modelo 2/1, 1,59% para o modelo 2/2 e 2,07% para o modelo 2/3. As variações entre as taxas de armaduras são de 27% para o modelo 2/2 e de 66% para o modelo 2/3, ambas em relação ao modelo 2/1.

No modelo 2/1 (tabela 6.9) o momento fletor de fissuração observado, com a perda de rigidez oriunda do Estado de Formação de Fissuras era igual a 4,5kNm. A primeira fissura visível durante o ensaio do modelo foi na etapa de ensaio relativo ao momento fletor de 5,25kNm.

A primeira fissura convencional visível surgiu para um momento fletor de fissuração da ordem de 23% do momento fletor último e para uma tensão da ordem de 4,64% da resistência de escoamento e com aberturas das fissuras (w_{exp}) de 0,05mm. A taxa de armadura (ρ_r) era igual a 1,25% .

As aberturas das fissuras resultaram iguais a 0,10mm quando o momento fletor, na região entre os planos de aplicação das forças, era da ordem de 84% do momento fletor último e, a tensão na armadura complementar era 87,7% da resistência de escoamento.

No modelo 2/2 (tabela 6.10) observou-se perda de rigidez para o momento fletor de 3,75kNm, com a primeira fissura visível observada para o momento fletor de 4,5kNm.

Esse momento fletor era igual a 23,3% do momento fletor último. A tensão na armadura complementar, nessa etapa, era da

ordem de 18,9% da resistência de escoamento, com aberturas das fissuras de 0,05mm. As aberturas de fissuras convencionais evoluíram para 0,10mm para um momento fletor da ordem de 62% do momento fletor último e tensão na armadura de 66,6% da tensão que foi verificada em uma etapa anterior a do momento fletor último.

Na etapa anterior a última, quando o acréscimo de força levou à ação do momento fletor último, a tensão na armadura aplicada variou de 78,8% a 100% da resistência última e as aberturas das fissuras variaram de 0,11mm a 0,16mm, respectivamente.

Para o modelo 2/3 (tabela 6.11) o momento fletor de fissuração (M_r) obtido nos diagramas mostrados no capítulo 5 foi de 3,0kNm, com a primeira fissura visível observada para o momento fletor de 7,5kNm.

A taxa de armadura longitudinal (ρ_r), calculada com as hipóteses do Estádio II, de 2,07%, apresentou a primeira fissura visível ($w_{exp} = 0,05\text{mm}$) para um momento fletor de 40,5% do momento fletor último.

As aberturas das fissuras evoluíram até 0,10mm para um momento fletor de 93,1% do momento fletor último. As tensões na armadura complementar ficaram em 43,7% e 99,9% da resistência de escoamento, respectivamente. Na penúltima etapa de carga as aberturas de fissuras (w_{exp}) evoluíram para 0,12mm.

O modelo 2/3, com taxa de armadura maior do que os outros dois modelos da série 2, apresentou um retardamento no aparecimento da primeira fissura visível, as tensões nas armaduras foram maiores para as mesmas aberturas de fissuras e, para uma mesma porcentagem do momento fletor último aplicado, as aberturas das fissuras eram menores.

As diferenças entre os momentos fletores de fissuração observados nos ensaios e os momentos fletores determinados através das variações das curvas força-deslocamento e força-deformação, apresentados no capítulo 5, são de 17% para o modelo 2/1, 20% para o modelo 2/2 e 150% para o modelo 2/3.

A microfissuração interna foi mais intensa no modelo 2/3 que possuía taxa de armadura maior (66% em relação ao modelo 2/1).

As aberturas médias das fissuras, medidas em cada etapa de ensaio na região B da mesa tracionada (figura 4.40) iniciaram-se com 0,05mm na fase de fissuração e progrediram até 0,15mm na fase próxima à ruína nos modelos 2/1 e 2/2 e até 0,12mm no modelo 2/3.

Observa-se, assim, que o aumento da taxa de armadura longitudinal diminui o valor das aberturas das fissuras.

As resistências médias à tração medidas em corpos-de-prova, obtidas por compressão diametral, foram praticamente as mesmas: 3,4MPa para o modelo 2/1, 3,1MPa para o modelo 2/2 e 3,3MPa para o modelo 2/3. Desse modo pode-se concluir que a diminuição do momento fletor de fissuração a medida que se aumenta a taxa de armadura longitudinal é função da diminuição da rigidez da viga, já que os momentos fletores últimos experimentais resultaram praticamente iguais. A variação máxima observada nos momentos fletores últimos foi de 6% conforme tabela 6.1.

Com relação ao espaçamento médio entre as fissuras (tabela 6.12), na região B de observação, pode-se notar que há uma diminuição de seu valor a medida que se aumenta a taxa de armadura na mesa tracionada. Percebe-se que o espaçamento entre as fissuras não mantém uma relação direta com o espaçamento dos fios transversais da tela, que neste caso era de 50mm como pode ser observado nos detalhamentos dos modelos da série 2 no item 4.1.3.

Os espaçamentos entre fissuras medidos nos modelos da série 2 após os ensaios, não acompanharam o espaçamento dos fios transversais da tela, resultando valores da ordem de 50% destes, como pode ser visto na tabela 6.21.

TABELA 6.9 - MODELO 2/1 - ESTADOS DE UTILIZAÇÃO

F (kN)	M (kNm)	M/M _u (%)	$\epsilon_{t,exp}$ (‰)	$\epsilon_{c,exp}$ (‰)	$\epsilon_{c,teo}$ (‰)	$\epsilon_{s,exp}$ (‰)	$\epsilon_{s,teo}$ (‰)	x_{exp} (mm)	x_{teo} (mm)	$\rho_{r,exp}$ (%)
0.5	0.75	3.8	0.04	0.050		0.017		139.9		
1.0	1.50	7.6	0.06	0.080		0.030		136.4		
2.0	3.00	15.2	0.11	0.153		0.060		134.7		
2.5	3.75	19.0	0.11	0.190		0.090		127.2		
3.0	4.50	22.8	0.16	0.240	0.378	0.107	0.926	129.7	52.6	1.26
3.5	5.25	26.6	0.23	0.290	0.450	0.187	1.081	114.0		1.28
5.0	7.50	38.1	1.19	0.577	0.689	1.037	1.544	67.0		1.26
6.5	9.75	49.5	2.09	0.830	0.982	1.903	2.007	56.9		1.23
8.0	12.00	60.9	2.72	1.060	1.407	2.497	2.470	55.9		1.23
9.5	14.25	72.3	3.39	1.323		3.123		55.8		1.23
11.0	16.50	83.8	4.20	1.627		3.933		54.9		1.23
12.5	18.75	95.2	5.56	2.050		5.790		49.0		1.26
13.13	19.70	100.0								

F (kN)	M (kNm)	$\sigma_{s,exp}$ (MPa)	w_{exp} (mm)	$w_{m,exp}$ (mm)	$w_{k,exp}$ (mm)	$w_{m,calc}$ (mm)	$w_{k,calc}$ (mm)	a_{exp} (mm)	a_{teo} (mm)
0.5	0.75	3.6						0.54	0.55
1.0	1.50	6.4						0.83	1.10
2.0	3.00	12.9						1.67	2.21
2.5	3.75	19.3						2.14	2.76
3.0	4.50	22.9						2.65	3.69
3.5	5.25	40.1	0.05			0.05	0.09	3.67	5.83
5.0	7.50	222.3	0.06	0.03	0.05	0.08	0.13	10.59	13.77
6.5	9.75	407.8	0.07	0.06	0.09	0.10	0.17	18.45	21.97
8.0	12.00	535.1	0.07	0.07	0.12	0.13	0.21	25.26	29.66
9.5	14.25	652.2	0.07	0.09	0.15			34.18	
11.0	16.50	757.9	0.10	0.11	0.19			38.23	
12.5	18.75	863.9	0.15	0.17	0.20			64.23	
13.13	19.70								

$$\rho_{sw} = 0.50\%$$

$$\rho_{s,tot} = 1.15\%$$

$$\rho_{s,tela} = 0.89\%$$

$$s_{exp} = 29 \text{ mm}$$

$$s_{teo} = 50 \text{ mm}$$

ruptura por flexão $F_u = 13.13 \text{ kN}$

TABELA 6.10 - MODELO 2/2 - ESTADOS DE UTILIZAÇÃO

F (kN)	M (kNm)	M/M _u (%)	$\epsilon_{t,exp}$ (‰)	$\epsilon_{c,exp}$ (‰)	$\epsilon_{c,teo}$ (‰)	$\epsilon_{s,exp}$ (‰)	$\epsilon_{s,teo}$ (‰)	χ_{exp} (mm)	χ_{teo} (mm)	$\rho_{r,exp}$ (%)
0.5	0.75	3.9	0.01	0.053		0.023		130.8		
1.0	1.50	7.8	0.03	0.087		0.043		125.5		
2.0	3.00	15.5	0.06	0.173		0.087		124.8		
2.5	3.75	19.4	0.10	0.227	0.315	0.120	0.768	122.7	52.2	1.85
3.0	4.50	23.3	0.55	0.320	0.385	0.543	0.921	69.5		1.60
3.5	5.25	27.1	0.74	0.423	0.459	0.753	1.075	67.4		1.59
5.0	7.50	38.8	1.34	0.653	0.705	1.024	1.535	73.0		1.61
6.5	9.75	50.4	2.05	0.887	1.009	2.080	1.996	56.1		1.54
8.0	12.00	62.0	2.71	1.123	1.466	2.647	2.457	55.9		1.54
9.5	14.25	73.6	3.46	1.383		3.250		56.0		1.54
11.0	16.50	85.3	4.27	1.697		4.093		55.0		1.54
12.0	18.00	93.0	5.18	1.973		5.230		51.4		1.52
12.9	19.35	100.0								

F (kN)	M (kNm)	$\sigma_{s,exp}$ (MPa)	w_{exp} (mm)	$w_{m,exp}$ (mm)	$w_{k,exp}$ (mm)	$w_{m,calc}$ (mm)	$w_{k,calc}$ (mm)	α_{exp} (mm)	α_{teo} (mm)
0.5	0.75	4.9						0.59	0.62
1.0	1.50	9.2						1.02	1.23
2.0	3.00	18.7						2.02	2.49
2.5	3.75	25.7						2.73	4.72
3.0	4.50	116.4	0.05			0.05	0.08	4.82	7.35
3.5	5.25	161.4	0.06			0.05	0.09	7.27	10.10
5.0	7.50	219.4	0.07	0.03	0.05	0.05	0.13	14.38	18.02
6.5	9.75	445.7	0.09	0.06	0.10	0.10	0.17	21.45	25.20
8.0	12.00	567.2	0.10	0.08	0.13	0.13	0.21	28.38	31.96
9.5	14.25	671.2	0.11	0.09	0.16			35.65	
11.0	16.50	774.5	0.15	0.14	0.24			40.89	
12.0	18.00	851.9	0.16	0.15	0.25			48.93	
12.9	19.35								

$$\rho_{sw} = 0.50\%$$

$$\rho_{s,tot} = 1.36\%$$

$$\rho_{s,tela} = 1.05\%$$

$$s_{exp} = 29 \text{ mm}$$

$$s_{teo} = 50 \text{ mm}$$

ruptura por flexão $F_u = 12.9 \text{ kN}$

TABELA 6.11 - MODELO 2/3 - ESTADOS DE UTILIZAÇÃO

F (kN)	M (kNm)	M/M _u (%)	$\epsilon_{t,exp}$ (‰)	$\epsilon_{c,exp}$ (‰)	$\epsilon_{c,teo}$ (‰)	$\epsilon_{s,exp}$ (‰)	$\epsilon_{s,teo}$ (‰)	x_{exp} (mm)	x_{teo} (mm)	$\rho_{r,exp}$ (%)
0.5	0.75	4.0	0.12	0.070		0.137		63.4		
1.0	1.50	6.1	0.18	0.115		0.177		73.8		
2.0	3.00	16.1	0.44	0.230	0.232	0.457	0.613	62.8	50.33	
2.5	3.75	20.2	0.72	0.325	0.295	0.777	0.776	55.3		
3.0	4.50	24.3	0.85	0.405	0.360	0.987	0.919	54.6		
3.5	5.25	28.3	1.10	0.408	0.428	1.190	1.073	47.9		2.09
5.0	7.50	40.5	1.70	0.705	0.653	1.763	1.532	53.6		2.05
6.5	9.75	52.6	2.29	0.955	0.923	2.333	1.992	54.5		2.06
8.0	12.00	64.8	2.95	1.255	1.290	2.960	2.452	55.8		2.07
9.5	14.65	76.9	3.70	1.625	1.290	3.770	2.720	56.4		2.07
11.0	16.50	89.1	4.71	2.050		4.990		54.6		2.06
11.5	17.25	93.1	5.34	2.310		5.680		54.2		2.06
12.0	18.00	97.2	6.28	2.580		6.787		51.6		2.12
12.35	18.53	100.0		2.970		10.170		42.4		2.05

F (kN)	M (kNm)	$\sigma_{s,exp}$ (MPa)	w_{exp} (mm)	$w_{m,exp}$ (mm)	$w_{k,exp}$ (mm)	$w_{m,calc}$ (mm)	$w_{k,calc}$ (mm)	a_{exp} (mm)	a_{teo} (mm)
0.5	0.75	29.4						1.24	0.70
1.0	1.50	37.9						1.68	1.40
2.0	3.00	97.9						3.55	4.55
2.5	3.75	166.5						6.66	7.26
3.0	4.50	211.5						8.63	9.92
3.5	5.25	255.0						11.16	12.44
5.0	7.50	377.8	0.05	0.04	0.06	0.07	0.12	18.06	19.40
6.5	9.75	499.9	0.06	0.05	0.08	0.10	0.16	25.32	25.90
8.0	12.00	626.6	0.08	0.06	0.10	0.11	0.19	33.18	32.21
9.5	14.65	739.5	0.08	0.08	0.13	0.14	0.23	40.93	32.21
11.0	16.50	841.5	0.09	0.10	0.17			51.37	
11.5	17.25	862.9	0.10	0.11	0.19			56.95	
12.0	18.00	864.0	0.12	0.14	0.23			62.92	
12.35	18.53	864.0							

$$\rho_{sw} = 0.50\%$$

$$\rho_{s,tot} = 1.67\%$$

$$\rho_{s,tela} = 1.29\%$$

$$s_{exp} = 20 \text{ mm}$$

$$s_{teo} = 47 \text{ mm}$$

ruptura por flexão $F_u = 12.35 \text{ kN}$

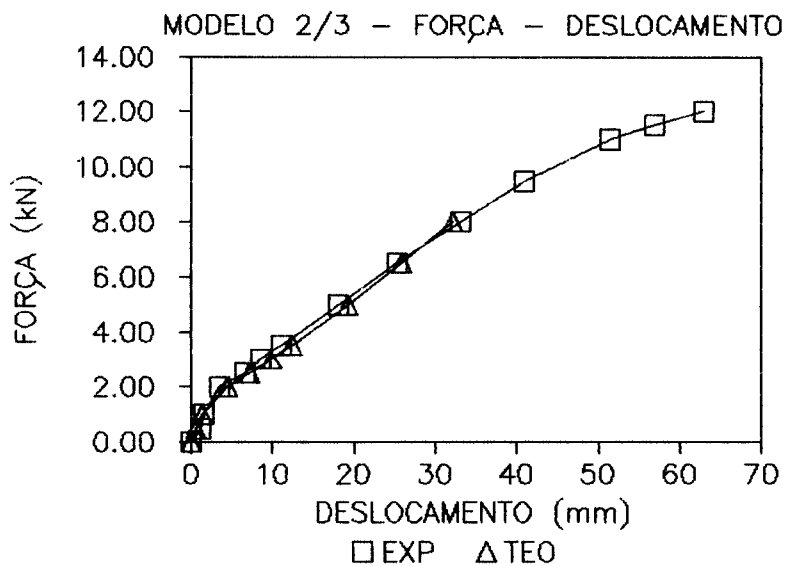
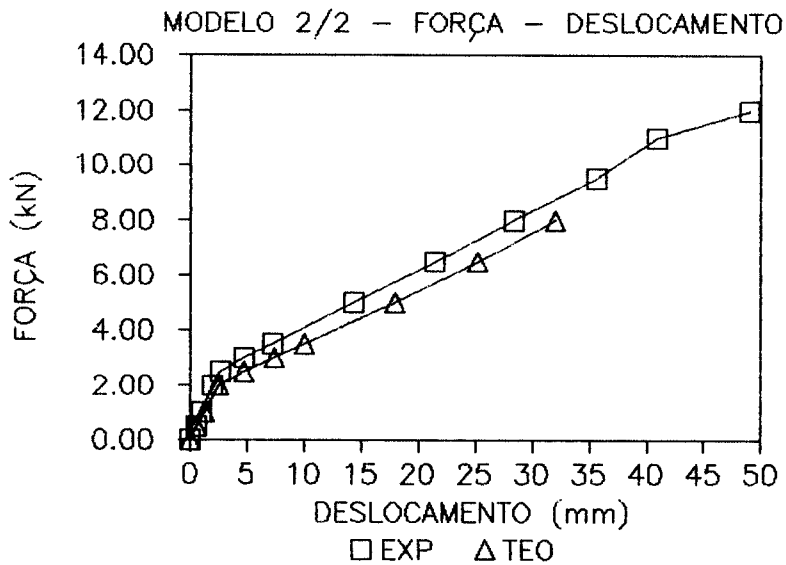
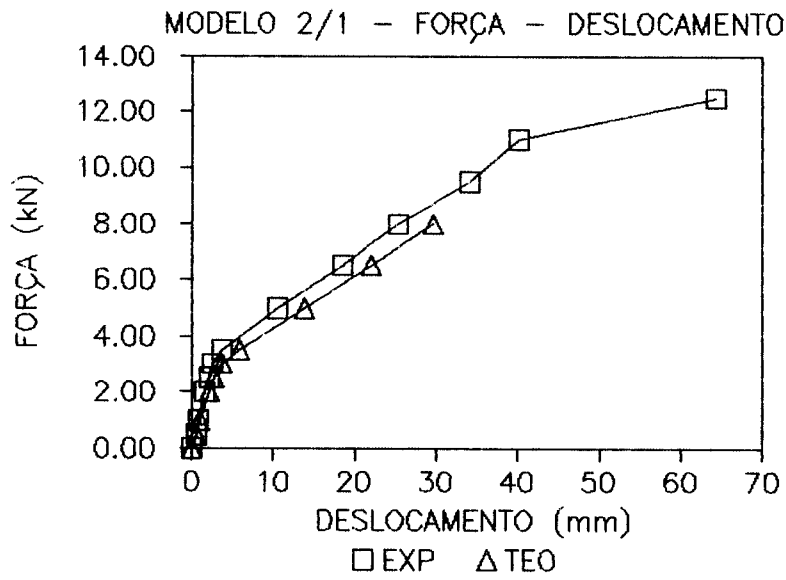


FIGURA 6.5 - DIAGRAMAS FORÇA-DESLOCAMENTO
MODELOS SÉRIE 2

TABELA 6.12 — ESPAÇAMENTO MÉDIO ENTRE FISSURAS (mm)
 MODELOS DA SÉRIE 2

MODELO	EIXO	REGIÕES DE OBSERVAÇÕES									
		AA	AB1	AB2	AB3	AC	TA	TB1	TB2	TB3	TC
2/1	1						28	27	29	24	26
	2						30	29	33	34	39
	3	40	45	35	44	43					
	4	49	44	42	50	43					
2/2	1						38	32	29	25	28
	2						35	34	29	28	31
	3	49	47	43	29	46					
	4	55	46	53	32	63					
2/3	1						25	19	19	21	24
	2						26	17	17	25	23
	3	61	39	43	40	58					
	4	74	45	50	35	65					

6.3.4 Modelos da Série 3

Os modelos da série 3 tinham a mesma taxa de armadura longitudinal que os modelos da série 2. Na direção transversal, os modelos desta série tinham o dobro da taxa de armadura dos modelos dessa série. Isso foi conseguido fazendo-se coincidir a direção longitudinal da tela EL 126/63 com a direção transversal dos modelos da série 3, conforme foi dito no item 4.1.4.

O modelo 3/1 (tabela 6.13) apresentou momento fletor de fissuração de 4,50kNm, com observação visual de fissuração ocorrida para a etapa de ensaio seguinte, ou seja momento fletor de 5,25kNm.

O modelo 3/2 (tabela 6.14) apresentou momento fletor de fissuração de 3,75kNm, com observação visual da primeira fissura para o momento fletor de 4,5kNm, portanto, em uma etapa posterior àquela em que se notou perda de rigidez da viga mediante análise dos diagramas força-deslocamento e força-deformação apresentados no capítulo 5.

O modelo 3/3 (tabela 6.15) teve momento fletor de fissuração igual a 3,0kNm, com observação visual de fissuras para o momento fletor de 3,75kNm, ou seja, em uma etapa de ensaio posterior.

Nota-se que se manteve a tendência observada nos resultados dos modelos da série 2 com relação à diminuição do momento fletor de fissuração e diminuição da rigidez das vigas, com conseguinte acréscimo da taxa de armadura. Novamente, observou-se que há independência entre o comportamento dos modelos com relação à fissuração e a resistência à tração da argamassa. As resistências médias das argamassas à tração resultaram iguais a 2,8MPa, 3,8MPa e 3,1MPa, respectivamente para os modelos 3/1, 3/2 e 3/3.

As taxas geométricas médias de armaduras (ρ_r) dos modelos da série 3 eram praticamente iguais as dos modelos da série 2; as taxas geométricas das armaduras transversais eram iguais ao dobro das taxas dos modelos da série 2.

Os espaçamentos médios entre fissuras medidas nos modelos da série 3, diminuíram a medida que se aumentaram as taxas de armaduras junto às mesas tracionadas. Esse fato pode ser observado analisando-se a tabela 6.16.

Comparando os espaçamentos médios entre fissuras (tabela 6.16) medidos na mesa tracionada para os modelos da série 2 e 3, nota-se uma ligeira diminuição nestes; quando se comparam os espaçamentos medidos nas almas das vigas, região B de observação, ocorreu também diminuição entre os espaçamentos.

Essas indicações vêm corroborar o fato de se entender que um acréscimo na taxa de armadura transversal melhora a distribuição de fissuras. Ocorreu, portanto, um aumento no número de fissuras na região observada, porém, com espaçamento menor.

Analisando a tabela 6.21 pode-se perceber que os espaçamentos entre as fissuras, resultaram praticamente iguais aos espaçamento dos fios transversais da tela.

As aberturas de fissuras nos modelos da série 3, diminuíram a medida que se aumentou a taxa geométrica da armadura longitudinal na mesa tracionada.

As aberturas de fissuras dos modelos da série 3 foram sistematicamente maiores que as aberturas notadas nos modelos da série 2, para uma mesma etapa de ensaio.

O modelo 3/1 apresentou a primeira fissura visível na mesma etapa de ensaio do modelo 2/1, ou seja, os dois modelos tiveram o mesmo momento fletor de fissuração.

Para as tensões de serviço, calculadas com a resistência de escoamento dos fios de aço de diâmetro 4,2mm, indicada na tabela 4.4 dividida por 1,4, as aberturas das fissuras para todos os modelos da série 3 resultaram iguais a 0,10mm.

TABELA 6.13 - MODELO 3/1 - ESTADOS DE UTILIZAÇÃO

F (kN)	M (kNm)	M/M _u (%)	$\epsilon_{t,exp}$ (‰)	$\epsilon_{c,exp}$ (‰)	$\epsilon_{c,teo}$ (‰)	$\epsilon_{s,exp}$ (‰)	$\epsilon_{s,teo}$ (‰)	x_{exp} (mm)	x_{teo} (mm)	$P_{r,exp}$ (%)
0.5	0.75	3.9	0.04	0.045		0.023		124.1		
1.0	1.50	7.7	0.03	0.080		0.043		122.0		
2.0	3.00	15.4	0.07	0.150		0.070		127.8		
2.5	3.75	19.3	0.10	0.195		0.093		127.0		
3.0	4.50	23.1	0.22	0.250	0.410	0.315	0.914	83.0	49.90	1.24
3.5	5.25	27.0	0.30	0.315	0.489	0.395	1.072	83.2		1.24
5.0	7.50	38.6	1.53	0.610	0.756	1.167	1.531	64.4		1.25
6.5	9.75	50.2	2.23	0.840	1.098	1.710	1.990	61.8		1.25
8.0	12.00	61.7	2.82	1.095	1.724	2.307	2.449	60.4		1.24
9.5	14.25	73.7	3.45	1.380		2.933		60.0		1.24
11.0	16.50	84.9	4.31	1.700		3.737		58.6		1.24
12.0	18.00	92.6	5.18	2.005		4.790		55.3		1.22
12.5	18.75	96.5	6.06	2.240		6.057		50.6		1.22
12.96	19.44	100.0								

F (kN)	M (kNm)	$\sigma_{s,exp}$ (MPa)	w_{exp} (mm)	$w_{m,exp}$ (mm)	$w_{k,exp}$ (mm)	$w_{m,calc}$ (mm)	$w_{k,calc}$ (mm)	α_{exp} (mm)	α_{teo} (mm)
0.5	0.75	4.9						0.58	0.49
1.0	1.50	9.2						1.02	0.98
2.0	3.00	15.0						1.96	1.96
2.5	3.75	19.9						2.47	2.82
3.0	4.50	67.5						3.12	4.87
3.5	5.25	84.6	0.05	0.01	0.02	0.04	0.06	4.45	7.30
5.0	7.50	250.1	0.06	0.03	0.05	0.05	0.09	12.36	15.33
6.5	9.75	366.4	0.08	0.04	0.07	0.07	0.12	19.84	22.99
8.0	12.00	494.4	0.10	0.06	0.10	0.09	0.15	27.05	30.09
9.5	14.25	622.2	0.11	0.08	0.13			33.62	
11.0	16.50	735.6	0.14	0.10	0.16			41.39	
12.0	18.00	830.4	0.16	0.13	0.20			49.16	
12.5	18.75	864.0	0.20						
12.96	19.44								

$$\rho_{s w} = 1.00\%$$

$$\rho_{s,tot} = 1.15\%$$

$$\rho_{s,tela} = 0.89\%$$

$$s_{exp} = 26 \text{ mm}$$

$$s_{teo} = 36 \text{ mm}$$

ruptura por flexão $F_u = 12.96 \text{ kN}$

TABELA 6.14 - MODELO 3/2 - ESTADOS DE UTILIZAÇÃO

F (kN)	M (kNm)	M/M _u (%)	$\epsilon_{t,exp}$ (‰)	$\epsilon_{c,exp}$ (‰)	$\epsilon_{c,teo}$ (‰)	$\epsilon_{s,exp}$ (‰)	$\epsilon_{s,teo}$ (‰)	x_{exp} (mm)	x_{teo} (mm)	$\rho_{r,exp}$ (%)
0.5	0.75	3.8	0.01	0.040		0.023		119.0		
1.0	1.50	7.6	0.03	0.075		0.040		122.3		
2.0	3.00	15.2	0.10	0.140		0.077		121.0		
2.5	3.75	19.0	0.13	0.180	0.283	0.120	0.758	112.5		1.65
3.0	4.50	22.8	0.24	0.235	0.346	0.247	0.909	91.4	53.89	1.50
3.5	5.25	26.6	0.82	0.350	0.410	0.483	1.061	78.8		1.56
5.0	7.50	38.0	1.37	0.525	0.623	1.263	1.516	55.1		1.54
6.5	9.75	49.4	2.06	0.735	0.876	1.857	1.970	53.2		1.53
8.0	12.00	60.8	2.70	0.920	1.205	2.420	2.425	51.6		1.53
9.5	14.25	72.2	3.39	1.140	1.968	3.037	2.880	51.2		1.52
11.0	16.50	83.6	4.22	1.390		3.847		49.8		1.58
12.0	18.00	91.2	4.98	1.615		4.777		47.4		1.57
12.5	18.75	95.0		1.795		5.510		46.1		1.56
13.0	19.50	98.8		1.990		7.153		40.8		1.54
13.16	19.74	100.0								

