

ARGAMASSA ARMADA : ESTUDO EXPERIMENTAL DE
VIGAS SUBMETIDAS A FORÇA CORTANTE
VOL. 1

AUTOR : ENG. ERNANI MENDES NOBRE

ORIENTADOR : PROF. DR. JOSÉ SAMUEL GIONGO

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

ARGAMASSA ARMADA ; ESTUDO EXPERIMENTAL DE
VIGAS SUBMETIDAS À FORÇA CORTANTE
VOL. 1

ENG. ERNANI MENDES NOBRE
ORIENTADOR: PROF. DR. JOSÉ SAMUEL GIONGO

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

COMISSÃO JULGADORA:

Prof. Doutor JASSON RODRIGUES DE FIGUEIREDO (UFSCAR)
Prof. Titular JOÃO BENTO DE HANAI (USP-EESC)
Prof. Doutor JOSÉ SAMUEL GIONGO (USP-EESC)

SUPLENTES:

Prof. Assoc. MOUNIR KHALIL EL DEBS (USP-EESC)
Prof. Doutor LAERCIO FERREIRA E SILVA (USP-EESC)

SÃO CARLOS, JUNHO 1992

"Se o senhor não edificar a casa,
em vão trabalham os que a edificam".

Salmo 127.1

A minha esposa Goretti.
Aos meus filhos: Régis, Livia e Mariana.
Aos meus pais Heitor e Neide (in memoriam).

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. José Samuel Giongo pela excelente e dedicada orientação.

Ao Prof. Toshiaki Takeya pelo apoio e orientação no Laboratório de Estruturas; ao Prof. Dr. Norberto Costardi pelas sugestões e apoio na área de Informática; aos Professores João B. de Hanai, Libânio M. Pinheiro, F. A. Rocco Lahr, Carlito Calil Junior, Jefferson B. L. Libório, Laércio F. e Silva e Dirceu Spinelli da EESC-USP, pela colaboração durante pesquisa experimental.

Ao amigo Dr. Luiz Alberto de M. Carvalho pelo incentivo e apoio antes e durante o andamento da pesquisa; ao Prof. F. de Assis M. Góes pelo acompanhamento e controle do curso por parte da UNIFOR; aos Eng. J. Ribamar Silva Filho, Eng. José Ramalho Torres e Eng. J. Ricardo B. de Moura pela paciente ajuda como procuradores; ao Adm. Marcos Aurélio M. Silva e à Adm. Fernanda Peixoto do NUTEC, pelo cansativo trabalho de apoio da Unidade de Treinamento.

Ao Prof. Reginaldo C. da Silva e todos os colegas de pós-graduação que contribuíram durante a pesquisa; à Bel. Maria Nadir Minatel pelas correções e sugestões bibliográficas e à Sra. Sylvia H. M. Villane pelos desenhos precisos; a todos da secretaria do SET pela colaboração, em especial ao Sr. Rui R. Casale e a Sra. Rosi A. J. Rodrigues pela paciência e boa vontade; ao pessoal do Laboratório de Estruturas: Jorge L. R. Brabo, Valdir C. de Lucca, Amauri I. da Silva, Mauri S. D. Guillen, Mário Botelho e Lineu L. Filho pela boa vontade durante os ensaios, assim como, ao Sr. Nivaldo Libardi do Laboratório de Materiais; aos demais professores e funcionários do Departamento de Estruturas da EESC/USP.

A Escola de Engenharia de São Carlos-USP pela acolhida e apoio administrativo; ao NUTEC e à UNIFOR que tornaram possível a realização deste mestrado; à CAPES e à FAPESP pelas bolsas de estudos e financiamento da pesquisa, respectivamente.

RESUMO

O presente trabalho se propõe a investigar o comportamento de vigas de argamassa armada submetidas a solicitações tangenciais oriundas da força cortante na flexão, com o objetivo de se fazer sugestões para projeto de vigas de argamassa armada, além de indicações para possíveis revisões na norma brasileira. A análise foi feita através da comparação de cálculos teóricos, com ensaios de laboratório.

Foram estudados critérios de dimensionamento e de verificação para diversos estágios de carregamento, bem como, para os estados limites de utilização (fissuração e deslocamentos).

Os ensaios foram realizados em modelos com 3000 mm de comprimento de face a face e seções transversais em duplo "T". As armaduras transversais na alma foram compostas de duas ou três telas soldadas EL-126, ou ainda, estribos complementares trabalhando em conjunto com as referidas telas. Na composição da argamassa, usou-se além de areia e cimento, pedra britada com dimensão máxima de 4,8 mm, bem como, fator água-cimento de 0,55. Utilizou-se o esquema estrutural de viga biapoiada submetida a duas forças concentradas equidistantes dos apoios.

Os resultados da análise teórica e dos ensaios de laboratório, foram comparados com as prescrições das normas brasileiras NBR 11.173/89 e NBR 6.118/80, bem como, das recomendações estrangeiras ACI 549.1R-88, 366/77 e CEB/90. Dessa análise foram sugeridos valores para alguns parâmetros normalmente utilizados, tais como: relação braço de alavanca (z) / altura útil (d), valor reduzido da tensão de cisalhamento (τ_c) e resistência de cálculo da armadura transversal (f_{ywd}), entre outros.

ABSTRACT

The work reported on here has, as its primary object, a study of the transversal shear strength and behavior of ferrocement beams, with suggestions for their design, and also possible revisions in the Brazilian Code for Design and Construction of Ferrocement. The analyses were undertaken by comparing theoretical calculations with experimental test results.

Design and test criterions for several loading stages and for serviceability limit states (cracking and deformation) were ascertained.

The tests were conducted using specimens 3000 mm long with double "T" cross section. Two or three welded wire meshes EL-126 were used as web reinforcement together with complementary steel wire stirrups. The mortar composition used was regular sand, cement and crushed stone, with maximum size of 4.8 mm, using 0.55 as water-cement ratio. All specimens were tested as simply supported beams under two symmetrical concentrated loads.

Theoretical calculations and experimental test results were compared with those indicated by Brazilian Codes (NBR 11.173/89 and NBR 6.118/80) and International Recommendations (ACI 549.R-88, SN 366/77 and CEB/90). Some parametric values were suggested from these analyses, such as: effective height (d) / lever arm (z) ratio, shear stress reduced value (τ_c) and shear design value steel strength (f_{ywd}), among others.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO

| | |
|--|------|
| 1.1 OBJETIVOS | 1- 1 |
| 1.2 HISTÓRICO | 1- 2 |
| 1.3 CONCEITUAÇÃO E CARACTERÍSTICAS | 1- 5 |
| 1.4 METODOLOGIA | 1- 6 |

2. DIMENSIONAMENTO E VERIFICAÇÃO

| | |
|--|------|
| 2.1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS | 2- 1 |
| 2.1.1 Considerações Gerais | 2- 1 |
| 2.1.2 Esforços e Tensões em Almas de Vigas | 2- 2 |
| 2.1.2.1 Cisalhamento em Regime Elástico (Estádio I) | 2- 2 |
| 2.1.2.2 Analogia da Treliça de Banzos Paralelos (Estádio II) | 2-11 |
| 2.1.2.3 Analogia da Treliça Clássica de Mörsch | 2-20 |
| 2.1.2.4 Treliça Generalizada | 2-22 |
| 2.1.2.5 Determinação do Braço de Alavanca z do Binário das Forças nos Banzos Horizontais | 2-26 |
| 2.1.2.6 Ruptura por Força Cortante (Estado Limite Último) | 2-28 |
| 2.1.2.7 Determinação da Inclinação das Bielas de Compressão | 2-32 |
| 2.1.2.8 Analogia da Treliça em Peças de Argamassa Armada | 2-33 |
| 2.1.3 Esforços Alma-mesa | 2-35 |
| 2.1.3.1 Ligação com Banzo Comprimido | 2-36 |
| 2.1.3.2 Ligação com Banzo Tracionado | 2-39 |

| | |
|--|------|
| 2.2 CRITÉRIOS DAS NORMAS NACIONAIS E ESTRANGEIRAS .. | 2-41 |
| 2.2.1 Critérios da NBR-11.173/89 - ABNT | 2-41 |
| 2.2.1.1 Considerações Iniciais | 2-41 |
| 2.2.1.2 Determinação da Armadura de Cisalhamento (A_{sw}) e da Força Cortante Resistente de Cálculo (V_d) | 2-41 |
| 2.2.1.3 Cálculo do Braço de Alavanca do Binário das Forças nos Banzos Horizontais | 2-45 |
| 2.2.1.4 Cálculo das Tensões Normais de Tração nos Estribos (σ_{tt}) e nas Bielas de Compressão ($\sigma_{c,45}$) | 2-52 |
| 2.2.1.5 Efeito de Arco | 2-53 |
| 2.2.1.6 Armadura Mínima Transversal | 2-54 |
| 2.2.2 Critérios do ACI | 2-55 |
| 2.2.3 Critérios da SN 366-77 | 2-57 |
| 2.2.3.1 Considerações Iniciais | 2-57 |
| 2.2.3.2 Determinação de V_d | 2-57 |
| 2.2.4 Critérios do CEB-90 | 2-61 |
| 2.2.4.1 Considerações Iniciais | 2-61 |
| 2.2.4.2 Condições para Aplicação dos Modelos | 2-61 |
| 2.2.4.3 Vigas de Concreto Armado com Banzos Paralelos | 2-63 |
| 2.2.4.4 Formação de Leque | 2-67 |
| 2.2.4.5 Procedimento para Verificação | 2-68 |
| 2.2.4.6 Estribos e Dimensões Mínimas (Prescrições) | 2-72 |
| 2.2.4.7 Cisalhamento Longitudinal em Seções T | 2-72 |

3. CAPACIDADE DE UTILIZAÇÃO

| | |
|--|------|
| 3.1 ESTADO DE FISSURAÇÃO DEVIDO À FORÇA CORTANTE ... | 3- 1 |
| 3.1.1 Considerações Iniciais | 3- 1 |
| 3.1.2 Verificação do Estado Limite de Formação de Fissuras Inclinadas | 3- 2 |
| 3.1.3 Verificação do Estado de Fissuração Inaceitável | 3- 5 |
| 3.1.3.1 Formação Sistemática de Fissuras . | 3- 5 |
| 3.1.3.2 Formação Assistemática de Fissuras | 3- 8 |
| 3.1.4 Fissuras Inclinadas ao Eixo Longitudinal da Viga | 3-10 |
| 3.1.5 Estado de Fissuração Segundo as Normas Nacionais e Estrangeiras | 3-13 |
| 3.1.5.1 Fissuração Segundo a NBR 11.173/89 | 3-13 |
| 3.1.5.2 Fissuração Segundo o ACI 549.1 R-88 | 3-16 |
| 3.1.5.3 Fissuração Segundo a SN 366-77 ... | 3-17 |
| 3.1.5.4 Fissuração Segundo o CEB-90 | 3-21 |
| 3.2 DESLOCAMENTOS DEVIDO À FORÇA CORTANTE | 3-28 |
| 3.2.1 Considerações Iniciais | 3-28 |
| 3.2.2 Deslocamentos por Cisalhamento no Estádio I | 3-28 |
| 3.2.3 Deslocamentos por Cisalhamento no Estádio II | 3-31 |
| 3.2.3.1 Treliça de Banzos Paralelos | 3-31 |
| 3.2.3.2 Analogia da Treliça Generalizada . | 3-34 |
| 3.2.4 Aplicação aos Modelos Ensaçados | 3-35 |

| | |
|--|------|
| 3.2.5 Deslocamentos Segundo as Normas Nacionais e Estrangeiras | 3-36 |
| 3.2.5.1 Deslocamentos Segundo a ABNT | 3-36 |
| 3.2.5.2 Deslocamentos Segundo o ACI 549.1 R-88 | 3-38 |
| 3.2.5.3 Deslocamentos Segundo a SN 366-77 | 3-39 |
| 3.2.5.4 Deslocamentos Segundo o CEB-90 ... | 3-39 |

4. DESCRIÇÃO DOS MODELOS E DOS ENSAIOS

| | |
|--|------|
| 4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS | 4- 1 |
| 4.2 OS MODELOS UTILIZADOS | 4- 6 |
| 4.2.1 Modelos da Série 1 | 4- 6 |
| 4.2.1.1 Modelo 1/1 | 4-10 |
| 4.2.1.2 Modelo 1/2 | 4-11 |
| 4.2.1.3 Modelo 1/3 | 4-12 |
| 4.2.2 Modelos da Série 2 | 4-13 |
| 4.2.2.1 Modelo 2/1 | 4-15 |
| 4.2.2.2 Modelo 2/2 | 4-16 |
| 4.2.2.3 Modelo 2/3 | 4-17 |
| 4.2.3 Modelos da Série 3 | 4-18 |
| 4.2.3.1 Modelo 3/1 | 4-21 |
| 4.2.3.2 Modelo 3/2 | 4-22 |
| 4.2.3.3 Modelo 3/3 | 4-23 |
| 4.3 FÔRMAS | 4-26 |
| 4.4 PREPARAÇÃO DA ARMAÇÃO, MOLDAGEM, DESFORMA E CURA | 4-36 |
| 4.5 DISPOSITIVOS E PROCEDIMENTOS DE ENSAIOS | 4-41 |
| 4.6 MATERIAIS | 4-53 |
| 4.6.1 Argamassa | 4-53 |
| 4.6.2 Armaduras | 4-59 |

5. RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS

| | | |
|---------|--|------|
| 5.1 | DESCRIÇÃO DOS RESULTADOS | 5- 1 |
| 5.1.1 | Deslocamentos Verticais | 5- 1 |
| 5.1.2 | Deformações na Seção 1 | 5- 2 |
| 5.1.2.1 | Deformações com Extensômetros Elétricos | 5- 2 |
| 5.1.2.2 | Deformações com Rosetas | 5- 2 |
| 5.1.2.3 | Deformações com Extensômetros Mecânicos | 5- 4 |
| 5.1.3 | Deformações na Seção 2 | 5- 4 |
| 5.1.4 | Deformações na Seção 3 | 5- 4 |
| 5.1.4.1 | Deformações com Extensômetros Elétricos | 5- 4 |
| 5.1.4.2 | Deformações com Extensômetros Mecânicos | 5- 5 |
| 5.1.5 | Resistências dos Corpos-de-Prova | 5- 5 |
| 5.1.6 | Fissuração | 5- 7 |
| 5.2 | RESUMO DOS ENSAIOS | 5- 7 |

6. ANÁLISE DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS

| | | |
|-------|---|------|
| 6.1 | CONSIDERAÇÕES INICIAIS | 6- 1 |
| 6.2 | ANÁLISE DOS ESFORÇOS SOLICITANTES E RESISTENTES | 6- 3 |
| 6.2.1 | Esforços Resistentes (Estado Limite Último) | 6- 3 |
| 6.2.2 | Comparação dos Valores dos Esforços Resistentes entre Normas | 6- 7 |
| 6.2.3 | Tensões no Estádio I | 6- 9 |
| 6.2.4 | Tensões na Armadura Transversal (Estádio II) | 6-12 |

| | | |
|-------|---|------|
| 6.2.5 | Tensões na Biela Comprimida | 6-22 |
| 6.2.6 | Cisalhamento Longitudinal entre Mesa e Alma | 6-35 |
| 6.2.7 | Efeito de Arco | 6-40 |
| 6.3 | ESTADOS LIMITES DE UTILIZAÇÃO | 6-42 |
| 6.3.1 | Estado Limite de Formação de Fissuras (Força Cortante de Fissuração - V_r) | 6-42 |
| 6.3.2 | Estado Limite de Abertura de Fissuras | 6-45 |
| 6.3.3 | Estado Limite de Deformações Excessivas .. | 6-66 |

7. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

| | | |
|---------|---|------|
| 7.1 | CONSIDERAÇÕES INICIAIS | 7- 1 |
| 7.2 | RESUMO DAS CONCLUSÕES | 7- 2 |
| 7.2.1 | Esforços Solicitantes e Tensões | 7- 2 |
| 7.2.1.1 | Esforço Cortante Resistente (V_u) . | 7- 2 |
| 7.2.1.2 | Tensões de Cisalhamento no Estádio I (τ_0) | 7- 2 |
| 7.2.1.3 | Tensões na Armadura Transversal (σ_{tt}) | 7- 3 |
| 7.2.1.4 | Tensões na Biela Comprimida ($\sigma_{c\theta}$) | 7- 3 |
| 7.2.1.5 | Efeito de Arco | 7- 4 |
| 7.2.2 | Estados Limites de Utilização | 7- 4 |
| 7.2.2.1 | Força Cortante de Fissuração (V_r) | 7- 4 |
| 7.2.2.2 | Fissuras de Cisalhamento (w_w) | 7- 5 |
| 7.2.2.3 | Deslocamentos Verticais no Meio do Vão (v) | 7- 6 |
| 7.3 | SUGESTÕES | 7- 7 |
| 7.3.1 | Apresentação | 7- 7 |
| 7.3.2 | Tensão na Armadura Transversal (σ_{tt}) | 7- 7 |
| 7.3.3 | Braço de Alavanca de Referência (z) | 7- 7 |
| 7.3.4 | Tensão Convencional de Cisalhamento (τ_w) . | 7- 9 |

| | | |
|----------|---|------|
| 7.3.5 | Valor Reduzido da Tensão de Cisalhamento (τ_d) | 7-11 |
| 7.3.6 | Cisalhamento Longitudinal Mesa-Alma | 7-14 |
| 7.3.7 | Efeito de Arco | 7-14 |
| 7.3.8 | Estado de Formação de Fissuras | 7-14 |
| 7.3.9 | Estado Limite de Abertura de Fissuras | 7-15 |
| 7.3.9.1 | Limitação da Resistência de Cálculo da Armadura Transversal (f_{ywd}) | 7-15 |
| 7.3.9.2 | Inclinações das Fissuras (θ) | 7-16 |
| 7.3.10 | Estado Limite de Deformações Excessivas . | 7-20 |
| 7.3.11 | Resumo dos Parâmetros Obtidos nas Sugestões | 7-20 |
| 7.3.12 | Exemplo de Aplicação dos Parâmetros Sugeridos | 7-21 |
| 7.3.12.1 | Dimensionamento (Projeto) | 7-21 |
| 7.3.12.2 | Verificação da Força Cortante Resistente | 7-22 |
| 7.3.12.3 | Fissuração (Modelo 1/1 - $k_\theta = 1$) | 7-23 |
| 7.3.12.4 | Comentários | 7-24 |
| 7.4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 7-25 |

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

ANEXOS

| | |
|---------------------------------------|--------|
| ANEXO N ^o 1 | A1 - 1 |
| A1. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS | A1 - 2 |
| A1.1 MODELO 1/1 | A1 - 3 |
| A1.2 MODELO 1/2 | A1- 19 |

| | | | |
|-------|-------------|-------|--------|
| A1.3 | MODELO 1/3 | ..... | A1- 35 |
| A1.4 | MODELO 1B/1 | ..... | A1- 51 |
| A1.5 | MODELO 1B/2 | ..... | A1- 64 |
| A1.6 | MODELO 1B/3 | ..... | A1- 77 |
| A1.7 | MODELO 2/1 | ..... | A1- 89 |
| A1.8 | MODELO 2/2 | ..... | A1-106 |
| A1.9 | MODELO 2/3 | ..... | A1-123 |
| A1.10 | MODELO 3/1 | ..... | A1-140 |
| A1.11 | MODELO 3/2 | ..... | A1-156 |
| A1.12 | MODELO 3/3 | ..... | A1-172 |

ANEXO Nº 2 A2 - 1

| | | | |
|------|--|-------|--------|
| A2. | PROGRAMA DE MICRO-COMPUTADOR PARA VERIFICAÇÃO DE DE PEÇAS DE ARGAMASSA ARMADA SUBMETIDAS AOS EFEITOS DO MOMENTO FLETOR E DA FORÇA CORTANTE (AECALC) | ..... | A2 - 2 |
| A2.1 | Entrada de Dados das Resistências dos Materiais | ..... | A2 - 3 |
| A2.2 | Cálculos no Estádio Ib | ..... | A2 - 3 |
| A2.3 | Cálculos no Estado Limite Último | ..... | A2 - 3 |
| A2.4 | Cálculos no Estádio II | ..... | A2 - 4 |
| | A2.4.1 Tensão na Diagonal Tractionada (σ_{tt}) | ..... | A2 - 4 |
| | A2.4.2 Ângulo de Inclinação da Biela (θ) | .... | A2 - 4 |
| | A2.4.3 Tensão na Biela Comprimida ($\sigma_{c\theta}$) | .... | A2 - 5 |
| A2.5 | Estados Limites de Utilização | ..... | A2 - 5 |
| | A2.5.1 Estado de Fissuração Inaceitável | .... | A2 - 5 |
| | A2.5.2 Estado de Deformação Excessiva | ..... | A2 - 7 |
| A2.6 | Observações sobre o Programa AECALC | ..... | A2 - 7 |
| A2.7 | Exemplo de Impressão de Dados e Resultados (Modelo 1/3) | ..... | A2 - 7 |

1. INTRODUÇÃO

1.1 OBJETIVOS

Dando continuidade aos estudos e pesquisas que vêm sendo realizados pela Escola de Engenharia de São Carlos - EESC/USP em peças de argamassa armada, este trabalho se propõe a analisar através de comparação com cálculos teóricos e ensaios de laboratório, os efeitos das solicitações tangenciais devidas à força cortante na flexão, em vigas de argamassa armada com seção transversal em duplo T, tanto no que se refere ao dimensionamento e verificação para diversos estágios do carregamento, como no que se refere aos estados limites de utilização (fissuração e deslocamentos).

Os resultados da análise teórica e dos ensaios de laboratório, são comparados entre si, bem como, com expressões e valores obtidos das prescrições das normas brasileiras da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (NBR 11.173¹ e NBR 6.118²) e com as normas

estrangeiras, tais como, as do "American Concrete Institute" ACI 549³, Comitê Federal do Conselho de Ministros para Assuntos de Estruturas (norma russa) SN/366⁴ e Comitê Euro-International du Beton - CEB/90⁵.

A partir dessas comparações, são obtidas conclusões e feitas sugestões para projetos de vigas de argamassa armada, bem como, indicações para possíveis revisões na norma brasileira NBR 11.173 [1989]¹.

Especificamente, esta pesquisa vem dar sequência ao trabalho iniciado por GIONGO [1990]⁶, no qual foram estudadas e ensaiadas vigas de argamassa armada. Alí, foi dada maior ênfase às solicitações normais com sugestões para futuras pesquisas no que se refere às solicitações tangenciais devidas ao esforço cortante, o que é feito no presente trabalho.

1.2 HISTÓRICO

Em 1848, na França, o engenheiro Jean Louis Lambot reconhecido como um dos pais do concreto armado (1814-1887), desenvolveu um material, o qual era 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", o qual denominou de "fercement", conforme descrito em HANAI [1981]⁷. Inicialmente, Lambot utilizou o novo material para construção de reservatórios de água, vasos para plantas e pequenos barcos.

Somente após passados noventa e cinco anos, em 1943 na Itália, Pier Luigi Nervi^{8,9,10,11} contribuiu decisivamente para a evolução da argamassa armada, chamando-a de "ferro-cimento", na qual realizou várias experiências, com telas de arame de aço doce e várias obras de construção civil de vulto.

No Brasil, em 1960, Dante A. O. Martinelli e Frederico Schiel¹², na Escola de Engenharia de São Carlos -USP, desenvolveram projetos de coberturas para o "Campus", utilizando telas de fios de aço entrelaçados.

Outros países, também fizeram estudos mais intensivos, como na União Soviética a partir de 1957, destacando-se KAIDUKOV [1968]¹³ e MIRONKOV [1980]¹⁴, citados em HANAI [1981]⁷. Na Checoslováquia, a argamassa armada se desenvolveu a partir de 1958, como menciona SMOLA [1981]¹⁵ e na Polônia com WALKUS [1980]¹⁶, ambos citados em HANAI [1981]⁷.

Ásia, Índia, China e países do Sudeste Asiático também utilizaram a argamassa armada nas décadas de 70 e 80, destacando-se inúmeras construções, como: silos, reservatórios, campânulas, fossas, habitações, coberturas e barcos, como pode ser constatado em HANAI [1981]⁷.

A partir de MARTINELLI & SCHIEL¹², foram realizadas outras pesquisas sobre argamassa armada como as de Petroni com lajes em 1971¹⁷ e vigas em 1974¹⁸, além de Machado Junior em 1980¹⁹ com piscinas e reservatórios.

Em 1981, HANAI, reuniu várias publicações existentes até a época, resumindo uma série de informações sobre argamassa armada, que até hoje servem como ponto de partida para pesquisadores.

Também são evidenciadas obras do arquiteto João Filgueiras Lima²⁰, em Salvador-BA, com a industrialização de elementos pré-fabricados de argamassa armada.

Por outro lado, em Fortaleza-CE, destacou-se o Projeto Ferrocimento da Universidade Federal do Ceará - UFC coordenado pelo Prof. Alexandre Diógenes, de 1982 a 1988, com o apoio da NUTEC - Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial e da ASTEF - Associação Técnico-Científica Eng^o. Paulo de Frontin, o qual procurou dar ênfase ao ferrocimento artesanal, considerado o mais adequado à região. Deste projeto, destacaram-se inúmeras obras no estado do Ceará, promoção de cursos por todo o Brasil e a publicação periódica do boletim trimestral do Projeto Ferrocimento²¹. Foi também, formada a comissão CE-02:06.16 do Comitê

Brasileiro da Construção Civil (COBRACON-CB2) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), com a finalidade de normalizar o projeto, execução e manutenção de estruturas de ferrocimento.

Trabalhos mais recentes foram realizados pelo chamado Grupo de São Carlos, tais como: El Debs²² em 1986, sobre galerias enterradas apoiadas em elementos pré-moldados de argamassa armada; tese de livre docência, desenvolvida por Hanai²³ em 1987; Migliore Junior²⁴ em 1987 escreveu sobre estruturas de contenção com elementos pré-moldados; Ballarin²⁵ em 1989 analisou as propriedades mecânicas da argamassa armada com telas soldadas; Agnesini em 1988²⁶ estudou argamassas hidráulicas para argamassa armada e em 1989²⁷ trabalhou com o tema pontilhões rodoviários; Libório²⁸ em 1990 realizou estudo patológico de construções de argamassa armada. Giongo⁶ em 1990 concluiu o trabalho que serviu de base para esta pesquisa como já mencionado no item 1.1, sobre dimensionamento e verificação de vigas de argamassa armada.

Ainda posteriormente, Lima²⁹ em 1990 fez experimentos com telas de chapa de aço, Furlan Junior³⁰ em 1991 com argamassa armada protendida, Machado Junior³¹ em 1991, com casas populares pré-moldadas em argamassa armada e finalmente Marcelino³² em 1991 com a pesquisa sobre projetos e componentes de argamassa para edificações.

No período de 1986 a 1989, 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) que culminou com a publicação em 1991, da norma brasileira "Projeto e Execução de Argamassa Armada" NBR-11.173 [1989]¹.

1.3 CONCEITUAÇÃO E CARACTERÍSTICAS

As peças de argamassa armada, de acordo com a NBR-11.173¹, são definidas como aquelas de pequena espessura, compostas de argamassa de cimento Portland, agregado miúdo e água, sendo a armadura composta de telas de aço com malhas de abertura limitada, distribuídas em toda a seção transversal.

O panorama internacional é o de se tratar a argamassa armada, denominada "ferrocimento", como material homogêneo, constituído por uma matriz de argamassa com altas taxas de armadura de telas, com a eventual colocação de fios e barras complementares.

No âmbito nacional a norma já citada indica que a argamassa armada pode ser vista como um tipo particular de concreto armado. O processo de industrialização, que se sentiu desde as primeiras aplicações no país, muito contribuiu para o desenvolvimento da argamassa armada em peças pré-fabricadas.

A norma NBR 11.173¹ prevê para o cálculo de peças submetidas a solicitações normais e a solicitações tangenciais, as mesmas hipóteses utilizadas para o concreto armado, indicadas na NBR 6.118², adotando prescrições adicionais inerentes ao material.

A NBR 11.173¹ prescreve que os elementos de argamassa armada, devem seguir as seguintes indicações:

- espessura (t): $12 \text{ mm} \leq t \leq 40 \text{ mm}$;
- massa específica: 24 kg/m^3 ;
- diâmetro das barras complementares não maior que $1/4$ da espessura da peça ou 8 mm ;
- armadura mínima da seção transversal:
 - . uma tela, para espessura menor que 20 mm ;
 - . duas telas, para espessura maior que 20 mm ;

- . taxa de armadura das telas igual a 0,30% em cada direção analisada;
- cobrimentos mínimos:
 - . 4 mm para peças em ambientes protegidos;
 - . 6 mm para peças em ambientes não protegidos;
- espaçamento mínimo dos fios complementares:
 - . três vezes o diâmetro das barras desses fios, não menor que 10 mm;
- dimensão máxima do agregado miúdo:
 - . $\leq 1/4$ da menor espessura da peça;
 - . $\leq 1/2$ da menor abertura das telas;
 - . $< 4,8$ mm;
- resistência característica à compressão da argamassa não inferior a 25 MPa;
- relação máxima água/cimento = 0,45;
- relação mínima cimento/agregado = 1 : 2;
- diâmetro dos fios das telas de fios de aço (ϕ)
 $0,56 \text{ mm} \leq \phi \leq 3,00 \text{ mm}$;
- maior dimensão das malhas das telas soldadas igual a 50 mm;
- abertura máxima das fissuras:
 - . 0,10 mm em ambientes não protegidos;
 - . 0,15 mm em ambientes protegidos.

1.4 METODOLOGIA

A pesquisa se dividiu basicamente em três partes fundamentais: primeiramente, fez-se uma revisão teórica, em seguida, entrou-se na fase experimental propriamente dita, para posteriormente serem feitas comparações dos resultados dos cálculos teóricos com aqueles obtidos experimentalmente. No final do trabalho, são apresentadas conclusões sobre os

resultados obtidos, dando-se sugestões para projetos de vigas de argamassa armada com indicações para futuras revisões na norma brasileira NBR- 11.173¹.

No capítulo 2, faz-se um estudo teórico sobre a verificação da resistência de seções transversais de concreto armado, estendido à argamassa armada, nos Estados I, II e Estado Limite Último. Estes conceitos são então comparados com as prescrições das normas nacionais e estrangeiras sobre argamassa armada citadas no item 1.1 deste trabalho.

O capítulo 3 abrange o estudo teórico dos Estados Limites de Utilização. Inicialmente, aborda-se a teoria sobre fissuração de vigas, com referências sobre as mesmas normas já citadas no item 1.1. A segunda parte do capítulo é dedicada ao Estado de Deformação Excessiva (deslocamentos verticais), também fazendo-se comparações com as normas anteriormente mencionadas.

No capítulo 4, são descritos em detalhes os modelos que foram ensaiados no Laboratório de Estruturas - LE da EESC/USP, assim como, toda a instrumentação utilizada nos mesmos. No final do capítulo, descreve-se o material utilizado na confecção dos referidos modelos, com suas propriedades obtidas em ensaios realizados nos laboratórios da EESC/USP, tais como: Laboratório de Estruturas -LE e Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira - LAMEM do Departamento de Estruturas, Laboratório de Construção Civil do Departamento de Arquitetura e Planejamento e finalmente Laboratório de Propriedades Mecânicas do Departamento de Materiais.

O capítulo 5, é dedicado à apresentação dos resultados obtidos nos ensaios de cada modelo, realizados no LE. Estes resultados são apresentados em forma de tabelas e gráficos no Anexo nº 1.

O capítulo 6 apresenta uma análise detalhada dos resultados numéricos dos cálculos teóricos, com base no que foi estudado nos capítulos 1 e 2, comparados com aqueles obtidos experimentalmente no LE. Estes resultados calculados com as expressões indicadas nas normas nacionais e

estrangeiras, são comparados entre si de forma a se procurar aqueles que mais se aproximam dos obtidos experimentalmente.

No capítulo 7, são apresentadas as conclusões obtidas através da análise feita no capítulo 6. Alí também são feitas sugestões para projetos de vigas de argamassa armada e para possíveis revisões futuras da norma brasileira NBR 11.173 [1989]¹.

No final do trabalho, são apresentadas as referências bibliográficas citadas no texto, bem como, a bibliografia complementar, que poderão ser utilizadas para consulta do leitor, de modo a suprir as dúvidas, que por ventura possam aparecer.

Nesta pesquisa, são estudadas com mais ênfase, as vigas biapoiadas com seção transversal em duplo T, 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, vigas de seção transversal em duplo T, como o de GIONGO [1990]⁶ e que mostraram a viabilidade de se continuar na mesma linha de pesquisa. Procurou-se analisar vigas com forças concentradas verticais equidistantes dos apoios por serem esquemas estruturais tradicionais quando se quer observar o comportamento da força cortante na presença do momento fletor, como ilustrado na figura 1.1

Foi utilizado para os cálculos teóricos, o programa para micro-computador da linha IBM-PC intitulado AECALC, que é uma adaptação feita pelo autor no programa originalmente intitulado AACALC, de autoria de Marquês de Collo (1987), Nader (1987) e GIL [1990]³³ sob orientação de Hanai J. B. e GIONGO [1990]⁶. O programa calcula os esforços resistentes para uma viga de seção transversal em duplo T, bem como, verifica os estados limites de utilização. Os resultados experimentais obtidos foram comparados com os teóricos calculados com o auxílio do programa citado. As implementações feitas pelo autor dizem respeito aos cálculos dos parâmetros de cisalhamento estudados nos capítulos 1 e 2

deste trabalho.

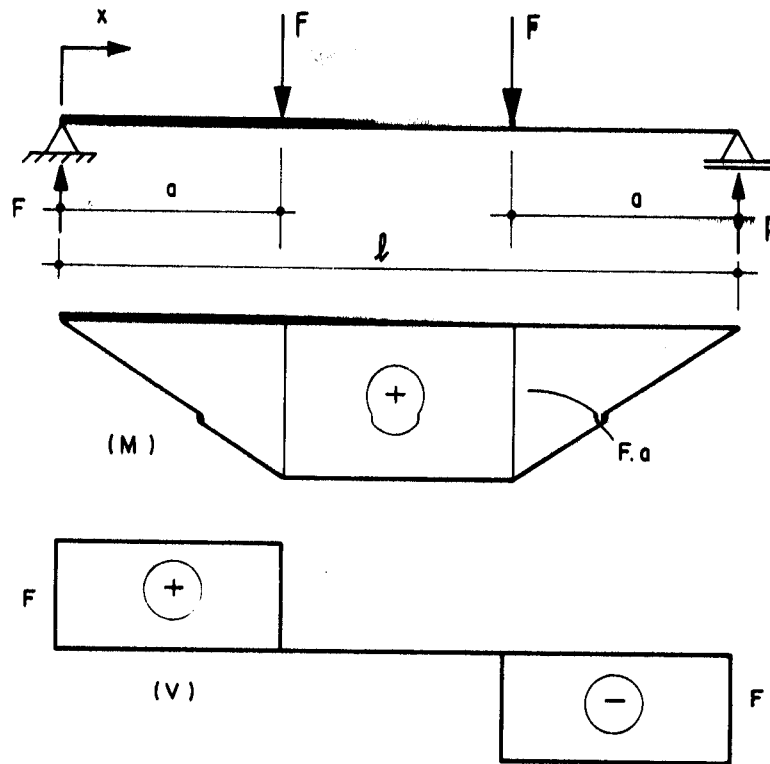
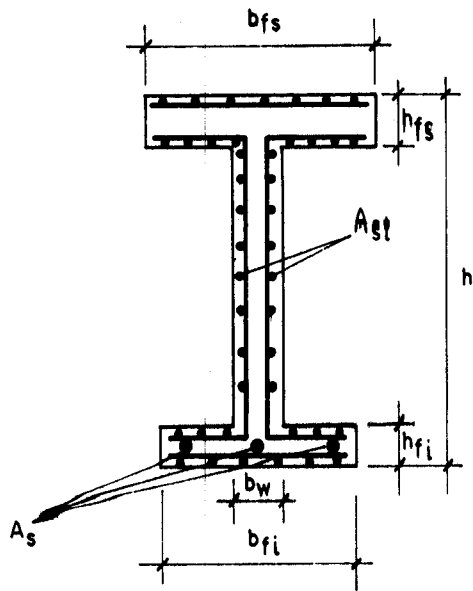


FIGURA 1.1 - ESQUEMA ESTRUTURAL, DIAGRAMA DE MOMENTOS FLETORES (M) E ESFORÇOS CORTANTES (V)

As seções transversais duplo T, foram constituídas por mesa de compressão, alma e mesa de tração, como ilustrado na figura 1.2, com armação composta por telas eletro-soldadas especificadas pela NBR 7481/82³⁴ e por fios ou barras de aço, como armadura complementar, especificadas pela NBR 7480/80³⁵.

A composição da argamassa, com a qual se moldaram os modelos, consistiu em areia de granulometria muito fina com diâmetro máximo de 2,4 mm e de pedra britada de diâmetro máximo igual a 4,8 mm, que é o prescrito para agregados miúdos de acordo com a NBR 7211³⁶ e conforme indicações da NBR 11.173¹. O aglomerante usado foi o Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (ARI), especificado pela NBR 5733³⁷



- b_{fs} : Largura da mesa comprimida
- h_{fs} : Espessura da mesa comprimida
- h_{fi} : Espessura da mesa tracionada
- b_{fi} : Largura da mesa tracionada
- b_w : Largura da alma
- h : Altura total da seção
- A_{st} : Área da seção transversal dos fios da tela
- A_s : Área da seção transversal dos fios complementares

FIGURA 1.2 - SEÇÃO TRANSVERSAL TÍPICA DOS MODELOS

2. DIMENSIONAMENTO E VERIFICAÇÃO

2.1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

São estudados neste capítulo, alguns fundamentos teóricos sobre a influência da força cortante no dimensionamento e verificação de vigas fletidas de concreto armado. Estes conceitos são então adaptados às vigas de argamassa armada, fazendo-se comparações com prescrições das normas nacionais e estrangeiras, já descritas no capítulo anterior.

Inicialmente são abordados os esforços e tensões em almas de vigas, abrangendo o regime elástico (Estádio I). Em seguida, são deduzidas expressões para os esforços internos e dimensionamento ao cisalhamento no Estádio II utilizando os conceitos da treliça clássica de Mörsch e da

treliça de banzos paralelos. A seguir, são feitas considerações sobre o Estado Limite Último, com análises dos tipos de ruptura por força cortante e suas influências sobre as vigas de argamassa armada e sobre as expressões anteriormente deduzidas.

Concluindo, são estudados os esforços de ligação das almas com as mesas comprimidas e tracionadas em vigas de seção transversal duplo T fletidas, bem como, são deduzidas expressões para o dimensionamento e verificação destas referidas seções transversais.

2.1.2 ESFORÇOS E TENSÕES EM ALMAS DE VIGAS

2.1.2.1 Cisalhamento em Regime Elástico (Estádio I)

Esta situação só ocorre em vigas pouco carregadas, já que as primeiras fissuras aparecem tão logo a resistência à tração do concreto seja ultrapassada.

Nas regiões entre os apoios e os pontos de aplicação das forças, a viga está sendo solicitada tanto por momento fletor M como por força cortante V , conforme a figura 1.1.

De acordo com as hipóteses da Resistência dos Materiais, como pode ser visualizado em FUSCO [1981]³⁸ e LEONHARDT & MÖNNIG [1977]³⁹, aparecem na alma da viga, tensões normais devido à flexão (σ_x) causadas pelo momento fletor M e tensões de cisalhamento (τ_{xy}) causadas pela força cortante $V=dM/dx$.

Este estado duplo de tensões representa as componentes das tensões principais inclinadas em relação ao eixo longitudinal da barra, como pode ser visualizado na figura 2.1.

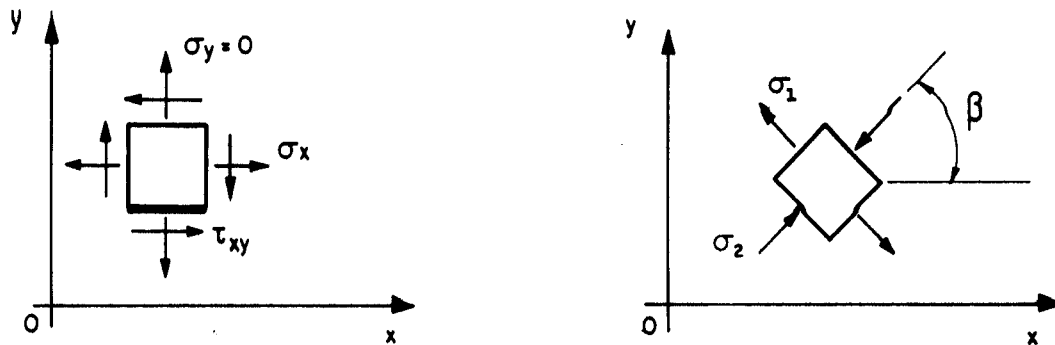


FIGURA 2.1 - ESTADO DUPLO DE TENSÕES

As tensões, de acordo com deduções usualmente encontradas nos compêndios de Resistência dos Materiais, considerando $\sigma_y \approx 0$, ficam expressas como a seguir se expõem:

$$\sigma_x = - \frac{M}{I_c} \cdot y$$

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = \tau = \frac{V \cdot S}{b_w \cdot I_c} y$$

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_x}{2} + \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\sigma_x^2 + 4 \cdot \tau^2} \quad (2.1)$$

$$\sigma_2 = \frac{\sigma_x}{2} - \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\sigma_x^2 + 4 \cdot \tau^2}$$

$$\tau_{\max} = \frac{1}{2} \cdot (\sigma_1 - \sigma_2)$$

$$\operatorname{tg} \beta = - \frac{\tau}{\sigma_2}$$

onde:

σ_x = tensão normal de flexão na direção do eixo da barra;

σ_y = tensão normal, que tem importância somente nos trechos de introdução das forças; pode em geral ser desprezada;

τ_{xy} = tensão de cisalhamento causada pela força cortante
 $V = dM/dx$;

S_y = momento estático em relação à linha neutra;

b_w = largura da peça;

I_c = momento de inércia da seção transversal de concreto;

y = ordenada de um ponto qualquer da seção em relação ao centro de gravidade;

σ_1 = tensão principal máxima;

σ_2 = tensão principal mínima;

τ_{max} = tensão de cisalhamento máxima;

β = ângulo de inclinação da tensão principal σ_2 , em relação eixo longitudinal da peça.

A tensão de cisalhamento τ varia parabolicamente ao longo da altura da viga, sendo inversamente proporcional à sua largura no ponto considerado, de acordo com a figura 2.2.

Ao longo da linha neutra, a tensão normal σ_x é igual a zero, podendo-se portanto das expressões 2.1, deduzir

$$\sigma_1 = \tau_0$$

$$\sigma_2 = -\tau_0$$

$$\text{tg } \beta = 1 \quad , \quad \text{donde se conclui } \beta = 45^\circ$$

De acordo com relações obtidas de bibliografias da Resistência dos Materiais, a tensão de cisalhamento na altura da linha neutra (centro de gravidade da seção) quando esta corta a alma, é obtida através da seguinte relação:

$$\tau_0 = \frac{V}{b_w \cdot z} \quad (2.2)$$

onde:

V = força cortante na seção;

z = braço de alavanca entre as resultantes das tensões normais de tração e compressão, igual a $2/3$ de h , de acordo com o diagrama triangular indicado na figura 2.2.

b_w = largura da viga na altura da linha neutra;

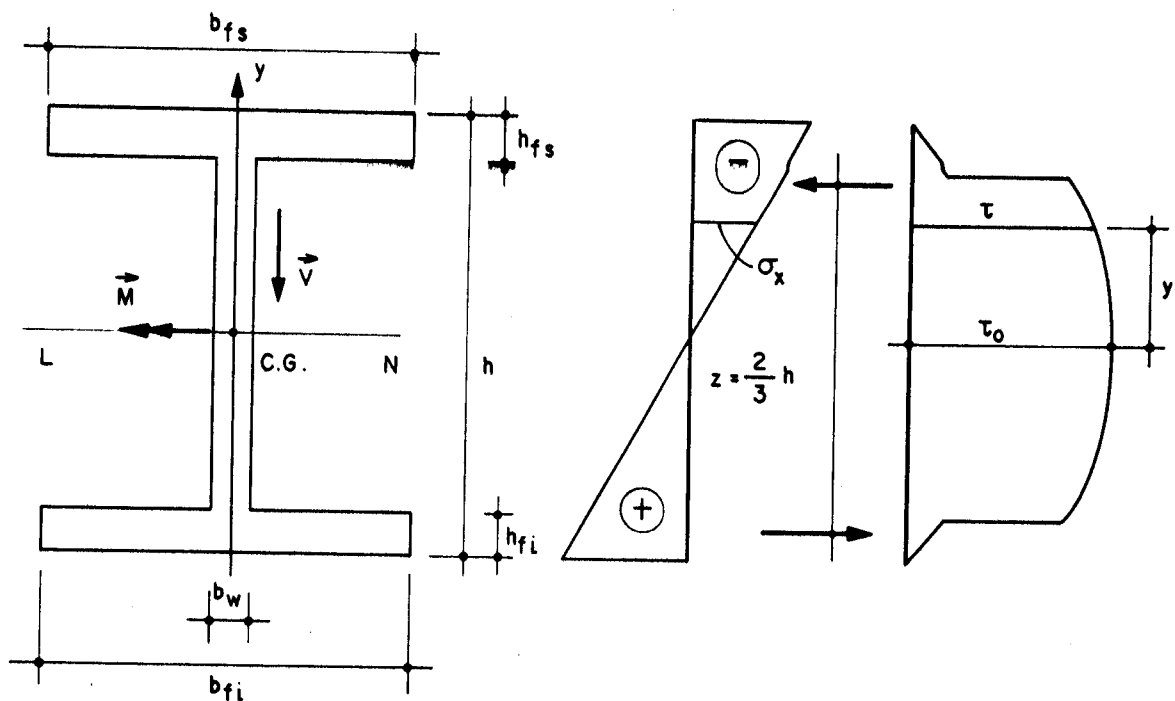


FIGURA 2.2 - DISTRIBUIÇÃO DAS TENSÕES σ_x e τ NA SEÇÃO TRANSVERSAL.

Substituindo o valor de z na expressão 2.2, obtem-se:

$$\tau_0 = \frac{3}{2} \frac{V}{b_w \cdot h} \quad (2.3)$$

A direção e o sentido das tensões de cisalhamento em seções delgadas, podem ser determinados de acordo com o procedimento a seguir:

As tensões de cisalhamento têm a direção da linha média do perfil como pode ser visto na figura 2.3. Devido à pequena espessura, τ é considerada constante ao longo da

espessura t .

A tensão de cisalhamento, de acordo com a resistência dos materiais, é medida segundo a seguinte expressão, conforme CAMPANARI [1985]⁴⁰:

$$\tau = \frac{V}{t}$$

sendo V , o esforço cortante corrente, ou seja, o esforço cortante por unidade de comprimento do percurso s ao longo do contorno médio do perfil, dado pela equação:

$$v = \frac{V}{I_c} \int_0^s y \cdot t \cdot ds \quad (2.4)$$

onde:

t = espessura do perfil no ponto considerado;

s = percurso de v ;

y = ordenada do contorno médio do perfil em relação à linha neutra.

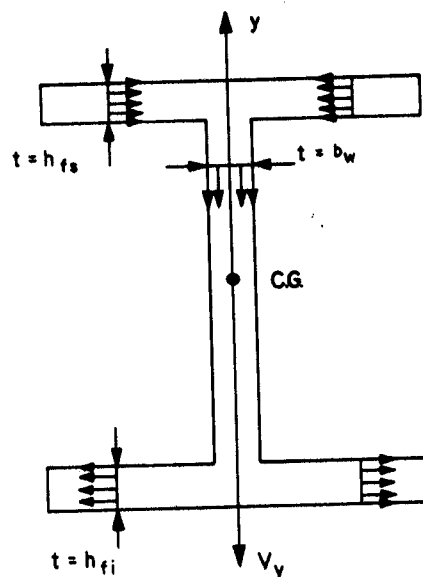


FIGURA 2.3 - DISTRIBUIÇÃO DAS TENSÕES τ .

Da figura 2.4, tem-se:

$$v_1 = \frac{V}{I_c} \int_0^{s_1} c_1 \cdot h_{fs} \cdot ds$$

onde:

c_1 = distância da linha neutra (centro de gravidade) ao contorno médio da mesa superior no estado elástico.

Como c_1 é constante, vem:

$$v_1 = \frac{V \cdot h_{fs}}{I_c} \cdot c_1 \cdot \int_0^{s_1} ds$$

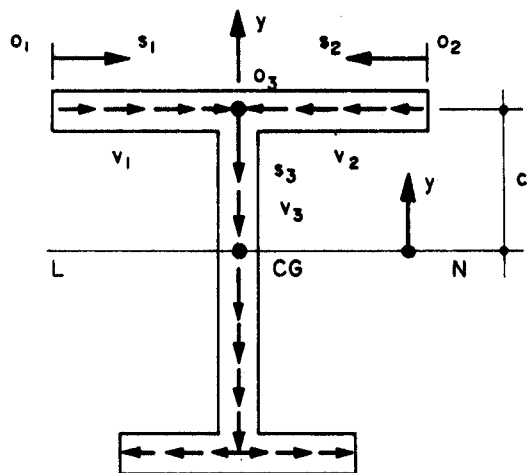


FIGURA 2.4 - PERCURSO DO ESFORÇO CORTANTE

Portanto:

$$v_1 = \frac{V \cdot h_{fs}}{I_c} \cdot c_1 \cdot s_1 \quad (\text{reta}) \quad (2.5)$$

Analogamente:

$$v_2 = \frac{V \cdot h_{fs}}{I_c} \cdot c_1 \cdot s_2 \quad (\text{reta}) \quad (2.6)$$

No ponto O_3 :

$$v_{3_{03}} = v_{1_{03}} + v_{2_{03}}$$

Na alma:

$$v_3 = \frac{V}{I_c} \cdot h_{fs} \cdot c_1 \cdot \left(\frac{b_{fs}}{2} + \frac{b_{fs}}{2} \right) + \frac{V}{I_c} \cdot \int_{0_3}^{s_3} y \cdot b_w \cdot ds$$

Sendo $y = (c_1 - s)$ e b_w constante, tem-se:

$$v_3 = \frac{V}{I_c} \cdot \left[h_{fs} \cdot c_1 \cdot b_{fs} + b_w \cdot \int_0^{s_3} (c_1 - s) \cdot ds \right]$$

Integrando:

$$v_3 = \frac{V}{I_c} \cdot \left\{ h_{fs} \cdot c_1 \cdot b_{fs} + b_w \cdot \left[c_1 \cdot s - \frac{s^2}{2} \right]_0^{s_3} \right\}$$

Finalmente:

$$v_3 = \frac{V}{I_c} \cdot \left[h_{fs} \cdot c_1 \cdot b_{fs} + b_w \cdot \left(c_1 \cdot s_3 - \frac{s_3^2}{2} \right) \right] \quad (2.7)$$

Da equação 2.7, conclui-se que o esforço cortante corrente, varia parabolicamente ao longo da alma.

As tensões de cisalhamento são obtidas dividindo-se o esforço cortante corrente v de cada trecho pelas suas respectivas espessuras, assim:

$$\tau_1 = \frac{V}{I_c} \cdot c_1 \cdot s_1 \quad (2.8)$$

A tensão será máxima quando s_1 for igual a $\frac{b_{fs}}{2}$:

$$\tau_{1_{\max}} = \frac{V}{I_c} \cdot c_1 \cdot \frac{b_{fs}}{2} \quad (2.9)$$

Para a outra aba da mesa:

$$\tau_2 = \frac{V}{I_c} \cdot c_1 \cdot s_2 \quad (2.10)$$

Da mesma forma:

$$\tau_{2_{\max}} = \frac{V}{I_c} \cdot c_1 \cdot \frac{b_{fs}}{2} \quad (2.11)$$

A tensão na alma será:

$$\tau_3 = \frac{V}{b_w \cdot I_c} \cdot \left[h_{fs} \cdot c_1 \cdot b_{fs} + b_w \cdot \left(c_1 \cdot s_3 - \frac{s_3^2}{2} \right) \right] \quad (2.12)$$

Para a tensão máxima , iguala-se a zero, a derivada de τ em relação a ds .

$$\frac{d\tau_3}{ds} = \frac{V}{b_w \cdot I_c} \cdot \left[b_w \cdot (c_1 - s_3) \right]$$

Igualando a zero, obtém-se $s_3 = c_1$ (linha neutra) e substituindo na expressão 2.12, resulta:

$$\tau_{3_{\max}} = \frac{V}{b_w \cdot I_c} \cdot \left[h_{fs} \cdot c_1 \cdot b_{fs} + b_w \cdot \left(c_1^2 - \frac{c_1^2}{2} \right) \right] = \tau_0$$

Após as devidas simplificações:

$$\tau_0 = \tau_{3_{\max}} = \frac{V \cdot c_1}{2 \cdot b_w \cdot I_c} \left(2 \cdot h_{fs} \cdot b_{fs} + b_w \cdot c_1 \right) \quad (2.13)$$

Para a mesa tracionada, procede-se de modo análogo ao que foi feito para a mesa comprimida. Na figura 2.5 apresenta-se o diagrama de tensões de cisalhamento para o perfil considerado.

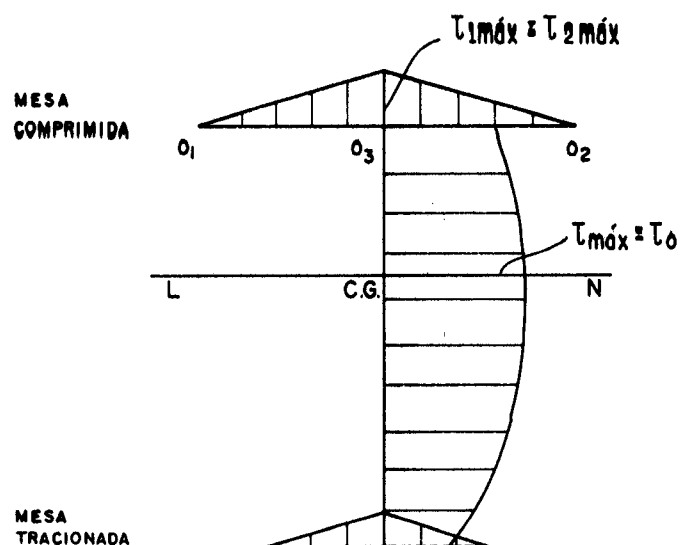


FIGURA 2.5 - DIAGRAMA DE TENSÕES DE CISALHAMENTO PARA O PERFIL DELGADO.

Como em vigas de argamassa armada, em muitos casos as espessuras são bastante esbeltas (espessura menor que um décimo das outras dimensões), pode-se considerá-las como perfis delgados enquanto estiverem no Estádio I.

A adoção do regime elástico (Estádio I) em vigas de argamassa armada ocorre nas regiões de mínimo momento fletor. Nas outras regiões sendo a resistência à tração da argamassa cerca de dez vezes menor que sua resistência à compressão, o que ocorre é que, em regime de serviço as peças trabalham fissuradas, mesmo em ambientes não protegidos como prevê a norma NBR-11.173¹ da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT.

Um fator de restrição ao regime elástico é o diagrama tensão - deformação da argamassa que não é linear, não obedecendo portanto a Lei de Hooke.

2.1.2.2 Analogia da Treliça de Banzos Paralelos (Estádio II)

HANAI [1981]⁷ e CARVALHO [1987]⁴¹ sugerem que o cálculo de peças de argamassa armada, sujeitas aos efeitos do cisalhamento, seja baseado na teoria clássica de Mörsch.

No estado fissurado, as vigas de concreto armado, submetidas à flexão simples, têm um funcionamento que lembra o das treliças, como ilustrado na figura 2.6.

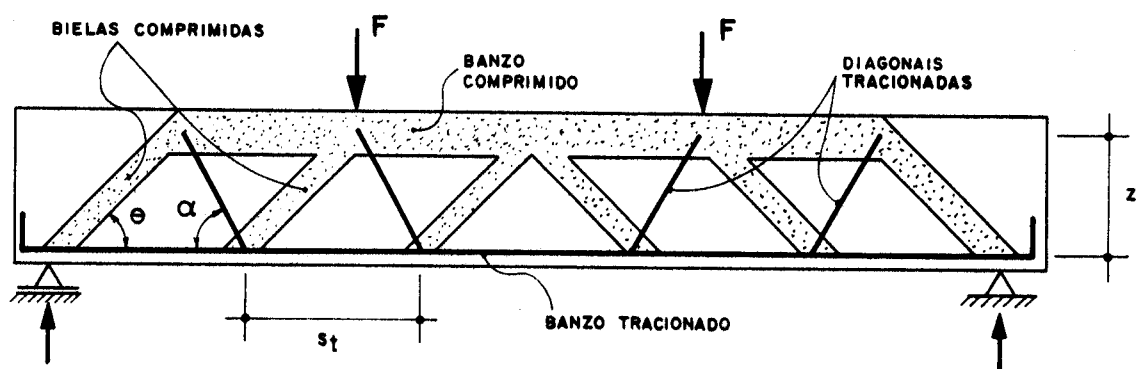


FIGURA 2.6 - ANALOGIA DA TRELIÇA DE BANZOS PARALELOS

As inclinações das diagonais são definidas pelos seguintes ângulos:

α = inclinação da armadura transversal;

θ = inclinação das bielas comprimidas resistidas pelo concreto. Análises experimentais mostram que esta inclinação pode sofrer alterações a medida que o carregamento é aumentado;

s_t = espaçamento da armadura transversal;

z = braço de alavanca entre o banzo comprimido (fibra longitudinal posicionada na metade da altura do concreto comprimido) e o banzo tracionado.

FUSCO [1982]⁴² admitiu as seguintes hipóteses básicas:

a) A treliça é de banzos paralelos, os quais não resistem a esforços transversais localizados. O banzo comprimido é formado pelo concreto, cuja resistência de cálculo à compressão é f_{cd} e a viga não é super-armada (domínios 2 ou 3). O banzo tracionado é resistido pela armadura longitudinal, cujo valor de cálculo da resistência é f_{yd} .

b) As bielas diagonais comprimidas têm inclinação θ em relação ao eixo longitudinal da peça e estão submetidas a um estado de compressão simples, com tensões $\sigma_{c\theta}$.

c) A armadura transversal é composta por estribos de inclinação α em relação ao eixo longitudinal da peça. O espaçamento dos ramos dos estribos é suficientemente pequeno, tanto longitudinal como transversalmente, para que eles tenham efeito equivalente ao de uma resistência à tração da peça na direção α de sua inclinação.

Define-se taxa geométrica da armadura transversal como $\rho_{w\alpha}$, dada pela expressão 2.14.

$$\rho_{w\alpha} = \frac{A_{sw}}{b_w \cdot s_t \cdot \text{sen } \alpha} \quad (2.14)$$

onde:

A_{sw} = área da seção transversal de um estribo, com todos os seus ramos, conforme indicado na figura 2.7;

s_t = espaçamento dos estribos, medido paralelamente ao eixo da peça;

b_w = largura da alma da viga;

$\sigma_{tt,\alpha}$ = tensão normal de tração na armadura transversal.

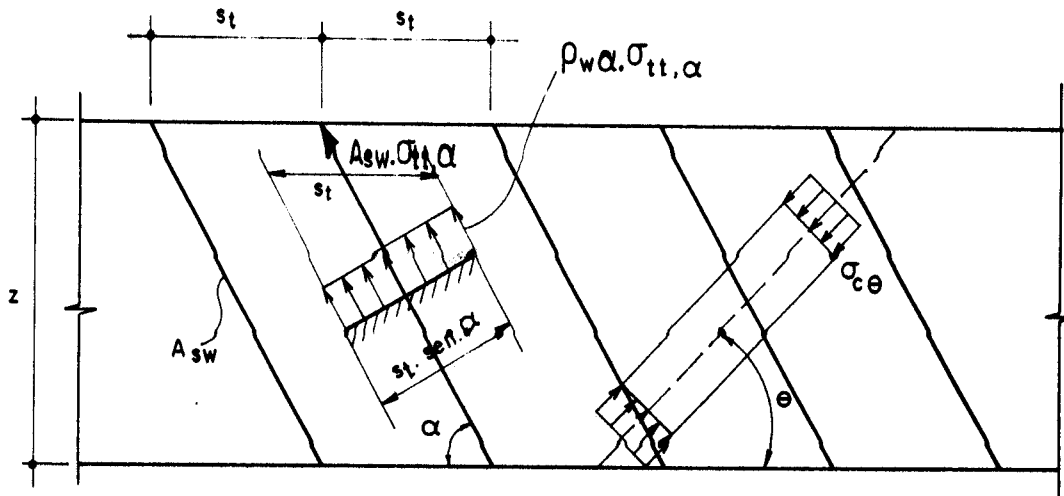


FIGURA 2.7 - TENSÕES NAS DIAGONAIS INCLINADAS - FUSCO⁴²

A força de tração em um estribo é dada pelo produto $\sigma_{tt,\alpha} \cdot A_{sw}$. Determinando o valor de A_{sw} na equação 2.14 e substituindo, obtém-se para a referida força, a seguinte expressão: $\sigma_{tt,\alpha} \cdot \rho_{w\alpha} \cdot b_w \cdot s_t \cdot \text{sen } \alpha$. Esta força distribuída pela área abrangida por um estribo, visualizado na figura 2.7, será então expressa por $\rho_{w\alpha} \cdot \sigma_{tt,\alpha}$.

A partir da figura 2.8, pode-se obter os valores dos esforços nos banzos e diagonais da treliça.

FUSCO [1982]⁴² analisando as condições de equilíbrio determinou os esforços nos banzos e diagonais da treliça como indicado a seguir:

a) *Esforço na Armadura de Tração (Diagonais Tracionadas)*

A área de estribos por unidade de comprimento pode ser expressa pela relação A_{sw}/s_t . Se for definida a área total de estribos que atravessam uma fissura de inclinação θ (A_{tt}), essa mesma relação também pode ser expressa por:

$$\frac{A_{sw}}{s_t} = \frac{A_{tt}}{z(\cotg \theta + \cotg \alpha)}$$

onde $z(\cotg \theta + \cotg \alpha)$ é o comprimento do trecho horizontal de viga por onde passam os respectivos estribos, indicado na figura 2.8(a). determinando o valor de A_{tt} :

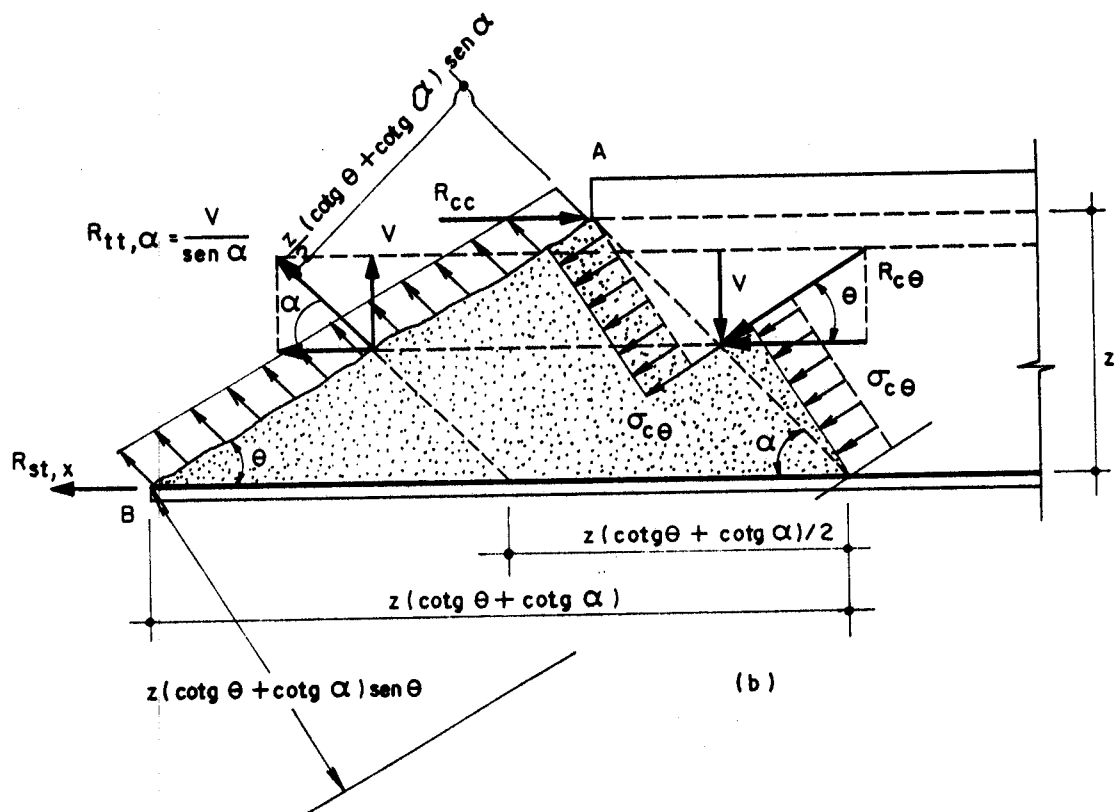
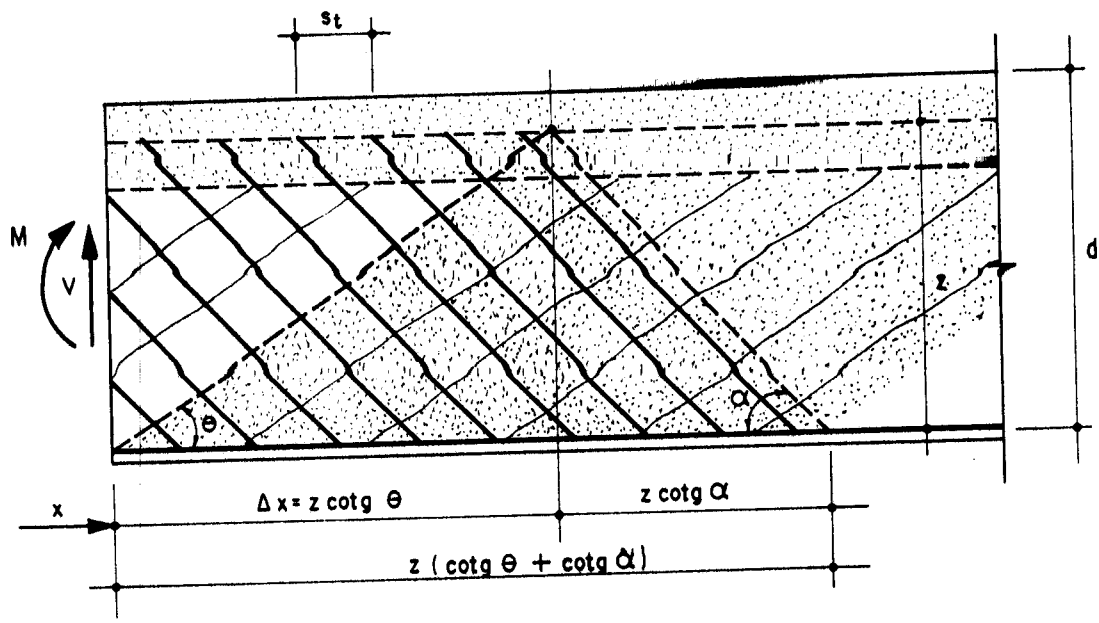


FIGURA 2.8 - CONDIÇÕES DE EQUILÍBRIO - FUSCO⁴²

$$A_{tt} = \frac{z(\cotg \theta + \cotg \alpha)}{s_t} \cdot A_{sw}$$

Por outro lado, a parcela da força cortante V resistida pelos estribos, e ilustrada na figura 2.8(b), é dada por sua componente na direção α , ou seja: $R_{tt,\alpha} = \frac{V}{\sen \alpha}$. O equilíbrio de forças transversais exige que a armadura de cisalhamento que cruza a fissura mobilize uma força $R_{tt,\alpha}$ de componente V na direção normal ao eixo longitudinal.

A tensão no estribo ($\sigma_{tt,\alpha}$) é dada por $R_{tt,\alpha}/A_{tt}$, ou seja:

$$\sigma_{tt,\alpha} = \frac{V/\sen \theta}{\frac{z(\cotg \theta + \cotg \alpha) \cdot A_{sw}}{s_t}}$$

Reorganizando:

$$\sigma_{tt,\alpha} = \frac{V}{z \cdot (\cotg \theta + \cotg \alpha) \cdot (A_{sw}/s_t) \cdot \sen \alpha} \quad (2.15)$$

Da equação 2.14, obtém-se:

$$A_{sw} = \rho_{w\alpha} \cdot b_w \cdot s_t \cdot \sen \alpha$$

Substituindo A_{sw} na equação 2.15 e eliminando s_t tem-se:

$$\sigma_{tt,\alpha} = \frac{V}{b_w \cdot z \cdot (\cotg \theta + \cotg \alpha) \cdot \rho_{w\alpha} \cdot \sen^2 \alpha} \quad (2.16)$$

Da equação 2.2, para o caso da linha neutra cortar a alma, tem-se $b_w \cdot z = V/\tau_0$, logo:

$$\sigma_{tt,\alpha} = \frac{\tau_0}{\rho_{w\alpha} \cdot (\cotg \theta + \cotg \alpha) \cdot \sen^2 \alpha} \quad (2.17)$$

No caso de dimensionamento, a tensão no aço deve ser igual ou menor que a resistência de cálculo da armadura transversal f_{ywd} determinada pela seguinte condição da NBR 6118²:

$$f_{ywd} = \frac{f_{yk}}{1,15} \leq 435 \text{ MPa}$$

Deduzindo-se da equação 2.15 o valor da área da seção de estribos por unidade de comprimento horizontal, tem-se:

$$\frac{A_{sw}}{s_t} = \frac{V_d}{f_{ywd} \cdot z \cdot (\cotg \theta + \cotg \alpha) \cdot \sen \alpha} \quad (2.18)$$

onde :

V_d = força cortante de cálculo na seção considerada.

Para verificação da força cortante última resistida pelos estribos (V_{us}), também de 2.15, pode-se obter, com $\sigma_{tt,\alpha} = f_{ywd}$:

$$V_{us} = f_{ywd} \cdot z \cdot (\cotg \theta + \cotg \alpha) \cdot (A_{sw}/s_t) \cdot \sen \alpha \quad (2.19)$$

Para os modelos ensaiados e para a maioria dos casos práticos de concreto armado e argamassa armada, tem-se estribos verticais, ou seja ($\alpha=90^\circ$), assim as expressões anteriores, para $\sen 90^\circ = 1$ e $\cotg 90^\circ = 0$ ficam:

$$\sigma_{tt} = \frac{V}{z \cdot \cotg \theta \cdot (A_{sw}/s_t)} \quad (2.20)$$

$$\frac{A_{sw}}{s_t} = \frac{V_{us}}{f_{ywd} \cdot z \cdot \cotg \theta} \quad (2.21)$$

$$V_{us} = f_{ywd} \cdot z \cdot \cotg \theta \cdot (A_{sw}/s_t) \quad (2.22)$$

b) Tensões nas Bielas Comprimidas ($\sigma_{c\theta}$)

Pelo equilíbrio de esforços internos transversais, ao longo do trecho horizontal de comprimento $z.(\cotg \theta + \cotg \alpha)$, deve-se ter a igualdade das componentes:

$$R_{c\theta} \cdot \sen \theta = R_{tt,\alpha} \cdot \sen \alpha = V$$

Mas da figura 2.8(b), obtém-se:

$$R_{c\theta} = b_w \cdot z \cdot (\cotg \theta + \cotg \alpha) \cdot \sen \theta \cdot \sigma_{c\theta,\alpha}$$

assim:

$$V = b_w \cdot z \cdot \sigma_{c\theta,\alpha} \cdot (\cotg \theta + \cotg \alpha) \cdot \sen^2 \theta$$

$$\sigma_{c\theta,\alpha} = \frac{V}{b_w \cdot z} \cdot \frac{1}{(\cotg \theta + \cotg \alpha) \cdot \sen^2 \theta} \quad (2.23)$$

No caso da linha neutra cortar a alma:

$$\sigma_{c\theta,\alpha} = \frac{\tau_0}{(\cotg \theta + \cotg \alpha) \cdot \sen^2 \theta} \quad (2.24)$$

Para verificação da força cortante última resistida pelo concreto à compressão faz-se $\sigma_{c\theta} = f_{cd}$ (resistência de cálculo do concreto à compressão) tendo-se:

$$V_u = b_w \cdot z \cdot f_{cd} \cdot (\cotg \theta + \cotg \alpha) \cdot \sen^2 \theta \quad (2.25)$$

No caso de estribos verticais, $\alpha = 90^\circ$, vem:

$$\sigma_{c\theta} = \frac{2V}{b_w \cdot z \cdot \sen 2\theta} \quad \text{ou} \quad \sigma_{c\theta} = \frac{2\tau_0}{\sen 2\theta} \quad (2.26)$$

lembrando que neste caso pode-se usar τ_0 se a linha neutra cortar a alma.