F (kN)	M (kNm)	$\sigma_{s,exp}$ (MPa)	w_{exp} (mm)	$w_{m,exp}$ (mm)	$w_{k,exp}$ (mm)	$w_{m,calc}$ (mm)	$w_{k,calc}$ (mm)	α_{exp} (mm)	α_{teo} (mm)
0.5	0.75	4.9						0.57	0.64
1.0	1.50	8.5						0.99	1.29
2.0	3.00	16.5						2.00	2.58
2.5	3.75	25.7						2.70	3.38
3.0	4.50	52.9						4.67	5.66
3.5	5.25	103.5	0.03	0.01	0.02	0.03	0.05	6.33	8.27
5.0	7.50	270.6	0.05	0.03	0.05	0.05	0.08	12.99	16.46
6.5	9.75	393.9	0.06	0.04	0.07	0.06	0.10	20.09	24.08
8.0	12.00	518.6	0.08	0.05	0.08	0.08	0.13	26.71	31.15
9.5	14.25	638.9	0.08	0.06	0.11	0.09	0.15	33.90	37.90
11.0	16.50	748.4	0.11	0.08	0.13			41.88	
12.0	18.00	829.6	0.13	0.10	0.17			47.54	
12.5	18.75	860.1	0.14	0.12	0.19				
13.0	19.50	864.0	0.17	0.15	0.25				
13.16	19.74								

$$\rho_{sw} = 1.00\%$$

$$\rho_{s,tot} = 1.36\%$$

$$\rho_{s,tela} = 1.05\%$$

$$s_{exp} = 21 \text{ mm}$$

$$s_{teo} = 31 \text{ mm}$$

ruptura por flexão $F_u = 13.16 \text{ kN}$

TABELA 6.15 - MODELO 3/3 - ESTADOS DE UTILIZAÇÃO

F (kN)	M (kNm)	M/M _U (%)	$\epsilon_{t,exp}$ (‰)	$\epsilon_{c,exp}$ (‰)	$\epsilon_{c,teo}$ (‰)	$\epsilon_{s,exp}$ (‰)	$\epsilon_{s,teo}$ (‰)	x_{exp} (mm)	x_{teo} (mm)	$\rho_{r,exp}$ (%)
0.5	0.75	3.7	0.03	0.035		0.040		87.5		
1.0	1.50	7.4	0.06	0.070		0.077		89.3		
2.0	3.00	14.8	0.17	0.135	0.237	0.177	0.628	81.1	53.05	2.35
2.5	3.75	18.6	0.45	0.190	0.302	0.393	0.785	61.1		2.11
3.0	4.50	22.3	0.79	0.255	0.369	0.703	0.939	49.9		2.11
3.5	5.25	26.0	1.07	0.310	0.439	0.907	1.099	47.8		2.06
5.0	7.50	37.1	1.88	0.470	0.671	1.550	1.570	43.6		2.06
6.5	9.75	48.3	2.61	0.630	0.953	2.127	2.041	42.8		2.06
8.0	12.00	59.4	3.32	0.795	1.347	2.703	2.512	42.6		2.05
9.5	14.25	70.5	4.06	0.975		3.323		42.5		2.05
10.5	15.75	78.0	4.64	1.115		3.913		41.6		2.05
11.0	16.50	81.7	5.03	1.210		4.327		41.0		2.04
11.5	17.25	85.4	5.38	1.295		4.717		40.4		2.04
12.0	18.00	89.1	5.86	1.370		5.230		38.9		2.03
12.5	18.75	92.8	6.45	1.480		5.903		37.6		2.02
13.47	20.20	100.0								

F (kN)	M (kNm)	$\sigma_{s,exp}$ (MPa)	w_{exp} (mm)	$w_{m,exp}$ (mm)	$w_{k,exp}$ (mm)	$w_{m,calc}$ (mm)	$w_{k,calc}$ (mm)	α_{exp} (mm)	α_{teo} (mm)
0.5	0.75	8.6						1.67	0.79
1.0	1.50	16.5						2.23	1.59
2.0	3.00	37.9						3.57	5.41
2.5	3.75	84.2	0.04	0.01	0.01	0.02	0.04	4.81	8.23
3.0	4.50	150.6	0.04	0.01	0.02	0.02	0.04	6.93	10.93
3.5	5.25	194.4	0.05	0.02	0.03	0.03	0.05	9.03	13.47
5.0	7.50	332.1	0.06	0.03	0.05	0.04	0.07	15.76	20.55
6.5	9.75	455.8	0.06	0.04	0.06	0.05	0.09	22.04	27.24
8.0	12.00	579.2	0.08	0.05	0.08	0.07	0.11	28.41	33.78
9.5	14.25	681.7	0.10	0.06	0.10			35.88	
10.5	15.75	755.7	0.11	0.07	0.12			40.77	
11.0	16.50	796.2	0.12	0.08	0.13			44.13	
11.5	17.25	825.8	0.12	0.09	0.09			46.89	
12.0	18.00	851.9	0.12	0.09	0.16			50.09	
12.5	18.75		0.17	0.11	0.18			53.76	
13.47	20.20								

$$\rho_{sw} = 1.00\%$$

$$\rho_{s,tot} = 1.67\%$$

$$\rho_{s,tela} = 1.29\%$$

$$s_{exp} = 18 \text{ mm}$$

$$s_{teo} = 26 \text{ mm}$$

ruptura por flexão $F_u = 13.47 \text{ kN}$

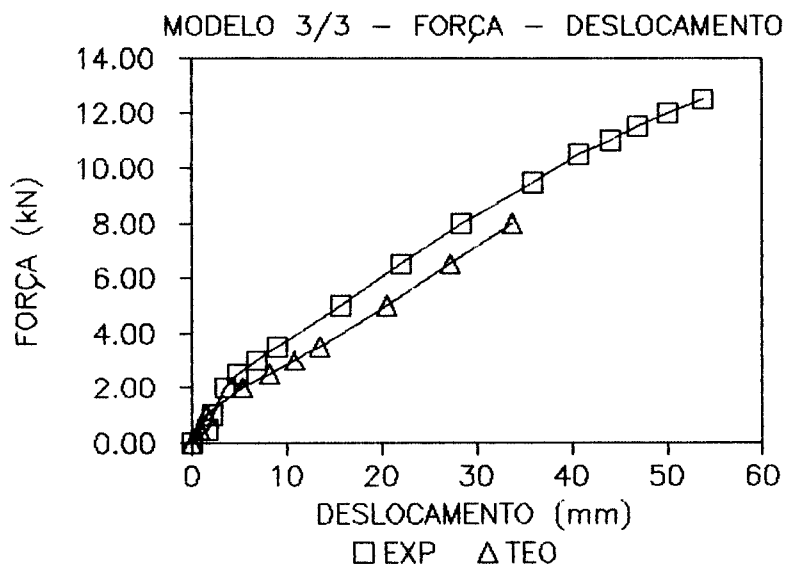
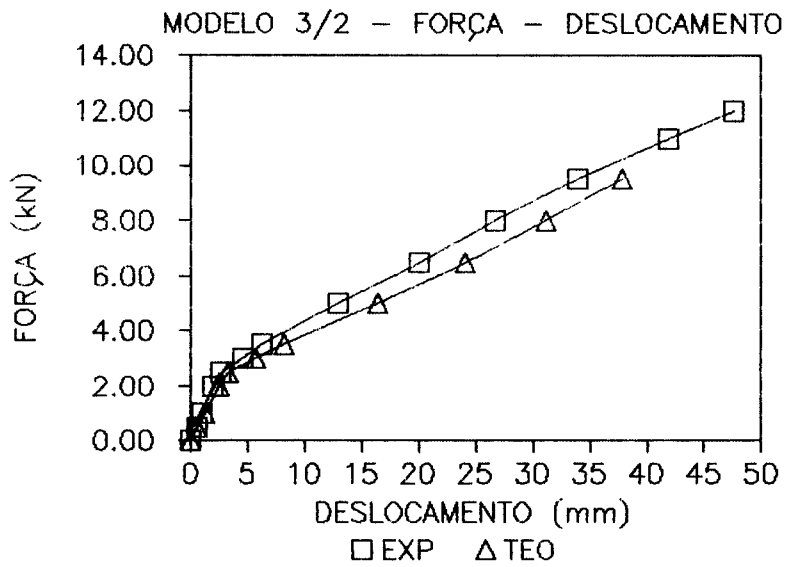
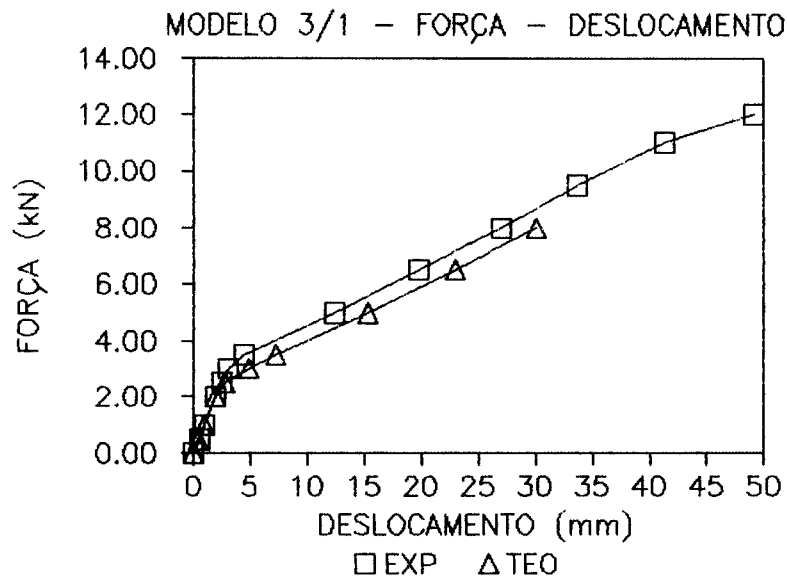


FIGURA 6.6 - DIAGRAMAS FORÇA - DESLOCAMENTO
MODELOS SÉRIE 3

TABELA 6.16 — ESPAÇAMENTO MÉDIO ENTRE FISSURAS (mm)
 MODELOS DA SÉRIE 3

MODELO	EIXO	REGIÕES DE OBSERVAÇÕES									
		AA	AB1	AB2	AB3	AC	TA	TB1	TB2	TB3	TC
3/1	1						32	28	25	24	33
	2						36	28	30	20	27
	3	47	46	43	50	47					
	4	44	46	40	50	50					
3/2	1						30	22	22	17	32
	2						29	20	23	20	29
	3	44	36	37	34	42					
	4	48	33	41	42	50					
3/3	1						18	16	16	24	24
	2						20	16	15	21	19
	3	38	37	32	34	39					
	4	49	37	39	41	66					

6.3.5 Modelos 4/1, 5/1 e 5/1A

Os resultados dos ensaios dos modelos 4/1, 5/1 e 5/1A, podem ser comparados com os resultados obtidos nos ensaios dos modelos 2/1 e 3/1 respectivamente. Os modelos 4/1, 5/1 e 5/1A foram projetados com apenas uma tela posicionada nas mesas tracionada e comprimida e na alma e, distribuídas entre as seções transversais de aplicação das cargas, porém com a colocação de fios adicionais, mantiveram-se, pelo menos teoricamente, o mesmo momento fletor resistente último.

Os momentos fletores de fissuração foram iguais a 4,50kNm e 3,75kNm para os modelos 2/1 e 4/1 respectivamente. O modelo 4/1 apresentou fissuras com aberturas maiores, quando se comparou com as observadas no modelo 2/1, para as mesmas cargas aplicadas.

A taxa média de armadura longitudinal (ρ_r) era praticamente a mesma nos dois modelos, 1,25% para o modelo 2/1 e 1,22% para o modelo 4/1. A taxa de armadura transversal do modelo 4/1 era igual a metade da taxa do modelo 2/1 no trecho entre os planos de aplicação de cargas.

O espaçamento entre as fissuras (tabela 6.20) foi maior no modelo 4/1, em relação ao modelo 2/1 e, o progresso da fissuração também foi mais intenso, isto é, para uma mesma etapa de ensaio, a abertura da fissura (w_{exp}) era maior no modelo 4/1.

Esses resultados mostram o comportamento favorável, com relação as aberturas das fissuras, do modelo 2/1 em relação ao modelo 4/1 devido a maior taxa de armadura transversal, na região entre as cargas, e devido ao arranjo das armaduras. Por outro lado as resistências à tração da argamassa em ambos os modelos eram praticamente as mesmas; 3,4MPa no modelo 2/1 e 3,1MPa no modelo 4/1.

O modelo 5/1 tinha o mesmo tipo de armadura que o modelo 3/1, a menos das seções transversais entre os planos de aplicação das forças, onde a taxa de armadura transversal era a metade da taxa do modelo 5/1 (item 4.1.6). Além disso a direção longitudinal da tela EL 126/63 ficou distribuída paralelamente à seção transversal.

Na região entre os planos de aplicação das cargas a armação do modelo 5/1A era idêntica a do modelo 3/1. Nas regiões entre os planos de aplicação das cargas e os planos dos apoios a armação era idêntica a do modelo 2/1, conforme discutido no item 4.1.7.

Analisando os resultados dos ensaios pode-se notar que as aberturas das fissuras medidas nos modelos 5/1 e 5/1A eram maiores que as observadas no modelo 3/1 para uma mesma etapa de ensaio. O progresso da fissuração era mais intenso nesses modelos. O espaçamento entre as fissuras também foi maior.

Na tabela 6.21 a título de comparação são apresentados os valores dos espaçamentos dos fios transversais das telas, a taxa de armadura, o espaçamento de referência s_1 e espaçamento calculado s_{calc} com as indicações da norma de argamassa armada.

TABELA 6.17 - MODELO 4/1 - ESTADOS DE UTILIZAÇÃO

F (kN)	M (kNm)	M/M _u (%)	$\epsilon_{t,exp}$ (‰)	$\epsilon_{c,exp}$ (‰)	$\epsilon_{c,teo}$ (‰)	$\epsilon_{s,exp}$ (‰)	$\epsilon_{s,teo}$ (‰)	x_{exp} (mm)	x_{teo} (mm)	$\rho_{r,exp}$ (%)
0.5	0.75	4.1	0.03	0.045		0.020		129.6		
1.0	1.50	8.1	0.03	0.080		0.040		125.0		
2.0	3.00	16.3	0.08	0.155		0.077		125.3		
2.5	3.75	20.3	0.11	0.190	0.313	0.110	0.751	118.8	54.2	1.23
3.0	4.50	24.4	0.56	0.275	0.378	0.670	0.884	54.6		1.23
3.5	5.25	28.5	0.78	0.345	0.456	0.947	1.051	50.1		1.22
5.0	7.50	40.7	1.69	0.615	0.699	1.570	1.501	52.8		1.22
6.5	9.75	52.8	2.36	0.845	1.000	2.200	1.951	52.0		1.22
8.0	12.00	65.0	2.69	1.100	1.444	2.840	2.402	52.3		1.22
9.5	14.25	77.2	3.60	1.375		3.523		52.6		1.22
11.0	16.50	89.4	4.44	1.695		4.477		51.5		1.22
11.5	17.25	93.5	4.84	1.860		4.917		51.5		1.22
12.0	18.00	97.6	5.26	2.000		5.430		50.5		1.22
12.3	18.45	100.0								

F (kN)	M (kNm)	$\sigma_{s,exp}$ (MPa)	w_{exp} (mm)	$w_{m,exp}$ (mm)	$w_{k,exp}$ (mm)	$w_{m,calc}$ (mm)	$w_{k,calc}$ (mm)	α_{exp} (mm)	α_{teo} (mm)
0.5	0.75	4.3						0.51	0.57
1.0	1.50	8.6						0.90	1.14
2.0	3.00	16.5						1.75	2.28
2.5	3.75	23.3						2.25	2.85
3.0	4.50	143.6	0.05	0.02	0.03	0.05	0.08	2.56	4.57
3.5	5.25	202.9	0.06	0.03	0.05	0.05	0.09	2.51	6.96
5.0	7.50	336.4	0.12	0.05	0.08	0.08	0.13	11.73	15.05
6.5	9.75	471.4	0.16	0.07	0.11	0.10	0.16	18.63	22.89
8.0	12.00	608.6	0.17	0.09	0.14	0.12	0.20	25.97	30.18
9.5	14.25	708.9	0.18	0.11	0.18			34.59	
11.0	16.50	808.6	0.20	0.14	0.23			41.46	
11.5	17.25	837.7	0.20	0.15	0.25			42.99	
12.0	18.00	858.2	0.22	0.17	0.27			48.31	
12.3	18.45								

$$\rho_{sw \text{ carga}} = 0.25\%$$

$$\rho_{sw \text{ apoio}} = 0.50\%$$

$$\rho_{s, \text{ tot}} = 1.15\%$$

$$\rho_{s, \text{ tela}} = 0.89\%$$

$$s_{exp} = 30 \text{ mm}$$

$$s_{teo} = 50 \text{ mm}$$

ruptura por flexão $F_u = 12.3 \text{ kN}$

TABELA 6.18 - MODELO 5/1 - ESTADOS DE UTILIZAÇÃO

F (kN)	M (kNm)	M/M _u (%)	ε _{t,exp} (‰)	ε _{c,exp} (‰)	ε _{c,teo} (‰)	ε _{s,exp} (‰)	ε _{s,teo} (‰)	x _{exp} (mm)	x _{teo} (mm)	ρ _{r,exp} (%)
0.5	0.75	4.0	0.02	0.085		0.030		138.6		
1.0	1.50	8.0	0.01	0.125		0.057		128.8		
1.5	3.00	16.0	0.08	0.190		0.093		125.9		
2.5	3.75	20.0	0.08	0.225	0.303	0.110	0.729	125.9		
3.0	4.50	24.0	0.14	0.275	0.371	0.127	0.875	128.3	54.6	1.26
3.5	5.25	28.0	0.18	0.375	0.441	0.193	1.021	123.8		1.25
5.0	7.50	40.0	0.98	0.645	0.674	1.570	1.458	55.9		1.17
6.5	9.75	52.0	1.65	0.870	0.959	2.297	1.895	51.5		1.27
8.0	12.00	64.0	2.49	1.110	1.359	2.953	2.333	51.2		1.27
9.5	14.25	76.0	3.27	1.360		3.823		49.2		1.26
11.0	16.50	88.0	4.68	1.660		5.203		45.2		1.26
11.5	17.25	92.0	5.40	1.840		6.277		42.5		1.25
12.0	18.00	96.0	6.61	2.010		8.467		36.0		1.23
12.5	18.75	100.0								

F (kN)	M (kNm)	σ _{s,exp} (MPa)	w _{exp} (mm)	w _{m,exp} (mm)	w _{k,exp} (mm)	w _{m,calc} (mm)	w _{k,calc} (mm)	σ _{exp} (mm)	σ _{teo} (mm)
0.5	0.75	6.4						1.02	0.57
1.0	1.50	12.2						1.43	1.13
1.5	3.00	19.9						2.32	2.27
2.5	3.75	23.6						2.79	2.83
3.0	4.50	27.2						3.42	4.81
3.5	5.25	41.4	0.05	0.01	0.01	0.04	0.07	5.22	7.22
5.0	7.50	336.4	0.13	0.05	0.09	0.06	0.10	12.92	15.13
6.5	9.75	492.2	0.19	0.08	0.13	0.08	0.13	20.25	22.63
8.0	12.00	625.5	0.20	0.10	0.17	0.10	0.16	28.70	29.68
9.5	14.25	745.6	0.20	0.13	0.22	0.11	0.19	34.64	36.31
11.0	16.50	850.9	0.25	0.18	0.29			43.57	
11.5	17.25	864.0	0.27	0.21	0.35			47.91	
12.0	18.00	864.0	0.27	0.29	0.48				
12.5	18.75								

$$\rho_{sw\text{ carga}} = 0.50\%$$

$$\rho_{sw\text{ apoio}} = 1.00\%$$

$$\rho_{s,\text{tot}} = 1.15\%$$

$$\rho_{s,\text{tela}} = 0.89\%$$

$$s_{\text{exp}} = 30 \text{ mm}$$

$$s_{\text{teo}} = 40 \text{ mm}$$

ruptura por flexão $F_u = 12.5 \text{ kN}$

TABELA 6.19 - MODELO 5/1A - ESTADOS DE UTILIZAÇÃO

F (kN)	M (kNm)	M/M _U (%)	ε _{t,exp} (‰)	ε _{c,exp} (‰)	ε _{c,teo} (‰)	ε _{s,exp} (‰)	ε _{s,teo} (‰)	x _{exp} (mm)	x _{teo} (mm)	ρ _{r,exp} (%)
0.5	0.75	3.9	0.03	0.040		0.023		119.0		
1.0	1.50	7.8	0.06	0.060		0.040		112.5		
2.0	3.00	15.6	0.08	0.135		0.083		116.1		
2.5	3.75	19.5	0.10	0.175		0.103		118.0		
3.0	4.50	23.4	0.13	0.220	0.352	0.123	0.910	120.3	55.2	1.24
3.5	5.25	27.3	0.61	0.320	0.418	0.910	1.062	48.8		1.21
5.0	7.50	38.9	1.67	0.550	0.637	1.097	1.516	62.6		1.25
6.5	9.75	50.6	2.29	1.063	0.898	2.277	1.971	59.7		1.24
8.0	12.00	62.3	2.86	1.005	1.243	2.883	2.427	48.5		1.21
9.5	14.25	74.0	3.45	1.245		3.540		48.8		1.21
10.5	15.75	81.8	3.96	1.440		4.120		48.6		1.21
11.0	16.50	85.7	4.28	1.570		4.543		48.2		1.21
11.5	17.25	89.6	4.68	1.685		5.040		47.0		1.26
12.0	18.00	93.5	5.13	1.830		5.770		45.1		1.25
12.5	18.75	97.4	5.70	2.005		7.187		40.9		1.24
12.84	19.26	100.0								

F (kN)	M (kNm)	σ _{s,exp} (MPa)	w _{exp} (mm)	w _{m,exp} (mm)	w _{k,exp} (mm)	w _{m,calc} (mm)	w _{k,calc} (mm)	a _{exp} (mm)	a _{teo} (mm)
0.5	0.75	4.9						0.58	0.60
1.0	1.50	8.6						1.02	1.20
2.0	3.00	17.8						2.97	2.40
2.5	3.75	22.1						2.99	3.00
3.0	4.50	26.4						3.03	4.00
3.5	5.25	195.0	0.06	0.04	0.06	0.05	0.09	6.04	6.91
5.0	7.50	235.1	0.10	0.04	0.07	0.08	0.13	14.25	15.11
6.5	9.75	487.9	0.12	0.09	0.14	0.10	0.17	20.94	23.14
8.0	12.00	617.8	0.13	0.11	0.18	0.13	0.21	29.54	30.58
9.5	14.25	711.2	0.14	0.14	0.22	0.14	0.24	36.98	37.05
10.5	15.75	777.2	0.17	0.16	0.26			41.24	
11.0	16.50	813.7	0.19	0.17	0.29			44.88	
11.5	17.25	843.9	0.20	0.19	0.32			48.52	
12.0	18.00	863.8	0.22	0.22	0.36				
12.5	18.75	864.0	0.22						
12.84	19.26								

$$\rho_{sw \text{ carga}} = 0.50\%$$

$$\rho_{sw \text{ apoio}} = 0.50\%$$

$$\rho_{s, \text{tot}} = 1.15\%$$

$$\rho_{s, \text{tela}} = 0.89\%$$

$$s_{\text{exp}} = 38 \text{ mm}$$

$$s_{\text{teo}} = 50 \text{ mm}$$

ruptura por flexão $F_u = 12.84 \text{ kN}$

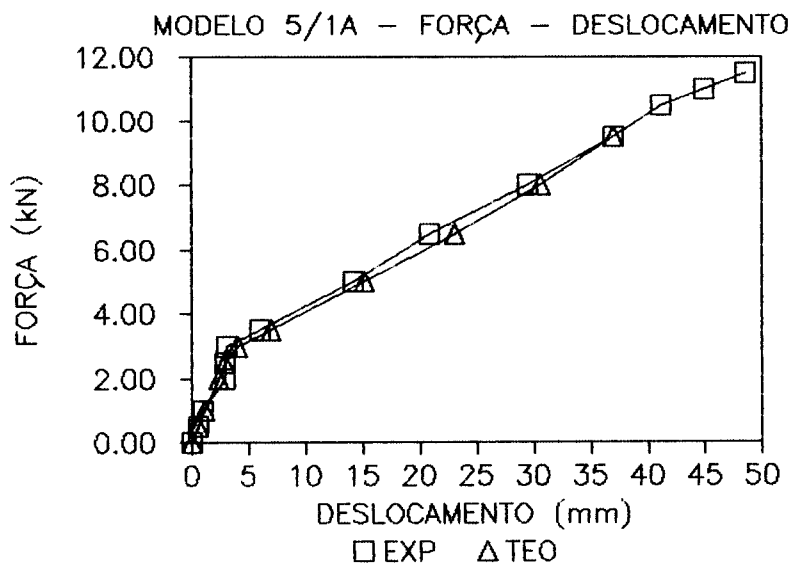
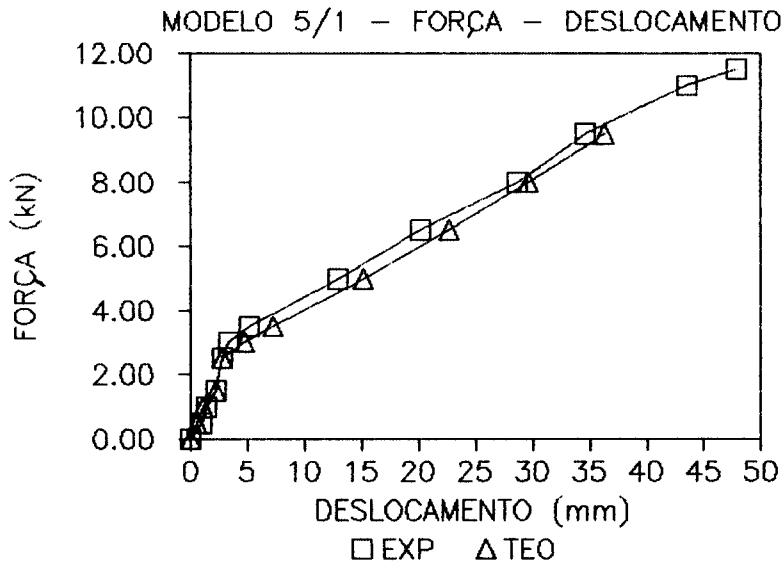
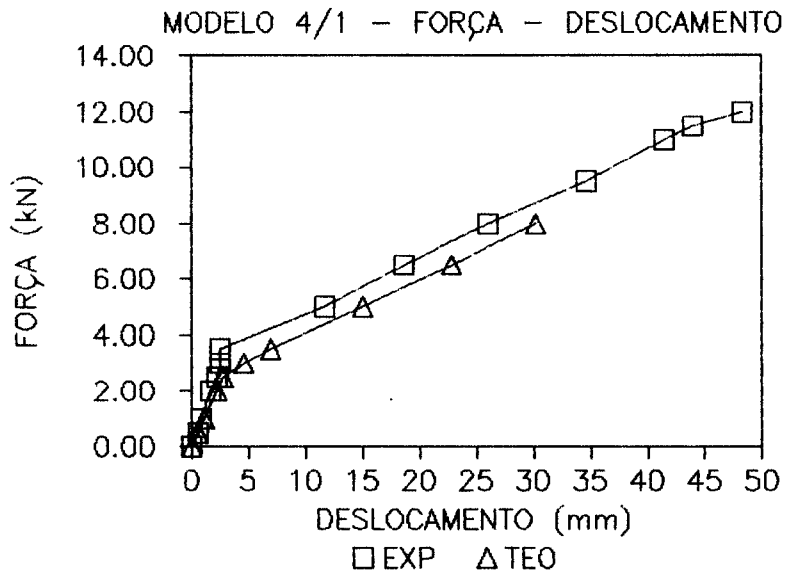


FIGURA 6.7 - DIAGRAMAS FORÇA - DESLOCAMENTO
MODELOS 4/1, 5/1 e 5/1A

TABELA 6.20— ESPAÇAMENTO MÉDIO ENTRE FISSURAS (mm)
 MODELOS DAS SÉRIES 4 e 5

MODELO	EIXO	REGIÕES DE OBSERVAÇÕES									
		AA	AB1	AB2	AB3	AC	TA	TB1	TB2	TB3	TC
4/1	1						34	22	32	27	30
	2						32	32	40	28	35
	3	58	41	51	37	51					
	4	63	46	59	45	50					
5/1	1						36	42	23	28	35
	2						37	46	35	32	35
	3	39	49	32	33	52					
	4	56	56	38	33	55					
5/1A	1						37	33	33	40	38
	2						37	33	46	41	41
	3	55	58	46	48	57					
	4	67	75	47	44	56					

TABELA 6.21 — ESPAÇAMENTO ENTRE FISSURAS — COMPARAÇÃO ENTRE OS CALCULADOS E EXPERIMENTAIS

MODELO	a_t (mm)	$\rho_{r \text{ médio}}$ (%)	s_l (mm)	s_{calc} (mm)	s_{exp} (mm)
1 / 1	50	1,79	28	50	40
1 / 2	50	2,14	25	45	32
1 / 3	50	2,65	23	41	23
1 / 4	50	3,67	19	34	23
2 / 1	50	1,25	36	50	29
2 / 2	50	1,59	31	50	29
2 / 3	50	2,07	26	47	20
3 / 1	25	1,24	36	36	26
3 / 2	25	1,55	31	31	21
3 / 3	25	2,08	26	26	18
4 / 1	50	1,22	40	50	30
5 / 1	25	1,25	40	40	34
5 / 1A	25	1,23	40	50	38

TABELA 6.22 — COMPARAÇÃO ENTRE OS VALORES DO MÓDULO DE DEFORMAÇÃO LONGITUDINAL EXPERIMENTAL E O TEÓRICO

MODELO	f_{cj} (MPa)	$E_{c\ teo}$ (MPa)	$E_{c\ exp}$ MPa	$\frac{E_{c\ exp}}{E_{c\ teo}}$
1 / 1	39, 8	33 310	30.725	0, 92
1 / 2	43, 5	34.824	33.492	0, 96
1 / 3	35, 4	31.415	31.365	1, 00
1 / 4	36, 5	31.899	34.445	1, 08
2 / 1	37, 6	32.376	30.258	0, 93
2 / 2	37, 0	32.117	30.824	0, 96
2 / 3	41, 4	33.973	34.188	1, 01
3 / 1	36, 2	31.768	33.980	1, 07
3 / 2	40, 3	33.519	29.490	0, 88
3 / 3	39, 3	33.100	30.110	0, 91
4 / 1	39, 4	31.856	29.240	0, 92
5 / 1	37, 0	32.117	29.460	0, 92
5 / 1A	38, 6	32.804	27.790	0, 85
$E_{c\ teo} = 0,8 \times 6.600 \sqrt{f_{cj}}$ [NBR 6118/80]				
$E_{c\ exp}$, VER CAPÍTULO 5				

7. CONCLUSÕES

Com relação ao material argamassa se verificou, com os resultados obtidos nesta pesquisa, que é possível se utilizar dosagem diferente daquela que tradicionalmente vem sendo utilizada, inclusive com diminuição do consumo de cimento e introdução de um agregado artificial de granulometria compatível com as dimensões das peças e em função da trabalhabilidade.

A dosagem adotada (1:2:1,3:0,55), além de ter fornecido uma boa trabalhabilidade durante a execução, apresentou resistência compatível com a utilização das peças. A opção pela utilização de cimento portland de alta resistência inicial (ARI), acelerou a fase experimental da pesquisa permitindo desmoldagens aos 2 dias de idade e ensaios aos 7 dias, não se notando no manuseio do modelo abertura prematura de fissuras. O processo de cura dos modelos das séries 2 e demais, que foi feito com a colocação de manta de espuma de borracha embebida em água se mostrou satisfatória pois, não se notaram efeitos nocivos da retração.

As telas soldadas utilizadas mostraram-se compatíveis com as necessidades de resistência quanto às tensões normais e tangencias. Os resultados obtidos nos modelos da série 3, com relação ao estado limite de abertura de fissuras, mostraram a

viabilidade de se empregar telas com fios menos espaçados. Estas telas apresentaram facilidade de manuseio, montagem da armação e de colocação na fôrma. Com relação às resistências dos fios das telas utilizadas, lembra-se aqui, que todos os corpos-de-prova ensaiados romperam na ligação entre os fios longitudinais e transversais, não permitindo a determinação da resistência de escoamento do fio da tela. Esse fato ocorreu devido à diminuição do diâmetro do fio nas ligações.

A análise dos resultados com relação aos estados limites últimos permite concluir que:

- a) O processo de verificação da resistência da seção transversal, indicado pelo projeto de norma de argamassa armada, com relação à força cortante se mostrou compatível em relação à segurança da peça;
- b) A verificação da resistência da seção transversal, sob ação de momento fletor, considerando a contribuição de todos os fios longitudinais posicionados na alma forneceu resultados bem próximo aos obtidos experimentalmente. A não consideração da contribuição destes fios evidentemente fica a favor da segurança;
- c) As diferenças encontradas entre os momentos fletores experimentais, observados nos ensaios, e os teórico-experimentais, calculados usando o programa elaborado, podem perfeitamente bem serem atribuídas à grande variabilidade inerente aos materiais empregados.

As recomendações do projeto de norma brasileira de argamassa armada para verificação do estado limite último, pode-se dizer, que foram comprovadas experimentalmente, podendo serem usadas desde que se atenda às indicações da NBR 8681/85 e NBR 6118/80, com relação à segurança.

Em se tratando da verificação do estado de formação de fissuras, pode-se indicar:

- a) O cálculo do momento fletor de fissuração utilizando as hipóteses do estágio Ib, cálculo no regime de ruptura,

é possível de ser feito como um valor de referência de projeto. Os momentos fletores de fissuração observados experimentalmente resultaram valores maiores que os calculados. Para os modelos da série 2 e demais em média 18% e para os da série 1 14% desprezando-se o resultado do modelo 1/4 (tabela 6.3). Lembra-se que os valores teóricos foram calculados com tensão na argamassa, na borda mais tracionada, igual a 0,75 vezes a resistência determinada no ensaio dos corpos-de-prova;

- b) As deformações de ruptura da argamassa na borda tracionada, relativas ao momento fletor de fissuração experimental, que em média resultaram 0,14% podem servir como uma indicação de projeto, nos casos semelhantes aos analisados neste trabalho;
- c) A tensão média de tração na armadura complementar, relativa ao estado de formação de fissuras resultou igual a 45MPa constituindo-se também num indicativo para projetos, desde que as taxas de armaduras sejam semelhantes às utilizadas nos modelos ensaiados.

No que diz respeito ao estado de formação de fissuras, as indicações para o cálculo do momento fletor de fissuração, apresentadas no capítulo 3, item 3.2, fornecem uma boa avaliação. Dados mais precisos com relação à retração deverão ser levantados para melhorar as hipóteses de cálculo.

Considerando-se 0,10mm como valor limite para aberturas características de fissuras em ambientes protegidos, conforme indicado pelo projeto de norma brasileira de argamassa armada, foi percebido em todos os ensaios que este valor era alcançado, quando a tensão na armadura ficava da ordem do valor da resistência de escoamento da armadura complementar dividida por 1,4, com deformações da ordem de 4% em média, independentemente da taxa de armadura. É importante verificar que esta indicação foi observada nos casos em que o arranjo de armadura de tela na mesa tracionada, previa duas camadas.

O espaçamento entre fissuras ficou próximo ao espaçamento dos fios transversais da tela nos modelos da série 3. Se a taxa de armadura longitudinal não foi alterada entre modelos semelhantes das séries 2 e 3, é de se esperar que este fato tenha ocorrido pelo acréscimo da taxa de armadura transversal nos modelos da série 3 ($\rho_{sw} = 1,0\%$) em relação aos da série 2 ($\rho_{sw} = 0,5\%$), como observado na tabela 6.21.

Os valores das aberturas de fissuras características, calculados com as indicações do projeto de norma brasileira de argamassa armada, apresentados no item 3.4 deste trabalho, mostraram-se incompatíveis com aqueles observados experimentalmente, porém os valores médios obtidos com a equação 3.79 podem ser tomados como valores de referência, uma vez que ficaram próximos dos observados, ver tabelas do item 6.3.

Os deslocamentos medidos nos ensaios foram menores que os determinados teoricamente, através das expressões do item 3.7, como podem ser notados nas tabelas e diagramas do item 6.3. Para essa determinação teórica se usaram os módulos de deformação longitudinal na origem medidos experimentalmente, multiplicando-os por 0,85 para se calcular o módulo de deformação longitudinal secante. O momento de inércia da seção transversal, quando o momento fletor solicitante era maior que o momento fletor de fissuração, era calculado com a expressão 3.115, fórmula de Branson (ACI 318M-83)⁴³ para se levar em conta a variação de rigidez ao longo do eixo do elemento fletido.

CONTINUIDADE DA PESQUISA:

Em pesquisas futuras, na mesma linha de ação desta, pode-se projetar modelos com taxa de armadura longitudinal, posicionada na mesa tracionada, maior do que as que se utilizaram nos modelos da séries 2 e 3. Lembra-se que nesta pesquisa, dentro de uma mesma série, se aumentou a taxa de

armadura longitudinal mantendo a mesma armadura na mesa tracionada, porém diminuindo a largura da mesa. Os resultados desses ensaios poderão ser comparados com os aqui obtidos.

Os dados relativos ao estudo da resistência à força cortante de peças fletidas de argamassa armada, embora apresentando confiabilidade, poderiam ser ampliados. Pode-se preparar um plano de pesquisa que, na continuidade deste, estude a ruptura por força cortante inclusive analisando os aspectos de cisalhamento nas mesas tracionada e comprimida. Lembrando que para os modelos da série 1 se fez um conjunto de fôrmas com capacidade de abranger modelos com três alturas diferentes (250mm, 350mm e 450mm), e com larguras de alma de 25mm e 50mm, com comprimento de 3005mm, pode-se com pequenas adaptações, utilizá-la para esse fim.

Com relação ao efeito da retração, esse trabalho progrediu pouco. As experiências acumuladas durante os procedimentos de medidas de retrações em corpos-de-prova de argamassa simples e as realizadas no modelo 1/2 permitiram criar conhecimento que pode ser útil em pesquisas futuras.

Nos capítulos 2 e 3, também foram apresentadas as formulações para verificação dos estados limites último e de utilização, segundo as normas soviéticas (SN 366/77) e norte-americana (ACI 549.1R-88) porém, não se fizeram estudos comparativos com os valores experimentais obtidos neste trabalho. Portanto, deve-se continuar a pesquisa explorando esse estudo com o objetivo de comparar as formulações com o projeto de norma brasileira, no que couber, já que a norma norte-americana, trata a argamassa armada como um material sinérgico.

As formulações de verificação das aberturas das fissuras, desenvolvida neste trabalho e recomendada pelo projeto de norma brasileira, são propícias para análise de peças armadas apenas com telas soldadas, de malha quadrada ou retangular, não abordando aquelas nas quais são utilizadas armaduras complementares ou outros tipos de tela, sendo portanto mais uma linha de pesquisa a ser desenvolvida como continuidade do trabalho ora apresentado.

Elementos comprimidos ou flexo-comprimidos de argamassa armada, não têm sido estudados experimentalmente. O conjunto de fôrmas projetado para a execução dos modelos analisados nesta pesquisa, pode servir para a moldagem de peças com esta finalidade, inclusive analisando o fenômeno da instabilidade.

Para outros tipos de telas, que não foram aqui analisadas, podem ser desenvolvidas pesquisas semelhantes.

Também seria importante elaborar planos de pesquisa que analisassem os deslocamentos de vigas de argamassa armada submetidas a cargas de longa duração, de tal maneira a se poder avaliar os coeficientes que consideram o efeito da fluência.

Imaginando que os objetivos iniciais propostos para este trabalho tenham sido alcançados, ao menos em parte deles, uma vez que alguns tópicos requerem análises mais elaboradas, espera-se que tenha o Autor contribuído com o meio técnico e científico, para o desenvolvimento da tecnologia da argamassa armada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. HANAI, J.B. Construções em argamassa armada: situação, perspectivas e pesquisas. São Carlos, EESC-USP, 1981. 300p. (Tese de doutorado)
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto e execução de argamassa armada. São Paulo, ABNT, 1989. 19p. (ProjetoCE-18:05.14-001/89)
3. NERVI, P.L. Il ferro-cemento: sue caratteristiche e possibilita. L'Ingegnere, 25 (1): 17-25, gen.1951.
4. NERVI, P.L. Costruire correttamente: caratteristiche e possibilita delle strutture cementizie armate. Milano, Ulrico Hoepli, 1955. 177p.
5. NERVI, P.L. Concrete and structural form. The Structural Engineer, 34 (5): 155-172, May, 1956.
6. NERVI, P.L. Nuevas estructuras. Barcelona, G.Gili, 1963. 167p.

7. SCHIEL, F. & MARTINELLI, D.A.O. Argamassas armadas em elementos estruturais. Forum de Engenharia: técnica e equipamentos, 1 (4): 21-29, julho, 1984.
8. PETRONI, L. Aplicação da argamassa armada na construção de lajes. São Carlos, EESC-USP, 1971. 117p. (Tese de doutorado)
9. PETRONI, L. Vigas de argamassa armada. São Carlos, EESC-USP, 1974. 106p. (Tese de livre-docência)
10. MACHADO JUNIOR, E.F. Piscinas e reservatórios de argamassa armada. São Carlos, EESC-USP, 1980. 130p. (Dissertação de mestrado)
11. LIMA, J.F. Escola transitória: modelo rural. Brasília. MEC SG.CEDATE, 1984. 113p.
12. EL DEBS, M.K. Contribuição ao projeto de galerias enterradas: alternativas em argamassa armada. São Carlos, EESC-USP, 1984. 303p. (Tese de doutorado)
13. HANAI, J.B. Argamassa armada: fundamentos tecnológicos para projeto e execução. São Carlos, EESC-USP, 1987. 261p. (Tese de livre-docência)
14. MIGLIORE JUNIOR, A.R. Estruturas de contenção com elementos pré-moldados de argamassa armada. São Carlos, EESC-USP, 1987. 151p. (Dissertação de mestrado)
15. BALLARIN, A.W. Propriedades mecânicas da argamassa armada com telas soldadas. São Carlos, EESC-USP, 1989. 116p. (Dissertação de mestrado)
16. AGNESINI, M.V.C. Sistema construtivo com elementos pré-fabricados de argamassa armada: uma alternativa para a execução de pontilhões rodoviários em zonas urbanas e

estradas vicinais. São Carlos, EESC-USP, 1989. (Tese de doutorado)

17. LIBÓRIO, J.B.L. Estudo patológico de construções de argamassa armada existentes no Brasil. São Carlos, EESC-USP, 1990. (Tese de doutorado)
18. SIMPÓSIO NACIONAL DE TECNOLOGIA DA CONSTRUÇÃO, 1.: Argamassa Armada, São Paulo, SP, 02-03 jun. 1986. Anais. São Paulo, EPUSP, 1986. 138p.
19. BALAGURU, P. N.; NAAMAN, A. E & SHAH, S. P. - Analysis and Behavior of Ferrocement in Flexure Proceedings, ASCE, V. 103, 1977 pp. 1937-1951
20. NAAMAN, A. E. - Design Predictions of Crack Widths in Ferrocement, Ferrocement - Material and Applications, SP-61, American Concrete Institute, Detroit, 1979, pp. 25-42
21. AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Committee 549. Guide for the design, construction, and repair of ferrocement. ACI Structural Journal, 85 (3): 325-351, May-June, 1988. (ACI 549.1R-88)
22. ASSOCIAZIONE ITALIANA TECNICO-ECONOMICA DEL CEMENTO. Raccomandazioni tecniche A.I.C.A.P. per l'impiego del ferrocemento. Notiziario AICAP, (11): 7-13, 1984.
23. COMITE FEDERAL DO CONSELHO DE MINISTROS DA URSS PARA ASSUNTOS DE ESTRUTURA. Instruções para o projeto de estruturas de argamassa armada (ferro-cimento). s.n.t. 60p. (Trad.em espanhol do original russo) (SN 366-77)
24. WAINSHOTK RIVAS, H. Guía para el diseño y construcción de elementos de ferrocemento. Cuba, s.ed., 1986. 31p.

25. AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Committee 549. State-of-the-art report on ferrocement. Concrete International, 4 (8): 13-38, Aug. 1982. (ACI 549R-82)
26. MARTINELLI, D. A. O.; MONTANARI, I. & SAVASSI, W. - Ensaio de Modelos Reduzidos de Cobertura em Casca para o Centro do Cacau de Itabuna - Bahia, São Carlos - EESC/USP (relatório LE-EXT. 60/66)
27. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto e execução de obras de concreto armado. Rio de Janeiro, ABNT, 1980. 17p. (NBR 6118/80)
28. AMARAL, N.A. A resistência do concreto armado à força cortante. Dirigente Construtor, 10, out.-nov.1974.
29. LEONHARDT, F. Cisalhamento em concreto armado e concreto protendido: princípios básicos de novos dimensionamentos do cisalhamento. Engenharia, (422): 14-35, 1978.
30. FUSCO, P.B. Estruturas de concreto: solicitações tangenciais. São Paulo, EPUSP, 1982. 2v.
31. SANTOS NETTO, P. Resistência do concreto armado à força cortante em peças fletidas. São Carlos, EESC-USP, 1977. 62p.
32. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro, ABNT, 1985. 66p. (NBR 9062/85)
33. MOLLICA JUNIOR, S. O uso da tela soldada no combate à fissuração. São Paulo, IBTS, 1986. 76p.
34. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Tela de aço soldada para armadura de concreto. Rio de Janeiro, ABNT, 1982. 14p. (NBR 7481/82)

35. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado. Rio de Janeiro, ABNT, 1985. 15p. (NBR 7480/85)
36. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Cimento Portland comum. Rio de Janeiro, ABNT, 1980. 2p. (NBR 5732/80)
37. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Cimento Portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro, ABNT, 1980. 2p. (NBR 5733/80)
38. MARQUÊS DE COLLO, P.C. Flexão simples em perfis típicos de argamassa armada: caso de seções transversais com forma de U e T (invertido). São Carlos, EESC-USP, 1987. (Relatórios 1, 2 e 3 - FAPESP 86/0682-5)
39. NADER, M. Flexão simples em perfis típicos de argamassa armada: caso de seções transversais com forma de V e duplo T. São Carlos, EESC-USP, 1987. (Relatórios 1, 2 e 3 - FAPESP 86/0681-9)
40. GIL, L.S. Desenvolvimento de programas em microcomputador para sistematização do dimensionamento e análise dos resultados experimentais de elementos pré-moldados em argamassa armada. São Carlos, EESC-USP, 1989. (Relatórios 1 e 2 - FAPESP 88/3634-7)
41. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Ações e segurança nas estruturas. Rio de Janeiro, ABNT, 1984. 28p. (NBR 8681/84)
42. BAYKOV, V. N. & SIGALOV E. E. - Estructuras de Hormigon Armado Editorial MIR - Moscou - 1980 (Tradução em espanhol do original russo)

43. AMERICAN CONCRETE INSTITUTE Committee 318 Building Code Requirements for Reinforced Concrete, July 1985 (3rd printing) (ACI 318M-83)
44. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de estruturas de concreto protendido. Rio de Janeiro, ABNT, 1988. 71p. (NBR 7197 - Projeto de revisão Abr/1988)
45. AMARAL, N.A. Construções de concreto I. São Paulo, EPUSP/DLP, 1973. 2v.
46. GIONGO, J.S. Exemplo prático de dimensionamento. São Paulo, ABCP, 1988. 34p.
47. GORISSE, F. Étude des micro-bétons pour modèles de structures. Annales de L'Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics, (291): 129-151, mars, 1972.
48. FORTES FILHO, J. Aplicação das recomendações da NB-1/78 e da NBR-7197 sobre fissuração à argamassa armada. s.l s.ed., 1987. 15p. (Estudo para a norma de argamassa armada)
49. SCHIEL, F. Introdução à resistência dos materiais. São Carlos, EESC-USP, 1982. 3 fasc.
50. PINHEIRO, L.M. Concreto armado: tabelas e ábacos. São Carlos, EESC-USP, 1986. 66p.
51. CUNHA, R.D.A. & BATISTA, A.P.C. Estudo de misturas de cimento, areia e pedrisco: microconcretos resistentes à tração. São Carlos, EESC-USP, 1988. 34p. (Trabalho apr. à disciplina "Seminários sobre Tecnologia da Argamassa Armada")
52. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Ensaio de cimento Portland. Rio de Janeiro, ABNT, 1982. 20p.

(NBR 7215/82)

53. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Agregados:
determinação da composição granulométrica. Rio de
Janeiro, ABNT, 1987. 5p. (NBR 7217/87)
54. 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. 114p.
55. FUSCO, P. B. O cálculo de concreto armado em regime
de ruptura, In: Simpósio EPUSP sobre Estruturas de
Concreto, 1. v. 1 São Paulo, EPUSP, 1989, Anais
56. SAVASSI, W. Formulações para cálculo (programável) de
características de figuras geométricas planas: área,
baricentro, momentos de inércia. São Carlos, EESC-USP,
1987. 39p.
57. OLIVEIRA JUNIOR, V. & FERREIRA, O. P. Verificação da
retração em concretos e argamassas de cimento. São
Carlos, EESC-USP, 1988 63p. (Trabalho apr. à disciplina
"Seminários sobre Tecnologia da Argamassa Armada")

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

- BARBOSA, N.P. Fluência e retração do concreto segundo a nova
norma brasileira de concreto protendido - NBR-7197. A
Construção São Paulo: 13-16, set. 1989.
- CEB-FIP Model Code 1990: First Predraft 1988. CEB Bulletin
D'Information, ns. 190a-190b, juillet, 1988.
- CODE-MODÈLE CEB-FIP pour les structures en béton. 3.ed. CEB
Bulletin D'Information, n.124/125, part 2, 1978.

- COMITÉ EURO-INTERNATIONAL DU BÉTON. Model Code Revision Group. Summary and analysis of observations concerning the revision of the CEB/FIP Model Code 1978 with discussion documents on new or revised clauses - Parts A, B and C. CEB Bulletin D'Information, ns.175-177, March, 1987.
- FUSCO, P.B. Estruturas de concreto: solicitações em serviço - 1a. parte. São Paulo, EPUSP, 1983. 103p.
- FUSCO, P.B. Estruturas de concreto: solicitações normais, estados limites últimos; teoria e aplicações. Rio de Janeiro, Guanabara Dois, 1981. 464p.
- GIONGO, J.S. Contribuição ao estudo da ruína de lajes retangulares de tabuleiro de pontes. São Carlos, EESC-USP, 1982. 148p. (Dissertação de mestrado)
- INSTITUTO BRASILEIRO DE TELAS SOLDADAS Telas Soldadas para Argamassa Armada: Catálogo S/7, São Paulo
- LEONHARDT, F. Construções de concreto. Rio de Janeiro, Interciência, 1979. 6v. (Trad. do original alemão)
- NEVILLE, A.M. Propriedades do concreto. Trad. de S.E. Giammusso. São Paulo, Pini, 1982. 738p.
- REGAN, P.E. Longitudinal shear in the flanges of reinforced concrete beams. CEB Bulletin D'Information, (146): 139-191, jan.1982.
- RÈGLES unifiées communes aux différents types d'ouvrages et de matériaux. CEB Bulletin D'Information, n.124/125, part 1, 1978.
- REINECK, K.-H. Models for the design of reinforced and prestressed concrete members. CEB Bulletin D'Information, (146): 43-96, jan.1982.

SANTOS, L.M. Cálculo de concreto armado. São Paulo, LMS,
1981. 2v.

STATE COMMITTEE FOR CONSTRUCTION OF THE COUNCIL OF MINISTERS OF
THE U.S.S.R. Instructions for the design of reinforced
cement constructions. s.n.t. 76p. (Trad. do original
russo) (SN 366-67)

WALRAVEN, J.C. Shear in elements without shear reinforcement.
CEB Bulletin D'Information, (146): 7-41, jan.1982.

APÊNDICE 1

A1. PROGRAMA PARA VERIFICAÇÃO DA SEGURANÇA DE PEÇAS DE ARGAMASSA ARMADA SUBMETIDAS A ESFORÇOS DE FLEXÃO

Este programa foi desenvolvido no Departamento de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, inicialmente por Marquês de Collo (1987) e Nader (1987) e, nesta versão final, Gil (1989) com bolsas de Iniciação Científica da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP.

Os trabalhos foram orientados por Hanai e pelo Autor.

A1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Todas as hipóteses utilizadas neste programa estão de acordo com a Norma de Argamassa Armada "Projeto e Execução de Argamassa Armada".

A segurança de uma peça submetida a esforços solicitantes oriundos da flexão, momento fletor e força cortante, com relação ao Estado Limite Último, é feita considerando as desigualdades:

$$M_{Rd} > M_{sd} = \frac{M_k}{\gamma_f}$$

e

$$V_{Rd} > V_{sd} = \frac{V_k}{\gamma_f}$$

ou seja, os esforços resistentes de cálculo devem ser, em cada seção transversal da peça, maiores que os esforços solicitantes de cálculo.

A segurança deve, ainda, ser verificada para a peça em serviço com as indicações para os Estados Limites de Utilização.

No caso de vigas de argamassa armada, de seção transversal duplo T ou a ela transformável, as equações que regem as verificações nos Estados Limites foram deduzidas nos capítulos 2 e 3.

O programa foi desenvolvido com a finalidade de se atender situações de projeto e de verificação experimental de peças de argamassa armada.

Na situação de projeto, a partir de uma seção transversal desenvolvida na fase de ante-projeto, o programa fornece o valor do momento fletor resistente de cálculo (M_{Rd}) e força cortante resistente de cálculo (V_{Rd}). Fornece, ainda, o valor do momento fletor de fissuração (M_r), o valor dos deslocamentos para M_r e M_{Rd} e o valor das aberturas das fissuras para o momento fletor de serviço fornecido. Comparando-se com os esforços solicitantes de cálculo, avalia-se a viabilidade desse ante-projeto.

Todos os parâmetros de resistência são adotados pelo projetista ou fornecidos pelo projeto, quais sejam: características geométricas da seção transversal, vão da viga e tipo de carregamento, resistências dos materiais, resistência característica à compressão da argamassa (f_{ck}) e tipo de tela, normalmente constituída de fios de aço CA-60 ($f_{yk} = 600$ MPa) e fios complementares de aço (CA-60) ou barras de aço (CA-50), o que permitem adotar as características de resistência da tela e

dos fios ou barras.

Esses valores devem ser atendidos por ocasião da construção dos elementos.

Na situação de verificação experimental, após terminado o ensaio da viga de argamassa armada procede-se ao ensaio dos corpos-de-prova de argamassa moldados simultaneamente com o modelo. Desses ensaios determinam-se a resistência média à compressão dos corpos-de-prova na idade do dia do ensaio do modelo (\bar{f}_{cj}) e, o módulo de deformação longitudinal à compressão da argamassa, determinado no início da curva tensão-deformação utilizando regressão linear dos dados obtidos.

O mesmo ocorre com os fios de aço que compõem a tela eletro soldada e os fios de aço que fazem parte da armadura complementar. Por ocasião da montagem da armação podem ser retirados corpos-de-prova com o fim de submetê-los a ensaio de tração e, assim, obter os diagramas tensão-deformação.

De posse desses resultados experimentais alimenta-se o programa e obtém-se os esforços resistentes teórico-experimentais que se comparam com os experimentais.

Os esforços resistentes teórico-experimentais são determinados com as equações deduzidas nos capítulos 2 e 3 com as resistências dos materiais determinadas experimentalmente.