Para a força cortante última:

$$V_u = 0,5 \cdot b_w \cdot z \cdot f_{cd} \cdot \text{sen } 2\theta \quad (2.27)$$

c) *Tensões na Armadura Longitudinal de Tração*

Considerando-se que os esforços internos equilibram os esforços externos solicitantes tem-se:

- Momento fletor dos esforços solicitantes em relação à seção de abscissa $x+\Delta x$:

$$M_{x+\Delta x} = M_x + V \cdot \Delta x$$

como pode ser visto na figura 2.8(a), onde:

$$\Delta x = z \cdot \text{cotg } \theta$$

- Momento fletor das resultantes das forças das armaduras em relação ao eixo do banzo comprimido, também na seção transversal $x+\Delta x$:

$$M_{x+\Delta x} = R_{st,x} \cdot z + R_{tt,\alpha} \cdot \frac{z}{2} \cdot (\text{cotg } \theta + \text{cotg } \alpha) \cdot \text{sen } \alpha \quad (2.28)$$

obtido da figura 2.8(b), considerando o ponto de aplicação de $R_{tt,\alpha}$ no ponto médio da fissura inclinada de θ .

Igualando as duas expressões:

$$M_x + V \cdot z \cdot \text{cotg } \theta = R_{st,x} \cdot z + \frac{V}{\text{sen } \alpha} \cdot \frac{z}{2} \cdot (\text{cotg } \theta + \text{cotg } \alpha) \cdot \text{sen } \alpha$$

obtém-se:

$$R_{st,x} = \frac{1}{z} \left[M_x + V \cdot \frac{z}{2} \cdot (\text{cotg } \theta - \text{cotg } \alpha) \right] \quad (2.29)$$

$$\sigma_{st,x} = \frac{1}{A_s \cdot z} \left[M_x + V \cdot \frac{z}{2} \cdot (\text{cotg } \theta - \text{cotg } \alpha) \right] \quad (2.30)$$

Para estribos verticais as expressões resultam:

$$R_{st,x} = \frac{1}{z} \left(M_x + V \cdot \frac{z}{2} \cdot \cotg \theta \right) \quad (2.31)$$

$$\sigma_{st,x} = \frac{1}{A_s \cdot z} \left(M_x + V \cdot \frac{z}{2} \cdot \cotg \theta \right) \quad (2.32)$$

$\sigma_{st,x}$ representa um valor médio já que para vigas de argamassa armada, a armadura de tração é constituída de fios de tela em vários níveis.

d) *Força no Banzo Comprimido*

Considere-se agora, na mesma figura 2.8, o momento fletor em relação ao ponto B. Neste caso, como se deseja o esforço interno R_{cc} no banzo comprimido atuando no ponto A, a abscissa x deve se estender até o referido ponto e portanto a força cortante V e o momento fletor M devem ser considerados agora também aplicados neste mesmo ponto A.

Assim, tem-se para as forças externas:

$$M_B = M_x - V \cdot z \cdot \cotg \theta$$

Para as forças internas:

$$M_B = R_{cc} \cdot z - R_{tt,\alpha} \cdot \frac{z}{2} \cdot (\cotg \theta + \cotg \alpha) \cdot \sen \alpha$$

Igualando as duas expressões e levando em consideração que $R_{tt,\alpha} = V/\sen \alpha$, obtém-se:

$$R_{cc} = \frac{M}{z} - \frac{V}{2} \cdot (\cotg \theta - \cotg \alpha) \quad (2.33)$$

Para estribos verticais:

$$R_{cc} = \frac{M}{z} - \frac{V}{2} \cotg \theta \quad (2.34)$$

2.1.2.3 Analogia da Treliça Clássica de Morsch

Pelas normas brasileiras, o dimensionamento e a verificação ao esforço cortante em vigas de concreto armado e peças de argamassa armada, é feito, basicamente através dos conceitos da analogia da Treliça Clássica de Morsch. Esta teoria é um caso particular da treliça de banzos paralelos onde a inclinação θ das bielas de compressão é considerada fixa e igual a 45° .

Algumas implementações posteriores que serão detalhadas no item 2.2.1, foram feitas pelas normas brasileiras no sentido de adaptar esta teoria, ao caso generalizado de banzos comprimidos inclinados e bielas de compressão com inclinação variável ($\theta \neq 45^\circ$).

Admitem-se as seguintes Hipóteses Básicas de acordo com a figura 2.9:

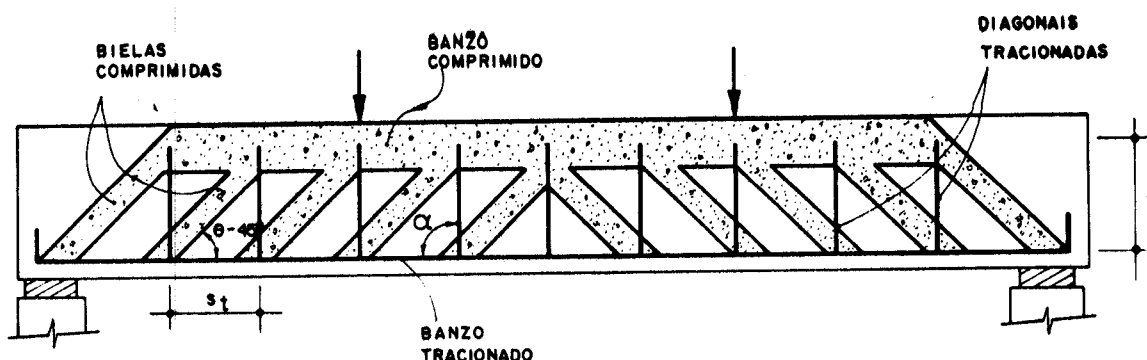


FIGURA 2.9 - ANALOGIA DA TRELIÇA DE MÖRSCH

α = inclinação da armadura transversal;

θ = inclinação das bielas comprimidas resistidas pelo concreto ($\theta = 45^\circ$);

s_t = espaçamento entre diagonais tracionadas consecutivas ($s_t = z$).

Para vigas de argamassa armada consideramos apenas os casos em que a armadura é composta de estribos verticais

ou telas dispostas com fios transversais verticais ($\alpha = 90^\circ$).

Como a analogia da Treliça Clássica de Morsch é um caso particular da treliça de banzos paralelos, basta que se substitua o valor $\theta = 45^\circ$ nas fórmulas já deduzidas no ítem 2.1.2.2.

Apresentam-se a seguir, as expressões para a Teoria Clássica da Treliça de Morsch com estribos verticais ($\alpha = 90^\circ$) em concordância com os modelos a serem ensaiados nesta pesquisa e com a maioria dos casos na prática.

Taxa de Armadura Transversal

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{b_w \cdot s_t} \quad (2.35)$$

Tensão na Armadura Transversal

$$\sigma_{tt} = \frac{V}{z \cdot (A_{sw} / s_t)} \quad (2.36)$$

Dimensionamento da Armadura Transversal

$$\frac{A_{sw}}{s_t} = \frac{V_d}{f_{ywd} \cdot z} \quad (2.37)$$

No caso da linha neutra cortar a alma:

$$\rho_w = \frac{\tau_0}{f_{ywd}} \quad (2.38)$$

Força Cortante Máxima Resistida pelos Estribos

$$V_{us} = \left(\frac{A_{sw}}{s_t} \right) \cdot f_{ywd} \cdot z \quad (2.39)$$

Tensão Normal na Biela de Compressão

$$\sigma_{c,45} = 2 \cdot \frac{V}{b_w \cdot z} \quad (2.40)$$

No caso da linha neutra cortar a alma:

$$\sigma_{c,45} = 2 \cdot \tau_0 \quad (2.41)$$

Força Cortante Máxima Resistida pela Biela de Compressão

$$V_u = 0,5 \cdot b_w \cdot z \cdot f_{cd} \quad (2.42)$$

Força de Tração na Armadura Longitudinal

$$R_{st} = \frac{M_x}{z} + \frac{V}{2} \quad (2.43)$$

Tensão Normal de Tração na Armadura Longitudinal

$$\sigma_{st} = \frac{1}{A_s \cdot z} \left(M_x + V \cdot \frac{I}{z} \right) \quad (2.44)$$

(valor médio).

Força de Compressão no Banzo Comprimido

$$R_{cc} = R_{st} = \frac{M_x}{z} + \frac{V}{2} \quad (2.45)$$

2.1.2.4 Treliça Generalizada

Na analogia da treliça, o concreto é suposto com fissuração suficientemente intensa para que a peça possa ser assimilada a esse tipo de estrutura conforme FUSCO [1982]⁴².

A analogia da treliça de Mörsch, por ser um modelo simplificado de cálculo, despreza os efeitos decorrentes da inclinação do banzo superior e de inclinações diferentes de 45° das bielas comprimidas como mostrado na figura 2.10, observados nos ensaios de laboratório realizados em Stuttgart como citam LEONHARDT & MÖNNIG [1977]³⁹. Estas inclinações dependem das relações de rigidez (expressas por b_w/b_{rs}) e do valor da área da armadura de cisalhamento. Para almas delgadas, ou seja, para b_w/b_{rs} com valores baixos, tem-se $38^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$ e para almas espessas, $30^\circ \leq \theta \leq 38^\circ$.

Observa-se que os esforços de tração na alma diminuem com a inclinação do banzo comprimido, ou para diagonais comprimidas com $\theta < 45^\circ$.

Além do mais, como pode ser observado na figura 2.10, a treliça é mais de uma vez hiperestática internamente

e de cálculo bastante laborioso. Por esse motivo, não é apropriada para o dimensionamento das armaduras de cisalhamento, porém é útil para a concepção do comportamento estrutural, como pode ser visto em LEONHARDT & MÖNNIG [1977]³⁹.

Na figura 2.10, pode-se também observar o efeito de arco atirantado, ou seja, a transmissão da força concentrada até o apoio através do banzo comprimido inclinado em forma de arco. Assim, a chamada mesa de compressão apresenta tensões de tração junto à sua face superior, ao longo do comprimento de aproximadamente duas vezes o braço de alavanca da seção considerada, a partir do apoio da extremidade, conforme FUSCO [1982]⁴² e LEONHARDT [1978]⁴³.

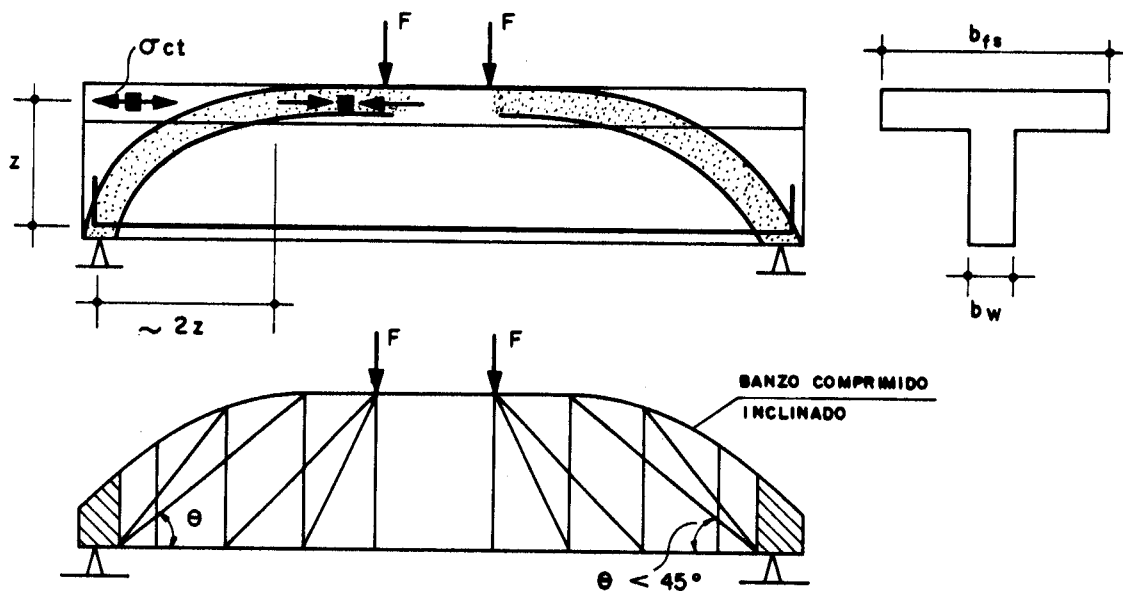


FIGURA 2.10 - TRELIÇA GENERALIZADA PARA ALMA DELGADA

O banzo comprimido quando inclinado, pode transmitir cerca de 15% a 25% da força cortante diretamente ao apoio, sendo essa absorção tanto maior quanto mais espessa for a alma da viga como indicado em LEONHARDT & MÖNNIG [1977]³⁹. Mesmo nos casos de vigas de almas muito delgadas, com $b_{fs}/b_w = 15$ e com armadura de cisalhamento

calculada de acordo com Mörsh, a parcela da força cortante absorvida por essa armadura não ultrapassa cerca de 80%. Assim, o dimensionamento da armadura da alma pode ser feito com redução da força cortante devida à parcela de V absorvida pelo banzo inclinado e pelas bielas comprimidas com $\theta < 45^\circ$.

A figura 2.11, mostra a variação característica das tensões nos estribos verificadas experimentalmente em confronto com as calculadas segundo a teoria de Mörsh, de acordo com LEONHARDT & MÖNNIG [1977]³⁹. A força cortante no instante em que aparece a 1ª fissura é representada por V_r .

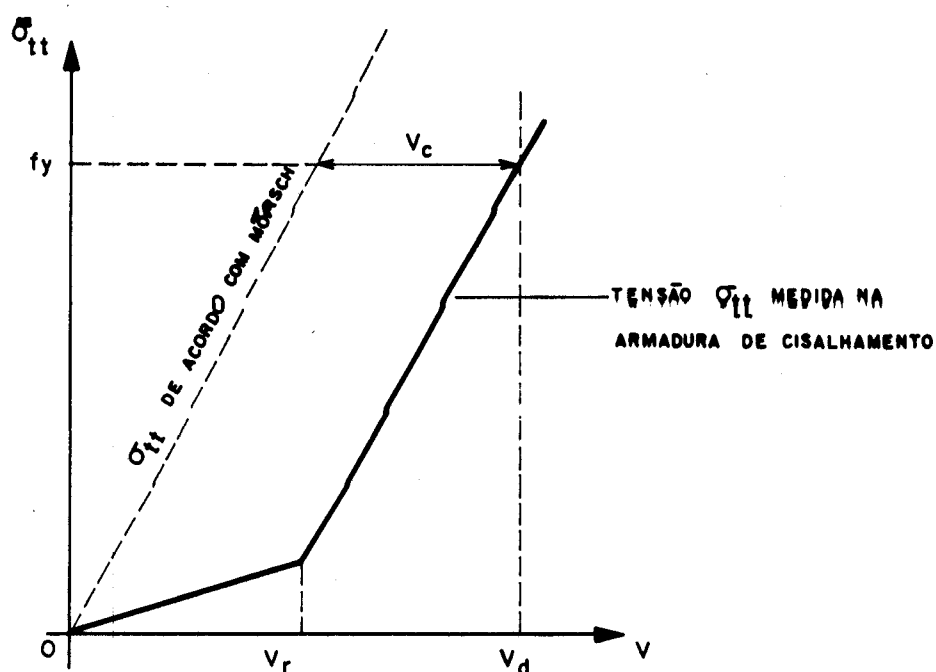


FIGURA 2.11 - VARIAÇÃO CARACTERÍSTICA DAS TENSÕES EFETIVAS NAS ARMADURAS DE CISALHAMENTO - LEONHARDT³⁹

As tensões calculadas segundo a teoria de Mörsh, levam em consideração a peça fissurada desde o início do carregamento. No entanto, a armadura de cisalhamento é solicitada intensamente somente a partir de que uma fissura de cisalhamento a intercepte. A partir daí, as tensões σ_{tt} na armadura de cisalhamento crescem então paralelamente à linha pontilhada de σ_{tt} , calculada com as expressões da Analogia de Mörsh como pode ser visto na figura 2.11. Ambas

as linhas, na força de ruptura, mantêm entre si uma distância correspondente ao valor V_c . Essa parcela V_c da força cortante V_d é absorvida pelos membros comprimidos da treliça, de acordo com a analogia da treliça generalizada, ou seja, pelo banzo comprimido inclinado e pelas diagonais comprimidas, com um ângulo de inclinação θ menor que 45° , em relação ao eixo horizontal. A armadura de cisalhamento deve ser dimensionada apenas para a parcela $(V_d - V_c)$ da força cortante V_d , como pode ser constatado em LEONHARDT & MÖNNIG [1977]³⁹.

Da equação 2.37, tem-se:

$$\frac{A_{sw}}{s_t} = \frac{V_d}{f_{ywd} \cdot z}$$

porém deduzindo V_c , a equação fica:

$$\frac{A_{sw}}{s_t} = \frac{V_d - V_c}{f_{ywd} \cdot z}$$

escrevendo em termos de tensões de cisalhamento tem-se:

$$\tau_{0d} = \frac{V_d}{b_w \cdot z} \quad (\text{tensão de cisalhamento de cálculo})$$

$$\tau_c = \frac{V_c}{b_w \cdot z} \quad (\text{parcela fixa da redução da tensão convencional})$$

τ_c significa a parte do esforço cortante absorvido pelo banzo comprimido inclinado e pelas diagonais comprimidas com inclinação menor que 45° .

Das equações acima, obtém-se: $V_d = b_w \cdot z \cdot \tau_{0d}$ e $V_c = b_w \cdot z \cdot \tau_c$, as quais substituindo na equação do dimensionamento, tem-se:

$$\frac{A_{sw}}{s_t} = \frac{b_w \cdot z \cdot \tau_{0d} - b_w \cdot z \cdot \tau_c}{f_{ywd} \cdot z} = \frac{\tau_{0d} - \tau_c}{f_{ywd}} \cdot b_w$$

Chamando $\tau_{0d} - \tau_c = \tau_d$, tem-se:

$$\frac{A_{sw}}{s_t} = \frac{\tau_d}{f_{ywd}} \cdot b_w \quad (2.46)$$

No caso de se desejar a tensão normal no estribo:

$$\sigma_{tt} = \frac{\tau_{0d} - \tau_c}{\frac{A_{sw}}{s_t}} \cdot b_w \cdot s_t \quad \text{OU} \quad \sigma_{tt} = \frac{\tau_d}{\frac{A_{sw}}{s_t}} \cdot b_w \cdot s_t \quad (2.47)$$

O valor da redução τ_c é determinado até o momento de maneira empírica, com base em resultados de ensaios. No item 2.2.1.2 são apresentados os valores indicados pelas normas brasileiras.

Para verificação da força cortante resistente, sabendo que $\tau_{0d} = V_d / (b_w \cdot z)$ e substituindo, obtém-se:

$$V_d = b_w \cdot z \cdot \left[\tau_c + \left(\frac{A_{sw}}{s_t} \right) \cdot \frac{f_{ywd}}{b_w} \right] \quad (2.48)$$

A tensão normal na biela de compressão se obtém a partir da equação 2.41, substituindo τ_0 por $\tau_{0d} - \tau_c$, assim:

$$\sigma_{c,45} = 2 \cdot (\tau_{0d} - \tau_c) \quad (2.49)$$

2.1.2.5 Determinação do Braço de Alavanca z do Binário das Forças nos Banzos Horizontais

Em todas as expressões deduzidas, têm-se necessidade do conhecimento do braço de alavanca z entre as linhas de ação dos esforços nos banzos comprimido e tracionado. Para vigas de concreto armado a NBR 6118² recomenda $z = d/1,15$ (valor aproximado) conforme pode ser constatado em AMARAL [1974]⁴⁴ onde, d é a altura útil da viga, medida do ponto de aplicação da resultante das tensões de tração na armadura tracionada até a borda comprimida.

Em vigas de argamassa armada, a armadura tracionada é composta pelos fios longitudinais das telas posicionados abaixo da linha neutra acrescida da armadura

complementar posicionada na mesa tracionada.

Neste caso, nas seções onde a força cortante é nula e por conseguinte o momento fletor é máximo, z pode ser calculado de modo indireto de acordo com a figura 2.12.

O momento das forças internas é dado por:

$$M = R_{cc} \cdot z = R_{st} \cdot z \quad \text{Assim :}$$

$$z = \frac{M}{R_{cc}} = \frac{M}{R_{st}}$$

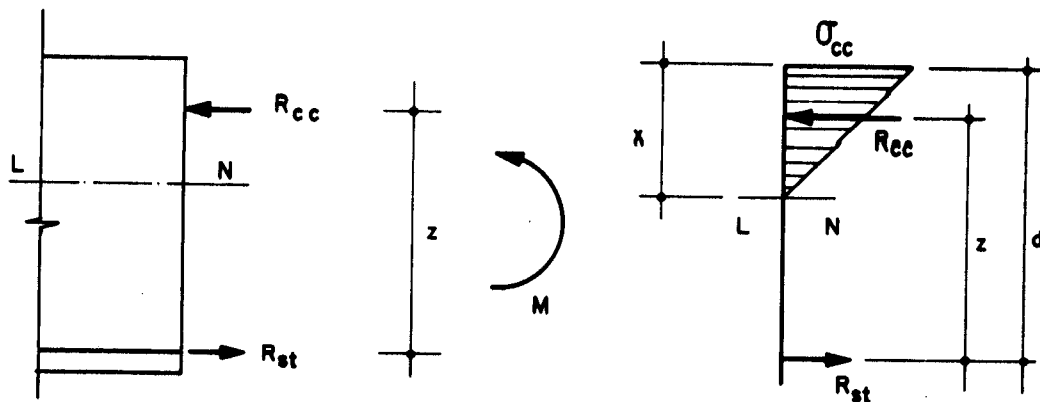


FIGURA 2.12 - BRAÇO DE ALAVANCA z NO ESTÁDIO II

Conhecendo-se o valor de R_{cc} ou R_{st} , tem-se condições de calcular z . Para isso, precisa-se determinar a distância x da linha neutra indicada na figura 2.12, que no caso de muitos fios, implica em cálculo bastante laborioso por processo iterativo.

GIONGO [1990]⁶ fez este estudo teórico com verificação experimental, tendo inclusive desenvolvido um programa para micro-computador intitulado AACALC e que é citado no ANEXO n.º 2 deste trabalho. Em sua pesquisa, foram consideradas as seções transversais nos Estádio Ib, Estádio II e Estado Limite Último.

Em contraposição, fora dessas regiões, de acordo com a figura 2.8b) e com a equação 2.31, o braço de alavanca z , não depende apenas do momento fletor M e da reação da armadura longitudinal R_{st} , mas também da força cortante atuante V e do ângulo de inclinação da biela de compressão θ , que é desconhecido. Nestes casos pode-se adotar o valor

aproximado de $z = d/1,15$ como indicado pela NBR-6118², sendo d calculado através dos resultados encontrados pelo programa AECALC, que é uma adaptação do autor ao programa AACALC de GIONGO [1990]⁶ para o cálculo de z , d e parâmetros de cisalhamento.

Todas as hipóteses utilizadas estão de acordo com a norma NBR 11.173¹, e por esse motivo este assunto será visto com maiores detalhes no item 2.2.1.3 deste trabalho.

2.1.2.6 Ruptura por Força Cortante (Estado Limite Último)

Como já foi visto, o dimensionamento e a verificação de peças submetidas a esforço cortante (treliça), são feitos de modo que a ação dos esforços transversais pode ser estudada à luz Teoria da Plasticidade, como se a peça fosse feita de material rígido-plástico como observado em FUSCO [1982]⁴².

Enumeram-se a seguir, possíveis tipos de ruptura por força cortante conforme LEONHARDT & MÖNNIG [1977]³⁹.

a) Ruptura por Força Cortante - Flexão

As fissuras verticais de flexão, na região de força cortante, provocam o desenvolvimento de fissuras inclinadas de cisalhamento. No caso em que a armadura transversal atinge o limite de escoamento, as fissuras se desenvolvem então rapidamente com uma direção quase plana e inclinada para o alto, diminuindo sensivelmente a zona comprimida pela flexão, que por fim rompe bruscamente.

b) Ruptura por Força Cortante - Tração

Provocada pelo escoamento dos estribos e se dá na alma da viga.

c) Ruptura das diagonais de compressão

Pode também ocorrer a ruptura das diagonais de

compressão entre as fissuras de cisalhamento, que se dá na alma da viga. Esta ruptura ocorre de maneira brusca e depende da resistência à compressão do concreto.

d) Ruptura por Falha de Ancoragem

A armadura longitudinal é altamente solicitada até o apoio, pelo efeito de arco como se vê na figura 2.10 e no caso de ancoragem insuficiente pode ocorrer a ruptura da junção da diagonal comprimida vizinha ao apoio com o banzo tracionado. Nos ganchos da armadura longitudinal, pode haver fendilhamento do concreto da alma. A ruptura por falha de ancoragem acontece bruscamente.

LEONHARDT & MÖNNIG [1977]³⁹ também enumeraram algumas influências sobre a capacidade resistente à força cortante, e que são as seguintes:

a) Tipo de Carregamento:

- forças concentradas F ou ações uniformemente distribuídas;

b) Posição do carregamento e esbeltez da viga:

- distância relativa a/h de uma força concentrada ao apoio;
- esbeltez l/h em vigas submetidas a ações distribuídas.

c) Modo de Introdução das Ações e Tipos de Apoio:

- direto ou indireto;
- forças penduradas na face inferior da viga.

d) Armadura Longitudinal:

- taxa de armadura ρ_s , especialmente à uma distância $x \approx 3d$ do apoio;
- tipo de aço e, conseqüentemente alongamento do banzo tracionado;
- qualidade da aderência;
- ancoragem;
- escalonamento da armadura;

e) Armadura de Cisalhamento na Alma:

- taxa de armadura ρ_w ;
- tipo de aço;
- qualidade de aderência;
- ancoragem em ambos os banzos;
- distância entre as barras;
- tipo (estribos verticais, inclinados e barras dobradas);

f) Classe do Concreto

g) Granulometria:

- o diâmetro máximo do agregado, influência do engrenamento dos grãos;

h) Forma da Seção Transversal:

- por exemplo: b_f/b_w em vigas T.

i) Altura Total da Viga

j) Sistema Estrutural:

- vigas de um vão ou vigas contínuas.

PETRONI [1974]¹⁸ e MANSUR & ONG [1987]⁴⁵ observaram através de ensaios de laboratório o comportamento da ruptura de vigas de argamassa armada. Foram rompidas vigas simplesmente apoiadas, submetidas a duas forças concentradas aplicadas equidistantemente dos apoios, semelhantes à da figura 1.1.

MANSUR & ONG [1987]⁴⁵ observaram que a ruptura típica por cisalhamento ocorreu pela abertura excessiva das fissuras inclinadas (diagonais tracionadas). Este tipo de ruptura se deu em vigas com relações a/h baixas, no caso, menores que 1,5, onde a é a distância entre a aplicação da força e o centro do apoio mais próximo, como pode ser visto na figura 2.13(a) e h é altura da seção transversal da viga.

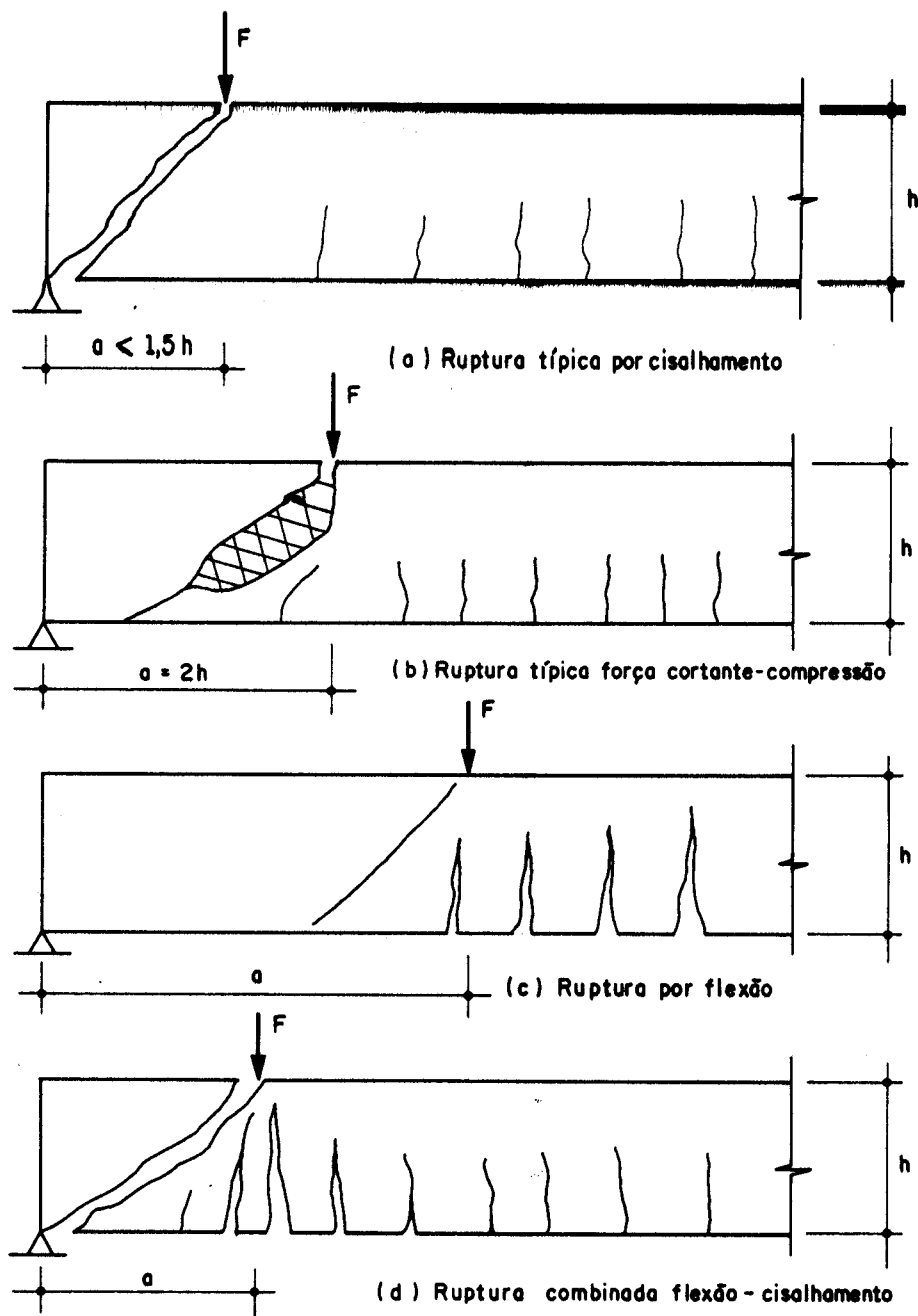


FIGURA 2.13 - FORMAS TÍPICAS DE RUPTURA - MANSUR & ONG⁴⁵

A zona comprimida da argamassa armada é subitamente cortada pelo desenvolvimento da fissura diagonal, próxima à aplicação da ação na direção do apoio. Em algumas vigas, este tipo de ruptura ocorre em uma fissura recentemente formada que se desenvolve ligeiramente abaixo da força última e que era paralela à fissura original de tração.

Outro tipo de ruptura por cisalhamento segundo MANSUR & ONG [1987]⁴⁵ mostrado na figura 2.13(b), ocorreu em vigas com $a/h = 2$. Trata-se de uma ruptura típica de força cortante-compressão caracterizada pelo esmagamento da argamassa próxima da força concentrada.

A ruptura por flexão indicada na figura 2.13(c) é caracterizada pelo aumento da abertura das fissuras verticais e subsequente esmagamento do concreto no trecho de momento fletor constante. Estas vigas sofrem consideráveis deslocamentos antes da ruptura total.

Na figura 2.13(d) apresenta-se uma combinação de rupturas por cisalhamento e por flexão. Neste caso, as fissuras de flexão abaixo do ponto de aplicação da força e as fissuras diagonais, no vão cisalhado, crescem simultaneamente com excessiva largura conduzindo ao esmagamento da argamassa abaixo do ponto de aplicação da ação.

Para vigas de argamassa armada, ensaios realizados por MANSUR & ONG [1987]⁴⁵ concluíram que a força cortante de fissuração V_r aumenta para baixos valores de a/h , bem como, quando a taxa de armadura longitudinal próxima da face comprimida e a resistência da argamassa forem altas.

2.1.2.7 Determinação da Inclinação das Bielas de Compressão

Pode-se determinar a inclinação das bielas comprimidas pela treliça de banzos paralelos a partir das equações 2.20 e 2.47. Da equação 2.20 obtém-se $\cotg \theta$, assim:

$$\cotg \theta = \frac{V_d}{z \cdot \sigma_{tt} \cdot (A_{st} / s_t)} \quad (2.50)$$

Substituindo σ_{tt} pelo valor encontrado na equação 2.47, fica:

$$\cotg \theta = \frac{V_d}{z \cdot (A_{sw}/s_t)} \cdot \frac{(A_{sw}/s_t)}{\tau_d \cdot b_w}$$

assim:

$$\cotg \theta = \frac{V_d}{b_w \cdot z \cdot \tau_d} \quad (2.51)$$

ou ainda, em termos de tg θ :

$$\text{tg } \theta = \frac{\tau_d \cdot b_w \cdot z}{V_d} \quad (2.52)$$

que é a tangente do ângulo θ no trecho de viga onde atua V_d .

Como $\tau_d = \tau_{0d} - \tau_c$, a equação 2.52 fica:

$$\text{tg } \theta = \frac{V_d - b_w \cdot z \cdot \tau_c}{V_d} \quad (2.53)$$

2.1.2.8 Analogia da Treliça em Peças de Argamassa Armada

FUSCO [1982]⁴² cita que somente em vigas esbeltas, de alma muito fina, é que se mobiliza o esquema resistente de treliça desde o início do carregamento. Assim, como as vigas de argamassa armada são caracterizadas pela sua esbeltez, o esquema de treliça tende a ser um instrumento de cálculo bastante eficiente.

As almas das vigas de argamassa armada utilizam telas de aço onde todos os fios longitudinais paralelos ao eixo da peça, contribuem para equilibrar os esforços solicitantes devidos à flexão.

No caso da força cortante na flexão, pode-se imaginar agora uma treliça, não mais somente com um banzo tracionado na armadura longitudinal complementar, mas com tantos banzos tracionados quanto forem os fios longitudinais das telas abaixo da linha neutra.

Na figura 2.14 apresenta-se um exemplo de treliça

formada com dois banzos tracionados.

MacGREGOR [1988]⁴⁶ (citado por SILVA [1991]⁴⁷) considera o modelo da figura 2.14, inadequado. Trata-se de uma viga simplesmente apoiada com armadura de flexão e uma camada de fios de tela à meia altura. Um possível modelo de treliça plástico para esta viga consiste de duas treliças: uma utilizando a armadura inferior como tirante e a outra, a armadura da tela da alma. Para um material plástico ideal, a capacidade resistente seria a soma das forças cortantes transmitidas pelas duas treliças, $V_1 + V_2$.

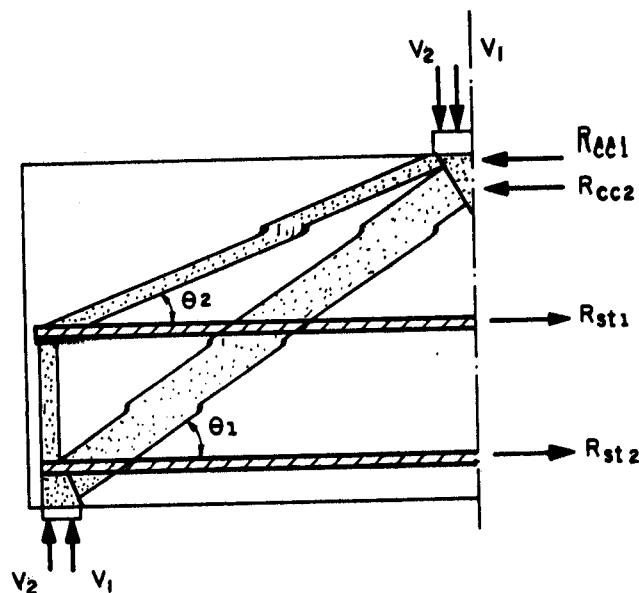


FIGURA 2.14 - MODELO DE TRELIÇA PLÁSTICO INADEQUADO
MAC GREGOR⁴⁶

Resultados de ensaios realizados por MacGregor J. G. e Rogowsky D. M. (1986), mostram entretanto, que a camada superior da armadura tem pouco ou nenhum efeito na resistência. Quando esta viga é carregada, a armadura inferior escoar primeiro. Grandes deformações são exigidas antes que a armadura superior possa escoar e antes que estas deformações possam se desenvolver completamente, a treliça inferior se rompe como se pode observar em SILVA [1991]⁴⁷.

2.1.3 ESFORÇOS ALMA - MESA

Em vigas T e I, as mesas de compressão e tração devem ser ligadas à alma de modo a resistir à força cortante.

Como pode-se constatar em ANDRADE [1982]⁴⁸, considera-se na viga de seção T, solicitada à flexão e cisalhamento, um elemento de largura Δx , situado entre duas fissuras, e que pode ser visualizado na figura 2.15.

A força R_{cc} , resultante das tensões de compressão no concreto, pode ser pensada como a soma das parcelas indicadas na figura 2.16.

Assim, como R_{cc} varia com o momento fletor M , também R_{c1} , apresentará um acréscimo em Δx que precisa ser transferido à nervura, originando tensões cisalhantes τ_{md} na ligação da aba com a nervura.

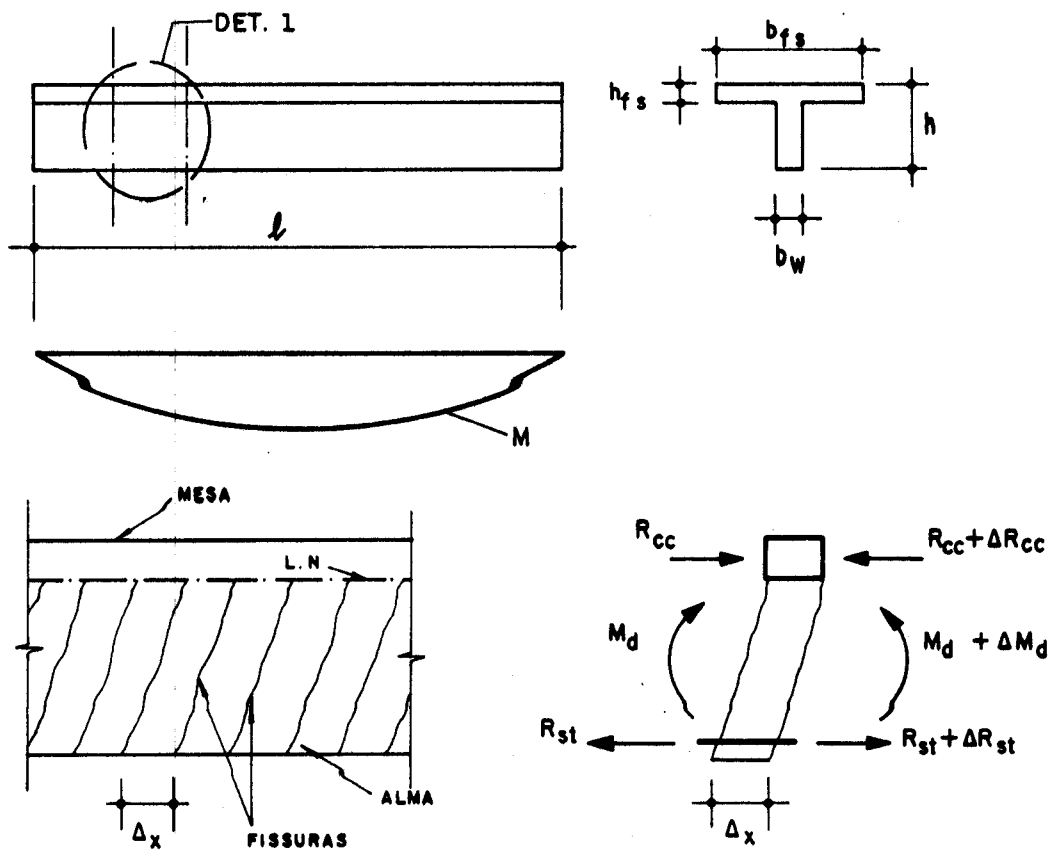
2.1.3.1 Ligação com Banzo Comprimido

LEONHARDT & MÖNNIG [1977]³⁹ apresentam um modelo simplificado aproximado para dimensionamento da armadura de costura da mesa. No esquema mostrado na figura 2.17, foram desprezadas as tensões de compressão na alma, bem como o deslocamento do diagrama a_c .

Ao longo do comprimento Δx , a força de compressão na mesa é $\Delta R_{cc} = \Delta M/z$. A parcela de um dos lados da mesa, descontada a alma é ΔR_{c1} .

A tensão de compressão na viga, também por questão de simplificação, é considerada uniforme. Assim:

$$\Delta R_{cc} = \Delta \sigma_c \cdot h_{fs} \cdot b_{fs} \quad e \quad \Delta R_{c1} = \Delta \sigma_c \cdot h_{fs} \cdot b_{m1}$$



DET. 1

FIGURA 2.15 - ESFORÇOS NA MESA E NA ALMA - ANDRADE⁴⁸

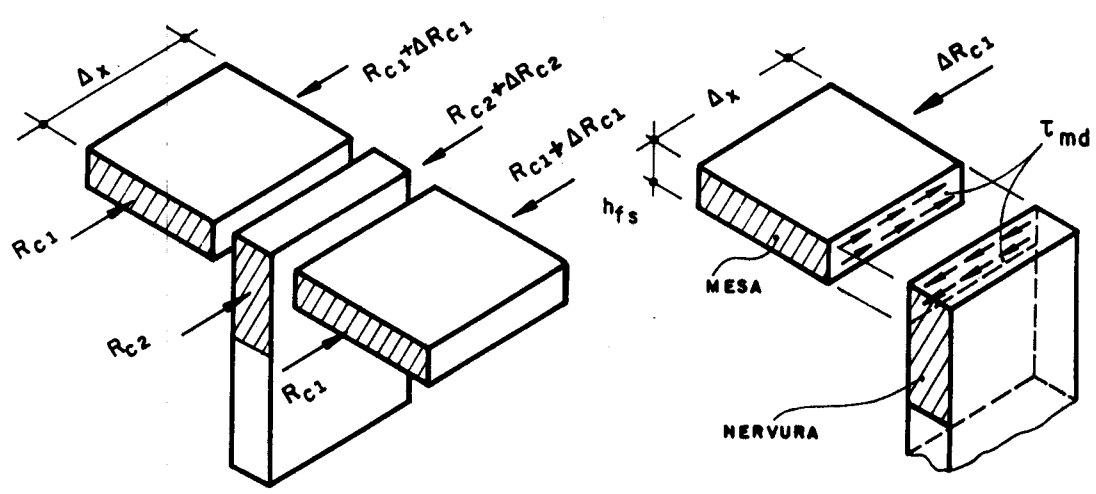


FIGURA 2.16 - TENSÕES NA LIGAÇÃO ALMA-MESA - ANDRADE⁴⁸

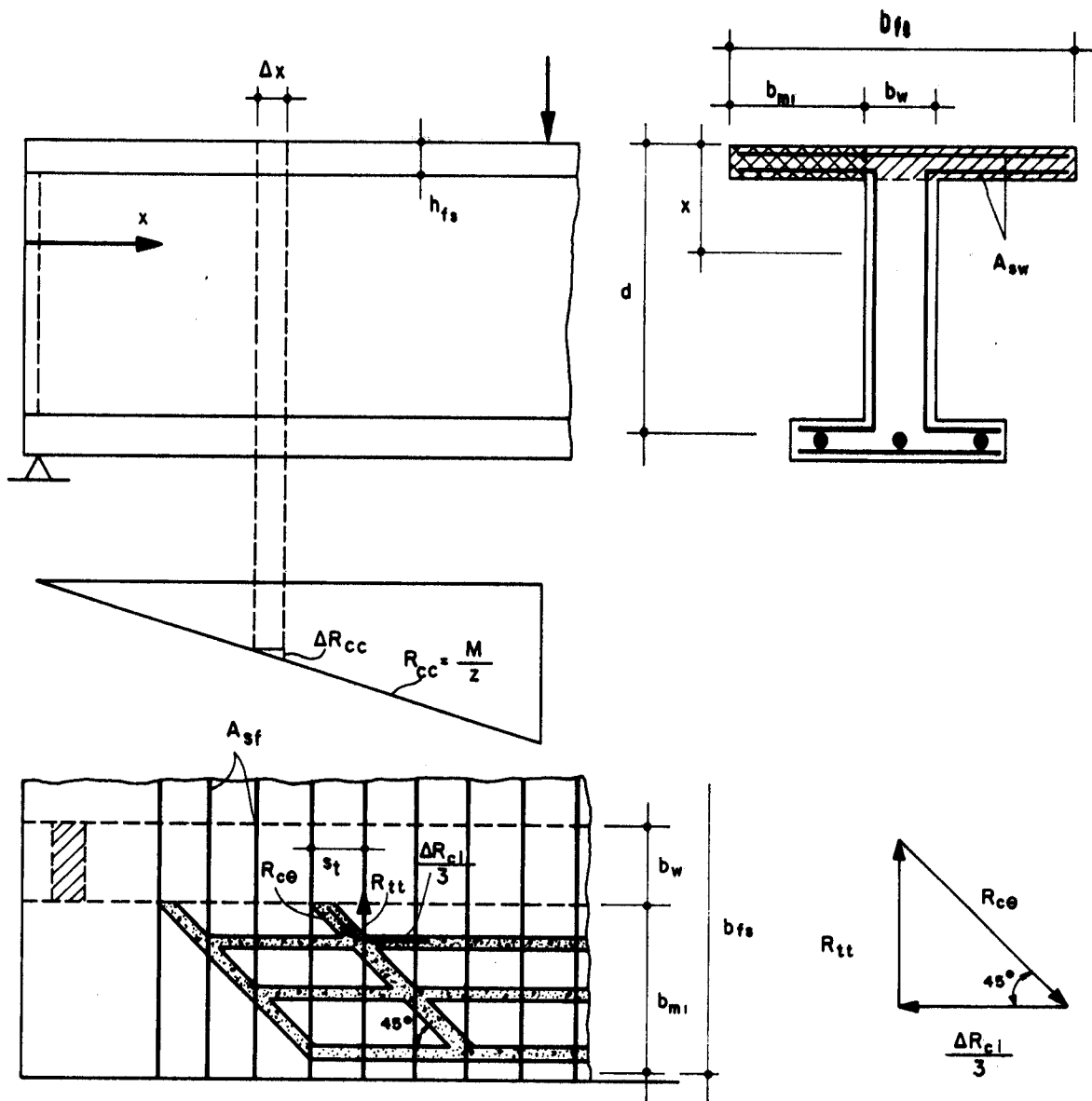


FIGURA 2.17 - MODELO DE TRELIÇA PARA LIGAÇÃO BANZO COMPRIMIDO COM ALMA - LEONHARDT & MÖNNIG³⁹

Dividindo ΔR_{c1} por ΔR_{cc} , tem-se:

$$\frac{\Delta R_{c1}}{\Delta R_{cc}} = \frac{\Delta \sigma_c \cdot h_{fs} \cdot b_{m1}}{\Delta \sigma_c \cdot h_{fs} \cdot b_{fs}} = \frac{b_{fs} - b_w}{2b_{fs}}$$

Sabendo que $\Delta R_{cc} = \Delta M/z$ e $V = \Delta M/\Delta x$, tem-se:

$$\Delta R_{c1} = \frac{b_{fs} - b_w}{2b_{fs}} \cdot \frac{\Delta x}{z} \cdot V \quad (2.54)$$

A força de tração R_{tt} na armadura transversal da mesa, é obtida pelo polígono das forças de um dos nós, como indicado na figura 2.17, assim: $R_{tt} = \Delta R_{c1}/3$. Nesta figura, está ilustrado um modelo simples de treliça, do mesmo modo que para as almas das vigas. Em correspondência à distância s_t das diagonais de tração da armadura de costura, a força de compressão R_{c1} na mesa é representada por três barras. As três barras da mesa comprimida, suportam cada uma $R_{c1}/3$. A direção das diagonais comprimidas corresponde à direção das trajetórias de compressão na mesa e sendo admitida como 45° nas proximidades do apoio.

O esforço de tração $R_{tt} = \Delta R_{c1}/3$ se refere à unidade de comprimento $\Delta x/3$ na armadura de costura. O esforço de tração por unidade de comprimento é dado por:

$$\frac{R_{tt}}{\Delta x/3} = \frac{\Delta R_{c1}/3}{\Delta x/3} = \frac{\Delta R_{c1}}{\Delta x} = R'_{tt}$$

Substituindo na equação 2.54, vem:

$$R'_{tt} = \frac{b_{fs} - b_w}{2b_{fs}} \cdot \frac{V}{z}$$

Supondo a armadura de costura com espaçamento s_t , tem-se:

$$\sigma_{tt} = \frac{R'_{tt}}{(A_{sf}/s_t)}, \text{ logo:}$$

$$\sigma_{tt} = \frac{V}{z \cdot (A_{sf}/s_t)} \cdot \frac{b_{fs} - b_w}{2b_{fs}} \quad (2.55)$$

que representa a tensão no aço da armadura de costura em função de sua área por unidade de comprimento.

Para o dimensionamento, considera-se a tensão no aço igual a f_{yd} , quando atua a força cortante de cálculo V_d

, assim;

$$\frac{A_{sf}}{s_t} = \frac{V_d}{z \cdot f_{yd}} \cdot \frac{1}{2} \cdot \left(1 - \frac{b_w}{b_{fs}} \right) \quad (2.56)$$

2.1.3.2 Ligação com Banzo Tracionado

A força ΔR_{t1} na armadura longitudinal A_{s1} de um dos lados da mesa de largura b_{m1} , indicada na figura 2.18, deve ser absorvida através de diagonais comprimidas a 45° . Supondo tensões iguais em todas as barras da armadura longitudinal (desprezando-se o deslocamento a_ℓ), tem-se:

$$\Delta R_{t1} = \sigma_{st} \cdot A_{s1} \quad \text{e} \quad \Delta R_{st} = \sigma_{st} \cdot A_s$$

Sendo $\Delta R_{st} = \Delta M/z$ e $V = \Delta M/\Delta x$ e dividindo-se ΔR_{t1} por ΔR_{st} , tem-se:

$$\frac{\Delta R_{t1}}{\Delta R_{st}} = \frac{\sigma_{st} \cdot A_{s1}}{\sigma_{st} \cdot A_s}$$

$$\Delta R_{t1} = \frac{A_{s1}}{A_s} \cdot \frac{V \cdot \Delta x}{z} \quad (2.57)$$

Do polígono das forças, obtém-se o esforço de tração que se refere à unidade de comprimento, na armadura de costura perpendicular ao plano da alma:

$$\frac{R_{tt}}{\Delta x/3} = \frac{\Delta R_{t1}/3}{\Delta x/3} = \frac{\Delta R_{t1}}{\Delta x} = R'_{tt}$$

Substituindo na equação 2.57, vem:

$$R'_{tt} = \frac{A_{s1}}{A_s} \cdot \frac{V}{z}$$

Sendo $\sigma_{tt} = \frac{R'_{tt}}{(A_{sf}/s_t)}$, obtém-se:

$$\sigma_{tt} = \frac{A_{s1}}{A_s} \cdot \frac{V}{z \cdot (A_{sf}/s_t)} \quad (2.58)$$

(2.58)

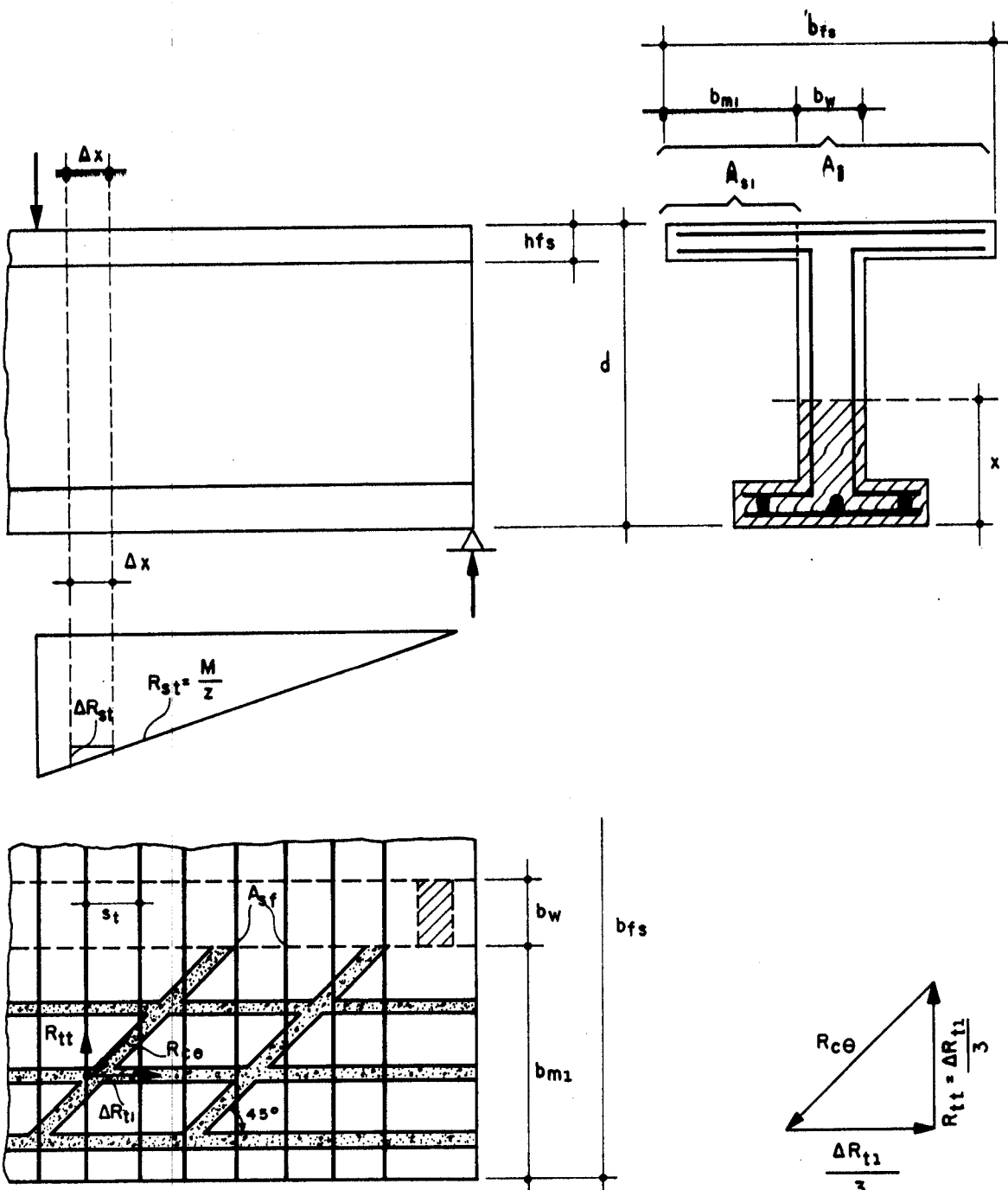


FIGURA 2.18 - MODELO DE TRELIÇA PARA LIGAÇÃO BANZO TRACIONADO COM ALMA - LEONHARDT & MÖNNIG³⁹

Para o dimensionamento:

$$\frac{A_{sf}}{s_t} = \frac{A_{s1}}{A_v} \cdot \frac{V}{z \cdot f_{yd}} \quad (2.59)$$

2.2 CRITÉRIOS DAS NORMAS NACIONAIS E ESTRANGEIRAS

2.2.1 CRITÉRIOS DA NBR 11.173/89 - ABNT

2.2.1.1 Considerações Iniciais

O dimensionamento e a verificação de peças de argamassa armada submetidas à força cortante deve ser feito de acordo com a NBR 11.173¹, que para esta finalidade, indica as prescrições da NBR 6118².

Os dispositivos da NBR 6118² referentes à força cortante foram alterados e incluídos no ANEXO da NBR 7197⁴⁹ para Estruturas de Concreto Protendido.

A normas brasileiras seguem a teoria clássica da Treliça de Mörsch, sendo que, para o dimensionamento da armadura transversal, permite-se reduzir a tensão de cisalhamento de uma parcela (τ_c) que é absorvida pelo banzo comprimido inclinado e pelas diagonais comprimidas, de acordo com a analogia da treliça generalizada.

2.2.1.2 Determinação da Armadura de Cisalhamento (A_{sv}) e da Força Cortante Resistente de Cálculo (V_d)

O valor de cálculo da tensão convencional de cisalhamento no concreto das almas das vigas, prescrito pela

NBR 6118², é dado por:

$$\tau_{wd} = \frac{V_d}{b_w \cdot d} \quad (2.60)$$

onde:

V_d = força cortante de cálculo ($\gamma_f \cdot V_k$);

b_w = espessura da alma da viga;

d = altura útil;

γ_f = coeficiente de ponderação das ações dado pela NBR 8681⁵⁰;

V_k = força cortante característica.

O limite superior da tensão de cisalhamento (τ_{wu}) para evitar a ruptura da biela comprimida, de acordo com o Anexo da NBR 6118², para peças lineares com $b_w < 5h$, é dado pela seguinte expressão:

$$\tau_{wu} = 0,30 f_{cd} \leq 4,5 \text{ MPa} \quad (2.61)$$

Em termos de força cortante de cálculo, para evitar a ruptura das diagonais de compressão:

$$V_d = 0,30 \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d \leq 4,5 \cdot b_w \cdot d \quad (\text{MPa, N e mm});$$

HANAI [1981]⁷ alerta que, para a argamassa armada, devido à maior quantidade de armadura na alma, constituída de telas, deve-se considerar o efeito negativo das mesmas na resistência das bielas de compressão. Este fato poderá implicar em alterações no critério de resistência acima sugerido, que foi deduzido para o concreto armado.

De acordo com LEONHARDT & MÖNNIG [1977]³⁹ por razões construtivas, é imposto o limite superior de 7 MPa para τ_{wu} , porque neste caso, não é possível acomodar adequadamente a armadura de cisalhamento necessária em almas delgadas. Além disso, barras grossas em almas delgadas, podem causar o fendilhamento do concreto.

Segundo AMARAL [1974]⁴⁴, o limite superior de $\tau_{wu} \leq 4,5$ MPa é imposto porque, para concretos de alta resistência, deixa de haver proporcionalidade entre τ_{wu} e f_{cd} , bem como, no sentido de evitar peças muito esbeltas.

O cálculo da armadura transversal é feito de acordo com a teoria clássica da Treliça de Mörsch, com inclinação das bielas comprimidas $\theta = 45^\circ$ e armadura transversal vertical.

A equação 2.46 fornece a área da armadura de cisalhamento por unidade de comprimento (A_{sw}/s_t). Chamando: $a_{sw} = A_{sw}/(s_t \cdot n)$ (área da armadura transversal por unidade de comprimento em cm^2/m , já dividida pelo número de telas posicionadas na alma da viga), tem-se:

$$a_{sw} = \frac{A_{sw}}{s_t \cdot n} = \frac{\tau_d}{f_{ywd}} \cdot b_w \cdot \frac{100}{1} \cdot \frac{1}{n} \quad [\text{cm}^2/\text{m}] \quad (2.62)$$

onde:

Constante 100 \rightarrow permite calcular a armadura em cm^2/m ;

n = número de ramos da armadura transversal (número de telas);

f_{ywd} = valor da resistência de cálculo da armadura, limitado pela NBR 6118² em 435 MPa, tendo em vista, diminuir a abertura de fissuras de cisalhamento e os problemas de ancoragem dos estribos na zona compressão. HANAI [1981]⁷, mais uma vez aconselha uma revisão também neste limite, quando afirma que a ancoragem da armadura transversal em geral é boa e que a armadura finamente distribuída, possibilita a limitação da abertura de fissuras de cisalhamento, para o caso de peças de argamassa armada;

s_t = espaçamento entre os estribos em cm;

τ_d = valor reduzido da tensão de cisalhamento no concreto dado pela NBR 6118² de acordo com a expressão:

$$\tau_d = 1,15 \tau_{wd} - \tau_c > 0 \quad (2.63)$$

Na equação 2.63 é utilizado o coeficiente 1,15 ($z \approx d/1,15$) para relacionar a tensão convencional de cisalhamento τ_{wd} com a tensão de cisalhamento $\tau_{Od} = V_d / (b_w \cdot z)$ no centro de gravidade da seção; τ_c é a parcela fixa de redução da tensão convencional de cisalhamento, já majorada de 1,15 e que significa a parte do esforço cortante absorvido pelo banzo comprimido inclinado e pelas diagonais comprimidas de acordo com a treliça generalizada, como já foi mencionado no item 2.1.2.4, de acordo com LEONHARDT & MÖNNIG [1982]³⁹. O valor de τ_c , cujos comentários podem ser encontrados em FUSCO [1982]⁴², foi determinado até o momento, de forma empírica e com base em muitos resultados de ensaios, sendo indicado pelo Anexo da NBR 6118² pela expressão a seguir:

$$\tau_c = \psi_1 \cdot \sqrt{f_{ck}} \quad (f_{ck} \text{ em MPa}) \quad (2.64)$$

onde:

$$\psi_1 = 0,15 \text{ (flexão simples);}$$

z = braço de alavanca dos esforços longitudinais de tração e compressão que equilibram a seção.

Deduzindo o valor de V_d da equação 2.60 e utilizando as equações 2.62 e 2.63, obtêm-se:

$$V_{ds} = \frac{b_w \cdot d}{1,15} \left[\tau_c + \frac{a_{sw} \cdot n \cdot f_{ywd}}{100 \cdot b_w} \right] \quad (2.65)$$

que é o valor da força cortante de cálculo para evitar a ruptura por força cortante - tração, ou seja, provocada pelo escoamento dos estribos, como se vê no item 2.1.2.6 b) e também deduzida por GIONGO [1990]⁶. Esta força corresponde, pela teoria apresentada, às equações 2.19, 2.39, e 2.48.

Tendo em vista o limite superior τ_{wu} , imposto pela NBR 6118², como indicado na equação 2.61, não há necessidade de se verificar a força cortante resistente para o caso de ruptura das diagonais de compressão, como se vê no item 2.1.2.6 c).

2.2.1.3 Cálculo do Braço de Alavanca do Binário das Forças nos Banzos Horizontais

Como já foi mencionado no item 2.1.2.5, o braço de alavanca no ponto de momento máximo com força cortante nula, pode ser calculado pelas relações M/R_c ou M/R_t como visualizado na figura 2.12. As resultantes R_c e R_t variam com a posição da linha neutra e esta com o valor do carregamento, podendo ser calculadas nos Estádios I, II e no Estado Limite Último.

Apresentam-se a seguir formas de cálculo para diversas posições da linha neutra, no Estado Limite Último, pela norma NBR 11.173¹.

a) Linha Neutra Cortando a Mesa Comprimida

GIONGO [1990]⁶ através da figura 2.19, fêz as seguintes definições :

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_{stsi} : 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 e fios de aço;

R_{cc} : resultante de compressão na argamassa.

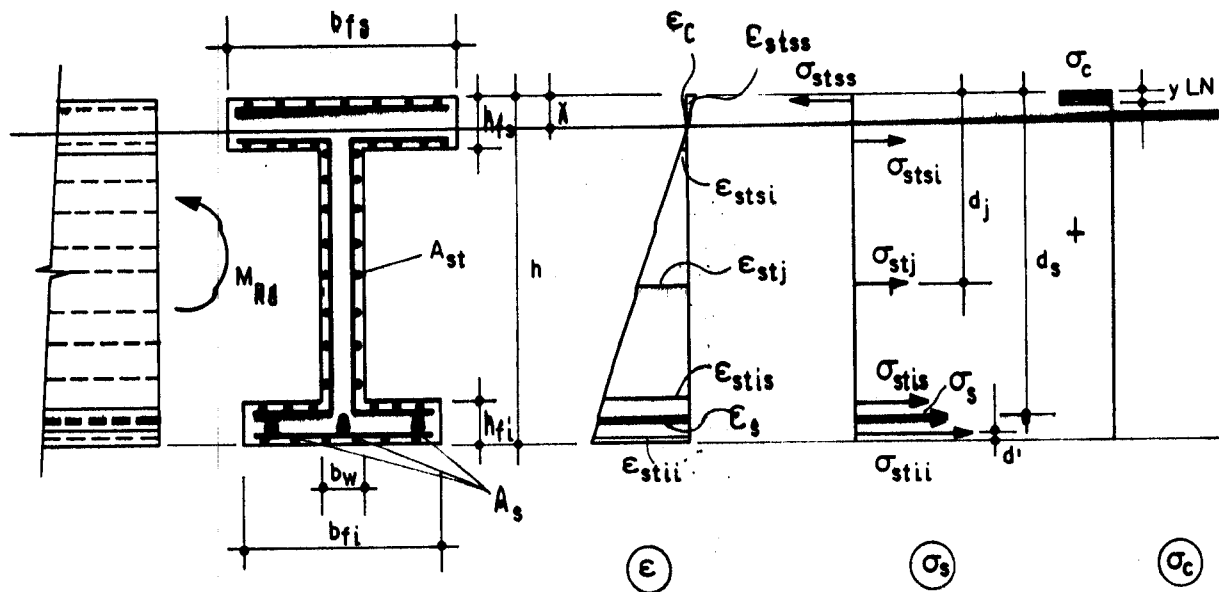


FIGURA 2.19 - FLEXÃO SIMPLES - LINHA NEUTRA NA MESA DE COMPRESSÃO - (GIONGO⁶)

Considerando o equilíbrio das forças normais, atuantes na seção transversal:

$$R_{stii} + R_{st} + R_{stis} + \sum_{j=1}^n R_{stj} + R_{stsi} - R_{stcs} = R_{cc} \quad (2.66)$$

Considerando também o equilíbrio entre o momento fletor solicitante e a soma dos momentos das resultantes em relação a um ponto qualquer da seção, no caso, em relação à resultante de compressão, tem-se:

$$\begin{aligned} M_{Rd} = & R_{stcs} \cdot (0,4x - d') - R_{stsi} \cdot (h_{fs} - d' - 0,4x) - \\ & - \sum_{j=1}^n R_{stj} \cdot (d_j - 0,4x) - R_{stis} \cdot (h - 0,4x - h_{fi} + d') - \\ & - R_{st} \cdot (d_s - 0,4x) - R_{stii} \cdot (h - 0,4x - d') \end{aligned} \quad (2.67)$$

Por fim, levando ainda em conta as equações de compatibilidade das deformações, expressas a seguir:

$$\frac{\epsilon_c}{x} = \frac{\epsilon_{stss}}{x-d'} = \frac{\epsilon_{stsi}}{h_{fs}-d'-x} = \frac{\epsilon_{stj}}{d_j-x} = \frac{\epsilon_{stis}}{h-h_{fi}+d'-x} = \frac{\epsilon_s}{d_s-x} = \frac{\epsilon_{stii}}{h-d'-x} \quad (2.68)$$

os valores das resultantes podem ser expressos do seguinte modo, como visto em GIONGO [1990]⁶.

$$R_{GG} = 0,68 \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b_{fs}$$

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

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

$$R_{stj} = n_{sj} \cdot A_{stj} \cdot \sigma_{stj}$$

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

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

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

onde:

A_{st} = área da seção transversal de um fio de tela;

n = número de camadas de fios distribuídos ao longo da altura da alma (número de telas);

n_j = número de fios que se encontram em uma mesma camada da alma ($n_{sj} = n \cdot n_j$);

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.

De posse das equações 2.66, 2.67 e 2.68 e

fazendo-se as devidas substituições, pode-se achar os valores da posição da linha neutra x , bem como, das tensões nos fios e barras, inclusive a tensão normal no banzo comprimido (σ_c).

Com esses valores, pode-se obter o seguinte:

$$R_c = R_{cc} + R_{scs} = 0,68 \cdot \sigma_c \cdot x \cdot b_{fs} + A_{sts} \cdot n_{ss} \cdot \sigma_{sts}$$

No caso do Estádio II, utiliza-se o diagrama de tensões triangular, obtendo-se:

$$R_{cc} = \sigma_{cII} \cdot b_{fs} \cdot \frac{x}{2}$$

e finalmente, a expressão de z , fica:

$$z = \frac{M}{R_c} \quad (2.69)$$

Se R_{stsi} for negativo, deve-se adicionar a R_c , a parcela $A_{stsi} \cdot n_{si} \cdot \sigma_{stsi}$.

b) Linha Neutra Cortando a Alma

Seguindo raciocínio semelhante de acordo com a figura 2.20, obtém-se:

$$R_t = A_{stii} \cdot n_{ii} \cdot \sigma_{stii} + A_s \cdot \sigma_s + A_{stis} \cdot n_{is} \cdot \sigma_{stis} + \Sigma A_{stj} \cdot n_{sj} \cdot \sigma_{stj} \quad (2.70)$$

portanto:

$$z = \frac{M}{R_t} \quad (2.71)$$

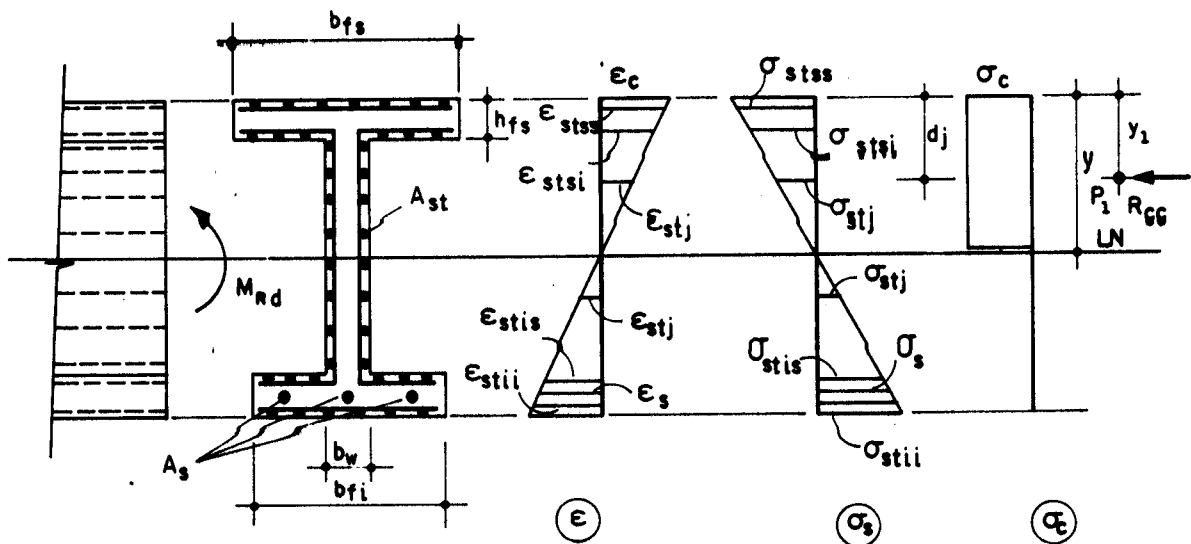


FIGURA 2.20 - FLEXÃO SIMPLES - LINHA NEUTRA NA ALMA (GIONGO⁶)

c) *Linha Neutra Cortando a Mesa Tractionada*

Do mesmo modo, como ilustrado na figura 2.21, sabendo que:

$$R_t = A_{stii} \cdot n_{ii} \cdot \sigma_{stii} + A_s \cdot \sigma_s$$

portanto:

$$z = \frac{M}{R_t} \quad (2.72)$$

Se R_{stis} for positivo, deve-se adicionar a R_t , a parcela $A_{stis} \cdot n_{is} \cdot \sigma_{stis}$.

Observe-se que a equação $z = M/R_t$ pode ser aplicada para qualquer dos casos a), b) ou c) agora estudados, tanto no Estádio II como no Estado Limite Último.