Ao longo da utilização do programa tem-se sempre a possibilidade de decidir pela verificação dos esforços resistentes da seção transversal considerando os critérios de segurança da NBR 8681 e NBR 6118 ou optar pelo cálculo dos esforços resistentes teórico-experimentais.

No primeiro caso seguem-se os critérios indicados no capítulo 3, com os coeficientes de minoração da resistência dos materiais adotados com os critérios da NBR 6118 e NBR 9062. A tensão de cálculo no concreto é adotada igual a $0,85f_{cd}$ (Fusco [1989]⁵⁵). No segundo caso, esses coeficientes são adotados iguais a unidade, pois trabalham-se com as resistências médias dos materiais e, porque as cargas têm efeito de curta duração.

As características geométricas das seções transversais são calculadas utilizando os conceitos indicados no trabalho de

Savassi [1987]⁵⁶ de onde se obtiveram as formulações para o cálculo programável.

Se não se dispuser de valores experimentais para a resistência característica da argamassa à tração e do módulo de deformação longitudinal da argamassa, o programa calcula, essas características automaticamente em função de f_{ck} e com as indicações dos capítulos 2 e 3. Em caso contrário, basta alimentar o programa com esses valores.

No caso das características mecânicas da tela e dos fios complementares o procedimento é o seguinte: na situação de projeto pode-se fornecer as características mecânicas nominais dos aços CA-60 indicados pela NBR 6118 e NBR 7480; na situação de verificação experimental é necessário o conhecimento dos diagramas tensão (σ_s) - deformação (ε_s) dos fios que compõe as telas e dos fios complementares. As resistências e deformações observadas nos diagramas devem ser fornecidos ao programa com coeficiente de minoração (γ_s) igual a unidade. No trecho curvo do diagrama com a finalidade de caracterizar melhor a curva parabólica o programa solicita o fornecimento de um terceiro ponto além daqueles referentes à resistência de proporcionalidade e de escoamento.

O posicionamento dos fios longitudinais da tela de aço deve ser fornecido para que a contribuição de cada fio para cálculo dos esforços resistentes seja computado. Seguiram-se as posições mostradas nas figuras do capítulo 3. Com relação à posição dos fios das telas posicionados na alma, fornecem-se a distância do centro geométrico do fio, até a borda comprimida e, na sequência o espaçamento nominal (ou verificado no modelo) entre os fios longitudinais. Deve-se fornecer também o número de telas posicionadas na alma. Esses dados devem ser analisados na fase de ante-projeto da peça (ou modelo).

Fornecidos todos os dados solicitados, o programa inicia os cálculos de verificação dos estados limites últimos e de utilização. As respostas aparecem na tela do microcomputador na ordem indicada a seguir.

Com relação ao Estado Limite de Fissuração, para os dados fornecidos, o programa calcula o valor do momento fletor de

fissuração (M_p) e a posição da linha neutra (x_I), com as hipóteses desenvolvidas no item 3.2 deste trabalho e o valor do deslocamento no meio do vão da viga quando estiver agindo este momento fletor e, com a configuração de carregamento fornecida como dado de entrada.

Na sequência o programa fornece as verificações de segurança no Estado Limite Último mostrando os valores das tensões e deformações nas várias camadas de telas e, ainda, na armadura complementar posicionada na mesa tracionada. O momento fletor resistente último (M_{Rd}), a posição da linha neutra (x) e o domínio de deformações que a viga estará submetida por ocasião da ruína convencional, são fornecidos nesta etapa. Esses valores são calculados com hipóteses e equações deduzidas no item 2.1 deste trabalho. A força cortante última resistida pela seção transversal é fornecida e calculada com o desenvolvimento do item 2.4. Em função do tipo de carregamento a ser aplicado ao elemento, obtém-se como resposta o valor da força última convencional que a viga pode receber.

Lembra-se aqui que na situação de projeto obtém-se como resposta os valores do momento fletor resistente de cálculo e da força cortante resistente de cálculo e, na situação de verificação experimental obtém-se os valores últimos teórico-experimentais. Na primeira situação cabe ao projetista definir os valores do momento fletor solicitante e força cortante solicitante que podem ser aplicados à viga com segurança. Nos casos usuais e de acordo com a NBR 8681, para se obter estes valores basta dividir os esforços solicitantes de cálculo pelo coeficiente de segurança igual a 1,4.

De qualquer modo pode-se estudar a segurança da viga com os critérios de composição de esforços solicitantes da NBR 8681.

Com relação aos Estados de Fissuração Inaceitável e Deformação Excessiva o programa desenvolvido faz as verificações usando as equações apresentadas nos itens 3.4 e 3.7 deste trabalho, respectivamente.

Supondo-se sempre a viga nas condições de serviço (Estádio II), deve-se fornecer ao programa o valor do momento fletor de

serviço. Obtem-se, como resposta, a posição da linha neutra (x_{II}), momento de inércia equivalente da seção fissurada (I_{eq}) calculado com a fórmula de Branson (3.115) que leva em conta a variação de rigidez ao longo do eixo da peça fletida, tensões nas várias camadas de fios de tela e na armadura complementar, valor característico das aberturas de fissuras e o valor do deslocamento no meio do vão.

As várias etapas do programa são iterativas. Se parte das respostas interessam, o usuário têm as opções de escolher uma nova seção, refazer os cálculos com a mesma seção mudando, por exemplo a resistência da argamassa ou mudando o tipo ou a disposição das telas e, se os resultados forem satisfatórios, imprimí-los.

A1.2 DESCRIÇÃO DO FUNCIONAMENTO DO PROGRAMA

O programa é auto-explicativo e não causa grandes dificuldades para o usuário. Em todos os blocos são dadas opções de volta, impressão ou término do programa.

Pode-se em princípio dividir o programa em grandes blocos, sendo: entrada de dados da seção transversal; cálculo das características geométricas; entrada dos dados da argamassa; cálculo do momento fletor de fissuração e posição da linha neutra; entrada dos dados das armaduras; cálculo da linha neutra e do momento fletor último para o estado limite último; Deformação excessiva e de fissuração inaceitável (cálculos no estágio II).

ENTRADA DOS DADOS DA SEÇÃO TRANSVERSAL -

Escolhido um sistema de referência, são dadas as coordenadas dos vértices da seção transversal e as dimensões da seção, como por exemplo a largura e espessura dos elementos e a altura.

CÁLCULO DAS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS -

São calculados o momento de inércia em relação aos eixos do sistema escolhido, o centro de gravidade e a área da seção

transversal.

ENTRADA DOS DADOS DA ARGAMASSA E DA GEOMETRIA DA VIGA -

Resistência à compressão e à tração, módulo de deformação longitudinal, o vão entre apoios da viga e tipo e posição da carga.

CÁLCULO DO MOMENTO FLETOR DE FISSURAÇÃO E LINHA NEUTRA -

Calculados fazendo-se a suposição da linha neutra posicionada nas mesas ou na alma. É calculado o deslocamento correspondente ao momento fletor de fissuração.

ENTRADA DOS DADOS DAS ARMADURAS -

Distâncias até a borda comprimida, diâmetros, números de fios complementares, número de telas e os valores das resistências e deformações de proporcionalidade e de escoamento do aço, da tela e dos fios complementares.

CÁLCULO DA LINHA NEUTRA E DO MOMENTO FLETOR ÚLTIMO -

Utilizando-se as hipóteses descritas no item 3.1, determinam-se a linha neutra e o momento fletor resistente último através de processo iterativo.

CÁLCULO DA FORÇA CORTANTE -

Utilizando o critério de cálculo da NBR 6118, calcula-se o valor da força cortante última.

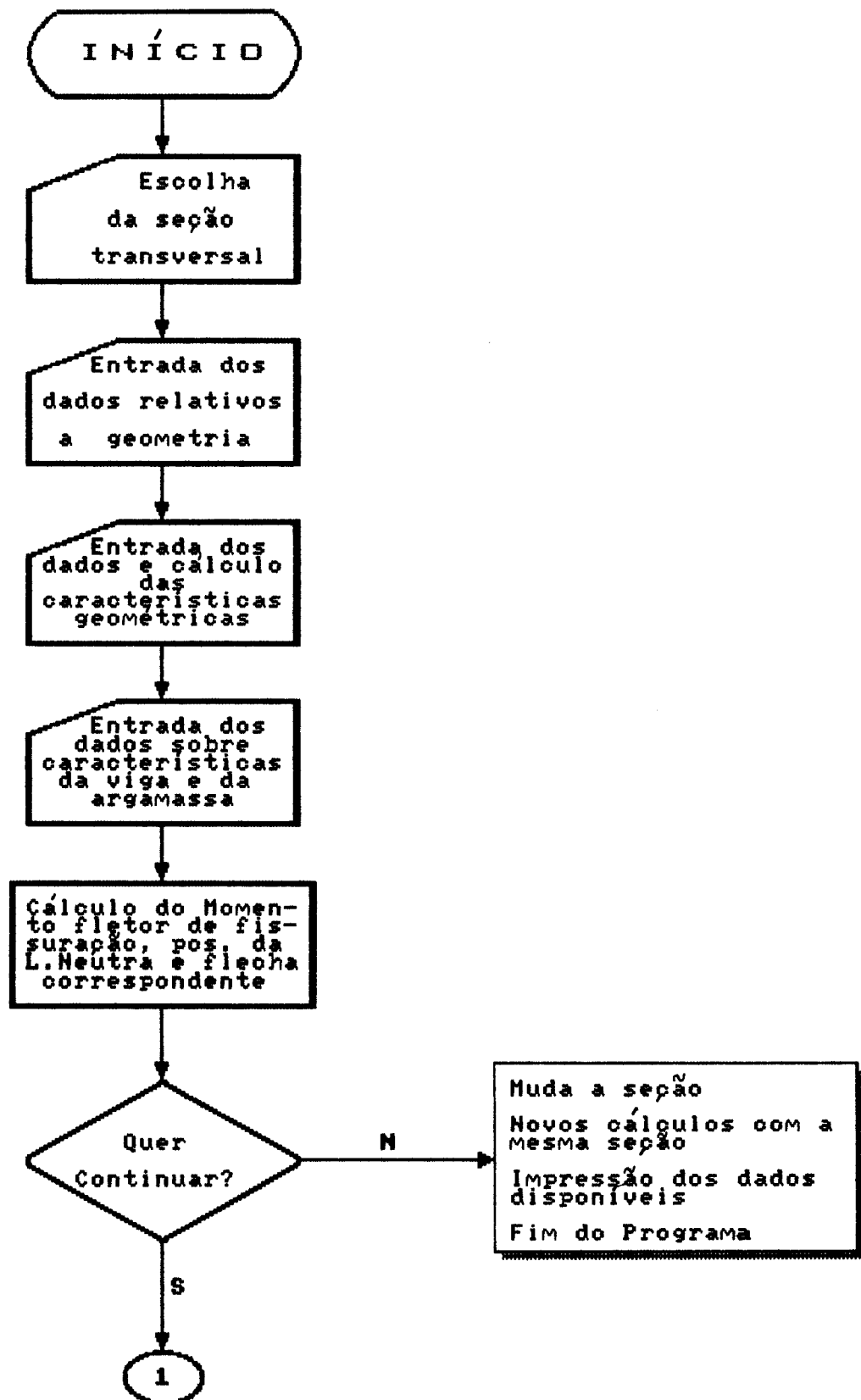
VERIFICAÇÃO DO ESTADO LIMITE DE UTILIZAÇÃO -

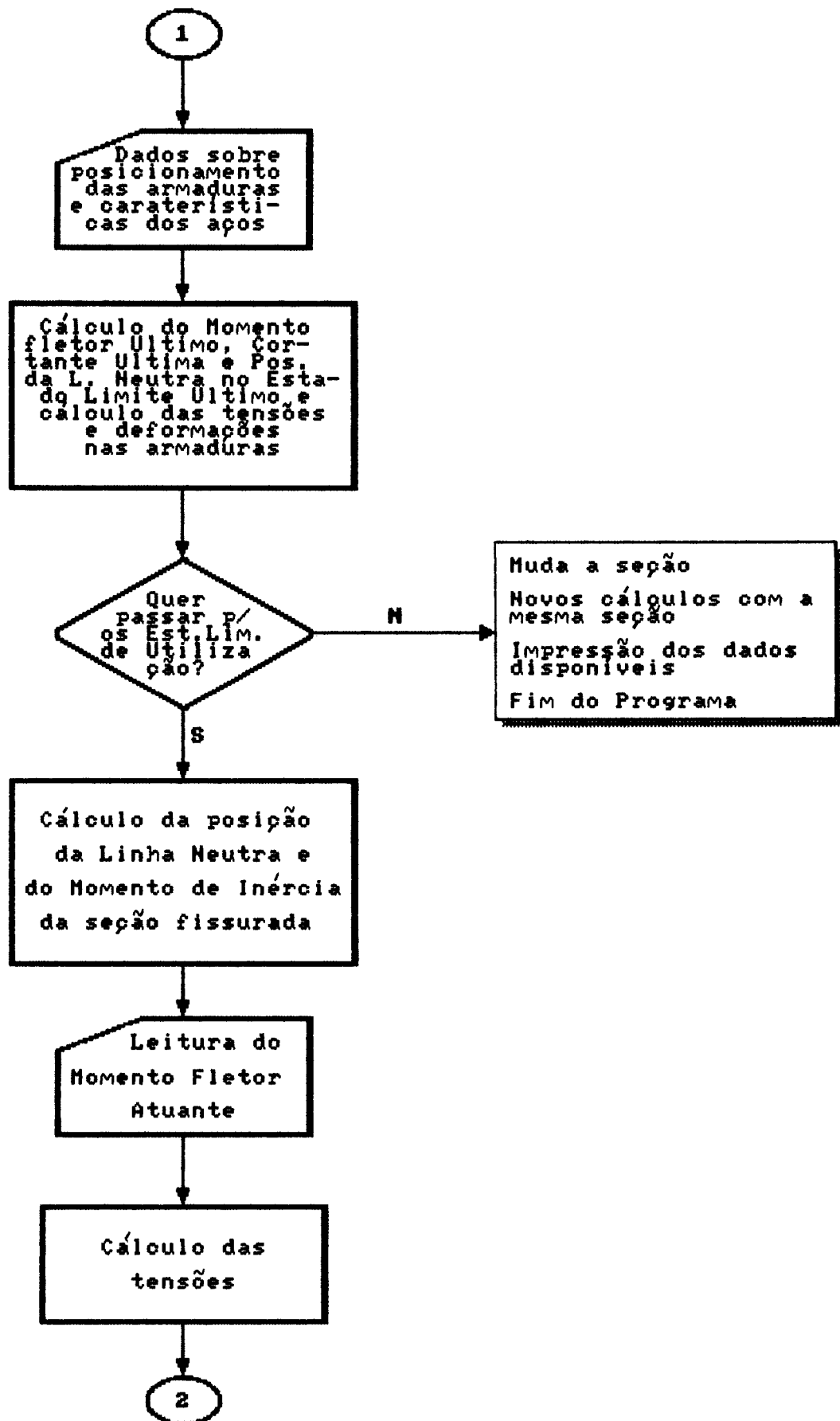
Verificação das aberturas características das fissuras e cálculo de deslocamentos.

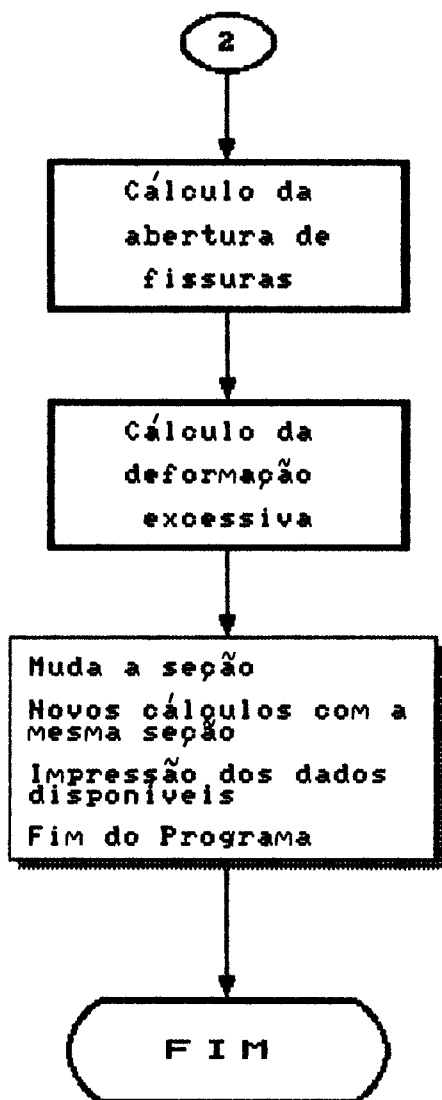
IMPRESSÃO -

Impressão de dados e resultados

A1.3 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE BLOCOS







A1.4 LISTAGEM DO PROGRAMA

```
10 KEY OFF: WIDTH 40
20 LOCATE 5,13: PRINT "CALCULO DE VIGAS"
30 LOCATE 9,20: PRINT "DE"
40 LOCATE 15,13: PRINT "ARGAMASSA ARMADA"
50 FOR I=1 TO 1500
60 NEXT I
70 WIDTH 80
80 CLEAR: CLS
90 DIM ET(50),SIG(50),SIGT(50)
100 DIM X(50),Y(50),C(50),D(50)
110 REM
120 REM INICIO DO PROGRAMA PRINCIPAL
130 REM
140 GOSUB 8440
150 LOCATE 4,29: PRINT " SECOES TRANSVERSAIS "
160 LOCATE 8,15: PRINT "1 - Retangular"
170 LOCATE 10,15: PRINT "2 - T-invertido e U"
180 LOCATE 12,15: INPUT "3 - Duplo-T, I e V ",TIPO
190 IF TIPO<=0 OR TIPO>3 GOTO 140
200 LOCATE 18,20: PRINT "FORNECA A IDENTIFICACAO DA VIGA E
DATA"
210 LOCATE 19,28: PRINT "maximo de 80 caracteres"
220 LOCATE 21,15: INPUT ID$
230 GOSUB 8440
240 IF LEN(ID$)>60 THEN GOTO 200
250 LOCATE 4,27: PRINT " DADOS DA SECAO (cm) "
260 ON TIPO GOTO 310,290,270
270 LOCATE 7,13: INPUT "Largura da mesa superior ";BFS
280 LOCATE 8,13: INPUT "Espessura da mesa superior ";HFS
290 LOCATE 9,13: INPUT "Largura da mesa inferior ";BFI
300 LOCATE 10,13: INPUT "Espessura da mesa inferior ";HFI
310 LOCATE 11,13: INPUT "Largura da alma (ou soma das larguras)
";BW
320 LOCATE 12,13: INPUT "Altura TOTAL da secao ";H
330 ON TIPO GOTO 340,370,380
340 BFS=BW
350 BFI=BW
360 GOTO 380
370 BFS=BW
380 GOSUB 7660
390 GOSUB 8440
400 LOCATE 4,20: PRINT " CARACTERISTICAS DA ARGAMASSA E DA
VIGA"
410 LOCATE 6,9: INPUT "Resistencia caracteristica a compressao
(MPa) ",FCK
420 LOCATE 7,9: INPUT "Qual o valor do GAMA-C? ",GAMAC
430 FCD=FCK/GAMAC
440 LOCATE 8,15: PRINT "Carga de LONGA Duracao - -----> 1"
450 LOCATE 9,15: INPUT "Carga de CURTA Duracao - -----> 2
",ACAO
460 IF ACAO<1 OR ACAO>2 GOTO 440
470 IF ACAO=1 THEN SIGCD=.85*FCD ELSE SIGCD=FCD
480 LOCATE 10,9: INPUT "Existem dados experimentais da resist.
```

```

a tracao? (S/N)  ",A$
490 IF A$="S" OR A$="s" GOTO 530
500 IF A$<>"N" AND A$<>"n" GOTO 480
510 IF FCK<=18 THEN FTK=FCK/10 ELSE FTK=.06*FCK+.7
520 GOTO 540
530 LOCATE 11,9: INPUT "Resistencia caracteristica a Tracao
(MPa)  ",FTK
540 LOCATE 12,9: INPUT "Existem dados sobre o Mod. Deform.
Longitudinal? (S/N)  ",A$
550 IF A$="S" OR A$="s" GOTO 590
560 IF A$<>"N" AND A$<>"n" GOTO 540
570 MEC=.8*6600*SQR(FCK+3.5)
580 GOTO 600
590 LOCATE 13,9: INPUT "Modulo de Deformacao Longitudinal (MPa)
",MEC
600 LOCATE 15,9: INPUT "Vao entre os apoios da viga (cm) ",L
610 LOCATE 20,20: INPUT "OS DADOS ESTAO CORRETOS? (S/N)  ",A$
620 IF A$="N" OR A$="n" GOTO 390
630 IF A$<>"S" AND A$<>"s" GOTO 610
640 GOSUB 8620
650 REM
660 REM   CALCULO DO MOMENTO DE FISSURACAO (x 0,75)
670 REM
680 REM SUPOR A LINHA NEUTRA POSICIONADA NA MESA SUPERIOR
690 REM
700 A=1.025*BFS
710 B=(BFS-BW)*(HFS+H)+(BFI-BW)*HFI
720 C=(BW-BFS)*HFS*H-BW*H*H-(BFI-BW)*HFI*H
730 DELTA=B*B-4*A*C
740 IF DELTA<0 GOTO 800
750 X=(-B+SQR (DELTA))/2/A
760 IF X>HFS GOTO 800
770 MR=.00075*FTK*((BFS-BW)*(HFS-X)*(HFS/2+X/6)+BW* (H-X)*(H/2
+X /6) +(BFI-BW)*HFI*(H -X/3-HFI/2))
780 GOTO 1020
790 REM
800 REM SUPOR A LINHA NEUTRA POSICIONADA NA ALMA
810 REM
820 A=1.025*BW
830 B=4.05*(BFS-BW)*HFS+2*BW*H+HFI*(BFI-BW)
840 C=-2.025*HFS*HFS*(BFS-BW)-BW*H*H+HFI*H*(BW-BFI)
850 DELTA=B*B-4*A*C
860 IF DELTA<0 GOTO 920
870 X=(-B+SQR (DELTA))/2/A
880 IF X>(H-HFI) GOTO 920
890 MR=.00075*FTK*(4.05*(X-HFS)/(H-X)*(X/3-HFS/2)*(BFS-BW)*HFS+
2.025*HFS*HFS/(H-X) *(BFS-BW)*(X/3-HFS/3)+BW*(H-X)*(H/2+X/6)+(
BFI-BW)*HFI*(H-X/3-HFI/2))
900 GOTO 1020
910 REM
920 REM SUPOR A LINHA NEUTRA POSICIONADA NA MESA INFERIOR
930 REM
940 A=2.025*BFI-HFI
950 B=4.05*((HFI-H)*(BFI-BW)+(BFS-BW)*HFS)+2*H*HFI
960 C=4.05*(-HFS*HFS*(BFS-BW)/2+(BFI-BW)/2*(HFI-H)*(HFI-H))-H*H
* HFI
970 DELTA=B*B-4*A*C

```

```

980 IF DELTA<0 GOTO 1060
990 X=(-B+SQR (DELTA))/2/A
1000 IF X>H GOTO 1060
1010
MR=.00075*FTK*(4.05*X/(H-X)*((BFS-BW)*(HFS*HFS*(X-HFS)/6/X+ (X-
HFS)/X*HFS*(X/3-HFS/2))- (BFI-BW)*(H-HFI)/X/3* (HFI-H+X)* (HFI
-H+X ))+(H-X)*HFI*(3*H+X)/6)
1020 LOCATE 4,20: PRINT "                FISSURACAO      "
1030 LNI=X
1040 IP=1
1050 GOTO 1130
1060 LOCATE 6,20: PRINT "LINHA NEUTRA FORA DA SECAO"
1070 LOCATE 7,8: PRINT "      MUDA A SECAO                > 1"
1080 LOCATE 9,8: PRINT "      OUTROS CALCULOS COM  A  MESMA  SECAO
> 2"
1090 LOCATE 11,8: PRINT "      IMPRESSAO  DOS  DADOS  DISPONIVEIS
> 3"
1100 LOCATE 13,8: INPUT "      FIM DO PROGRAMA                > 4
",A
1110 IF A<1 OR A>4 GOTO 1070
1120 ON A GOTO 80,390,6090,7460
1130 LOCATE 7,15: PRINT "QUAL O TIPO DE CARREGAMENTO?"
1140 LOCATE 10,15: PRINT "Cargas concentradas nos tercos medios
do vao      - 1"
1150 LOCATE 11,15: PRINT "Cargas concentradas equidistantes dos
apoios      - 2"
1160 LOCATE 12,15: PRINT "Carga concentrada no  centro  do  vao
- 3"
1170 LOCATE 13,15: INPUT "Carga  uniformemente  distribuida  em
todo o vao  - 4      ",CAR
1180 IF CAR<1 OR CAR>4 GOTO 1170
1190 ON CAR GOTO 1210,1270,1340,1400
1200 REM
1210 REM CARGAS CONCENTRADAS NOS TERCOS MEDIOS
1220 REM
1230 P=300*MR/L
1240 FO=230*P*L*L*L/648/MEC/IX
1250 GOTO 1440
1260 REM
1270 REM CARGAS CONCENTRADAS EQUIDISTANTES DOS APOIOS
1280 REM
1290 LOCATE 15,20: INPUT "Qual a distancia da carga  ao  apoio?
(cm)      ",AA
1300 P=100*MR/AA
1310 FO=10*P*AA*(3*L*L-4*AA*AA)/24/MEC/IX
1320 GOTO 1440
1330 REM
1340 REM CARGA CONCENTRADA NO CENTRO
1350 REM
1360 P=400*MR/L
1370 FO=10*P*L*L*L/48/MEC/IX
1380 GOTO 1440
1390 REM
1400 REM CARGA UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDA EM TODO O VAO
1410 REM
1420 P=800*MR/L/L
1430 FO=50*P*L*L*L*L/384/MEC/IX

```

```

1440 GOSUB 8620
1450 LOCATE 7,10: PRINT "POSICAO DA LINHA NEUTRA      ";LNI;"cm"
1460 LOCATE 9,10: PRINT "MOMENTO DE FISSURACAO      ";MR;"kNm"
1470 LOCATE 11,10: PRINT "FLECHA NO MEIO DO VAO (com o Mom.
acima)";FO;"cm"
1480 LOCATE 20,25: INPUT "QUER CONTINUAR? (S/N) ",A$
1490 GOSUB 8440
1500 IF A$="N" OR A$="n" GOTO 1070
1510 IF A$<>"S" AND A$<>"s" GOTO 1480
1520 LOCATE 4,25: PRINT " DADOS DA ARMADURA COMPLEMENTAR  "
1530 LOCATE 6,12: INPUT "Numero de fios ",NS
1540 IF NS<=0 GOTO 1670
1550 LOCATE 7,12: INPUT "Diametro de cada fio (cm) ",FI
1560 LOCATE 8,12: INPUT "Distancia do CG da armadura a face
superior da peca (cm) ",D
1570 AREA=3.1416*FI*FI/4*NS
1580 LOCATE 10,17: INPUT "O ACO SEGUE O DIAGRAMA DA NBR 6118 ?
(S/N) ",ACO$
1590 IF ACO$="S" OR ACO$="s" GOTO 1710
1600 IF ACO$<>"N" AND ACO$<>"n" GOTO 1580
1610 LOCATE 11,12: INPUT "Tensao de escoamento da armadura FYK
(MPa) ",FYCOMPL
1620 LOCATE 12,12: INPUT "Tensao limite do trecho proporcional
FP (MPa) ",FPC
1630 LOCATE 13,12: INPUT "Qual o valor do GAMA-S? ",GAMAS
1640 FYDISCR=FYCOMPL/GAMAS
1650 LOCATE 14,12: INPUT "Deformacao limite do trecho
proporcional EP (1/1000) ",EPD
1660 LOCATE 15,12: INPUT "Deformacao de inicio de escoamento EY
(1/1000) ",EYD
1670 MES=FPC/EPD*1000
1680 LOCATE 17,5: INPUT "ENTRE COM MAIS UM PONTO DO TRECHO
CURVO: TENSAO - ",FC
1690 LOCATE 18,5: INPUT " DEFORMACAO - ",ERC
1700 GOTO 1790
1710 LOCATE 12,17: PRINT "O ACO UTILIZADO E DO TIPO CA-50
----> 1"
1720 LOCATE 13,17: INPUT " CA-60
----> 2 ",CA
1730 IF CA>2 OR CA<1 GOTO 1710
1740 LOCATE 15,12: INPUT "Qual o valor de GAMA-S? ",GAMAS
1750 IF CA=1 THEN FYDISCR=500!/GAMAS ELSE FYDISCR=600!/GAMAS
1760 EPD=.7*FYDISCR/210!
1770 EYD=FYDISCR/210!+EPD
1780 MES=210000!
1790 GOSUB 8620
1800 LOCATE 4,25: PRINT " DADOS DAS TELAS "
1810 TEL=0
1820 LOCATE 6,12: INPUT "Diametro de cada fio (cm) ",DIAM
1830 AT=(3.1416*DIAM*DIAM)/4
1840 LOCATE 7,12: INPUT "Qual a distancia do CG a face mais
proxima (cm) ",DL
1850 LOCATE 9,17: INPUT "O ACO SEGUE O DIAGRAMA DA NBR 6118 ?
(S/N) ",ACO$
1860 IF ACO$="S" OR ACO$="s" GOTO 1970
1870 IF ACO$<>"N" AND ACO$<>"n" GOTO 1850
1880 LOCATE 10,12: INPUT "Tensao de escoamento do aco FYK (MPa)

```

```

",FYK
1890 LOCATE 11,12: INPUT "Tensao limite do trecho proporcional
FP (MPa) ",FPT
1900 FYD=FYK/GAMAS
1910 LOCATE 12,12: INPUT "Deformacao limite do trecho
proporcional EP (1/1000) ",EP
1920 LOCATE 13,12: INPUT "Deformacao de inicio de escoamento EY
(1/1000) ",EY
1930 MEST=FPT/EP*1000
1940 LOCATE 17,5: INPUT "ENTRE COM MAIS UM PONTO DO TRECHO
CURVO: TENSAO - ",FT
1950 LOCATE 18,5: INPUT " DEFORMACAO - ",ERT
1960 GOTO 2050
1970 LOCATE 12,17: PRINT "O ACO UTILIZADO E DO TIPO CA-50
----> 1"
1980 LOCATE 13,17: INPUT " CA-60
----> 2 ",CA
1990 IF CA>2 OR CA<1 GOTO 1970
2000 LOCATE 15,12: INPUT "Qual o valor de GAMA-S? ",GAMAS
2010 IF CA=1 THEN FYD=500!/GAMAS ELSE FYD=600!/GAMAS
2020 EP=.7*FYD/210!
2030 EY=FYD/210!+EP
2040 MEST=210000!
2050 GOSUB 8620
2060 ON TIPO GOTO 2290,2180,2070
2070 LOCATE 8,13: PRINT "Dados das telas da mesa superior que
se subdividem em:"
2080 LOCATE 8,19: PRINT "(A) POSICIONADA NA FACE SUPERIOR "
2090 LOCATE 9,19: PRINT "(B) POSICIONADA NA FACE INFERIOR "
2100 LOCATE 11,13: INPUT "numero de telas da parcela (A) ",NTA
2110 LOCATE 12,13: INPUT "numero de fios longitudinais em (A)
",NCSS
2120 NSS=NTA*NCSS
2130 LOCATE 13,13: INPUT "numero de telas da parcela (B) ",NTB
2140 LOCATE 14,13: INPUT "numero de fios longitudinais em (B)
",NCSI
2150 IF NTA=0 AND NTB=0 THEN TEL=TEL
2160 NSI=NTB*NCSI
2170 GOSUB 8620
2180 LOCATE 6,13: PRINT "dados das telas da mesa inferior que
se subdivide em:"
2190 LOCATE 8,19: PRINT "(C) POSICIONADA NA FACE SUPERIOR"
2200 LOCATE 9,19: PRINT "(D) POSICIONADA NA FACE INFERIOR"
2210 LOCATE 11,13: INPUT "numero de telas da parcela (C) ",NTC
2220 LOCATE 12,13: INPUT "numero de fios longitudinais em (C)
",NCIS
2230 NIS=NTC*NCIS
2240 LOCATE 13,13: INPUT "numero de telas da parcela (D) ",NTD
2250 LOCATE 14,13: INPUT "numero do fios longitudinais em (D)
",NCII
2260 IF NTC=0 AND NTB=0 THEN TEL=TEL+1
2270 NII=NTD*NCII
2280 GOSUB 8620
2290 LOCATE 6,13: PRINT "telas VERTICAIS posicionadas na alma"
2300 LOCATE 9,13: INPUT "Numero de telas verticais ",NV
2310 LOCATE 10,13: INPUT "Numero de fios longitudinais em cada
tela (max 50) ",N

```



```

2320 IF NV=0 THEN TEL=TEL+1
2330 IF TIPO=1 AND NV=0 THEN TEL=2
2340 IF N<0 OR N>49 THEN GOTO 2310
2350 LOCATE 11,13: INPUT "Distancia do fio superior a face
superior da peca (cm)",S0
2360 LOCATE 12,13: INPUT "Espacamento vertical dos fios (cm)
",ST
2370 LOCATE 13,13: INPUT "Espacamento horizontal dos fios (cm)
",SL
2380 LOCATE 20,15: INPUT "OS DADOS DAS ARMADURAS ESTAO
CORRETOS?(S/N) ",A$
2390 GOSUB 8620
2400 IF A$="N" OR A$="n" GOTO 1520
2410 IF A$<>"S" AND A$<>"s" GOTO 2380
2420 REM
2430 REM CALCULOS NO ESTADO LIMITE ULTIMO
2440 REM
2450 LOCATE 7,15: PRINT "AGUARDE O CALCULO DOS ESTADOS LIMITES
ULTIMOS"
2460 CONTA=0
2470 X2=3.5*(H-DL)/13.5
2480 X3=3.5*(H-DL)/(EY+3.5)
2490 X=X3
2500 VELHOX=X
2510 LOCATE 10,30: PRINT "TESTE DO X= ";X
2520 REM
2530 REM CALCULO DAS TENSOES E DEFORMACOES
2540 REM
2550 IF TEL=2 GOTO 2840
2560 S1=S0
2570 IF X<=X2 GOTO 2630
2580 FOR I=1 TO N
2590 ET(I)=3.5*(S1-X)/X
2600 S1=S1+ST
2610 NEXT I
2620 GOTO 2670
2630 FOR I=1 TO N
2640 ET(I)=10*(S1-X)/(H-DL-X)
2650 S1=S1+ST
2660 NEXT I
2670 IF ACO$="S" OR ACO$="s" GOTO 2780
2680 FOR I=1 TO N
2690 IF (ABS(ET(I))<EY)*(ABS(ET(I))>EP) GOTO 2720
2700 IF ABS(ET(I))<EP THEN SIG(I)=ET(I)*FPT/EP ELSE
SIG(I)=ABS(ET(I))/ET(I)*FYD
2710 GOTO 2760
2720 AACO=(ERT*(FYD-FPT)+EP*(FT-FYD)+EY*(FPT-FT))/(ERT*(EY^2-EP
^2)+EP*(ERT^2-EY^2)+EY*(EP^2-ERT^2))
2730 BACO=(FT-FPT-AACO*(ERT^2-EP^2))/(ERT-EP)
2740 CACO=FPT-EP^2*AACO-EP*BACO
2750 SIG(I)=ABS(ET(I))/ET(I)*(AACO*ABS(ET(I))*ET(I))+BACO*ABS(ET
(I))+CACO)
2760 NEXT I
2770 GOTO 2840
2780 FOR I=1 TO N
2790 IF (ABS(ET(I))<EY)*(ABS(ET(I))>EP) GOTO 2820
2800 IF ABS(ET(I))<EP THEN SIG(I)=ET(I)*210 ELSE SIG(I)=FYD

```

```

2810 GOTO 2830
2820 SIG(I)=ABS(ET(I))/ET(I)*(-1*(45*FYD^2/210000!-1.4*FYD)+SQR
(ABS((45*FYD^2/210000!-1.4*FYD)^2+4*(45*ABS(ET(I))/1000-.49)*
FYD ^2)))/2
2830 NEXT I
2840 IF X<=X2 GOTO 2940
2850 IF TEL=2 GOTO 2910
2860 ON TIPO GOTO 2910,2890,2870
2870 ETSS=3.5*(DL-X)/X
2880 ETSI=3.5*(HFS-DL-X)/X
2890 ETIS=3.5*(H-HFI-X+DL)/X
2900 ETII=3.5*(H-DL-X)/X
2910 ESD=3.5*(D-X)/X
2920 ECU=3.5
2930 GOTO 3020
2940 IF TEL=2 GOTO 3000
2950 ON TIPO GOTO 3000,2980,2960
2960 ETSS=10*(DL-X)/(H-DL-X)
2970 ETSI=10*(HFS-DL-X)/(H-DL-X)
2980 ETIS=10*(H-HFI-X+DL)/(H-DL-X)
2990 ETII=10
3000 ESD=10*(D-X)/(H-DL-X)
3010 ECU=10*X/(H-DL-X)
3020 IF TEL=2 GOTO 3160
3030 ON TIPO GOTO 3160,3100,3040
3040 E=ETSS
3050 GOSUB 7490
3060 SIGTSS=SIG
3070 E=ETSI
3080 GOSUB 7490
3090 SIGTSI=SIG
3100 E=ETIS
3110 GOSUB 7490
3120 SIGTIS=SIG
3130 E=ETII
3140 GOSUB 7490
3150 SIGTII=SIG
3160 IF ESD=0 GOTO 3320
3170 IF ACO$="S" OR ACO$="s" GOTO 3260
3180 IF (ABS(ESD)<EYD)*(ABS(ESD)>EPD) GOTO 3210
3190 IF ABS(ESD)<EPD THEN SIGSD=ESD*FPC/EPD ELSE
SIGSD=ABS(ESD)/ESD*FYDISCR
3200 GOTO 3340
3210 AACO=(ERC*(FYDISCR-FPC)+EPD*(FC-FYDISCR)+EYD*(FPC-FC))/ (E
RC *(EYD^2-EPD^2)+EPD*(ERC^2-EYD^2)+EYD*(EPD^2-ERC^2))
3220 BACO=(FC-FPC-AACO*(ERC^2-EPD^2))/(ERC-EPD)
3230 CACO=FPC-EPD^2*AACO-EPD*BACO
3240 SIGSD=ABS(ESD)/ESD*(AACO*ABS(ESD*ESD)+BACO*ABS(ESD)+CACO)
3250 GOTO 3330
3260 IF (ABS(ESD)<EYD)*(ABS(ESD)>EPD) GOTO 3290
3270 IF ABS(ESD)<EPD THEN SIGSD=ESD*210 ELSE SIGSD=FYDISCR
3280 GOTO 3330
3290 PARCELA=(45*FYDISCR^2/210000!-1.4*FYDISCR)^2+4*(45*ABS(ESD
)/1000-.49)*FYDISCR^2
3300 SIGSD=ABS(ESD)/ESD*(-1*(45*FYDISCR^2/210000!-1.4*FYDISCR)+
SQR(ABS(PARCELA)))/2
3310 GOTO 3330

```

```

3320 SIGSD=0
3330 REM
3340 REM CALCULO DA POSICAO DA LINHA NEUTRA
3350 REM
3360 IF X=X3 GOTO 3380
3370 IF ABS((VELHOX-X)/VELHOX)<=.01 GOTO 3640
3380 SOMA=0
3390 IF TEL=2 GOTO 3430
3400 FOR I=1 TO N
3410 SOMA=SOMA+SIG(I)*NV*AT
3420 NEXT I
3430 IF X<=HFS GOTO 3540
3440 IF X<=(H-HFI) GOTO 3510
3450 IF X<=H GOTO 3480
3460 LOCATE 15,30: PRINT "ALGUM PROBLEMA "
3470 GOTO 3560
3480 NOVOX=(SIGSD*AREA+SIGTII*NII*AT+SOMA+SIGTSS*NSS*AT+SIGTSI*
NSI*AT+SIGTIS*NIS*AT-SIGCD*((BFS-BW)*HFS+(BFI-BW)*(HFI-H)))/.8/
SIGCD/BFI
3490 ELU=3
3500 GOTO 3560
3510 NOVOX=(SIGSD*AREA+SIGTIS*NIS*AT+SIGTII*NII*AT+SOMA+SIGTSS*
NSS*AT+SIGTSI*NSI*AT-SIGCD*(BFS-BW)*HFS)/.8/SIGCD/BW
3520 ELU=2
3530 GOTO 3560
3540 NOVOX=(SIGSD*AREA+SIGTIS*NIS*AT+SIGTII*NII*AT+SOMA+SIGTSI*
NSI*AT+SIGTSS*NSS*AT )/.8/SIGCD/BFS
3550 ELU=1
3560 VELHOX=X
3570 X=(NOVOX + VELHOX)/2
3580 CONTA=CONTA+1
3590 IF CONTA>70 GOTO 3610
3600 GOTO 2510
3610 LOCATE 12,7: PRINT "A SECAO NAO ENTRA EM EQUILIBRIO COM AS
CARACTERISTICAS DADAS"
3620 LOCATE 20,20: INPUT "APERTE QUALQUER TECLA      ",Z$
3630 GOTO 6020
3640 GOSUB 8440
3650 LOCATE 4,27: PRINT "  ESTADOS LIMITES ULTIMOS  "
3660 REM
3670 REM   CALCULO DO MOMENTO FLETOR ULTIMO
3680 REM
3690 S1=S0
3700 SOMAT=0
3710 X=NOVOX
3720 IF TEL=2 GOTO 3770
3730 FOR I=1 TO N
3740 SOMAT=SOMAT+NV*SIG(I)*(H-S1-DL)*AT
3750 S1=S1+ST
3760 NEXT I
3770 IF X<=HFS GOTO 3850
3780 IF X<=(H-HFI) GOTO 3830
3790 IF X<=H GOTO 3810
3800 LOCATE 5,26: PRINT "ALGUM PROBLEMA"
3810 PARTEA=.8*SIGCD*BW*X*(H-.4*X-DL)+SIGCD*(BFS-BW)*HFS*(H-HFS
/2-DL)+(BFI-BW*(.8*X +HFI-H)*(HFI/2-.4*X+H/2-DL))
3820 GOTO 3860

```

```

3830 PARTEA=.8*SIGCD*BW*X*(H-.4*X-DL)+SIGCD*(BFS-BW)*HFS*(H-HFS
/2-DL)
3840 GOTO 3860
3850 PARTEA=.8*SIGCD*X*BFS*(H-.4*X-DL)
3860 PARTEB=-SIGTSS*NSS*AT*(H-2*DL)-SIGTSI*NSI*AT*(H-HFS)-SOMAT
-SIGTIS*NIS*AT*(HFI-2*DL)-SIGSD*AREA*(H-D-DL)
3870 MRD=(PARTEA+PARTEB)/1000
3880 IF ECU>=2! THEN SIGCU=SIGCD ELSE
SIGCU=SIGCD*(1-(1-ECU/2)^2)
3890 REM
3900 REM FORCA CORTANTE
3910 REM
3920 ASRM=314.1593/SL/4*DIAM*DIAM
3930 IF GAMAS=1 GOTO 3960
3940 IF FYD>435 THEN FYWD=435 ELSE FYWD=FYD
3950 GOTO 3970
3960 FYWD=FYD
3970 TD=ASRM*FYWD/100/BW*NV
3980 ON ELU GOTO 3990,4010,4100
3990 R1=(AREA+(NIS+NSI+NII+NV*N)*AT)/SECAO*100
4000 GOTO 4110
4010 FIOS=0
4020 S=S0
4030 IF S>=X GOTO 4070
4040 S=S+ST
4050 FIOS=FIOS+1
4060 GOTO 4030
4070 NN=N-FIOS
4080 R1=(AREA+(NIS+NII+NV*NN)*AT)/SECAO*100
4090 GOTO 4110
4100 IF X>(H-HFI+DL) THEN R1=(AREA+NII*AT)/SECAO*100 ELSE
R1=(AREA+(NII+NIS)*AT)/SECAO*100
4110 PS1=.05*R1+.065
4120 TC=PS1*SQR(FCK)
4130 TWU=.25*FCD
4140 IF GAMAS<>1 AND TWU>4.5 THEN TWU=4.5
4150 IF TEL=2 THEN TD=0
4160 TWD=(TD+TC)/1.15
4170 IF GAMAS<>1 AND TWD>TWU THEN TWD=TWU
4180 VD=TWD*BW*D/10
4190 LOCATE 8,15: PRINT "POSICAO DA LINHA NEUTRA ";NOVOX;"cm"
4200 LOCATE 10,15: PRINT "MOMENTO RESITENTE DE CALCULO
=";MRD;"kNm"
4210 LOCATE 12,15: PRINT "CORTANTE ULTIMA DE CALCULO PARA A
SECAO =" ;VD;"kN"
4220 ON CAR GOTO 4230,4250,4270,4290
4230 PUF=300*MRD/L
4240 GOTO 4300
4250 PUF=100*MRD/AA
4260 GOTO 4300
4270 PUF=400*MRD/L
4280 GOTO 4300
4290 PUF=800*MRD/L/L
4300 IF PUF>VD GOTO 4360
4310 PU=PUF
4320 IF X<.259*D THEN DOM$="no DOMINIO 2"
4330 IF (X<3.5*D/(EYD+3.5))*(X>.259*D) THEN DOM$="no DOMINIO 3"

```

```

4340 IF X>3.5*D/(EYD+3.5) THEN DOM$="no DOMINIO 4"
4350 GOTO 4380
4360 PU=VD
4370 DOM$="por CISALHAMENTO"
4380 LOCATE 15,13: PRINT "O modelo provavelmente romperá ";DOM$
4390 LOCATE 19,15: INPUT "QUER PASSAR PARA OS EST. LIM DE
UTILIZACAO? (S/N)",A$
4400 IP=2
4410 IF A$="N" OR A$="n" GOTO 6020
4420 IF A$<>"S" AND A$<>"s" GOTO 4390
4430 GOSUB 8440
4440 LOCATE 4,27: PRINT "  CALCULOS NO ESTADIO II  "
4450 ALFAE=MES/MEC
4460 SOMA=0
4470 S1=S0
4480 FOR I=1 TO N
4490 SOMA=SOMA+S1
4500 S1=S1+ST
4510 NEXT I
4520 REM
4530 REM SUPOR LINHA NEUTRA NA MESA SUPERIOR
4540 REM
4550 A=BFS/2
4560 B=ALFAE*(AREA+AT*(NII+NIS+NV*N+NSI+NSS))
4570 C=-ALFAE*(AREA*D+AT*(NII*(H-DL)+NIS*(H-HFI+DL)+NV*SOMA+NSI
* (HFS-DL)+NSS*DL))
4580 DELTA=B*B-4*A*C
4590 X=(-B+SQR(DELTA))/2/A
4600 IF DELTA<0 OR X>HFS GOTO 4630
4610 GOTO 4840
4620 REM
4630 REM SUPOR LINHA NEUTRA NA ALMA
4640 REM
4650 A=BW/2
4660 B1=B+HFS*(BFS-BW)
4670 C1=C+HFS^2*(BW-BFS)/2
4680 DELTA=B1*B1-4*A*C1
4690 X=(-B1+SQR(DELTA))/2/A
4700 IF DELTA<0 OR X>(H-HFI) GOTO 4730
4710 GOTO 4970
4720 REM
4730 REM SUPOR LINHA NEUTRA NA MESA INFERIOR
4740 REM
4750 A=BFI/2
4760 B2=B1+(HFI-H)*(BFI-BW)
4770 C2=C1+(BFI-BW)*(HFI-H)*(HFI-H)/2
4780 DELTA=B2*B2-4*A*C2
4790 X=(-B2+SQR(DELTA))/2/A
4800 LOCATE 10,15
4810 IF DELTA<0 OR X>H THEN PRINT "LINHA NEUTRA FORA DA  SECAO"
ELSE GOTO 5090
4820 GOTO 6020
4830 REM
4840 REM CALCULO DO MOMENTO DE INERCIA DA SECAO FISSURADA
4850 REM
4860 REM QUANDO LINHA NEUTRA ESTA NA MESA SUPERIOR
4870 REM

```

```

4880 SOMA=0
4890 S1=S0
4900 FOR I=1 TO N
4910 SOMA=SOMA+(S1-X)^2
4920 S1=S1+ST
4930 NEXT I
4940 IDOIS=BFS*X*X*X/3
4950 EII=1
4960 GOTO 5190
4970 REM QUANDO LINHA NEUTRA ESTA NA ALMA
4980 REM
4990 SOMA=0
5000 S1=S0
5010 FOR I=1 TO N
5020 SOMA=SOMA+(S1-X)^2
5030 S1=S1+ST
5040 NEXT I
5050 IDOIS=BFS*HFS^3/12+BFS*HFS*(X-HFS/2)^2+BW*(X-HFS)^3/3
5060 EII=2
5070 GOTO 5190
5080 REM
5090 REM QUANDO LINHA NEUTRA ESTA NA MESA INFERIOR
5100 REM
5110 SOMA=0
5120 S1=S0
5130 FOR I=1 TO N
5140 SOMA=SOMA+(S1-X)^2
5150 S1=S1+ST
5160 NEXT I
5170 EII=3
5180 IDOIS=(BFS-BW)*HFS^3/12+(BFS-BW)*HFS*(X-HFS/2)^2+BW*X^3/3+
(BFI-BW)*(HFI-H+X)^3 /3
5190 IDOIS=IDOIS+ALFAE*(NII*AT*(H-DL-X)^2+AREA*(D-X)^2+NIS* AT*
(H-HFI+DL-X)^2+AT*NV*SOMA+NSI*AT*(HFS-DL-X)^2+NSS*AT*(DL-X)^2)
5200 LOCATE 10,20: INPUT "QUAL O MOMENTO SOLICITANTE? (kNm)
",MD
5210 XII=X
5220 SIGIIC=MD*X/IDOIS*1000
5230 ON TIPO GOTO 5280,5260,5240
5240 SSS=(MD*(DL-X)/IDOIS)*ALFAE*1000
5250 SSI=(MD*(HFS-DL-X)/IDOIS)*ALFAE*1000
5260 SII=(MD*(H-DL-X)/IDOIS)*ALFAE*1000
5270 SIS=(MD*(H-HFI+DL-X)/IDOIS)*ALFAE*1000
5280 SSD=(MD*(D-X)/IDOIS)*ALFAE*1000
5290 S1=S0
5300 FOR I=1 TO N
5310 SIGT(I)=(MD*(S1-X)/IDOIS)*ALFAE*1000
5320 S1=S1+ST
5330 NEXT I
5340 IF SIGIIC<=SIGCD GOTO 5380
5350 LOCATE 20,12: PRINT "COM ESSE MOMENTO A PECA NAO SEGUE AS
HIPOTESIS DO ESTADIO II"
5360 FOR I=1 TO 1500: NEXT I
5370 GOTO 6020
5380 ECC=2*(SQR(1-SIGIIC/SIGCD))-1)
5390 IF ACAO=2 GOTO 5460
5400 GOSUB 8620

```

```

5410 REM
5420 REM VERIFICACAO DA ABERTURA DE FISSURAS
5430 REM
5440 LOCATE 5,16: PRINT "PROCESSANDO VERIFICACAO DA ABERTURA DE
FISSURAS "
5450 LOCATE 7,15: PRINT "SEGUNDO O PROJETO E EXECUCAO DE
ARGAMASSA ARMADA "
5460 ON EII GOTO 5470,5490,5580
5470 RR=(AREA+(NSI+NIS+NII+NV*N)*AT)/(SECAO-X*BFS)*100
5480 GOTO 5590
5490 FIOS=0
5500 S=S0
5510 IF S>=X GOTO 5550
5520 S=S+ST
5530 FIOS=FIOS+1
5540 GOTO 5510
5550 NN=N-FIOS
5560 RR=(AREA+(NIS+NII+NV*NN)*AT)/(SECAO-HFS*(BFS-BW)-X*BW)*100
5570 GOTO 5590
5580 IF X>(H-HFI+DL) THEN RR=(AREA+NII*AT)/(H-X)/BFI*100 ELSE
RR=(AREA+(NII+NIS)*AT)/(H-X)/BFI*100
5590 S1=1.5*DL+16*DIAM/RR
5600 IF S1>=SL THEN S=S1
5610 IF 1.8*S1<=SL THEN S= 1.8*S1
5620 IF SL>S1 AND SL<1.8*S1 THEN S=SL
5630 ES=(SII-FTK/2/RR)/MES
5640 W=1.658*S*ES*10
5650 REM
5660 REM CALCULO DA FLECHA
5670 REM
5680 IF ACAO=2 GOTO 5760
5690 LOCATE 9,17: PRINT "FLECHA CORRESPONDENTE AO MOMENTO
SOLICITANTE"
5700 LOCATE 11,7: PRINT "ENTRAR COM Ficc DE ACORDO COM AS
CONDICOES EM QUE A PECA SE ENCONTRA"
5710 LOCATE 12,12: PRINT "UMIDADE AMBIENTAL >= 40% E CURA
NORMAL -----Ficc=2.6"
5720 LOCATE 13,12: PRINT "UMIDADE AMBIENTAL >= 40% E CURA A
VAPOR ----Ficc=3.0"
5730 LOCATE 14,12: PRINT "UMIDADE AMBIENTAL < 40% E CURA
NORMAL-----Ficc=3.9"
5740 LOCATE 15,12: INPUT "UMIDADE AMBIENTAL < 40% E CURA A
VAPOR-----Ficc=4.5 ",FICC
5750 GOTO 5770
5760 FICC=1
5770 KI=.85*MEC*IX
5780 IEQ=(MR/MD)^3*IX+(1-(MR/MD)^3)*IDOIS
5790 KII=.85*MEC*IEQ
5800 IF MD<=MR THEN K=KI ELSE K=KII
5810 ON CAR GOTO 5820,5850,5880,5910
5820 P=300*MD/L
5830 FMEIO=P*L*L*L*230/K/648*FICC
5840 GOTO 5930
5850 P=100*MD/AA
5860 FMEIO=10*P*AA*(3*L*L-4*AA*AA)/24/K*FICC
5870 GOTO 5930
5880 P=400*MD/L