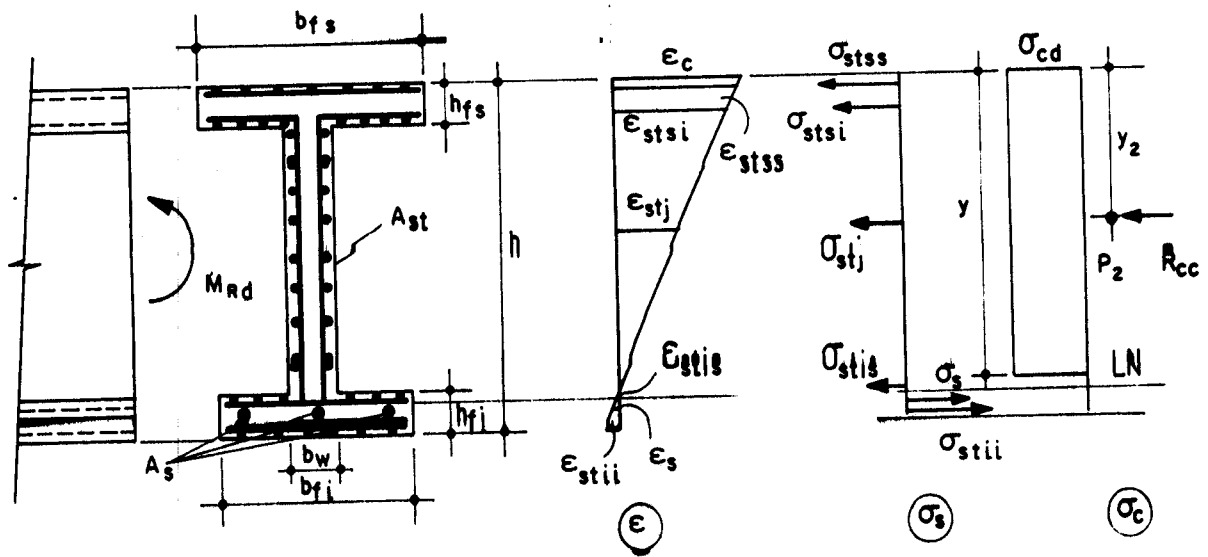


FIGURA 2.21 - FLEXÃO SIMPLES - LINHA NEUTRA NA MESA TRACIONADA (GIONGO⁶)

Os valores de R_c ou R_t podem ser calculados a partir dos resultados do programa AACALC apresentado em GIONGO [1990]⁶. Este programa foi adaptado pelo autor com o título AECALC, para o cálculo de z seguindo a metodologia agora apresentada, incluindo também a altura útil d , através do cálculo da localização da linha de ação da resultante de tração nas armaduras longitudinais, além do cálculo dos parâmetros de cisalhamento, como já comentado no item 1.4 deste trabalho. O programa AECALC está descrito no Anexo 2.

Esta metodologia apresentada para o cálculo de z , leva em conta os critérios da NBR 11.173¹ para flexão, como já foi observado no início deste item. Deve-se observar no entanto que, para o dimensionamento e a verificação à força cortante, de acordo com essa referida norma, utiliza-se a tensão $\tau_{wd} = V/(b_w \cdot d)$, corrigindo-se este valor, conforme AMARAL [1974]⁴⁴, pelo coeficiente 1,15 ($z \approx d/1,15$) no cálculo de τ_d . A adoção do coeficiente 1,15 leva a resultados aproximados, com certa precisão, para solicitações de cálculo no estado limite último. Para variações das solicitações de serviço, z e d na realidade,

variam com a posição da linha neutra. Por outro lado, tendo em vista que, no caso de vigas de argamassa armada, a armadura longitudinal de tração é constituída pelas telas da alma, a posição da linha de ação da resultante de tração na armadura longitudinal para o cálculo de d , depende também da posição da linha neutra, mas que com a utilização do programa AECALC, isto fica bastante simplificado.

Apresenta-se a seguir a metodologia de cálculo utilizada para a determinação de d e que foi implementada ao programa AECALC. A distância da resultante das tensões de tração ao bordo da mesa comprimida é determinada de acordo com as três situações apresentadas como se seguem:

a) Linha Neutra Cortando a Mesa de Tração [$x > (h - h_{f1})$]

De acordo com a figura 2.21, tem-se os seguintes casos:

a.1) Se $\sigma_{stis} \leq 0$

$$d = \frac{A_s \cdot d_s \cdot \sigma_s + A_{stii} \cdot n_{ii} \cdot \sigma_{stii} \cdot (h - d')}{A_s \cdot \sigma_s + A_{stii} \cdot n_{ii} \cdot \sigma_{stii}} \quad (2.73)$$

a.2) Se $\sigma_{stis} > 0$, deve-se adicionar ao numerador a parcela $A_{stis} \cdot n_{is} \cdot \sigma_{stis} \cdot (h - h_{f1} + d')$ e ao denominador a parcela $A_{stis} \cdot n_{is} \cdot \sigma_{stis}$ para aplicação da equação 2.73.

b) Linha Neutra Cortando à Alma [$h_{fs} \leq x \leq (h - h_{f1})$]

Para valores de σ_{stj} positivos, adiciona-se ao numerador da equação 2.73 do caso a.2), a parcela $\Sigma A_{stj} \cdot n_{sj} \cdot \sigma_{stj} \cdot d_j$ e ao denominador, a parcela $\Sigma A_{stj} \cdot n_{sj} \cdot \sigma_{stj}$, de acordo com a figura 2.20.

c) *Linha Neutra Cortando a Mesa Comprimida ($x < h_{rs}$)*

Observando a figura 2.19, para todos os fios da alma tracionados, deve-se adicionar ao numerador da equação 2.73 da situação b), a parcela $A_{stsi} \cdot n_{si} \cdot \sigma_{stsi} \cdot (h_{rs} - d')$ e ao denominador, a parcela $A_{stsi} \cdot n_{si} \cdot \sigma_{stsi}$ e assim calcular o valor de d .

Conforme as considerações feitas, pode-se observar que, a adoção do braço de alavanca z , seguindo a metodologia de cálculo apresentada neste item, apresenta resultados bastante precisos nas regiões de momento máximo e força cortante nula. O valor $z = d/1,15$, com d também calculado usando as expressões deduzidas anteriormente, pode ser utilizado na verificação das tensões dos banzos e bielas da treliça, bem como, da força cortante resistente nas regiões em que a força cortante não seja nula.

De qualquer modo, o cálculo conforme as normas brasileiras e que conduz a menores valores para o braço de alavanca no estado limite último, está a favor da segurança.

Como será visto mais adiante, no item 2.2.4.3, o CEB-90 permite utilizar as equações 2.69, 2.71 e 2.72, para o cálculo de z , quando o momento fletor mantiver o mesmo sinal, que é o caso dos modelos desta pesquisa.

Na análise dos resultados de ensaios em laboratório como será visualizado no capítulo 6, são comparados valores de V_d calculados pelo método acima mencionado, com valores experimentais.

2.2.1.4 Cálculo das Tensões Normais de Tração nos Estribos (σ_{tt}) e nas Bielas de Compressão ($\sigma_{c,45}$)

a) *Tensão Normal de Tração nos Estribos*

Da equação 2.62, substituindo f_{ywd} por σ_{tt} , vem:

$$\sigma_{tt} = \frac{\tau_d}{a_{sw}} \cdot b_w \cdot \frac{100}{n} \quad (2.74)$$

onde τ_d é calculado pela equação 2.63.

b) Tensão Normal na Biela de Compressão

Das equações 2.41 e 2.49, substituindo-se τ_0 por $\tau_d = 1,15 \cdot \tau_{wd} - \tau_c$, vem:

$$\sigma_{c,45} = 2 \cdot \tau_d \quad \text{ou} \quad \sigma_{c,45} = 2 \cdot (1,15 \cdot \tau_{wd} - \tau_c) \quad (2.75)$$

2.2.1.5 Efeito de Arco

O efeito de arco (viga escorada) favorável, citado no item 2.1.2.4 deste trabalho, é previsto pela NBR 6118² (anexo da NBR 7197⁴⁹ no seu item 2.3 - seções próximas aos apoios).

Este item prevê que, para cargas muito próximas aos apoios, a inclinação do banzo comprimido, (treliça generalizada) como ilustrado nas figuras 2.10 e 2.22, é bastante acentuada, de modo à transmitir diretamente a ação, do seu ponto de aplicação, ao apoio.

Assim, são feitas as seguintes prescrições de redução da força cortante de cálculo V_d próxima aos apoios:

a) A força cortante oriunda da carga distribuída, pode ser considerada, no trecho entre o apoio e a seção situada a uma distância $h/2$ da face do apoio, constante e igual à desta seção.

b) A força cortante devida a uma carga concentrada, aplicada a uma distância $a < 2h$ do eixo teórico do apoio, pode, nesse trecho de comprimento a , ser reduzida, multiplicando-se por $a/2h$; o eixo teórico do apoio é determinado pelo vão teórico, conforme a NBR 6118².

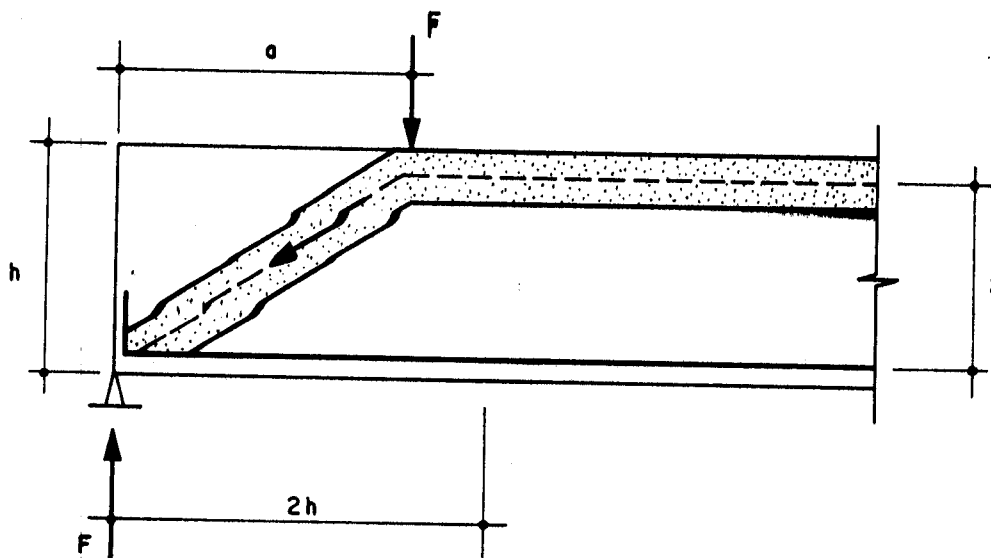


FIGURA 2.22 - EFEITO DE ARCO (VIGA ESCORADA)

c) Para verificação da tensão no concreto, feita pela comparação de τ_{wd} com τ_{wu} , não pode ser feita a redução da força cortante.

2.2.1.6 Armadura Mínima Transversal

Visando impedir uma ruptura brusca por força cortante - flexão como foi mencionado no ítem 2.1.2.6a), deve-se prever uma armadura mínima de cisalhamento. O esforço de tração absorvível deve ser maior que o esforço de tração resistido pelo concreto na alma, antes da formação das fissuras de cisalhamento (Estádio I), como descrito em LEONHARDT & MÖNNIG [1977]³⁹.

A NBR 6118² se baseia em ensaios realizados por LEONHARDT, onde se obteve $\rho_w \cdot f_{ywd} = 6\%$ em kp/mm^2 . Assim, os valores mínimos de A_{sw} são:

| | |
|---------------------------------|--------------------------|
| para aços CA-25 e CA-32: | 0,25% de $b_w \cdot s_t$ |
| para aços CA-40, CA-50 e CA-60: | 0,14% de $b_w \cdot s_t$ |

não, se tomando para b_w valores maiores que d .

Substituindo-se estes valores na equação 2.65 e homogeneizando as unidades, obtém-se a força cortante mínima a que deve resistir a seção.

$$V_{d,\min} = b_w \cdot z \cdot (\tau_c + 0,0025 \cdot f_{ywd}) \quad \text{para aços CA-25 e CA-32} \quad (2.76)$$

$$V_{d,\min} = b_w \cdot z \cdot (\tau_c + 0,0014 \cdot f_{ywd}) \quad \text{para aços CA-40, CA-50 e CA-60} \quad (2.77)$$

2.2.2 CRITÉRIOS DO ACI

O guia norte americano ACI-549³, não fornece indicações para o cálculo de peças de argamassa armada submetidas à força cortante na flexão simples, sendo que, nos casos omissos, deve-se utilizar o ACI 318-83⁵¹ de concreto armado.

Neste caso, a resistência à força cortante é fornecida pela seguinte expressão:

$$V_u \leq 0,85 \cdot V_n \quad (2.78)$$

onde:

V_u = força cortante última na seção considerada;

V_n = resistência ao cisalhamento nominal, calculada pela expressão:

$$V_n = V_c + V_s \quad (2.79)$$

V_c = resistência nominal ao cisalhamento proveniente do concreto;

V_s = resistência nominal ao cisalhamento proveniente da armadura transversal.

Para vigas sujeitas à força cortante e à flexão, V_c deve ser calculado conforme a seguinte expressão:

$$V_c = \left[\left(\sqrt{f_{ck}} + 120 \cdot \rho_s \cdot \frac{V_u \cdot d}{M_u} \right) + 7 \right] \cdot b_w \cdot d \leq 0,3 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot b_w \cdot d \quad (2.80)$$

sendo as unidades em N e mm² e onde:

M_u = momento fletor na seção correspondente a V_u . Nesta expressão, a relação $V_u \cdot d / M_u$ não deve ser maior que a unidade (V_c depende da posição da seção);

ρ_s = taxa geométrica de armadura longitudinal tracionada em relação à seção útil da alma (relativa a altura útil d)

$$\rho_s = A_s / (b_w \cdot d);$$

f_{ck} = resistência característica da argamassa à compressão em MPa.

Quando $V_u > 0,85 \cdot V_c$, deve ser usada a armadura transversal para satisfazer as equações 2.78 e 2.79. Se esta armadura for perpendicular ao eixo da peça, V_s é expressa pela seguinte equação:

$$V_s = f_{ywd} \cdot d \cdot (A_{sw} / s_t) \leq \frac{2}{3} \sqrt{f_{ck}} \cdot b_w \cdot d \quad (2.81)$$

Nos casos de armadura inclinada com ângulo α , a expressão de V_s fica:

$$V_s = (A_{sw} / s_t) \cdot f_{ywd} \cdot d \cdot (\sin \alpha + \cos \alpha) \leq \frac{2}{3} \sqrt{f_{ck}} \cdot b_w \cdot d \quad (2.82)$$

As equações 2.80, 2.81 e 2.82 seguem o Sistema Internacional de Unidades (N e mm²).

2.2.3 CRITÉRIOS DA SN 366-77

2.2.3.1 Considerações Iniciais

O COMITE FEDERAL DO CONSELHO DE MINISTROS DA URSS PARA ASSUNTOS DE ESTRUTURA através de suas instruções para o projeto de estruturas de argamassa armada (ferrocimento) - SN 366-77⁴ faz indicações para o cálculo da força cortante resistente V_d , tanto para o caso da resistência da argamassa comprimida entre fissuras de cisalhamento (bielas de compressão) como visto no item 2.1.2.6c), como para o caso de resistência das fissuras inclinadas devidas à ação da força cortante (diagonais tracionadas) de acordo com o item 2.1.2.6b).

GIONGO [1990]⁶ transcreveu com adaptações à simbologia brasileira, os diversos itens dessas instruções. A seguir, são citadas e comentadas as referidas prescrições normativas.

2.2.3.2 Determinação de V_d

a) Resistência da Argamassa Comprimida entre Fissuras de Cisalhamento - (Bielas de Compressão)

A SN 366-77 verifica a força cortante máxima, a fim de que as bielas de compressão entre as fissuras inclinadas não rompam na região comprimida. Este valor é dado pela seguinte expressão:

$$V_d \leq 0,3 \cdot \alpha_w \cdot \alpha_c \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d \quad (2.83)$$

onde:

- O coeficiente 0,3 leva em conta a influência do tipo de agregado que compõe a argamassa (engrenamento);

- O coeficiente α_w é calculado pela equação 2.84 e leva em conta a influência dos fios transversais da tela. Cabe aqui chamar atenção deste aspecto que é particular ao caso da argamassa armada e que não é levado em conta pelas normas brasileiras. Percebe-se o tratamento dado pela SN 366-77⁶ à argamassa armada, como material sinérgico para este caso, conforme referenciado em GIONGO⁶. A expressão seguinte fornece o valor de α_w :

$$\alpha_w = 1 + 15 \cdot \frac{E}{E_c} \cdot \alpha_{tw} \quad (2.84)$$

Na expressão anterior α_{tw} é o coeficiente de armação da alma da viga (taxa de armadura), dada por:

$$\alpha_{tw} = \frac{A_{swtr}}{s_r \cdot b_w} + \frac{A_{swr} \cdot f_{yd}}{s_r \cdot b_w \cdot f_{ytd}} \quad (2.85)$$

onde:

- A_{swtr} é a área da armadura transversal que compõe a tela, distribuída ao longo do comprimento da fissura inclinada e de resistência f_{ytd} ;
- A_{swr} é a área da armadura de fios ou barras transversais complementares, distribuídos ao longo do comprimento da fissura inclinada e de resistência f_{yd} ;
- s_r é a posição, no plano vertical paralelo ao eixo da viga, da fissura inclinada, cuja inclinação é adotada igual a 45°. Corresponde à projeção da fissura inclinada da alma sobre o eixo longitudinal da viga, como ilustrado na figura 2.23.
- α_c é determinado em função da resistência de cálculo da argamassa, pela seguinte expressão:

$$\alpha_c = 1 - 0,01 \cdot f_{cd} \quad (2.86)$$

com f_{cd} em MPa.

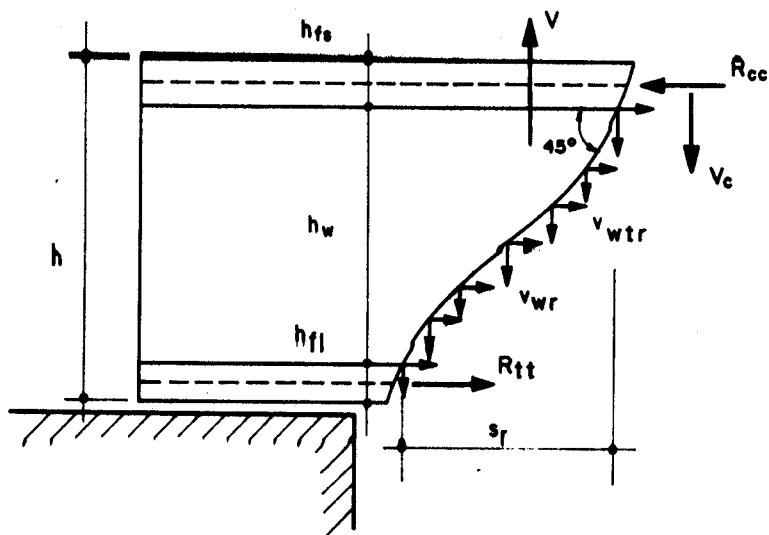


FIGURA 2.23 - SEÇÃO FISSURADA INCLINADA EM RELAÇÃO AO EIXO LONGITUDINAL - SN 366⁴

b) Resistência das Diagonais Tencionadas Transversais às Fissuras Inclinadas

A verificação da segurança é feita a partir da condição:

$$V_d \leq V_t + V_c \quad (2.87)$$

onde:

V_d = força cortante de cálculo;

V_t = parcela da força cortante absorvida pelos fios transversais que passam pela fissura inclinada, como ilustrado na figura 2.23 e dada pela seguinte expressão: $V_t = (v_{wtr} + v_{wr}) \cdot s_r$;

v_{wtr} e v_{wr} são forças cortantes distribuídas ao longo de s_r devidas à tela (t) e aos fios complementares;

V_c = parcela absorvida pela região comprimida da argamassa armada na seção inclinada.

Levando-se em consideração a equação 2.85, o valor de V_t fica expresso por:

$$V_t = \frac{f_{td} \cdot \alpha_{tw} \cdot b}{\text{sen}(90 - \beta)} \cdot s_r \quad (2.88)$$

onde, β é o ângulo de inclinação da alma do elemento com relação ao eixo vertical, contido na seção transversal do elemento. Este valor corresponde ao da equação 2.39.

A contribuição da argamassa é determinada pela seguinte expressão:

$$V_c = \frac{0,75 \cdot f_{td} \cdot b \cdot h^2}{s_r \cdot \text{sen}(90 - \beta)} \quad (2.89)$$

V_c corresponde à força cortante absorvida, devida a τ_c , definida no ítem 2.1.2.4.

A SN 366-77⁴ permite adotar $s_r = h - h_{fs} - h_{fi}$ quando a zona comprimida da viga se encontra na mesa superior.

Resultados experimentais encontrados por GIONGO [1990]⁶ mostraram-se mais próximos de V_d calculados pela SN 366-77⁴ (específica para argamassa armada), do que pela NBR 11.173¹ (NBR 6118²) que se baseia na teoria clássica da Trelíça de Mörsch para concreto armado.

O dimensionamento da armadura transversal pode ser obtido das equações 2.85, 2.88 e 2.89. No caso da tensão de compressão na biela comprimida, pode-se usar as equações 2.83, 2.84, 2.85 e 2.86 substituindo-se f_{cd} por $\sigma_{c\theta}$ e V_d por V .

2.2.4 CRITÉRIOS DO CEB-90

2.2.4.1 Considerações Iniciais

Chama-se atenção para o fato de que estes requisitos se referem ao concreto armado, mas que com adaptações; podem ser aplicados à argamassa armada.

2.2.4.2 Condições para Aplicação dos Modelos

a) A taxa mecânica da armadura dos estribos não deve ser menor do que 0,2, isto é:

$$\omega_{sw} = A_{sw} \cdot f_{yk} / (b_w \cdot s_t \cdot f_{tm} \cdot \text{sen } \alpha) \geq 0,2 \quad (2.90)$$

onde:

s_t = espaçamento entre os estribos (A_{sw}) medido ao longo do eixo da peça;

$$f_{tm} = 1,40 \cdot \left(\frac{f_{ck}}{10} \right)^{2/3}, \quad (\text{em MPa}) \quad (2.91)$$

b) A inclinação dos estribos em relação ao eixo da barra deverá ser de no mínimo 45° e de barras curvadas de pelo menos 30° ;

c) O espaçamento das pernas dos estribos (ambas na direção longitudinal e transversal) não deverá normalmente exceder $0,75 \cdot d$ e 800 mm;

d) Armaduras transversais deverão ser adequadamente ancoradas nos banzos.

O modelo de comprimento unitário fundamental, de um trecho típico de nervura de viga, resistindo ao cisalhamento e aos efeitos de ações axiais, é apresentado na figura 2.24.

O ângulo θ entre a biela comprimida e os banzos pode ser escolhido livremente na faixa de 45° ($\text{arccotg } 1$) a

18,4° (arccotg 3).

O uso de valores altos para cotg θ , aumenta as tensões na armadura transversal entre o estágio de fissuras de cisalhamento e o Estado Limite Último e também aumenta a necessidade na extensão da ancoragem da armadura principal.

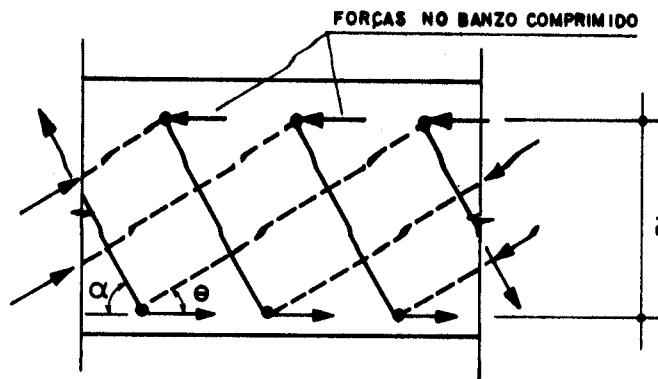


FIGURA 2.24 - MODELO DE NERVURA - CEB/90⁵

O máximo valor absoluto da resistência ao cisalhamento para uma dada seção e uma dada resistência do concreto é obtida com $\theta = 45^\circ$, pela expressão a seguir:

$$V_{Rd,max} = \frac{f_{cd2}}{2} \cdot b_w \cdot z \cdot (1 + \cotg \alpha) \quad (2.92)$$

onde:

$$f_{cd2} = 0,60 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) \cdot f_{cd} \quad (\text{em MPa}) \quad (2.93)$$

válido para a condição de que a deformação máxima da fibra extrema de compressão seja tomada igual a:

$$\epsilon_{cu}^* = 0,004 - 0,002 \cdot \frac{f_{ck}}{100} \quad (\text{em MPa}) \quad (2.94)$$

A equação 2.92 pode ser obtida a partir da equação 2.25, para $\theta = 45^\circ$. O CEB-90⁵ observa que valores de $\theta > 45^\circ$, teoricamente implicariam em resultados maiores para $V_{Rd,max}$, mas isto ainda não foi verificado experimentalmente.

Observa-se que o CEB-90⁵ utiliza o modelo de treliça de banzos paralelos como já estudado no item 2.1.2.2 deste trabalho.

A armadura longitudinal tracionada deve normalmente estar contida dentro da gaiola do estribo.

2.2.4.3 Vigas de Concreto Armado com Banzos Paralelos

O CEB-90⁵ apresenta alguns modelos, dos quais, o que interessa para este estudo, é aquele de viga apoiada submetida à ação concentrada, apresentada na figura 2.25.

No código modelo, também se consideram os efeitos de forças normais externas, que para o caso deste trabalho, não são necessários e por isso, são omitidos.

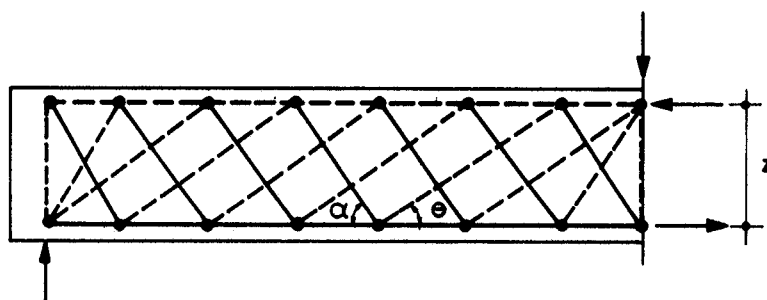


FIGURA 2.25 - MODELO PARA VIGA DE CONCRETO ARMADO COM BANZOS PARALELOS - FORÇA CONCENTRADA - CEB/90⁵

Deve-se levar em conta que, no caso de forças concentradas verticais, é considerado o efeito de "leque", ou seja, do ponto de aplicação da força saem mais de uma biela de compressão.

Os valores do braço de alavanca z e da altura x da zona comprimida (linha neutra), através da uma região na qual os momentos fletores mantêm o mesmo sinal, podem ser tomados iguais aos valores na seção de máximo momento fletor M_d .

Cabe aqui observar que, de acordo com o CEB-90, em vez do valor $z = d/1,15$ utilizado pela NBR 6118², pode-se utilizar o valor de z calculado de acordo com as equações 2.69, 2.71 e 2.72 do item 2.2.1.3 para a região de máximo momento fletor e força cortante nula, desde que o momento fletor conserve o mesmo sinal.

Devem ser feitas quatro verificações para segurança, como a seguir descritas:

a) Banzo Tracionado

Força solicitante no banzo tracionado

$$F_{St} = \frac{|M_d|}{z} + \frac{V}{2} \cdot (\cotg \theta - \cotg \alpha) \quad (2.95)$$

(esta expressão está de acordo com a equação 2.29, deduzida no item 2.1.2.2c).

No caso de forças/reações de apoio aplicadas de modo a criar compressão transversal ao longo da altura da viga:

$$F_{St} \leq \frac{M_{d, \max}}{z} \quad (2.96)$$

Força Resistente no Banzo Tracionado

Estando toda a armadura tracionada contida na largura da alma:

$$F_{Rt} = A_s \cdot f_{yd} \quad (2.97)$$

Observe-se também, que o CEB-90⁵ prevê forças de protensão, o que não é o caso deste estudo e por isso, este efeito foi omitido.

Nos casos em que algumas das barras tracionadas estejam fora da largura da alma, a força a ser resistida pela armadura é geralmente maior que a força no banzo. Isto entretanto é limitado pela equação 2.96, nos casos da viga suportar carregamento direto, ou seja, aquele em que a ação externa tende a comprimir os planos horizontais da viga..

b) Banzo Comprimido

Força Solicitante no Banzo Comprimido

$$F_{Sc} = \frac{M_d}{z} - \frac{V_d}{2} \cdot (\cotg \theta - \cotg \alpha) \quad (2.98)$$

Esta equação é a mesma equação 2.33 deduzida no item 2.1.2.2d) deste trabalho. A equação 2.98 só não é aplicada na seção de momento máximo, onde para carregamento direto:

$$F_{Sc} = |M_{d,max}| / z \quad (2.99)$$

Força Resistente no Banzo Comprimido

$$F_{Rc} = f_{cd1} \cdot A_c + f_{ycd} \cdot A_{sc} \quad (2.100)$$

onde:

f_{ycd} = resistência da armadura comprimida de área A_{sc} ;

$$f_{cd1} = 0,85 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) \cdot f_{cd} \quad (\text{em MPa}) \quad (2.101)$$

A_c = área da seção transversal do banzo comprimido.

c) *Compressão na Biela de Concreto*

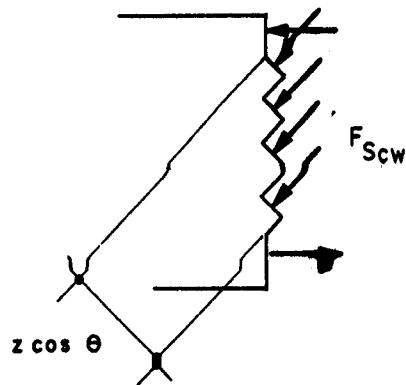


FIGURA 2.26 - COMPRESSÃO NA BIELA DE CONCRETO - CEB/90⁵

Força Solicitante na Biela

$$F_{Scw} = \frac{V_d}{\text{sen } \theta} \cdot \left(\frac{\text{cotg } \theta}{\text{cotg } \theta + \text{cotg } \alpha} \right) \quad (2.102)$$

Esta equação pode ser deduzida a partir da equação 2.23 do ítem 2.1.2.2b) deste trabalho, substituindo-se $\sigma_{c\theta,\alpha}$ por $F_{Scw}/(b_w \cdot z \cdot \cos \theta)$ de acordo com a figura 2.26, e $\cos \theta/\text{sen } \theta$ por $\text{cotg } \theta$.

Força Resistente na Biela

$$F_{Rcw} = f_{cd2} \cdot b_w \cdot z \cdot \cos \theta \quad (2.103)$$

onde f_{cd2} é dado pela equação 2.93.

d) *Tração na Armadura Transversal*

Força Solicitante

$$F_{Stw} = \frac{V_d}{\text{sen } \alpha} \quad (2.104)$$

Força Resistente

$$F_{Rtw} = \left(\frac{A_{sw} \cdot f_{yd}}{s_t} \right) \cdot z \cdot (\cotg \theta + \cotg \alpha) \quad (2.105)$$

Esta equação pode ser deduzida da equação 2.15 do ítem 2.1.2.2a) fazendo $\sigma_{tt,\alpha} = f_{yd}$ e $V = F_{Rtw} \cdot \text{sen } \alpha$, como ilustrado na figura 2.27.

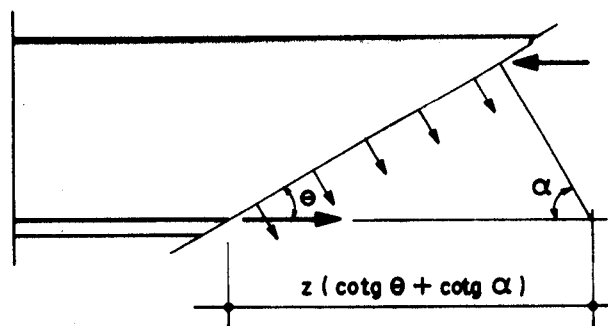


FIGURA 2.27 - TRAÇÃO NA ARMADURA TRANSVERSAL - CEB/90⁵

2.2.4.4 Formação de Leque

As fórmulas apresentadas pelo CEB-90⁵ coincidem com aquelas deduzidas para a treliça de banzos paralelos, vistas no ítem 2.1.2.2.

No modelo sugerido na figura 2.25, as ações concentradas e as reações de apoio, são transmitidas a uma quantidade de estribos necessária para equilibrá-los, através de bielas radiais, devido ao efeito de leque como pode ser constatado em MacGREGOR⁴⁶ (citado em SILVA [1991]⁴⁷). Ali, é utilizado o modelo de treliça plástica, onde se assume que, a força cortante integral é resistida pelos estribos, os quais atingem o escoamento todos ao mesmo tempo em que a carga de ruptura é alcançada. É suposto portanto, que todos os estribos escoam e que cada um deles transmite uma força $A_{sw} \cdot f_{yd}$ através da fissura.

Procedendo-se desse modo, a treliça que inicialmente era hiperestática, torna-se estaticamente determinada. As peças devem ser projetadas de modo que haja o escoamento dos estribos antes do esmagamento do concreto, para que assim, se possa evitar uma ruptura súbita.

Portanto, somente na região do vão compreendida entre os leques, é que as tensões de compressão são formadas por bielas de inclinação θ suposta constante, podendo-se assim, aplicar as equações sugeridas neste item.

2.2.4.5 Procedimento para Verificação

O CEB-90⁵ permite, para a região de uma barra fletida, na qual o momento fletor mantém o mesmo sinal e a seção transversal se mantém constante, o procedimento de verificação como descrito a seguir:

I) A seção de momento fletor máximo é projetada à flexão, de acordo com métodos usuais da estática, a menos que condições de carregamento indireto, (com tensões de tração nos planos horizontais da viga) ou reações de apoio, exijam o modelo ilustrado na figura 2.28 na qual a resistência do banzo tracionado deva ser aumentada de modo apropriado, utilizando-se a equação 2.95;

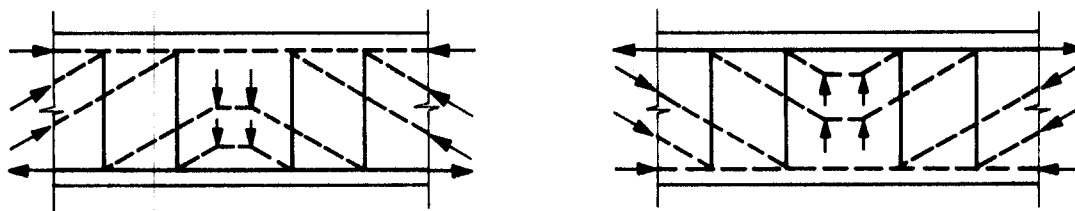


FIGURA 2.28 - MODELOS PARA AÇÕES E REAÇÕES DISTRIBUIDAS AO LONGO DA ALTURA - CEB/90⁵

II) A resistência da biela comprimida é verificada na seção de máxima força cortante;

III) A resistência da armadura transversal é verificada utilizando-se as equações 2.104 e 2.105:

a) Para a região adiante do apoio de $z \cdot \cotg \theta$ em casos de carregamento direto como indicado na figura 2.29. A armadura determinada a $z \cdot \cotg \theta$ do apoio, continua ao longo do referido apoio (veja indicação V a seguir, para casos onde forças maiores atuam próximas ao apoio);

b) Para a região total em casos de carregamento indireto ou suspenso, como indicado na figura 2.28.

IV) A possibilidade da interrupção da armadura principal é determinada pelas equações 2.95 e 2.97;

Altos valores de $\cotg \theta$ conduzem a baixas quantidades de estribos mas aumentam as forças na armadura principal nas regiões de baixos momentos fletores.

A quantidade otimizada de estribos verticais é obtida para:

$$\cotg \theta_{11m} = \sqrt{\frac{b_w \cdot s_t \cdot f_{cd2}}{A_{sw} \cdot f_{ywd}} - 1} \leq 3 \quad (2.106)$$

A equação 2.106 do CEB-90⁵ pode ser deduzida a partir das equações 2.50, 2.102 e 2.103 para estribos verticais, com algumas transformações trigonométricas. O ângulo θ_{11m} representa o ângulo de inclinação das bielas comprimidas para o qual há um aproveitamento integral das resistências do concreto e do aço. Neste caso $\sigma_{c\theta} = f_{cd2}$ e $\sigma_{tt} = f_{ywd}$.

V) No caso de uma força cortante na qual uma grande parte do carregamento seja aplicado até uma distância $z \cdot \cotg \theta$ ($\leq 3 \cdot z$) de um apoio, o parágrafo III anterior, permite que a armadura transversal seja utilizada somente para pequenos

esforços. Isto implica nas seguintes consequências:

a) A força de compressão inclinada no apoio pode aumentar e deve ser verificado para que tensões de compressão nos nós não sejam excessivas;

b) A força na armadura longitudinal principal requerendo ancoragem em um apoio simples é aumentada e a adequação da ancoragem deve ser verificada;

c) Se ocorrerem fissuras de cisalhamento no estado limite de utilização, a quantidade de armadura transversal, para o combate à abertura das fissuras indicadas, pode ser muito pequena e o critério de utilização pode ser violado. Na ausência de um cálculo mais preciso, a força cortante de fissuração no cisalhamento pode ser estimada como:

$$V_r = 0,15 \cdot (3 \cdot d / a_v)^{1/3} \cdot \xi \cdot (100 \cdot \rho_s \cdot f_{ck})^{1/3} \cdot b_{red} \cdot d \quad (2.107)$$

onde:

a_v = distância da maior força ao apoio;

$$\xi = 1 + \sqrt{200/d} \quad \text{com } d \text{ em mm;}$$

ρ_s = taxa de armadura de flexão tracionada ($A_s / b_w \cdot d$) ancorada no apoio;

b_{red} = largura reduzida da alma para os casos em que $\Sigma\phi > b/6$ ou $\Sigma\phi$ maior do que 4% da zona comprimida:

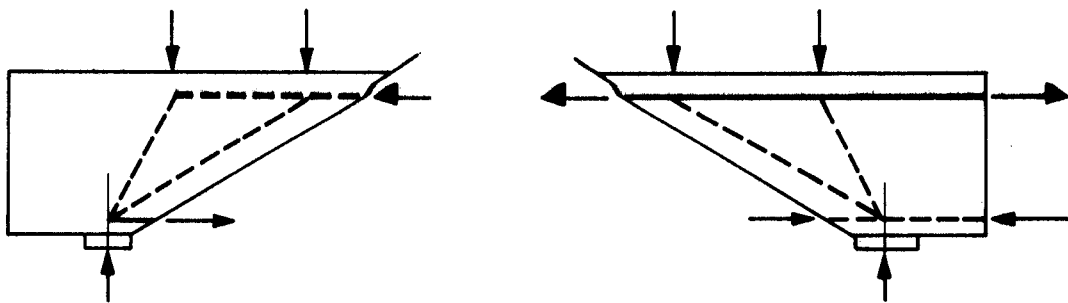
$$b_{red} = b_w - \eta \cdot \Sigma\phi ;$$

b_w = largura da alma;

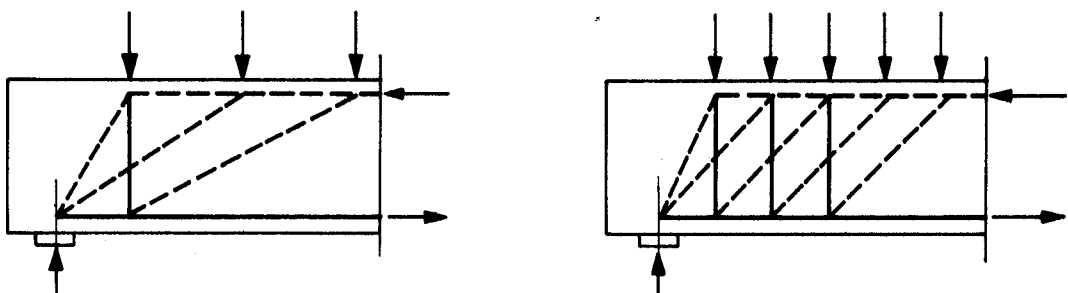
$\Sigma\phi$ = soma dos diâmetros das barras ou bainhas obtidas no nível mais desfavorável;

η = coeficiente dependente da natureza das barras ou bainhas. Para concreto armado $\eta = 0,5$;

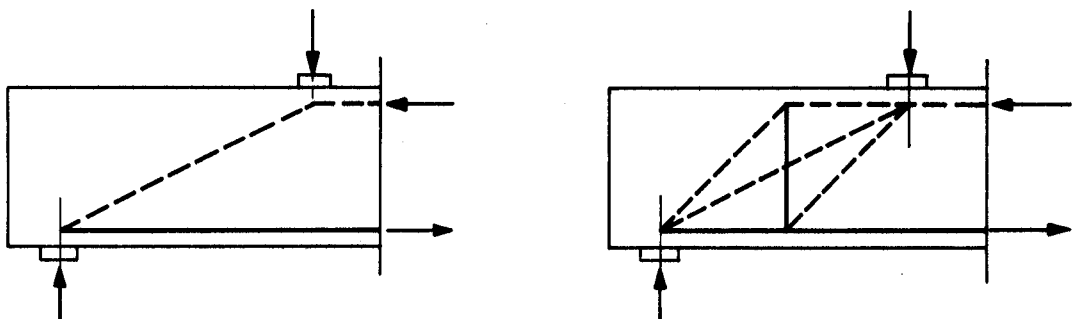
$(3.d/a_v)^{1/3}$ = expressão empírica dada pela influência da compressão transversal proveniente do carregamento e reações de apoio.



a) REAÇÃO A FORÇAS PRÓXIMAS AOS APOIOS POR BIELAS DIRETAS



b) APROVEITAMENTO DAS CONDIÇÕES DE UM APOIO PELO INCREMENTO DO ÂNGULO θ



c) APROVEITAMENTO PELA DIVISÃO DA FORÇA CONCENTRADA ENTRE UMA BIELA DIRETA E UM SISTEMA DE TRELIÇA

FIGURA 2.29 - CARREGAMENTO DIRETO PRÓXIMO AOS APOIOS - CEB/90⁵

Se estas recomendações apresentarem dificuldades para o projeto, podem ser improvisadas condições pelo acréscimo do ângulo θ das bielas de compressão como indicado na figura 2.29b) ou pela divisão do carregamento entre uma biela direta e um modelo de treliça, como pode ser visto na figura 2.29c). No último caso, as condições no apoio podem ser verificadas para a resultante das duas bielas inclinadas.

2.2.4.6 Estribos e Dimensões Mínimas (Prescrições)

- O diâmetro máximo das barras lisas da armadura transversal é de 12 mm;

- O espaçamento máximo s_{\max} de várias camadas de armadura transversal é definido pelas condições seguintes:

$$F_{Scw} \leq \frac{1}{5} \cdot F_{Rcw} : s_{\max} = 0,7 \cdot d < 300 \text{ mm}$$

$$F_{Scw} \leq \frac{2}{3} \cdot F_{Rcw} : s_{\max} = 0,6 \cdot d < 300 \text{ mm} \quad (2.108)$$

$$F_{Scw} > \frac{2}{3} \cdot F_{Rcw} : s_{\max} = 0,3 \cdot d < 200 \text{ mm}$$

- A armadura mínima depende da resistência do concreto e da resistência do aço. O CEB-90⁵ define taxas de armaduras mínimas em forma de tabela para cada tipo de concreto e cada tipo de aço (tabela 9.2.1, do Código Modelo).

2.2.4.7 Cisalhamento Longitudinal em Seções T

A armadura necessária, de acordo com o CEB-90⁵, para transmitir o cisalhamento longitudinal em seções T pode ser determinada como modelos de treliça, tais como os indicados na figura 2.30.

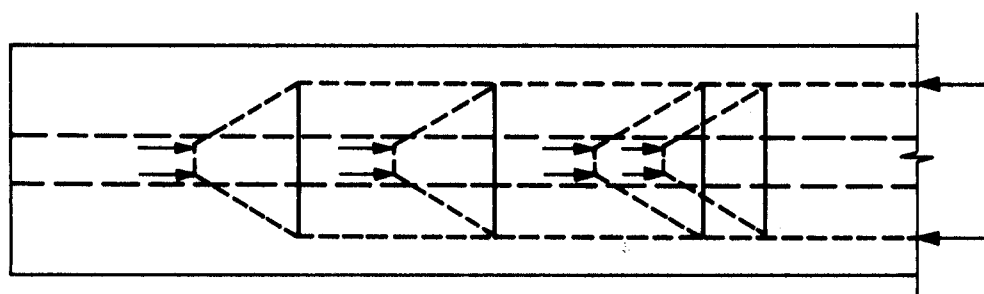
Ao longo do eixo da viga, a distribuição do cisalhamento longitudinal entre a alma e a mesa, poderá ser determinada a partir de modelos de armação usados para a alma.

O cisalhamento longitudinal v , por unidade de comprimento do eixo da viga, é determinado pela variação de forças normais (longitudinais) nas partes das mesas em consideração.

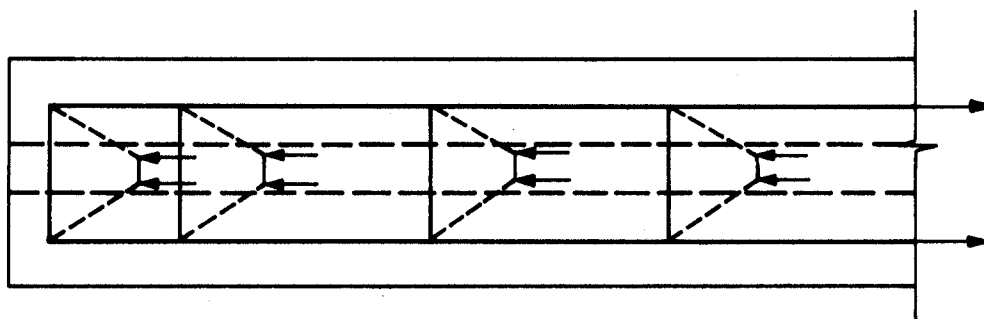
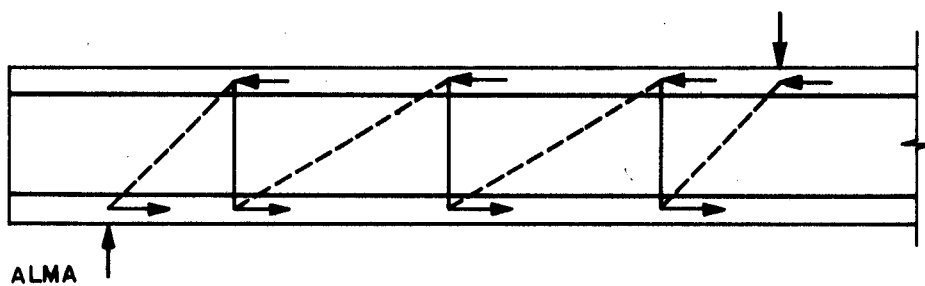
$$v = \frac{\Delta F}{\Delta x} \quad (2.109)$$

onde:

- Δx é o comprimento em consideração;



MESA COMPRIMIDA



MESA TRACIONADA

FIGURA 2.30 - CISALHAMENTO LONGITUDINAL MODELOS DE TRELIÇA PARA UMA VIGA I - CEB/90⁵

- ΔF é a alteração na força normal na parte da mesa ao longo do comprimento Δx .

A armadura transversal na mesa por unidade de comprimento A_{s_f}/s_t pode ser determinada pela equação:

$$A_{s_f}/s_t \geq \frac{1}{f_y d} \cdot v \cdot \text{tg } \theta_f \quad (2.110)$$

Como simplificação, os valores seguintes de $\text{tg } \theta_f$ podem ser usados:

$\text{tg } \theta_f = 0,5$ para mesas comprimidas ($\theta_f = 26,6^\circ$);

$\text{tg } \theta_f = 0,8$ para mesas tracionadas ($\theta_f = 38,7^\circ$).

Em qualquer seção dada de uma viga, a retirada de uma barra longitudinal localizada na mesa tracionada deve ser devidamente determinada. Para este propósito, o comprimento de ancoragem da barra deve ficar suficientemente adiante da seção de sua resistência necessária. Se e for a distância entre o eixo da barra e a linha situada a $1/4$ da largura da alma, o comprimento de ancoragem da barra deve terminar pelo menos a uma distância $e \cdot \text{cotg } \theta_f$ adiante da seção dada, como ilustrado na figura 2.31.

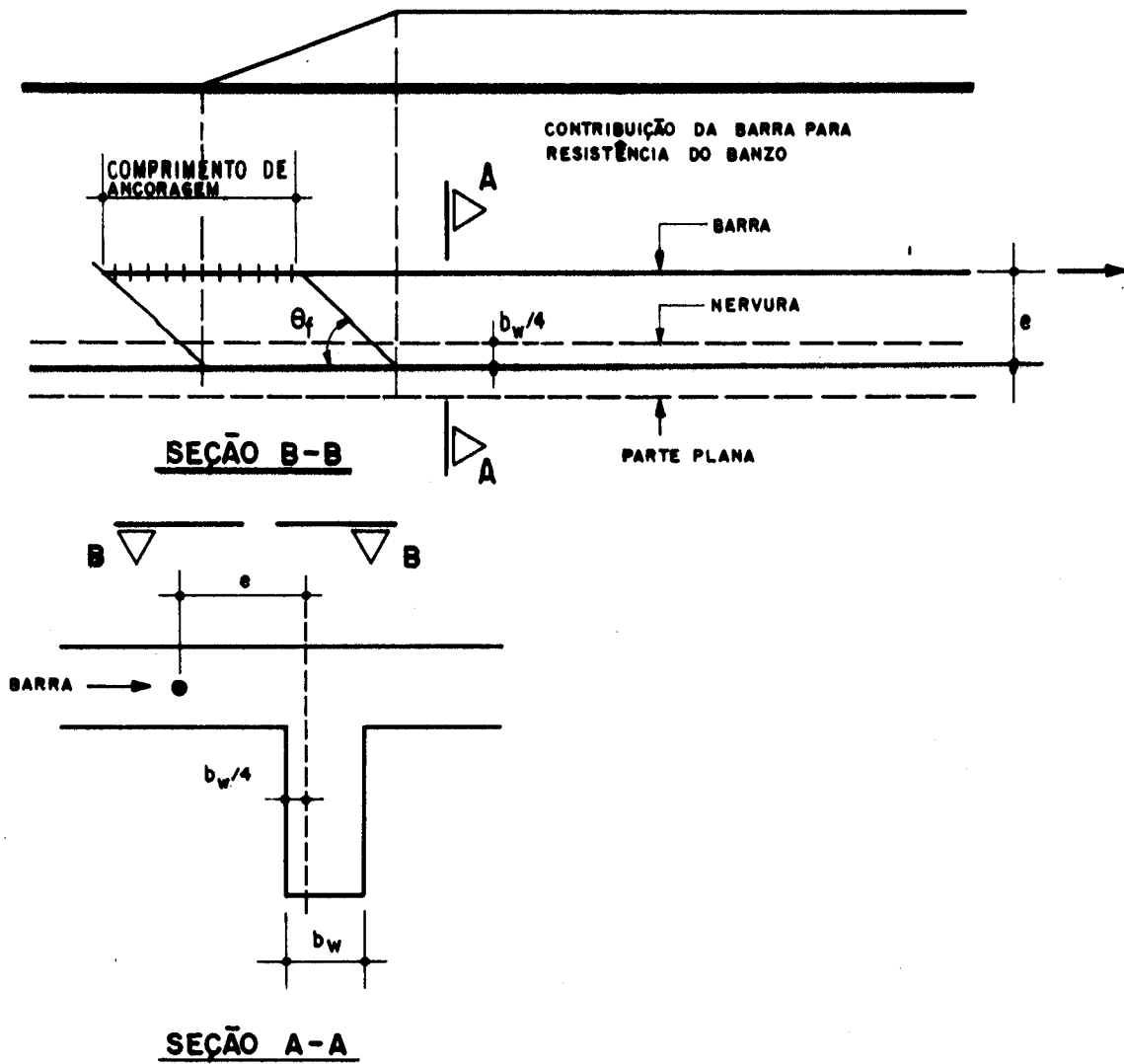


FIGURA 2.31 - ANCORAGEM DE BARRAS NA MESA TRACIONADA - CEB/90⁵

3. CAPACIDADE DE UTILIZAÇÃO

3.1. ESTADO DE FISSURAÇÃO DEVIDO À FORÇA CORTANTE

3.1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

As fissuras de cisalhamento surgem devido às tensões principais de tração inclinadas, originadas pela força cortante e se desenvolvem obliquamente em relação ao eixo da barra. Estas fissuras podem se desenvolver a partir de fissuras de flexão ou começar na alma, como se pode constatar em LEONHARDT [1979]⁵² e visualizar na figura 3.1.

Estas fissuras se iniciam via de regra como fissuras de flexão e se desenvolvem com inclinação de 30° a 45° em relação ao eixo da viga de acordo com a relação b_{fs} / b_w .

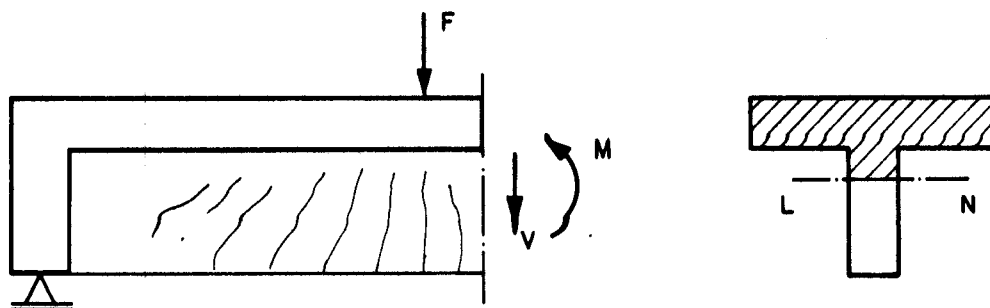


FIGURA 3.1 - REGIÃO DE CISALHAMENTO EM UMA VIGA T

3.1.2 Verificação do Estado Limite de Formação de Fissuras Inclinadas

MANSUR & ONG [1987]⁴⁵ analisaram a resistência das fissuras diagonais baseando-se inicialmente no ACI 318-83⁵¹ (Código de Normas para Edificações de Concreto Armado) do American Concrete Institute, o qual recomenda a seguinte expressão para o cálculo da previsão da resistência à fissuração diagonal:

$$\frac{V}{b_w \cdot d \cdot \sqrt{f_{ck}}} = 0,16 + 17,2 \frac{\rho_s \cdot V \cdot d}{M \cdot \sqrt{f_{ck}}} > 0,29 \text{ MPa, N e mm} \quad (3.1)$$

onde:

V/M = relação entre a força cortante e o momento fletor na seção crítica;

$\rho_s = A_s / (b_w \cdot d)$ = taxa geométrica de armadura longitudinal tracionada em relação à seção útil (seção retangular), sendo A_s dado em mm^2 ;

f_{ck} = resistência característica da argamassa à compressão em MPa.

A equação 3.1 é uma variante da equação 2.80, vista no item 2.2.3.2. A seção crítica para aplicação da equação 3.1 fica localizada no centro do vão cisalhado a , indicado nas figuras 1.1 e 2.13, para $a \leq 2.d$ onde d é a altura útil da viga e a é a distância do centro do apoio ao ponto de aplicação da força concentrada vertical. Para valores de $a > 2.d$, a seção crítica fica à uma distância d da seção de momento máximo. Estas duas condições fornecem as duas expressões seguintes para a relação entre o momento fletor e a força cortante na seção crítica para vigas simplesmente apoiadas submetidas a duas forças concentradas verticais simétricas:

$$\frac{M}{V} = \frac{M_{\max}}{V} - \frac{a}{2}, \text{ quando } a \leq 2.d \quad (3.2)$$

$$\frac{M}{V} = \frac{M_{\max}}{V} - d, \text{ quando } a > 2.d \quad (3.3)$$

A expressão do ACI 318-83⁵¹ indicada pela equação 3.1, sub-estima a resistência das fissuras diagonais para a maioria das vigas conforme constatado por MANSUR & ONG [1987]⁴⁵ em seus testes experimentais. A força cortante de fissuração, de acordo com os referidos ensaios, aumenta com o decréscimo da relação a/h , com o acréscimo da taxa de armadura longitudinal, com o acréscimo da resistência da argamassa e com o acréscimo da quantidade de armadura próxima da face comprimida.

De modo a desenvolver uma expressão que possa predizer com maior aproximação o valor da resistência à fissuração diagonal de vigas de acordo com a faixa de parâmetros, abrangida nesse estudo, várias relações empíricas foram examinadas. A expressão a seguir, que é similar a uma expressão proposta por ZSUTTY (citado por MANSUR & ONG [1987]⁴⁵), foi finalmente escolhida:

$$\frac{V_r}{b_w \cdot d} = K \cdot \left(f_{ck} \cdot \rho_s \cdot \frac{d}{a} \right)^n \quad (3.4)$$

onde K e n são constantes. Uma análise de regressão múltipla foi desenvolvida, utilizando os resultados dos ensaios de MANSUR & ONG [1987]⁴⁵, obtendo-se $K = 6,8$ e $n = 0,75$, ficando então a expressão com o seguinte formato:

$$\frac{V_r}{b_w \cdot d} = 6,8 \cdot \left(f_{ck} \cdot \rho_s \cdot \frac{d}{a} \right)^{0,75} \quad (3.5)$$

Pela dificuldade de se calcular ρ_s e d , devido ao fato de existirem várias camadas de tela, geralmente utilizadas em argamassa armada, o que complica o cálculo da posição da linha neutra, determinou-se uma expressão semelhante, em função da altura total h , expressa a seguir:

$$\frac{V_r}{b_w \cdot h} = 3,54 \cdot \left(f_{ck} \cdot \rho_s \cdot \frac{h}{a} \right)^{0,76} \quad (3.6)$$

que é válida apenas para armaduras simétricas sendo

$$\rho_s = \frac{A_s}{b_w \cdot h}$$

GIONGO [1990]⁶ havia apresentado o programa AACALC para micro-computador, com a finalidade de calcular o momento fletor resistente e a força cortante resistente para uma determinada seção transversal de vigas de argamassa armada. O autor adaptou este programa, chamando-o de AECALC, com a finalidade de incluir no cálculo o braço de alavanca z , a altura útil d , além de outros parâmetros de cisalhamento. Conhecendo-se o valor de d pode-se calcular V_r , utilizando a equação 3.5, sem dificuldades para qualquer arranjo de armadura.

Além da equação do ACI 318M-83⁵¹ e das equações de MANSUR & ONG [1987]⁴⁵, o CEB-90⁵ indica uma expressão para o cálculo de V_r que foi apresentada no item 2.2.4.5 deste trabalho através da equação 2.107, transcrita a seguir:

$$V_r = 0,15 \cdot (3 \cdot d/a_v)^{1/3} \cdot \xi \cdot (100 \cdot \rho_s \cdot f_{ck})^{1/3} \cdot b_{red} \cdot d$$

Concluindo, o cálculo da força cortante de fissuração, pode ser feito através das duas seguintes expressões, decorrentes das equações 3.1 e 3.5, além da equação 2.107 indicada pelo CEB-90⁵.

De acordo com o ACI:

$$V_r = \left(0,16 + 17,2 \cdot \frac{\rho_s \cdot V \cdot d}{M \cdot \sqrt{f_{ck}}} \right) \cdot b_w \cdot d \cdot \sqrt{f_{ck}} > 0,29 \cdot b_w \cdot d \cdot \sqrt{f_{ck}} \quad (3.7)$$

De acordo com ensaios de MANSUR & ONG:

$$V_r = 6,8 \cdot b_w \cdot d \cdot \left(f_{ck} \cdot \rho_s \cdot \frac{d}{a} \right)^{0,75} \quad (3.8)$$

Deve-se levar em conta que, MANSUR & ONG [1987]⁴⁵ ensaiaram e determinaram as equações 3.4, 3.5, 3.6 e 3.8 para peças de argamassa armada de seção retangular com altura menor que a largura, isto é, lajes de argamassa armada. Estas equações, acarretam diferenças, quando aplicadas às vigas estudadas neste trabalho, as quais têm seção transversal em forma de duplo T.

3.1.3 VERIFICAÇÃO DO ESTADO DE FISSURAÇÃO INACEITÁVEL

3.1.3.1 Formação Sistemática de Fissuras

Considere-se um prisma de concreto tracionado axialmente indicado na figura 3.2 com uma área A_c igual a $b_w \cdot h$, onde A_c é a área de concreto tracionado.

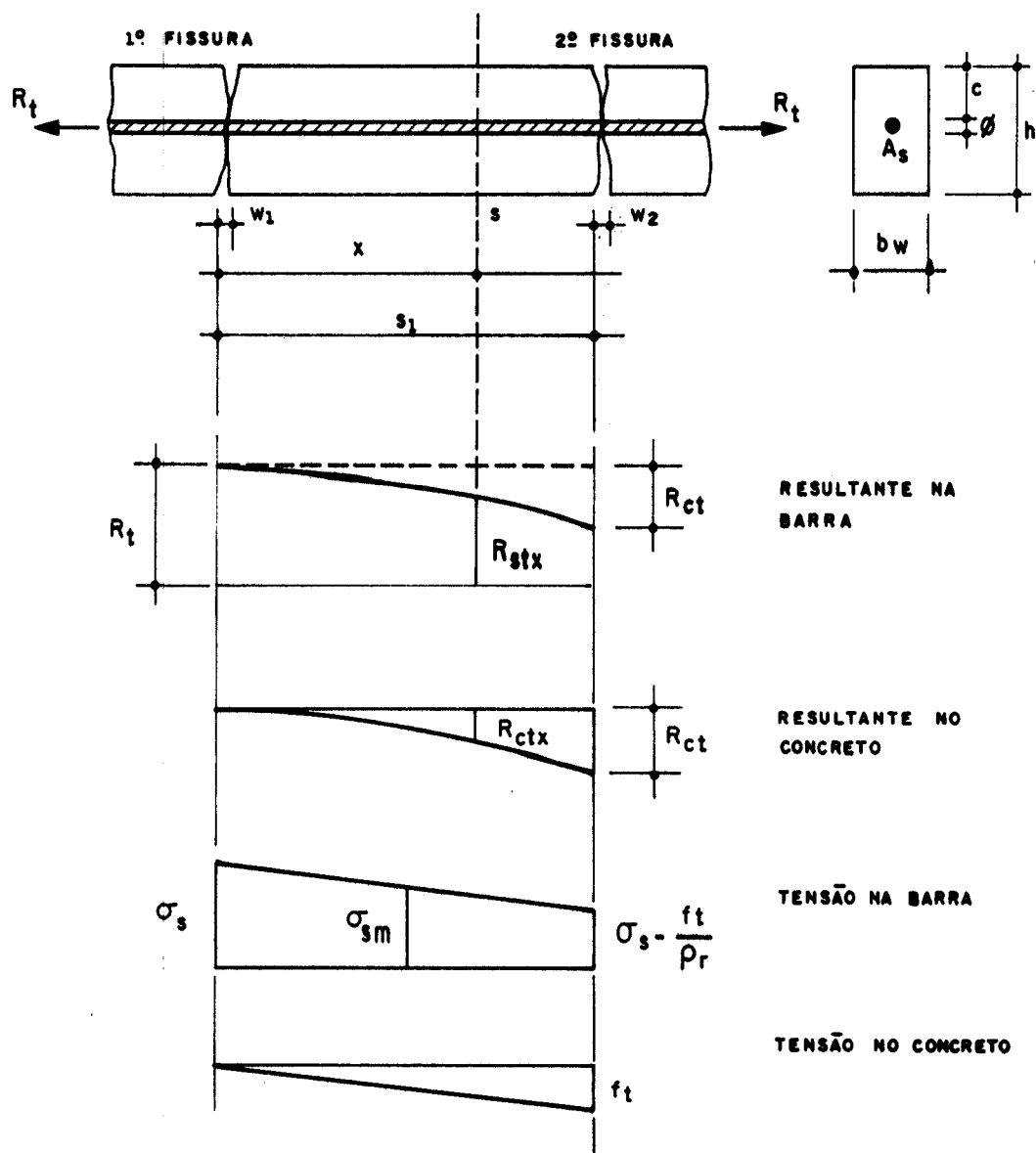


FIGURA 3.2. - FISSURAÇÃO SISTEMÁTICA - MOLLICA JUNIOR⁵³

O referido prisma é armado com uma barra de diâmetro ϕ , de seção transversal A_s centrada e é submetido a uma força concentrada axial R_t . Como pode ser observado na teoria clássica apresentada em MOLLICA JUNIOR [1986]⁵³, a primeira fissura aparece quando a resultante de tração na barra de aço for maior, ou pelo menos igual à força resistente de tração do concreto, assim:

$$A_s \cdot \sigma_s \geq A_c \cdot f_t \quad (3.9)$$

ou seja:

$$\rho_r \geq \frac{f_t}{\sigma_s} \quad (3.10)$$

onde ρ_r é a taxa de armadura do prisma.

Partindo-se do princípio de que a deformação do concreto à tração seja desprezível, a abertura do prisma será então função apenas da deformação do aço e do espaçamento médio s entre uma fissura e outra. Levando também em conta a Lei de Hooke, a abertura média da fissura w_m também pode ser expressa por:

$$w_m = s \cdot \frac{\sigma_{sm}}{E_s} \quad (3.11)$$

onde:

σ_{sm} = tensão normal de tração média no aço entre fissuras;

E_s = módulo de deformação longitudinal do aço.

Partindo das premissas de que a segunda fissura aparece quando a tensão no prisma da argamassa na seção S da figura 3.2 atinge a resistência à tração dessa argamassa, quando x for igual ao espaçamento médio das fissuras s e quando a tensão média de aderência entre a primeira fissura e a seção S seja igual à tensão de aderência τ_b , chega-se à seguinte expressão:

$$s = \xi_1 \cdot \left(c + \frac{\phi}{2} \right) + \frac{f_t \cdot \phi}{4 \cdot \tau_b \cdot \rho_r} \quad (3.12)$$

onde c é o cobrimento da barra.

O coeficiente ξ_1 e os valores de f_t e τ_b são obtidos experimentalmente. Tendo adotado ξ_1 igual a 1,5 e para a relação $f_t/(4 \cdot \tau_b)$ o valor de 0,16 (barras com alta aderência), chegou-se finalmente à expressão do espaçamento entre fissuras, dado pela equação a seguir:

$$s = 1,5. \left(c + \frac{\phi}{2} \right) + 0,16. \frac{\phi}{\rho_r} \quad (3.13)$$

A tensão normal no aço entre as fissuras (σ_{sm}), é expressa por:

$$\sigma_{sm} = \sigma_s - \frac{1}{2} \cdot \frac{f_t}{\rho_r} \quad (3.14)$$

A equação 3.14 pode ser interpretada através da figura 3.2, analisando-se os diagramas de tensão na barra e no concreto, admitindo-se como simplificação, que variem linearmente.

3.1.3.2 Formação Assistemática de Fissuras

A formação assistemática de fissuras ocorre em peças de baixa taxa de armadura, ou seja:

$$\rho_r < \frac{f_t}{\sigma_s}$$

Na figura 3.3, apresenta-se o mesmo prisma de concreto, tracionado axialmente agora para o caso de formação assistemática de fissuras.

Quando ocorre a primeira fissura, a tensão no concreto é transferida para o aço, sem que ocorra uma tensão σ_{ct} maior que a resistência à tração f_t .

Na seção onde ocorre a primeira fissura, supõe-se que a barra que arma o tirante esteja ancorada, à esquerda e à direita, na argamassa, com comprimento de ancoragem s' como ilustrado na figura 3.3, obtendo a expressão para a abertura média da fissura (w_m), indicada a seguir:

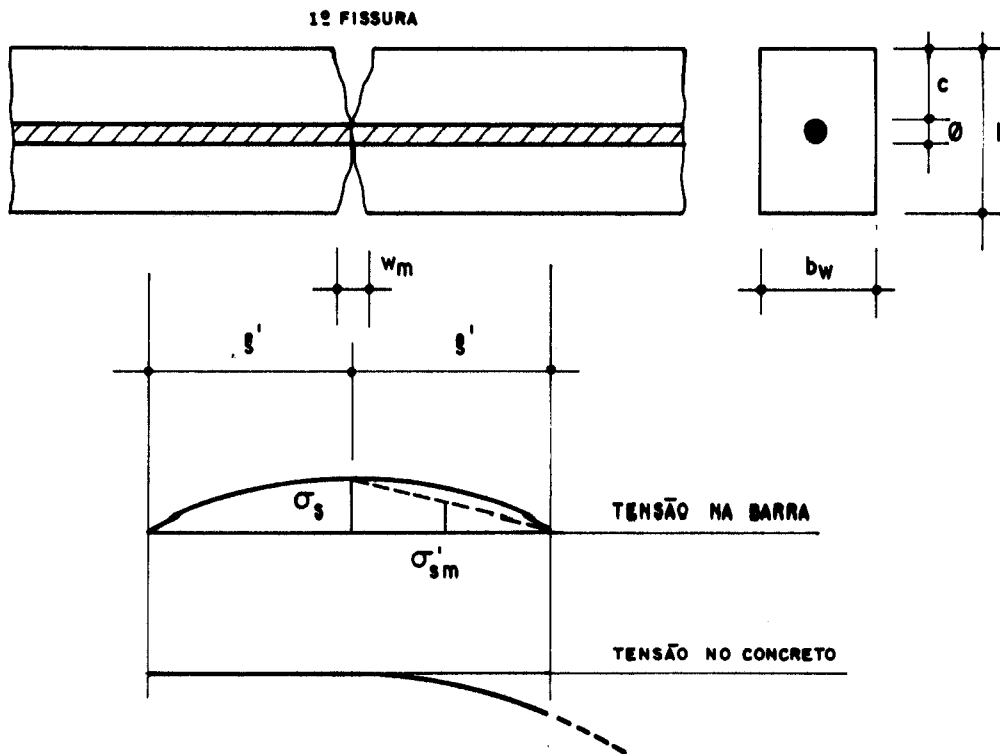


FIGURA 3.3 - FISSURAÇÃO ASSISTEMÁTICA - MOLLIÇA JUNIOR⁵³

$$w_m = 2 \cdot s' \cdot \frac{\sigma'_{sm}}{E_s} \quad (3.15)$$

onde σ'_{sm} é a tensão média na barra, expressa por $\sigma_s/2$, admitindo-se que esta tensão na barra varie linearmente como se pode visualizar na figura 3.3.

Para a determinação de s' , considera-se que nessa região a tensão na barra seja transferida para a argamassa por aderência. Deste modo tem-se:

$$\frac{\pi \cdot \phi^2}{4} \cdot \sigma_s = \tau_b \cdot s' \cdot n \cdot \pi \cdot \phi \quad \text{e assim:}$$

$$s' = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\sigma_s}{\tau_b} \quad (3.16)$$

onde:

τ_b = tensão média de aderência entre o aço e a argamassa.

Substituindo 3.16 em 3.15 e lembrando que $f_t/(4 \cdot \tau_b)$ é igual a 0,16, obtém-se:

$$w_m = \frac{0,16 \cdot \phi \cdot \sigma_s^2}{f_t \cdot E_s} \quad (3.17)$$

onde:

$f_t = f_{tm}$ = resistência média à tração da argamassa dada por:

$$f_{tm} = f_{tk} / 0,6 .$$

3.1.4 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.

LEONHARDT [1979]⁵² cita que existem poucos trabalhos com resultados de ensaios relativos a abertura de fissuras, quando a direção da armadura desvia-se bastante da direção das tensões principais de tração, ou seja, quando cruza as fissuras não perpendicularmente, mas sim obliquamente, como pode ser observado na figura 3.4.

HANAI [1981]⁷ sugere que este assunto deve merecer atenção especial para o caso de argamassa armada.

Nestas posições as aberturas de fissuras geralmente aumentam. LEONHARDT [1979]⁵² determinou provisoriamente os seguintes coeficientes k_θ que devem ser multiplicados pelo valor das aberturas das fissuras calculadas de acordo com as equações 3.11 e 3.17.

$$\begin{aligned} \text{para } \theta = 15^\circ , & \quad k_\theta = 1,0 \\ \text{para } \theta = 45^\circ , & \quad k_\theta = 2,0 \end{aligned} \quad (3.18)$$

interpolando-se linearmente os valores intermediários.

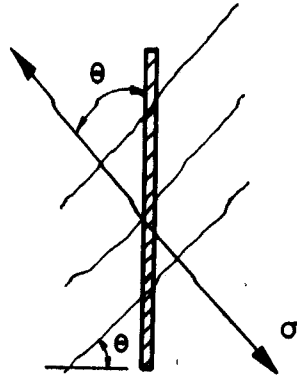


FIGURA 3.4 - INCLINAÇÃO DAS FISSURAS EM RELAÇÃO À DIREÇÃO DAS BARRAS TRANSVERSAIS - LEONHARDT ⁵²

Os estribos comuns verticais cruzam as fissuras de cisalhamento com um ângulo que varia entre 45° e 60°; isso conduz a aberturas de fissuras maiores que no caso de cruzamento ortogonal. Foram obtidos segundo LEONHARDT [1979]⁵², resultados melhores em almas delgadas do que em espessas.