```

```

5890 FMEIO=10*P*L*L*L/48/K*FICC
5900 GOTO 5930
5910 P=800*MD/L/L
5920 FMEIO=50*P*L*L*L*L/384/K*FICC
5930 GOSUB 8440
5940 LOCATE 4,35: PRINT " ESTADIO II "
5950 LOCATE 6,15: PRINT "POSICAO DA LINHA NEUTRA ";XII;" cm"
5960 LOCATE 8,15: PRINT "MOMENTO DE INERCIA DA SECAO FISSURADA
";IDOIS;" (cm4)"
5970 LOCATE 10,15: PRINT "TENSAO DE COMPRESSAO NA ARGAMASSA
";SIGIIC;" (MPa)"
5980 LOCATE 12,15: PRINT "ABERTURA DE FISSURAS= ";W;" (mm)"
5990 LOCATE 14,15: PRINT "FLECHA CORRESPONDENTE AO MOMENTO
SOLICITANTE ";FMEIO;" (cm)"
6000 LOCATE 20,25: INPUT "APERTE QUALQUER TECLA ",Z$
6010 IP=IP+1
6020 GOSUB 8620
6030 LOCATE 7,12: PRINT " OUTRA SECAO 1"
6040 LOCATE 9,12: PRINT " NOVOS CALCULOS COM A MESMA SECAO
2"
6050 LOCATE 11,12:PRINT " PASSA PARA IMPRESSAO
3"
6060 LOCATE 13,12:INPUT " FIM DO PROGRAMA 4
",A
6070 IF A<1 OR A>4 GOTO 6020
6080 ON A GOTO 80,390,6090,7460
6090 WIDTH 40
6100 LOCATE 10,2: PRINT "IMPRIMIR SOMENTE RESULTADOS ---> 1"
6110 LOCATE 13,2: INPUT "IMPRIMIR DADOS E RESULTADOS ---> 2
",PT
6120 IF PT<1 OR PT>2 GOTO 6110
6130 LOCATE 17,2: INPUT "LIGUE A IMPRESSORA E TECLE <ENTER>",Z$
6140 WIDTH 80
6150 IF IP>3 GOTO 7040
6160 LPRINT" CALCULO DE VIGAS DE PERFIS TIPICOS DE
ARGAMASSA ARMADA"
6170 LPRINT STRING$(80,61)
6180 LPRINT TAB((80-LEN(ID$))/2);ID$:LPRINT
6190 IF PT=1 GOTO 8640
6200 LPRINT"CARACTERISTICAS GEOMETRICAS DA SECAO "
6210 LPRINT STRING$(80,61)
6220 LPRINT"AREA DA SECAO ";SECAO;"cm2"
6230 LPRINT"COORDENADAS DO CG (NO MESMO EIXO DA ENTRADA DOS
DADOS) Xcg=";XCG;"cm"
6240 LPRINT"Ycg=";YCG;"cm"
6250 LPRINT"MOMENTOS DE INERCIA IX=";IX;"cm4"
6260 LPRINT" IY=";IY;"cm4"
6270 LPRINT" IXY=";IXY;"cm4"
6280 LPRINT "RESISTENCIA CARACTERISTICA A COMPRESSAO DA
ARGAMASSA ";FCK;"MPa"
6290 LPRINT "SIGCD=";SIGCD
6300 LPRINT "RESISTENCIA CARACTERISTICA A TRACAO DA ARGAMASSA
";FTK;"MPa"
6310 LPRINT "MODULO DE DEFORMACAO LONGITUDINAL DA ARGAMASSA
";MEC;"MPa"
6320 LPRINT "VAO ENTRE APOIOS DA VIGA ";L;" cm"
6330 LPRINT "GAMAC=";GAMAC: LPRINT

```



```

6340 LPRINT "DADOS DA ARMADURA COMPLEMENTAR"
6350 LPRINT STRING$(80,61)
6360 LPRINT "NUMERO DE FIOS ----";NS
6370 LPRINT "DIAMETRO DE CADA FIO ----";FI;"cm"
6380 LPRINT "DISTANCIA DA ARMADURA DISCRETA A FACE SUPERIOR DA
PECA ---- ";D;"cm"
6390 LPRINT "RESISTENCIA DE ESCOAMENTO ---- ";FYDISCR;"MPa"
6400 LPRINT "DEFORMACAO LIMITE DO TRECHO DE PROPORCIONALIDADE
---- ";EPD;"mm/m"
6410 LPRINT "DEFORMACAO DE INICIO DE ESCOAMENTO ----
";EYD;"mm/m"
6420 LPRINT "MODULO DE DEFORMACAO LONGITUDINAL DO ACO ----
";MES;"MPa"
6430 LPRINT "AREA TOTAL DA ARMADURA COMPLEMENTAR ----
";AREA;"cm2"
6440 LPRINT "GAMAS=";GAMAS: LPRINT
6450 LPRINT "DADOS DAS TELAS": LPRINT STRING$(80,61)
6460 LPRINT "DIAMETRO DO FIO DA TELA ----";DIAM;"cm"
6470 LPRINT "AREA DE CADA FIO DA TELA ----";AT;"cm2"
6480 LPRINT "DISTANCIA DO CG DAS TELAS A FACE MAIS PROXIMA ----
";DL;"cm"
6490 LPRINT "RESISTENCIA DE ESCOAMENTO DO ACO DA TELA ----
";FYD;"MPa"
6500 LPRINT "DEFORMACAO LIMITE DO TRECHO DE PROPORCIONALIDADE
---- ";EP;"mm/m"
6510 LPRINT "DEFORMACAO DE INICIO DE ESCOAMENTO ----
";EY;"mm/m"
6520 LPRINT "MODULO DE DEFORMACAO LONGITUDINAL DO ACO ----
";MEST;"MPa": LPRINT
6530 LPRINT "POSICIONAMENTO DAS TELAS": LPRINT STRING$(80,61)
6540 LPRINT"                NUMERO DE TELAS /
FIOS "
6550 LPRINT"                (A) FACE SUPERIOR DA MESA SUPERIOR
";NTA;" / ";NCSS
6560 LPRINT"                (B) FACE INFERIOR DA MESA SUPERIOR
";NTB;" / ";NCSE
6570 LPRINT"                (C) FACE SUPERIOR DA MESA INFERIOR
";NTC;" / ";NCIS
6580 LPRINT"                (D) FACE INFERIOR DA MESA INFERIOR
";NTD;" / ";NCII
6590 LPRINT"                (E) ALMA (TELAS VERTICAIS)                ";NV;"
/ ";N
6600 LPRINT:LPRINT"DISTANCIA DO PRIMEIRO FIO (SUPERIOR) A FACE
SUPERIOR DA PECA ";SO;"cm"
6610 LPRINT"ESPACAMENTO VERTICAL DOS FIOS POSICIONADOS NA ALMA
";ST;"cm"
6620 LPRINT "ESPACAMENTO LONGITUDINAL DOS FIOS DAS TELAS DA
ALMA ";SL;"cm"
6630 LPRINT STRING$(80,61)
6640 LPRINT"DADOS DA SECAO (cm)"
6650 LPRINT STRING$(80,61)
6660 ON TIPO GOTO 6710,6690,6670
6670 LPRINT "LARGURA DA MESA SUPERIOR                >";BFS
6680 LPRINT "ESPESSURA DA MESA SUPERIOR                >";HFS
6690 LPRINT "LARGURA DA MESA INFERIOR                >";BFI
6700 LPRINT "ESPESSURA DA MESA INFERIOR                >";HFI
6710 LPRINT "LARGURA DA ALMA OU SOMA DAS LARGURAS                >";BW

```

```

6720 LPRINT "ALTURA TOTAL DA SECAO                >" ;H:
LPRINT
6730 LPRINT "CALCULOS NO ESTADIO Ib": LPRINT STRING$(80,61)
6740 LPRINT "POSICAO DA LINHA NEUTRA ";LNI;" cm"
6750 LPRINT "MOMENTO DE FISSURACAO ";MR;" kNm"
6760 LPRINT "FLECHA NO MEIO DO VAO ";FO;" cm"
6770 IF IP=1 THEN GOTO 6020
6780 LPRINT : LPRINT "CALCULOS NO ESTADO LIMITE ULTIMO"
6790 LPRINT STRING$(80,61)
6800 LPRINT "TENSOES E DEFORMACOES NAS ARMADURAS "
6810 LPRINT STRING$(80,61)
6820 LPRINT "          CAMADA                TENSAO
DEFORMACAO"
6830 LPRINT "                                (MPa)
(mm/m)"
6840 ON TIPO GOTO 6920,6880,6850
6850 LPRINT "MESA SUPERIOR"
6860 LPRINT "          CAMADA SUPERIOR";TAB(37);SIGTSS;TAB(54);ETSS
6870 LPRINT "          CAMADA INFERIOR";TAB(37);SIGTSI;TAB(54);ETSI
6880 LPRINT : LPRINT "MESA INFERIOR"
6890 LPRINT "          CAMADA SUPERIOR";TAB(37);SIGTIS;TAB(54);ETIS
6900 LPRINT "          ARM. COMPLEMENTAR";TAB(37);SIGSD;TAB(54);ESD
6910 LPRINT "          CAMADA INFERIOR";TAB(37);SIGTII;TAB(54);ETII
6920 LPRINT : LPRINT "ALMA -- fios contados de cima para baixo"
6930 FOR I=1 TO N
6940 LPRINT "          FIO ";I;TAB(37);SIG(I);TAB(54);ET(I)
6950 NEXT I
6960          LPRINT:          LPRINT          "          NA
ARGAMASSA";TAB(37);SIGCU;TAB(54);ECU
6970 LPRINT STRING$(80,61)
6980 LPRINT :LPRINT "POSICAO DA LINHA NEUTRA ";NOVOX;" cm"
6990 LPRINT "MOMENTO RESITENTE ULTIMO ";MRD;" kNm"
7000 LPRINT "CORTANTE ULTIMA DA SECAO ";VD;" kN"
7010 LPRINT "CARGA ULTIMA RESISTENTE ";PU;" kN"
7020 LPRINT "O modelo provavelmente rompera ";DOM$
7030 IF IP=2 THEN GOTO 6020
7040 LPRINT : LPRINT "CALCULOS NO ESTADIO II "
7050 LPRINT STRING$(80,61)
7060 LPRINT "PARA O MOMENTO SOLICITANTE DE ";MD;" kNm"
7070 LPRINT "POSICAO DA LINHA NEUTRA ";XII;" cm"
7080 LPRINT "MOMENTO DE INERCIA DA SECAO FISSURADA (Idois)
";IDOIS;" cm4"
7090 LPRINT "MOMENTO DE INERCIA EQUIVALENTE (Ieq) ";IEQ;"
cm4"
7100 LPRINT:LPRINT "TENSOES NO ESTADIO II"
7110 LPRINT STRING$(80,61): LPRINT "          CAMADA
TENSAO "
7120 LPRINT "                                (MPa)":
LPRINT
7130 LPRINT "          ARGAMASSA                -";SIGIIC
7140 LPRINT "          DEFORMACAO                ";ECC;"
mm/m"
7150 ON TIPO GOTO 7230,7190,7160
7160 LPRINT : LPRINT "          MESA SUPERIOR"
7170 LPRINT "          CAMADA SUPERIOR                ";SSS
7180 LPRINT "          CAMADA INFERIOR                ";SSI
7190 LPRINT : LPRINT "          MESA INFERIOR"

```

```

7200 LPRINT "          CAMADA SUPERIOR          ";SIS
7210 LPRINT "          ARM. COMPLEMENTAR          ";SSD
7220 LPRINT "          CAMADA INFERIOR          ";SII
7230 LPRINT : LPRINT "          ALMA (fios contados de cima para
baixo)"
7240 FOR I=1 TO N
7250 LPRINT"          FIO ";I;"          ";SIGT(I)
7260 NEXT I
7270 LPRINT STRING$(80,61)
7280 LPRINT"VERIFICACAO DA ABERTURA DE FISSURAS "
7290 LPRINT STRING$(80,61)
7300 LPRINT "ESPACAMENTO ENTRE FISSURAS      ";S;" cm"
7310 LPRINT "ABERTURA DE FISSURAS      ";W;"mm"
7320 LPRINT "ACEITAVEL = 0.15 mm (PROTEGIDO)"
7330 LPRINT "          = 0.10 mm (NAO PROTEGIDO)"
7340 LPRINT
7350 LPRINT"VERIFICACAO DA FLECHA :ESTADO DE DEFORMACAO
EXCESSIVA "
7360 LPRINT STRING$(80,61)
7370 LPRINT"          FLECHA NO MEIO DO VAO ";FMEIO;"cm"
7380 LPRINT STRING$(80,61)
7390 IP=4
7400 GOSUB 8440
7410 IF IP=1 OR IP=2 GOTO 6020
7420 LOCATE 7,10: INPUT "QUER OUTRO MOMENTO SOLICITANTE PARA O
ESTADIO II? (S/N) ",A$
7430 IF A$="S" OR A$="s" GOTO 5200
7440 IF A$<>"N" AND A$<>"n" GOTO 7420
7450 GOTO 6020
7460 END
7470 REM          FIM DO PROGRAMA PRINCIPAL
7480 REM
7490 REM SUBROTINA PARA O CALCULO DAS TENSOES DADO AS
DEFORMACOES
7500 REM
7510 IF ACO$="S" OR ACO$="s" GOTO 7600
7520 IF (ABS(E)<EY)*(ABS(E)>EP) GOTO 7550
7530 IF ABS(E)<EP THEN SIG=E*FPT/EP ELSE SIG=ABS(E)/E*FYD
7540 GOTO 7640
7550 AACO=(ERT*(FYD-FPT)+EP*(FT-FYD)+EY*(FPT-FT))/(ERT*(EY^2-EP
^2)+EP*(ERT^2-EY^2)+ EY*(EP^2-ERT^2))
7560 BACO=(FT-FPT-AACO*(ERT^2-EP^2))/(ERT-EP)
7570 CACO=FPT-EP^2*AACO-EP*BACO
7580 SIG=ABS(E)/E*(AACO*ABS(E*E)+BACO*ABS(E)+CACO)
7590 GOTO 7640
7600 IF (ABS(E)<EY)*(ABS(E)>EP) GOTO 7630
7610 IF ABS(E)<EP THEN SIG=E*210 ELSE SIG=FYD
7620 GOTO 7640
7630 SIG=ABS(E)/E*(-1*(45*FYD^2/210000!-1.4*FYD)+SQR(ABS((45*FY
D ^2/210000!-1.4*FYD) ^2+4*(45*ABS(E)/1000-.49)*FYD^2)))/2
7640 RETURN
7650 REM
7660 REM SUBROTINA PARA O CALCULO DAS CARACTERISTICAS
GEOMETRICAS DAS SECOES
7670 REM
7680 GOSUB 8620
7690 LOCATE 7,9: INPUT "Numero de pontos do contorno (VERTICES

```

```

max 50) ";J
7700 IF J>49 GOTO 7690
7710 LOCATE 9,11: PRINT "adotar um sistema de coordenadas
qualquer "
7720 LOCATE 10,18: PRINT " sempre no percurso ANTI-HORARIO"
7730 FOR I=1 TO J
7740 LOCATE 12,30: PRINT "VERTICE - ";I
7750 LOCATE 13,34: PRINT "      "
7760 LOCATE 15,34: PRINT "      "
7770 LOCATE 13,9: INPUT "COORD (X,Y) DO VERTICE X=",X(I)
7780 LOCATE 15,9: INPUT "                        Y=",Y(I)
7790 C(I)=X(I)
7800 D(I)=Y(I)
7810 NEXT I
7820 C(J+1)=C(1)
7830 D(J+1)=D(1)
7840 CLS
7850 SCREEN 1,0,0
7860 WIDTH 80
7870 FOR I=1 TO J
7880 LINE (-6*C(I)+280,-3*D(I)+100) - (-6*C(I+1)+280,-3*D(I+1)
+100),2
7890 NEXT I
7900 FOR I=1 TO J
7910 LOCATE I+2,47:PRINT "X(";I;")= ";X(I)
7920 LOCATE I+2,63:PRINT "Y(";I;")= ";Y(I)
7930 NEXT I
7940 LOCATE 20,10: INPUT "OS DADOS ESTAO CORRETOS? (S/N) ",A$
7950 SCREEN 0,0,0
7960 IF A$="N" OR A$="n" GOTO 230
7970 IF A$<>"S" AND A$<>"s" GOTO 7940
7980 WIDTH 40
7990 LOCATE 10,10: PRINT " AGUARDE UM MOMENTO....."
8000 A=SQR(3)/3
8010 G1=1-A
8020 G2=1+A
8030 K=J+1
8040 X(K)=X(1)
8050 Y(K)=Y(1)
8060 FOR I=1 TO J
8070 K=I+1
8080 CX=X(K)-X(I)
8090 CY=Y(K)-Y(I)
8100 L=SQR(ABS(CX*CX+CY*CY))
8110 S=CY/L:C=CX/L
8120 G1S=G1*L*S/2
8130 G2S=G2*L*S/2
8140 G1C=G1*L*C/2
8150 G2C=G2*L*C/2
8160 SECAO=SECAO+L*S*(X(I)+L*C/2)
8170 XCG=XCG+L*S*((X(I)+G1C)^2+(X(I)+G2C)^2)
8180 YCG=YCG-L*C*((Y(I)+G1S)^2+(Y(I)+G2S)^2)
8190 IX=IX-L*C*((Y(I)+G1S)^3+(Y(I)+G2S)^3)
8200 IY=IY+L*S*((X(I)+G1C)^3+(X(I)+G2C)^3)
8210 IXY=IXY+L*S*((X(I)+G1C)^2*(Y(I)+G1S)+((X(I)+G2C)^2)*(Y(I)
)+G2S))
8220 NEXT I

```

```

8230 XCG=XCG/4/SECAO
8240 YCG=YCG/4/SECAO
8250 IX=IX/6
8260 IY=IY/6
8270 IXY=IXY/4
8280 IX=IX-SECAO*YCG^2
8290 IY=IY-SECAO*XCG^2
8300 IXY=IXY-SECAO*XCG*YCG
8310 WIDTH 80
8320 GOSUB 8440
8330 LOCATE 4,22: PRINT " CARACTERISTICAS GEOMETRICAS DA SECAO
"
8340 LOCATE 8,15: PRINT "AREA DA SECAO ";SECAO;"cm2"
8350 LOCATE 8,15: PRINT "COORDENADAS DO CG (no mesmo eixo dos
dados)"
8360 LOCATE 9,30: PRINT "Xcg=";XCG;"cm"
8370 LOCATE 10,30: PRINT "Ycg=";YCG;"cm"
8380 LOCATE 12,10: PRINT "MOMENTOS DE INERCIA IX
=";IX;"cm4"
8390 LOCATE 13,10: PRINT " IY
=";IY;"cm4"
8400 LOCATE 14,10: PRINT " IXY=";IXY;"cm4"
8410 LOCATE 19,19: INPUT "PARA CONTINUAR TECLE <ENTER>";Z$
8420 RETURN
8430 REM
8440 REM SUBROTINA PARA A TELA DE APRESENTACAO
8450 REM
8460 FOR I=1 TO 32
8470 PRINT
8480 NEXT I
8490 LOCATE 1,21: PRINT " CALCULO DE VIGAS DE ARGAMASSA ARMADA
"
8500 LOCATE 4,5: PRINT STRING$(75,205)
8510 LOCATE 4,4: PRINT CHR$(201)
8520 LOCATE 4,80: PRINT CHR$(187)
8530 FOR I=5 TO 15
8540 LOCATE I,4: PRINT CHR$(186)
8550 LOCATE I,80: PRINT CHR$(186)
8560 NEXT I
8570 LOCATE 16,4: PRINT CHR$(200)
8580 LOCATE 16,80: PRINT CHR$(188)
8590 LOCATE 16,5: PRINT STRING$(75,205)
8600 RETURN
8610 REM
8620 REM SUBROTINA PARA LIMPEZA DA TELA
8630 REM
8640 O$=SPACE$(74)
8650 FOR I=17 TO 21
8660 LOCATE I,1: PRINT O$
8670 NEXT I
8680 FOR I=5 TO 15
8690 LOCATE I,5: PRINT O$
8700 NEXT I
8710 RETURN

```

APÉNDICE 2

A2 DOCUMENTAÇÃO FOTOGRÁFICA



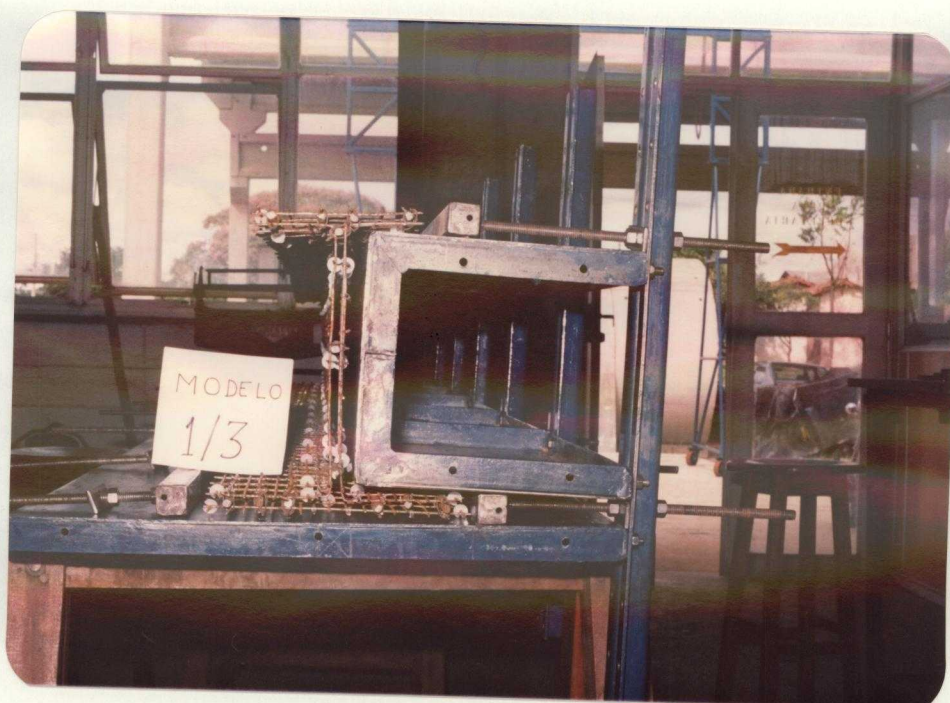
FOTOGRAFIA 01 - DOBRAMENTO DA TELA



FOTOGRAFIA 02 - MONTAGEM DA ARMAÇÃO



FOTOGRAFIA 03 - DETALHE DA ARMAÇÃO DO MODELO 1/3



FOTOGRAFIA 04 - COLOCAÇÃO DA ARMAÇÃO DO
MODELO 1/3 NA FÔRMA



FOTOGRAFIA 05 - IÇAMENTO
DA FÔRMA DE UM DOS MODELOS
DA SÉRIE 1



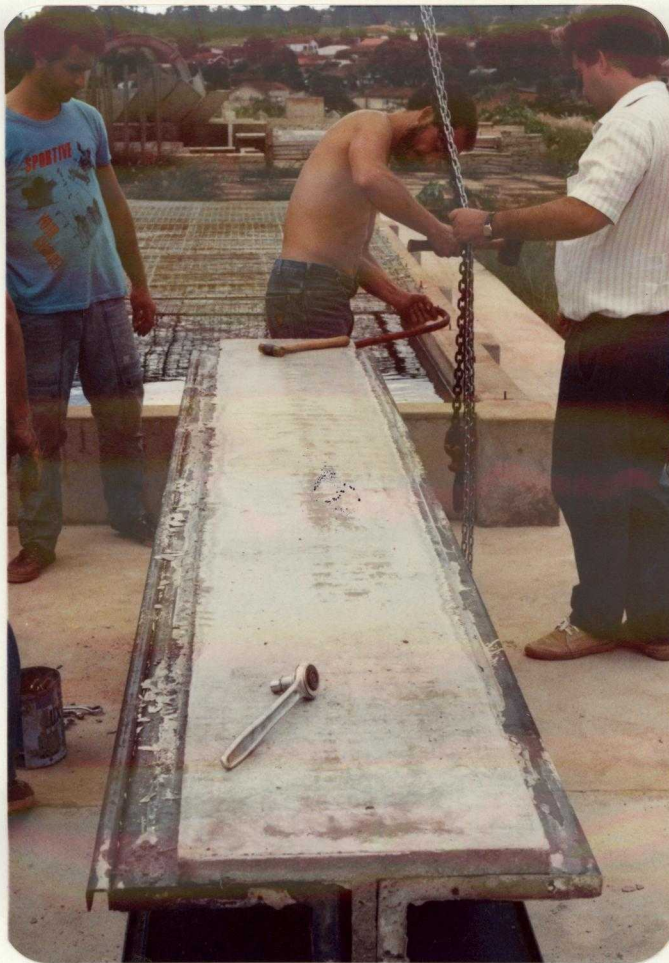
FOTOGRAFIA 06 - MOLDAGEM DE UM DOS MODELOS DA SÉRIE 1



FOTOGRAFIA 07 - COLOCAÇÃO
DA FÔRMA NO TANQUE DE CURA
APÓS A MOLDAGEM DE UM DOS
MODELOS DA SÉRIE 1



FOTOGRAFIA 08 - INÍCIO DO PROCESSO DE CURA DE
UM DOS MODELOS DA SÉRIE 1



FOTOGRAFIA 09 - DESMOLDA-
GEM DO MODELO 1/2



FOTOGRAFIA 10 - RETIRADA DA FACE LATERAL DA FÔRMA
DE UM DOS MODELOS DA SÉRIE 1



FOTOGRAFIA 11 - FÔRMA UTILIZADA PARA MOLDAGENS DOS
MODELOS DAS SÉRIES 2,3,4 E 5.



FOTOGRAFIA 12 - COLOCAÇÃO
DA ARMAÇÃO DO MODELO 3/1
NA FÔRMA



FOTOGRAFIA 13 - MOLDAGEM DE UM DOS MODELOS DA SÉRIE 2



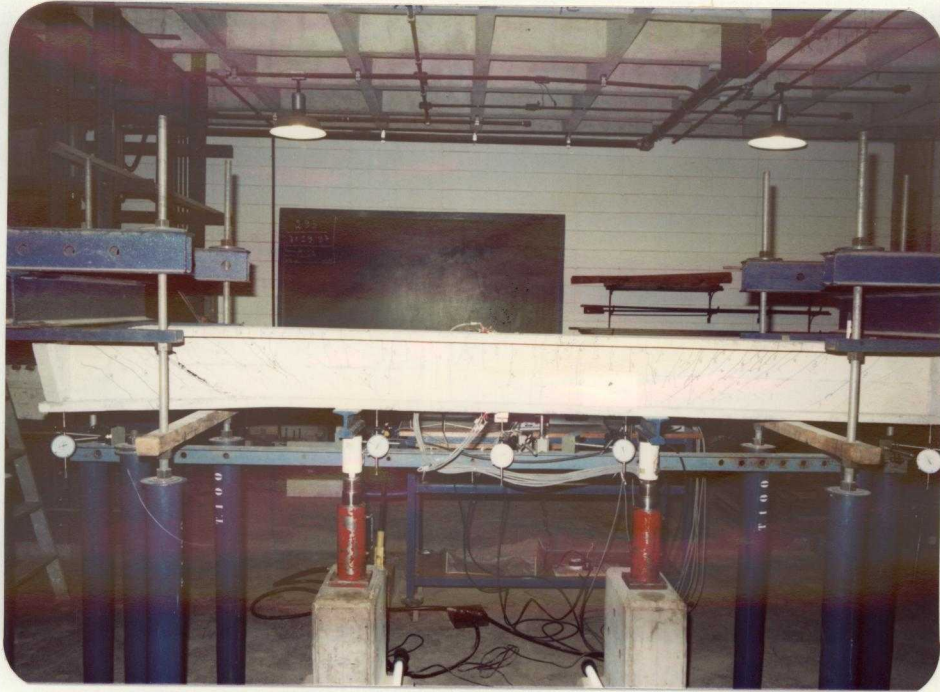
FOTOGRAFIA 14 - DETALHE DA MOLDAGEM



FOTOGRAFIA 15 - ACABAMENTO
DO MODELO 2/1



FOTOGRAFIA 16 - DESMOLDAGEM DO MODELO 2/1



FOTOGRAFIA 17 - MODELO 1/2 NO PÓRTICO DE
ENSAIO APÓS A RUPTURA



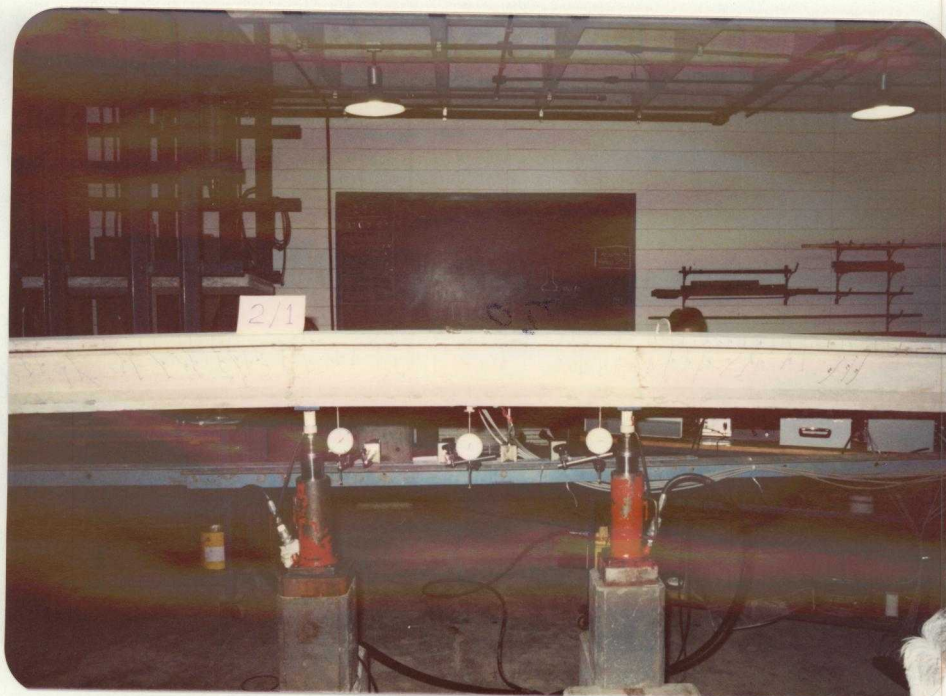
FOTOGRAFIA 18 - DETALHE
DA REGIÃO DO APOIO DO
MODELO 1/2



FOTOGRAFIA 19 - TRANSPORTE DO MODELO 2/1 PARA
O PÓRTICO DE ENSAIO



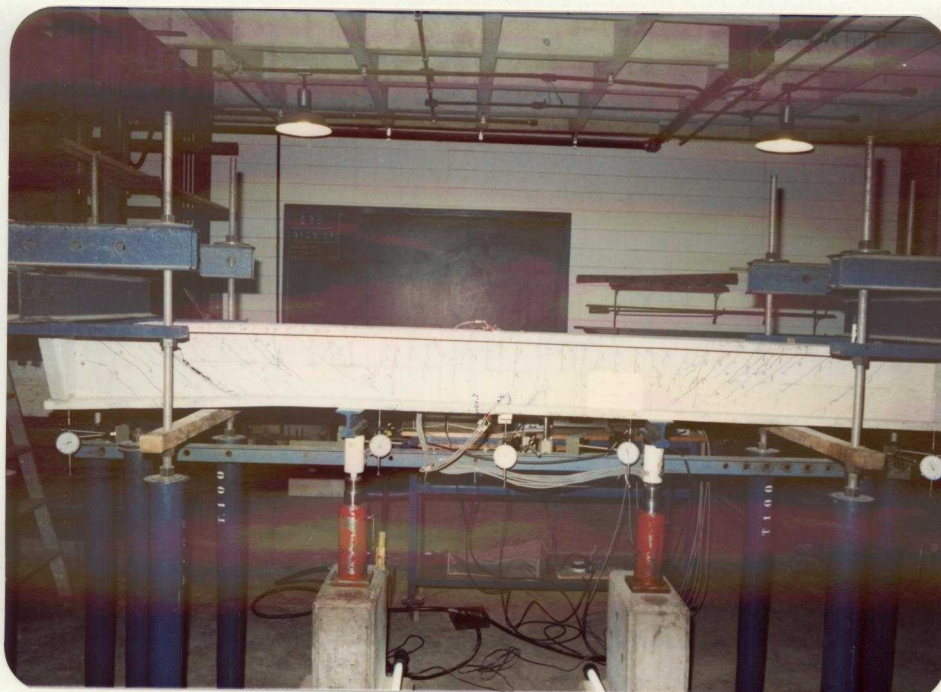
FOTOGRAFIA 20 - MODELO 2/1 POSICIONADO NO
PÓRTICO PARA ENSAIO



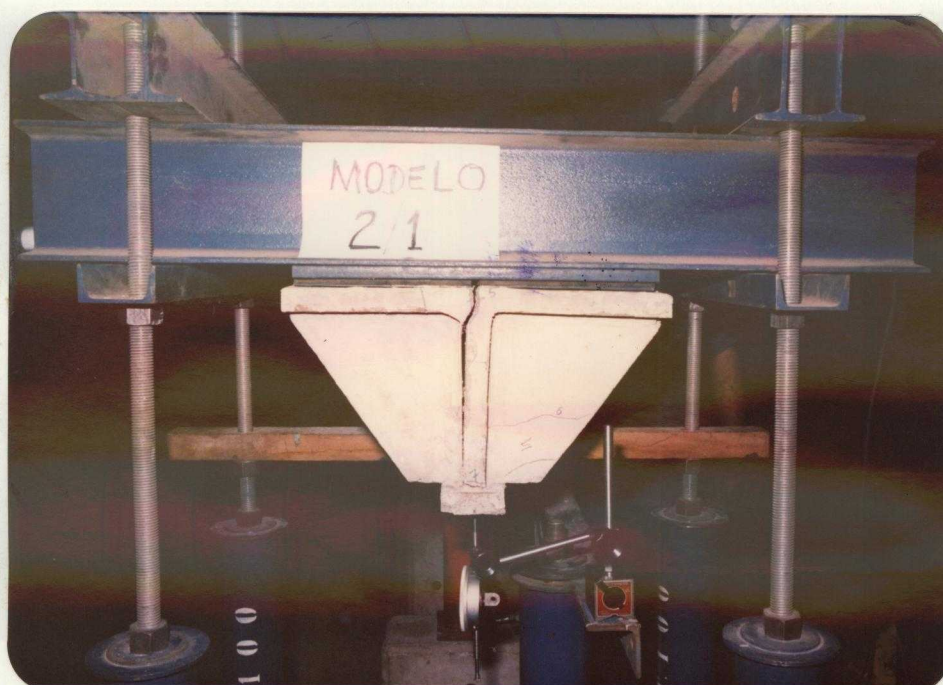
FOTOGRAFIA 21 - DETALHE DO SISTEMA DE APLICAÇÃO DE FORÇAS NO ENSAIO DO MODELO 2/1



FOTOGRAFIA 22 - DETALHE DA REGIÃO DO APOIO DO MODELO 2/1



FOTOGRAFIA 23 - CONFIGURAÇÃO DE RUÍNA DO MODELO 1/2



FOTOGRAFIA 24 - DETALHE DA RUPTURA DA LIGAÇÃO MESA TRACIONADA-ALMA DO MODELO 1/2 NA SEÇÃO DO APOIO



FOTOGRAFIA 25 - CONFIGURAÇÃO DE RUÍNA DO MODELO 1/3



FOTOGRAFIA 26 - DETALHE DA RUPTURA POR FORÇA
CORTANTE DO MODELO 1/3



FOTOGRAFIA 27 - CONFIGURAÇÃO DE RUÍNA DA MESA
TRACIONADA DO MODELO 1/2



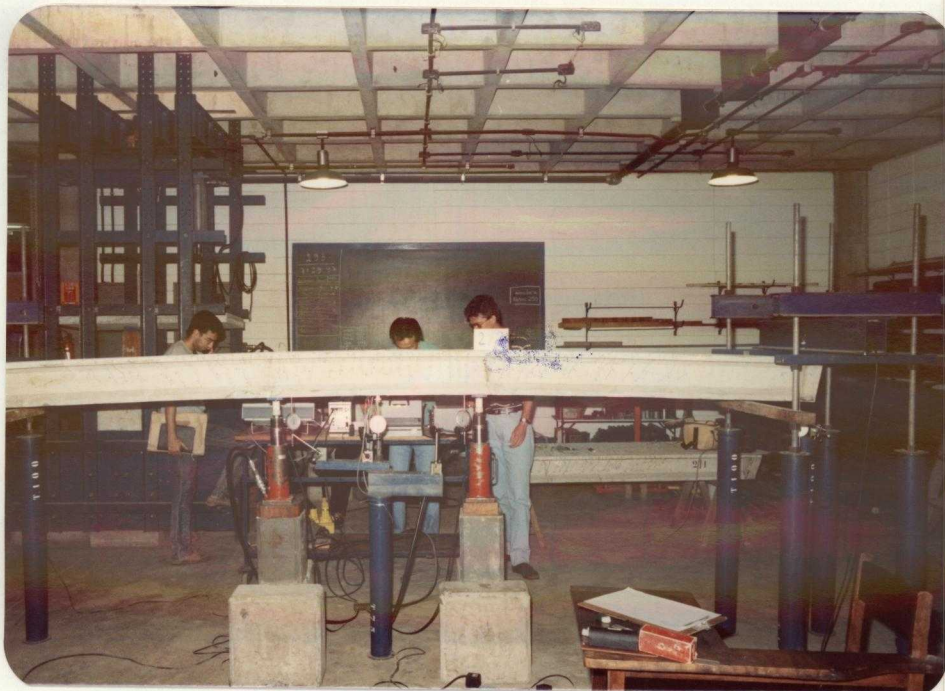
FOTOGRAFIA 28 - CONFIGURAÇÃO DE RUÍNA DA MESA
TRACIONADA DO MODELO 1/3



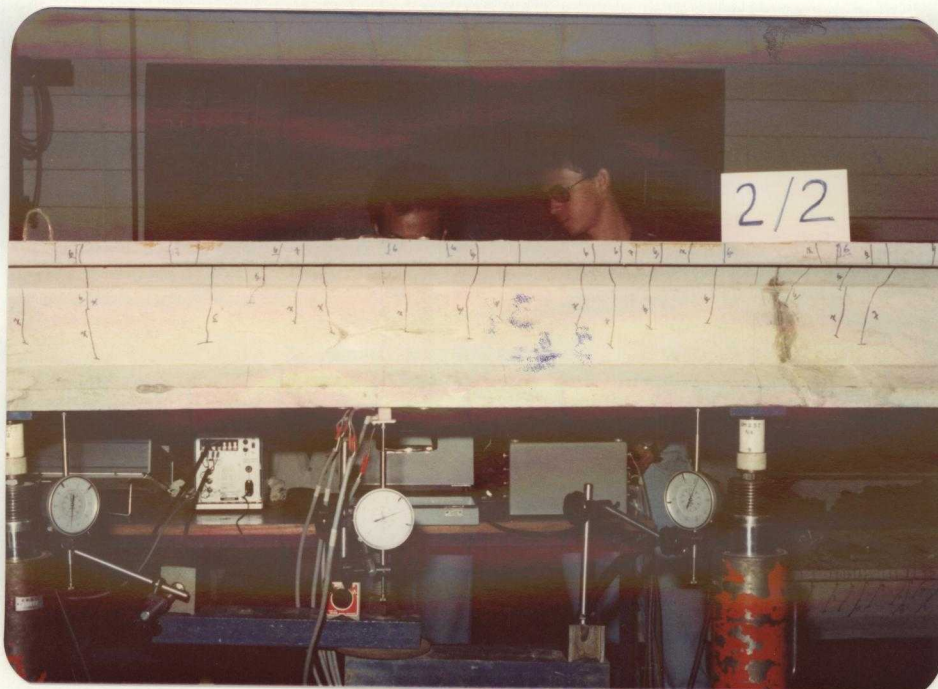
FOTOGRAFIA 29 - CONFIGURAÇÃO DE RUÍNA DA ALMA DO
MODELO 1/4



FOTOGRAFIA 30 - DETALHE DA RUPTURA POR FORÇA
CORTANTE DO MODELO 1/4



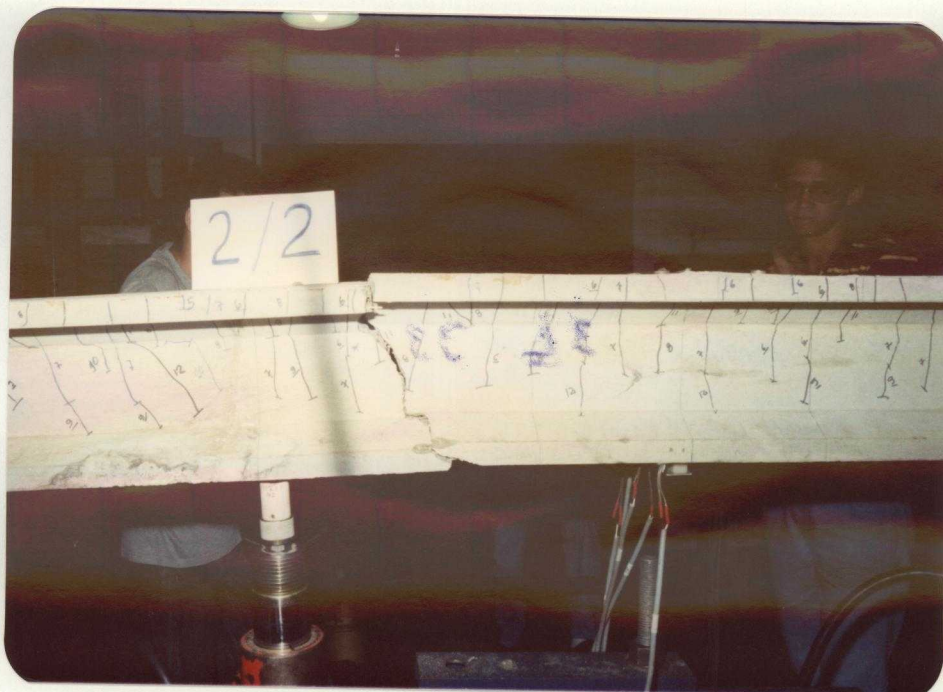
FOTOGRAFIA 31 - MODELO 2/2 DURANTE O ENSAIO



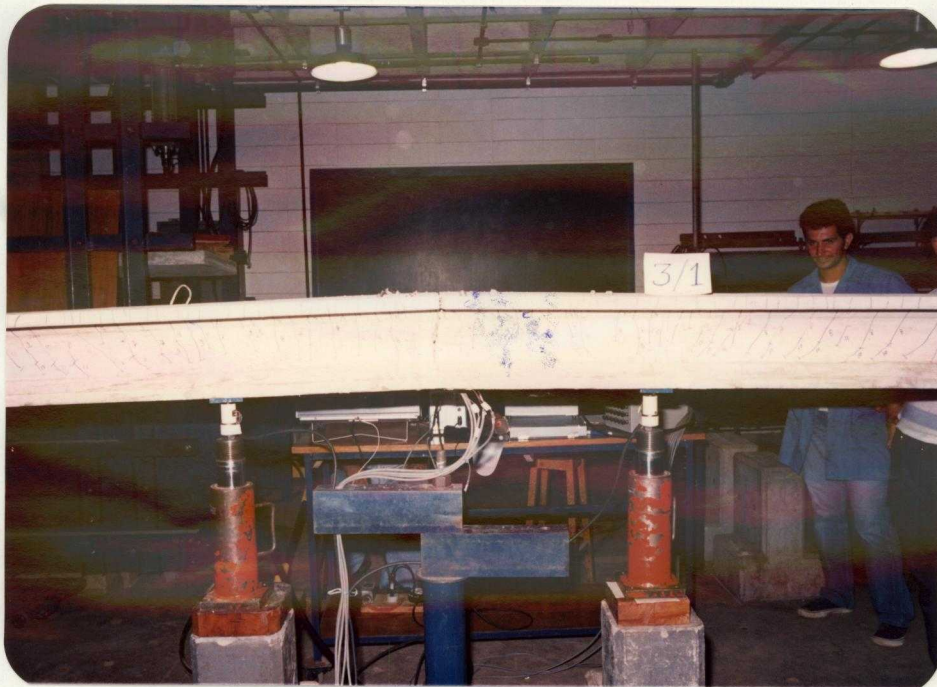
FOTOGRAFIA 32 - DETALHE DA REGIÃO B DE OBSERVAÇÃO DE FISSURAS DO MODELO 2/2 DURANTE O ENSAIO



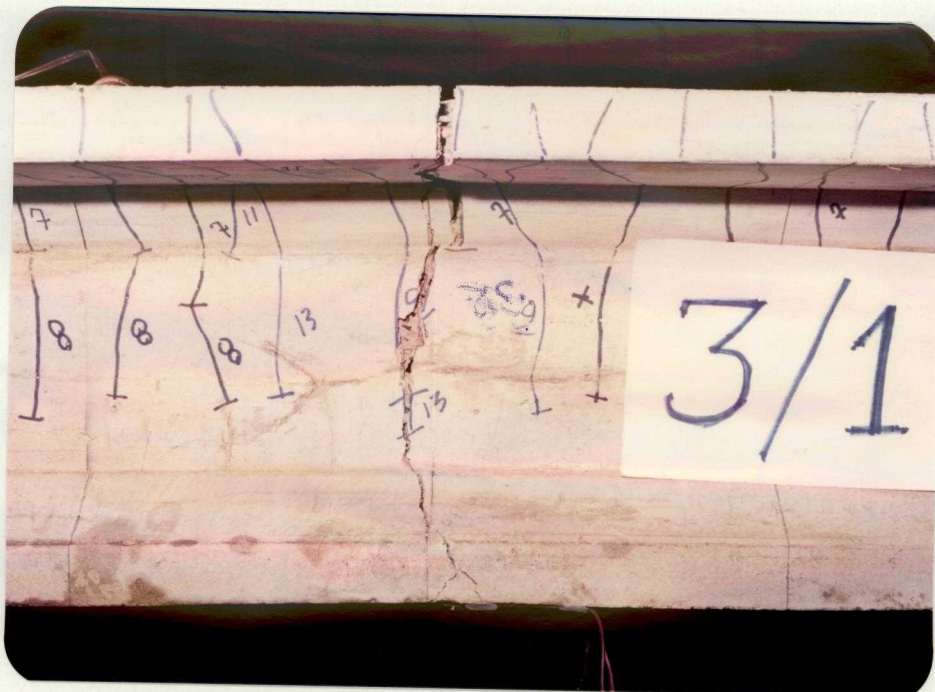
FOTOGRAFIA 33 - MODELO 2/2 APÓS RUPTURA POR FLEXÃO



FOTOGRAFIA 34 - DETALHE DA REGIÃO EM QUE OCORREU A RUPTURA DO MODELO 2/2



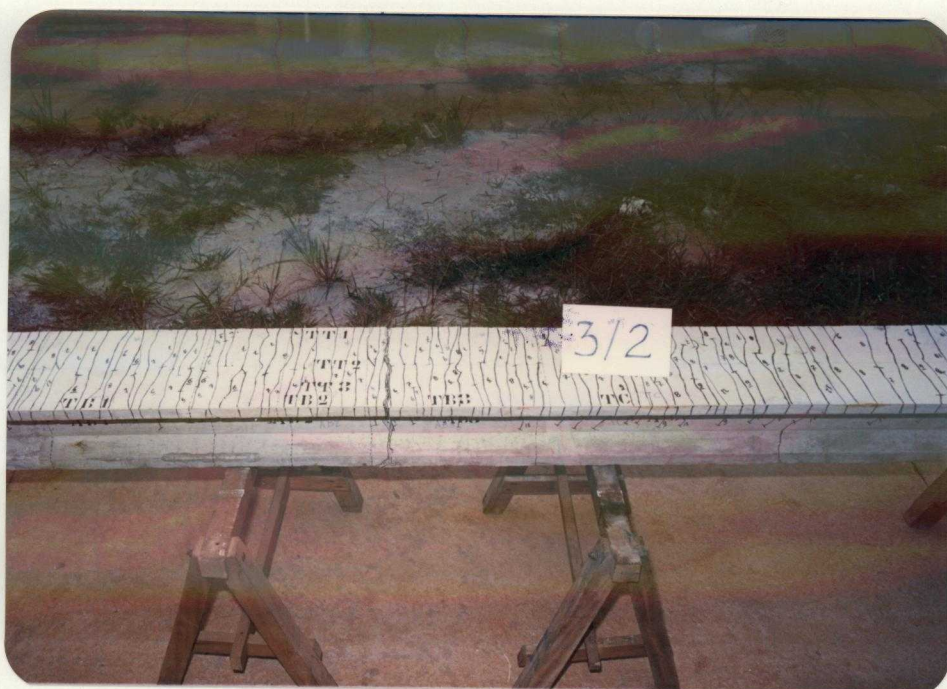
FOTOGRAFIA 35 - MODELO 3/1 APÓS A RUPTURA POR FLEXÃO



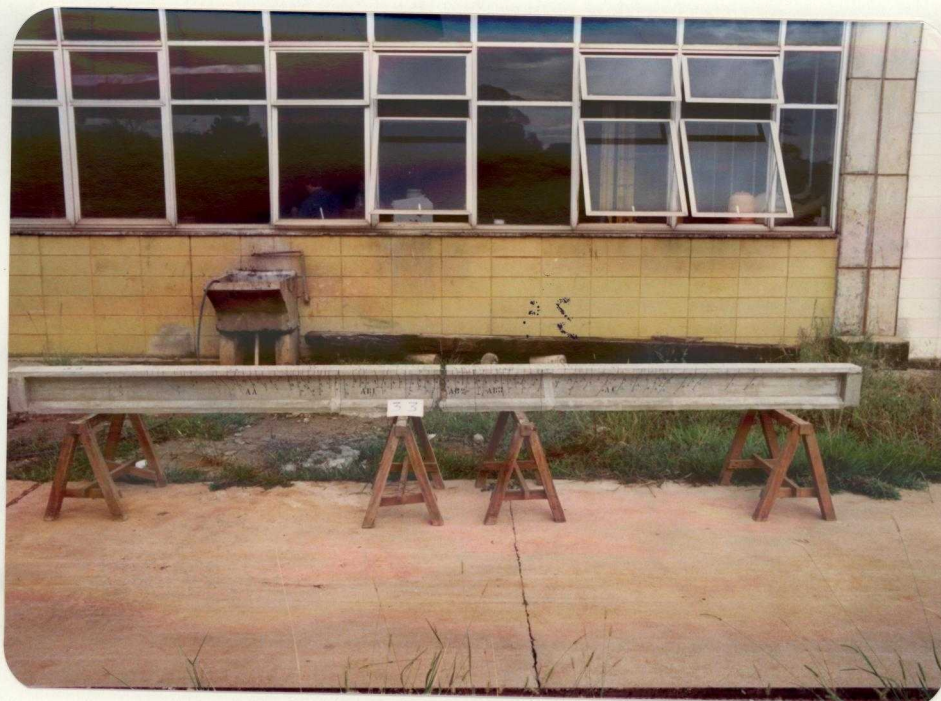
FOTOGRAFIA 36 - DETALHE DA SEÇÃO EM QUE OCORREU
A RUPTURA DO MODELO 3/1



FOTOGRAFIA 37 - CONFIGURAÇÃO DE RUÍNA DA MESA TRACIONADA DO MODELO 3/2



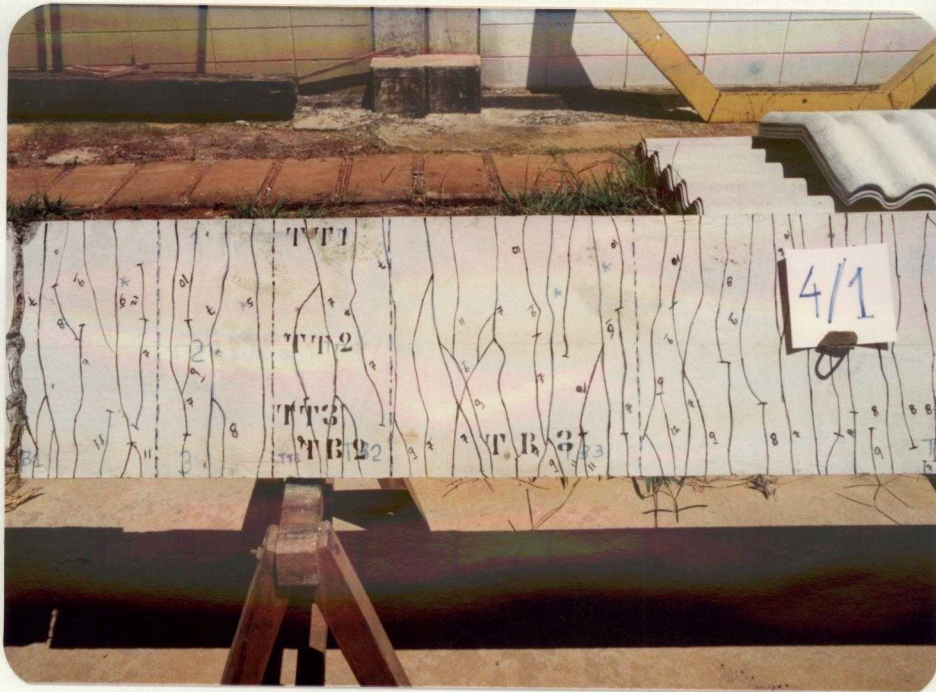
FOTOGRAFIA 38 - DETALHE DA FISSURAÇÃO DO MODELO 3/2



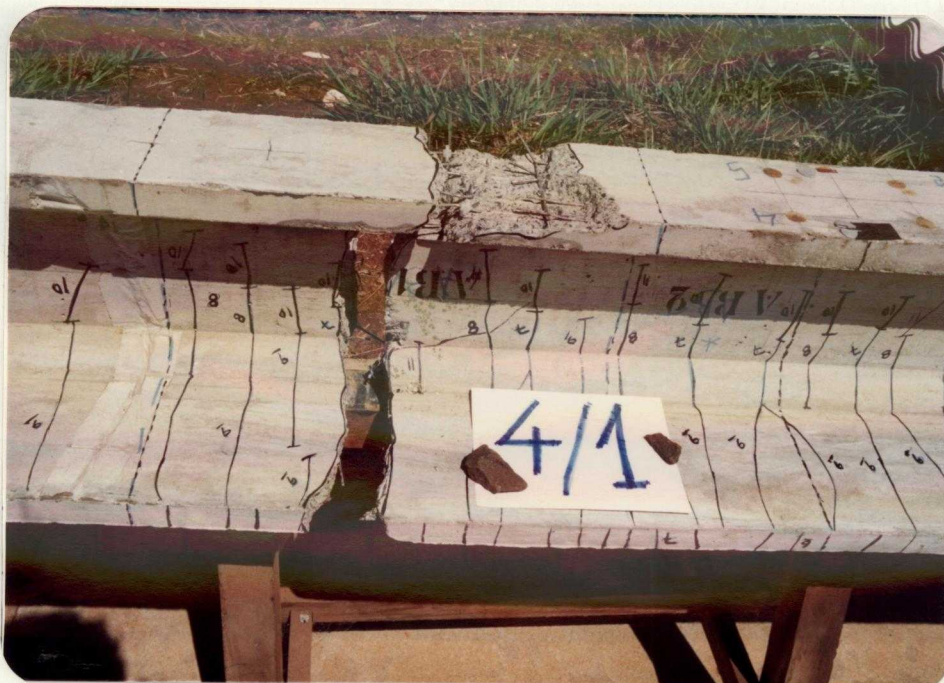
FOTOGRAFIA - 39 CONFIGURAÇÃO DE RUÍNA DO MODELO 3/3



FOTOGRAFIA 40 - DETALHE DA FISSURAÇÃO DO MODELO 3/3



FOTOGRAFIA 41 - CONFIGURAÇÃO DE RUÍNA DA MESA TRACIONADA DO MODELO 4/1



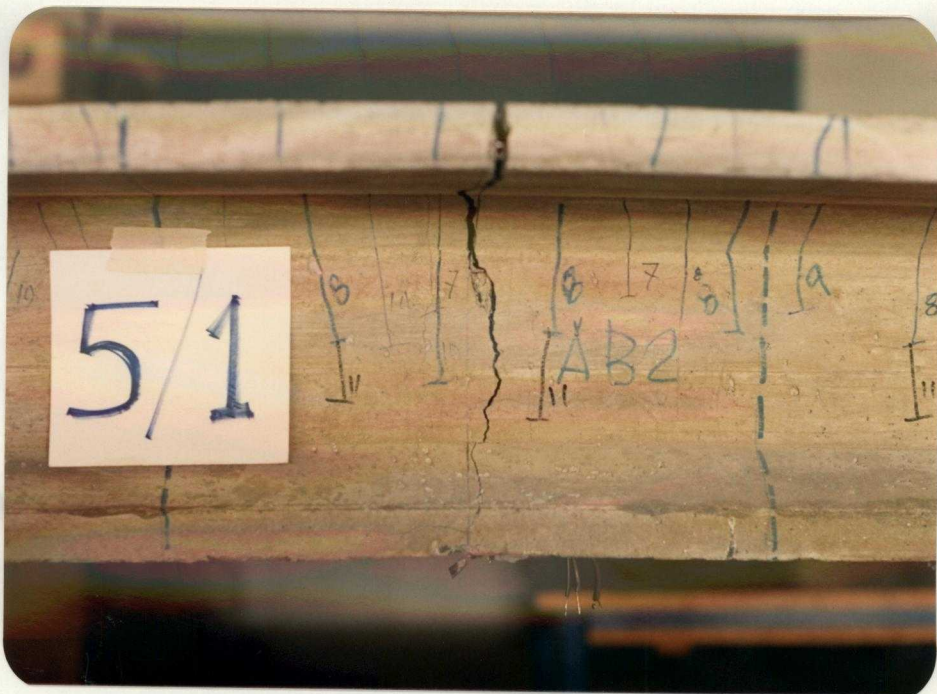
FOTOGRAFIA 42 - DETALHE DA SEÇÃO EM QUE OCORREU A RUPTURA DO MODELO 4/1



FOTOGRAFIA 43 - DETALHE DA REGIÃO DE EMENDA
DAS ARMADURAS DO MODELO 5/1



FOTOGRAFIA 44 - CONFIGURAÇÃO DE FISSURAÇÃO DA MESA
TRACIONADA DO MODELO 5/1



FOTOGRAFIA 45 - DETALHE DA SEÇÃO DE RUPTURA
DO MODELO 5/1



FOTOGRAFIA 46 - DETALHE DA SEÇÃO DE RUPTURA
DO MODELO 5/1A

APÉNDICE 3

A3. FISSURAÇÃO - CONSIDERAÇÃO DA RETRAÇÃO

A3.1 RETRAÇÃO DA ARGAMASSA

A3.1.1 Cálculo do valor da retração segundo a NBR 7197

O roteiro prescrito pelo projeto de norma NBR 7197 para cálculo do valor da retração é baseado no código modelo CEB-FIP de 1978.