A tensão normal de tração nos estribos de acordo com a treliça generalizada conforme equação 2.47, é:

$$\sigma_{tt} = \frac{\tau_{od} - \tau_c}{A_{sw}} \cdot b_w \cdot s_t$$

substituindo $\rho_w = A_{sw} / (b_w \cdot s_t)$ obtido na equação 2.35, vem:

$$\sigma_{tt} = \frac{\tau_{od} - \tau_c}{\rho_w} = \frac{\tau_d}{\rho_w} \quad (3.19)$$

LEONHARDT [1979]⁵² para efeito de simplificação, adota:

$$\sigma_{sm} = 0,8 \cdot \sigma_{tt} \quad (3.20)$$

De acordo com o que já foi visto, as fissuras inclinadas de cisalhamento podem ser expressas pelas relações que se seguem:

Fissuração Sistemática

$$\sigma_{sm} = 0,8 \cdot \frac{\tau_{od} - \tau_c}{\rho_w} = 0,8 \cdot \frac{\tau_d}{\rho_w} \quad (3.21)$$

$$s_w = 1,5 \cdot \left(c + \frac{\phi}{2} \right) + 0,16 \cdot \frac{\phi}{\rho_r} \quad (3.22)$$

$$w_w = k_\theta \cdot s_w \cdot \frac{\sigma_{sm}}{E_s} \quad \text{ou:}$$

$$w_w = \frac{0,8 \cdot k_\theta}{E_s} \cdot \frac{\tau_d}{\rho_w} \cdot \left[1,5 \cdot \left(c + \frac{\phi}{2} \right) + 0,16 \cdot \frac{\phi}{\rho_r} \right] \quad (3.23)$$

onde:

k_θ é de acordo com as condições 3.18.

ρ_r = taxa de armadura transversal em relação à respectiva área crítica (área do prisma) para cada barra.

Fissuração Assistemática

$$\sigma'_{sm} = 0,8 \cdot \frac{\tau_d}{\rho_w} \quad (3.24)$$

Tendo em vista que $\sigma'_{sm} = \sigma_s/2$ e que $f_t/(4 \cdot \tau_b) = 0,16$, obtém-se de 3.16 e 3.19:

$$s'_w = 0,256 \cdot \frac{\phi \cdot \tau_d}{\rho_w \cdot f_t} \quad (3.25)$$

$$w_w = 0,4096 \cdot k_\theta \cdot \frac{\phi \cdot \tau_d^2}{f_t \cdot E_s \cdot \rho_w^2} \quad (3.26)$$

Estudo mais teórico sobre a geometria das fissuras de cisalhamento, bem como, suas consequências sobre as tensões e deformações em vigas retangulares de concreto

armado, pode ser encontrado em LOPEZ JAMAR; SOLANA & MECA [1973]⁵⁴. Tendo em vista os objetivos práticos deste trabalho, o referido assunto complementar fica como referência para um futuro estudo mais aprofundado aplicado a peças de argamassa armada,

3.1.5 ESTADO DE FISSURAÇÃO SEGUNDO AS NORMAS NACIONAIS E ESTRANGEIRAS

3.1.5.1 Fissuração segundo a NBR 11.173/89

A norma de argamassa armada não apresenta prescrições específicas para fissuras de cisalhamento. A NBR 11.173¹ indica valores para a abertura característica de fissuras w_k no caso de telas de aço soldadas, em peças submetidas à ação de momento fletor.

São as seguintes as prescrições da norma brasileira para argamassa armada, para o estado de fissuração inaceitável:

Valores Limites das Aberturas de Fissuras

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

Considerando a abertura de fissuras, como uma variável aleatória, com distribuição normal, MOLLICA JUNIOR [1986]⁵³ determinou a abertura característica de fissuras através de tratamento estatístico utilizando a expressão:

$$w_k = w_m \cdot (1 + \delta \cdot \xi) \quad (3.27)$$

onde:

δ = coeficiente de variação (relação entre o desvio padrão e a média), adotado igual a 0,4 conforme ensaios mencionados em MOLLICA JUNIOR⁵³;

$\xi = 1,645$, correspondente ao quantil de 5% na distribuição normal de GAUSS.

Assim:

$$w_k = (1 + 0,4 \times 1,645) \cdot w_m = 1,658 \cdot s \cdot \epsilon_s \quad (3.28)$$

onde:

$$s = s_1 \quad \text{se} \quad s_1 \geq e$$

$$s = 1,8 \cdot s_1 \quad \text{se} \quad 1,8 \cdot s_1 \leq e$$

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

$$s_1 = 1,5 \cdot \left(c + \frac{\phi}{2} \right) + 0,16 \cdot \frac{\phi}{\rho_r}$$

s = espaçamento entre fissuras;

s_1 = espaçamento de referência entre fissuras;

e = espaçamento entre os fios da tela, transversais ao eixo da peça.

$$\epsilon_s = \frac{1}{E_s} \cdot \left(\sigma_s - \frac{1}{2} \cdot \frac{f_{tk}}{\rho_r} \right)$$

onde:

E_s = módulo de deformação longitudinal do aço;

σ_s = tensão em serviço na armadura;

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

$\rho_r = A_s/A_c$ = taxa geométrica da armadura de acordo com o anexo da NBR 7197⁴⁹ que modifica dispositivos da NBR 6118²;

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

c = cobrimento da armadura.

É levada também em consideração, a influência que OS espaçamentos das barras têm sobre a distância entre as fissuras, no cálculo de s .

As expressões da NBR 11.173¹ foram deduzidas para fissuras de flexão no caso de formação sistemática. As peças fletidas de argamassa armada, na grande maioria dos casos, apresentam fissuração sistemática como foi observado experimentalmente.

Adaptando estas expressões para o caso de fissuras inclinadas de cisalhamento, como já foi feito no item 3.1.4, tem-se para s_w o mesmo valor de s_1 . Deve-se atentar para o fato de que agora, a armadura tracionada é vertical (fios transversais das telas) e que por isso, as três condições para a determinação do valor de s da equação 3.28, ficam comprometidas, já que e significa o espaçamento dos próprios fios transversais e as fissuras agora são inclinadas.

Assim, multiplicando a expressão 3.23 por 1,658, obtém-se:

$$w_{wk} = \frac{1,326 \cdot k_{\theta} \tau_d}{E_s \rho_w} \left[1,5 \cdot \left(c + \frac{\phi}{2} \right) + 0,16 \cdot \frac{\phi}{\rho_r} \right] \quad (3.29)$$

Deve-se observar que o coeficiente k_{θ} provisório, implica em valores um tanto elevados para w_w .

Nesta expressão: $\rho_r = A_s / A_c$, onde $A_c = A_{cr}$ definida no Anexo da NBR 7197⁴⁹, como sendo a área de envolvimento, constituída por um retângulo, cujos lados não distam mais de $7,5 \cdot \phi$ do contorno do elemento da armadura.

No caso de estribos verticais de dois ramos estes contornos são apresentados na figura 3.5.

Deve-se observar que, neste caso, A_s é definida como a área da seção transversal da barra de um ramo de estribo e A_{cr} , a área de envolvimento de cada ramo individual. A dedução da expressão de ρ_r é apresentada no item A2.5.1 do Anexo n^o 2 (equação A2.1).

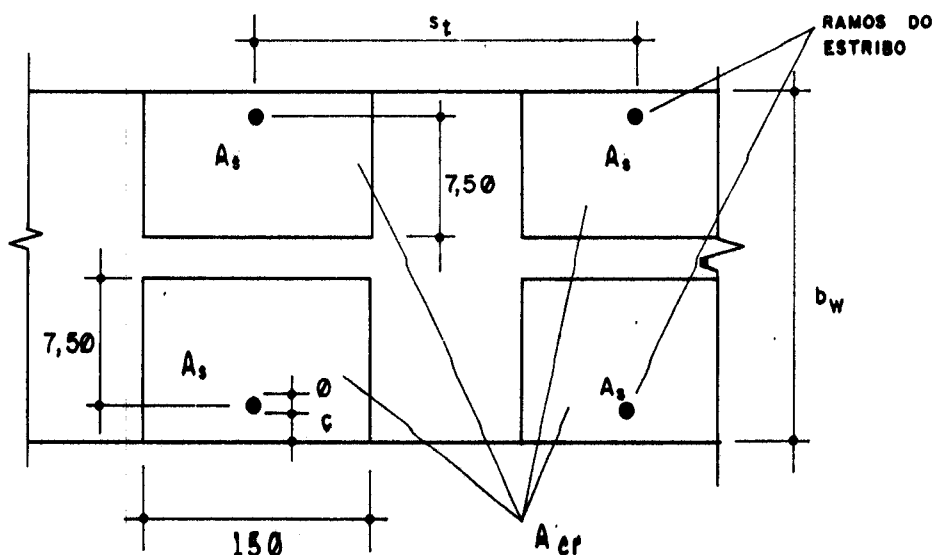


FIGURA 3.5 - ESQUEMATIZAÇÃO DE A_s E A_{er} PARA O CÁLCULO DE ρ_r

3.1.5.2 Fissuração segundo o ACI 549.1R-88

O ACI 549.1R-88³ indica as referências ACI 549R-82⁵⁵ e NAAMAN [1979]⁵⁶ as quais prescrevem as seguintes limitações para abertura de fissuras;

$w_m \leq 0,10$ mm para peças em ambientes não corrosivos;

$w_m \leq 0,05$ mm para peças em ambientes corrosivos ou em estruturas destinadas a reter água.

As aberturas médias de fissuras podem ser calculadas pelas seguintes expressões em primeira aproximação:

$$w_m = \frac{\sigma}{E_s} \cdot a_t \cdot \beta_d \quad (\text{MPa e mm}) \quad (3.30)$$

obtida de BALAGURU, NAAMAN & SHAH [1977]⁵⁷. Posteriormente NAAMAN [1979]⁵⁶ verificou que esta expressão se adaptaria melhor às aberturas máximas de fissuras.

Através de regressão linear em dados experimentais NAAMAN [1979]⁵⁶ obteve:

$$w_m = \frac{15,9}{E_e} (\sigma_s - 95) \quad (3.31)$$

sendo w_m e a_t em mm e σ_s e E_e em MPa, onde:

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

a_t = distâncias transversais dos fios das telas;

$$\beta_d = \frac{h - x}{d - x} \quad \text{relação entre as distâncias à linha neutra da fibra mais tracionada e dos fios longitudinais mais tracionados;}$$

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

Não há indicações para fissuras inclinadas de cisalhamento. De acordo com o item 3.1.4, essas fissuras poderiam ser aproximadas, fazendo-se $\sigma_s = 0,8 \cdot \sigma_{tt}$, corrigindo-se a inclinação com k_θ e eliminando β_d , este por se tratar de um coeficiente de correção para flexão. Chama-se atenção porém para o fato de que as equações 3.30 e 3.31, foram deduzidas para a flexão. NAAMAN [1979]⁵⁶ e BALAGURU, NAAMAN & SHAH [1977]⁵⁷, para cujas observações experimentais foi baseada a equação 3.30, concluíram que a distância média entre as fissuras em peças fletidas é aproximadamente igual ao espaçamento entre os fios transversais da tela. Com isso a equação 3.30 fica semelhante à equação 3.11. Para fissuras de cisalhamento, este espaçamento entre os fios já não retrata bem a distância entre as fissuras pois as mesmas são inclinadas em relação ao eixo da viga.

3.1.5.3 Fissuração segundo a SN 366/77

A SN 366/77⁴ faz recomendações específicas para o caso de fissuras inclinadas em relação ao eixo longitudinal da viga. Também são feitas citações no sentido de se verificar no caso de vigas T, a fissuração que ocorre na

mesa em função da variação da tensão tangencial horizontal, oriunda da ligação da mesa com a alma.

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

$$\sigma_I \leq f_{td} \quad \text{para} \quad \sigma_{II} < \gamma_m \cdot f_{cd} \quad (3.32)$$

$$\sigma_I \leq \gamma_n \cdot f_{td} \cdot \left(1 - \frac{\sigma_c}{f_{cd}} \right) \quad \text{para} \quad \sigma_{II} \geq \gamma_n \cdot f_{cd} \quad (3.33)$$

onde:

γ_m e γ_n são coeficientes recomendados por BAYKOV & SIGALOV [1980]⁵⁸ e que dependem do tipo de resistência do concreto/argamassa sendo indicados na tabela 3.1;

TABELA 3.1
Coeficientes γ_m e γ_n - BAYKOV & SIGALOV⁵⁸

| 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 |

σ_I = valor absoluto da maior tensão principal de tração (nulo quando não houver tração) de acordo com a NBR 6118²;

σ_{II} = valor absoluto da maior tensão principal de compressão (nulo quando não houver compressão) também conforme NBR 6118².

A expressão recomendada pela SN 366-77 para a abertura de fissuras inclinadas em relação ao eixo

longitudinal da peça é a seguinte:

$$w_m = k_1 \cdot k_4 \cdot (h_w + 30 \cdot \phi_{tr}) \cdot \frac{\eta_{tz}}{\rho_{w,eq}} \cdot \frac{\tau_{wr}^2}{E_{st}^2} \quad (3.34)$$

onde:

h_w = altura livre da alma das vigas como indicado na figura 2.23;

k_1 = coeficiente que no caso de ações de curta duração é tomado igual a 1,0; no caso de ações repetidas e também para o caso de ações de longa duração, quando se empregar argamassa com cura normal ou térmica à pressão atmosférica é tomado igual a 1,5; nas mesmas condições anteriores de solicitação, porém nos casos de cura em autoclave, adotar o valor 1,65; ainda nestas mesmas condições de solicitação com cura úmida sob pressão atmosférica segundo o que se depreende de BAYKOV & SIGALOV [1980]⁵⁸, toma-se valor igual a 1,7;

$k_4 = 10^3 \cdot (20 - 1.200 \cdot \rho_{w,eq})$, para telas soldadas, não se tomando valores maiores que 0,02;

$$\rho_{w,eq} = \frac{A_{sw} \cdot f_{ywd}}{s_t \cdot b_w \cdot f_{ywtd}} + \frac{A_{swt}}{s_{tt} \cdot b_w}$$

onde:

f_{ywtd} = resistência de cálculo do aço dos fios transversais da tela;

s_t = espaçamento dos estribos;

s_{tt} = espaçamento entre os fios transversais das telas de aço soldadas;

A_{sw} = área da seção normal de estribos;

A_{swt} = área da seção normal dos fios da tela de aço transversais ao eixo longitudinal da peça;

ϕ_{tr} = diâmetro em mm dos fios das telas de aço transversais ao eixo longitudinal da peça;

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

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

V_d = força cortante máxima no eixo considerado;

N_d = força normal de cálculo (se houver);

E_{st} = módulo de deformação longitudinal aparente da tela, adotado igual a 150.000 MPa pela norma soviética

Chama-se a atenção para o fato de que as telas empregadas na outrora União Soviética possuem aberturas e diâmetros diferentes das telas usadas no Brasil, recomendando-se então, a utilização das expressões da SN 366/77⁴ apenas para a obtenção de valores de referência.

As condições impostas em 3.32 e 3.33 permitem que se relacionem as forças cortantes e os momentos fletores nos casos de fissuras inclinadas ao eixo longitudinal até o aparecimento da primeira fissura, através das expressões 2.1. Sendo σ_1 de tração, $\sigma_1 = \sigma_1$ e sendo σ_2 de compressão, $\sigma_{11} = |\sigma_2|$; caso $\sigma_1 < 0$ ou $\sigma_2 > 0$ adota-se $\sigma_1 = 0$ e $\sigma_2 = 0$ respectivamente (Estádio I no regime elástico). No caso de seções delgadas, as tensões de cisalhamento τ podem ser obtidas diretamente das expressões 2.8, 2.10 e 2.12. Assim, além de se calcular o momento fletor de fissuração M_r , na flexão para o estado de formação de fissuras, deve-se calcular também, qual o carregamento que provoca este momento fletor e em seguida, verificar se as tensões principais provocadas por este carregamento na seção mais desfavorável atendem às condições 3.32 e 3.33. Caso não atendam, o carregamento que provoca a primeira fissura e por conseguinte, o momento fletor de fissuração M_r , devem ser ajustados de modo a que as referidas condições sejam satisfeitas. Caso se queira verificar somente a influência do cisalhamento, as tensões principais podem ser calculadas na linha neutra, onde se pode utilizar as equações 2.1 e fazer $\sigma_1 = \tau_0$ e $\sigma_2 = -\tau_0$.

3.1.5.4 Fissuração segundo o CEB-90

Em uma seção transversal fissurada, todas as forças de tração são equilibradas apenas pelo aço. Entretanto, entre fissuras adjacentes, as forças de tração são transmitidas do aço para o concreto envolvente por forças de aderência. A contribuição do concreto pode ser considerada para aumentar a rigidez da armadura tracionada. Portanto este efeito é chamado "Efeito de Enrijecimento da Tração".

Da primeira fissura para o escoamento, devem ser feitas diferenças entre a fase de formação de fissuras, na qual novas fissuras ocorrem e a fissuração estabilizada, na qual ocorrem supostamente somente largas fissuras.

Se o efeito do enrijecimento de tração for desprezado, a rigidez de uma barra de concreto armado ou de uma peça estrutural será sub-estimada.

Na figura 3.6, apresenta-se o comportamento idealizado para um tirante de concreto armado, onde o significado das zonas do gráfico é o seguinte: a) não fissurado, b) formação de fissuras, c) fissuração estabilizada e d) após o escoamento. As letras maiúsculas indicam: R = primeira fissura, S = última fissura e Y = escoamento.

A diferença entre os estados de concreto não fissurado, fase de formação de fissuras, fissuração estabilizada e pós-escoamento é útil na estimativa de deformações e aberturas de fissuras.

A verificação da abertura de fissuras de acordo com o CEB-90⁵ deve obedecer à seguinte condição:

$$w_k \leq w_{lim} \quad (3.35)$$

onde:

w_k = abertura característica da fissura calculada pela equação 3.36 sob combinações apropriadas de ações:

w_{lim} = valor limite da abertura de fissuras a qual é

especificada para casos de consequências funcionais esperadas de fissuração ou para algum caso particular relativo a problemas de durabilidade.

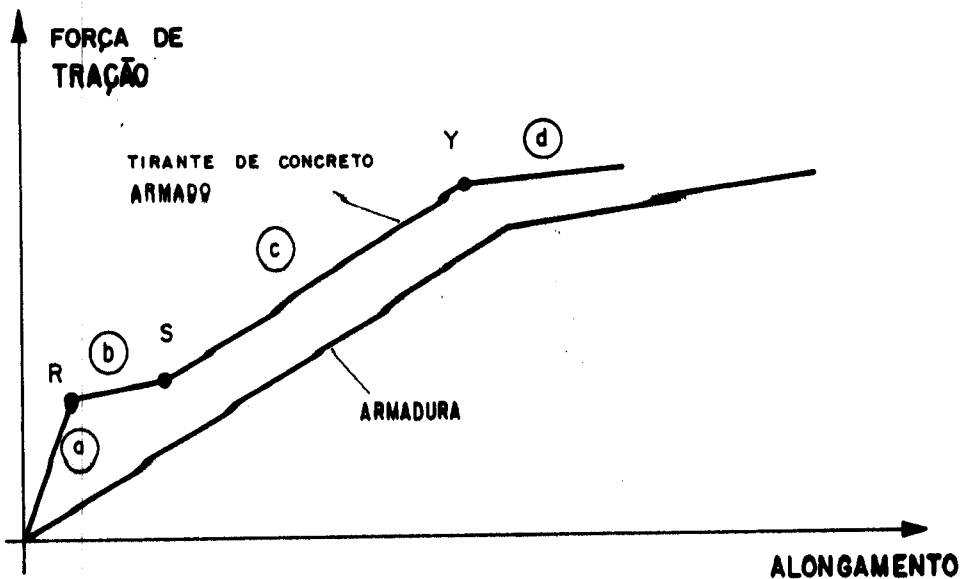


FIGURA 3.6 - COMPORTAMENTO IDEALIZADO PARA UM TIRANTE DE CONCRETO ARMADO - CEB/90⁵

Na ausência de regras específicas, pode-se considerar para peças expostas em ambientes externos e internos sujeitos à umidade, bem como, em ambientes marítimos submersos ou não, o valor de w_{lim} igual a 0,30 mm, sob combinação de ações quase permanentes. Este limite é satisfatório para peças de concreto armado no que diz respeito à aparência e durabilidade.

Para todos os estágios de fissuração, a abertura característica de fissuras w_k pode ser calculada de acordo com a expressão a seguir:

$$w_k = l_{s,max} \cdot (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} - \epsilon_{cs}) \quad (3.36)$$

onde:

$l_{s,max}$ = comprimento sobre o qual o concreto e o aço perdem a aderência; as deformações do aço e do concreto que ocorrem dentro desse comprimento, contribuem para a abertura das

fissuras. $\ell_{s,max}$ é calculado pelas equações 3.37 e 3.38 podendo ser visualizado na figura 3.7;

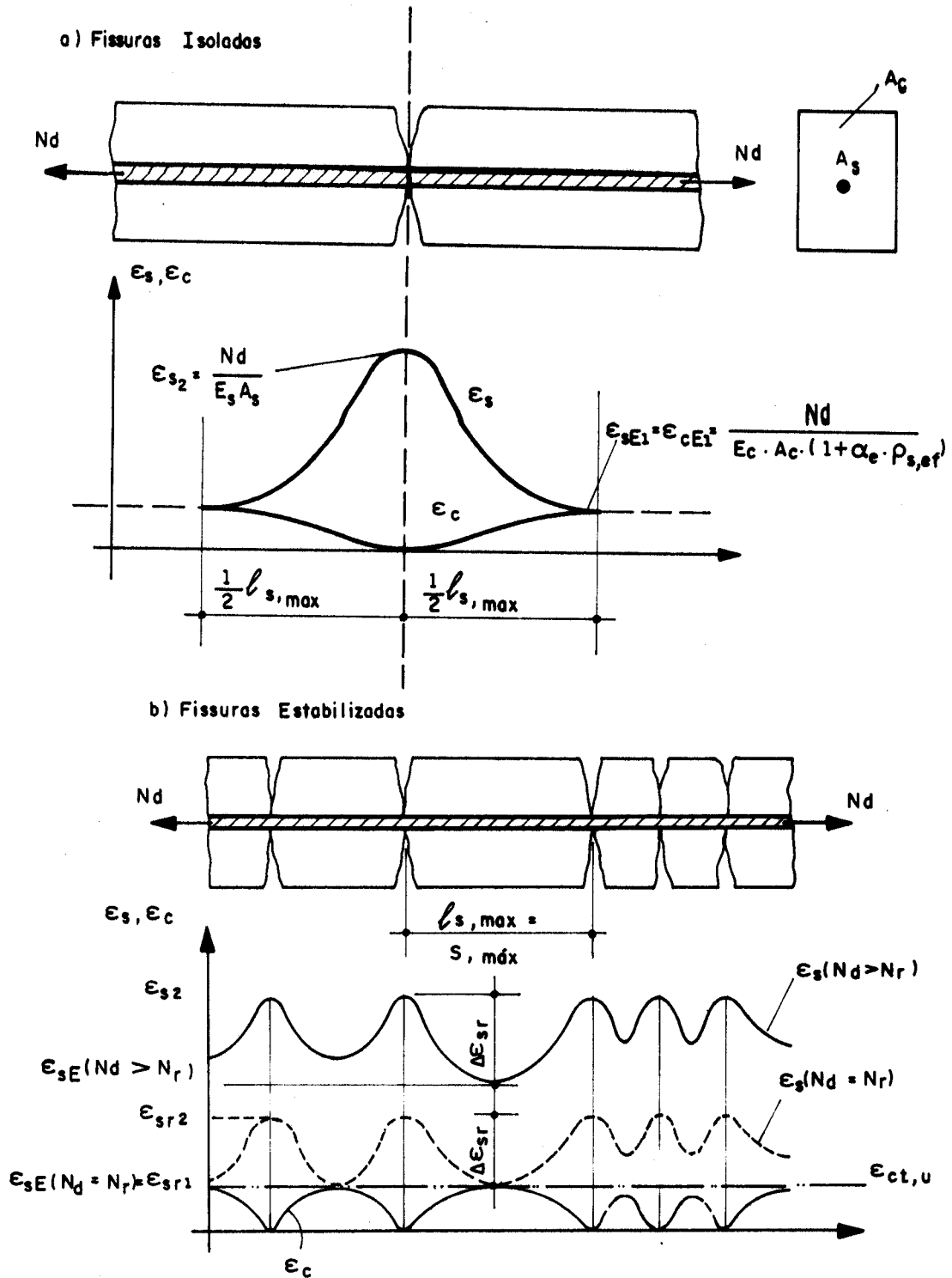


FIGURA 3.7 - DEFORMAÇÕES PARA O CÁLCULO DO ESPAÇAMENTO DAS FISSURAS E DEFORMAÇÕES MÉDIAS - CEB⁵

ϵ_{sm} = deformação média do aço ao longo de $\ell_{s,max}$;

ϵ_{cm} = deformação média do concreto ao longo de $\ell_{s,max}$;

ϵ_{cs} = deformação do concreto devido à retração;

Se $\rho_{s,ef} \cdot \sigma_{s2} \leq f_{tm}(t) \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{s,ef})$, existe a possibilidade de surgirem fissuras isoladas, isto é, da fase de formação de novas fissuras.

Se $\rho_{s,ef} \cdot \sigma_{s2} > f_{tm}(t) \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{s,ef})$, há grande possibilidade de se supor a formação somente de fissuras largas (fissuração estabilizada).

$f_{tm}(t)$ = resistência média à tração do concreto no instante t do aparecimento da fissura;

$$\alpha_e = E_s / E_c$$

$\rho_{s,ef}$ = taxa efetiva de armadura ($A_s / A_{c,ef}$);

$A_{c,ef}$ = área de concreto tracionada efetiva. É geralmente a área de concreto ao redor da armadura tracionada, conforme pode ser visto na figura 3.8;

σ_{s2} = tensão normal do aço nas fissuras.

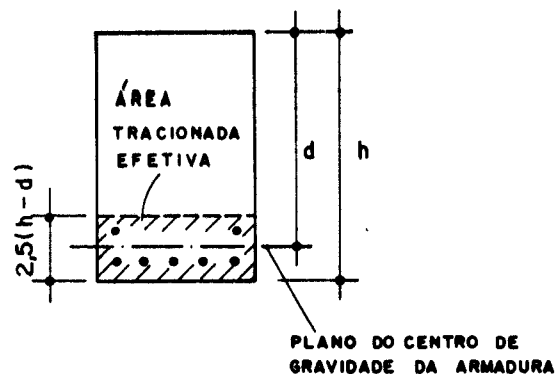


FIGURA 3.8 - ÁREA TRACIONADA EFETIVA - CEB/90⁵

Por motivo de simplificação ($1 + \alpha_e \cdot \rho_{s,ef}$), pode ser tomado igual a 1, pois o termo $\alpha_e \cdot \rho_{s,ef}$ em geral é pequeno em relação à unidade.

Para fissuração estabilizada:

$$l_{s,max} = \frac{\phi}{3,6 \cdot \rho_{s,ef}} \quad (3.37)$$

Para formação de fissuras isoladas:

$$\ell_{s,max} = \frac{\sigma_{s2}}{2 \cdot \tau_{bk}} \cdot \phi \cdot \frac{1}{1 + \alpha_e \cdot \rho_{s,ef}} \quad (3.38)$$

onde:

τ_{bk} = menor valor de fratura da tensão média de aderência, podendo ser tomado de acordo com a tabela 3.2;

ϕ = diâmetro da barra de aço.

Da equação 3.36, pode ser deduzido, de acordo com a figura 3.7, para deformações principais:

$$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = (\epsilon_{s2} - \beta \cdot \Delta \epsilon_{sr}) - \beta \cdot \epsilon_{sr1} \quad (3.39)$$

Como $\Delta \epsilon_{sr} = \epsilon_{sr2} - \epsilon_{sr1}$, a expressão fica:

$$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = \epsilon_{s2} - \beta \cdot \epsilon_{sr2} \quad (3.40)$$

com:

$$\epsilon_{sr2} = \frac{f_{tm}(t)}{\rho_{s,ef} \cdot E_s} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{s,ef}) \quad (3.41)$$

onde:

ϵ_{s2} = deformação do aço na fissura;

ϵ_{sr2} = deformação do aço na fissura, onde as forças resistentes acarretam $f_{tm}(t)$ em $A_{c,ef}$. Se as forças internas forem menores ou iguais a estas forças, então $\epsilon_{sr2} = \epsilon_{s2}$;

ϵ_{sr1} = deformação no aço, submetido às forças resistentes de fissuração $f_{tm}(t)$, no ponto onde as declividades das curvas de tensão são nulas;

β = fator, determinado experimentalmente para o cálculo da deformação média ao longo do trecho $\ell_{s,max}$; pode ser adotado de acordo com a tabela 3.2.

TABELA 3.2 - CEB⁵
Valores de β e τ_{bk}

| Ação | Formação de fissura isolada | Fissuração estabilizada |
|---------------------------------|---|---|
| Instantânea ou de curta duração | $\beta = 0,6$ $\tau_{bk} = 1,8 \cdot f_{tm}(t)$ | $\beta = 0,6$ $\tau_{bk} = 1,8 \cdot f_{tm}(t)$ |
| Repetida ou de longa duração | $\beta = 0,6$ $\tau_{bk} = 1,35 \cdot f_{tm}(t)$ | $\beta = 0,38$ $\tau_{bk} = 1,8 \cdot f_{tm}(t)$ |

A área tracionada efetiva de concreto $A_{c,ef}$ é devida à distribuição de tensões normais não uniformes, por forças de ligação ao longo da seção transversal de concreto na extremidade do comprimento de aderência.

Na ausência de modelos refinados, a figura 3.8 pode ser utilizada para determinação da área tracionada efetiva do concreto.

Para o cálculo direto da área de armadura A_s , necessária para controle de abertura de fissuras com um dado diâmetro, pode-se utilizar a equação 3.42, apresentada a seguir:

$$A_s = \sqrt{\frac{\phi \cdot F_{cr} \cdot (F_s - \beta \cdot F_{cr})}{2 \cdot E_s \cdot w_k \cdot \tau_{bk} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{s,ef})}} \quad (3.42)$$

onde:

F_s = força na fissura, transmitida pela armadura;

F_{cr} = força, a qual deve ser introduzida no concreto por ligação (ou interação com outras partes da estrutura) de modo a provocar fissuração em $A_{c,ef}$ na extremidade do comprimento de aderência.

- para a fase de formação da fissuras:

$$[(\rho_{s,ef} \cdot \sigma_{s2} \leq f_{tm}(t) \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{s,ef}))] : \quad F_{cr} = F_s$$

- para fissuração estabilizada:

$$[(\rho_{s,ef} \cdot \sigma_{s2} > f_{tm}(t) \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{s,ef}))] :$$

$$F_{cr} = A_{c,ef} \cdot f_{tm}(t) \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{s,ef})$$

Para fissuração estabilizada a abertura média pode ser estimada com base no espaçamento médio das fissuras:

$$l_{s,m} = (2/3) \cdot l_{s,max} \quad (3.43)$$

Para fissuras inclinadas de cisalhamento, não foi encontrada nenhuma indicação no CEB-90⁵. Como foi visto neste item, todo o estudo se baseou em fissuras verticais de flexão, ficando muito prematuro arriscar uma aproximação para fissuras inclinadas causadas pela força cortante.

3.2 DESLOCAMENTOS DEVIDOS À FORÇA CORTANTE

3.2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A teoria encontrada nos compêndios de Resistência dos Materiais separa os deslocamentos causados pelo momento fletor, dos causados pela força cortante. Estes deslocamentos por cisalhamento no concreto armado, segundo LEONHARDT [1979]⁵², são pequenos no caso de estruturas esbeltas e de almas estreitas. Quando porém a relação comprimento/altura cresce, $(l/h) > 12$, a parcela contribuinte do deslocamento devido ao cisalhamento aumenta bastante, podendo inclusive, ultrapassar o deslocamento por flexão no Estádio II. Neste caso, os deslocamentos causados pela força cortante, não podem mais ser desprezados.

3.2.2 DESLOCAMENTOS POR CISALHAMENTO NO ESTÁDIO I

LEONHARDT [1979]⁵², indica serem desprezíveis na prática, os deslocamentos provocados pela força cortante antes que apareçam as primeiras fissuras.

A rigidez ao cisalhamento no Estádio I (K_v^I) é dada pela expressão:

$$K_v^I = G_c \cdot A_v \quad (3.44)$$

onde:

G_c = módulo de deformação transversal do concreto dado por:

$$G_c = \frac{E_c}{2 \cdot (1 + \nu)} \quad (3.45)$$

E_c = módulo de deformação longitudinal do concreto;

ν = coeficiente de Poisson (para o concreto, utiliza-se $\nu = 0,2$);

A_v = seção transversal relativa do concreto, solicitada ao cisalhamento.

LEONHARDT [1979]⁵², faz algumas indicações para a determinação de A_v : para seções transversais retangulares, $A_v = 5/6 A_c$ e para seções em T, faz referência a ROTHE [1965]. Isto se dá pelo fato desta seção A_v depender da forma da seção (alma) que é solicitada ao cisalhamento e da distribuição das tensões, como pode ser visualizado na figura 2.2. A teoria indicada nos compêndios de resistência dos materiais fornece para a linha neutra, de acordo com equação 2.3, $A_v = 2/3 (b_w \cdot h)$.

A deformação, também conforme a teoria indicada nos compêndios de resistência dos materiais, é proporcional à tensão de cisalhamento (τ_{xy}) e é expressa pela distorção (γ), como indicado a seguir:

$$\gamma = \frac{\tau_{xy}}{G_c} \quad (3.46)$$

Para o estudo dos deslocamentos verticais do eixo longitudinal da viga passando pela linha neutra, parte-se da relação:

$$\tau_{xy} = \tau_o = \frac{V}{A_v}$$

e substituindo na equação 3.46, obtém-se a seguinte expressão:

$$\gamma = \frac{V}{G_c \cdot A_v}$$

Explicitando o valor de G_c em 3.44, tem-se:

$$\gamma = \frac{V}{K_v^I} \quad (3.47)$$

O deslocamento vertical dv devido à força cortante, no trecho elementar de eixo longitudinal de viga dx , tal como indicado na figura 3.9, é:

$$dv = \gamma \cdot dx = \frac{V}{K_v^I} \cdot dx \quad (3.48)$$

logo, após as devidas substituições:

$$K_v^I = \frac{V}{\gamma} = \frac{E_c \cdot b_w \cdot h}{3 \cdot (1 + \nu)} \quad (3.49)$$

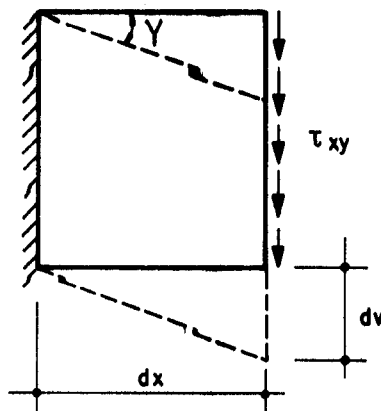


FIGURA 3.9 - DEFORMAÇÃO POR CISALHAMENTO

A curvatura por flexão simples de uma viga não varia devido a deformação por cisalhamento, porque as deformações ϵ_{cs} e ϵ_{ci} das fibras externas não variam. Assim, os deslocamentos por cisalhamento podem ser calculados separadamente e depois adicionados aos deslocamentos causados pelo momento fletor.

Integrando a equação 3.48, de uma seção na origem até uma seção qualquer situada desta de uma distância x , obtém-se:

$$v_v = \int_0^x \frac{V}{K_v^I} dx \quad (3.50)$$

que representa o deslocamento vertical em uma seção transversal qualquer, causado pela força cortante no Estádio I,

3.2.3 DESLOCAMENTOS POR CISALHAMENTO NO ESTÁDIO II

3.2.3.1 Treliça de Banzos Paralelos

Os deslocamentos por cisalhamento no Estádio II, são calculados com base na teoria da treliça de banzos paralelos com extensão à treliça generalizada.

Para simplificação, considerar-se-á uma treliça isostática com apenas uma diagonal tracionada, embora na realidade, trate-se de uma treliça em malha pouco espaçada, como indicado na figura 3.10.

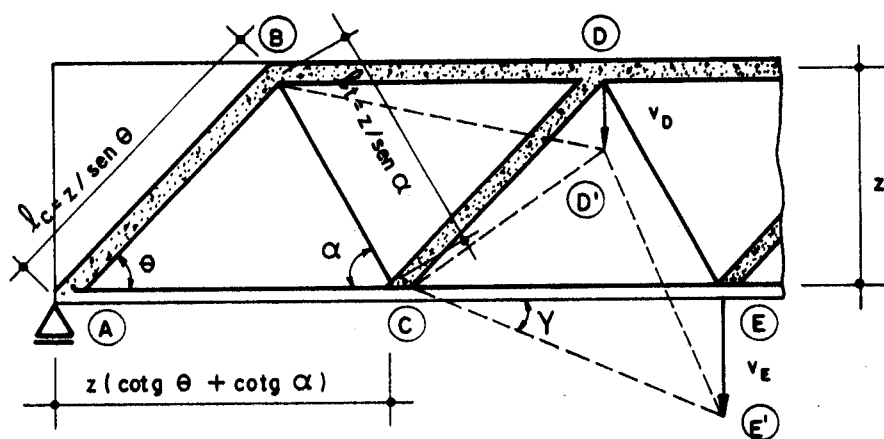


FIGURA 3.10 - DEFORMAÇÕES NA TRELIÇA - LEONHARDT⁵²

Os comprimentos da biela comprimida (l_c) e da diagonal tracionada (l_t), de acordo com a figura 3.10, são os seguintes:

$$l_c = z / \text{sen } \theta$$

$$l_t = z / \text{sen } \alpha$$

A biela l_c se encurta de :

$$\Delta l_c = \frac{\epsilon_{c\theta} \cdot z}{\text{sen } \theta} \quad (3.51)$$

A diagonal l_t se alonga de :

$$\Delta l_t = \frac{\epsilon_{tt} \cdot z}{\text{sen } \alpha} \quad (3.52)$$

onde $\epsilon_{c\theta}$ e ϵ_{tt} são as deformações específicas respectivas.

O deslocamento do nó D (v_D) é $\Delta l_c / \text{sen } \theta$, figuras 3.10 e 3.11, pois Δl_c é considerada como pequena deformação.

Do mesmo modo determina-se o deslocamento vertical (v'_E) devido ao alongamento da diagonal tracionada, dado por $\Delta l_t / \text{sen } \alpha$.

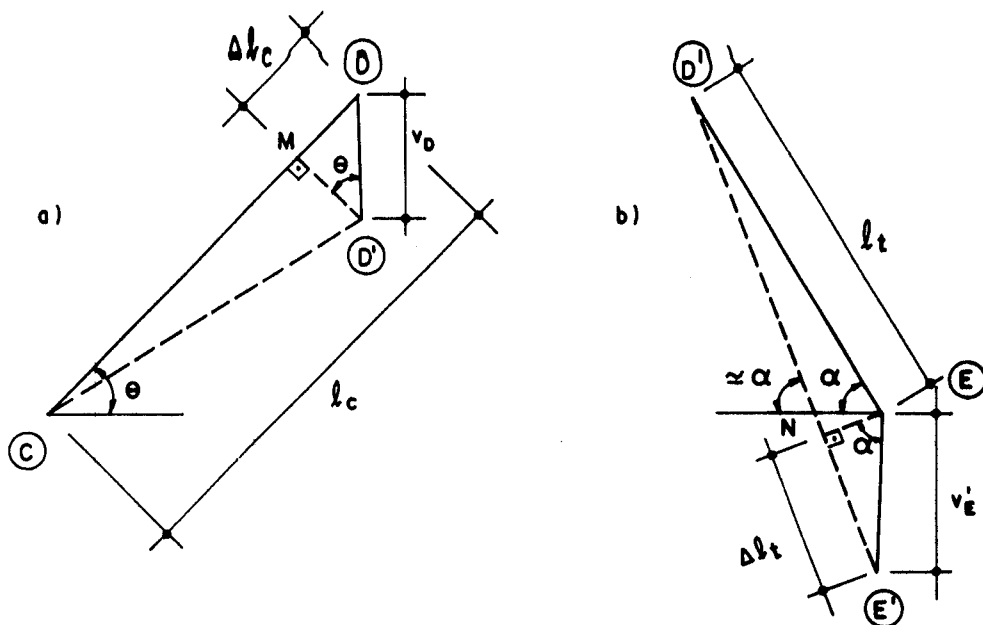


FIGURA 3.11 - DETERMINAÇÃO DOS DESLOCAMENTOS VERTICAIS v_D E v'_E

A figura 3.11 mostra como se calculam os deslocamentos verticais v_D e v'_E dos nós D e E da treliça. Para o deslocamento v_D , como indicado na figura 3.11-a, considera-se que a biela \overline{CD} além de sofrer um encurtamento Δl_c (\overline{MD}), também sofre uma rotação \widehat{MD}' . Como esta rotação é muito pequena, o arco \widehat{MD}' se confunde com um segmento de reta \overline{MD}' que por sua vez, é considerado perpendicular a \overline{CD} . Raciocínio análogo se faz através da figura 3.11-b para a determinação de v'_E .

O deslocamento final no ponto E (v_E) é igual a $v_D + v'_E$, assim:

$$v_E = \frac{\Delta l_c}{\text{sen } \theta} + \frac{\Delta l_t}{\text{sen } \alpha} \quad (3.53)$$

Da figura 3.10, obtém-se a distorção (γ) como expressa a seguir:

$$\text{tg } \gamma \approx \gamma = \frac{v_E}{z \cdot (\text{cotg } \theta + \text{cotg } \alpha)}$$

Substituindo (3.51) e (3.52) em (3.53) e em seguida na expressão de γ , obtém-se:

$$\gamma = \frac{\epsilon_{c\theta}}{\text{sen}^2 \theta \cdot (\text{cotg } \theta + \text{cotg } \alpha)} + \frac{\epsilon_{tt}}{\text{sen}^2 \alpha \cdot (\text{cotg } \theta + \text{cotg } \alpha)} \quad (3.54)$$

Da Lei de Hooke, sabe-se que $\epsilon_{c\theta} = \sigma_{c\theta}/E_c$ e $\epsilon_{tt} = \sigma_{tt}/E_s$. Das equações 2.16 e 2.23 do capítulo 2, escreve-se:

$$\epsilon_{tt} = \frac{V}{E_s \cdot z \cdot b_w} \cdot \frac{1}{\rho_{w\alpha} \cdot (\text{cotg } \theta + \text{cotg } \alpha) \cdot \text{sen}^2 \alpha}$$

$$\epsilon_{c\theta} = \frac{V}{E_c \cdot z \cdot b_w} \cdot \frac{1}{(\text{cotg } \theta + \text{cotg } \alpha) \cdot \text{sen}^2 \theta}$$

Substituindo estas últimas expressões em 3.54, obtém-se:

$$\gamma = \frac{V}{b_w \cdot z} \left[\frac{1}{E_c \cdot \text{sen}^4 \theta \cdot (\text{cotg } \theta + \text{cotg } \alpha)^2} + \frac{1}{E_s \cdot \rho_{w\alpha} \cdot \text{sen}^4 \alpha \cdot (\text{cotg } \theta + \text{cotg } \alpha)^2} \right]$$

A partir da equação 3.49, pode-se definir também a rigidez ao cisalhamento no Estádio II, $k_v^{II} = V/\gamma$; assim, substituindo γ e rearrumando, vem:

$$K_v^{II} = b_w \cdot z \cdot \frac{\rho_{w\alpha} \cdot E_s \cdot E_c \cdot \text{sen}^4 \theta \cdot \text{sen}^4 \alpha \cdot (\text{cotg } \theta + \text{cotg } \alpha)^2}{E_c \cdot \text{sen}^4 \theta + E_s \cdot \rho_{w\alpha} \cdot \text{sen}^4 \alpha} \quad (3.55)$$

Para estribos verticais ($\alpha = 90^\circ$), tem-se:

$$K_v^{II} = \frac{b_w \cdot z \cdot \rho_w \cdot E_s \cdot E_c \cdot \text{sen}^2 2\theta}{4 \cdot (E_c \cdot \text{sen}^4 \theta + E_s \cdot \rho_w)} \quad (3.56)$$

3.2.3.2 Analogia da Treliça Generalizada

No caso de se considerar a Analogia da Treliça Generalizada, sabe-se que em vez de τ_{od} , a tensão de cisalhamento pode ser reduzida de um valor τ_c , como foi visto no ítem 2.1.2.4. Assim, tem-se $\tau_d = \tau_{od} - \tau_c$ e as tensões nos estribos podem ser reduzidas, em relação ao indicado na treliça de banzos paralelos, por meio do coeficiente k_τ , obtido como a seguir:

$$k_\tau = \frac{\tau_{od} - \tau_c}{\tau_{od}} = \frac{\tau_d}{\tau_{od}} \quad (3.57)$$

Do mesmo modo, a deformação específica do aço dos estribos também pode ser reduzida, aplicando-se a ϵ_s , o

coeficiente k_τ , assim:

$$\epsilon_{td} = k_\tau \cdot \epsilon_{tt} \quad (3.58)$$

Para o caso de estribos a 90° a distorção γ será:

$$\gamma_{90} = \frac{V}{b_w \cdot z} \cdot \left[\frac{4}{E_c \cdot \text{sen}^2 2\theta} + \frac{k_\tau}{E_s \cdot \rho_w \cdot \text{cotg}^2 \theta} \right] \quad (3.59)$$

E finalmente K_v^{II} , toma a forma:

$$K_{vd}^{II} = b_w \cdot z \cdot \frac{\rho_w \cdot E_c \cdot E_s \cdot \text{sen}^2 2\theta}{4 \cdot (k_\tau \cdot E_c \cdot \text{sen}^4 \theta + E_s \cdot \rho_w)} \quad (3.60)$$

Concluindo, o deslocamento devido à força cortante v_v na treliça generalizada pode ser calculado através da expressão:

$$v_v = \int_0^x \frac{V}{K_{vd}^{II}} dx \quad (3.61)$$

onde, K_{vd}^{II} é determinado pela equação 3.60 e k_τ pela equação 3.57.

3.2.4 - APLICAÇÃO AOS MODELOS ENSAIADOS

Para o esquema estrutural dos modelos ensaiados de acordo com a figura 1.1, V é constante no trecho entre o apoio e o ponto de aplicação da força vertical concentrada. Portanto, neste trecho, tem-se considerando θ se mantendo constante, K_{vd}^{II} também constante. Logo a partir da expressão 3.61, obtém-se:

$$v_v = \frac{V \cdot x}{K_{vd}^{II}} \quad (3.62)$$

que é a expressão do deslocamento v_v em uma seção distante x do apoio esquerdo, devido ao esforço cortante. No centro do vão, o deslocamento considerado é o valor máximo do deslocamento vertical, igual a aquele calculado a uma distância $x = a$ do apoio esquerdo, já que entre as duas ações concentradas verticais, a força cortante é nula, assim:

$$v_{v, \ell/2} = \frac{V \cdot a}{K_{vd}^{II}} = \frac{M_{\max}}{a} \cdot \frac{a}{K_{vd}^{II}} = \frac{M_{\max}}{K_{vd}^{II}} \quad (3.63)$$

onde M_{\max} é o momento fletor máximo, conforme se vê na figura 1.1. No trecho central, entre as cargas, não há acréscimo de deslocamento devido ao cisalhamento, pois $V = 0$. Para o Estádio I, em vez de K_{vd}^{II} , usar K_v^I .

Note-se que a este deslocamento, deve ser adicionado o deslocamento devido ao momento fletor v_M , para que se tenha o deslocamento total na seção considerada.

3.2.5 DESLOCAMENTOS SEGUNDO AS NORMAS NACIONAIS E ESTRANGEIRAS

3.2.5.1 Deslocamentos segundo a ABNT

A norma brasileira NBR-11.173¹ não faz referência ao cálculo de deslocamentos oriundos do cisalhamento na flexão. As prescrições sobre deslocamentos limites são as da NBR 6118² e para a norma de peças pré-moldadas NBR 9062⁵⁹.

A NBR 6118² prescreve o seguinte:

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

b) Os deslocamentos causados por cargas acidentais não deve ser superior a $l/500$ e $l/250$ no caso dos balanços.

No caso de elementos pré-moldados, a NBR 9062⁵⁹ 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 são as seguintes:

c) $l/150$ de contra-flecha (flecha negativa), iniciais ou a longo prazo, incluindo o efeito das cargas permanentes;

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

e) $l/200$ de flechas positivas, nos casos em que o elemento tenha inclinação que evite o empoçamento d'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 (Δv) calculada para ações de longa duração e carga acidental, 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 medida a longo prazo.

A variação da flecha (Δv), calculada para ações de longa duração e carga acidental 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.

Na falta de determinação experimental, a NBR-11.173¹ recomenda usar o módulo de deformação longitudinal da argamassa igual a 80% do valor calculado com a expressão indicada na NBR 6118². O módulo secante da argamassa é adotado igual a 85% do módulo tangente. Assim, tem-se:

$$E_c = 0,8 \times 0,85 \times 6600 \times \sqrt{f_{ck} + 3,5}$$

$$E_c = 4488 \cdot \sqrt{f_{ck} + 3,5} \quad (\text{em MPa}) \quad (3.64)$$

Para peças de argamassa armada, sugere-se que os deslocamentos causados pela força cortante sejam considerados e calculados conforme LEONHARDT [1979]⁵² como foi visto no item 3.2.3, equação 3.61. Neste caso, para o cálculo do coeficiente k_τ , indicado na equação 3.57, na falta de dados mais precisos, pode-se tomar $\tau_d = 1,15 \cdot \tau_{wd} - \tau_c$, como já explicado no item 2.2.1.2. Quando for possível o cálculo preciso do braço de alavanca z , $\tau_d = \tau_{od} - \tau_c$, com $\tau_{od} = V_d / (b_w \cdot z)$, conforme teoria já deduzida no capítulo 2.

3.2.5.2 Deslocamentos segundo o ACI 549.1R-88

O ACI 549.1R-88³ apenas cita que, devido ao fato das seções delgadas de argamassa armada serem muito flexíveis e seu projeto ser bem controlado por outros critérios, que não os de deslocamentos, limitações particulares para cada caso podem ser recomendadas. Deve-se observar que, para os casos omissos no ACI 549.1R-88³ de argamassa armada, valem as prescrições indicadas para o concreto armado, constantes no ACI 318-83⁵¹, onde apenas são citadas limitações para os valores dos deslocamentos, independentes se ocorrem devido ao momento fletor ou à força cortante.

3.2.5.3 Deslocamentos Segundo a SN 366-77

Não existem recomendações específicas para o cálculo de deslocamentos causados pela ação da força cortante na SN 366-77⁴.

3.2.5.4 Deslocamentos Segundo o CEB-90

Para deformações devidas à força cortante, o CEB-90⁵ cita apenas que, se não ocorrerem fissuras diagonais (Estádio I), as deformações devidas à força cortante podem ser desprezadas. Cita também, que as influências das forças normais ou de protensão sobre a rigidez ao cisalhamento, podem ser geralmente desprezadas.

Não é feita nenhuma referência sobre como calcular deslocamentos devidos ao cisalhamento.

4. DESCRIÇÃO DOS MODELOS E DOS ENSAIOS

4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Com o objetivo de comparar os resultados teóricos obtidos através das expressões vistas nos capítulos 2 e 3, com resultados experimentais de ensaios de laboratório em vigas de argamassa armada, foram escolhidos modelos que, permitissem a abrangência mais adequada possível dos parâmetros que se desejavam analisar. Tais parâmetros diziam respeito, ao comportamento dos modelos, frente aos efeitos dos esforços cortantes a que foram solicitados durante os ensaios.

Assim, os modelos foram projetados de modo a se poder calcular, observar, medir e analisar o seguinte:

- Força cortante de fissuração (fissuras inclinadas no trecho cisalhado);
- Força cortante última;
- Deformações e tensões nas mesas tracionada, comprimida e na alma nos trechos de variação do momento fletor e força cortante constante;

- Deformações e tensões nas armaduras transversais e longitudinais;
- Deslocamentos no centro do vão e nos pontos de aplicação das ações;
- Aberturas das fissuras verticais e inclinadas;
- Espaçamento entre fissuras verticais e inclinadas;
- Inclinações das fissuras nos trechos submetidos a solicitações tangenciais.

De acordo com os fatores que influenciam a capacidade resistente à força cortante, bem como o estado de fissuração e deformação das vigas, foram projetados modelos, de modo a se fazer variar dimensões da seção transversal e posições do carregamento, dando condições de analisar o seu comportamento diante desses fatores. Assim escolheram-se as seguintes variáveis de controle para os projetos dos modelos:

- Intensidade da força concentrada vertical externa (F);
- Posição das forças concentradas verticais (a);
- Altura das vigas (h);
- Largura das almas das vigas (b_w);
- Diâmetros dos fios e barras da armadura transversal (ϕ_w);
- Taxa de armadura transversal (ρ_w);
- Espaçamento dos fios verticais (s_t).

Com isso, teve-se condições de analisar as seguintes influências:

- Influência da relação b_{fs}/b_w na tensão da armadura transversal, nas tensões principais, nos deslocamentos verticais e na inclinação das bielas comprimidas;
- Influência de a/h no tipo de ruptura e geometria das fissuras inclinadas e na capacidade resistente ao cisalhamento;
- Influência de h na capacidade resistente de fissuração e última e nos deslocamentos verticais;

- Influência da largura da alma (b) na inclinação das bielas de ruptura, nas tensões principais de compressão, na capacidade resistente de fissuração e última e nos deslocamentos verticais;
- Influência da taxa de armadura transversal (ρ_w) na capacidade resistente de fissuração e última, nos deslocamentos verticais, nas tensões nas diagonais de compressão, na tensão normal na armadura transversal e no tipo de ruptura;
- Influência do diâmetro das barras e fios transversais no espaçamento e abertura das fissuras e nas forças cortantes de fissuração e última;
- Influência do espaçamento dos fios transversais das telas no espaçamento e aberturas das fissuras.

Embora não tenham sido consideradas nesta pesquisa, devido ao elevado número de modelos que deveriam ser ensaiados, as seguintes variáveis ainda poderiam ser implementadas:

- resistência da argamassa (f_{ck}) e do aço (f_y);
- comprimento da viga (l).

Estes parâmetros também afetam a capacidade resistente ao cisalhamento, o estado de fissuração, as deformações e os deslocamentos verticais.

Na tabela 4.1 ilustra-se a dependência entre as características geométricas e dos materiais das vigas de argamassa armada com os efeitos causados pela variação destas referidas características.

A partir destas influências, foram idealizados os modelos ensaiados, de modo a abrangerem o maior número possível de efeitos ao se variarem as suas características.

Todos os modelos ensaiados mediram 3.005 mm de comprimento, com distância de centro a centro dos apoios igual a 2.895 mm e possuíam seção transversal duplo T. Foram aplicadas duas forças concentradas equidistantes dos apoios, gradativamente, até a ruptura total de cada viga. A

armação dos modelos foi constituída por telas eletro-soldadas, definidas pela NBR 7481³⁴, tipo EL 126 com direção dos fios longitudinais da tela, paralelos aos eixos longitudinais das vigas e fios complementares nas direções longitudinal e transversal.

Os modelos foram escolhidos de modo que, dentro de uma mesma série, somente a taxa de armadura transversal (ρ_w) e/ou o espaçamento dos fios transversais foram modificados. Assim, foram projetadas três séries diferentes, cada uma das quais com as dimensões das seções transversais variando entre si, no caso, b e h . Houve também variação, na distância a de aplicação das forças concentradas em relação aos apoios, para duas das séries (1B e 2). No caso da série 1B, mantiveram-se as mesmas dimensões b_w e h da série 1.

TABELA 4.1
INFLUÊNCIAS DA VARIAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS NO CISALHAMENTO
DE VIGAS DE ARGAMASSA ARMADA

| CARACTERÍSTICAS EFEITOS | b_w | h | $\frac{b_f s_a/h}{b_w}$ | ρ_w | ϕ | s_t | l | RESIST. | |
|--|-------|---|-------------------------|----------|--------|-------|---|----------|-----------|
| | | | | | | | | f_{ck} | f_{ywd} |
| TENSÃO NA ARMADURA TRANSVERSAL - σ_{tt} | | X | X | | X | | | | |
| TENSÕES PRINCIPAIS σ_1 e σ_2 | X | X | X | | | | | | |
| DESLOCAMENTOS VER- TICAIS v_w | X | X | X | X | X | | X | X | |
| ESPAÇAMENTO ENTRE FISSURAS - s_w | X | X | | X | X | X | | X | X |
| ABERTURA DE FISSURAS w_w | X | X | | X | X | X | | X | X |
| FORÇA CORTANTE DE FISSURAÇÃO - V_f | X | X | | X | X | X | | X | X |
| FORÇA CORTANTE ÚLTIMA - V_{u1} | X | X | | X | X | | | X | X |
| TIPO DE RUPTURA | X | X | | X | X | | X | X | X |
| INCLINAÇÃO DAS TEN- SÕES PRINCIPAIS β | X | X | X | | | | | | |
| INCLINAÇÃO DA BIELA COMPRIMIDA - θ | X | X | X | | X | | | | X |
| TENSÃO NA BIELA COMPRIMIDA - $\sigma_{c\theta}$ | X | X | | | X | | | | |

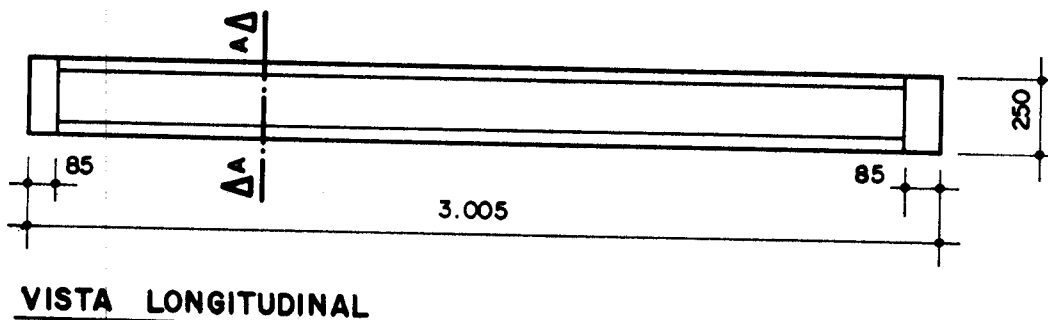
4.2 OS MODELOS UTILIZADOS

Foram ensaiadas três séries com três modelos diferentes cada, descritos a seguir:

4.2.1 MODELOS DA SÉRIE 1

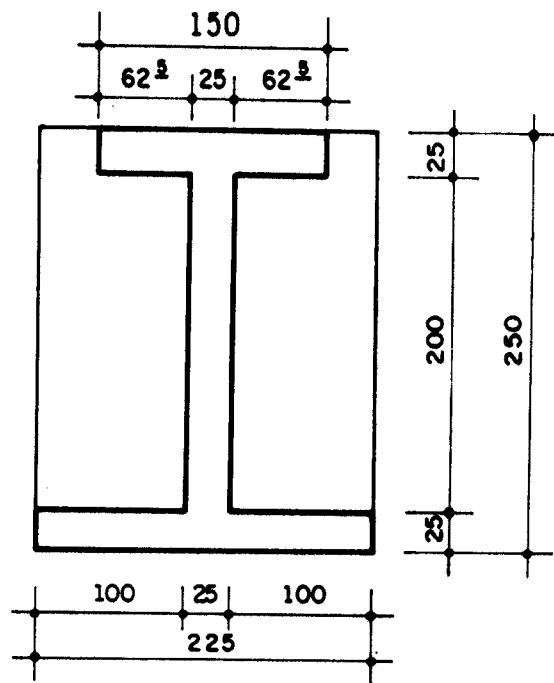
Todos os modelos da série 1 tiveram as seguintes dimensões, que podem ser visualizadas nas figuras 4.1 e 4.2:

| | |
|----------------------------|---------------------------|
| Largura da mesa superior | $b_{fs} = 150 \text{ mm}$ |
| Espessura da mesa superior | $h_{fs} = 25 \text{ mm}$ |
| Largura da mesa inferior | $b_{fi} = 225 \text{ mm}$ |
| Espessura da mesa inferior | $h_{fi} = 25 \text{ mm}$ |
| Largura da alma | $b_w = 25 \text{ mm}$ |
| Altura da seção | $h = 250 \text{ mm}$ |
| Comprimento do vão | $\ell = 3.005 \text{ mm}$ |
| Distância de F ao apoio | $a = 965 \text{ mm}$ |



ESCALA 1:25
MEDIDAS EM mm

FIGURA 4.1 - FORMA DA SEÇÃO LONGITUDINAL PARA AS SÉRIES 1



CORTE \triangle - SEÇÃO TRANSVERSAL
SÉRIE 1

ESCALA 1:5
 MEDIDAS EM mm

FIGURA 4.2 - FORMA DA SEÇÃO TRANSVERSAL PARA OS MODELOS DA SÉRIE 1

Com a finalidade de promover rupturas por cisalhamento em todos os modelos da série 1, foram posicionados seis fios longitudinais complementares de aço CA-50B, com 6,3 mm de diâmetro sendo três com 3.195 mm de comprimento total na mesa inferior e mais três com 2995 mm de comprimento, como detalhado na figura 4.3.

Próximo às faces externas de cada mesa, foram posicionadas telas EL 126 de 2.995 mm de comprimento, com direção dos fios longitudinais, paralelos aos eixos longitudinais dos modelos. Lembra-se que a tela EL 126 é constituída por fios longitudinais e transversais de aço CA-60, com 2 mm de diâmetro; área da seção transversal dos fios, cortados por um plano perpendicular à direção

longitudinal da tela, de $1,26 \text{ cm}^2/\text{m}$ (espaçamento de 25 mm) e 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 de 50 mm). Estes dados nominais foram obtidos do catálogo do IBTS - Instituto Brasileiro de Telas Soldadas. As larguras destas telas foram de 140 mm para a mesa superior e 215 mm para a mesa inferior.

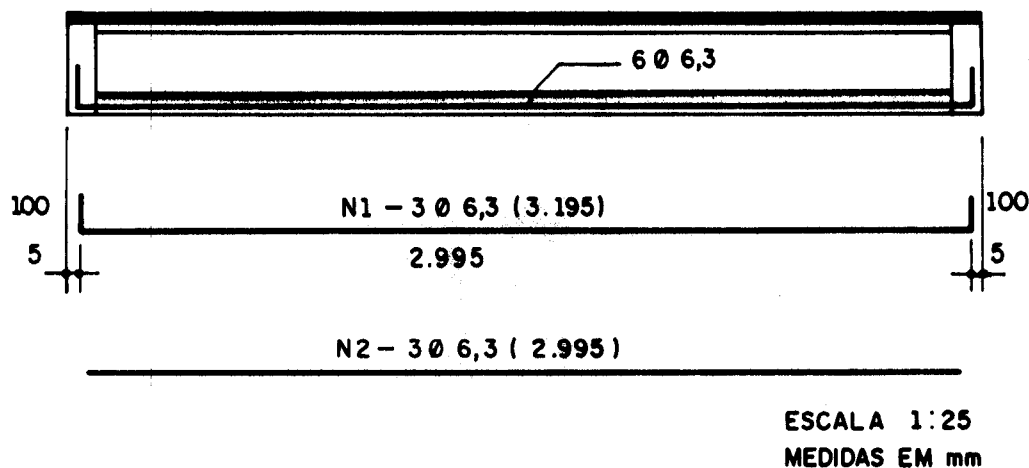


FIGURA 4.3 - ARMADURA LONGITUDINAL

Os cobrimentos foram de 5 mm, obedecendo o limite da NBR 11.173¹ para peças em ambientes protegidos que é de 4 mm.

Junto às extremidades das vigas foram moldados diafragmas em argamassagem posterior à desforma do modelo, com a finalidade de distribuir as reações nas seções transversais dos apoios. A figura 4.4 especifica as dimensões e o detalhamento da armadura dos diafragmas.

Apenas as armaduras transversais, posicionadas na alma de cada modelo da série 1, sofreram alterações, de modo a se poder observar suas consequências sobre o comportamento da peça durante o ensaio, conforme já comentado e resumido na tabela 4.1. Em todos os modelos da série foram posicionadas na alma, duas telas EL 126 de 387 mm x 2.995 mm, com a mesma disposição dos fios longitudinais e transversais, daqueles localizados nas faces externas das mesas.

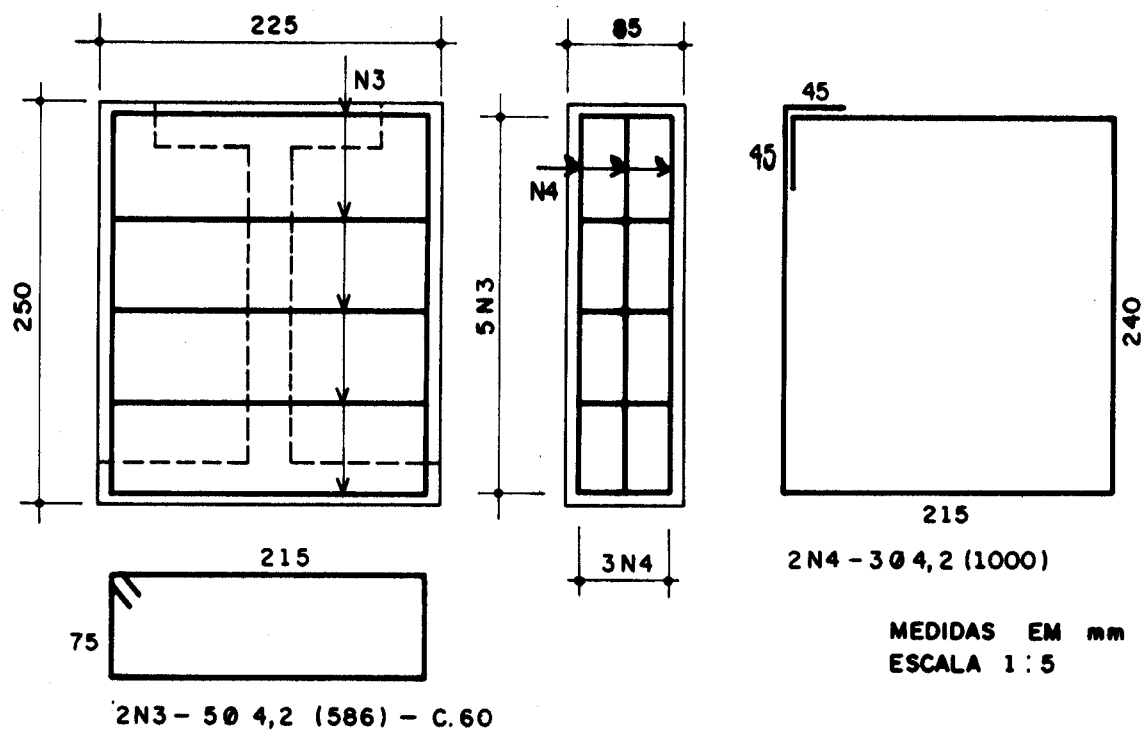


FIGURA 4.4 - DIAFRAGMAS - SÉRIES 1 • 2

As telas da alma foram dobradas de modo a ficarem localizadas junto às faces internas das mesas superior e inferior, como pode ser observado na figura 4.5.

A seguir são descritas as armaduras transversais adotadas para a alma de cada modelo da série 1.

4.2.1.1 Modelo 1/1

A armadura transversal da alma do modelo 1 da série 1 foi constituída apenas de duas telas EL 126 já descritas neste ítem, conforme pode ser visualizado na figura 4.5.

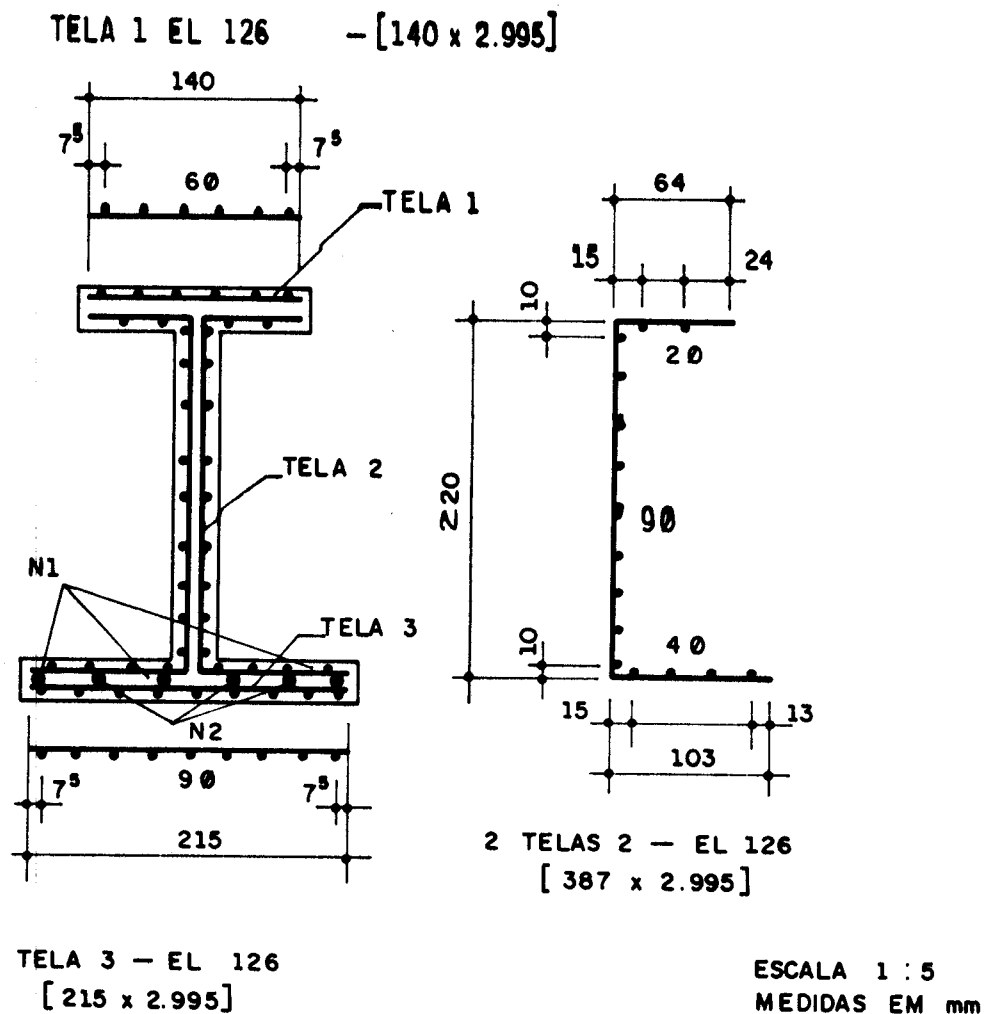


FIGURA 4.5 - MODELO 1/1 - ARMAÇÃO

4.2.1.2 Modelo 1/2

Com a finalidade de se alterar a taxa de armadura transversal, bem como, o espaçamento dos fios, colocou-se na alma do modelo, mais uma tela EL 126, medindo 220 mm x 2.995 mm, com a mesma disposição dos fios longitudinais e transversais e posicionada entre as duas telas já existentes como pode ser constatado na figura 4.6.

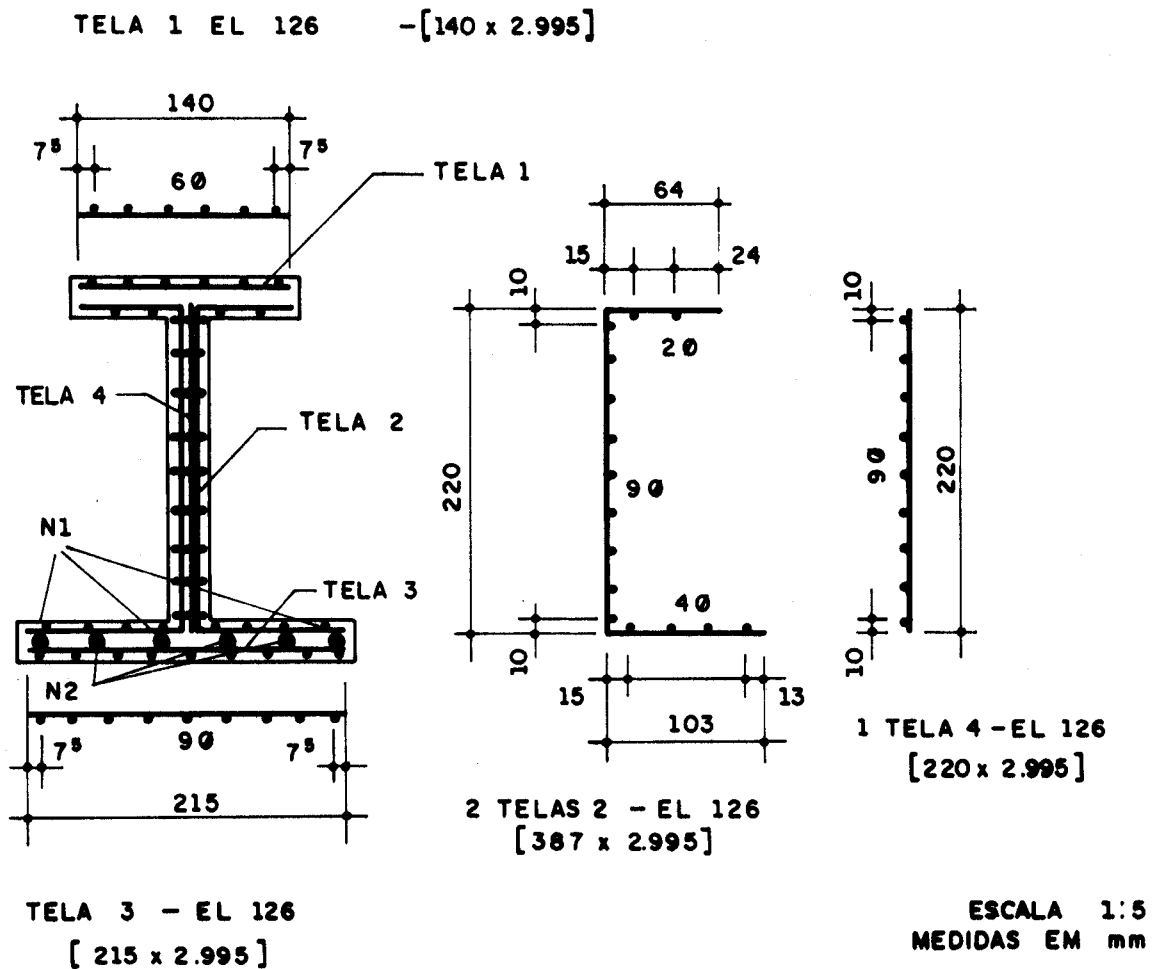


FIGURA 4.6 - MODELO 1/2 - ARMAÇÃO

4.2.1.3 Modelo 1/3

O modelo 1/3 foi constituído das mesmas telas do modelo 1/1 com a inclusão de fios de aço CA-60 verticais (estribos) de 4,2 mm de diâmetro e 334 mm de comprimento, ancorados nas mesas, com espaçamento de 110 mm ($\approx d/2$ como recomendado pela NBR 6118²), nas zonas sujeitas à força cortante. A figura 4.7 ilustra este detalhamento.