O valor da deformação por retração, depende da umidade relativa do ambiente, das dimensões dos elementos estruturais, da dosagem dos materiais que compõem a argamassa e da temperatura ambiente.

A deformação relativa à retração que se desenvolve no intervalo de tempo $(t-t_o)$ é calculada por:

$$\varepsilon_{CS}(t, t_o) = \varepsilon_{CS\infty} \cdot [\beta_S(t) - \beta_S(t_o)] \quad (A3-1)$$

Na expressão A3-1 tem-se:

$\varepsilon_{CS\infty} = \varepsilon_{1S} \cdot \varepsilon_{2S}$: valor final da retração;

ε_{1S} : coeficiente que depende da umidade relativa do ambiente

e da consistência do concreto (Tabela A3-1);

ϵ_{2S} : coeficiente que depende das dimensões da seção transversal da peça;

O coeficiente ϵ_{2S} é dado por:

$$\epsilon_{2S} = \frac{33 + 2 \cdot h_{fic}}{20,8 + 3 \cdot h_{fic}} \quad (A3-2)$$

onde h_{fic} (em centímetros) é a espessura fictícia da peça dada na expressão A3-1;

$\beta_s(t)$ ou $\beta_s(t_o)$: coeficiente relativo à retração, no instante t e t_o , respectivamente, e determinados na figura A3-1;

t : idade fictícia do concreto no instante considerado, em dias;

t_o : idade fictícia do concreto no instante em que o efeito da retração na peça começa a ser considerado, em dias;

TABELA A3-1 - VALORES DOS COEFICIENTES ϵ_{1S} E γ

AMBIENTE	UMIDADE	$10^4 \cdot \epsilon_{1S}$			γ
		0 - 4	5 - 9	10 - 15	
NA ÁGUA	-	+ 1,0	+ 1,0	+ 1,0	30
EM AMB. ÚMIDO IMEDIATAMENTE ACIMA DA AGUA	90%	- 1,0	- 1,3	- 1,6	5
AO AR LIVRE , EM GERAL	70%	- 2,5	- 3,2	- 4,0	1,5
EM AMBIENTE SECO	40%	- 4,0	- 5,2	- 6,5	1

No caso particular de consistência correspondente a abatimentos entre 5cm e 9cm, o coeficiente ϵ_{1S} é dado por:

$$\epsilon_{1S} \cdot 10^4 = -6,16 - \frac{U}{484} + \frac{U^2}{1590} \quad (A3-3)$$

Sendo, U a umidade relativa do ambiente, expressa em porcentagem.

A idade a considerar é a idade fictícia $\alpha \cdot t_{ef}$, em dias, nos casos em que o endurecimento do concreto se faz à temperatura ambiente de 20°C. No caso de retração, para qualquer tipo de cimento, α é igual a unidade.

A idade fictícia, nos demais casos e quando não houver cura a vapor, é calculada com a expressão A3-4.

$$t = \alpha \cdot \sum \frac{T_i + 10}{30} \cdot \Delta t_{ef,i} \quad (A3-4)$$

onde:

T_i : temperatura média diária do ambiente, em graus centígrados;

$\Delta t_{ef,i}$: período, em dias, durante o qual a temperatura média diária do ambiente, T_i , pode ser admitida constante.

A espessura fictícia da peça pode ser calculada pela expressão A3-5.

$$h_{fic} = \gamma \cdot \frac{2 \cdot A_c}{u} \quad (A3-5)$$

onde:

γ = coeficiente que depende da umidade relativa do ambiente - Tabela A3-1;

A_c = área da seção transversal da peça;

u = parte do perímetro externo da seção transversal da peça em contato com o ar.

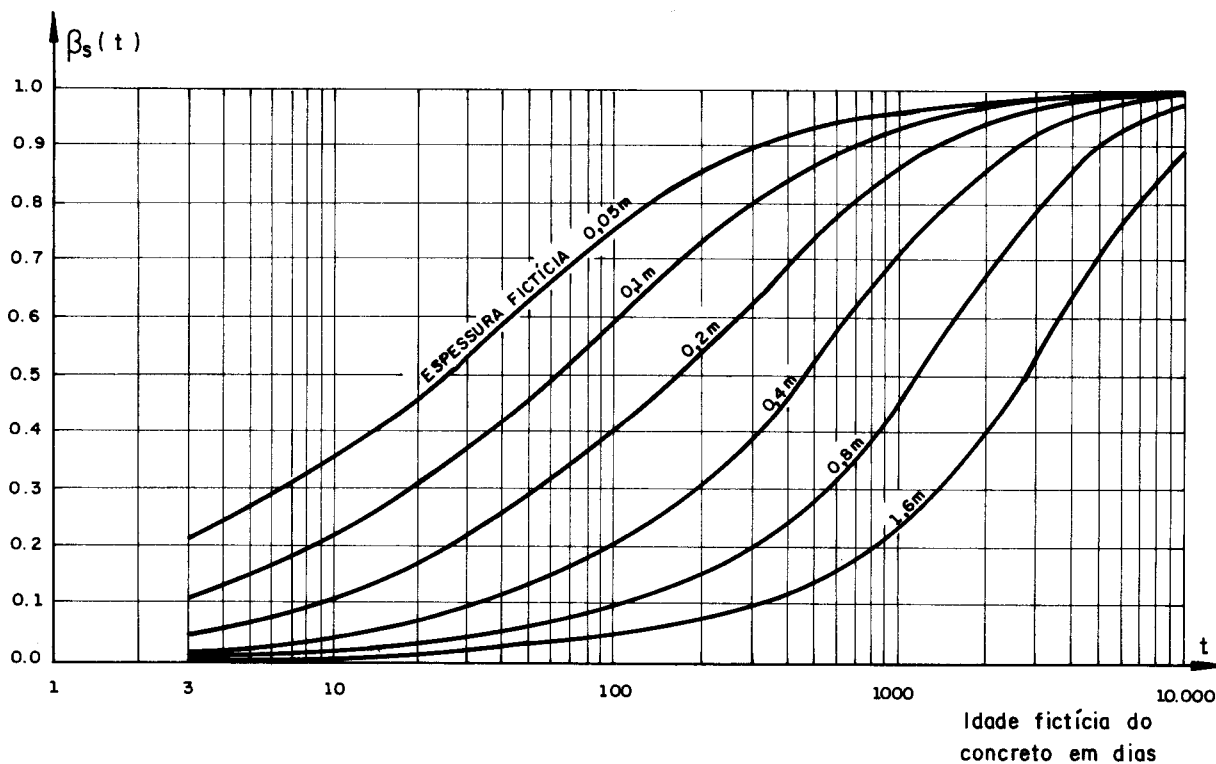


FIGURA A3.1 — COEFICIENTE RELATIVO À RETRAÇÃO

A3.2 CONSIDERAÇÃO DA ARMAÇÃO NO EFEITO DE RETRAÇÃO

A3.2.1 Considerações Gerais

No cálculo do momento fletor de fissuração, usando os critérios da NBR 6118, é desprezado o efeito da armadura na consideração da retração.

Se a peça for de argamassa sem armadura, a retração ocorre de forma livre.

Nos elementos de argamassa armada, ao manifestar-se a retração, em função da aderência, a armadura a ela se opõe, surgindo tensões de compressão na armadura e de tração na argamassa.

A armadura, portanto, inibe parcialmente as deformações de tração.

As vigas de seção duplo T, analisadas neste trabalho, têm taxas de armadura diferentes nas mesas tracionada e comprimida e na alma. Neste caso de armadura assimétrica a inibição parcial das deformações de retração produzirão efeitos de flexão. A viga fica submetida a um estado interno de coação com a armadura comprimida e o concreto submetido a flexo-tração.

A3.2.2 Peça com armadura dupla

Neste caso de peça de concreto, armado com duas armaduras próximas as faces comprimida (A'_s) e tracionada (A_s), as deformações oriundas da retração são mostradas na figura A3-2.

As armaduras são comprimidas por forças F_{sc} , na armadura tracionada, e F'_{sc} na armadura comprimida. As tensões no concreto na altura do centro geométrico das armaduras superior e inferior são respectivamente iguais a σ'_{ct} e σ_{ct} .

Os encurtamentos das armaduras são dados por:

$$\epsilon'_{sc} = \frac{F'_{sc}}{A'_s \cdot E_s} \quad (A3-6)$$

$$\epsilon_{sc} = \frac{F_{sc}}{A_s \cdot E_s} \quad (A3-7)$$

Chamando de x_o a distância do centro geométrico da seção transversal até a borda superior, próxima da armadura $A'_s < A_s$ e, lembrando que a resultante de forças é excêntrica, pode-se calcular as tensões σ'_c e σ_c no concreto ao nível das armaduras, resultando:

$$\sigma'_c = \frac{F'_{sc}}{A_c} + F'_{sc} \cdot \left[\frac{(x_o - d')}{I_c} \cdot (x_o - d') \right] + \frac{F_{sc}}{A_c} - F_{sc} \cdot \left[\frac{(d - x_o)}{I_c} \cdot (x_o - d') \right] \quad (A3-8)$$

$$\sigma_c = \frac{F_{sc}}{A_c} + F_{sc} \cdot \left[\frac{(d - x_o)}{I_c} \cdot (d - x_o) \right] + \frac{F'_{sc}}{A_c} - F'_{sc} \cdot \left[\frac{(x_o - d')}{I_c} \cdot (d - x_o) \right] \quad (A3-9)$$

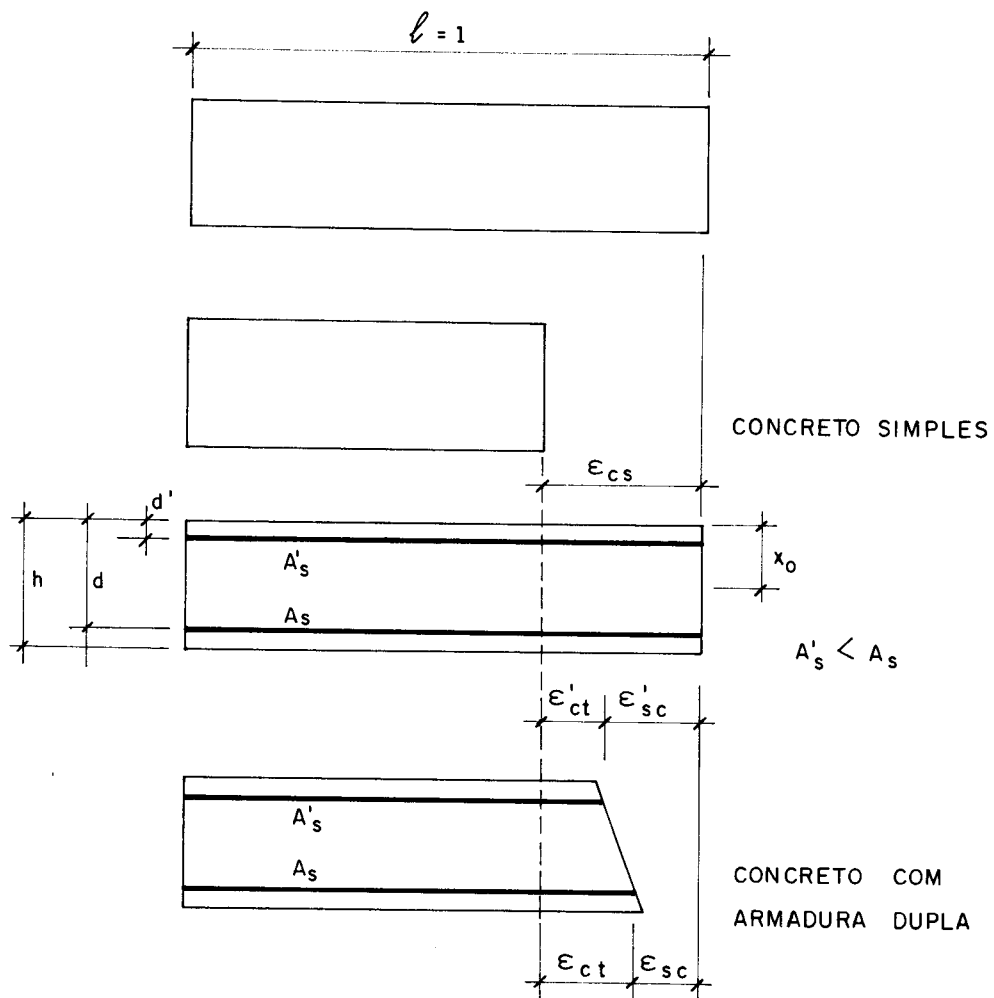


FIGURA A.3.2 - RETRAÇÃO - ARMADURA DUPLA

Analisando a figura A3-2 pode-se escrever:

$$\epsilon'_{sc} = \epsilon_{cs} - \epsilon'_{ct} \quad (A3-10)$$

$$\epsilon_{sc} = \epsilon_{cs} - \epsilon_{ct} \quad (A3-11)$$

Substituindo nas expressões anteriores as deformações nas armaduras A'_S e A_S pelas relações entre as respectivas tensões e o módulo de deformação longitudinal do aço e, as deformações no concreto pelas relações entre as tensões e o módulo de deformação longitudinal do concreto, resultam:

$$\frac{F'_{sc}}{A'_S \cdot E_S} = \varepsilon_{cs} - \frac{\sigma'_c}{E_c} \quad (A3-12)$$

$$\frac{F_{sc}}{A_S \cdot E_S} = \varepsilon_{cs} - \frac{\sigma_c}{E_c} \quad (A3-13)$$

As incógnitas F'_{sc} , F_{sc} , σ'_c e σ_c são determinadas usando as expressões A3-8, A3-9, A3-12 e A3-13, desde que seja conhecido o valor da retração ε_{cs} que ocorre na argamassa simples e que sejam definidas as características geométricas e mecânicas da peça.

As tensões nas armaduras são determinadas por:

$$\sigma'_{sc} = \frac{F'_{sc}}{A'_S} \quad (A3-14)$$

$$\sigma_{sc} = \frac{F_{sc}}{A_S} \quad (A3-15)$$

A tensão na borda tracionada da viga resulta igual a:

$$\begin{aligned} \sigma_{ct}(\varepsilon_{cs}) = & \frac{F_{sc} + F'_{sc}}{A_c} + \frac{F_{sc} \cdot (d - x_o) \cdot (h - x_o)}{I_c} + \\ & - \frac{F'_{sc} \cdot (x_o - d') \cdot (h - x_o)}{I_c} \end{aligned} \quad (A3-16)$$

A3.3 RETRAÇÃO MEDIDA NO MODELO 1/2

Aproveitando as bases para leitura das deformações com extensômetro mecânico, instaladas nas mesas tracionada e

comprimida e na alma do modelo 1/2, na seção de meio do vão (figura 4.37), fizeram-se as leituras das deformações por retração da argamassa.

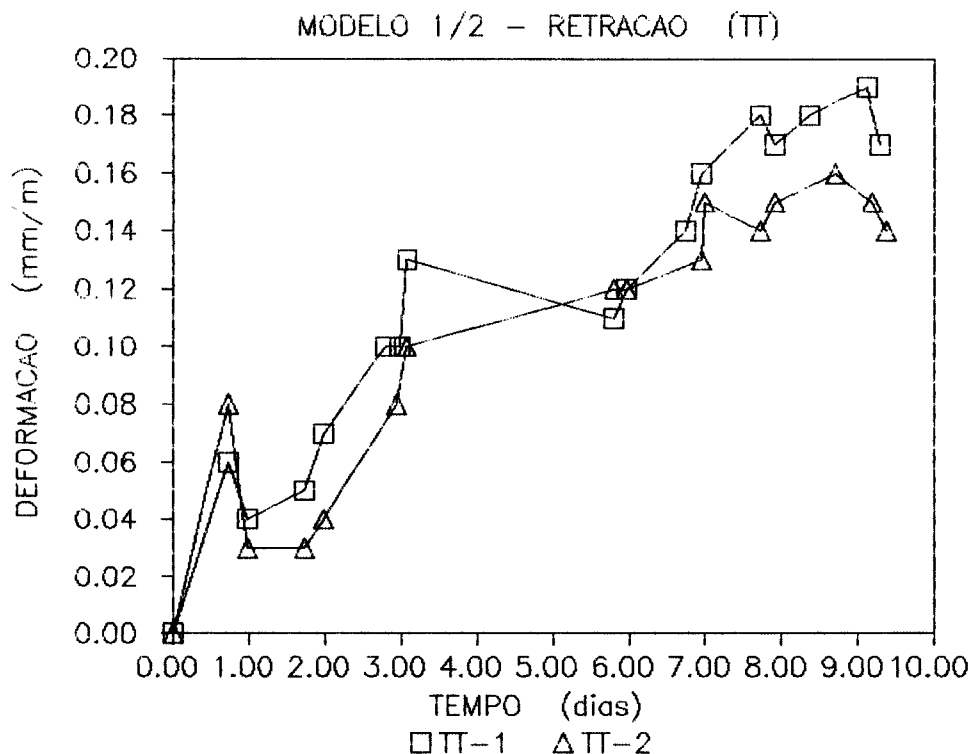
As bases eram colocadas na superfície do modelo quatro horas após a sua retirada do tanque de cura e após secagem da cola iniciavam-se as leituras.

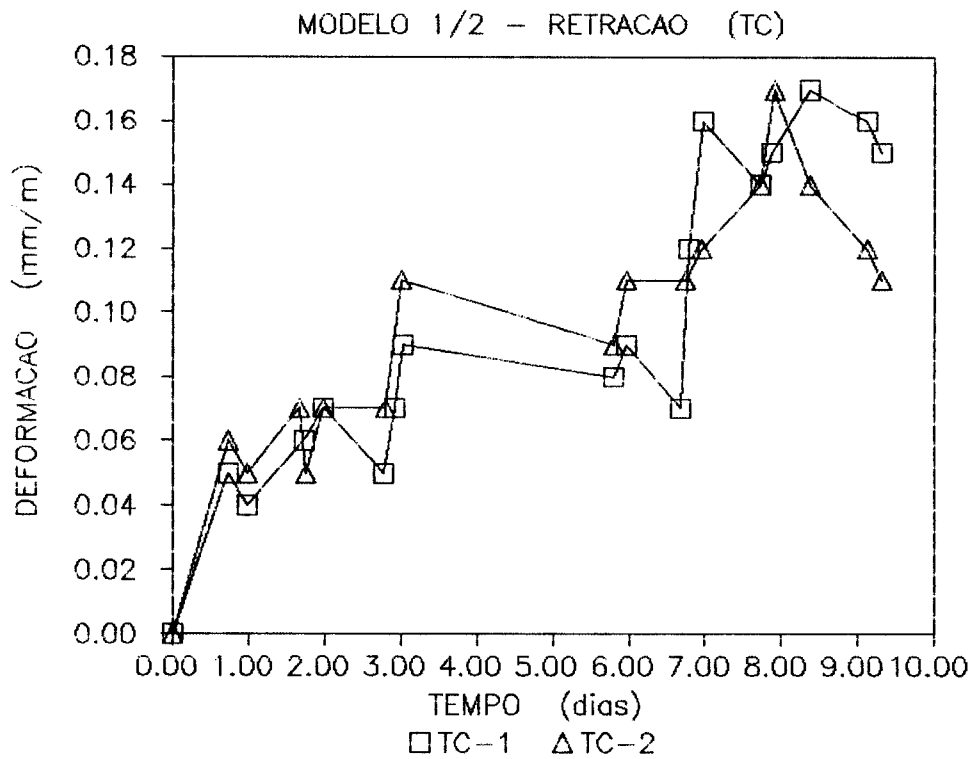
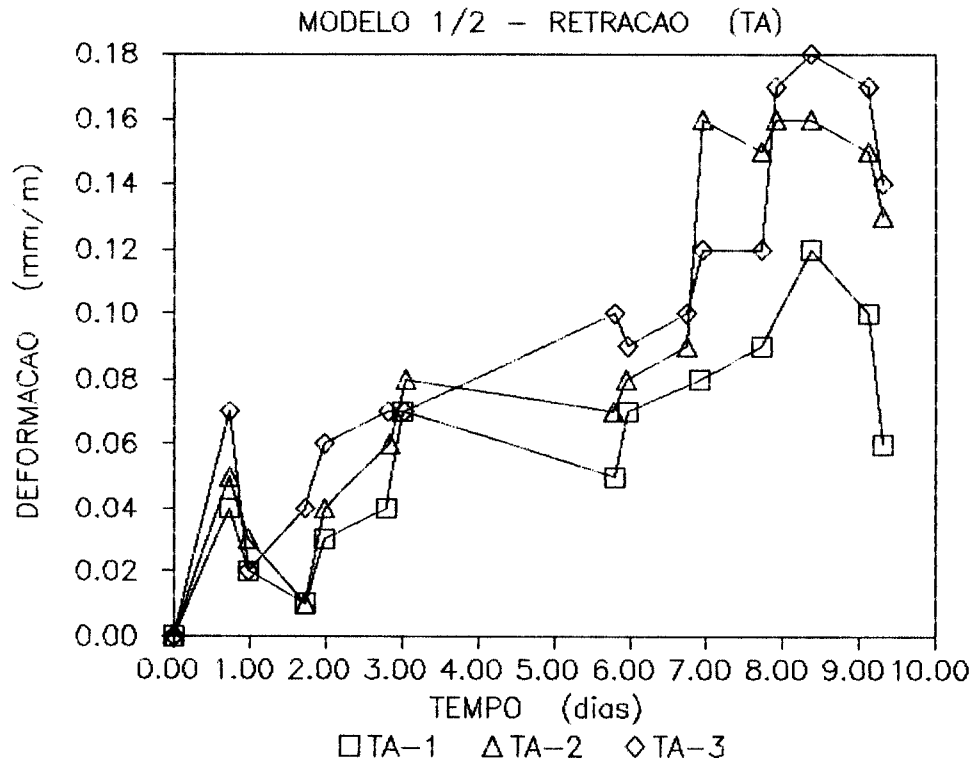
Os resultados são mostrados nos diagramas deformação (ϵ_{CSS}), (mm/m) - tempo (dias) nas figuras:

A3.2 - Medida de retração na mesa tracionada (TT) do modelo 1/2;

A3.3 - Medida de retração na alma (TA);

A3.4 - Medida de retração na mesa comprimida (TC)





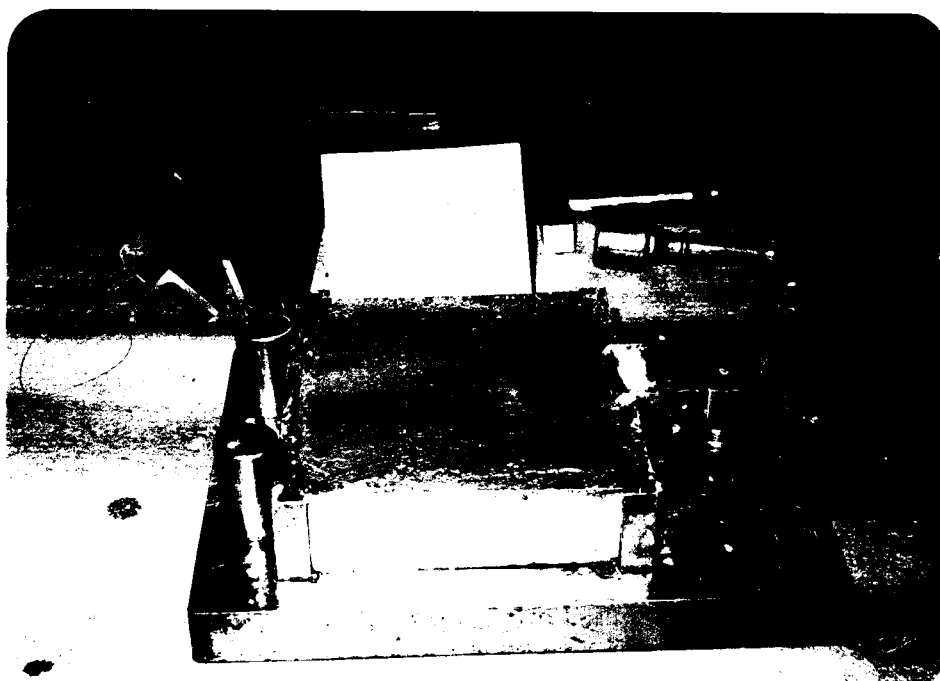
A. 3. 4 RETRAÇÃO MEDIDA EM CORPOS-DE-PROVA DE ARGAMASSA

Durante as moldagens dos modelos aproveitava-se para moldar 3 corpos-de-prova que possibilitaram o acompanhamento do progresso da retração em relação ao tempo nas peças de argamassa simples.

Esses corpos-de-prova eram prismáticos de seção quadrada de 40mm de lado e comprimento 160mm. Nas extremidades eram introduzidas, em aberturas nas fôrmas, pinos de contato de aço inoxidável com uma das extremidades terminada em semi-esfera.

A extremidade em semi-esfera ficava em contato com a base do aparelho de leitura e a plana em contato com o defletômetro de precisão de milésimo de milímetro.

As moldagens dos três corpos-de-prova (fotografia A3.1) eram feitas usando uma única fôrma dividida em três compartimentos. Lançavam-se as três camadas de argamassa que eram adensadas com soquete prismático, próprio para esse fim, com 20 golpes por camada. O processo de cura era idêntico ao do modelo respectivo e iniciavam-se as leituras no instante em que se desformava o respectivo modelo de viga.



FOTOGRAFIA A3.1 - Moldagem dos corpos-de-prova prismáticos

O processo para medida de retração em corpos-de-prova, foi baseado em Oliveira Junior & Ferreira [1988]⁵⁷, cujos experimentos foram efetuados no Laboratório de Materiais do Departamento de Arquitetura e Planejamento da EESC-USP.

Os resultados das leituras desses corpos-de-prova são mostrados a seguir para os corpos-de-prova dos modelos 2/1, 2/2, 2/3, 3/1 e 3/2.