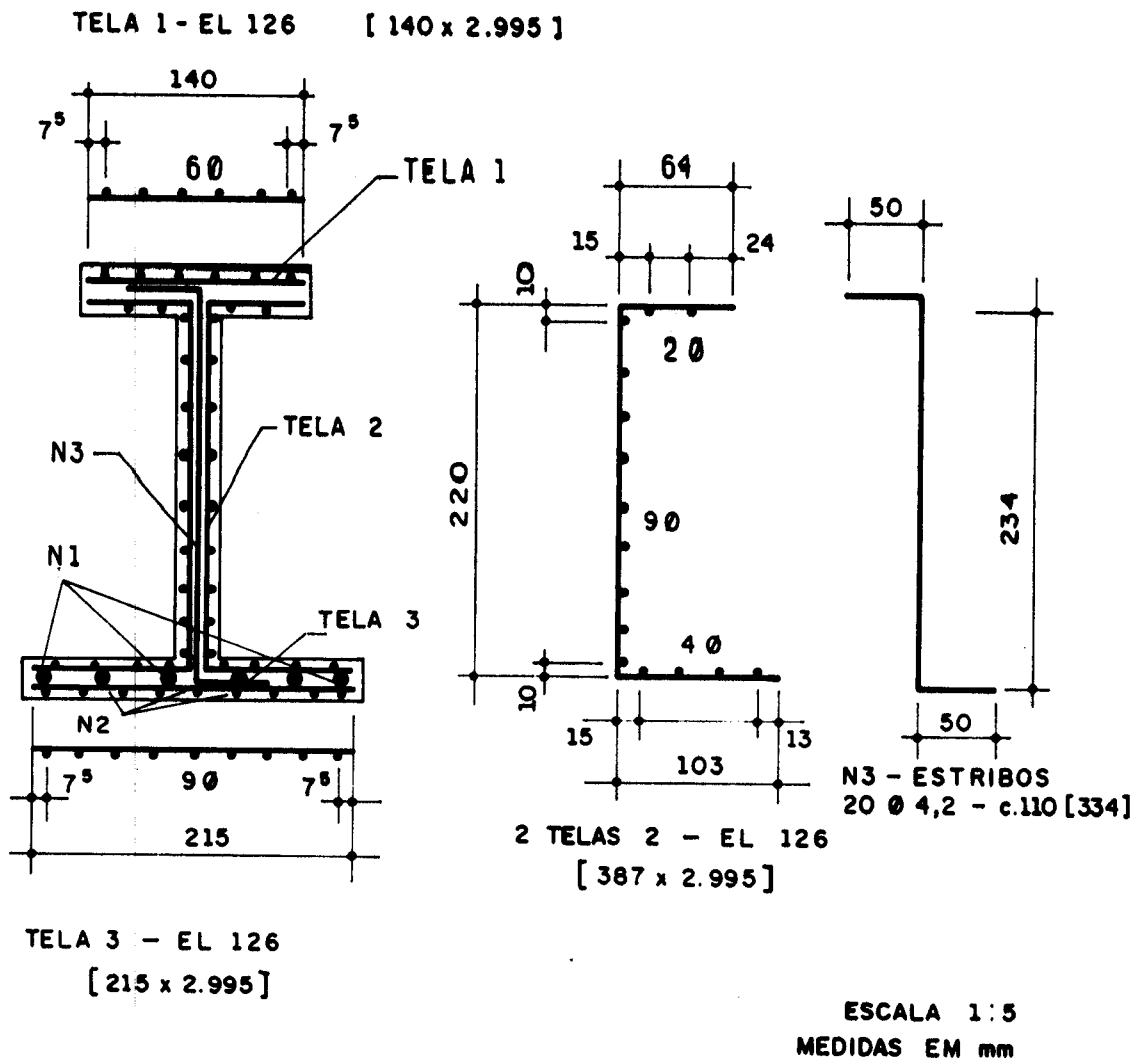


FIGURA 4.7 - MODELO 1/3 - ARMAÇÃO

Isto permitiu verificar a influência da alteração do diâmetro da armadura transversal na força cortante última e na geometria das fissuras, além de se poder realizar medições das deformações longitudinais nos referidos fios, através de extensômetros elétricos. Observe-se que devido ao espaçamento de 110 mm dos estribos (máximo de $d/2$ conforme NBR 6118), a taxa de armadura transversal foi conseqüentemente alterada.

4.2.2 MODELOS DA SÉRIE 2

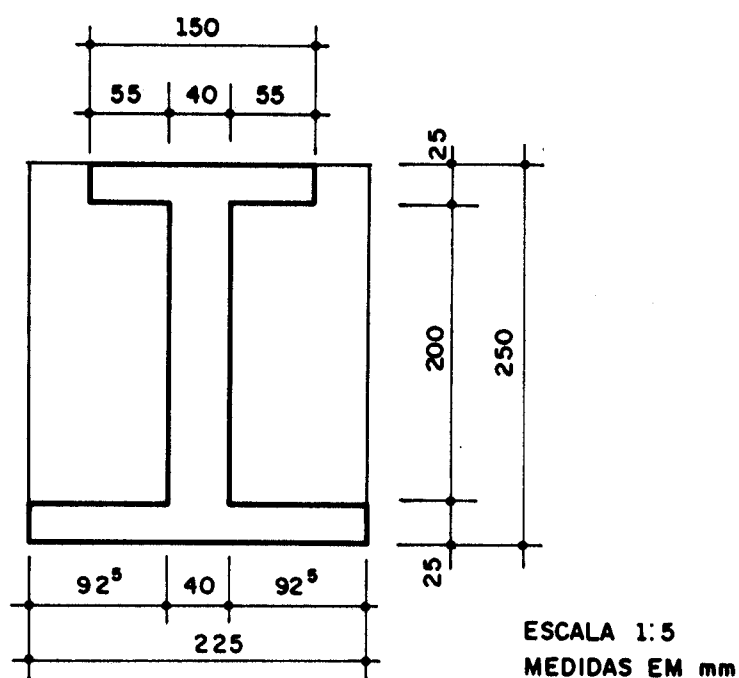


FIGURA 4.8 - FORMA DA SEÇÃO TRANSVERSAL PARA OS MODELOS DA SÉRIE 2

Com a finalidade de se observar a influência da largura da alma b_w , da taxa de armadura transversal ρ_w , bem como, da relação b_{fs}/b_w , todas as dimensões da seção transversal, inclusive das armaduras longitudinais permaneceram iguais às da série 1, alterando-se a largura da alma ($b_w = 40$ mm), como indicado na figura 4.8 e consequentemente, os comprimentos das duas telas posicionadas na alma, dobradas nas faces internas das mesas superior e inferior. Assim, estas telas ficaram com 373,5 mm de largura por 2.995 mm de comprimento, como detalhado na figura 4.9.

Os diafragmas e a armadura longitudinal complementar, também não sofreram alteração, permanecendo com as mesmas dimensões e detalhamentos dos modelos da Série 1.

Tendo em vista que o acréscimo na largura da alma aumenta a resistência ao cisalhamento, aplicou-se a força concentrada vertical numa distância a ao apoio, menor do que na série 1, ou seja, 700 mm. Isto permitiria que se pudesse observar todas as etapas de aplicação da força, até que os modelos rompessem por cisalhamento antes da ruptura por flexão.

Assim, as características geométricas de cada modelo desta série, ficaram como a seguir especificado.

4.2.2.1 Modelo 2/1

A armadura transversal da alma foi constituída de duas telas como anteriormente especificado para esta série, de acordo com a figura 4.9.

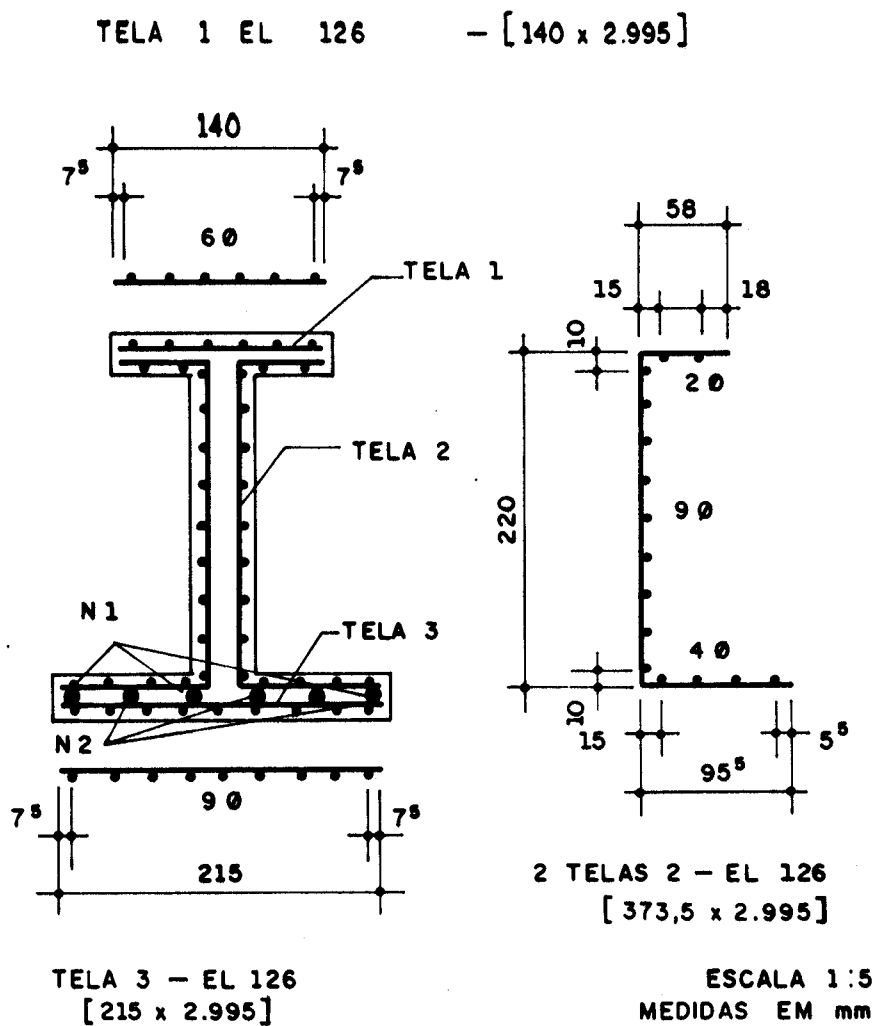


FIGURA 4.9 - MODELO 2/1 - ARMAÇÃO

4.2.2.2 Modelo 2/2

A armadura transversal da alma foi constituída de uma tela adicional às do modelo 2/1 e de mesmas dimensões e disposição do modelo 1/2, de conformidade com a figura 4.10.

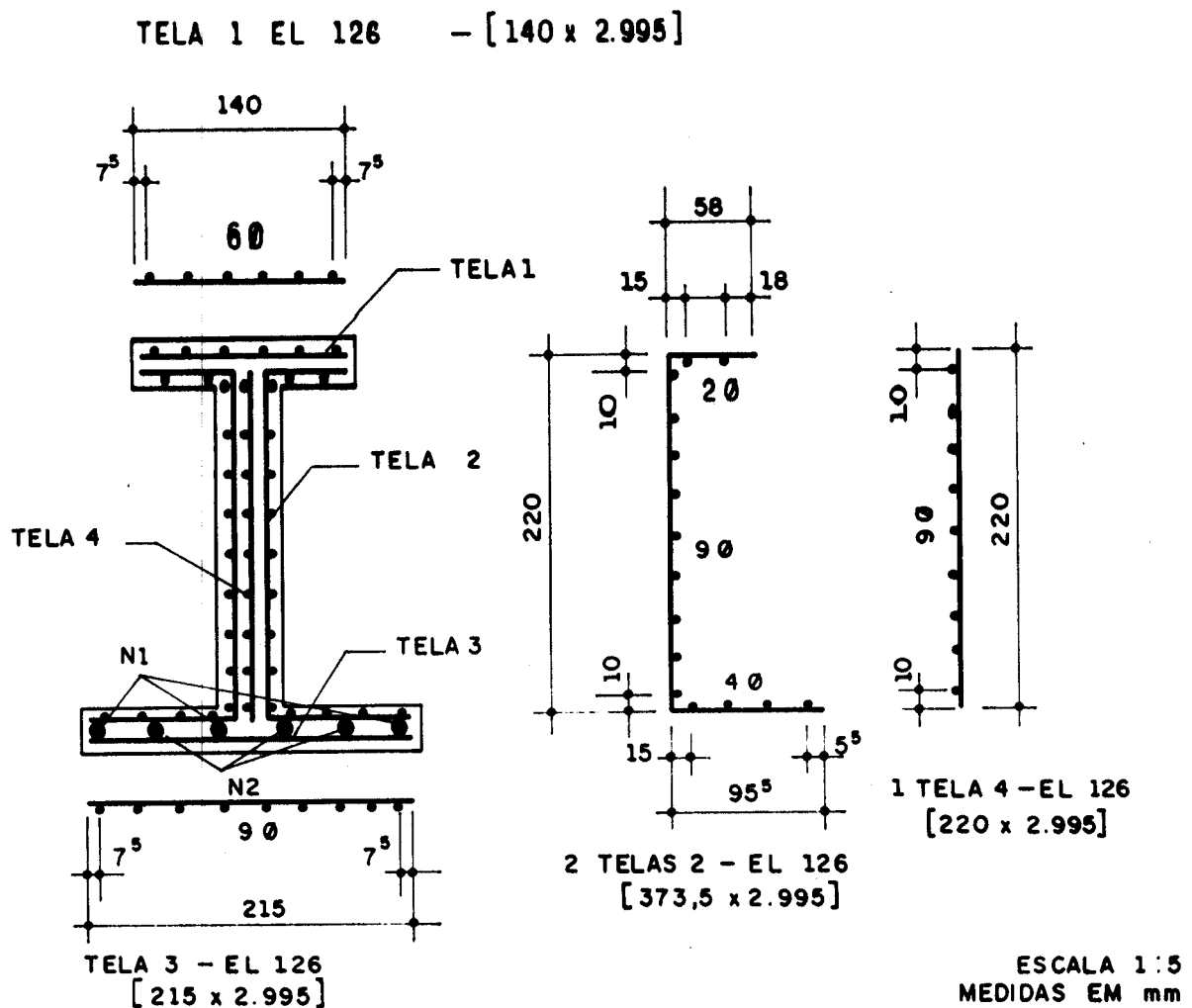


FIGURA 4.10 - MODELO 2/2 - ARMAÇÃO

4.2.2.3. Modelo 2/3

A armadura transversal foi idêntica à do modelo 1/3, ou seja, além das duas telas da alma, colocaram-se estribos verticais de mesmo comprimento, diâmetro e espaçamento, como detalhado na figura 4.11.

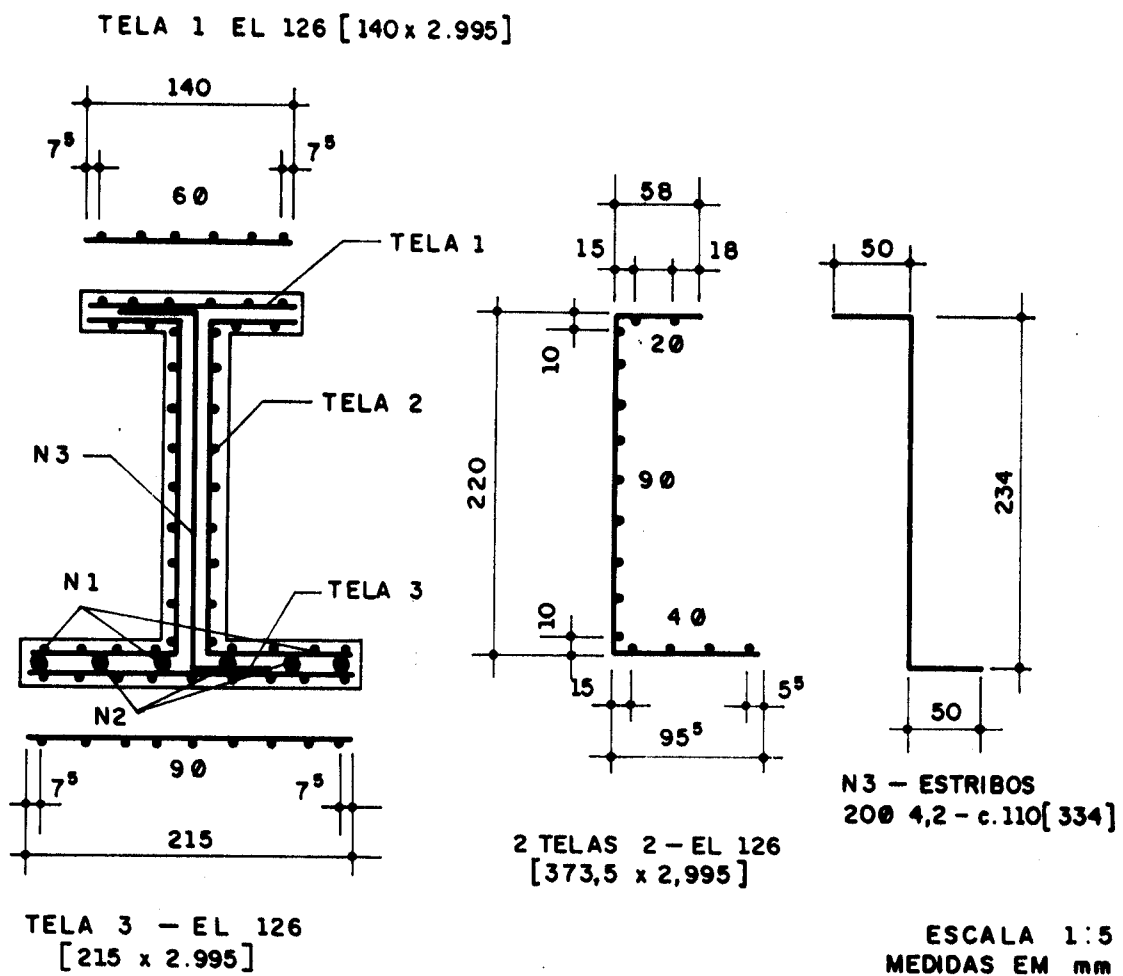


FIGURA 4.11 - MODELO 2/3 - ARMAÇÃO

4.2.3 MODELOS DA SÉRIE 3

O objetivo da série 3, foi o de analisar os modelos com altura igual a 350 mm, mantendo as mesmas dimensões das seções transversais dos modelos da série 1 como pode ser constatado nas figuras 4.12 e 4.13. Com isso, alterou-se também a armadura longitudinal de tração, com o aumento dos fios longitudinais da alma, bem como, a relação a/h .

Essa alteração da altura h , fez com que as peças passassem a funcionar também, como perfis delgados ($h/b_w > 10$). Os resultados dos ensaios na fase elástica foram comparados com as fórmulas deduzidas no item 2.1.2.1.

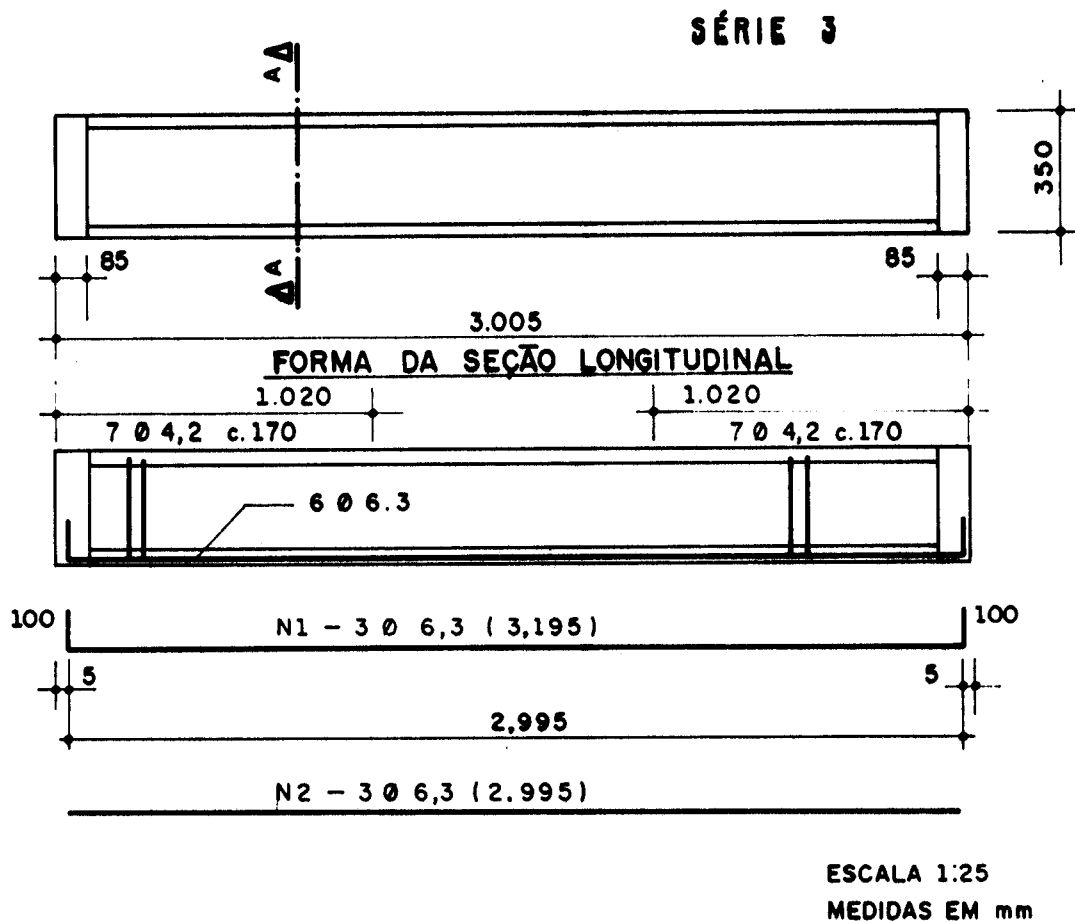
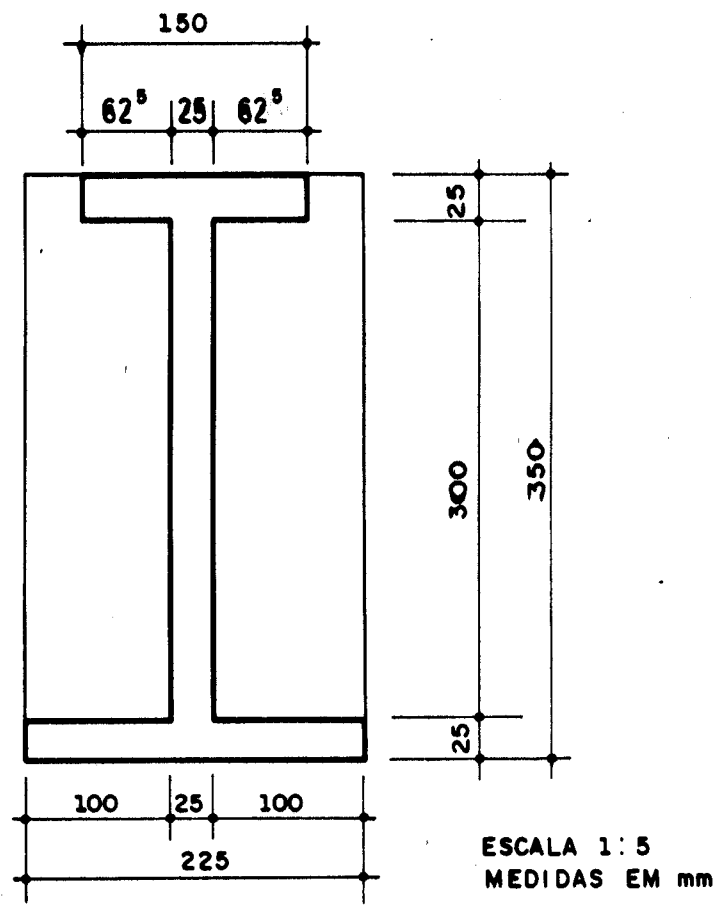


FIGURA 4.12 - FORMA E ARMADURA DA SEÇÃO LONGITUDINAL DA SÉRIE 3



CORTE \triangle - SEÇÃO TRANSVERSAL
SÉRIE 3

FIGURA 4.13 - FORMA DA SEÇÃO TRANSVERSAL PARA OS MODELOS DA SÉRIE 3

Os efeitos da instabilidade do perfil no regime elástico não chegaram a ser alcançados, já que as primeiras fissuras apareceram com carregamentos relativamente baixos, cerca de 25% da força cortante última, observados nos ensaios.

As dimensões dos diafragmas em consequência, foram alteradas como se pode observar na figura 4.14.

SÉRIE 3

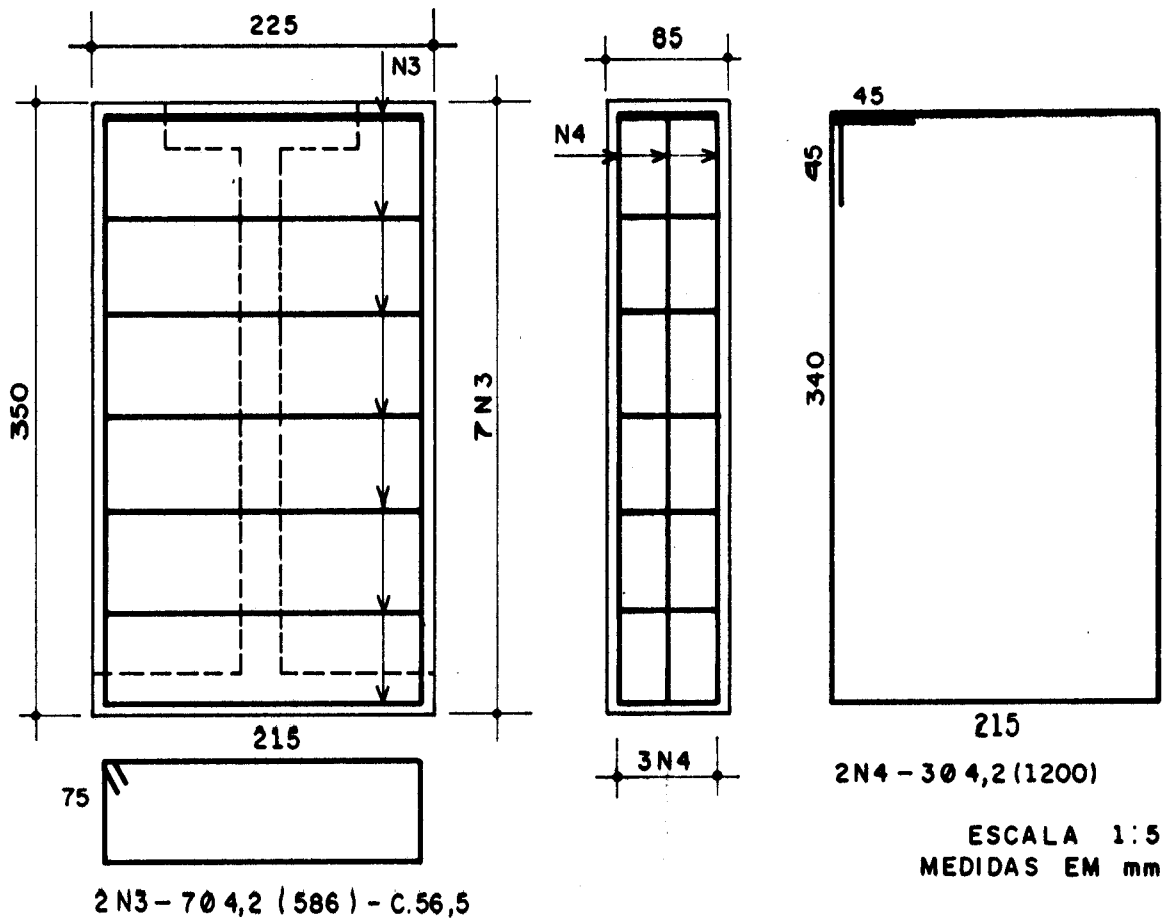


FIGURA 4.14 - ARMAÇÃO DOS DIAFRAGMAS DOS MODELOS DA SÉRIE 3

Com a mudança na altura h , alterou-se também as dimensões das duas telas posicionadas junto às faces externas da alma, que passaram a medir 487 mm de largura por 2.995 mm de comprimento, podendo ser visualizadas no detalhe da armadura indicado na figura 4.15.

A armadura longitudinal complementar permaneceu a mesma dos outros modelos.

Dentro desta série, foram projetados e rompidos também três modelos, cujas características, são descritas a seguir:

4.2.3.1 Modelo 3/1

Do mesmo modo que nas outras séries, a armadura transversal de cisalhamento foi constituída somente por duas telas posicionadas na alma, já especificadas para esta série e pode ser visualizada na figura 4.15.

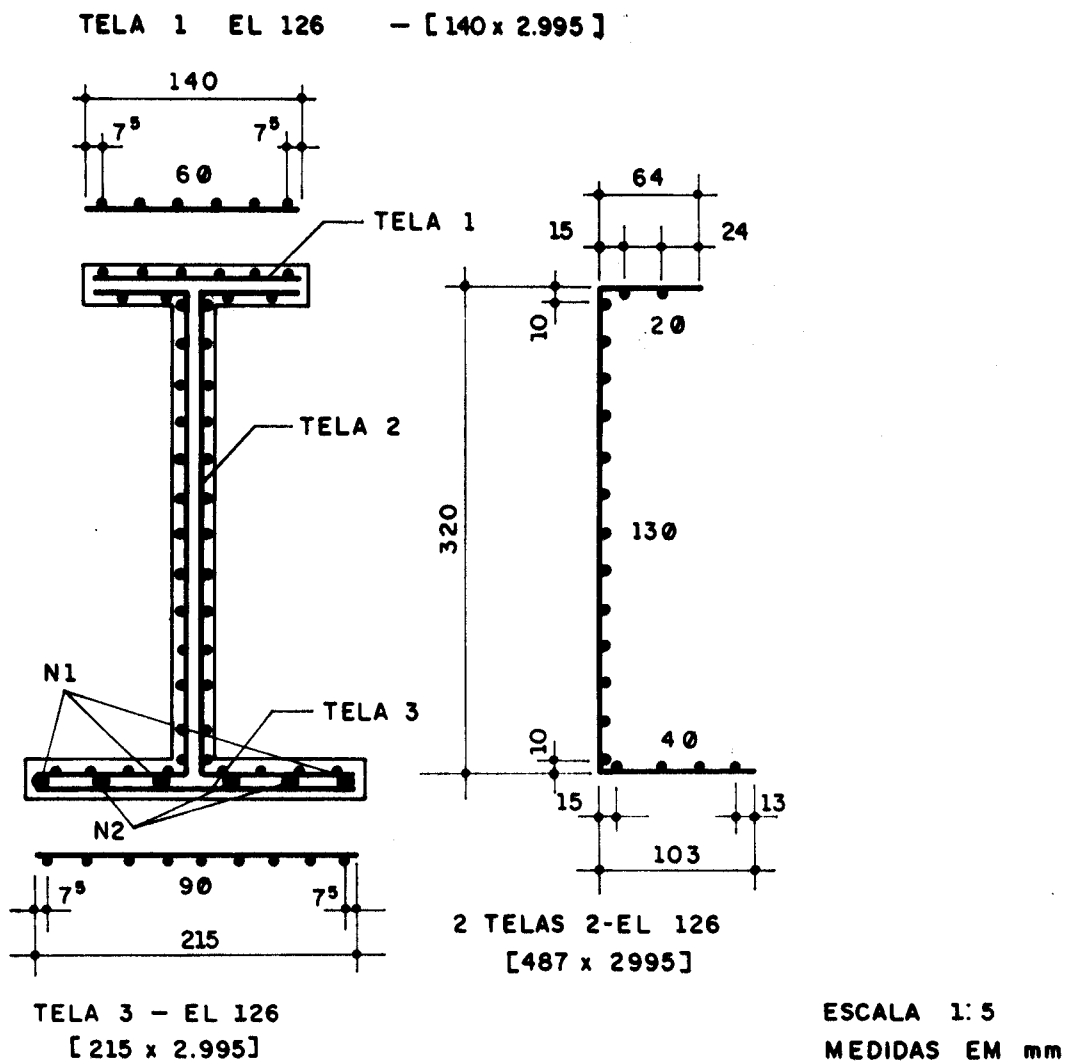


FIGURA 4.15 - MODELO 3/1 - ARMAÇÃO

4.2.3.2 Modelo 3/2

Além das telas do tipo do modelo 3/1, colocou-se entre elas, uma outra tela com a mesma disposição dos fios ao longo do comprimento da alma, medindo 320 mm x 2.995 mm e detalhada na figura 4.16.

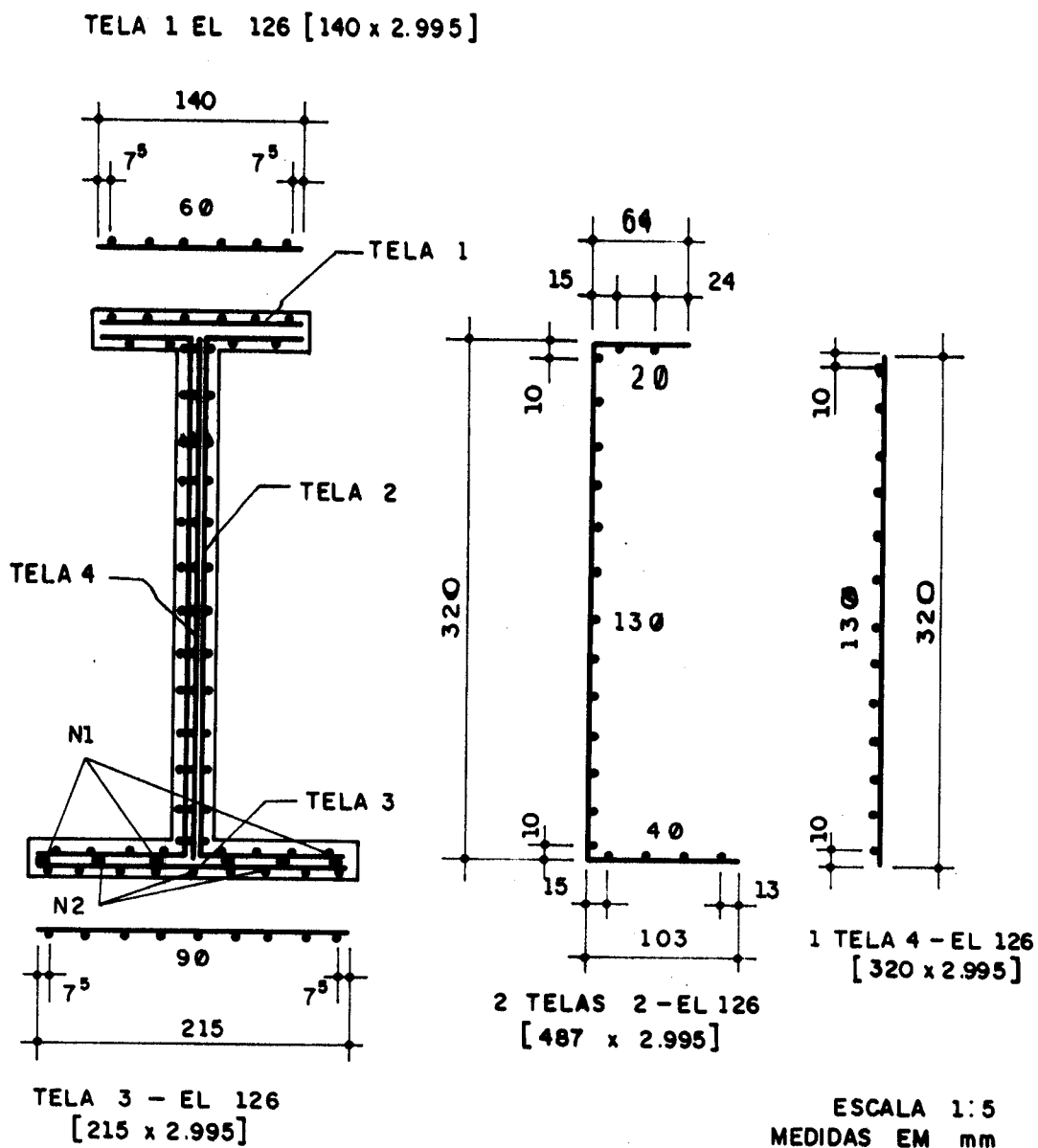


FIGURA 4.16 - MODELO 3/2 - ARMAÇÃO

4.2.3.3 Modelo 3/3

Em lugar da tela adicional especificada no modelo 3/2, foram posicionados na alma, estribos verticais de 4,2 mm de diâmetro, ancorados nas mesas, espaçados de 170 mm e medindo 434 mm de comprimento total, como pode ser constatado na figura 4.17.

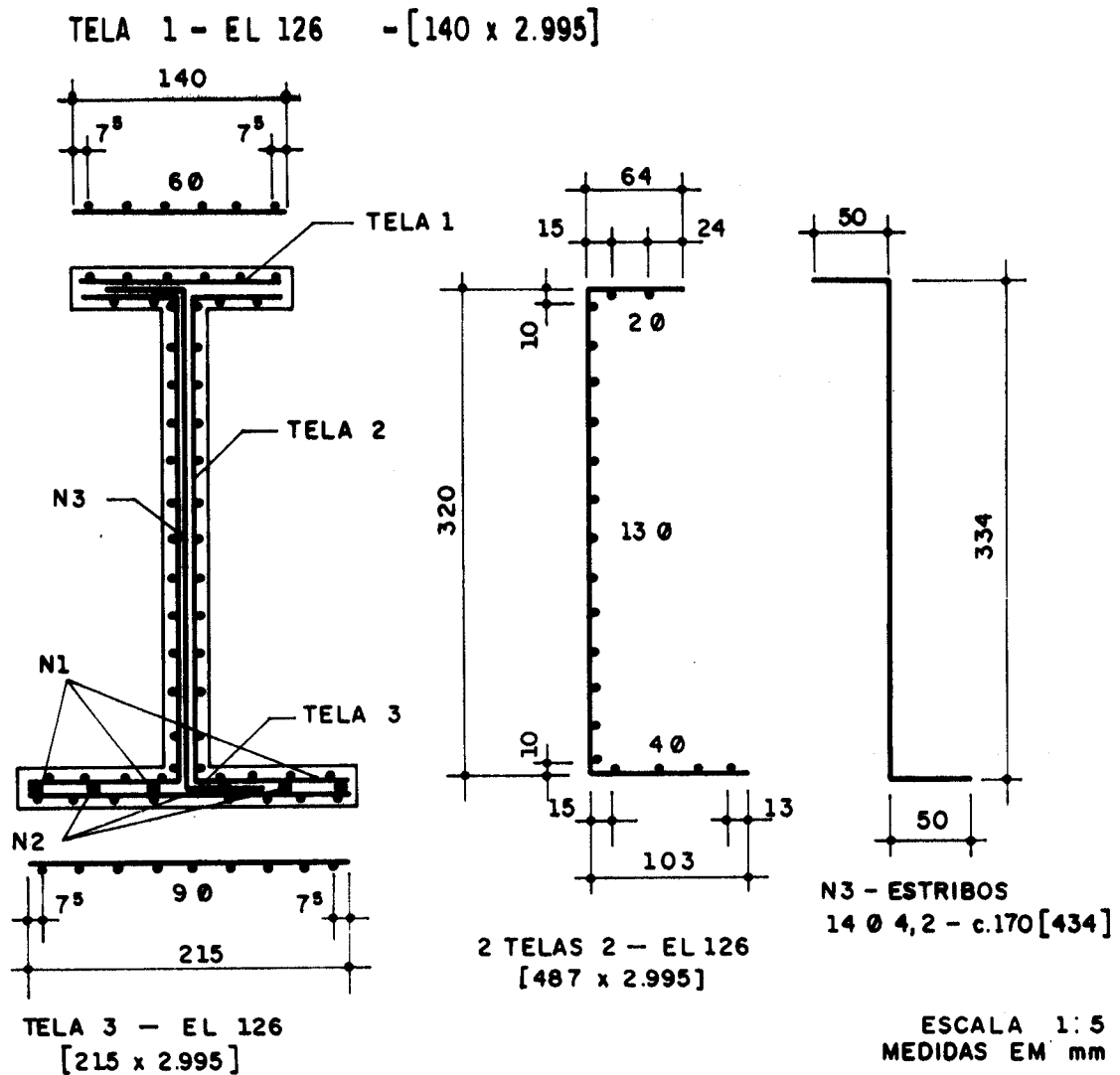


FIGURA 4.17 - MODELO 3/3 - ARMAÇÃO

Resume-se a seguir na tabela 4.2, as dimensões de todos os modelos ensaiados.

TABELA 4.2
Dimensões dos Modelos
(mm)

| DIMENSÃO SÉRIE | b_{fs} | h_{fs} | b_{fi} | h_{fi} | b_w | h | a | ℓ |
|----------------|----------|----------|----------|----------|-------|-----|-----|--------|
| 1 | 150 | 25 | 225 | 25 | 25 | 250 | 965 | 3.005 |
| 1B | 150 | 25 | 225 | 25 | 25 | 250 | 450 | 3.005 |
| 2 | 150 | 25 | 225 | 25 | 40 | 250 | 700 | 3.005 |
| 3 | 150 | 25 | 225 | 25 | 25 | 350 | 965 | 3.005 |

A tabela 4.3, apresenta um resumo das características das armaduras de cisalhamento de cada modelo.

TABELA 4.3
ARMAÇÃO DE CISALHAMENTO DOS MODELOS
PARA ARMADURA LONGITUDINAL DE
6 ϕ 6,3 mm (CA - 50A)

| SÉRIE | MODELO | ARMAÇÃO DE CISALHAMENTO |
|-------|--------|----------------------------|
| 1 | 1/1 | 2 TELAS |
| | 1/2 | 3 TELAS |
| | 1/3 | 2 TELAS + ϕ 4,2 c.110 |
| 1B | 1B/1 | 2 TELAS |
| | 1B/2 | 3 TELAS |
| | 1B/3 | 2 TELAS + ϕ 4,2 c.110 |
| 2 | 2/1 | 2 TELAS |
| | 2/2 | 3 TELAS |
| | 2/3 | 2 TELAS + ϕ 4,2 c.110 |
| 3 | 3/1 | 2 TELAS |
| | 3/2 | 3 TELAS |
| | 3/3 | 2 TELAS + ϕ 4,2 c.170 |

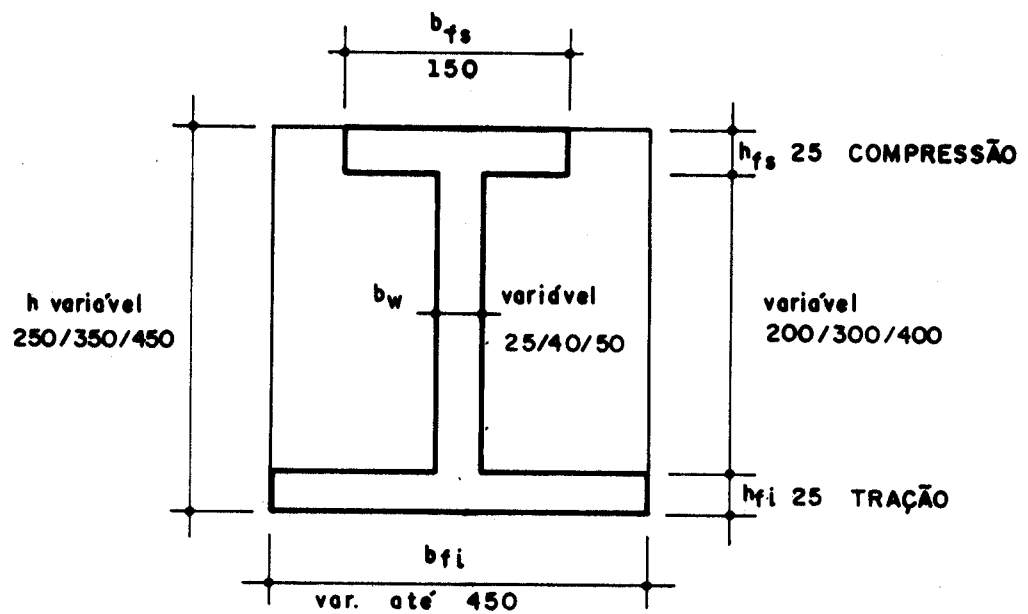
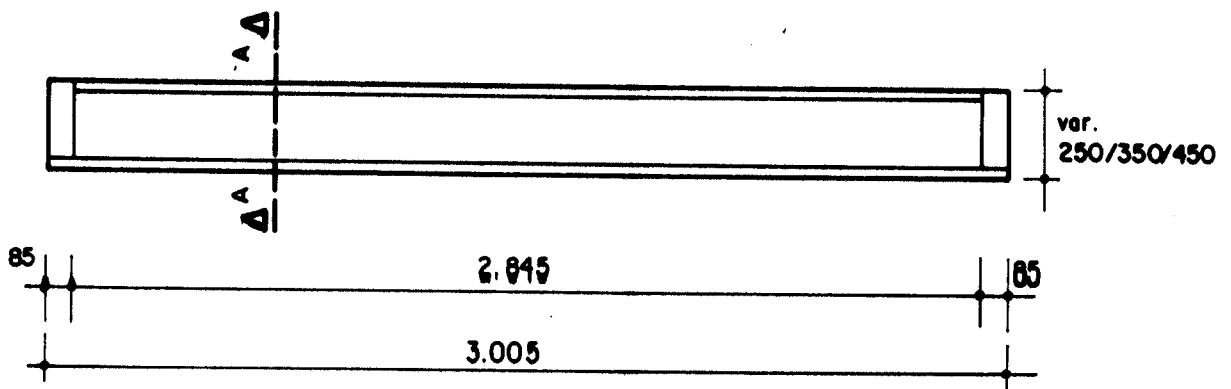
4.3 FÔRMAS

Os modelos foram projetados, baseados em fôrmas já existentes, utilizadas na pesquisa de GIONGO [1990]⁶. Isto se baseia, no fato de que, modelos semelhantes foram ensaiados na referida pesquisa, visando observar os efeitos da flexão em vigas de argamassa armada. Como o trabalho que agora foi realizado, visou observar os efeitos em vigas de argamassa armada sob força cortante e tendo em vista que naquelas fôrmas podia-se fazer variar b_w e h , optou-se por aproveitá-las, já que satisfaziam a todas as necessidades, já descritas no item 4.1 deste documento.

As fôrmas utilizadas previram também, alteração na largura da mesa inferior, mas nesta pesquisa se manteve fixa. A figura 4.18 ilustra estas variações de dimensões e que são descritas a seguir:

- . Altura (h) - pode ser executada com 250 mm, 350 mm e 450 mm;
- . Largura da alma (b_w) - embora o projeto original prevesse apenas duas larguras (25 mm e 50 mm), através de adaptações, conseguiu-se também que fossem confeccionados modelos com b_w de 40 mm;
- . Largura da mesa inferior (b_{f1}) - pode ter qualquer dimensão até 450mm.

A fôrma foi construída em aço, onde utilizaram-se chapas de 3 mm e perfis metálicos. Os elementos da fôrma foram conectados por parafusos e também foram soldados reforços nas chapas a fim torná-las mais rígidas por ocasião da vibração.



CORTE A - A

ESCALA 1:5

FIGURA 4.18 - DIMENSÕES POSSÍVEIS DOS MODELOS

A preocupação principal ao se projetar a fôrma, foi com a facilidade de desforma. Assim, a mesma deveria ser facilmente desmontável para não prejudicar fisicamente o modelo.

As figuras 4.19 e 4.20 mostram as vistas superior e lateral, corte transversal e o detalhamento das peças que compõem a fôrma.

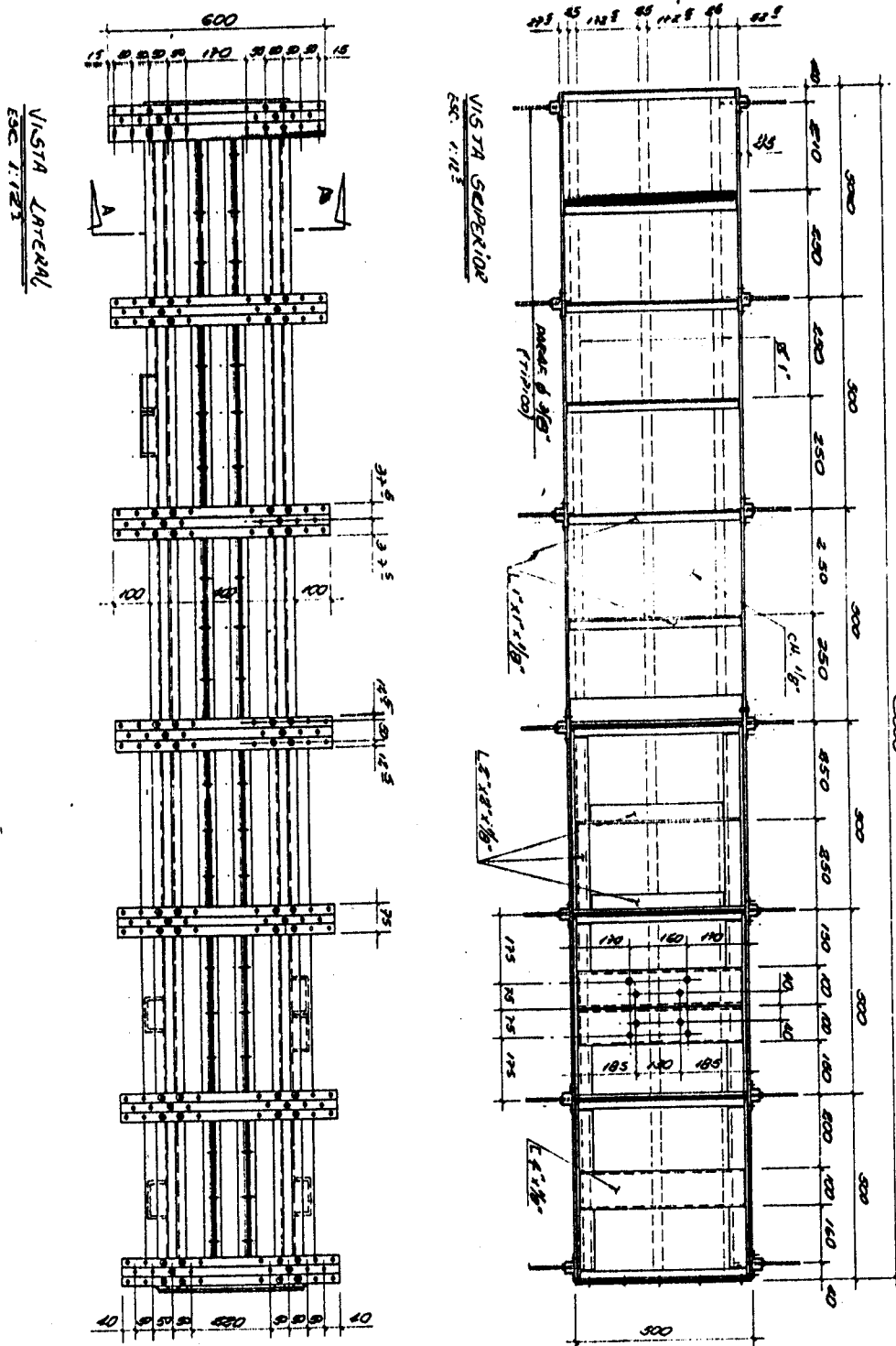
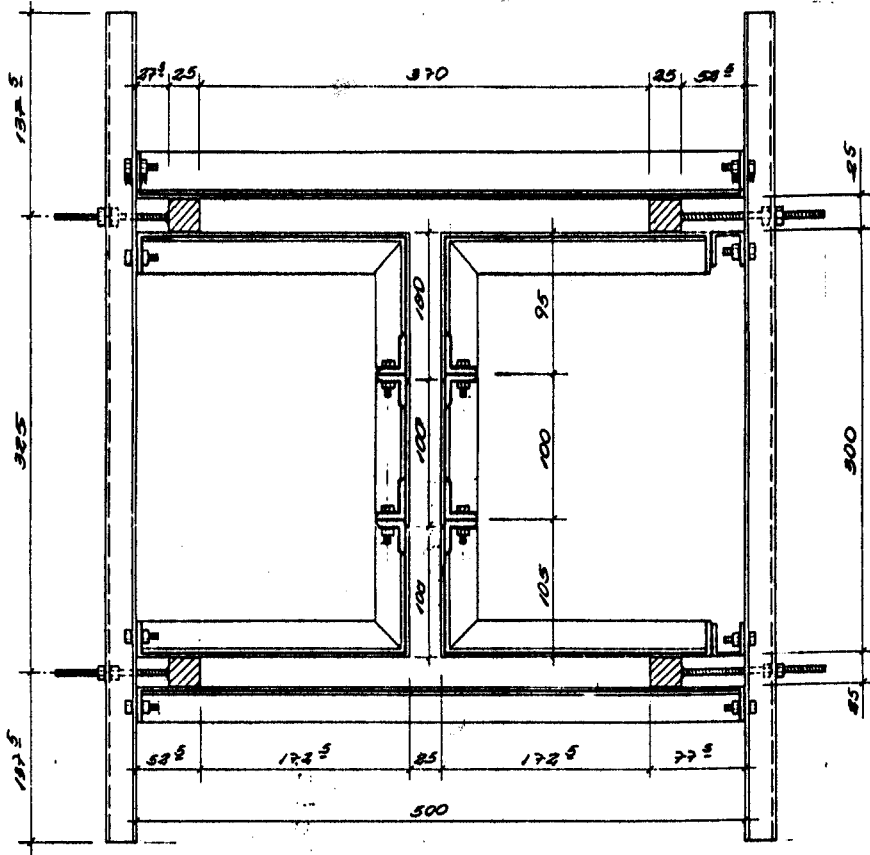


FIGURA 4.19 - FÔRMA PARA MOLDAGEM DOS MODELOS - GIONGO⁶



CORTE AA
esc. 1:40

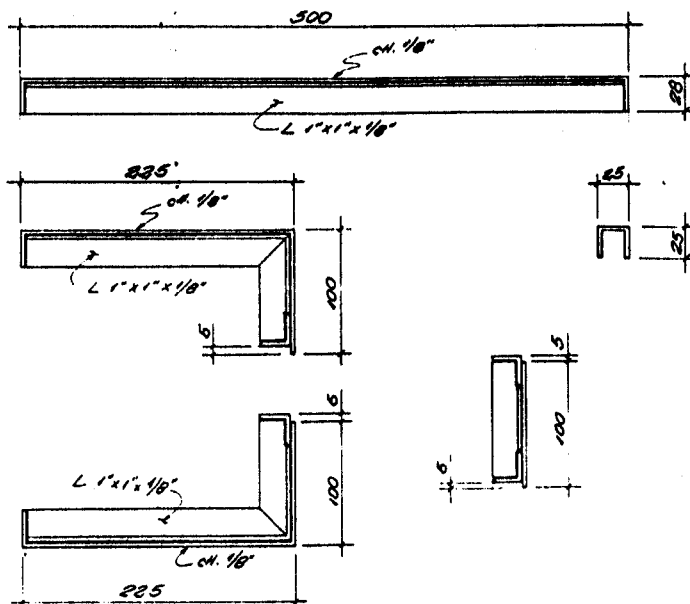
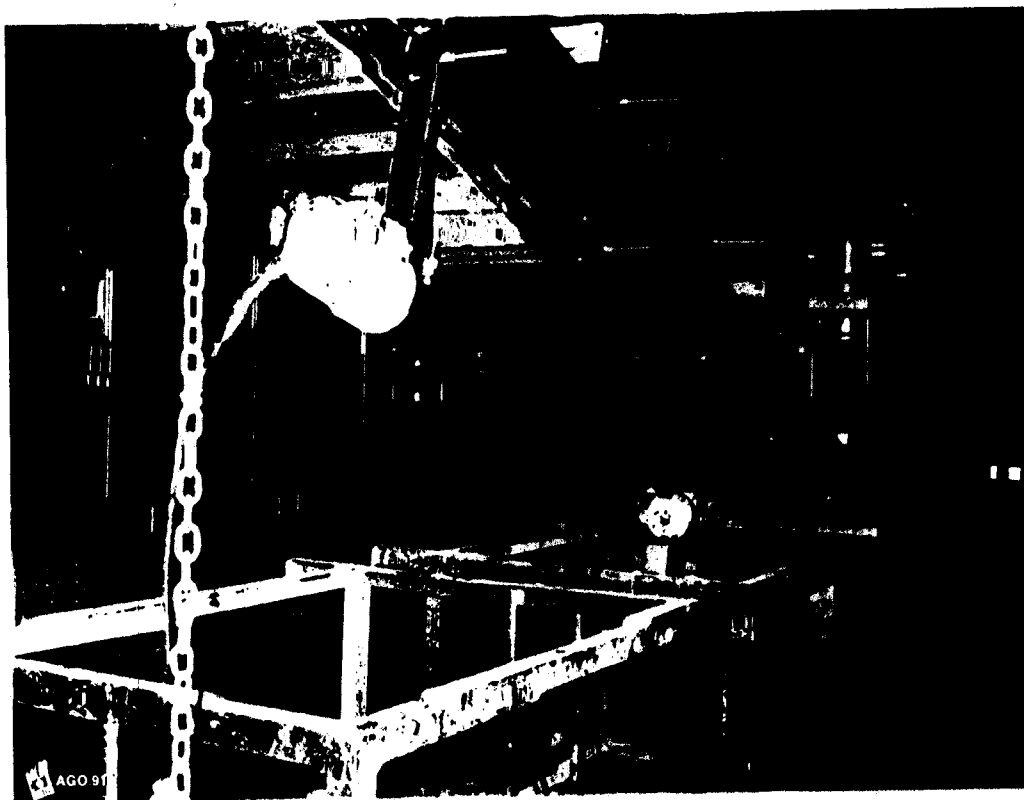


FIGURA 4.20 - DETALHES DAS FÓRMAS DOS MODELOS - GIONGO⁶

Os vibradores foram posicionados na parte inferior da fôrma através de dispositivos especiais de fixação, cujas posições (terços do comprimento) podem ser vistas na fotografia 4.1.



FOTOGRAFIA 4.1 - DETALHE DE FIXAÇÃO DOS VIBRADORES INFERIORES

Os diafragmas das extremidades das vigas foram moldados posteriormente após a pega de cada modelo. Isto se deu pelo fato de o comprimento original das formas de aço ser de 3.005 mm, o mesmo das vigas já com os referidos diafragmas.

Assim, fêz-se a argamassagem do modelo, deixando-se em cada extremidade, uma distância de 85 mm sem argamassa, que seria posteriormente preenchida pelos diafragmas com fôrmas separadas de madeira. Para isso,

foram colocadas pequenas tiras de placa de isopôr de 10 mm de espessura, entre as telas e a fôrma, complementadas com pedaços de jornal molhado, de modo a vedar a passagem da argamassa no instante do enchimento.

As fôrmas dos diafragmas foram confeccionadas no Serviço de Marcenaria e Carpintaria da EESC-USP. Para os modelos das séries 1 e 2 foram reaproveitadas as mesmas peças de madeira, já que as dimensões dos diafragmas eram as mesmas. Apenas para os modelos da série 3 é que foi necessário confeccionar novas peças com dimensões maiores, compatíveis com a altura da seção transversal.

As figuras 4.21, 4.22, 4.23 e 4.24 ilustram os detalhes destas fôrmas.

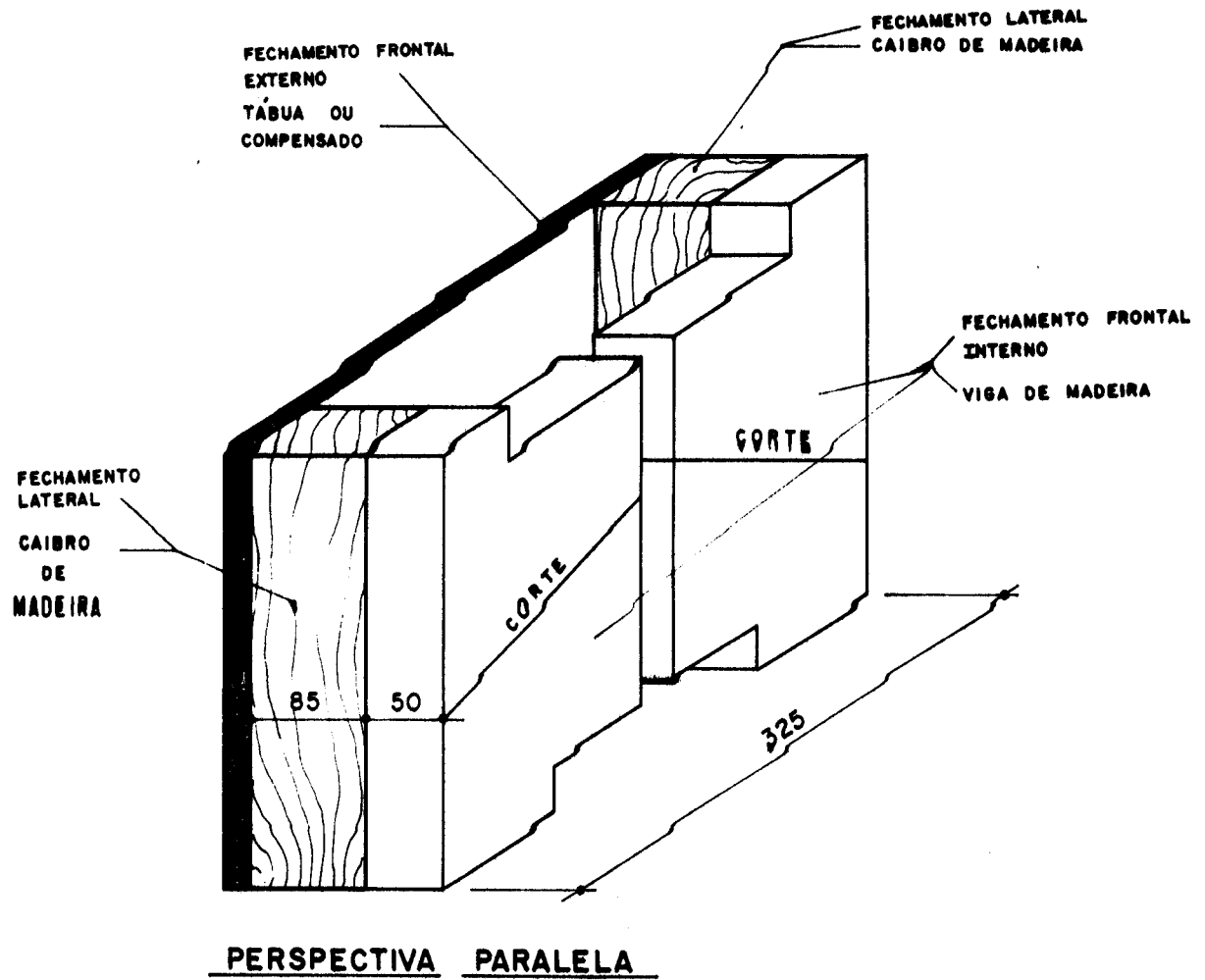


FIGURA 4.21 - FÔRMA DO DIAFRAGMA - PERSPECTIVA PARALELA

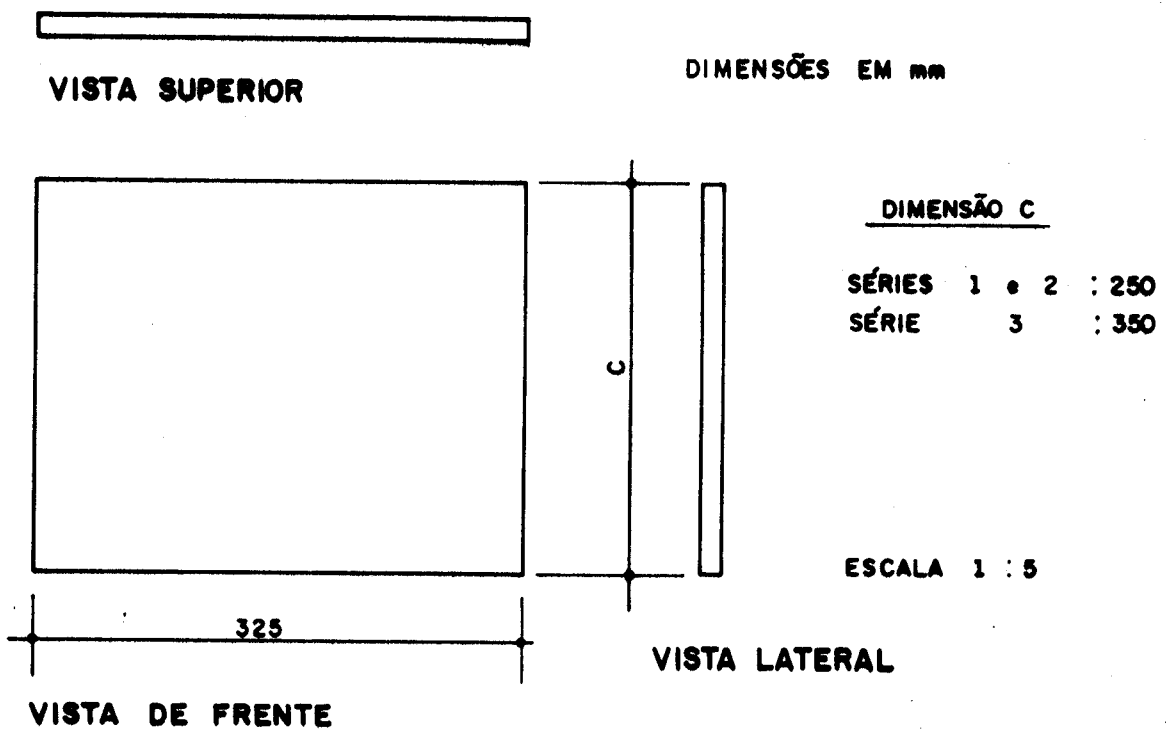
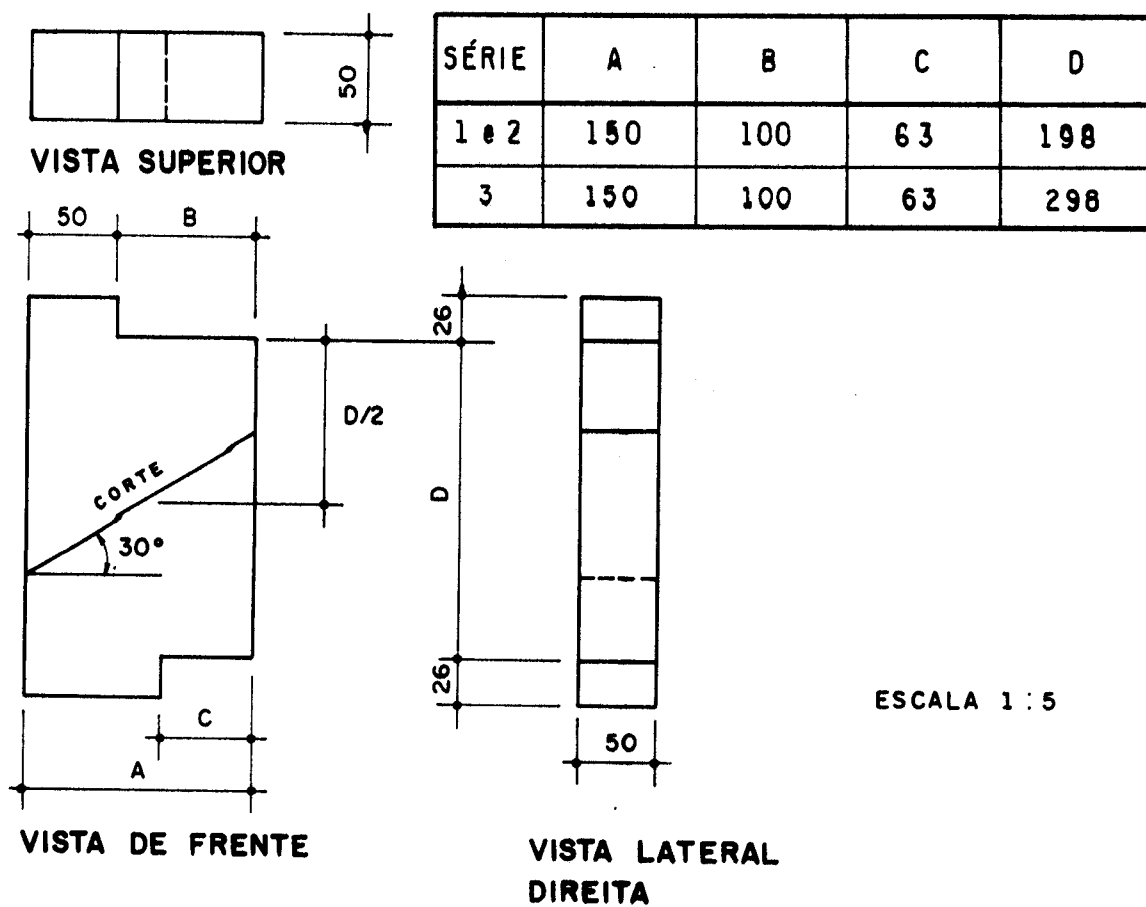


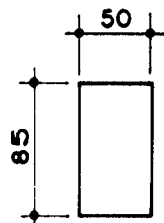
FIGURA 4.22 - FECHAMENTO FRONTAL EXTERNO DO DIAFRAGMA

DIMENSÕES EM mm



ESCALA 1:5

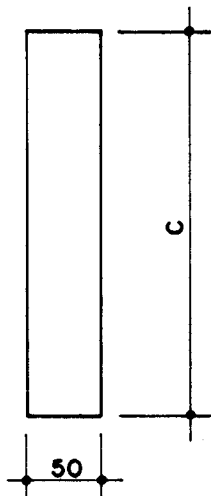
FIGURA 2.23 - FECHAMENTO FRONTAL INTERNO DO DIAFRAGMA



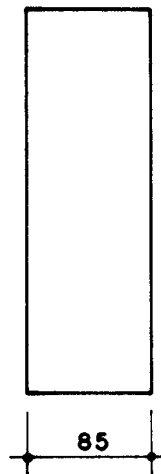
VISTA SUPERIOR

DIMENSÃO C

SÉRIE 1 e 2 : 250 mm
 SÉRIE 3 : 350 mm



VISTA DE FRENTE

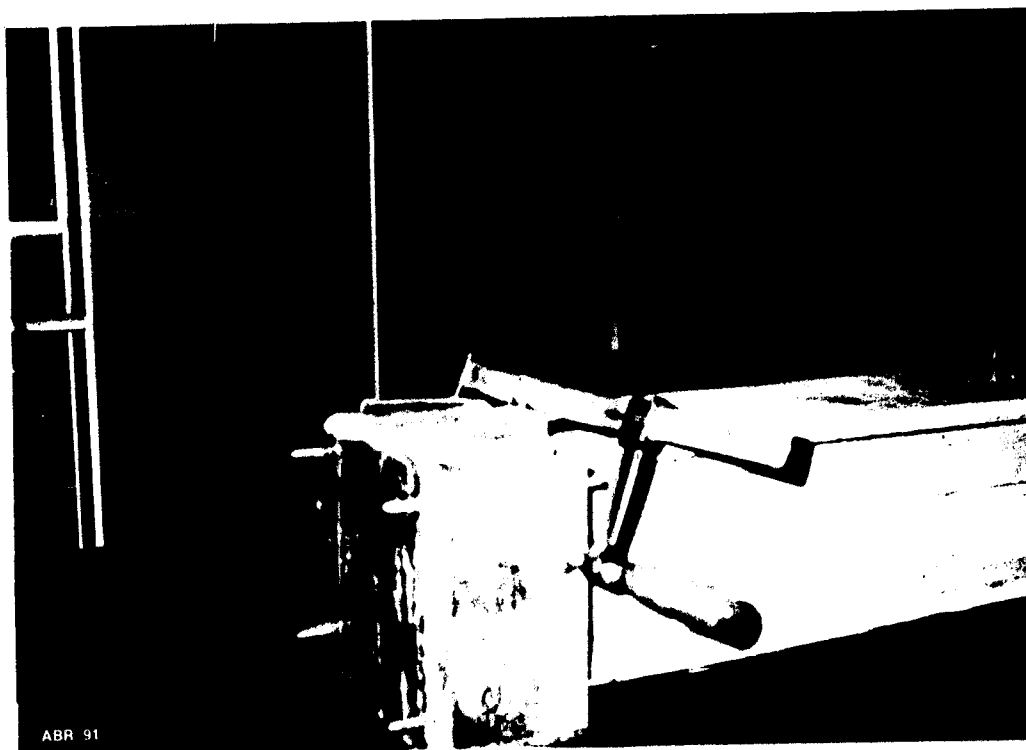


VISTA LATERAL

ESCALA 1:5

FIGURA 2.24 - FECHAMENTO LATERAL DO DIAFRAGMA

Foram confeccionadas peças de madeira separadas e posteriormente montadas nos modelos já endurecidos e desformados, através de parafusos que permitiram a fixação dos fechamentos laterais como pode ser visualizado na fotografia 4.2.



FOTOGRAFIA 4.2 - FÔRMA DO DIAFRAGMA

4.4 PREPARAÇÃO DA ARMAÇÃO, MOLDAGEM , DESFORMA E CURA

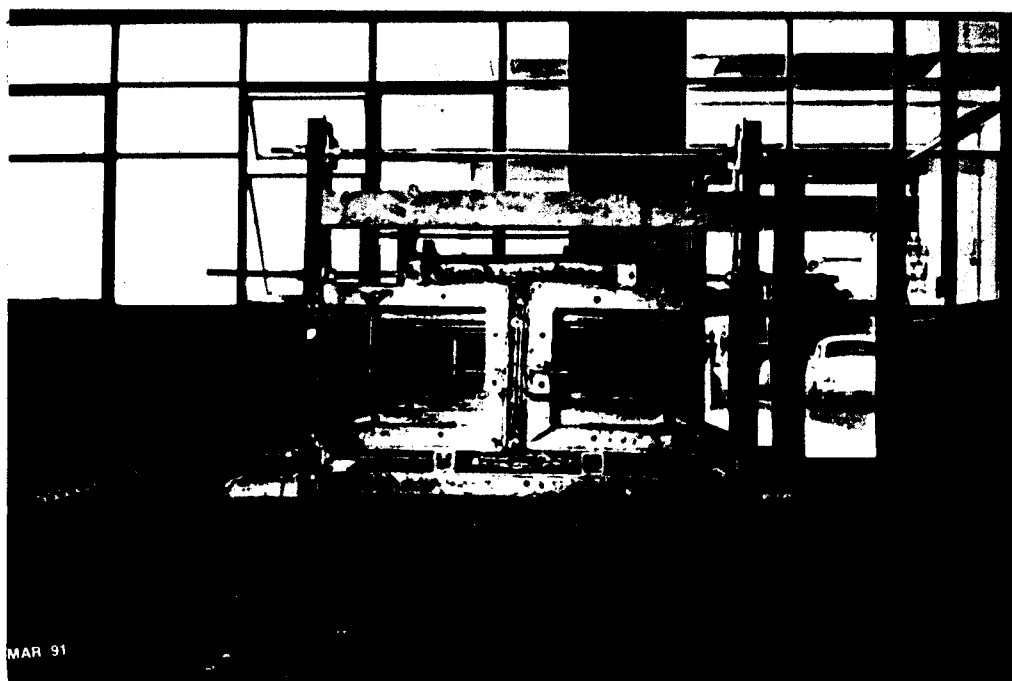
Como já foi especificado, a tela utilizada nos modelos foi a EL 126, encontrada no comércio, em rolos de 90 cm de largura por 60 m de comprimento.

Inicialmente as telas foram medidas e cortadas com alicate de corte de fios. Em seguida, foram retificadas com pancadas de marreta de borracha, contra um plano.

As telas posicionadas nas almas dos modelos, foram

dobradas em máquina dobradeira existente no Laboratório de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos - EESC/USP, que tem comprimento total de 3.000 mm.

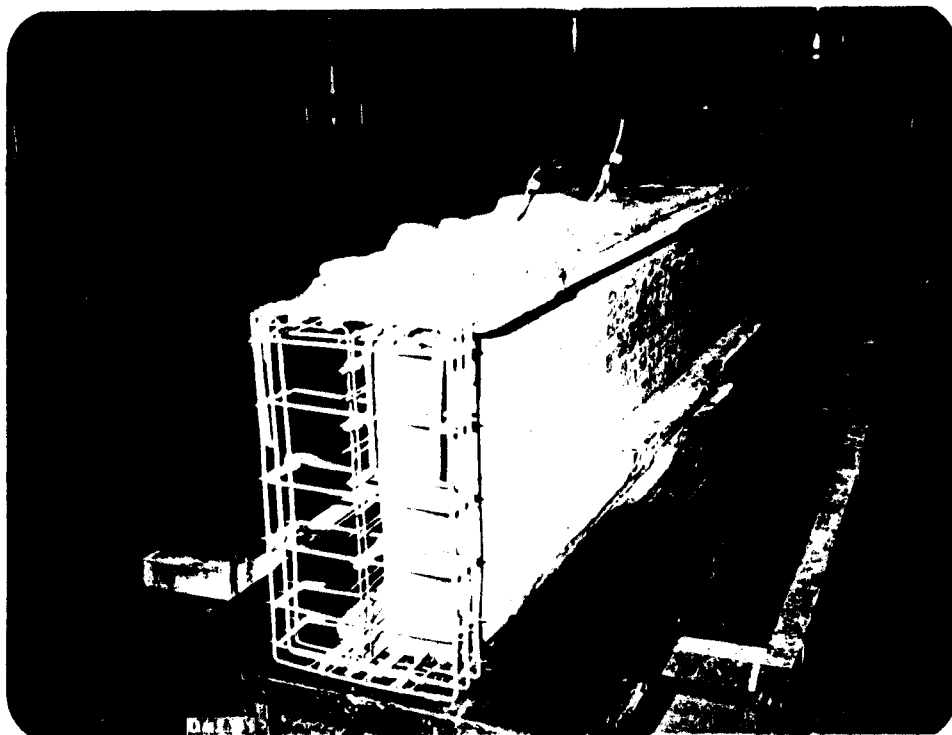
Em seguida, as telas foram posicionadas com a fôrma na horizontal, conforme o projeto de cada modelo. Nas telas, junto às faces externas, colocaram-se espaçadores plásticos, de modo a manter cobrimentos iguais a 5 mm. As distâncias internas entre as telas, da ordem de 7 mm, foram garantidas com pedaços de sobra de fios de aço de 6,3 mm de diâmetro. No caso da mesa tracionada, os fios complementares de 6,3 mm de diâmetro já serviram como espaçadores. A fixação dos fios e pedaços de fios de aço nas telas, foi feita através de fios finos de arame galvanizado.



FOTOGRAFIA 4.3 - VISTA DA ARMADURA DO MODELO 1/1 NA FÔRMA DE MOLDAGEM

A armação dos diafragmas só foi posicionada após a desforma do modelo já endurecido.

As fotografias 4.3 e 4.4, ilustram as armações posicionadas na forma dos modelos e dos diafragmas.



FOTOGRAFIA 4.4 - VISTA DA ARMADURA DO DIAFRAGMA

Na parte inferior da fôrma, como já comentado, foram posicionados dois moto-vibradores da marca DYNAPAC com as seguintes características: 2850/3450 RPM e 1/4 HP de potência, como se pode observar na fotografia 4.1.

As moldagens dos modelos foram feitas com o eixo longitudinal da fôrma, posicionado com uma inclinação de 15° para evitar a criação de bolhas de ar, ou seja, uma das extremidades foi erguida a uma altura de aproximadamente 78 cm, enquanto a outra permaneceu no nível original. A

argamassa foi lançada através da mesa de tração (em posição invertida) a partir do nível mais baixo.



FOTOGRAFIA 4.5 - ARGAMASSAGEM DOS MODELOS

No início da moldagem, ligou-se o vibrador do nível mais baixo da fôrma, com a finalidade de adensar a argamassa ali lançada, forçando as bolhas de ar a procurar um nível mais alto. Após a argamassagem de 50% do comprimento do modelo, desligou-se o vibrador inferior e ligou-se o vibrador superior, a fim de se poder adensar a outra metade da argamassa que ali foi lançada gradativamente. Utilizando esta técnica, ou seja, de usar a gravidade (fôrma inclinada) para ajudar no adensamento, conseguiu-se reduzir significativamente o número de bolhas de ar que poderiam ficar retidas na face interna da mesa comprimida, caso a moldagem fosse feita em nível horizontal.

Após argamassar cerca de 90% do comprimento do modelo, a fôrma foi colocada na posição horizontal, e ligando-se os dois vibradores, lançou-se o restante da

argamassa. Após notar o adequado adensamento, desligaram-se os vibradores e foi dado o acabamento final na face externa da mesa de tração. Na fotografia 4.5 ilustra-se a etapa de moldagem.

A fim de que a argamassa não escorresse para os lados durante a moldagem, como já foi mencionado, foram colocados jornais e pequenos pedaços de isopôr a uma distância de 85 mm da extremidade, de modo a deixar espaço para a posterior moldagem dos diafragmas.

Devido a utilização do cimento de alta resistência inicial (ARI), a desforma dos modelos pôde ser efetuada com apenas um dia. Após a referida desforma, foram colocadas as armaduras dos diafragmas e montadas as fôrmas de madeira.

A cura foi feita, estirando-se sobre a face externa da mesa tracionada, uma manta de espuma de borracha permanentemente embebida em água nos dois primeiros dias, a qual pode ser visualizada na fotografia 4.4, até que após a argamassagem e desforma dos diafragmas, as peças pudessem ser colocadas em tanques para cura por imersão.

Durante a moldagem de cada modelo, foram confeccionados 24 corpos-de-prova e ensaiados aos um, três e no dia do ensaio do modelo. Foram corpos-de-prova cilíndricos, medindo 50 mm de diâmetro por 100 mm de altura. As moldagens e os ensaios foram executados seguindo as prescrições da NBR 7215⁶⁰.

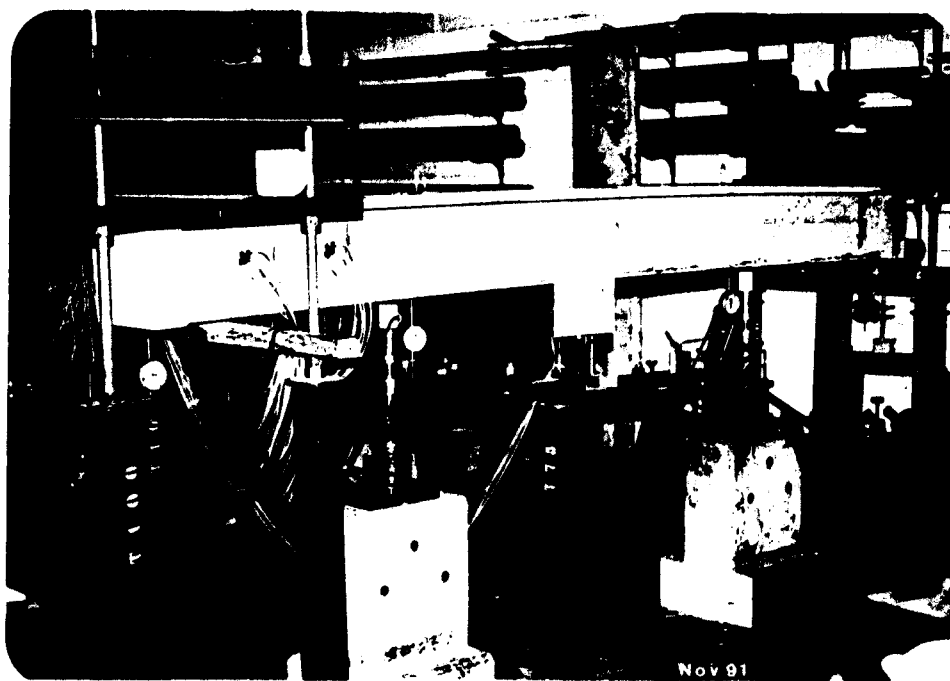
Em cada dia previsto, quatro corpos-de-prova foram ensaiados à compressão axial, com a finalidade de se determinar a resistência à compressão e quatro à compressão diametral, com a finalidade de se determinar a resistência média à tração da argamassa.

4.5 DISPOSITIVOS E PROCEDIMENTOS DE ENSAIO

Foi montado sobre a laje de reação do Laboratório de Estruturas (LE) da EESC/USP, um pórtico de reação que permitiu aplicar duas forças concentradas.

Em todos os modelos ensaiados, as vigas foram posicionadas no pórtico de reação, com o plano da alma na vertical e abaixo da mesa tracionada. As faces inferiores dos macacos, ficaram apoiadas sobre blocos suportes de concreto e estes assentados diretamente sobre a laje de reação como indicado na fotografia 4.6.

Os apoios dos modelos foram constituídos de dois pórticos metálicos, que ficaram com suas barras tracionadas no momento da aplicação das forças concentradas. Estas forças de tração foram absorvidas pela laje de reação na qual os tirantes foram parafusados.



FOTOGRAFIA 4.6 - ESQUEMA DE APLICAÇÃO DAS FORÇAS CONCENTRADAS

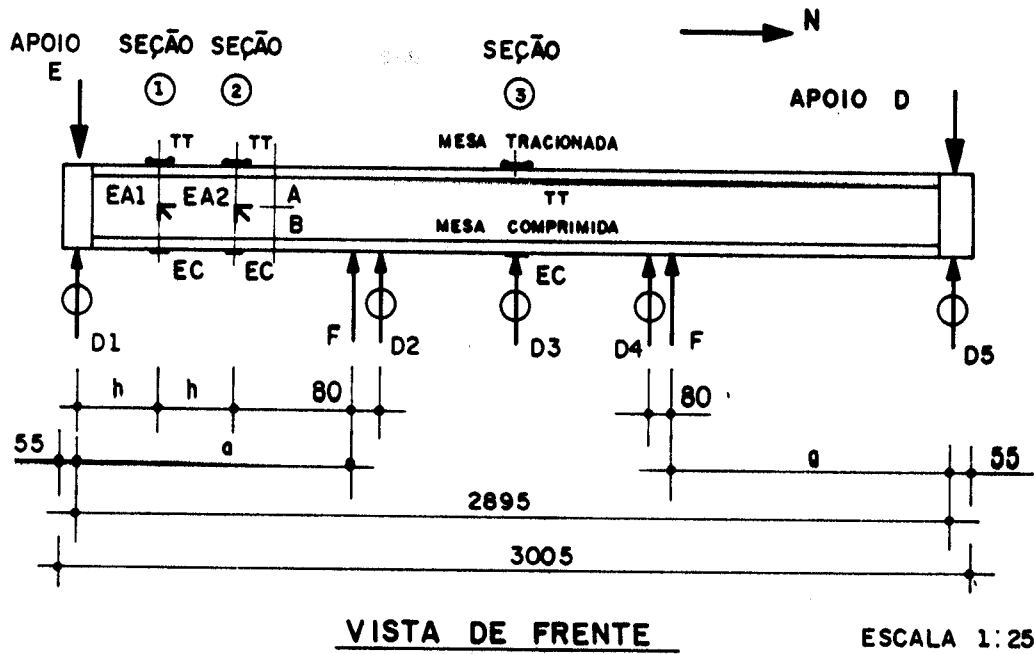
Na metade dos modelos, as forças foram aplicadas nos terços dos vãos, como indicado na figura 4.25. Nos modelos da série 1B as forças foram aplicadas a 450 mm ($1,5.h < a < 2.h$) dos centros dos apoios, conforme se vê na figura 4.26 e nos modelos da série 2, a 700 mm, como ilustrado na figura 4.25.

Utilizaram-se em todos os ensaios, dois macacos hidráulicos, marca ZELOSO, com capacidade nominal de 200 kN cada. O controle da aplicação das cargas foi feito por duas células de carga, acopladas aos macacos, com capacidade nominal de 100 kN cada, construídas no LE-EESC-USP. As células de carga foram ligadas diretamente a um sistema de aquisição de dados modelo SYSTEM 4000 da MEASUREMENTS GROUP com capacidade para 120 canais. Os dois macacos por sua vez foram ligados ambos a uma bomba hidráulica manual marca ENERPAC, modelo P462, com capacidade nominal de 70 MPa.

Em todos os ensaios, as forças foram aplicadas em etapas da ordem de 1/10 da força última prevista para cada modelo.

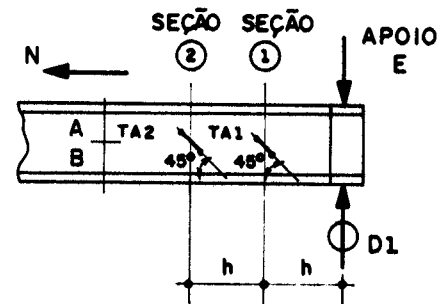
Os deslocamentos foram medidos através de relógios comparadores marca MITUTOYO com sensibilidade de centésimo de milímetro (0,01 mm) com curso total de 50 mm. Os referidos relógios foram posicionados nos alinhamentos dos apoios (D1 e D5), a 80 mm dos alinhamentos dos pontos de aplicação das forças concentradas (D2 e D4) e no centro geométrico do eixo longitudinal dos modelos (D3), conforme pode ser visualizado nas figuras 4.25 e 4.26. O posicionamento a 80 mm foi devido ao fato de não haver espaço suficiente para coloca-los exatamente no ponto de aplicação das forças concentradas verticais, já que ali estavam apoiados os macacos.

Em todos os modelos fêz-se instrumentação com extensômetros elétricos da marca KYOWA dos seguintes tipos: nas armaduras complementares longitudinal e transversal, KFC-5-C1-11; na argamassa junto à mesa comprimida, KFC-10-C1-11 e finalmente na argamassa da alma, rosetas KC-10-B4-11.



MEDIDAS EM mm

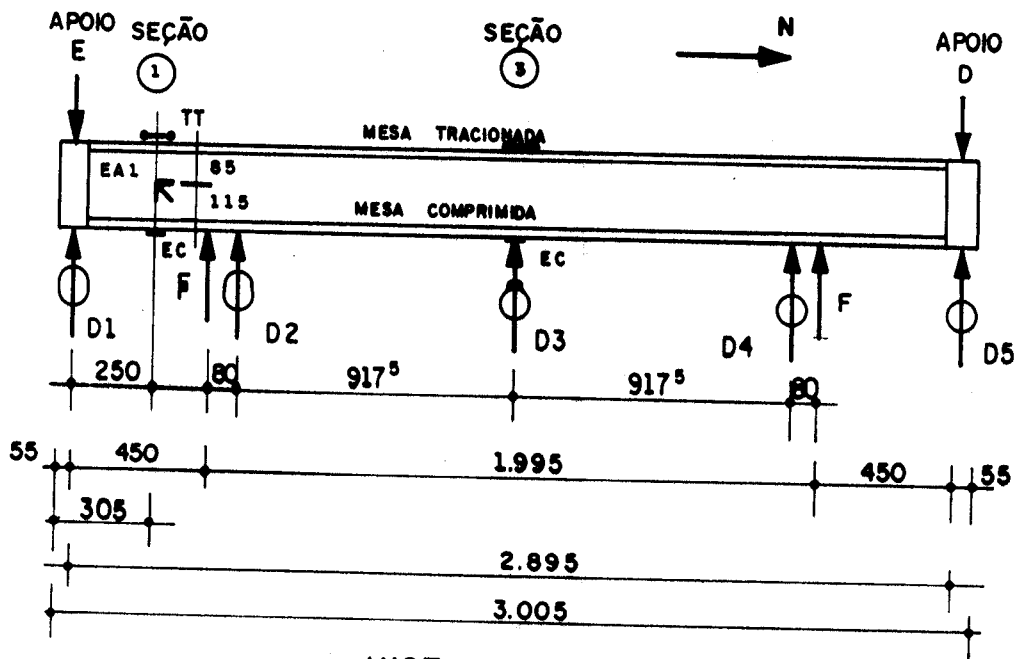
| SÉRIE | h | A | B | a |
|-------|-----|-----|-----|-----|
| 1 | 250 | 85 | 115 | 965 |
| 2 | 250 | 88 | 112 | 700 |
| 3 | 350 | 132 | 168 | 965 |



LEGENDA

- TT — EXTENSÔMETRO MECÂNICO NA MESA TRACIONADA
- TA — EXTENSÔMETRO MECÂNICO NA ALMA (45°)
- EC — EXTENSÔMETRO ELÉTRICO NA ARGAMASSA
- EA — ROSETA NA ALMA

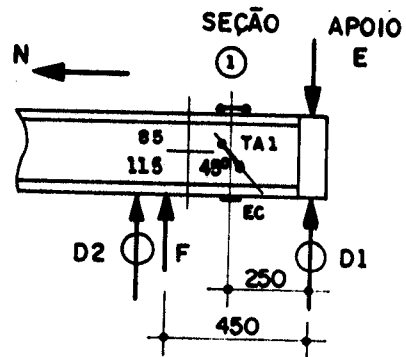
FIGURA 4.25 - INSTRUMENTAÇÃO DOS MODELOS



VISTA DE FRENTE

ESCALA 1:25

**TRECHO DA VISTA
POSTERIOR**



obs. A LEGENDA é a mesma da FIG. 4.25

FIGURA 4.26 - INSTRUMENTAÇÃO DOS MODELOS DA SÉRIE 1B

Nas mesas comprimidas foram colocados extensômetros elétricos, obedecendo a seguinte disposição:

Seção 1 - situada a uma distância igual à altura da viga: três extensômetros, dois próximos às bordas EC1.1 e EC1.3 e um no centro da mesa comprimida EC1.2;

Seção 2 - situada à uma distância igual a duas vezes a altura da viga: do mesmo modo, dois extensômetros próximos às bordas EC2.1 e EC2.3 e no centro da mesa, EC2.2:

Seção 3 - situada na metade do vão da viga: dois extensômetros próximos às bordas EC3.1 e EC3.3.

O objetivo da medição das deformações nas seções 1 e 2, foi o da verificação do efeito de arco, onde se estudaram as influências da força cortante próxima aos apoios no capítulo 2 (ítems 2.1.2.6, 2.2.1.5 e 2.2.4.3). Já a colocação de três extensômetros nas seções 1 e 2, se deu pelo fato de se desejar verificar as diferenças de deformações existentes entre a mesa (extensômetros dos bordos) e a alma (extensômetro central), causadas pelo cisalhamento horizontal na ligação alma-mesa, como estudado também no capítulo 2 (ítems 2.1.3.1 e 2.2.4.7). Como no centro, a ação do momento fletor era preponderante, foi possível a colocação de apenas dois extensômetros na mesa.

Na alma da viga colocaram-se rosetas situadas na altura do centro de gravidade da seção geométrica não fissurada (linha neutra no Estádio I). Assim, para as mesmas seções, foram especificadas as seguintes indicações:

Seção 1 - roseta EA1, situada de um dos lados da alma, com o extensômetro inclinado na direção da tensão principal de compressão (mesma inclinação das fissuras);

Seção 2 - roseta EA2, com a mesma disposição da seção 1.

A finalidade destas rosetas, foi a de determinar as deformações principais no Estádio I (antes da fissuração), bem como, a tensão nas bielas de compressão $\sigma_{c,45}$ após a fissuração (Estádio II), e conseqüentemente o valor de τ_0 .

As armaduras complementares, tanto longitudinal como transversal (estribos), foram instrumentadas com extensômetros elétricos, obedecendo a seguinte disposição:

Seção 1 - um extensômetro (ET1) colocado no estribo vertical ao nível do centro de gravidade da seção geométrica, na mesma altura das rosetas e outro (ES1) numa das barras longitudinais próximas à alma;

Seção 2 - um extensômetro (ET2) também na mesma altura da seção anterior e outro (ES2), na mesma barra longitudinal da seção 1;

Seção 3 - um extensômetro (ES3), na mesma barra longitudinal

das outras seções.

As deformações nas barras complementares permitiram o cálculo das tensões na armadura transversal (σ_{tt}) e das tensões da armadura longitudinal (σ_{st}). Somente os modelos que tiveram armadura complementar de cisalhamento, puderam ser instrumentados com extensômetros elétricos ET.

O acompanhamento das deformações dos fios complementares longitudinais e transversais, bem como, da argamassa da mesa comprimida e da alma, foi feito através do mesmo sistema de aquisição de dados utilizado para registrar os valores das ações provenientes das células de carga.

As deformações na argamassa na região tracionada tanto da mesa como da alma, foram medidas com extensômetro mecânico marca HUGGENBERGER, com sensibilidade de milésimo de mm (0,001 mm), sobre bases de 100 mm, convenientemente coladas nas seções 1, 2 e 3, assim posicionados:

Seção 1 - Na mesa tracionada foram colocadas três bases para possibilitar a leitura com extensômetro mecânico: duas próximas às bordas TT1.1 e TT1.3 e uma no centro da mesa TT1.2. Na alma, na face oposta das rosetas e no mesmo nível destas, colou-se uma base de extensômetro TA1, com inclinação de 45° no sentido transversal das fissuras;

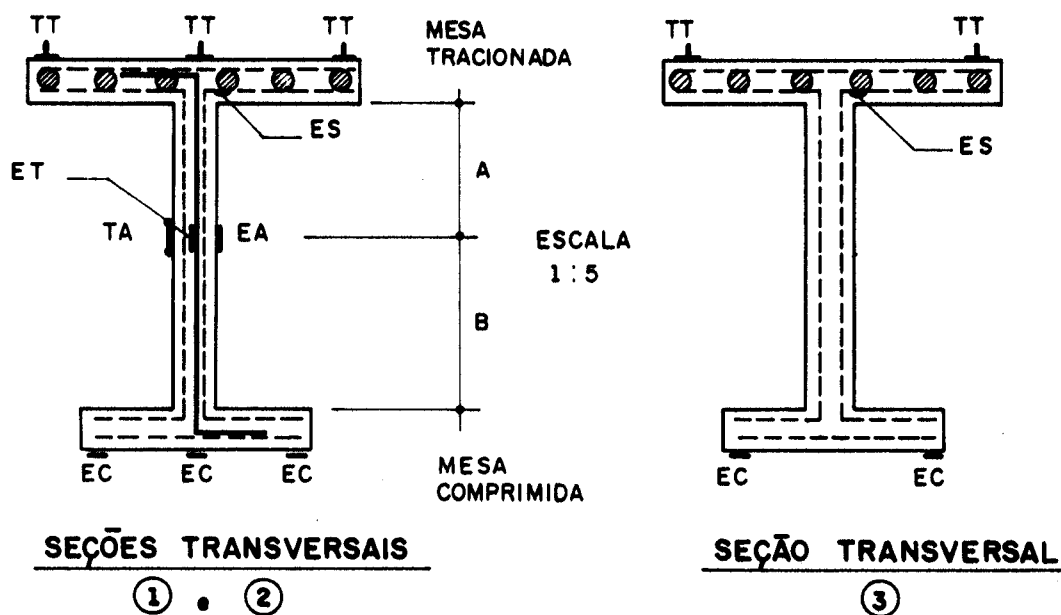
Seção 2 - Com a mesma disposição da seção 1, foram coladas na mesa tracionada, próximas aos bordos, bases para extensômetro mecânico TT2.1 e TT2.3 e no centro da mesa, para extensômetro TT2.2. Na alma, também com a mesma disposição daquela fixada na seção 1, colou-se a base para leitura com extensômetro mecânico TA2;

Seção 3 - Nesta seção, assim como no caso dos extensômetros elétricos, colaram-se duas bases de extensômetro mecânico nos bordos da mesa tracionada (TT3.1 e TT3.3).

A finalidade da colocação das bases para leitura com extensômetro mecânico nas mesas tracionadas, foi a mesma dos extensômetros elétricos nas mesas comprimidas, só que agora, as deformações são de alongamento. Como a argamassa

tem pouca resistência à tração e logo nos primeiros estágios do ensaio, o modelo fissura, foi mais confiável utilizar extensômetro mecânico, em vez de elétrico. O extensômetro mecânico inclinado a 45° posicionado na face da alma, teve o objetivo de medir as deformações de tração da argamassa, de modo a relacioná-las com os espaçamentos e larguras das fissuras inclinadas de cisalhamento.

A instrumentação dos modelos pode ser visualizada nas figuras 4.25, 4.26, 4.27, 4.28 e 4.29.



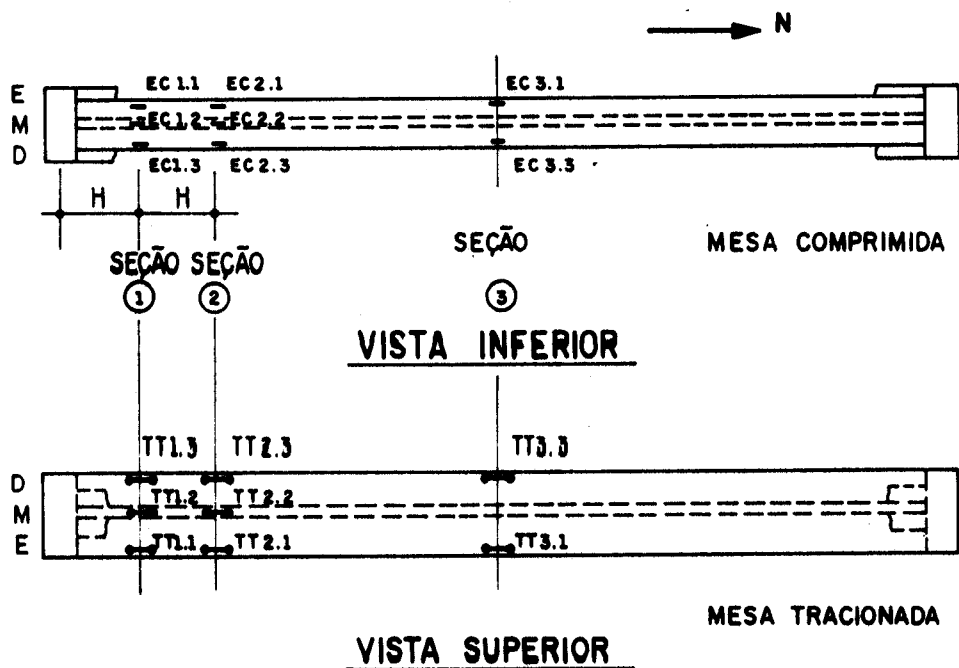
LEGENDA :

ES — EXTENSÔMETRO ELÉTRICO NA ARMADURA TRACIONADA

ET — EXTENSÔMETRO ELÉTRICO NA ARMADURA TRANSVERSAL

obs. As outras indicações obedecem à FIG. 4.25.

FIGURA 4.27 - INSTRUMENTAÇÃO DOS MODELOS
SEÇÃO TRANSVERSAL



ESCALA 1:25

Obs. Os modelos da SÉRIE 1B não instrumentam a SEÇÃO 2

LEGENDA DAS POSIÇÕES NA MESA

E - ESQUERDO

M - MEIO

D - DIREITO

FIGURA 4.28 - INSTRUMENTAÇÃO DAS MESAS

Deve-se observar que, nos três modelos da série 1, em que as forças concentradas foram aplicadas a 450 mm dos apoios (série 1B), como ilustrado na figura 4.26, dispensou-se a instrumentação da seção 2, já que neste caso, a força cortante nesta seção é teoricamente nula.

A tabela 4.4 apresenta a identificação e disposição dos extensômetros elétricos e bases para leitura de extensômetro mecânico e a tabela 4.5, a identificação dos canais do sistema de aquisição de dados.

As aberturas de fissuras foram medidas, por comparação, usando-se uma lupa da marca MITUTOYO, com retículo graduado de 0,02 mm até 0,16 mm. A partir desse valor, utilizou-se régua comparadora do LNEC com graduação de 0,05 mm a 5 mm. Essas aberturas eram medidas em cada

etapa do carregamento, após o aparecimento da primeira fissura visível. As inclinações das fissuras foram medidas com transferidor comum, posicionado na altura média da alma.

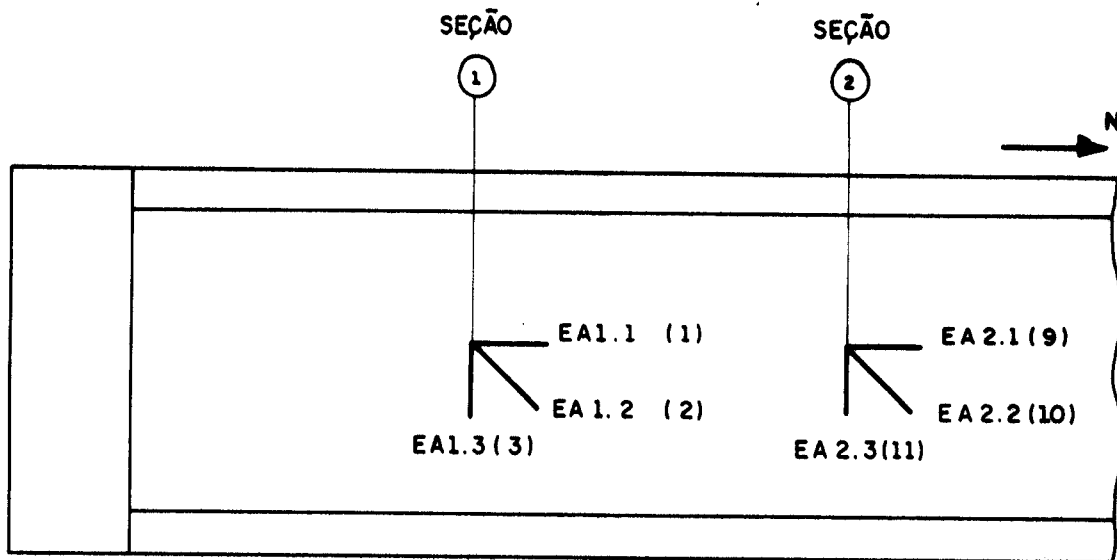


FIGURA 4.29 - DETALHE DA NUMERAÇÃO DOS RAMOS DAS ROSETAS

Para o acompanhamento do progresso da fissuração ao longo dos ensaios, dividiram-se a mesa tracionada e a alma em três regiões A, B e C como observado na figura 4.30 e descritas a seguir:

Região A: entre o apoio à esquerda e a seção de aplicação da força concentrada esquerda. Esta região por sua vez, foi dividida em três sub-regiões: A1, A2 e A3.

- . Sub-região A1, entre o apoio e a seção 1;
- . Sub-região A2, entre a seção 1 e a seção 2;
- . Sub-região A3, entre a seção 2 e a seção de aplicação da força concentrada vertical esquerda;

Região B, entre as forças concentradas verticais;

TABELA 4.4
Posições dos Extensômetros Elétricos e das Bases para
Leitura de Extensômetro Mecânico

| INSTRUMENTO | POSIÇÃO | S E Ç Ã O | | |
|---|----------------------|-----------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| EXTENSÔMETRO MECÂNICO ARGAMASSA DA MESA (TT) (100 mm) | ESQUERDO (E) | TT1.1 | TT2.1 | TT3.1 |
| | MEIO (M) | TT1.2 | TT2.2 | - |
| | DIREITO (D) | TT1.3 | TT2.3 | TT3.3 |
| EXTENSÔMETRO ELÉTRICO ARGAMASSA DA MESA (EC) KFC-10-C1-11 (10 mm) | ESQUERDO (E) | EC1.1 | EC2.1 | EC3.1 |
| | MEIO (M) | EC1.2 | EC2.2 | - |
| | DIREITO (D) | EC1.3 | EC2.3 | EC3.3 |
| EXTENSÔMETRO ELÉTRICO ARMADURA COMPLEMENTAR KFC-5-C1-11 (5 mm) | LONGITUDINAL (ES) | ES1 | ES2 | ES3 |
| | TRANSVERSAL (ET) | ET1 | ET2 | - |
| EXTENSÔMETRO ELÉTRICO ALMA - ROSETA (EA) KC-10-B4-11 (10 mm) | HORIZONTAL (H) | EA1.1 | EA2.1 | - |
| | INCLINADA (I) | EA1.2 | EA2.2 | - |
| | VERTICAL (V) | EA1.3 | EA2.3 | - |
| EXTENSÔMETRO MECÂNICO ALMA (TA) INCLINADO A 45° (100 mm) | - | TA1 | TA2 | - |

Região C, entre o apoio direito e a seção de aplicação da força concentrada direita, também dividida em três sub-regiões C1, C2 e C3, do mesmo modo como foi feito na região A.

TABELA 4.5

Identificação dos Canais

| CANAL | CÓDIGO | SEÇÃO | POSIÇÃO | L O C A L |
|-------|--------|-------|------------|--------------------------------|
| 0 | CÉLULA | - | - | - |
| 1 | EA1.1 | 1 | HORIZONTAL | ALMA |
| 2 | EA1.2 | 1 | INCLINADA | ALMA |
| 3 | EA1.3 | 1 | VERTICAL | ALMA |
| 4 | EC1.1 | 1 | ESQUERDO | MESA COMPRIMIDA |
| 5 | EC1.2 | 1 | MEIO | MESA COMPRIMIDA |
| 6 | EC1.3 | 1 | DIREITO | MESA COMPRIMIDA |
| 7 | ES1 | 1 | - | FIO LONGITUDINAL ϕ 6,3 mm |
| 8 | ET1 | 1 | - | ESTRIBO |
| 9 | EA2.1 | 2 | HORIZONTAL | ALMA |
| 10 | EA2.2 | 2 | INCLINADA | ALMA |
| 11 | EA2.3 | 2 | VERTICAL | ALMA |
| 12 | EC2.1 | 2 | ESQUERDO | MESA COMPRIMIDA |
| 13 | EC2.2 | 2 | MEIO | MESA COMPRIMIDA |
| 14 | EC2.3 | 2 | DIREITO | MESA COMPRIMIDA |
| 15 | ES2 | 2 | - | FIO LONGITUDINAL ϕ 6,3 mm |
| 16 | ET2 | 2 | - | ESTRIBO |
| 17 | EC3.1 | 3 | ESQUERDO | MESA COMPRIMIDA |
| 18 | EC3.3 | 3 | DIREITO | MESA COMPRIMIDA |
| 19 | ES3 | 3 | - | FIO LONGITUDINAL ϕ 6,3 mm |

Quando se fizer referência a essas regiões A1, A2, A3, B, C1, C2, e C3, elas serão precedidas pelas letras maiúsculas A, quando se tratar da alma da viga, e T, quando se tratar da mesa tracionada.

As medidas das distâncias entre fissuras, depois do ensaio concluído, foram realizadas ao longo dos seguintes eixos, de acordo com a figura 4.30:

- eixo 1, na mesa tracionada, borda esquerda;
- eixo 2, na mesa tracionada, contido na interseção do

plano médio da alma, com o plano inferior desta mesa:

- eixo 3, na interseção do plano superior da mesa tracionada com o plano externo da alma;

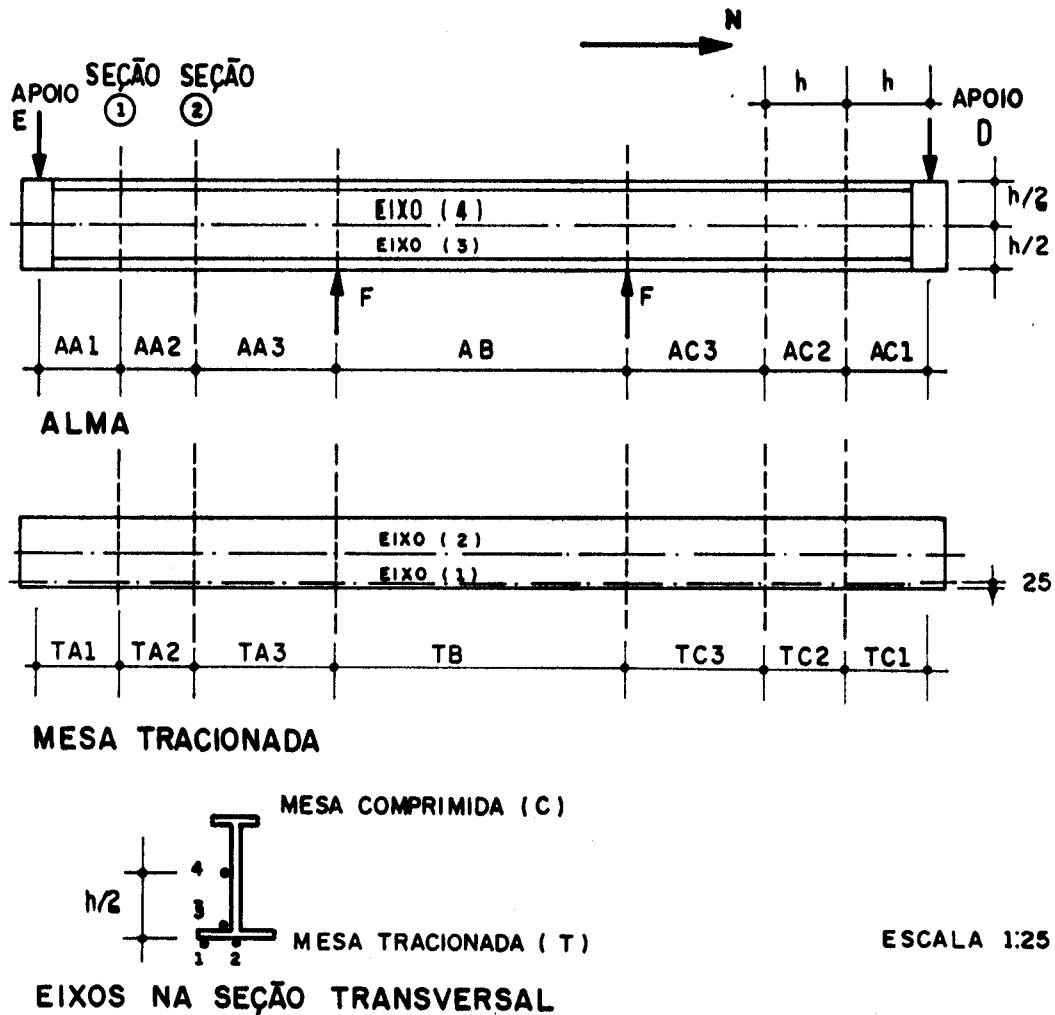


FIGURA 4.30 - REGIÕES DE OBSERVAÇÃO DE FISSURAS DOS MODELOS DAS SÉRIES 1, 2 E 3

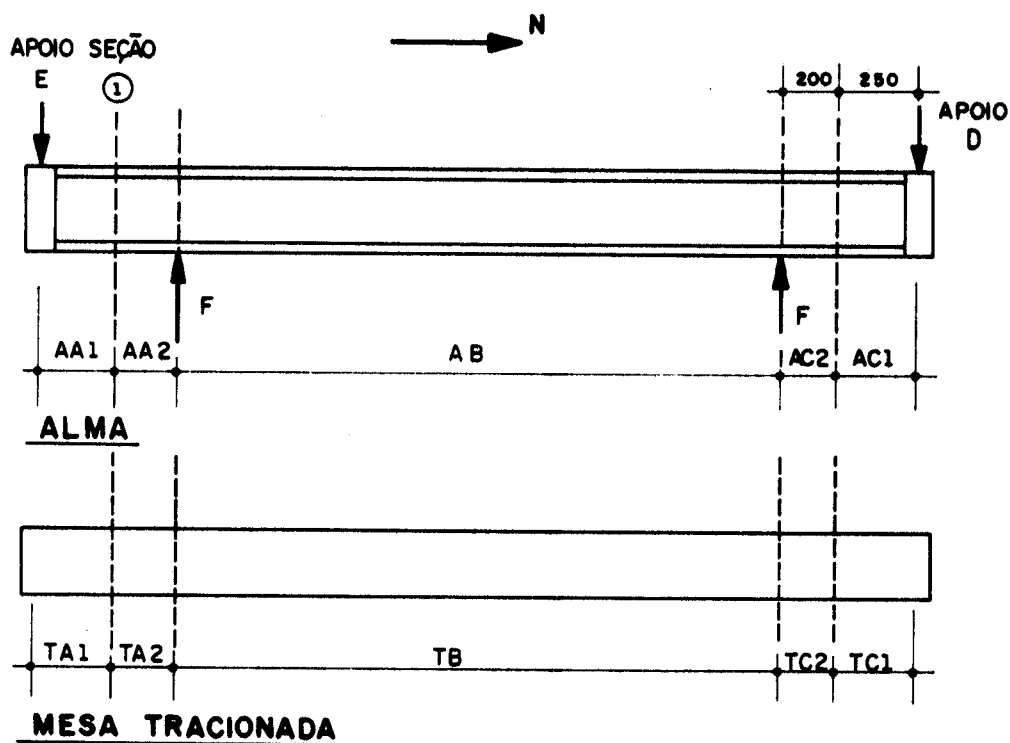
- eixo 4, na interseção do plano externo da alma com um plano horizontal que passava na metade da altura da viga.

Para os modelos da série 1B, a região A foi dividida em apenas duas sub-regiões: A1 e A2

- . Sub-região A1 - a mesma dos outros modelos;
- . Sub-região A2 - entre a seção 1 e a seção de aplicação da força concentrada esquerda.

A região C, também foi sub-dividida do mesmo modo da região A.

A figura 4.31 ilustra estas regiões.



Obs. Os eixos são os mesmos da figura 4.30

ESCALA 1:25
MEDIDAS EM mm

FIGURA 4.31 - REGIÕES DE OBSERVAÇÃO DE FISSURAS DOS MODELOS DA SÉRIE 1B

4.6 MATERIAIS

4.6.1 ARGAMASSA

Os materiais constituintes da argamassa foram areia de granulometria de muito fina a fina, fornecida por porto de areia do Rio Mogi-Guaçu e pedra britada nº 00 (diâmetro max. = 4,8 mm) ambas adquiridas de empresas da região de São Carlos.

GIONGO [1990]⁶ em pesquisa anterior, utilizou com sucesso em seus modelos argamassa constituída de cimento, areia e pedra britada.

Esta mistura de agregados miúdos está de acordo com as prescrições da NBR 11.173¹, já que o diâmetro máximo de 4,8 mm não ultrapassa o limite de 1/4 da menor espessura dos modelos nem 1/2 da menor abertura de telas. Também está de acordo com a NBR 7211³⁶ quando da definição de agregado miúdo, na qual o diâmetro máximo deve ser 4,8 mm.

O cimento utilizado foi o de alta resistência inicial (ARI) da CIMINAS.

Para determinação da dosagem da argamassa, de modo a se observar critérios compatíveis com a resistência, lançamento e adensamento, aproveitou-se o trabalho realizado pela Eng^a. Rita Cunha para a pesquisa de GIONGO⁶. Ali fixou-se inicialmente, que a argamassa deveria apresentar índice de consistência da ordem de 220 mm, determinado de acordo com a NBR 7215⁶⁰, 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 como indicado na NBR 7215⁶⁰, deveria ser da ordem de 40 MPa, de acordo com o que foi utilizado no pre-dimensionamento dos modelos.

Assim, como o material adquirido não foi o mesmo das pesquisas anteriormente citadas, fêz-se a confirmação do traço através de ensaios de granulometria e consistência, no Laboratório de Materiais do Departamento de Arquitetura e Planejamento da EESC-USP.

A análise granulométrica dos agregados, feita com critérios da NBR 7217⁶¹, apresentou como diâmetro máximo o valor de 2,4 mm para a areia e 4,8 mm para a pedra britada, como pode ser visualizado na tabela 4.6. Esta tabela apresenta também a composição granulométrica da areia e da pedra britada em função das aberturas nominais das peneiras padrão ABNT, comparadas com os limites das zonas de granulometria da NBR 7217⁶¹.

TABELA 4.6
Composição Granulométrica dos Agregados

| ABNT no. | PENEIRAS ABERTURAS NOMINAIS (mm) | LIMITES GRANULOMÉTRICOS ZONAS | | | | COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA | |
|--|---|----------------------------------|--------|--------|--------|------------------------------|---------------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | AREIA % ACUM. | PEDRISCO % 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 | 0 | 4 |
| 8 | 2,4 | 0-5 | 0-15 | 0-25 | 5-40 | 1 | 57 |
| 16 | 1,2 | 0-10 | 0-25 | 10-45 | 30-70 | 7 | 87 |
| 30 | 0,6 | 0-20 | 21-40 | 41-65 | 66-85 | 23 | 92 |
| 50 | 0,3 | 50-85 | 60-88 | 70-92 | 80-95 | 53 | 95 |
| 100 | 0,15 | 85-100 | 90-100 | 90-100 | 90-100 | 94 | 98 |
| DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA | | | | | | 2,4 | 4,8 |
| MÓDULO DE FINURA | | | | | | 1,80 | 4,34 |
| MASSA ESPECÍFICA REAL (g/cm ³) | | | | | | 2,62 | 2,85 |
| MASSA ESPECÍFICA APARENTE (g/cm ³) | | | | | | 1,55 | 1,36 |

TABELA 4.7
Análise Granulométrica da Mistura de Agregados

| ABERTURA DAS PENEIRAS | AREIA % RETIDA ACUMULADA | AREIA 60,6% | PEDRISCO % RETIDA ACUMULADA | PEDRISCO 39,4% | MISTURA % RETIDA ACUMULADA |
|-----------------------------|--------------------------------|----------------|-----------------------------------|-------------------|----------------------------------|
| 9,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6,3 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 4,8 | 0 | 0 | 4 | 2 | 1 |
| 2,4 | 1 | 1 | 57 | 23 | 22 |
| 1,2 | 7 | 4 | 87 | 34 | 37 |
| 0,6 | 23 | 14 | 92 | 36 | 48 |
| 0,3 | 53 | 32 | 95 | 37 | 66 |
| 0,15 | 94 | 57 | 98 | 38 | 95 |

As figuras 4.32 e 4.33 ilustram as curvas granulométricas da areia e da pedra britada. A areia apresenta uma granulometria muito fina (Zona 1 tendendo para Zona 2 da ABNT). A pedra britada não se enquadra em nenhuma das Zonas.

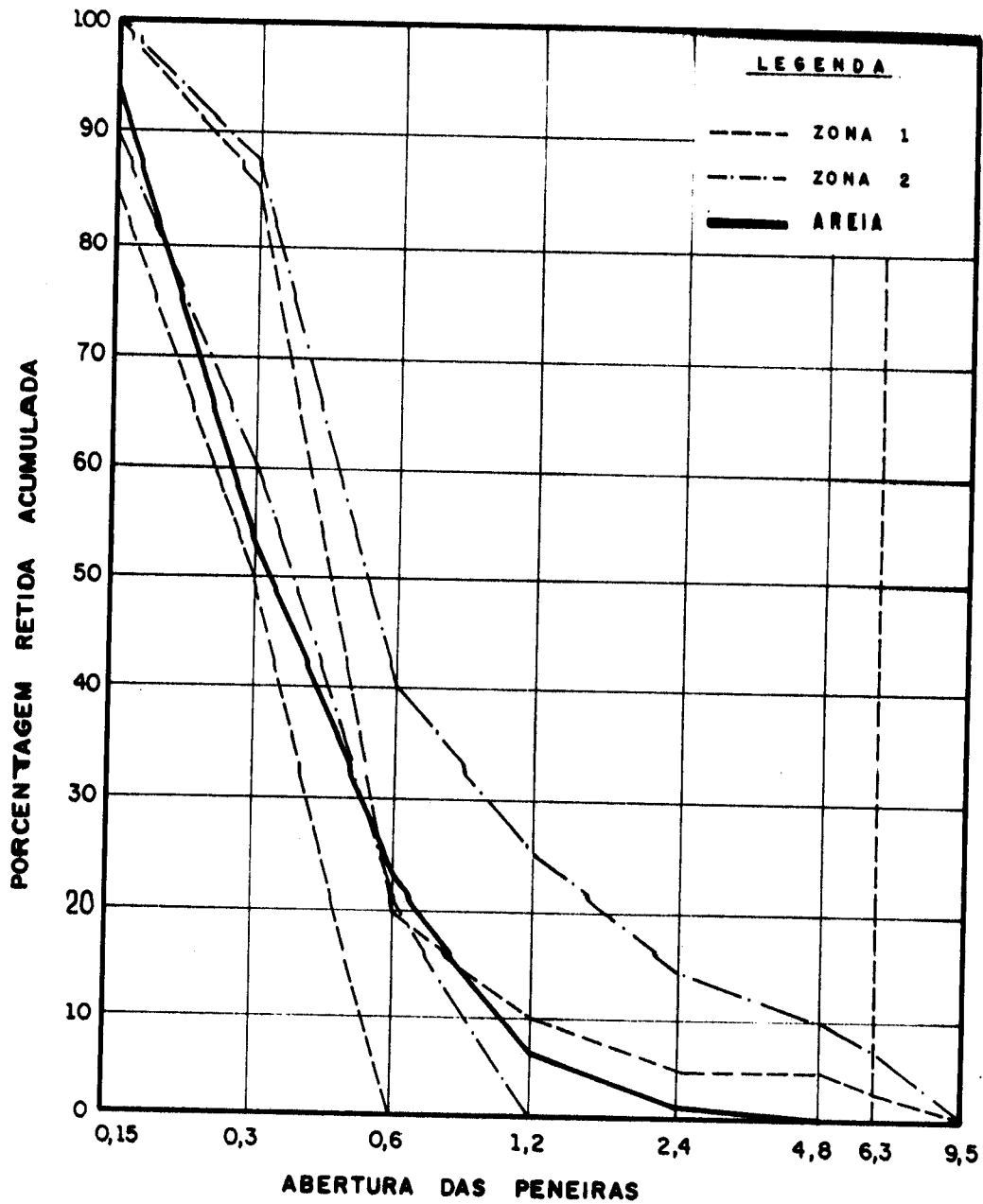


FIGURA 4.32 - CURVA GRANULOMÉTRICA DA AREIA

A mistura utilizada por GIONGO⁶, na proporção de 60,6% de areia e 39,4% de pedra britada resultando numa dosagem em massa de 1:2:1,3, foi testada e ficou na mesma zona granulométrica encontrada naquela pesquisa, que foi a Zona 3, correspondente à do agregado miúdo médio. Essa mistura é apresentada na tabela 4.7 através de sua análise granulométrica cuja dimensão máxima característica é 4,8 mm e na figura 4.34 através de sua curva granulométrica.

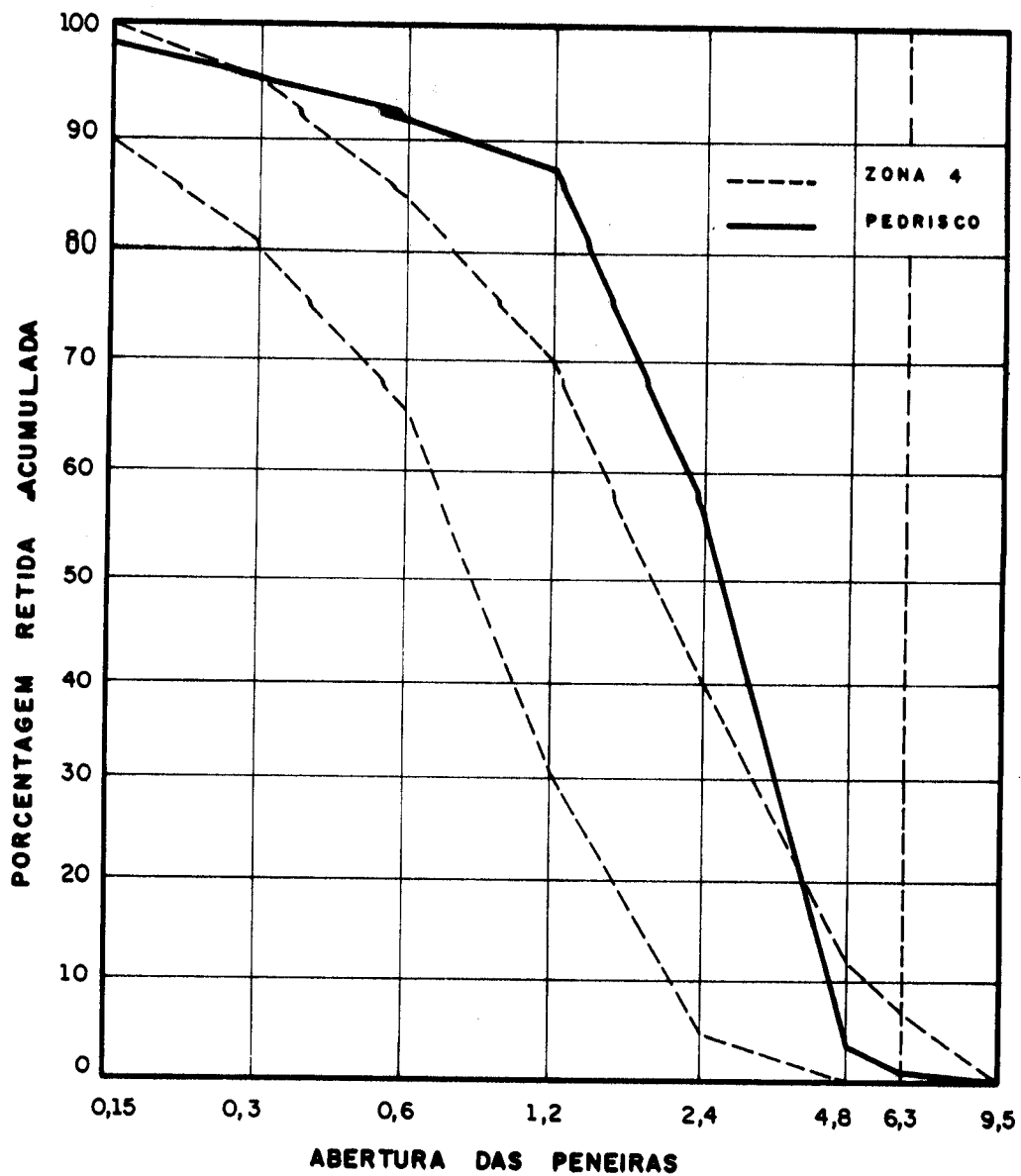


FIGURA 4.33 - CURVA GRANULOMÉTRICA DA PEDRA BRITADA

Nas mesmas condições de GIONGO [1990]⁶, o fator água/cimento foi definido para uma argamassa que apresentasse diâmetro de 220 mm em ensaio de mesa de consistência com o objetivo específico de servir a este trabalho experimental. Para esse valor, a relação água/cimento prévia utilizada com cimento provisório para o primeiro modelo ficou em 0,53. Após ensaio definitivo de

consistência, a relação ficou igual a 0,55, para um consumo de cimento por metro cúbico de argamassa da ordem de 479 kg. A resistência média à compressão, medida aos sete dias pelo rompimento dos corpos-de-prova para o cimento de alta resistência inicial, resultou da ordem de 37 MPa. Estes resultados foram comparados com valores obtidos por AGNESINI [1988]²⁶. Neste caso, deve-se observar que a utilização da pedra britada, aumentou a resistência à compressão da argamassa da ordem de 20%, conforme podem ser comparados os resultados obtidos nos corpos-de-prova desta pesquisa com os de AGNESINI [1988]²⁶.

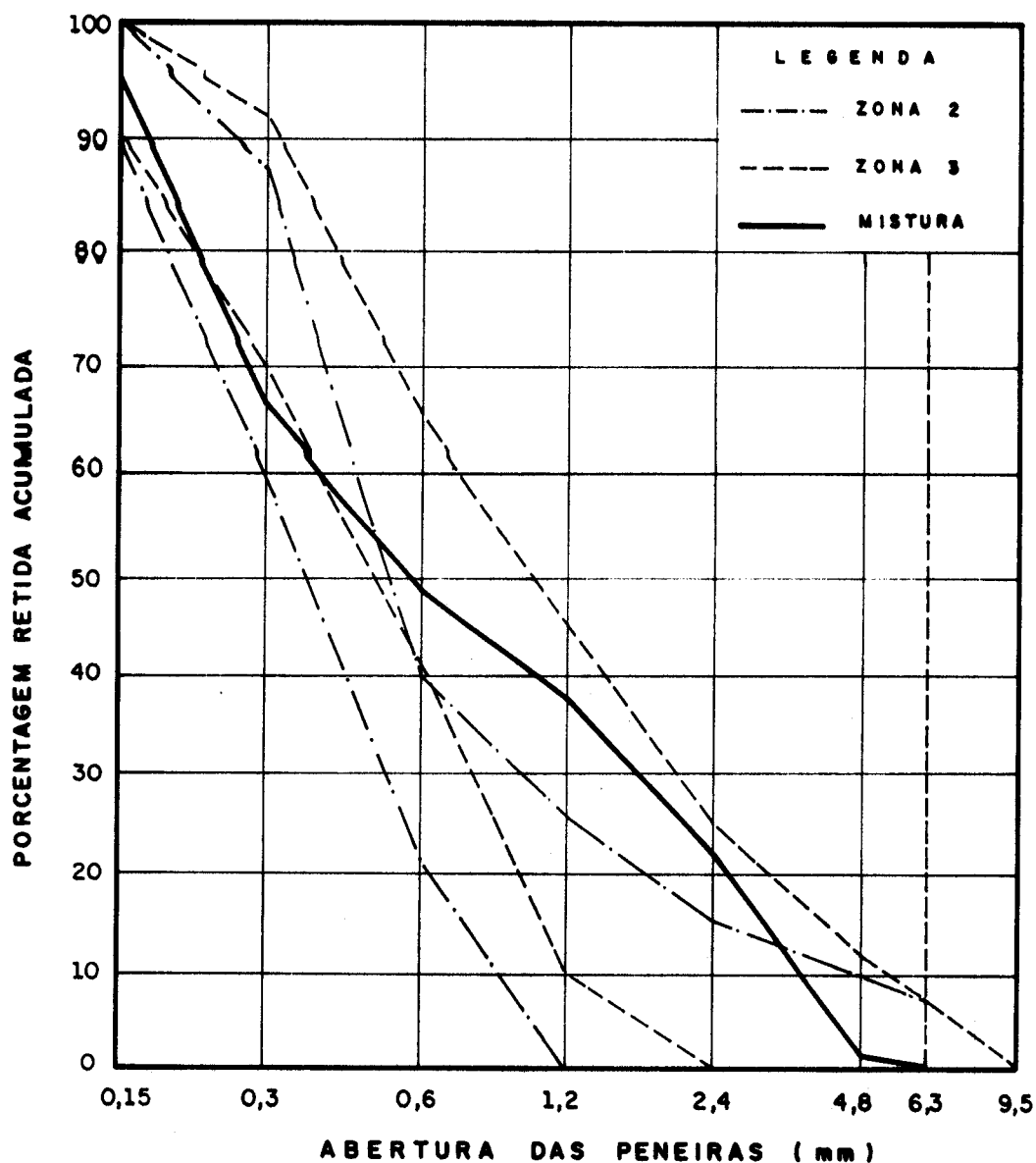


FIGURA 4.34 - CURVA GRANULOMÉTRICA DA MISTURA (60,6% DE AREIA + 39,4% DE PEDRA BRITADA)

4.6.2 ARMADURAS

Foi utilizada em todos os modelos a tela EL 126, com fios de 2 mm de diâmetro, de aço CA-60.

Foram separados e cortados quatro corpos-de-prova, constituídos pelos fios longitudinais da tela e quatro pelos fios transversais. Os corpos-de-prova foram ensaiados à tração em máquina INSTRON do Departamento de Materiais da EESC/USP.

Como armadura longitudinal complementar, foram utilizados fios CA-50A de 6,3 mm de diâmetro em todos os modelos e fios de 4,2 mm para a armadura complementar transversal (estribos) nos modelos 1/3, 1B/3, 2/3, e 3/3.

Dos lotes adquiridos, separaram-se quatro corpos-de-prova para cada diâmetro. Os fios de diâmetro 6,3 mm foram ensaiados no Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeira- LAMEM do Departamento de Estruturas e o restante, no Laboratório de Propriedades Mecânicas do Departamento de Materiais, ambos da EESC/USP.

Não tendo sido possível a obtenção dos diagramas tensão - deformação dos corpos-de-prova, utilizou-se os resultados obtidos por GIONGO [1990]⁶, já que as características de resistência constantes naqueles ensaios estão bem próximas daquelas resultantes com os corpos-de-prova desta pesquisa.

A tabela 4.8 apresenta os principais parâmetros obtidos nos ensaios dos corpos-de-prova dos diâmetros citados, quais sejam: 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).

TABELA 4.8
Principais Parâmetros Obtidos nos Ensaio dos
Corpos-de-prova de Aço

| MAT. | C.P. | ϵ_p | f_p | ϵ_y | f_y | f_u | E_s |
|---------------------------------------|------------------|--------------|-------|--------------|-------|-------|---------|
| TELA LON- GITU- DINAL (*) | 1 | - | - | - | - | 858 | - |
| | 2 | - | - | - | - | 874 | - |
| | 3 | - | - | - | - | 952 | - |
| | 4 | - | - | - | - | 740 | - |
| | CURVA ADOTADA | 1,8 | 375 | 5,7 | - | 870 | 208 333 |
| TELA TRANS- VERSAL (*) | 1 | - | - | - | - | 855 | - |
| | 2 | - | - | - | - | 865 | - |
| | 3 | - | - | - | - | 883 | - |
| | 4 | - | - | - | - | 880 | - |
| | CURVA ADOTADA | 1,8 | 375 | 5,7 | - | 870 | 208 333 |
| FIO ϕ 6,3 mm | 1 | 2,8 | 520 | 2,8 | 520 | 782 | 183 842 |
| | 2 | 2,8 | 524 | 2,8 | 524 | 786 | 186 740 |
| | 3 | - | 533 | - | 533 | 811 | - |
| | 4 | - | 530 | - | 530 | 786 | - |
| | CURVA ADOTADA | 2,8 | 526 | 2,8 | 526 | 791 | 185 291 |
| FIO ϕ 4,2 mm | 1 | 3,1 | 524 | 6,5 | 754 | 804 | 169 032 |
| | 2 | 2,6 | 467 | 6,2 | 761 | 804 | 179 615 |
| | 3 | 3,7 | 594 | 6,8 | 761 | 804 | 160 541 |
| | 4 | 2,1 | 411 | 5,8 | 744 | 797 | 195 714 |
| | CURVA ADOTADA | 2,9 | 499 | 6,3 | 755 | 803 | 173 976 |

(*) Resultados obtidos por GIONGO [1990]⁶

5. RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS

5.1 DESCRIÇÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo são indicados os resultados experimentais obtidos nos ensaios que são apresentados no Anexo 1 desta dissertação. Por constituírem-se em grande quantidade de tabelas e gráficos, optou-se por apresentá-los em anexo. Para todos os modelos, a ordem de apresentação é sempre a mesma, conforme se descreve nos sub-ítems a seguir:

5.1.1 DESLOCAMENTOS VERTICAIS

- Tabela de deslocamentos relativos em função da força aplicada;

- Diagramas força - deslocamento. Os deslocamentos relativos v_2 , v_3 e v_4 são calculados a partir dos deslocamentos absolutos dos apoios (defletômetros D1 e D5, das figuras 4.25 e 4.26), para os deslocamentos D3 e proporcionalmente para D2 e D4.

5.1.2 DEFORMAÇÕES NA SEÇÃO 1

5.1.2.1 Deformações com Extensômetros Elétricos

- Tabela de deformações medidas com extensômetros elétricos uniaxiais, posicionados na argamassa junto à borda comprimida e nas armaduras complementares longitudinal e transversal da seção 1.

- Diagramas força - deformação relativos à tabela acima citada;

As posições dos extensômetros foram indicadas nas figuras 4.25, 4.26, 4.27 e 4.28. As convenções dos diagramas acompanham as indicações constantes nas figuras, bem como, nas tabelas 4.4 e 4.5 do item 4.5. Tanto a tabela de deformações como os diagramas, foram obtidos diretamente do sistema de aquisição de dados SYSTEM 4000 da Measurements Group pertencente ao Laboratório de Estruturas da EESC/USP, ilustrado na fotografia 5.1.

5.1.2.2 Deformações com Rosetas

- Tabela de deformações medidas com rosetas posicionadas na alma da Seção 1. Nesta tabela também foram calculados diretamente pelo sistema de aquisição de dados, as deformações principais (ϵ_1 e ϵ_2), as tensões principais (σ_1 e σ_2) e o ângulo (α) de inclinação da tensão principal (σ_1) com a horizontal, positivo no sentido horário, como visualizado na figura 5.1;

- Diagramas força - deformação para cada direção da roseta;

As posições das rosetas constantes nas convenções dos diagramas e tabelas, estão indicadas nas figuras 4.25, 4.26, 4.27 e 4.29, bem como, nas tabelas 4.4 e 4.5 deste trabalho.



FOTOGRAFIA 5.1 - SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS

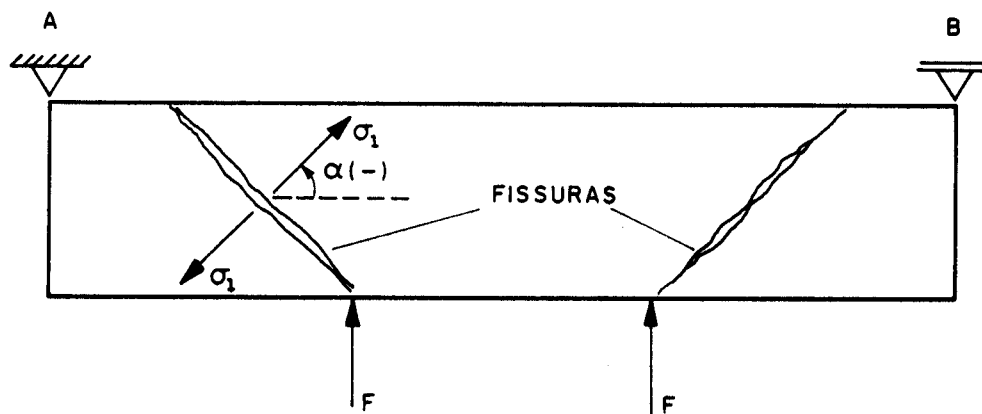


FIGURA 5.1 - CONVENÇÃO PARA O ÂNGULO α

5.1.2.3 Deformações com Extensômetro Mecânico

- Tabela de deformações medidas com extensômetro mecânico nas bordas da mesa tracionada e inclinado na alma da Seção 1;

- Diagramas força - deformação medidas com extensômetro mecânico.

As posições das bases do extensômetro mecânico foram indicadas também nas figuras 4.25, 4.26, 4.27 e 4.28. Do mesmo modo do ítem 5.1.2.1, as convenções dos diagramas acompanham as indicações constantes nas figuras. As deformações relativas foram calculadas a partir das diferenças entre as leituras absolutas em cada etapa e a leitura inicial com carregamento zero, dividindo-se pelo comprimento inicial ($\epsilon = \Delta l / l_0$).

5.1.3 DEFORMAÇÕES NA SEÇÃO 2

Nesta seção, valem as mesmas observações já comentadas para a Seção 1, com excessão dos modelos da série 1B, que estão excluídos desses resultados, já que para eles, não houve instrumentação na Seção 2. As tabelas e os diagramas são semelhantes aos da Seção 1.

5.1.4 DEFORMAÇÕES NA SEÇÃO 3

5.1.4.1 Deformações com Extensômetros Elétricos

- Tabela de deformações dos extensômetros elétricos posicionados na argamassa da mesa comprimida e na armadura longitudinal (mesma tabela utilizada para as Seções 1 e 2);

- Diagramas força - deformação medidas com três extensômetros elétricos indicados nas figuras 4.25, 4.26, 4.27 e 4.28.

5.1.4.2 Deformações com Extensômetro Mecânico

- Mesmo tipo de tabela do item 5.1.2.3, para as duas bases de extensômetro posicionadas na mesa tracionada na seção central da viga, também indicadas nas figuras 4.25, 4.26, 4.27 e 4.28;

- Diagramas força - deformação correspondentes.

5.1.5 RESISTÊNCIAS DOS CORPOS-DE-PROVA

- Tabelas com resistências à tração e à compressão da argamassa medidas em corpos-de-prova;

Os resultados obtidos para todos os 24 corpos-de-prova moldados para cada modelo, estão registrados, inclusive os valores das resistências médias e resultados estatísticos.

- Diagramas tensão (σ_c) - deformação (ϵ_c) da argamassa, com a indicação do valor do módulo de deformação longitudinal tangente na origem, determinado por regressão linear dos cinco primeiros pontos da curva. Para estes diagramas, apenas dois corpos-de-prova foram instrumentados em cada modelo.

O valor da resistência à tração dos corpos-de-prova, foi determinado com a expressão:

$$f_t = 0,85 \cdot \frac{2}{\pi} \cdot \frac{F_{CP}}{\phi_{CP} \cdot l_{CP}} \quad (5.1)$$

onde:

F_{CP} = força última aplicada durante o ensaio do

corpo-de-prova cilíndrico submetido à compressão diametral;

$\phi_{CP} = 50 \text{ mm}$, diâmetro do corpo-de-prova;

$l_{CP} = 100 \text{ mm}$, comprimento do corpo-de-prova;

0,85 = coeficiente de conversão de resistências, obtidos por compressão diametral em resistências determinadas em corpos-de-prova submetidos à tração axial.

Foram incluídos nas tabelas alguns resultados estatísticos tais como aqueles indicados por TAKEYA [1988]⁶² quais sejam:

- Média: $\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$ onde:

x_i = resultados individuais de cada corpo-de-prova (CP);

n = número de amostras dos corpos-de-prova;

- Desvio Máximo: $\max |x_i - \bar{x}|$

- Desvio Máximo Percentual: $\frac{\max |x_i - \bar{x}|}{\bar{x}} \cdot 100\%$

- Desvio Padrão: $s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$

- Desvio Máximo Admissível (Critério de Chauvenet utilizado para descartar valores suspeitos), calculado como a seguir:

. $n = 4$ corpos-de-prova;

. $p = \frac{1}{2 \cdot n} = \frac{1}{2 \cdot 4} = 0,125$;

. entrando na Distribuição Normal de Gauss com $p = 0,125$ obtém-se $x = 1,150$;

. o desvio máximo admissível será: $x \cdot s = 1,150 \cdot s$;

- Coeficiente de variação: $\delta = s/\bar{x}$ ou $\frac{s}{\bar{x}} \cdot 100\%$

- Intervalo de confiança da média para pequenas amostras calculado como a seguir:

. fixa-se o grau de confiança desejado: $p = 95\%$;

. grau de liberdade: $\nu = n - 1 = 4 - 1 = 3$;

. entrando na Distribuição de Student com $\nu = 3$ e $p = 95\%$ (0,05), obtém-se $t = 3,183$;

. determina-se: $\epsilon = \frac{t \cdot s}{\sqrt{n}} = \frac{3,183}{\sqrt{4}} \cdot s = 1,591 \cdot s$

. o intervalo de confiança da média é: $\bar{x} \pm \epsilon$

5.1.6 FISSURAÇÃO

- Tabelas com os espaçamentos entre as fissuras medidas ao longo dos eixos, indicados na figura 4.30;

- Tabelas com os valores das aberturas de fissuras desde a etapa em que se observou a primeira fissura até a etapa anterior à ruína, tanto para a mesa tracionada como para a alma;

- Tabela com as inclinações das fissuras (θ) da alma e as inclinações (β) das tensões principais σ_2 ($\beta = 90^\circ + \alpha$) nas Seções 1 e 2, medidas em cada etapa de carregamento.

As tabelas e diagramas estão apresentados no Anexo nº 1 deste trabalho.

5.2 RESUMO DOS ENSAIOS

Apresenta-se a seguir uma tabela resumo com as seguintes características para cada modelo: data da moldagem, data do ensaio, tipo de ruptura, força cortante

6. ANÁLISE DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS

6.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Os resultados experimentais obtidos através dos ensaios dos modelos, foram comparados com os resultados teóricos e teórico-experimentais, utilizando-se critérios de cálculo apresentados nos capítulos 2 e 3 deste trabalho. Parte dos resultados teóricos foram determinados utilizando-se o programa AECALC para micro-computador descrito no Anexo 2. Os outros resultados teóricos apresentados, foram obtidos de planilhas eletrônicas de cálculo LOTUS, criadas especificamente para esse fim. Os resultados teórico-experimentais foram determinados através do programa ECCALC que é uma variante dos programas AECALC e ACCALC de GIONGO [1990]⁶, quando se introduzem diretamente as próprias deformações experimentais da argamassa e do aço, obtidas em laboratório nos ensaios de cada modelo. São elas: deformações medidas no extensômetro mecânico localizado na mesa tracionada e deformações medidas nos extensômetros

elétricos localizados na mesa comprimida e nos fios complementares, tanto longitudinais como transversais. Este novo programa implementado pelo autor tem a mesma saída de resultados do programa AECALC.

Os resultados experimentais obtidos, também foram comparados com as prescrições das normas brasileiras (NBR 11.173¹ e NBR 6.118²), da norma americana (ACI 549.IR-88³), da norma russa (SN 366-77⁴) e do Código Modelo do Comitê Euro-International du Beton (CEB-90⁵).

Os cálculos dos esforços solicitantes últimos teóricos foram feitos com os valores das resistências da argamassa, dos fios da tela e das armaduras complementares, obtidas em ensaios, sem nenhuma redução por coeficientes de ponderação e resistência.

As propriedades mecânicas características dos aços das telas e armaduras complementares foram obtidas da tabela 4.8, cujos valores adotados foram os dos parâmetros médios.

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, cujos valores já foram citados no item 5.1.5 e apresentados em forma de tabelas e diagramas no Anexo n° 1.

As tensões de compressão nas fibras mais comprimidas das seções transversais dos modelos foram adotadas iguais às resistências médias à compressão determinadas para cada modelo, isto é, $\sigma_c = f_{cj}$.

As posições dos fios longitudinais das telas, foram determinadas através de medidas "in loco" feitas com a armadura posicionada dentro da fôrma antes da argamassagem de cada modelo. Igualmente, as dimensões das seções transversais de cada modelo, foram determinadas através de medidas realizadas após a cura de cada um deles.

6.2 ANÁLISE DOS ESFORÇOS SOLICITANTES E RESISTENTES

6.2.1 ESFORÇOS RESISTENTES (ESTADO LIMITE ÚLTIMO)

A seguir, são apresentadas três tabelas, quais sejam 6.1, 6.2 e 6.3. Todas três são semelhantes umas às outras quanto ao seu formato e cujas diferenças básicas são as seguintes:

- TABELA 6.1. São apresentados esforços teóricos solicitantes últimos calculados pelo programa AECALC com $f_{cm} = 36,6$ MPa (média dos corpos-de-prova rompidos de todos os modelos) e curvas dos aços das armaduras seguindo o diagrama da NBR 6.118² conforme especificação do fabricante, ou seja: telas com aço CA-60 e armadura complementar longitudinal com aço CA-50A (valores de projeto).

- TABELA 6.2 - Do mesmo modo são apresentados os esforços solicitantes últimos utilizando-se as resistências dos corpos-de-prova individuais de cada modelo e curvas de aço obtidas de ensaios de tração dos fios e telas.

- TABELA 6.3 - Mesma tabela anterior, sendo agora os esforços teóricos-experimentais calculados pelo programa ECCALC com dados das deformações experimentais da argamassa e do aço, obtidos nos ensaios de cada modelo, com o objetivo de comparar o acréscimo de precisão destes resultados em relação aos das tabelas 6.2 e 6.1.

São apresentadas nas quatro primeiras colunas, as características de cada modelo que afetam os esforços resistentes tais como: número de telas na alma n , espaçamentos dos estribos s_t e distância a do ponto de aplicação da força concentrada vertical ao apoio, esta na coluna indicada pela letra "A". Na coluna "B" apresenta-se a força cortante última (V_u) resistida pela seção, calculada pelo programa AECALC. Na coluna "C", o momento fletor último (M_u) também calculado pelo programa AECALC. A força vertical concentrada última (F_u) devida ao momento fletor resistente

TABELA 6.1

COMPARAÇÃO DOS ESFORÇOS RESISTENTES COM OS EXPERIMENTAIS
 ARMADURA LONGITUDINAL - 6 FIOS DE 6,3 mm - AÇO CA-50A

| MODELO | ARMADURA | | Vu | Nu | Fu | Fu | Fu | Fu | Fu exp | TIPO | |
|----------------|---------------|-----|------|--------|---------|-------|-------|-------|--------|------------|----------|
| | TRANSVERSAL | a | teo. | teo. | flexão | teo. | exp. | exp. | / | DE RUPTURA | |
| | NUM. ESPAÇAM. | (m) | (kN) | (kN.m) | (kN) | (kN) | (kN) | (kN) | Fu teo | TEÓRICA | EXPERIM. |
| TELAS ESTRIBOS | | E= | | E= | | E= | | E= | | E= | |
| 4,2 mm | A | B | C | D=C/A | MIN B,D | F | G=F/E | | | | |
| 1/1 | 2 | - | 0,97 | 20,63 | 31,77 | 32,92 | 20,63 | 42,00 | 2,04 | V - TD | V - CB |
| 1/2 | 3 | - | 0,97 | 27,94 | 33,32 | 34,53 | 27,94 | 38,00 | 1,36 | V - TD | V - CB |
| 1/3 | 2 | 110 | 0,97 | 36,53 | 31,77 | 32,92 | 32,92 | 44,00 | 1,34 | M - D2 | M - D2 |
| 1B/1 | 2 | - | 0,45 | 20,63 | 31,77 | 70,60 | 20,63 | 49,50 | 2,40 | V - TD | V - TD |
| 1B/2 | 3 | - | 0,45 | 27,94 | 33,32 | 74,04 | 27,94 | 55,00 | 1,97 | V - TD | V - CB |
| 1B/3 | 2 | 110 | 0,45 | 36,53 | 31,76 | 70,58 | 36,53 | 65,00 | 1,78 | V - TD | V - CB |
| 2/1 | 2 | - | 0,70 | 23,46 | 31,76 | 45,37 | 23,46 | 50,00 | 2,13 | V - TD | V - TD |
| 2/2 | 3 | - | 0,70 | 30,61 | 33,33 | 47,61 | 30,61 | 62,00 | 2,03 | V - TD | M - D3 |
| 2/3 | 2 | 110 | 0,70 | 39,33 | 31,76 | 45,37 | 39,33 | 57,00 | 1,45 | V - TD | V - TD |
| 3/1 | 2 | - | 0,97 | 29,05 | 47,92 | 49,66 | 29,05 | 60,00 | 2,07 | V - TD | V - TD |
| 3/2 | 3 | - | 0,97 | 39,01 | 51,02 | 52,87 | 39,01 | 67,00 | 1,72 | V - TD | M - D3 |
| 3/3 | 2 | 170 | 0,97 | 43,54 | 47,92 | 49,66 | 43,54 | 65,00 | 1,49 | V - TD | M - D2 |

Média = 1,81

LEGENDA: CISALHAMENTO = V TRACÇÃO NA DIAGONAL = TD
 COMPRESSÃO NA BIELA = CB

FLEXÃO = M COMPRESSÃO NA MESA = D3
 TRACÇÃO NA ARMADURA = D2

Obs. Esforços teóricos com:
 $f_{cm} = 36,6$ MPa (média dos corpos-de-prova)
 Aços: Tela : CA-60
 Armadura complementar: CA-50A

é apresentada na coluna "D" ($F_u = M_u/a$). A força vertical concentrada teórica última (F_u) que resiste o modelo será então o menor dos valores obtidos nas colunas "B" e "D" sendo apresentada na coluna "E". Os resultados experimentais de F_u são mostrados na coluna "F" e finalmente na coluna "G" faz-se uma comparação de $F_{u,exp}$ em relação $F_{u,teo}$. As duas últimas colunas indicam o tipo de ruptura do modelo tanto na teoria como na prática.

Uma análise desses resultados pode indicar:

TABELA 6.2

COMPARAÇÃO DOS ESFORÇOS RESISTENTES COM OS EXPERIMENTAIS
 ARMADURA LONGITUDINAL - 6 FIOS DE 6,3 mm - AÇO CA-50A

| MODELO | ARMADURA TRANSVERSAL | a (m) | Vu | Mu | Fu | Fu | Fu | Fu | Fu exp | TIPO DE RUPTURA | TEÓRICA | EXPERIM. |
|------------------------------|----------------------|--------|-----------|-------------|-------------|------------------|-----------|---------------|--------|-----------------|---------|----------|
| | | | teo. (kN) | teo. (kN.m) | flexão (kN) | teo. (kN) | exp. (kN) | exp. / Fu teo | | | | |
| NUM. ESPAÇAM. TELAS ESTRIBOS | | 4,2 mm | A | B | C | E= D=C/A MIN B,D | | F | G=F/E | | | |
| 1/1 | 2 | - | 0,97 | 28,09 | 37,91 | 39,28 | 28,09 | 42,00 | 1,50 | V - TD | V - CB | |
| 1/2 | 3 | - | 0,97 | 38,42 | 39,51 | 40,94 | 38,42 | 38,00 | 0,99 | V - TD | V - CB | |
| 1/3 | 2 | 110 | 0,97 | 47,71 | 37,19 | 38,54 | 38,54 | 44,00 | 1,14 | M - D2 | M - D2 | |
| 1B/1 | 2 | - | 0,45 | 27,75 | 37,14 | 82,53 | 27,75 | 49,50 | 1,78 | V - TD | V - TD | |
| 1B/2 | 3 | - | 0,45 | 38,45 | 38,95 | 86,56 | 38,45 | 55,00 | 1,43 | V - TD | V - CB | |
| 1B/3 | 2 | 110 | 0,45 | 47,32 | 36,97 | 82,16 | 47,32 | 65,00 | 1,37 | V - TD | V - CB | |
| 2/1 | 2 | - | 0,70 | 30,63 | 37,74 | 53,91 | 30,63 | 50,00 | 1,63 | V - TD | V - TD | |
| 2/2 | 3 | - | 0,70 | 41,08 | 39,72 | 56,74 | 41,08 | 62,00 | 1,51 | V - TD | M - D3 | |
| 2/3 | 2 | 110 | 0,70 | 50,19 | 37,38 | 53,40 | 50,19 | 57,00 | 1,14 | V - TD | V - TD | |
| 3/1 | 2 | - | 0,97 | 39,03 | 56,86 | 58,92 | 39,03 | 60,00 | 1,54 | V - TD | V - TD | |
| 3/2 | 3 | - | 0,97 | 53,98 | 60,19 | 62,37 | 53,98 | 67,00 | 1,24 | V - TD | M - D3 | |
| 3/3 | 2 | 170 | 0,97 | 57,25 | 56,65 | 58,70 | 57,25 | 65,00 | 1,14 | V - TD | M - D2 | |

Média = 1,37

LEGENDA: CISCALHAMENTO = V TRACÇÃO NA DIAGONAL = TD
 COMPRESSÃO NA BIELA = CB

FLEXÃO = M COMPRESSÃO NA MESA = D3
 TRACÇÃO NA ARMADURA = D2

Obs. Esforços teóricos com dados dos corpos-de-prova individuais de argamassa e ensaios de tração dos fios e telas de aço.

a) Da comparação $F_{u,exp}/F_{u,teo}$ (média de todos os modelos) como era de se esperar, a tabela 6.3 foi a que mais se aproximou da realidade com valor de 1,14, enquanto a tabela 6.1 foi a que mais se afastou, com relação de 1,81, já que utilizou em seus cálculos, valores de projeto das resistências dos materiais;

b) A tabela 6.1 (valores de projeto) indica para todos os modelos uma boa margem de diferença entre os esforços experimentais e teóricos, tendo a relação $F_{u,exp}/F_{u,teo}$

TABELA 6.3

COMPARAÇÃO DOS ESFORÇOS RESISTENTES COM OS EXPERIMENTAIS
 ARMADURA LONGITUDINAL - 6 FIOS DE 6,3 mm - AÇO CA-50A

| MODELO | ARMADURA TRANSVERSAL | | Vu | Mu | Fu | Fu | Fu | Fu | Fu exp | TIPO DE RUPTURA | |
|------------|----------------------|--------|-----------|-------------|-------------|------------------|-----------|--------|--------|-----------------|----------|
| | a | (m) | teo. (kN) | teo. (kN.m) | flexão (kN) | teo. (kN) | exp. (kN) | Pu teo | / | TEÓRICA | EXPERIM. |
| NUM. TELAS | ESPAÇAM. ESTRIBOS | 4,2 mm | A | B | C | E= D=C/A MIN B,D | | F | G=F/E | | |
| 1/1 | 2 | - | 0,97 | 27,41 | 37,74 | 39,11 | 27,41 | 42,00 | 1,53 | V - TD | V - CB |
| 1/2 | 3 | - | 0,97 | 60,21 | 44,57 | 46,19 | 46,19 | 38,00 | 0,82 | M - D2 | V - CB |
| 1/3 | 2 | 110 | 0,97 | 39,51 | 31,84 | 32,99 | 32,99 | 44,00 | 1,33 | M - D2 | M - D2 |
| 1B/1 | 2 | - | 0,45 | 64,12 | 39,31 | 87,36 | 64,12 | 49,50 | 0,77 | V - TD | V - TD |
| 1B/2 | 3 | - | 0,45 | 92,16 | 41,42 | 92,04 | 92,04 | 55,00 | 0,60 | M - D2 | V - CB |
| 1B/3 | 2 | 110 | 0,45 | 81,72 | 42,55 | 94,56 | 81,72 | 65,00 | 0,80 | V - TD | V - CB |
| 2/1 | 2 | - | 0,70 | 46,08 | 46,67 | 66,67 | 46,08 | 50,00 | 1,09 | V - TD | V - TD |
| 2/2 | 3 | - | 0,70 | 31,18 | 31,46 | 44,94 | 31,18 | 62,00 | 1,99 | V - TD | M - D3 |
| 2/3 | 2 | 110 | 0,70 | 61,17 | 40,50 | 57,86 | 57,86 | 57,00 | 0,99 | M - D2 | V - TD |
| 3/1 | 2 | - | 0,97 | 34,28 | 47,62 | 49,35 | 34,28 | 60,00 | 1,75 | V - TD | V - TD |
| 3/2 | 3 | - | 0,97 | 61,29 | 61,22 | 63,44 | 61,29 | 67,00 | 1,09 | V - TD | M - D3 |
| 3/3 | 2 | 170 | 0,97 | 82,00 | 70,11 | 72,65 | 72,65 | 65,00 | 0,89 | M - D2 | M - D2 |

Média = 1,14

LEGENDA: CISALHAMENTO = V TRAÇÃO NA DIAGONAL = TD
 COMPRESSION NA BIELA = CB

FLEXÃO = M COMPRESSION NA MESA = D3
 TRAÇÃO NA ARMADURA = D2

Obs. Esforços teórico-experimentais com dados das deformações dos ensaios de cada modelo além dos dados dos corpos-de-prova individuais de argamassa e ensaios de tração dos fios e telas.

mínima ficado com o modelo 1/2 (1,36) e a máxima com o modelo 1B/1 (2,40);

c) Os resultados da tabela 6.3 indicam que os cálculos teórico-experimentais efetuados pelo programa ECCALC se apresentam bem próximos da realidade, ou seja, com erro médio de +14%;

d) Os cálculos teóricos dos modelos com estribos ficaram mais próximos dos resultados experimentais em todas três tabelas;

e) Os modelos com valores menores de a , série 1B e 2 ficaram com relações $F_{u,exp}/F_{u,teo}$ maiores na tabela 6.1 (projeto) o que indica a influência do efeito de arco para cargas mais próximas ao apoio. (O mesmo não se pode concluir para a tabela 6.3 - valores teórico-experimentais, isto porque o efeito de maior resistência já foi considerado através dos valores experimentais introduzidos no programa ECCALC);

f) O tipo de ruptura experimental diferiu do teórico na tabela 6.1, apenas nos modelos mais rígidos (de maior h , maior b_w e maior A_{sw}) ou seja, nos modelos 2/2, 3/2 e 3/3, que romperam por flexão, em vez de romperem por cisalhamento como previsto no projeto. Considerando os resultados teórico-experimentais, o erro foi maior, ou seja, quatro modelos diferiram dos valores experimentais quanto ao tipo de ruptura. A tabela 6.2 apresentou os mesmos tipos de ruptura da tabela 6.1.

6.2.2 COMPARAÇÃO DOS VALORES DOS ESFORÇOS RESISTENTES ENTRE NORMAS

A tabela 6.4 apresenta os esforços resistentes obtidos com aplicação dos critérios das normas nacionais e estrangeiras (calculados através de planilha eletrônica) comparados com os valores experimentais.

Os valores da NBR 11.173¹ foram obtidos das equações 2.61 e 2.65 do item 2.2.1.2, os da SN-366/77⁴ através das equações 2.83, 2.85, 2.87, 2.88 e 2.89 do item 2.2.3.2, os do ACI 549.1R-88³ calculados com as equações 2.79, 2.80, 2.81 e 2.82 do item 2.2.2 e finalmente os do CEB/90⁵ obtidos das equações 2.92, 2.102, 2.103, 2.104 e 2.105 dos itens 2.2.4.2 e 2.2.4.3, todos deste trabalho.

Uma análise desses valores mostrou que:

a) A relação média entre a força concentrada última calculada pela norma e a força concentrada última

TABELA 6.4

COMPARAÇÃO DOS ESFORÇOS RESISTENTES ENTRE NORMAS
(kN)

| MOD. | NBR 11.173 | SN 366/77 | ACI 549 IR-88 | CEB 90 | EXPERIM | NBR/ EXP | SN/ EXP | ACI/ EXP | CEB/ EXP |
|-------|---------------|--------------|------------------|-----------|---------|-------------|------------|-------------|-------------|
| 1/1 | 25,85 | 43,47 | 27,50 | 47,37 | 42,00 | 0,62 | 1,04 | 0,65 | 1,13 |
| 1/2 | 25,67 | 52,14 | 25,93 | 36,25 | 38,00 | 0,68 | 1,37 | 0,68 | 0,95 |
| 1/3 | 25,83 | 58,03 | 25,38 | 50,83 | 44,00 | 0,59 | 1,32 | 0,58 | 1,16 |
| 1B/1 | 26,35 | 36,14 | 28,19 | 42,85 | 49,50 | 0,53 | 0,73 | 0,57 | 0,87 |
| 1B/2 | 26,30 | 52,97 | 29,10 | 49,83 | 55,00 | 0,48 | 0,96 | 0,53 | 0,91 |
| 1B/3 | 25,64 | 61,59 | 28,50 | 52,17 | 65,00 | 0,39 | 0,95 | 0,44 | 0,80 |
| 2/1 | 29,43 | 53,63 | 30,50 | 57,77 | 50,00 | 0,59 | 1,07 | 0,61 | 1,16 |
| 2/2 | 39,90 | 60,17 | 38,99 | 64,85 | 62,00 | 0,64 | 0,97 | 0,63 | 1,05 |
| 2/3 | 39,99 | 70,69 | 37,96 | 68,16 | 57,00 | 0,70 | 1,24 | 0,67 | 1,20 |
| 3/1 | 36,13 | 55,35 | 36,27 | 62,08 | 60,00 | 0,60 | 0,92 | 0,60 | 1,03 |
| 3/2 | 33,72 | 71,00 | 32,70 | 66,16 | 67,00 | 0,50 | 1,06 | 0,49 | 0,99 |
| 3/3 | 35,90 | 73,14 | 35,47 | 68,85 | 65,00 | 0,55 | 1,13 | 0,55 | 1,06 |
| MÉDIA | | | | | | 0,57 | 1,06 | 0,58 | 1,02 |

experimental que mais se aproximou da unidade foi a do CEB/90⁵ com 1,02;

b) Os valores obtidos com aplicação dos critérios da norma brasileira NBR 11.173¹ atingiram em média 57% dos valores experimentais.

c) Em geral, os valores calculados através da NBR 11.173¹ e do ACI 549.IR-88³ atingiram 57% e 58% respectivamente dos valores experimentais, enquanto que através da SN 366/77⁴ e do CEB/90⁵ ficaram com 6% e 2% respectivamente acima dos valores experimentais;

6.2.3 TENSÕES NO ESTÁDIO I

Para os modelos da Série 3, foi feita uma análise comparativa das tensões de cisalhamento (τ_0), na altura da linha neutra da alma, calculadas com as equações 2.3 e 2.13 do item 2.1.2.1 e com resultados experimentais. Foi escolhida a Série 3 por se tratar de modelos com alma que tinham relação $h/b_w = 14 > 10$ e por isso, podendo ser considerados como perfis delgados.

A equação 2.3 indica a tensão τ_0 , deduzida pela teoria indicada nos compêndios da resistência dos materiais, no regime elástico. A equação 2.13 utiliza os conceitos de perfis delgados, como deduzido no referido item 2.1.2.1 deste trabalho. Os resultados experimentais de τ_0 foram obtidos diretamente da tensão normal principal experimental σ_1 fornecida pelo Sistema de Aquisição de Dados SYSTEM 4000 do LE/EESC-USP, de acordo com as relações 2.1 do mesmo item 2.1.2.1, aplicadas na altura da linha neutra.

Foram montadas três tabelas 6.5, 6.6 e 6.7 para os modelos 3/1, 3/2 e 3/3 respectivamente, que apresentam estas tensões τ_0 calculadas e observadas para as etapas de carregamento antes da fissuração.

TABELA 6.5
ANÁLISE ESTÁDIO I - MODELOS SÉRIE 3
VALORES DA TENSÃO DE CISALHAMENTO NO CENTRO DE GRAVIDADE
MODELO 3/1 - SEÇÃO 2 (2h do apoio)

| V (kN) | TENSÃO DE CISALHAMENTO (MPa) | | | EXP. | EXP. |
|-----------|------------------------------|-------------------|----------|------|------|
| | RESIST. MATERIAIS | PEÇAS DELGADAS | EXPERIM. | RES. | DEL. |
| 2,50 | 0,44 | 0,37 | 0,40 | 0,92 | 1,08 |
| 5,00 | 0,87 | 0,74 | 0,30 | 0,34 | 0,41 |
| 7,50 | 1,31 | 1,11 | 0,40 | 0,31 | 0,36 |
| 10,00 | 1,74 | 1,48 | 0,90 | 0,52 | 0,61 |
| MÉDIA | | | | 0,52 | 0,61 |

TABELA 6.6
ANÁLISE ESTÁDIO I - MODELOS SÉRIE 3
VALORES DA TENSÃO DE CISALHAMENTO NO CENTRO DE GRAVIDADE
MODELO 3/2 - SEÇÃO 2 (2h do apoio)

| V (kN) | TENSÃO DE CISALHAMENTO (MPa) | | | EXP. | EXP. |
|-----------|------------------------------|----------------|----------|--------|--------|
| | RESIST. MATERIAIS | PEÇAS DELGADAS | EXPERIM. | / RES. | / DEL. |
| 5,00 | 0,87 | 0,73 | 0,90 | 1,04 | 1,23 |
| 10,00 | 1,74 | 1,47 | 1,80 | 1,04 | 1,23 |
| MÉDIA | | | | 1,04 | 1,23 |

TABELA 6.7
ANÁLISE ESTÁDIO I - MODELOS SÉRIE 3
VALORES DA TENSÃO DE CISALHAMENTO NO CENTRO DE GRAVIDADE
MODELO 3/3 - SEÇÃO 2 (2h do apoio)

| V (kN) | TENSÃO DE CISALHAMENTO (MPa) | | | EXP. | EXP. |
|-----------|------------------------------|----------------|----------|--------|--------|
| | RESIST. MATERIAIS | PEÇAS DELGADAS | EXPERIM. | / RES. | / DEL. |
| 5,00 | 0,86 | 0,73 | 0,80 | 0,93 | 1,09 |
| 10,00 | 1,73 | 1,46 | 1,60 | 0,93 | 1,09 |
| MÉDIA | | | | 0,93 | 1,09 |

Deve ser observado que os resultados experimentais foram corrigidos de acordo com o módulo de deformação longitudinal tangente experimental obtidos em ensaios dos corpos-de-prova moldados para cada modelo, já que o sistema de aquisição de dados havia adotado $E_c = 30.000$ MPa para todas as medidas.

Assim, os resultados experimentais constantes nas tabelas foram corrigidos de acordo com a equação:

$$\tau_0 = \frac{E_c}{30.000} \cdot \sigma_1 \quad (6.1)$$

Como ilustração, apresentam-se na figura 6.1 os diagramas $\tau_0 - V$ para o modelo 3/1 com dados da tabela 6.5.

Examinando-se as tabelas, pode-se fazer algumas observações:

a) Para o modelo 3/1 (duas telas na alma), os valores de τ_0 calculados através de perfis delgados ficaram bastante acima dos experimentais. Estes resultados experimentais atingiram 52% e 61% dos teóricos calculados através da teoria da Resistência dos Materiais e de perfis delgados respectivamente;

b) Os modelos 3/2 e 3/3 (com mais armadura na alma) apresentaram resultados experimentais acima dos calculados como perfis delgados (16% em média);

TENSÃO DE CISALHAMENTO PEÇAS DELGADAS MODELO 3/1

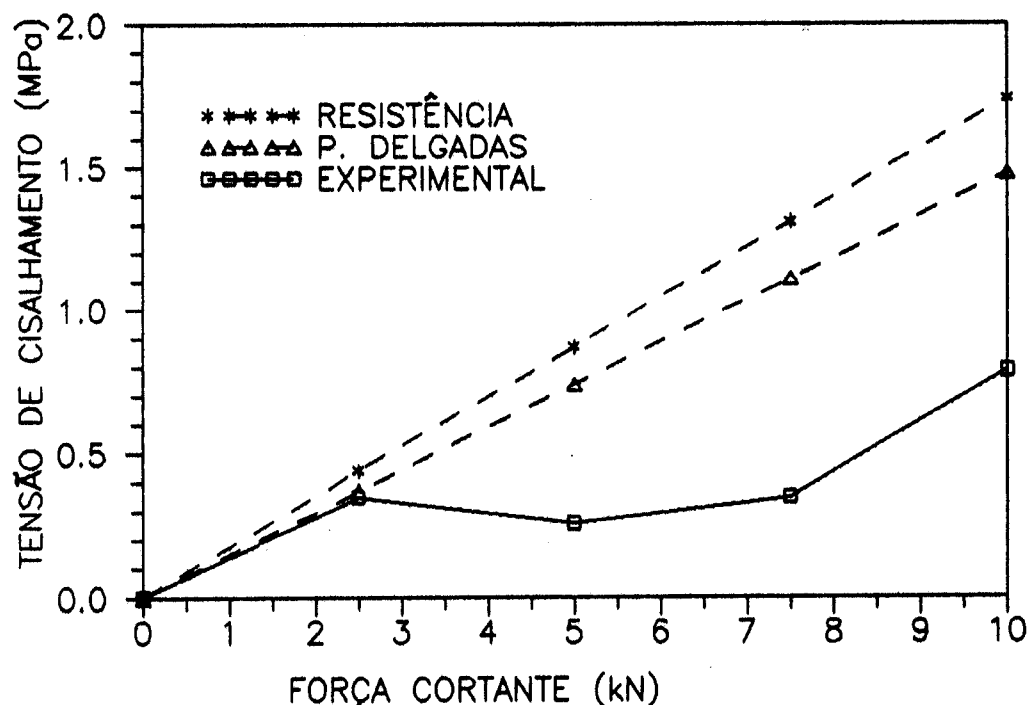


FIGURA 6.1 - TENSÕES DE CISALHAMENTO NO REGIME ELÁSTICO

c) Os resultados calculados pela teoria da resistência dos materiais ficaram sempre acima daqueles calculados como perfis delgados e apenas nos modelos 3/2 e 3/3 (mais armadura na alma), ficaram mais próximos dos resultados experimentais.

6.2.4 TENSÕES NA ARMADURA TRANSVERSAL (ESTÁDIO II)

A análise das tensões na armadura transversal (σ_{tt}) foi feita para os modelos 1/3, 2/3, 3/3 e 1B/3, ou seja, aqueles que foram armados com estribos e por este motivo puderam ser instrumentados com extensômetros elétricos uniaxiais. Duas seções transversais foram observadas: Seção 1 situada a uma distância h do centro do apoio esquerdo e Seção 2 situada a uma distância $2.h$ do mesmo apoio.

As tabelas 6.8 e 6.9 montadas com planilha eletrônica contêm os valores das tensões σ_{tt} em função da força cortante para cada modelo nas Seções 1 e 2 respectivamente, obtidas dos ensaios experimentais (ϵ_t) e das curvas dos aços das telas (GIONGO [1990]⁶). Para melhor visualização foram contruídos diagramas $\sigma_{tt} - V$ para cada tabela e apresentados nas figuras 6.2 e 6.3.

Uma análise das tabelas e figuras fornece algumas observações:

a) Vê-se claramente que enquanto não ocorrem fissuras, a armadura não é solicitada, pelo contrário, ocorrem tensões que chegam até a ser negativas devido ao efeito de compressão, ao longo da alma, entre a ação aplicada na face oposta e o ponto de aplicação da reação de apoio (carregamento direto - FUSCO [1982]⁴²). Isto se deu, porque os modelos ainda se encontravam na fase elástica e o aço da armadura transversal, aderente à argamassa, sofria os mesmos tipos de solicitações;

TABELA 6.8
TENSÃO NA ARMADURA TRANSVERSAL
SEÇÃO 1

| FORÇA CORTANTE (kN) | MODELO (MPa) | | | |
|---------------------------|--------------|--------|--------|--------|
| | 1/3 | 1B/3 | 2/3 | 3/3 |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 2,50 | -0,42 | 0,21 | 0,42 | |
| 5,00 | -1,04 | 0,00 | 0,21 | 0,08 |
| 7,50 | -1,88 | 0,00 | 0,21 | |
| 10,00 | -2,29 | -0,21 | 0,00 | 0,83 |
| 12,50 | -1,67 | -0,42 | -0,21 | |
| 15,00 | -1,46 | -1,25 | 0,21 | 1,88 |
| 20,00 | -2,08 | -2,50 | 2,71 | 2,08 |
| 25,00 | 174,38 | 201,04 | | |
| 30,00 | 214,58 | 227,92 | 161,04 | 177,71 |
| 40,00 | 320,00 | 322,08 | 240,00 | 319,17 |
| 50,00 | | 348,13 | 367,29 | 490,00 |
| 55,00 | | | 400,00 | |
| 60,00 | | 418,00 | | 590,00 |
| 65,00 | | | | 620,00 |

TENSÃO NA ARMADURA TRANSVERSAL
SEÇÃO 1

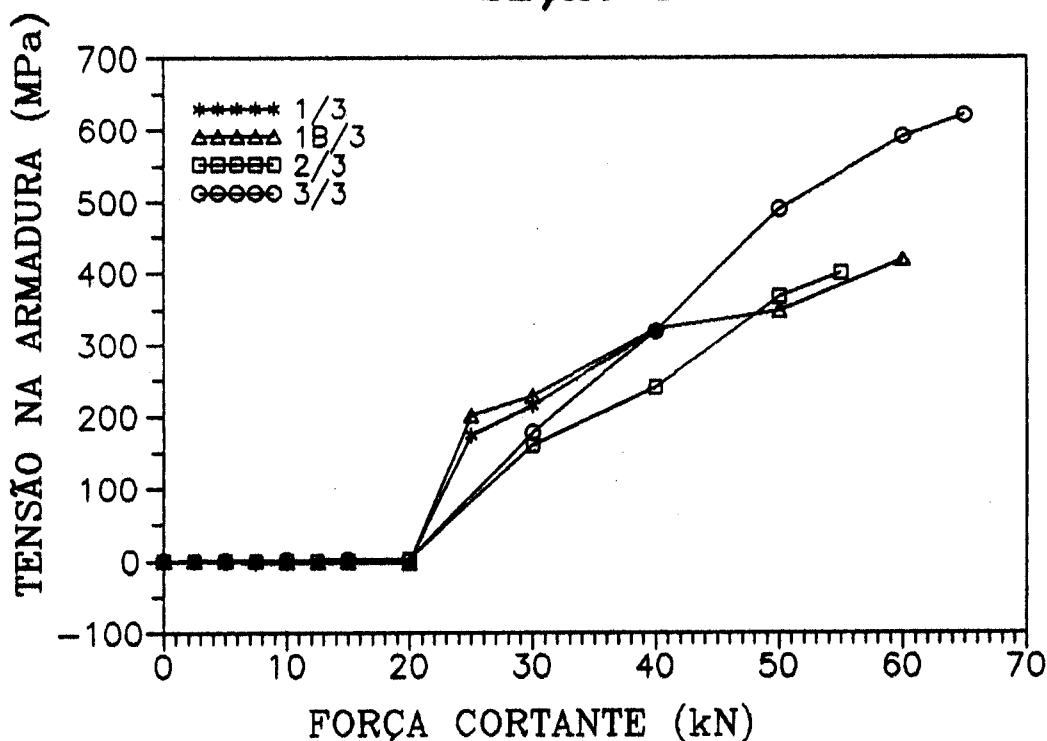


FIGURA 6.2 - TENSÃO NA ARMADURA TRANSVERSAL - SEÇÃO 1

TABELA 6.9
TENSÃO NA ARMADURA TRANSVERSAL
SEÇÃO 2

| FORÇA CORTANTE (kN) | MODELO (MPa) | | |
|---------------------------|--------------|--------|--------|
| | 1/3 | 2/3 | 3/3 |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 2,50 | -0,63 | 0,42 | |
| 5,00 | -1,46 | 0,21 | 1,67 |
| 7,50 | -1,88 | 0,00 | |
| 10,00 | -0,42 | -0,42 | 1,88 |
| 12,50 | 47,29 | -1,88 | |
| 15,00 | 114,17 | 7,50 | 16,04 |
| 20,00 | 176,67 | 110,83 | 125,00 |
| 25,00 | 215,63 | 204,79 | 191,04 |
| 30,00 | 275,41 | 249,17 | 257,71 |
| 40,00 | 362,08 | 345,83 | 380,00 |
| 50,00 | | 480,00 | 520,00 |
| 55,00 | | 540,00 | |
| 60,00 | | | 610,00 |
| 65,00 | | | 660,00 |

TENSÃO NA ARMADURA TRANSVERSAL
SEÇÃO 2

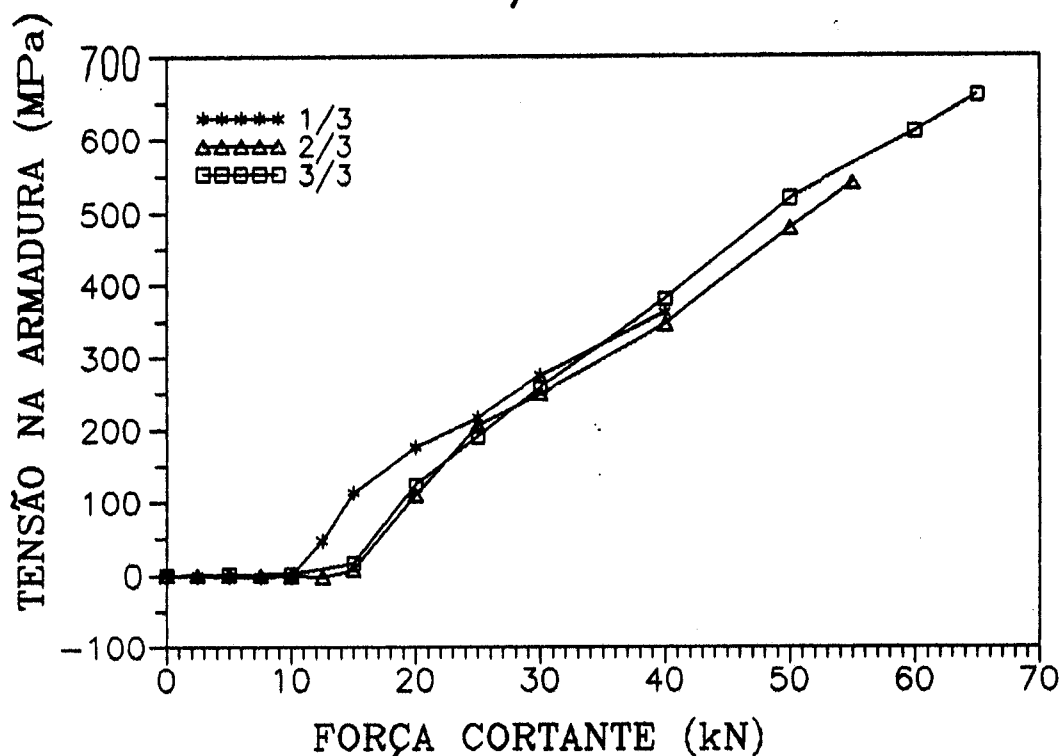
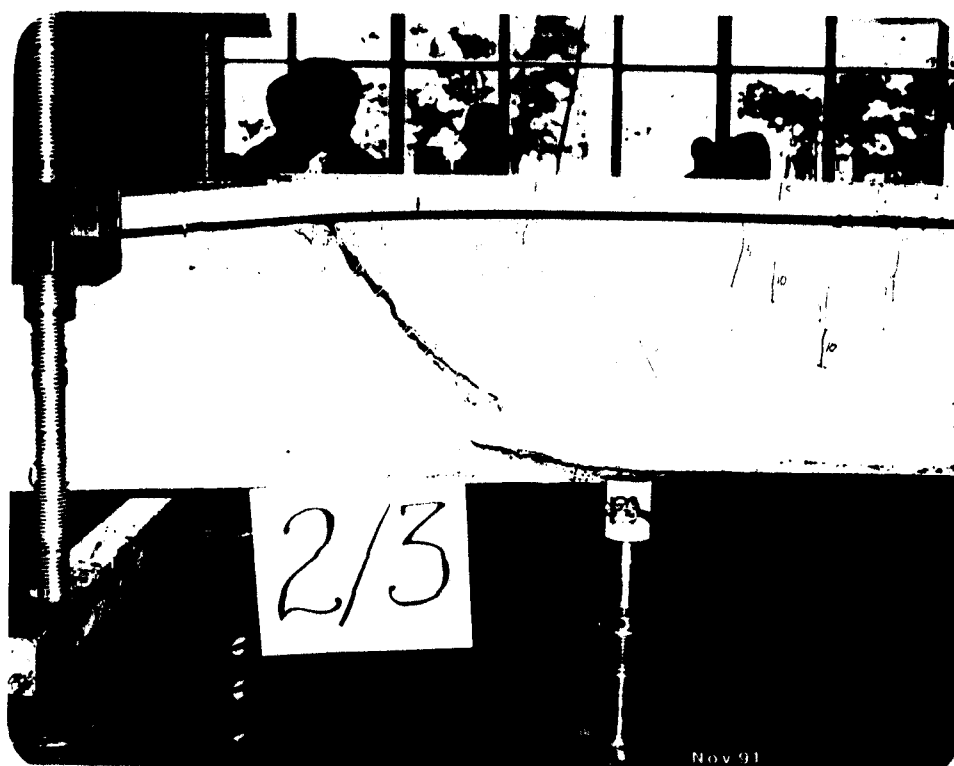


FIGURA 6.3 - TENSÃO NA ARMADURA TRANSVERSAL - SEÇÃO 2

- b) O efeito de arco é bem caracterizado quando se compara a Seção 1 com a Seção 2. Como as fissuras aparecem primeiro na Seção 2, os estribos ali colocados foram solicitados antes daqueles armados na Seção 1, assim como, os valores de σ_{tt} são menores na Seção 1 que na Seção 2;
- c) O efeito da variação da espessura da alma b_w ficou caracterizado, de acordo com FUSCO [1982]⁴², quando se pode observar que a alma mais espessa do modelo 2/3 provocou tensões normais menores no estribo, mesmo sendo menor a taxa de armadura (ρ_w);
- d) Somente o modelo 2/3 rompeu por tração na diagonal, como se constata na tabela 6.1 e como ilustrado na fotografia 6.1;
- e) No modelo 3/3, a tensão na armadura transversal, alcançou 660 MPa ou seja, o mais alto valor entre os modelos ensaiados, resultando numa relação de 76% entre a resistência da armadura transversal e a dos corpos-de-prova;
- f) As mais baixas tensões σ_{tt} nos estribos foram atingidas pelo modelo 1/3, como era de se esperar pois a previsão era de o mesmo romper-se por flexão e foi o que realmente aconteceu;
- g) Os efeitos da variação da altura h e da taxa de armadura transversal ρ_w não puderam ser analisados porque haveria necessidade de alterar apenas um desses parâmetros (h ou ρ_w) de cada vez, mantendo fixos os restantes tais como: b_w , a , h e ρ_w o que necessitaria de uma grande quantidade de modelos. Por exemplo no caso do modelo 3/3 de maior altura h a taxa ρ_w foi propositalmente menor, a fim de que, a viga pudesse romper por cisalhamento;
- h) O efeito da distância a do ponto de aplicação da força concentrada (efeito de arco - transmissão direta da força concentrada ao apoio pela biela comprimida quando $a < z \cdot \cotg \theta$) não ficou bem evidenciado na Seção 1 do modelo 1B/3, onde se observaram maiores valores de σ_{tt} para

carregamentos menores e vice-versa para carregamentos maiores próximos à ruptura.



FOTOGRAFIA 6.1 - RUPTURA POR TRAÇÃO NA DIAGONAL

Fica como sugestão a novos pesquisadores, manter a mesma taxa de armadura transversal ρ_w e fazer variar os outros parâmetros tais como: b_w , h e a de modo a se ter uma referência fixa como base.

Foram feitas também comparações da tensão normal na armadura transversal σ_{tt} com a tensão de cisalhamento na linha neutra $\tau_0 = V/(b_w z)$. A tabela 6.10 apresenta para o modelo 1/3 nas Seções 1 e 2 para cada etapa de carregamento, os valores de τ_0 e das tensões σ_{tt} , calculadas segundo a teoria clássica da treliça de Morsch pela equação 2.36 do item 2.1.2.3, bem como, calculadas com valores teórico-experimentais através da treliça generalizada pela equação 2.47 do item 2.1.2.4. Estes valores foram confrontados com os valores experimentais de σ_{tt} em cada seção e em cada etapa. A partir desses dados, foi

apresentado um gráfico $\sigma_{tt} - \tau_0$ ilustrado na figura 6.4 onde aparece em linha pontilhada a variação de σ_{tt} segundo Mörsch e em linha cheia as variações de σ_{tt} experimentais para as Seções 1 e 2. Como observado em FUSCO [1982]⁴², AMARAL [1974]⁴⁴ e LEONHARDT [1977]³⁹ e de acordo com o que foi visto no item 2.1.2.4, nota-se a grande semelhança da figura 2.11 com o gráfico apresentado na figura 6.4, o que comprova experimentalmente para peças de argamassa armada, a teoria apresentada para a treliça generalizada aplicada a elementos fletidos de concreto armado. Ainda sobre a tabela 6.10, pode-se observar que os valores teórico-experimentais obtidos do programa ECCALC pela treliça generalizada, apresentam resultados mais próximos dos experimentais que aqueles calculados com a teoria da treliça de Mörsch.

A tabela 6.11 é semelhante à tabela 6.10 porém em vez de valores teórico-experimentais, apresenta valores teóricos calculados pela treliça generalizada para o modelo 1/3 na Seção 2. Também foi montado um gráfico semelhante ao anterior ilustrado na figura 6.5. Observando-se a tabela e o gráfico, verifica-se que os valores calculados pela treliça generalizada, estão bem mais próximos que os calculados pela treliça de Mörsch (o valor experimental de σ_{tt} chega a 52% do valor calculado para a treliça generalizada em média). As tabelas 6.12, 6.13 e 6.14 são semelhantes à tabela 6.11 e foram montadas para os modelos 1B/3, 2/3 e 3/3 respectivamente. Ressalta-se que o modelo 1B/3 foi observado somente na Seção 1 em vez da Seção 2 como nos outros modelos. Uma análise rápida destas tabelas mostra que para o modelo 2/3 (alma mais espessa), a relação experimental / teórico ficou 47% em média para a treliça generalizada, abaixo das das vigas de alma mais delgada, onde para o modelo 3/3, esta relação chegou a 60%. Os baixos valores experimentais encontrados em relação aos teóricos indicam forte influência da inclinação do banzo comprimido na absorção de V , principalmente nas peças de alma mais espessa e de menor relação a/h .

TABELA 6.10

TENSÃO NA ARMADURA TRANSVERSAL - MODELO 1/3
 RESULTADOS TEÓRICO-EXPERIMENTAIS

| FORÇA (kN) | TENSÃO τ_0 (MPa) | TENSÃO NA ARMADURA TRANSVERSAL (MPa) | | | | | | | |
|---------------|-----------------------------|--------------------------------------|---------------------|--------|-------|---------------------|--------|-------|------|
| | | MÖRSCH (MPa) | SEÇÃO 1 (a = 25 cm) | | | SEÇÃO 2 (a = 50 cm) | | | |
| | | | TEO-EXP | EXP | E/T | TEO-EXP | EXP | E/T | |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 2,50 | 0,46 | 49,67 | | -0,42 | | | -0,63 | | |
| 5,00 | 0,93 | 99,33 | | -1,04 | | | -1,46 | | |
| 7,50 | 1,39 | 149,00 | | -1,88 | | | -1,88 | | |
| 10,00 | 1,85 | 198,67 | | -2,29 | | 120,26 | -0,42 | -0,00 | |
| 12,50 | 2,32 | 248,34 | | -1,67 | | 161,57 | 47,29 | 0,29 | |
| 15,00 | 2,78 | 298,00 | | -1,46 | | 212,79 | 114,17 | 0,54 | |
| 20,00 | 3,70 | 397,34 | 316,83 | -2,08 | -0,01 | 316,04 | 176,67 | 0,56 | |
| 25,00 | 4,63 | 496,67 | | 174,38 | | | 215,63 | | |
| 30,00 | 5,56 | 596,01 | 516,81 | 214,58 | 0,42 | 551,34 | 275,41 | 0,50 | |
| 40,00 | 7,41 | 794,67 | 695,29 | 320,00 | 0,46 | 730,18 | 362,08 | 0,50 | |
| Média | | | | | | 0,44 | | | 0,48 |

TENSÃO NA ARMADURA TRANSVERSAL
 MODELO 1/3

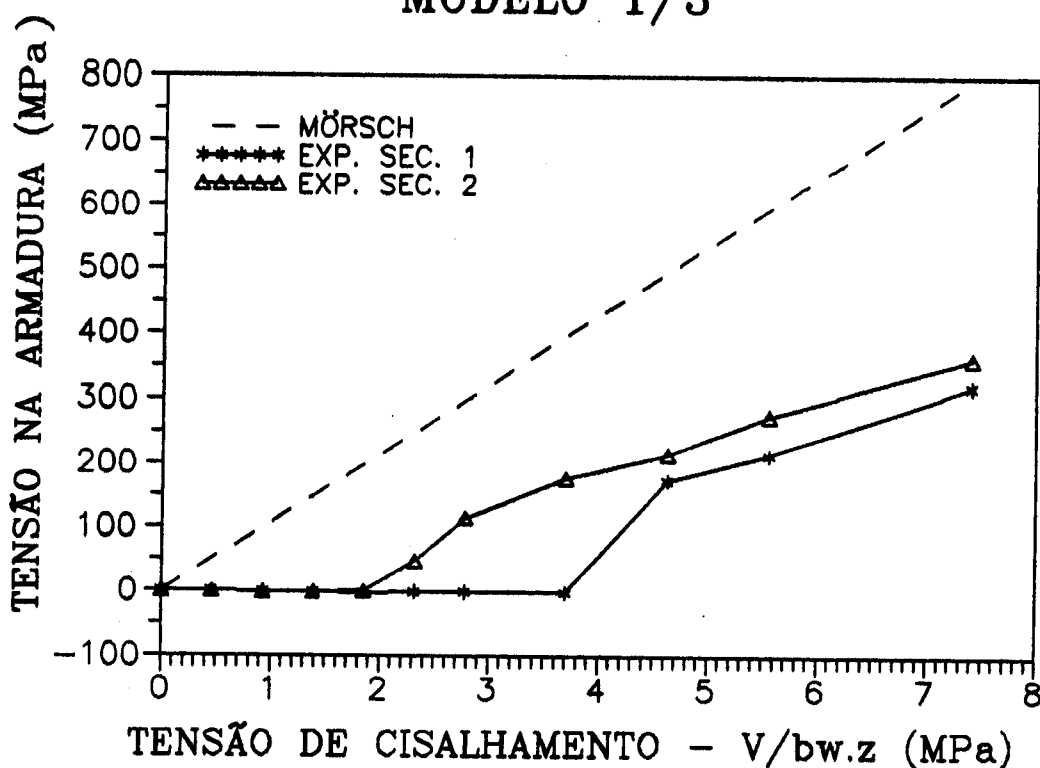


FIGURA 6.4 - TENSÃO NA ARMADURA TRANSVERSAL - MODELO 1/3

TABELA 6.11
 TENSÃO NA ARMADURA TRANSVERSAL - MODELO 1/3
 COMPARAÇÃO EXPERIMENTAL - TEÓRICO
 SEÇÃO 2 (2h do apoio)

| FORÇA CORTANTE (kN) | TENSÃO CISALHA- MENTO τ_0 (MPa) | TENSÃO NA ARMADURA TRANSVERSAL (MPa) | | | | |
|---------------------------|--|--------------------------------------|------------------------------|-------------------|-------------------------|--------------------------|
| | | MÖRSCH | TRELIÇA GENERA- LIZADA | EXPERI- MENTAL | EXPERIM. / MÖRSCH | EXPERIM. / TRELIÇA |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 2,50 | 0,46 | 49,67 | 0,00 | -0,63 | -0,01 | |
| 5,00 | 0,93 | 99,33 | 1,08 | -1,46 | -0,01 | -1,35 |
| 7,50 | 1,39 | 149,00 | 50,75 | -1,88 | -0,01 | -0,04 |
| 10,00 | 1,85 | 198,67 | 100,41 | -0,42 | -0,00 | -0,00 |
| 12,50 | 2,32 | 248,34 | 150,08 | 47,29 | 0,19 | 0,32 |
| 15,00 | 2,78 | 298,00 | 199,75 | 114,17 | 0,38 | 0,57 |
| 20,00 | 3,70 | 397,34 | 299,08 | 176,67 | 0,44 | 0,59 |
| 25,00 | 4,63 | 496,67 | 398,42 | 215,63 | 0,43 | 0,54 |
| 30,00 | 5,56 | 596,01 | 497,75 | 275,41 | 0,46 | 0,55 |
| 40,00 | 7,41 | 794,67 | 696,42 | 362,08 | 0,46 | 0,52 |
| Média | | | | | 0,40 | 0,52 |

TENSÃO NA ARMADURA TRANSVERSAL
 MODELO 1/3 - SEÇÃO 2

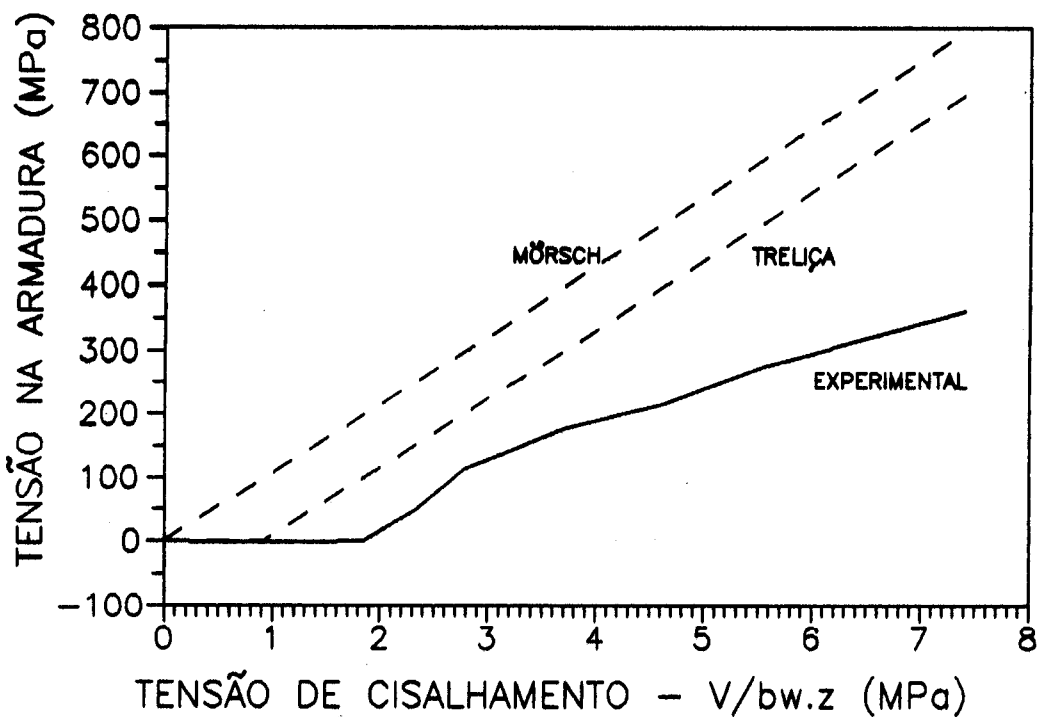


FIGURA 6.5 - TENSÃO σ_{tt} - MODELO 1/3 - SEÇÃO 2

TABELA 6.12
TENSÃO NA ARMADURA TRANSVERSAL - MODELO 1B/3
COMPARAÇÃO EXPERIMENTAL - TEÓRICO
SEÇÃO 1 (h do apoio)

| FORÇA CORTANTE (kN) | TENSÃO CISALHA- MENTO τ_0 (MPa) | TENSÃO NA ARMADURA TRANSVERSAL (MPa) | | | | |
|---------------------------|--|--------------------------------------|------------------------------|-------------------|--------------|--------------|
| | | MÖRSCH | TRELIÇA GENERA- LIZADA | EXPERI- MENTAL | EXPERIM / | EXPERIM / |
| | | | | | MÖRSCH | TRELIÇA |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 2,50 | 0,46 | 50,00 | 0,00 | 0,21 | 0,00 | |
| 5,00 | 0,93 | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 7,50 | 1,39 | 150,00 | 49,13 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 10,00 | 1,85 | 200,00 | 99,13 | -0,21 | -0,00 | -0,00 |
| 12,50 | 2,31 | 250,00 | 149,13 | -0,42 | -0,00 | -0,00 |
| 15,00 | 2,78 | 300,01 | 199,13 | -1,25 | -0,00 | -0,01 |
| 20,00 | 3,70 | 400,01 | 299,13 | -2,50 | -0,01 | -0,01 |
| 25,00 | 4,63 | 500,01 | 399,14 | 201,04 | 0,40 | 0,50 |
| 30,00 | 5,55 | 600,01 | 499,14 | 227,92 | 0,38 | 0,46 |
| 40,00 | 7,40 | 800,02 | 699,14 | 322,08 | 0,40 | 0,46 |
| 50,00 | 9,25 | 1000,02 | 899,15 | 348,13 | 0,35 | 0,39 |
| 60,00 | 11,10 | 1200,02 | 1099,15 | 418,00 | 0,35 | 0,38 |
| Média | | | | | 0,38 | 0,44 |

TABELA 6.13
TENSÃO NA ARMADURA TRANSVERSAL - MODELO 2/3
COMPARAÇÃO EXPERIMENTAL - TEÓRICO
SEÇÃO 2 (2h do apoio)

| FORÇA CORTANTE (kN) | TENSÃO CISALHA- MENTO τ_0 (MPa) | TENSÃO NA ARMADURA TRANSVERSAL (MPa) | | | | |
|---------------------------|--|--------------------------------------|------------------------------|-------------------|--------------|--------------|
| | | MÖRSCH | TRELIÇA GENERA- LIZADA | EXPERI- MENTAL | EXPERIM / | EXPERIM / |
| | | | | | MÖRSCH | TRELIÇA |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 2,50 | 0,30 | 49,65 | 0,00 | 0,42 | 0,01 | |
| 5,00 | 0,60 | 99,30 | 0,00 | 0,21 | 0,00 | |
| 7,50 | 0,90 | 148,95 | 2,12 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 10,00 | 1,19 | 198,60 | 51,77 | -0,42 | -0,00 | -0,01 |
| 12,50 | 1,49 | 248,25 | 101,42 | -1,88 | -0,01 | -0,02 |
| 15,00 | 1,79 | 297,90 | 151,08 | 7,50 | 0,03 | 0,05 |
| 20,00 | 2,39 | 397,21 | 250,38 | 110,83 | 0,28 | 0,44 |
| 25,00 | 2,98 | 496,51 | 349,68 | 204,79 | 0,41 | 0,59 |
| 30,00 | 3,58 | 595,81 | 448,98 | 249,17 | 0,42 | 0,55 |
| 40,00 | 4,77 | 794,41 | 647,58 | 345,83 | 0,44 | 0,53 |
| 50,00 | 5,97 | 993,02 | 846,19 | 480,00 | 0,48 | 0,57 |
| 55,00 | 6,56 | 1092,32 | 945,49 | 540,00 | 0,49 | 0,57 |
| Média | | | | | 0,36 | 0,47 |

TABELA 6.14
 TENSÃO NA ARMADURA TRANSVERSAL - MODELO 3/3
 COMPARAÇÃO EXPERIMENTAL - TEÓRICO
 SEÇÃO 2 (2h do apoio)

| FORÇA CORTANTE (kN) | TENSÃO CISALHA- MENTO τ_0 (MPa) | TENSÃO NA ARMADURA TRANSVERSAL (MPa) | | | | |
|---------------------------|--|--------------------------------------|------------------------------|-------------------|------------------------|-------------------------|
| | | MÖRSCH | TRELIÇA GENERA- LIZADA | EXPERI- MENTAL | EXPERIM / MÖRSCH | EXPERIM / TRELIÇA |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 2,50 | 0,33 | 41,59 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 5,00 | 0,66 | 83,18 | 0,00 | 1,67 | 0,00 | |
| 7,50 | 0,99 | 124,77 | 9,85 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 10,00 | 1,32 | 166,36 | 51,44 | 1,88 | 0,01 | 0,04 |
| 12,50 | 1,65 | 207,95 | 93,03 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 15,00 | 1,98 | 249,53 | 134,62 | 16,04 | 0,06 | 0,12 |
| 20,00 | 2,63 | 332,71 | 217,80 | 125,00 | 0,38 | 0,57 |
| 25,00 | 3,29 | 415,89 | 300,98 | 191,04 | 0,46 | 0,63 |
| 30,00 | 3,95 | 499,07 | 384,16 | 257,71 | 0,52 | 0,67 |
| 40,00 | 5,27 | 665,43 | 550,51 | 380,00 | 0,57 | 0,69 |
| 50,00 | 6,59 | 831,78 | 716,87 | 520,00 | 0,63 | 0,73 |
| 60,00 | 7,90 | 998,14 | 883,23 | 610,00 | 0,61 | 0,69 |
| 65,00 | 8,56 | 1081,32 | 966,40 | 660,00 | 0,61 | 0,68 |
| Média | | | | | 0,48 | 0,60 |

6.2.5 TENSÕES NA BIELA COMPRIMIDA

As tabelas 6.15 e 6.16 apresentam as tensões normais de compressão que solicitam as bielas comprimidas $\sigma_{c\theta}$ nas Seções 1 e 2 respectivamente para os modelos da Série 1 e modelos com estribos para cada etapa de carregamento. As figuras 6.6 e 6.7 ilustram os diagramas $\sigma_{c\theta} - V$ de acordo com as referidas tabelas.

As tensões normais de compressão nas bielas diagonais foram obtidas através dos resultados experimentais fornecidos pelo sistema de aquisição de dados SYSTEM 4000 do LE-EESC/USP. Estes resultados, representados pela tensão principal σ_2 ao nível do centro de gravidade da alma e ilustrados nas tabelas de deformações das rosetas, constantes no Anexo 1, foram tratados, seguindo a linha de raciocínio descrita nos parágrafos seguintes.

As tensões principais σ_2 representadas nas tabelas, têm direções β normais às direções das tensões principais σ_1 . Estas, por sua vez, têm inclinação com a horizontal representadas pelos ângulos α , também indicados nas mesmas tabelas e ilustradas nas figuras 5.1 e 6.8.

As inclinações θ das fissuras foram obtidas através de observações visuais medidas com transferidor, sendo citadas nas tabelas do item 5.1.6 e apresentadas no Anexo 1 para cada modelo.

A diferença φ entre os ângulos θ e β pode ser visualizada na figura 6.8, ou seja, a tensão principal σ_2 não tem a mesma inclinação da fissura, e sim forma um ângulo φ com a mesma. Partindo-se da premissa de que a tensão normal na biela comprimida tem a mesma direção da fissura, pode-se escrever a seguinte equação, baseada na rotação de eixos cartesianos e encontrada nos compêndios da teoria da resistência dos materiais:

TABELA 6.15
TENSÃO NA BIELA COMPRIMIDA - SEÇÃO 1

| FORÇA CORTANTE (kN) | MODELO (MPa) | | | | | |
|---------------------|--------------|-------|-------|-------|-------|------|
| | 1/1 | 1/2 | 1/3 | 1B/3 | 2/3 | 3/3 |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 2,50 | 0,76 | 0,28 | 0,50 | 0,57 | 0,28 | |
| 5,00 | 1,33 | 0,19 | 1,00 | 1,03 | 0,56 | 0,17 |
| 7,50 | 1,91 | 0,56 | 1,50 | 1,49 | 0,94 | |
| 10,00 | 2,23 | 1,13 | 2,00 | 2,06 | 1,22 | 0,61 |
| 12,50 | 3,42 | 2,26 | 2,70 | 2,63 | 1,60 | |
| 15,00 | 5,38 | 3,20 | 3,00 | 3,32 | 1,97 | 1,05 |
| 20,00 | 9,52 | 4,94 | 5,34 | 5,49 | 2,78 | 1,96 |
| 30,00 | 20,39 | 13,82 | 11,39 | 17,53 | 8,05 | 5,91 |
| 38,00 | | 19,10 | | | | |
| 40,00 | 35,43 | | 17,43 | 27,76 | 11,57 | |
| 50,00 | | | | 40,47 | 15,47 | 4,65 |
| 55,00 | | | | | 17,87 | |
| 60,00 | | | | 46,33 | | 5,64 |
| 65,00 | | | | | | 6,36 |

TENSÃO NA BIELA COMPRIMIDA
SEÇÃO 1

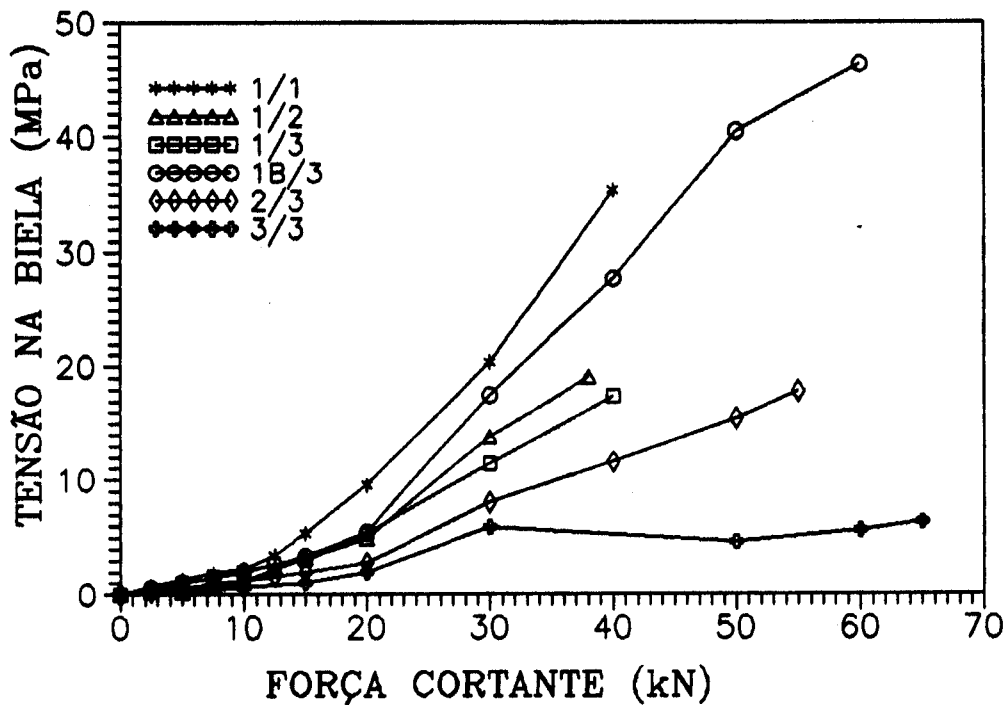


FIGURA 6.6 - TENSÃO NA BIELA COMPRIMIDA - SEÇÃO 1

TABELA 6.16
TENSÃO NA BIELA COMPRIMIDA - SEÇÃO 2

| FORÇA CORTANTE (kN) | MODELO (MPa) | | | | |
|---------------------------|--------------|-------|-------|------|-------|
| | 1/1 | 1/2 | 1/3 | 2/3 | 3/3 |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 2,50 | 0,57 | 0,09 | 0,40 | 0,19 | |
| 5,00 | 1,14 | 0,00 | 0,90 | 0,47 | 0,17 |
| 7,50 | 1,62 | 0,56 | 1,30 | 0,85 | |
| 10,00 | 2,48 | 1,03 | 1,28 | 1,13 | 0,87 |
| 12,50 | | 1,88 | 2,15 | 1,32 | |
| 15,00 | 4,74 | 3,15 | 3,22 | 1,60 | |
| 20,00 | 5,48 | 5,58 | 7,07 | 1,39 | 2,03 |
| 30,00 | 14,55 | 12,78 | 12,37 | 3,94 | 2,51 |
| 38,00 | | 18,10 | | | |
| 40,00 | 29,97 | | 18,39 | 5,64 | 6,75 |
| 50,00 | | | | 5,23 | 15,96 |
| 55,00 | | | | 5,13 | |
| 60,00 | | | | | 25,55 |
| 65,00 | | | | | 28,82 |

TENSÃO NA BIELA COMPRIMIDA
SEÇÃO 2

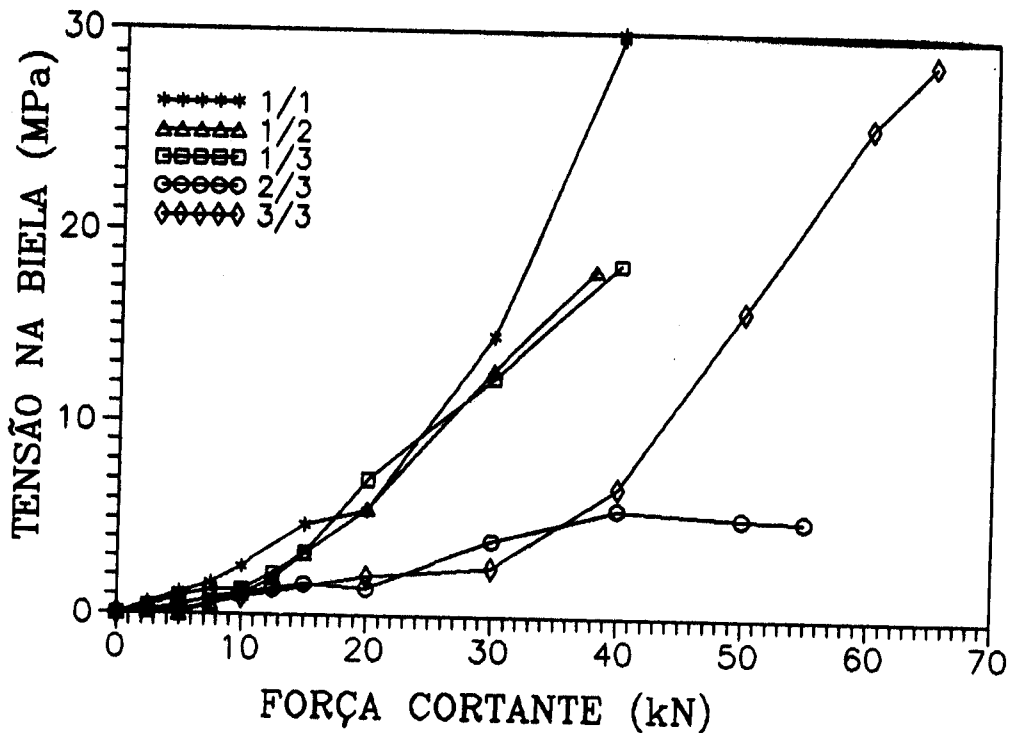


FIGURA 6.7 - TENSÃO NA BIELA COMPRIMIDA - SEÇÃO 2

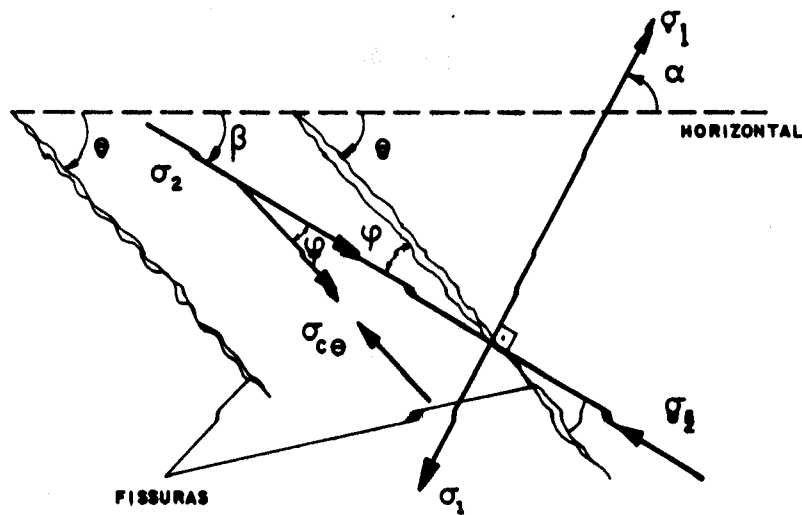


FIGURA 6.8 - DETERMINAÇÃO DO ÂNGULO φ ENTRE A FISSURA E TENSÃO PRINCIPAL σ_2

$$\sigma_{c\theta} = \left[\frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} - \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \cdot \cos(2\varphi) \right] \cdot \frac{E_c}{30000} \quad (6.2)$$

onde:

$$\varphi = \theta - \beta = \theta - (\alpha + 90^\circ) = \theta - \alpha - 90^\circ \quad (6.3)$$

O fator $E_c/30000$ serve apenas para fazer a correção da tensão, como foi feito na equação 6.1 do item 6.2.3.

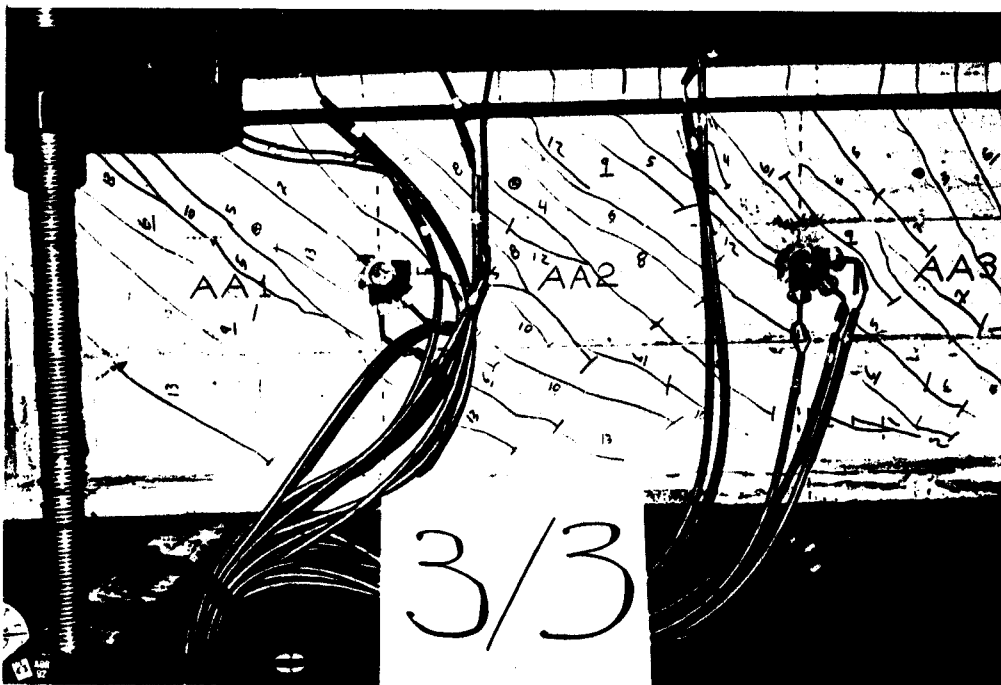
Os valores de θ para cada etapa foram ajustados através de regressão linear.

Uma análise das tabelas 6.15 e 6.16, bem como, das figuras 6.6 e 6.7, sugere as seguintes observações:

- a) O efeito de arco ficou bem caracterizado na Seção 1 da maioria dos modelos, os quais apresentaram grandes tensões $\sigma_{c\theta}$, superiores às da Seção 2;
- b) O modelo 2/3 na Seção 2 e o modelo 3/3 na Seção 1 apresentaram baixos valores de $\sigma_{c\theta}$, provavelmente devido a problemas de fissuras que passaram pelas rosetas,



FOTOGRAFIA 6.2 - ROSETAS DO MODELO 2/3



FOTOGRAFIA 6.3 - ROSETAS DO MODELO 3/3

- prejudicando a leitura do sistema de aquisição de dados. Isto pode ser visualizado através das fotografias 6.2 e 6.3;
- c) O modelo 2/3 de maior espessura b_w foi o que apresentou menor tensão $\sigma_{c\theta}$ na Seção 1 devido à maior seção transversal da biela inclinada;
- d) Os modelo menos rígidos (Série 1) tiveram evoluções de $\sigma_{c\theta}$ com valores mais altos que os mais rígidos (Séries 2 e 3) nas duas seções;
- e) Em todos os modelos, percebe-se que a tensão $\sigma_{c\theta}$ apresenta um leve crescimento para as etapas menos carregadas e que aumenta à medida que a força cortante cresce;
- f) Embora alguns autores sugiram redução na resistência das bielas transversais por causa das armaduras que as atravessam, tais como citados em SILVA [1991]⁴⁷ e CEB-90⁵, não foi notada influência significativa deste aspecto a não ser para os modelos 1/2 e 1B/2 (com três telas na alma) indicados na tabela 6.1, que romperam por compressão da biela transversal. A fotografia 6.4 ilustra a ruptura do modelo 1B/2 ensaiado.

As tabelas de 6.17 a 6.22 apresentam para os modelos 1/1, 1/2, 1/3, 1B/3, 2/3 e 3/3, comparações entre resultados experimentais e resultados teóricos da tensão $\sigma_{c\theta}$, calculados pela treliça de Mörsch e pela treliça de banzos paralelos, através das equações 2.41 do item 2.1.2.3 e 2.26 do item 2.1.2.2 respectivamente. A figura 6.9 apresenta o diagrama $\sigma_{c\theta} - V$ com estes valores teóricos e experimentais para o modelo 1/3.



FOTOGRAFIA 6.4 - RUPTURA POR COMPRESSÃO DA BIELA DIAGONAL

TABELA 6.17
TENSÃO NA BIELA COMPRIMIDA - MODELO 1/1
COMPARAÇÃO EXPERIMENTAL-TEÓRICO
SEÇÃO 2 - 2h DO APOIO

| FORÇA (kN) | TENSÃO CISALHA- MENTO τ_0 (MPa) | TENSÃO NA BIELA COMPRIMIDA (MPa) | | | | |
|---------------|--|----------------------------------|------------------------------|-------------------|------------------------|-------------------------|
| | | MÖRSCH (MPa) | TRELIÇA GENERALI- ZADA | EXPERI- MENTAL | EXPERIM / MÖRSCH | EXPERIM / TRELIÇA |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | |
| 2,50 | 0,46 | 0,92 | 0,00 | 0,57 | 0,62 | |
| 5,00 | 0,92 | 1,85 | 0,00 | 1,14 | 0,62 | |
| 7,50 | 1,39 | 2,77 | 0,00 | 1,62 | 0,58 | |
| 10,00 | 1,85 | 3,70 | 4,86 | 2,48 | 0,67 | 0,51 |
| 15,00 | 2,77 | 5,55 | 6,10 | 4,74 | 0,85 | 0,78 |
| 20,00 | 3,70 | 7,40 | 7,76 | 5,48 | 0,74 | 0,71 |
| 30,00 | 5,55 | 11,09 | 11,31 | 14,55 | 1,31 | 1,29 |
| 40,00 | 7,40 | 14,79 | 14,94 | 29,97 | 2,03 | 2,00 |

TABELA 6.18
TENSÃO NA BIELA COMPRIMIDA - MODELO 1/2
COMPARAÇÃO EXPERIMENTAL-TEÓRICO
SEÇÃO 2 - 2h DO APOIO

| FORÇA (kN) | TENSÃO CISALHA- MENTO τ_0 (MPa) | TENSÃO NA BIELA COMPRIMIDA (MPa) | | | | |
|---------------|--|----------------------------------|------------------------------|-------------------|--------------|--------------|
| | | MÖRSCH (MPa) | TRELIÇA GENERALI- ZADA | EXPERI- MENTAL | EXPERIM / | EXPERIM / |
| | | | | | MÖRSCH | TRELIÇA |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | |
| 2,50 | 0,46 | 0,93 | 0,00 | 0,09 | 0,10 | |
| 5,00 | 0,93 | 1,86 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 7,50 | 1,39 | 2,78 | 0,00 | 0,56 | 0,20 | |
| 10,00 | 1,86 | 3,71 | 4,67 | 1,03 | 0,28 | 0,22 |
| 12,50 | 2,32 | 4,64 | 5,28 | 1,88 | 0,41 | 0,36 |
| 15,00 | 2,78 | 5,57 | 6,04 | 3,15 | 0,57 | 0,52 |
| 20,00 | 3,71 | 7,42 | 7,74 | 5,58 | 0,75 | 0,72 |
| 30,00 | 5,57 | 11,13 | 11,32 | 12,78 | 1,15 | 1,13 |
| 38,00 | 7,05 | 14,10 | 14,25 | 18,80 | 1,33 | 1,32 |

TABELA 6.19
TENSÃO NA BIELA COMPRIMIDA - MODELO 1/3
COMPARAÇÃO EXPERIMENTAL-TEÓRICO
SEÇÃO 2 - 2h DO APOIO

| FORÇA (kN) | TENSÃO CISALHA- MENTO τ_0 (MPa) | TENSÃO NA BIELA COMPRIMIDA (MPa) | | | | |
|---------------|--|----------------------------------|------------------------------|-------------------|--------------|--------------|
| | | MÖRSCH (MPa) | TRELIÇA GENERALI- ZADA | EXPERI- MENTAL | EXPERIM / | EXPERIM / |
| | | | | | MÖRSCH | TRELIÇA |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | |
| 2,50 | 0,46 | 0,93 | 0,00 | 0,40 | 0,43 | |
| 5,00 | 0,93 | 1,85 | 0,00 | 0,90 | 0,49 | |
| 7,50 | 1,39 | 2,78 | 4,55 | 1,30 | 0,47 | 0,29 |
| 10,00 | 1,85 | 3,70 | 4,60 | 1,28 | 0,34 | 0,28 |
| 12,50 | 2,32 | 4,63 | 5,23 | 2,15 | 0,46 | 0,41 |
| 15,00 | 2,78 | 5,56 | 6,01 | 3,22 | 0,58 | 0,54 |
| 20,00 | 3,70 | 7,41 | 7,71 | 7,07 | 0,95 | 0,92 |
| 30,00 | 5,56 | 11,11 | 11,29 | 12,37 | 1,11 | 1,10 |
| 40,00 | 7,41 | 14,82 | 14,95 | 18,39 | 1,24 | 1,23 |

TABELA 6.20

TENSÃO NA BIELA COMPRIMIDA - MODELO 1B/3
 COMPARAÇÃO EXPERIMENTAL-TEÓRICO
 SEÇÃO 1 - h DO APOIO

| FORÇA (kN) | TENSÃO CISALHA- MENTO τ_0 (MPa) | TENSÃO NA BIELA COMPRIMIDA (MPa) | | | | |
|---------------|--|----------------------------------|------------------------------|-------------------|------------------------|-------------------------|
| | | MÖRSCH (MPa) | TRELIÇA GENERALI- ZADA | EXPERI- MENTAL | EXPERIM / MÖRSCH | EXPERIM / TRELIÇA |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | |
| 2,50 | 0,46 | 0,93 | 0,00 | 0,57 | 0,62 | |
| 5,00 | 0,93 | 1,85 | 0,00 | 1,03 | 0,56 | |
| 7,50 | 1,39 | 2,78 | 0,00 | 1,49 | 0,54 | |
| 10,00 | 1,85 | 3,70 | 4,65 | 2,06 | 0,56 | 0,44 |
| 12,50 | 2,31 | 4,63 | 5,26 | 2,63 | 0,57 | 0,50 |
| 15,00 | 2,78 | 5,55 | 6,02 | 3,32 | 0,60 | 0,55 |
| 20,00 | 3,70 | 7,40 | 7,72 | 5,49 | 0,74 | 0,71 |
| 30,00 | 5,55 | 11,10 | 11,29 | 17,53 | 1,58 | 1,55 |
| 40,00 | 7,40 | 14,80 | 14,94 | 27,76 | 1,18 | 1,17 |
| 50,00 | 9,25 | 18,50 | 18,61 | 40,47 | 1,50 | 1,49 |
| 60,00 | 11,10 | 22,20 | 22,29 | 46,33 | 1,82 | 1,82 |

TABELA 6.21

TENSÃO NA BIELA COMPRIMIDA - MODELO 2/3
 COMPARAÇÃO EXPERIMENTAL-TEÓRICO
 SEÇÃO 2 - 2h DO APOIO

| FORÇA (kN) | TENSÃO CISALHA- MENTO τ_0 (MPa) | TENSÃO NA BIELA COMPRIMIDA (MPa) | | | | |
|---------------|--|----------------------------------|------------------------------|-------------------|------------------------|-------------------------|
| | | MÖRSCH (MPa) | TRELIÇA GENERALI- ZADA | EXPERI- MENTAL | EXPERIM / MÖRSCH | EXPERIM / TRELIÇA |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | |
| 2,50 | 0,30 | 0,60 | 0,00 | 0,19 | 0,32 | |
| 5,00 | 0,60 | 1,19 | 0,00 | 0,47 | 0,39 | |
| 7,50 | 0,90 | 1,79 | 0,00 | 0,85 | 0,47 | |
| 10,00 | 1,19 | 2,39 | 4,89 | 1,13 | 0,47 | 0,23 |
| 12,50 | 1,49 | 2,98 | 4,26 | 1,32 | 0,44 | 0,31 |
| 15,00 | 1,79 | 3,58 | 4,44 | 1,60 | 0,45 | 0,36 |
| 20,00 | 2,39 | 4,77 | 5,29 | 1,39 | 0,29 | 0,26 |
| 30,00 | 3,58 | 7,16 | 7,45 | 3,94 | 0,55 | 0,53 |
| 40,00 | 4,77 | 9,55 | 9,75 | 5,64 | 0,59 | 0,58 |
| 50,00 | 5,97 | 11,93 | 12,09 | 5,23 | 0,44 | 0,43 |
| 55,00 | 6,56 | 13,13 | 13,26 | 5,13 | 0,39 | 0,39 |

TABELA 6.22
TENSÃO NA BIELA COMPRIMIDA - MODELO 3/3
COMPARAÇÃO EXPERIMENTAL-TEÓRICO
SEÇÃO 2 - 2h DO APOIO

| FORÇA (kN) | TENSÃO CISALHA- MENTO τ_0 (MPa) | TENSÃO NA BIELA COMPRIMIDA (MPa) | | | | |
|---------------|--|----------------------------------|------------------------------|-------------------|------------------------|--------------|
| | | MÖRSCH (MPa) | TRELIÇA GENERALI- ZADA | EXPERI- MENTAL | EXPERIM / MÖRSCH | EXPERIM / |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | |
| 5,00 | 0,66 | 1,32 | 0,00 | 0,17 | 0,13 | |
| 10,00 | 1,32 | 2,63 | 4,67 | 0,87 | 0,33 | 0,19 |
| 20,00 | 2,63 | 5,27 | 5,75 | 2,03 | 0,39 | 0,35 |
| 30,00 | 3,95 | 7,90 | 8,18 | 2,51 | 0,32 | 0,31 |
| 40,00 | 5,27 | 10,54 | 10,73 | 6,75 | 0,64 | 0,63 |
| 50,00 | 6,59 | 13,17 | 13,32 | 15,96 | 1,21 | 1,20 |
| 60,00 | 7,90 | 15,81 | 15,93 | 25,55 | 1,62 | 1,60 |
| 65,00 | 8,56 | 17,12 | 17,23 | 28,82 | 1,68 | 1,67 |

COMPRESSÃO NA BIELA
MODELO 1/3 - SEÇÃO 2

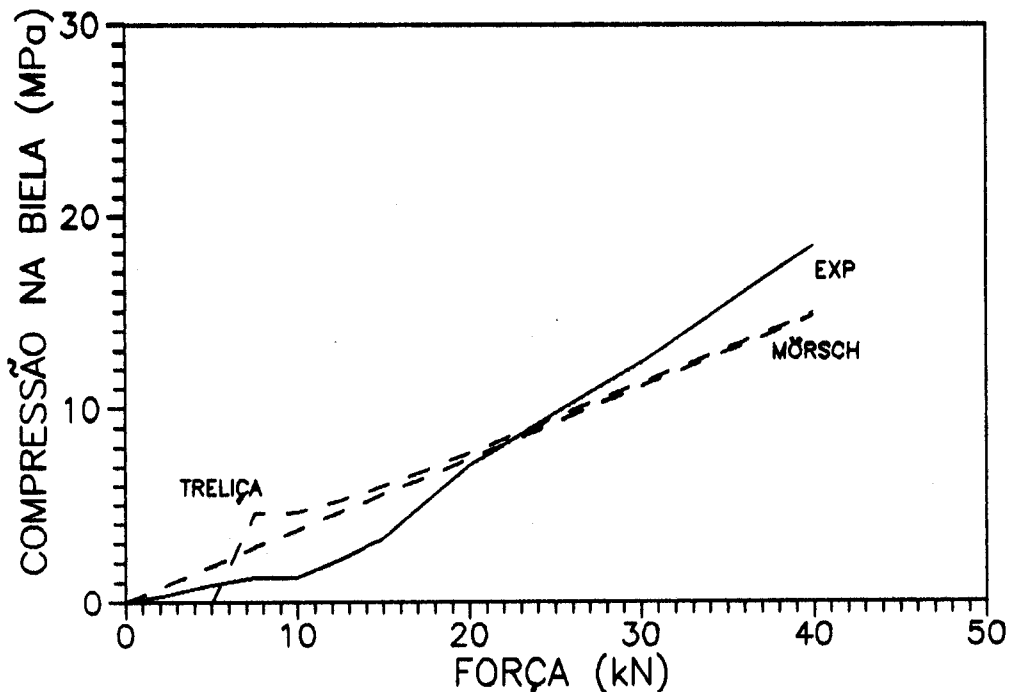


FIGURA 6.9 - COMPRESSÃO NA BIELA - MODELO 1/3 - SEÇÃO 2

Uma análise dos valores destas tabelas sugere as seguintes observações:

a) Em quase todos os modelos, os valores experimentais de $\sigma_{c\theta}$ ficaram em média abaixo dos valores teóricos. Examinando a evolução destes valores percebe-se que nas etapas iniciais do carregamento, realmente $\sigma_{c\theta}$ experimental fica abaixo dos valores teóricos, porém a proporção que o carregamento cresce estes valores experimentais evoluem chegando a valer na ruptura, o dobro dos valores teóricos, como é o caso do modelo 1/1, apresentado na tabela 6.17. De acordo com FUSCO [1982]⁴², pode-se considerar uma possível desagregação parcial da seção diagonal resistente, como consequência da fissuração;

b) Apenas o modelo 2/3 (alma espessa) apresentou todos os valores de $\sigma_{c\theta}$ experimentais sempre abaixo dos valores teóricos (39% em média para a treliça generalizada), o que indica uma forte influência de b_w no comportamento da tensão $\sigma_{c\theta}$ na biela comprimida;

c) As observações a) e b) confirmam FUSCO [1982]⁴² onde afirma que investigações experimentais referentes às tensões nas bielas diagonais, para o concreto, mostram que neste sentido não são respeitadas as hipóteses da analogia clássica. FUSCO [1982]⁴² afirma também que no início do carregamento, funcionam primeiramente esquemas resistentes alternativos, cuja colaboração diminui progressivamente, à medida que se dá a fissuração da peça;

d) FUSCO [1982]⁴² verificou que somente vigas de alma muito fina, mobilizam o esquema resistente de treliça desde o início do carregamento e que as vigas de alma mais espessa somente apresentam tensões diagonais coerentes com o esquema de treliça nos estágios mais avançados de carregamento. Nos casos das vigas de argamassa armadas ora ensaiadas, isto não chega a ser visualizado, valendo somente as observações a), b) e c) já comentadas.

A figura 6.9 ilustra as observações anteriores para o modelo 1/3.

TABELA 6.23

TENSÃO NA BIELA COMPRIMIDA - MODELO 1/3
RESULTADOS TEÓRICO-EXPERIMENTAIS

| FORÇA (kN) | TENSÃO CISALHA- MENTO tau 0 (MPa) | TENSÃO NA BIELA COMPRIMIDA (MPa) | | | | | | | |
|---------------|---|----------------------------------|---------------------|-------|------|---------------------|-------|------|------|
| | | MÖRSCH (MPa) | SEÇÃO 1 (a = 25 cm) | | | SEÇÃO 2 (a = 50 cm) | | | |
| | | | TEO-EXP | EXP | E/T | TEO-EXP | EXP | E/T | |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 2,50 | 0,46 | 0,93 | | 0,50 | | | 0,40 | | |
| 5,00 | 0,93 | 1,85 | | 1,00 | | | 0,90 | | |
| 7,50 | 1,39 | 2,78 | | 1,50 | | | 1,30 | | |
| 10,00 | 1,85 | 3,70 | | 2,00 | | 4,08 | 1,28 | | 0,31 |
| 12,50 | 2,32 | 4,63 | | 2,70 | | 8,08 | 2,15 | | 0,27 |
| 15,00 | 2,78 | 5,56 | | 3,00 | | 8,97 | 3,22 | | 0,36 |
| 20,00 | 3,70 | 7,41 | 7,74 | 5,34 | 0,69 | 10,71 | 7,07 | | 0,66 |
| 30,00 | 5,56 | 11,11 | 18,44 | 11,39 | 0,62 | 16,85 | 12,37 | | 0,73 |
| 40,00 | 7,41 | 14,82 | 21,33 | 17,43 | 0,82 | 21,05 | 18,39 | | 0,87 |
| | | Média = | | | 0,71 | Média = | | | 0,53 |

A tabela 6.23 apresenta para o modelo 1/3 comparações entre $\sigma_{c\theta}$ experimentais nas Seções 1 e 2 com valores teóricos calculados pela teoria de Mörsch e teórico-experimentais calculados pela treliça de banzos paralelos através do programa ECCALC. A figura 6.10 apresenta as variações de $\sigma_{c\theta}$ com V nas Seções 1 e 2 em confronto com a variação de Mörsch de acordo com a tabela 6.23. Também conforme esta mesma tabela, a figura 6.11 apresenta o confronto das tensões $\sigma_{c\theta}$ experimentais na Seção 2 do modelo 1/3 com valores teórico-experimentais e com a teoria de Mörsch.

Através destes valores, faz-se algumas observações:

a) A figura 6.10 mostra que as tensões $\sigma_{c\theta}$ nas Seções 1 e 2 do modelo 1/3, são praticamente as mesmas, não indicando neste caso, a influência do efeito de arco;

b) Os valores teórico-experimentais ficaram sempre acima dos

experimentais. Isto indica que a redução do braço de alavanca z devido a fissuração da peça e considerada no programa ECCALC segundo a equação 2.26 do ítem 2.1.2.2 b), influencia fortemente, sobrecarregando a tensão normal na biela transversal $\sigma_{c\theta}$, como observado na figura 6.11. Os valores teóricos são calculados através de hipóteses do Estádio II que não consideram a variação de altura da linha neutra x e conseqüentemente a redução de z com a evolução do carregamento.

TENSÃO NA BIELA COMPRIMIDA MODELO 1/3

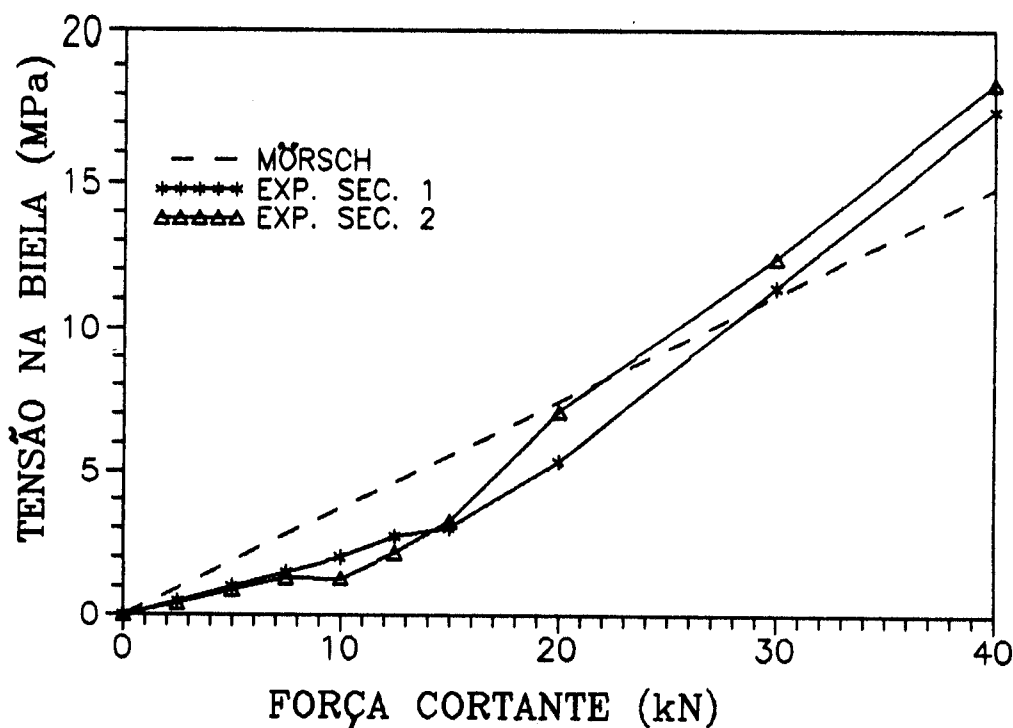


FIGURA 6.10 - COMPRESSÃO NA BIELA - MODELO 1/3

COMPRESSÃO NA BIELA MODELO 1/3 - SEÇÃO 2

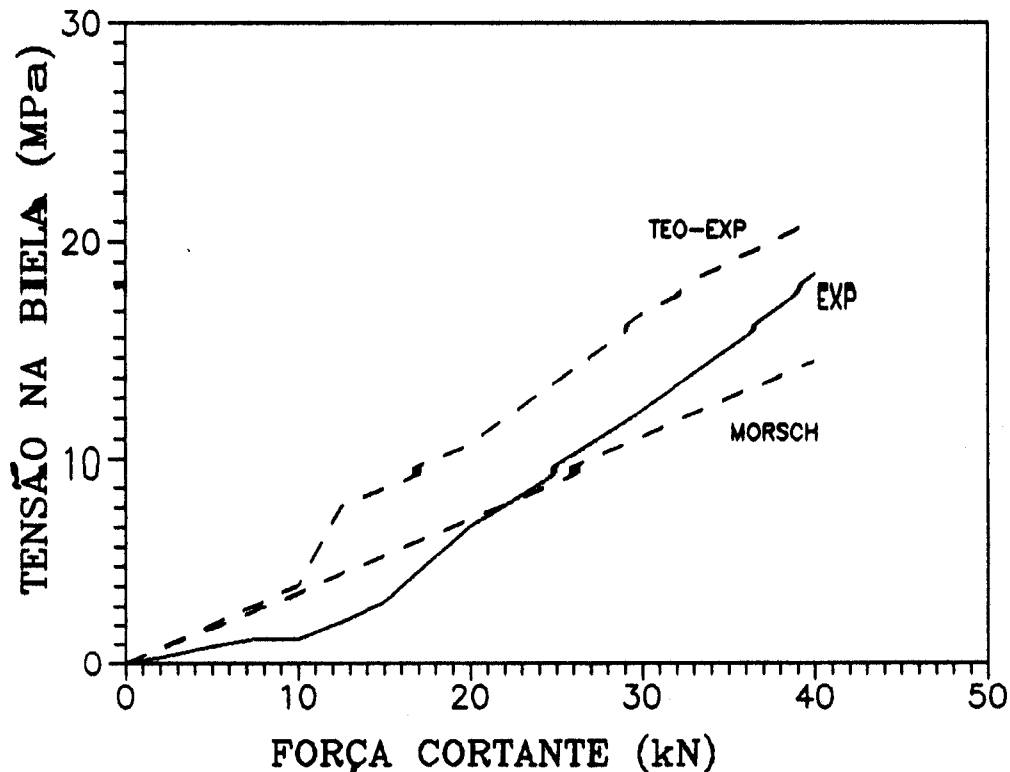
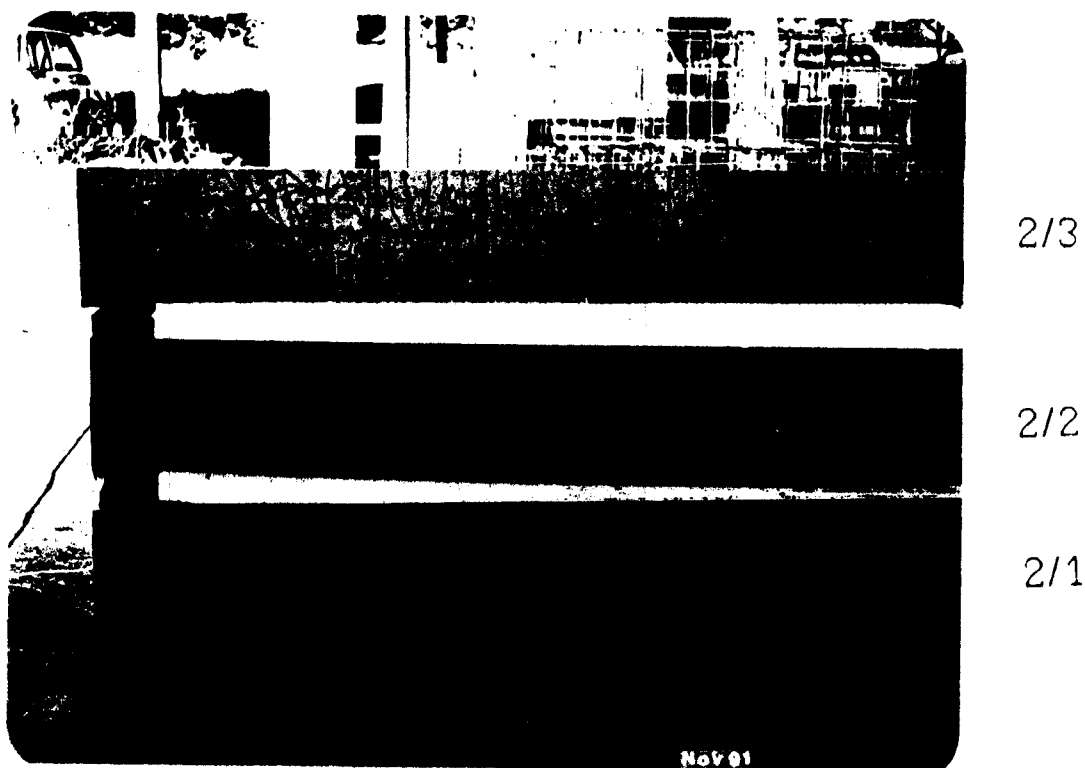


FIGURA 6.11 - COMPRESSÃO NA BIELA - MODELO 1/3 - SEÇÃO 2

6.2.6 CISALHAMENTO LONGITUDINAL ENTRE A MESA E A ALMA

O cisalhamento longitudinal entre a mesa e a alma pode ser observado experimentalmente através do exame das deformações medidas nos extensômetros mecânicos e elétricos constantes no Anexo 1. Nos modelos em que as vigas ficaram bem centralizadas, ou seja, não houve bi-momento acidental causado por excentricidade e possível rigidez dos apoios, percebe-se uma menor deformação nos extensômetros com numeração terminada em 2, que são aqueles posicionados nas mesas, alinhados com o eixo longitudinal da alma. Esta menor deformação se deve à maior rigidez à flexão da alma.

A fotografia 6.5 ilustra o esquema de treliça estudado nos itens 2.1.3 e 2.2.4.7 para os modelos da Série 2. Ali, são focalizadas as mesas tracionadas após a ruptura, onde se percebe a inclinação das fissuras que representam as direções das bielas comprimidas. Estas inclinações são maiores nos modelos das Séries 2 e 3, cujas almas são mais rígidas.



FOTOGRAFIA 6.5 - FISSURAS INCLINADAS NA MESA TRACIONADA

As tabelas de números 6.24 a 6.29 apresentam as tensões normais de tração nas armaduras transversais das mesas comprimidas para os modelos 1B/3, 2/3, 3/3 e os da Série 1, que representam as diagonais tracionadas da treliça. Os valores teóricos calculados através da equação 2.56 do item 2.1.3.1 deduzida de LEONHARDT & MÖNNIG [1977]³⁹ foram comparados com os valores indicados pelo CEB-90⁵, calculados pela equação 2.110 do item 2.2.4.7 desta dissertação. Nestas equações substituem-se f_{ywd} e f_{yd} por σ_{tt} , explicitando-se em seguida esta tensão na armadura.

A seguir são feitos alguns comentários sobre as tabelas.

TABELA 6.24
CISALHAMENTO LONGITUDINAL
MESA-ALMA - MODELO 1/1

| FORÇA CORTANTE (kN) | TENSÃO (MPa) | | TEOR. / CEB |
|---------------------------|---------------------|----------------|-------------------|
| | ARMADURA TEÓRICO | COSTURA CEB | |
| 10,00 | 151,73 | 137,05 | 1,11 |
| 20,00 | 303,47 | 306,98 | 0,99 |
| 30,00 | 455,20 | 469,71 | 0,97 |
| 40,00 | 606,94 | 631,49 | 0,96 |
| Média | | | 1,01 |

TABELA 6.25
CISALHAMENTO LONGITUDINAL
MESA-ALMA - MODELO 1/2

| FORÇA CORTANTE (kN) | TENSÃO (MPa) | | TEOR. / CEB |
|---------------------------|---------------------|----------------|-------------------|
| | ARMADURA TEÓRICO | COSTURA CEB | |
| 10,00 | 153,53 | 142,90 | 1,07 |
| 20,00 | 307,07 | 314,00 | 0,98 |
| 30,00 | 460,60 | 479,38 | 0,96 |
| 40,00 | 614,13 | 643,96 | 0,95 |
| Média | | | 0,99 |

TABELA 6.26
CISALHAMENTO LONGITUDINAL
MESA-ALMA - MODELO 1/3

| FORÇA CORTANTE (kN) | TENSÃO (MPa) | | TEOR. / CEB |
|---------------------------|---------------------|----------------|-------------------|
| | ARMADURA TEÓRICO | COSTURA CEB | |
| 10,00 | 154,67 | 144,94 | 1,07 |
| 20,00 | 309,35 | 316,68 | 0,98 |
| 30,00 | 464,02 | 483,14 | 0,96 |
| 40,00 | 618,69 | 648,82 | 0,95 |
| Média | | | 0,99 |

TABELA 6.27
CISALHAMENTO LONGITUDINAL
MESA-ALMA - MODELO 1B/3

| FORÇA CORTANTE (kN) | TENSÃO (MPa) | | TEOR. / CEB |
|---------------------------|--------------|--------|-------------------|
| | TEÓRICO | CEB | |
| 10,00 | 155,32 | 97,79 | 1,59 |
| 20,00 | 310,64 | 255,73 | 1,21 |
| 30,00 | 465,96 | 401,51 | 1,16 |
| 40,00 | 621,28 | 545,58 | 1,14 |
| 50,00 | 776,60 | 689,06 | 1,13 |
| 60,00 | 931,92 | 832,29 | 1,12 |
| Média | | | 1,22 |

TABELA 6.28
CISALHAMENTO LONGITUDINAL
MESA-ALMA - MODELO 2/3

| FORÇA CORTANTE (kN) | TENSÃO (MPa) | | TEOR. / CEB |
|---------------------------|--------------|--------|-------------------|
| | TEÓRICO | CEB | |
| 10,00 | 137,59 | 76,65 | 1,80 |
| 20,00 | 275,18 | 281,16 | 0,98 |
| 30,00 | 412,78 | 443,86 | 0,93 |
| 40,00 | 550,00 | 603,22 | 0,91 |
| 50,00 | 687,96 | 761,59 | 0,90 |
| Média | | | 1,10 |

a) Os valores teóricos calculados com a equação 2.56 do item 2.1.3.1 ficaram, na sua maioria em média, um pouco acima dos valores teóricos determinados com a equação 2.110 do item 2.2.4.7 indicados pelo CEB-90⁵;

b) Um exame mais profundo das etapas de carga, indica que estes valores teóricos maiores, ocorrem apenas no início do carregamento, tornando-se mais próximos e às vezes até menores que os valores indicados pelo CEB, nas etapas mais próximas da ruptura.

Sugere-se a futuros pesquisadores, instrumentar com extensômetros elétricos uniaxiais, as armaduras

transversais das mesas, a fim de que, se possa comparar os valores das tensões normais experimentais com os valores teóricos, ora calculados.

TABELA 6.29

CISALHAMENTO LONGITUDINAL
MESA-ALMA - MODELO 3/3

| FORÇA CORTANTE (kN) | TENSÃO (MPa) | | TEOR. / CEB |
|---------------------------|--------------|----------------|-------------------|
| | TEÓRICO | COSTURA CEB | |
| 10,00 | 108,45 | 63,32 | 1,71 |
| 20,00 | 216,90 | 196,99 | 1,10 |
| 30,00 | 325,36 | 309,61 | 1,05 |
| 40,00 | 433,81 | 420,27 | 1,03 |
| 50,00 | 542,26 | 530,33 | 1,02 |
| 60,00 | 650,71 | 640,13 | 1,02 |
| Média | | | 1,16 |

CISALHAMENTO LONGITUDINAL
MESA-ALMA MODELO 3/3

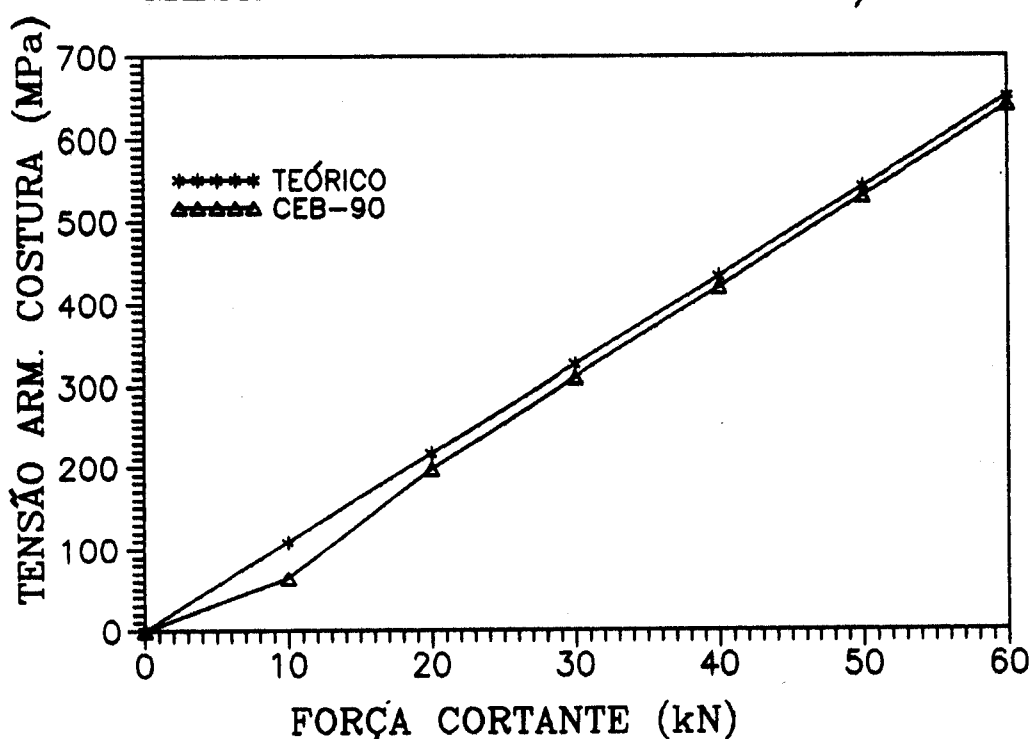


FIGURA 6.12 - CISALHAMENTO LONGITUDINAL MESA - ALMA

A figura 6.12 apresenta os diagramas $\sigma_{tt} - V$ para valores de LEONHARDT e do CEB, no modelo 3/3.

6.2.7 EFEITO DE ARCO

Além do que já foi comentado nos itens anteriores, um exame das deformações específicas experimentais (ϵ_c) constantes no Anexo 1, medidas com extensômetros elétricos fixados sobre as mesas comprimidas nas Seções 1, situadas a uma distância do apoio, igual à altura h da viga, distância esta, menor que $z \cdot \cotg \theta$, mostra que em muitos casos, estas deformações (ϵ_c) chegam a ser positivas, confirmando o que foi observado no item 2.1.2.4 deste trabalho referente à treliça generalizada. Estes valores positivos frequentemente ocorrem em estágios mais elevados do carregamento, em vigas de alma menos rígida como os da Série 1 e 1B, sugerindo a inclinação do banzo comprimido próximo ao apoio.

A tabela 6.30 indica as parcelas de força cortante absorvidas pela inclinação do banzo comprimido no efeito de arco, de acordo com a seguinte equação:

$$\frac{\sigma_{tt, \text{MÖRSCH}} - \sigma_{tt, \text{exp}}}{\sigma_{tt, \text{MÖRSCH}}} \cdot 100\% \quad (6.4)$$

onde $\sigma_{tt, \text{MÖRSCH}}$ e $\sigma_{tt, \text{exp}}$ são tensões na armadura transversal obtidas das tabelas 6.8 a 6.14 do item 6.2.4, referentes à treliça de Mörsch e a dados experimentais, respectivamente.

No início do carregamento, a força cortante é totalmente absorvida até a ocorrência da primeira fissura conforme figura 6.4.

Na Seção 1, onde o efeito de arco é mais acentuado, o modelo 2/3, de alma mais espessa, absorve mais a força cortante.

TABELA 6.30
PARCELA DA FORÇA CORTANTE ABSORVIDA
NO EFEITO DE ARCO

| MODELO | SEÇÃO 1 (%) | SEÇÃO 2 (%) | FORÇA CORT. (kN) | b_{fs}/b_w |
|--------|----------------|----------------|---------------------|--------------|
| 1/3 | 60 | 54 | 40 | 6,00 |
| 1B/3 | 65 | - | 60 | 6,00 |
| 2/3 | 64 | 51 | 55 | 3,75 |
| 3/3 | 44 | 59 | 65 | 6,00 |

A NBR-6118² indica para distâncias $a < 2.h$ que a força cortante seja multiplicada por $a/(2.h)$. Para os modelos da Série 1B: $a = 45$ cm e $h = 25$ cm portanto:

$a < 2.h = 2 \times 25 = 50$ cm , assim :

$$V_{red} = \frac{a}{2.h} \cdot V = \frac{45}{50} \cdot V = 0,9 \cdot V \quad (6.5)$$

onde:

V_{red} = força cortante reduzida próxima ao apoio.

Como no modelo 1B/3, 65% de V foi absorvido pelo banzo inclinado, tem-se para V_{red} experimental, o seguinte:

$$V_{red,exp} = \left(1 - \frac{65}{100} \right) \cdot V = 0,35 \cdot V \quad (6.6)$$

Dividindo (6.6) por (6.5) e explicitando o valor de $V_{red,exp}$, obtém-se:

$$V_{red,exp} = \frac{0,35}{0,90} \cdot V_{red} = 0,4 \cdot \frac{a}{2.h} \cdot V$$

ou simplesmente, para o caso das vigas ensaiadas:

$$V_{red} = 0,4 \cdot \frac{a}{2.h} \cdot V \quad (6.7)$$

Deve ser observado que, neste caso se analisou apenas um modelo, ficando para futuros pesquisadores a sugestão de se fazerem mais ensaios a fim de se chegarem a resultados mais precisos.

6.3 ESTADOS LIMITES DE UTILIZAÇÃO

6.3.1 ESTADO LIMITE DE FORMAÇÃO DE FISSURAS INCLINADAS (FORÇA CORTANTE DE FISSURAÇÃO - V_r)

Embora as normas brasileiras não apresentem expressões para o cálculo da força cortante de fissuração, foram assim mesmo, analisados valores calculados com expressões do ACI 549.IR-88³, do CEB-90⁵ e de MANSUR & ONG [1987]¹⁵ (adaptado). Estes valores foram comparados com resultados experimentais em uma etapa após a peça haver fissurado.

Os valores de V_r calculados pelo ACI se basearam nas equações 3.1, 3.2 e 3.3 do item 3.1.2, já os resultados do CEB foram calculados através da equação 2.107 do item 2.2.4.5 V c), enquanto que as relações de MANSUR & ONG foram adaptadas através de regressão potencial, como descrito nos parágrafos a seguir.

MANSUR & ONG sugeriram a equação 3.4 do item 3.1.2, cuja expressão é a seguinte:

$$\frac{V_r}{b_w \cdot d} = K \cdot \left(f_{ck} \cdot \rho_s \cdot \frac{d}{a} \right)^n$$

Para as vigas de argamassa armada, por eles ensaiadas, encontraram $K = 6,8$ e $n = 0,75$. Fazendo o mesmo para os modelos desta pesquisa, montou-se o gráfico da figura 6.13, que mostra $V_r / (b_w \cdot d)$ em função de $f_{ck} \cdot \rho_s \cdot d/a$, calculados com valores experimentais. A seguir aproximou-se a nuvem de pontos a uma curva do mesmo formato da equação 3.5. Através de regressão potencial, obteve-se $K = 0,30$ e $n = 0,76$, resultando para a expressão adaptada às vigas desta pesquisa:

$$\frac{V_r}{b_w \cdot d} = 0,30 \cdot \left(f_{ck} \cdot \rho_s \cdot \frac{d}{a} \right)^{0,76} \quad (6.8)$$

A tabela 6.31 apresenta a comparação dos valores de V_r calculados com as equações do ACI, CEB e a de MANSUR & ONG adaptada, ou seja, a equação 6.8 agora deduzida. Algumas observações foram feitas, quais sejam;

a) A expressão de MANSUR & ONG adaptada foi a que mais se aproximou dos valores experimentais, como era de se esperar, pois foi deduzida a partir da média destes valores experimentais, o que significa, que se aplica apenas a estes tipos de viga de argamassa armada;

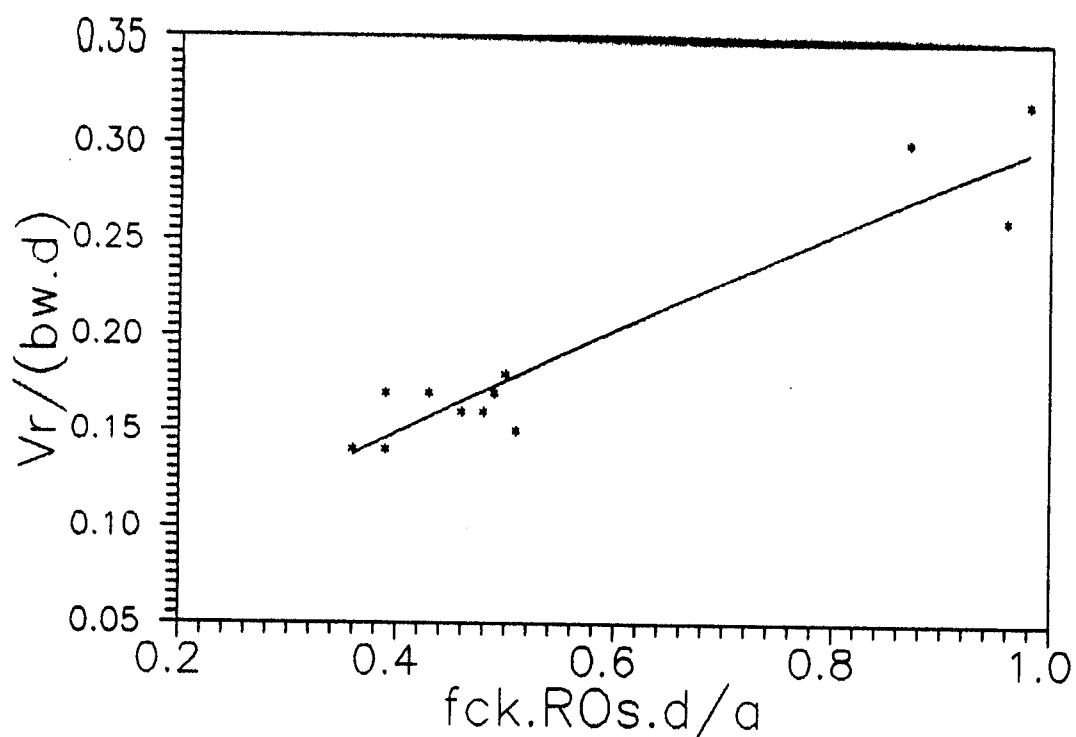
b) As expressões do ACI e do CEB, deduzidas para o concreto armado, apresentaram resultados abaixo dos valores experimentais. Os valores experimentais ficaram acima dos valores do ACI em média 44% enquanto para o CEB, esta percentagem ficou em média 33% acima dos valores calculados;

c) Os valores indicados na tabela como experimentais, na realidade foram observados na primeira etapa após a fissuração, tendo em vista que as observações das fissuras eram feitas visualmente a cada etapa de carregamento, o que significa dizer que os referidos valores estão um pouco acima dos verdadeiros.

TABELA 6.31

COMPARAÇÃO DA FORÇA DE FISSURAÇÃO ENTRE NORMAS
 V_r (kN)

| MOD. | ACI 549 IR-88 | CEB-90 | MANSUR ADAPTADO | EXPERIM. | EXP/ACI | EXP/CEB | EXP/MAN |
|-------|------------------|--------|--------------------|----------|---------|---------|---------|
| 1/1 | 6,96 | 8,18 | 10,35 | 8,75 | 1,26 | 1,07 | 0,85 |
| 1/2 | 6,72 | 7,73 | 10,02 | 10,00 | 1,49 | 1,29 | 1,00 |
| 1/3 | 6,48 | 7,74 | 8,98 | 10,00 | 1,54 | 1,29 | 1,11 |
| 1B/1 | 9,91 | 9,97 | 15,79 | 17,50 | 1,77 | 1,76 | 1,11 |
| 1B/2 | 10,31 | 9,93 | 17,18 | 18,75 | 1,82 | 1,89 | 1,09 |
| 1B/3 | 9,91 | 10,12 | 16,58 | 15,00 | 1,51 | 1,48 | 0,90 |
| 2/1 | 10,40 | 12,22 | 13,26 | 12,50 | 1,20 | 1,02 | 0,94 |
| 2/2 | 10,22 | 11,84 | 13,21 | 15,00 | 1,47 | 1,27 | 1,14 |
| 2/3 | 9,81 | 11,67 | 12,20 | 12,50 | 1,27 | 1,07 | 1,02 |
| 3/1 | 9,67 | 10,31 | 13,64 | 12,50 | 1,29 | 1,21 | 0,92 |
| 3/2 | 8,96 | 9,44 | 13,03 | 12,50 | 1,40 | 1,32 | 0,96 |
| 3/3 | 9,46 | 10,14 | 13,15 | 12,50 | 1,32 | 1,23 | 0,95 |
| MÉDIA | | | | | 1,44 | 1,33 | 1,00 |

ANÁLISE DE V_r (MANSUR)FIGURA 6.13 - ANÁLISE DE V_r (MANSUR)

6.3.2 ESTADO LIMITE DE ABERTURA DE FISSURAS

As tabelas de números 6.32 a 6.35 apresentam os valores das aberturas médias de fissuras na Seção 2 (2.h do apoio) calculadas através da NBR 11.173¹, SN 366-77⁴, ACI 549.IR-88³ e pela treliça generalizada, assim como, uma comparação entre as mesmas e valores experimentais para cada modelo ensaiado. Cada tabela foi montada para uma etapa de carregamento; no caso, foram montadas para as etapas de 15 kN, 20 kN, 30 kN e 40 kN. Apenas os modelos da Série 1B foram observados na Seção 1.

As equações utilizadas foram:

- NBR 11.173: equação 3.29 do item 3.1.5.1;
- ACI 549.IR-88: equações 3.30 e 3.31 do item 3.1.5.2;
- SN 366/77: equação 3.34 do item 3.1.5.3;
- Treliça Generalizada: equação 3.23 do item 3.1.4.

A equação da NBR 11.173 foi corrigida pelo fator $k_{\theta} = 2$ ($\theta = 45^{\circ}$ da treliça de Mörsch) e por se tratar de valor médio, foi dividida por 1,658. As equações do ACI e da treliça generalizada, foram corrigidas pelo fator k_{θ} em função do ângulo θ . O fator k_{θ} foi apresentado nas relações 3.18 por LEONHARDT [1979]⁵² no item 3.1.4 e o ângulo θ , calculado conforme equação 2.53 do item 2.1.2.7 deste trabalho. As equações do ACI, foram aproximadas de acordo com o item 3.1.5.2.

Os valores experimentais foram obtidos através das médias entre os valores das aberturas de fissuras das zonas vizinhas à seção considerada no Anexo 1. Observando-se as tabelas, faz-se os seguintes comentários:

- a) Todos os valores teóricos calculados ficaram em média, acima dos experimentais;
- b) As equações que mais se aproximaram dos valores experimentais foram as do ACI enquanto as que mais se afastaram foram as da NBR 11.173¹;

TABELA 6.32

COMPARAÇÃO DAS ABERTURAS DE FISSURAS ENTRE NORMAS
FORÇA CORTANTE = 15,00 kN ABERTURA (mm)

| MODELO | NBR 11.173 | SN 366/77 | ACI 549 IR-88 | TRELIÇA GENERAL. | EXPERIM. | NBR/ EXP | SN/ EXP | ACI/ EXP | TRE/ EXP |
|--------|---------------|--------------|------------------|---------------------|----------|-------------|------------|-------------|-------------|
| 1/1 | 0,22 | 0,12 | 0,11 | 0,15 | 0,09 | 2,42 | 1,35 | 1,18 | 1,70 |
| 1/2 | 0,11 | 0,06 | 0,04 | 0,08 | 0,06 | 1,82 | 1,05 | 0,63 | 1,30 |
| 1/3 | 0,07 | 0,04 | 0,06 | 0,05 | 0,09 | 0,83 | 0,45 | 0,69 | 0,60 |
| 2/1 | 0,25 | 0,09 | 0,07 | 0,15 | 0,06 | 4,22 | 1,47 | 1,12 | 2,44 |
| 2/2 | 0,12 | 0,05 | 0,02 | 0,07 | 0,04 | 3,08 | 1,29 | 0,60 | 1,82 |
| 2/3 | 0,08 | 0,04 | 0,04 | 0,05 | 0,02 | 4,21 | 1,88 | 2,03 | 2,52 |
| 3/1 | 0,13 | 0,07 | 0,06 | 0,08 | 0,04 | 3,30 | 1,87 | 1,40 | 2,00 |
| 3/2 | 0,07 | 0,04 | 0,02 | 0,04 | 0,05 | 1,45 | 0,78 | 0,40 | 0,81 |
| 3/3 | 0,06 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,07 | 0,86 | 0,51 | 0,53 | 0,53 |
| MÉDIA | | | | | | 2,47 | 1,18 | 0,95 | 1,53 |

c) Dois fatores influenciaram o afastamento dos valores adaptados da NBR 11.173¹ em relação aos experimentais. O primeiro foi que, devido ao fato de ser utilizada a treliça de Mörsch (indicada pela NBR 6118²), o ângulo θ foi de 45° e portanto os valores de w_m foram multiplicados por $k_\theta = 2$ (aconselhado por LEONHARDT [1979]⁵²). Deve ser observado que se não tivesse sido utilizado o fator k_θ , os valores da NBR 11.173¹ teriam ficado bem próximos dos experimentais. Um outro fator de menor influência foi que, no caso da NBR 11.173¹, usou-se $z = d/1,15$ em vez dos valores calculados pelas equações 2.69, 2.71 e 2.72 do item 2.2.1.3, como foi feito para a treliça generalizada;

d) O fator k_θ de LEONHARDT se adaptou melhor aos resultados do ACI porém extrapolou para os da NBR 11.173 porque neste caso, foi usado $k_\theta = 2$, como já comentado no item c);

TABELA 6.33

COMPARAÇÃO DAS ABERTURAS DE FISSURAS ENTRE NORMAS
 FORÇA CORTANTE = 20,00 kN ABERTURA (mm)

| MODELO | NBR 11.173 | SN 366/77 | ACI 549 IR-88 | TRELIÇA GENERAL. | EXPERIM. | NBR/ EXP | SN/ EXP | ACI/ EXP | TRE/ EXP |
|--------|---------------|--------------|------------------|---------------------|----------|-------------|------------|-------------|-------------|
| 1/1 | 0,33 | 0,22 | 0,17 | 0,25 | 0,12 | 2,72 | 1,79 | 1,45 | 2,08 |
| 1/2 | 0,16 | 0,11 | 0,06 | 0,13 | 0,09 | 1,80 | 1,25 | 0,68 | 1,39 |
| 1/3 | 0,11 | 0,07 | 0,10 | 0,09 | 0,12 | 0,92 | 0,60 | 0,83 | 0,72 |
| 1B/1 | 0,34 | 0,21 | 0,18 | 0,27 | 0,07 | 4,88 | 3,04 | 2,61 | 3,82 |
| 1B/2 | 0,16 | 0,11 | 0,06 | 0,13 | 0,06 | 2,73 | 1,86 | 1,01 | 2,12 |
| 1B/3 | 0,11 | 0,08 | 0,10 | 0,09 | 0,09 | 1,25 | 0,84 | 1,10 | 0,96 |
| 2/1 | 0,42 | 0,16 | 0,13 | 0,28 | 0,08 | 5,22 | 1,96 | 1,63 | 3,55 |
| 2/2 | 0,20 | 0,09 | 0,05 | 0,14 | 0,08 | 2,50 | 1,14 | 0,57 | 1,72 |
| 2/3 | 0,14 | 0,07 | 0,08 | 0,09 | 0,05 | 2,71 | 1,34 | 1,51 | 1,88 |
| 3/1 | 0,21 | 0,13 | 0,10 | 0,15 | 0,10 | 2,09 | 1,33 | 1,02 | 1,46 |
| 3/2 | 0,11 | 0,07 | 0,04 | 0,07 | 0,08 | 1,40 | 0,86 | 0,44 | 0,90 |
| 3/3 | 0,09 | 0,06 | 0,07 | 0,07 | 0,09 | 1,05 | 0,71 | 0,75 | 0,74 |
| MÉDIA | | | | | | 2,44 | 1,39 | 1,13 | 1,78 |

e) Para carregamentos menores, os valores teóricos se aproximaram mais dos experimentais e vice-versa;

f) Para carregamentos menores, os modelos de alma mais espessa (Série 2) apresentaram resultados para a NBR 11.173, bem maiores que os experimentais, chegando até a mais de cinco vezes para $V = 20$ kN;

g) Os valores teóricos dos modelos menos armados (duas telas na alma), ficaram em geral mais afastados dos experimentais;

TABELA 6.34

COMPARAÇÃO DAS ABERTURAS DE FISSURAS ENTRE NORMAS
 FORÇA CORTANTE = 30,00 kN ABERTURA (mm)

| MODELO | NBR 11.173 | SN 366/77 | ACI 549 IR-88 | TRELIÇA GENERAL. | EXPERIM. | NBR/ EXP | SN/ EXP | ACI/ EXP | TRE/ EXP |
|--------|---------------|--------------|------------------|---------------------|----------|-------------|------------|-------------|-------------|
| 1/1 | 0,54 | 0,48 | 0,31 | 0,45 | 0,14 | 3,89 | 3,46 | 2,22 | 3,20 |
| 1/2 | 0,27 | 0,25 | 0,11 | 0,22 | 0,14 | 1,91 | 1,81 | 0,77 | 1,58 |
| 1/3 | 0,18 | 0,16 | 0,17 | 0,15 | 0,16 | 1,14 | 1,01 | 1,09 | 0,95 |
| 1B/1 | 0,56 | 0,48 | 0,32 | 0,47 | 0,15 | 3,75 | 3,20 | 2,14 | 3,13 |
| 1B/2 | 0,27 | 0,25 | 0,11 | 0,22 | 0,09 | 3,01 | 2,79 | 1,19 | 2,50 |
| 1B/3 | 0,19 | 0,17 | 0,17 | 0,15 | 0,11 | 1,69 | 1,54 | 1,59 | 1,39 |
| 2/1 | 0,75 | 0,35 | 0,26 | 0,58 | 0,15 | 4,97 | 2,35 | 1,77 | 3,84 |
| 2/2 | 0,35 | 0,21 | 0,09 | 0,27 | 0,16 | 2,21 | 1,29 | 0,57 | 1,71 |
| 2/3 | 0,24 | 0,15 | 0,15 | 0,19 | 0,15 | 1,59 | 1,00 | 1,00 | 1,24 |
| 3/1 | 0,36 | 0,30 | 0,20 | 0,28 | 0,13 | 2,79 | 2,30 | 1,52 | 2,18 |
| 3/2 | 0,19 | 0,16 | 0,07 | 0,14 | 0,10 | 1,91 | 1,55 | 0,68 | 1,38 |
| 3/3 | 0,16 | 0,14 | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 1,26 | 1,11 | 0,99 | 0,98 |
| MÉDIA | | | | | | 2,51 | 1,95 | 1,29 | 2,01 |

h) Os modelos menos armados (duas telas na alma) alcançaram o valor limite de abertura de fissuras de 0,15 mm da NBR 11.173 a partir do carregamento de 30 kN, com excessão dos modelos da Série 3. Para os modelos da Série 2 (alma mais espessa), este limite foi logo alcançado para todas as vigas já no referido carregamento de 30 kN, confirmando as previsões teóricas. Examinando especificamente o modelo 2/2, o carregamento de 30 kN representa apenas 48% da força de ruptura, que foi de 62 kN conforme observado na tabela 6.1;

i) Para o carregamento de 40 kN, os modelos 1B/2 e 3/2 (três telas na alma) não haviam alcançado o limite de 0,15 mm, o que confirma as previsões de que espaçamentos menores da armadura diminuem a abertura das fissuras.

TABELA 6.35

COMPARAÇÃO DAS ABERTURAS DE FISSURAS ENTRE NORMAS
FORÇA CORTANTE = 40,00 kN ABERTURA (mm)

| MODELO | NBR 11.173 | SN 366/77 | ACI 549 IR-88 | TRELIÇA GENERAL. | EXPERIM. | NBR/ EXP | SN/ EXP | ACI/ EXP | TRE/ EXP |
|--------|---------------|--------------|------------------|---------------------|----------|-------------|------------|-------------|-------------|
| 1B/1 | 0,78 | 0,85 | 0,46 | 0,67 | 0,20 | 3,92 | 4,26 | 2,30 | 3,36 |
| 1B/2 | 0,38 | 0,45 | 0,15 | 0,32 | 0,11 | 3,43 | 4,06 | 1,40 | 2,94 |
| 1B/3 | 0,26 | 0,30 | 0,25 | 0,22 | 0,13 | 1,99 | 2,31 | 1,93 | 1,68 |
| 2/1 | 1,07 | 0,63 | 0,40 | 0,88 | 0,25 | 4,30 | 2,51 | 1,61 | 3,50 |
| 2/2 | 0,51 | 0,37 | 0,14 | 0,41 | 0,20 | 2,53 | 1,83 | 0,68 | 2,07 |
| 2/3 | 0,34 | 0,27 | 0,22 | 0,28 | 0,20 | 1,71 | 1,34 | 1,12 | 1,40 |
| 3/1 | 0,52 | 0,53 | 0,29 | 0,42 | 0,17 | 3,04 | 3,13 | 1,73 | 2,48 |
| 3/2 | 0,27 | 0,28 | 0,10 | 0,20 | 0,12 | 2,24 | 2,30 | 0,84 | 1,70 |
| 3/3 | 0,23 | 0,26 | 0,19 | 0,19 | 0,17 | 1,37 | 1,50 | 1,13 | 1,12 |
| MÉDIA | | | | | | 2,73 | 2,58 | 1,42 | 2,25 |

As tabelas 6.36 e 6.37 apresentam as aberturas de fissuras comparadas com as tensões normais na armadura transversal nas Seções 1 e 2 respectivamente para todos os modelos armados com estribos. As figuras 6.14 e 6.15 ilustram esses resultados através de gráficos $\sigma_{tt} - w_{wm}$. As observações feitas sobre estas tabelas e figuras, são as seguintes:

- O modelo 3/3 de maior altura atingiu altas tensões σ_{tt} para aberturas relativamente baixas das fissuras;
- O modelo 2/3 (alma mais espessa) atingiu grandes aberturas de fissuras para tensões σ_{tt} relativamente moderadas principalmente na Seção 1, pelos motivos já comentados nas tabelas anteriores; ver observação h) - tabela 6.34;
- O modelo 2/3 (alma mais espessa) atingiu aberturas superiores a 0,15 mm (limite da NBR 11.173) para tensões σ_{tt} relativamente baixas ($\sigma_{tt} = 139$ MPa), ou seja, apenas 16% da capacidade resistente da armadura transversal na Seção 1. Já

TABELA 6.36

TENSÃO NA ARMADURA TRANSVERSAL - FISSURAS DE CISALHAMENTO
SEÇÃO 1 - h DO APOIO

| FORÇA (kN) | MODELO 1/3 | | MODELO 2/3 | | MODELO 3/3 | | MODELO 1B/3 | |
|---------------|------------------------|------------------|------------------------|------------------|------------------------|------------------|------------------------|------------------|
| | σ_{tt} (MPa) | W_{wm} (mm) | σ_{tt} (MPa) | W_{wm} (mm) | σ_{tt} (MPa) | W_{wm} (mm) | σ_{tt} (MPa) | W_{wm} (mm) |
| 15,00 | | 0,09 | | | | | | |
| 20,00 | | 0,13 | | 0,04 | | 0,09 | | 0,09 |
| 25,00 | 174,38 | 0,13 | 106,40 | 0,13 | 141,67 | 0,09 | 201,04 | 0,10 |
| 30,00 | 214,58 | 0,19 | 161,04 | 0,17 | 177,71 | 0,11 | 227,92 | 0,11 |
| 40,00 | 320,00 | 0,25 | 240,00 | 0,22 | 319,17 | 0,14 | 322,08 | 0,13 |
| 50,00 | | | 367,29 | 0,33 | 490,00 | 0,17 | 348,13 | 0,15 |
| 55,00 | | | 390,00 | 0,44 | 545,00 | 0,20 | 373,33 | 0,17 |
| 60,00 | | | | | 590,00 | 0,22 | 490,00 | 0,19 |
| 65,00 | | | | | 620,00 | 0,28 | | |

TRAÇÃO NA ARMADURA TRANSVERSAL
ABERTURA DE FISSURAS
SEÇÃO 1

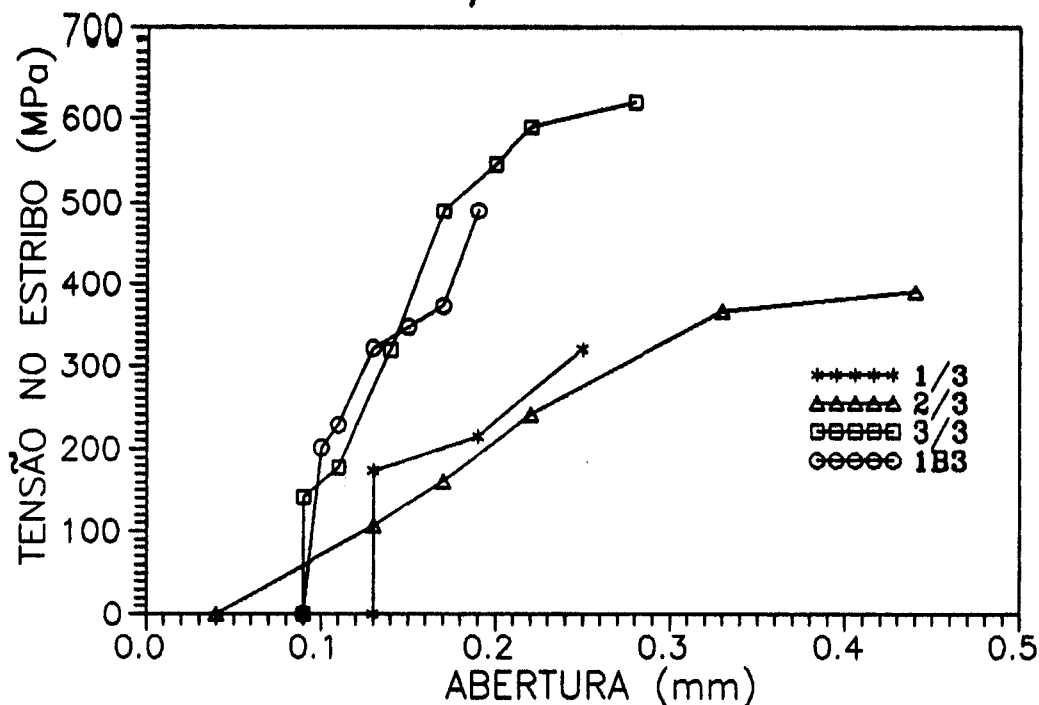


FIGURA 6.14 - TENSÃO σ_{tt} x ABERTURA DE FISSURAS - SEÇÃO 1

TABELA 6.37
TENSÃO NA ARMADURA TRANSVERSAL
ABERTURA DE FISSURAS
SEÇÃO 2 - 2h DO APOIO

| FORÇA (kN) | MODELO 1/3 | | MODELO 2/3 | | MODELO 3/3 | |
|---------------|------------------------|------------------|------------------------|------------------|------------------------|------------------|
| | σ_{tt} (MPa) | W_{wm} (mm) | σ_{tt} (MPa) | W_{wm} (mm) | σ_{tt} (MPa) | W_{wm} (mm) |
| 10,00 | | 0,03 | | | | |
| 12,50 | 47,29 | 0,04 | | | | |
| 15,00 | 114,17 | 0,09 | 7,50 | 0,02 | 16,04 | 0,07 |
| 20,00 | 176,67 | 0,12 | 110,83 | 0,05 | 125,00 | 0,09 |
| 30,00 | 275,41 | 0,16 | 249,17 | 0,15 | 257,71 | 0,13 |
| 40,00 | 362,08 | 0,23 | 345,83 | 0,20 | 380,00 | 0,17 |
| 50,00 | | | 480,00 | 0,30 | 520,00 | 0,21 |
| 55,00 | | | 540,00 | 0,39 | | |
| 60,00 | | | | | 610,00 | 0,28 |
| 65,00 | | | | | 660,00 | 0,34 |

TRAÇÃO NA ARMADURA TRANSVERSAL
ABERTURA DE FISSURAS
SEÇÃO 2

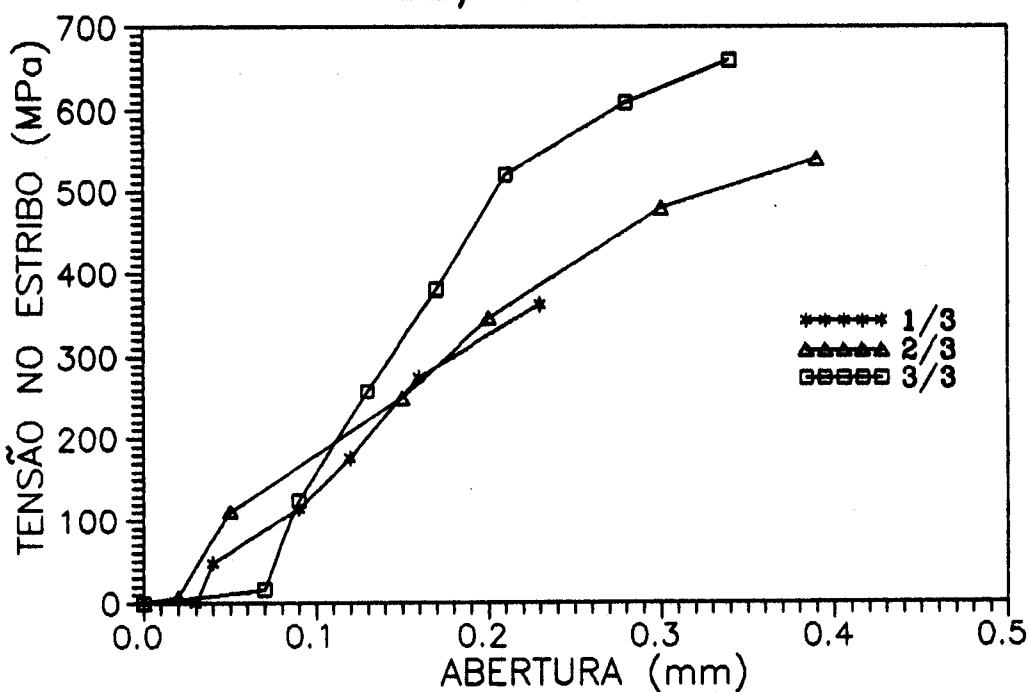


FIGURA 6.15 - TENSÃO σ_{tt} x ABERTURA DE FISSURAS - SEÇÃO 2

o modelo 3/3, de maior altura h atingiu este limite com $\sigma_{tt} = 349$ MPa (< 435 MPa da NBR 6118) cerca de 40% da resistência última do aço, também na Seção 1, que foi a maior percentagem em relação aos outros modelos. Os valores de σ_{tt} em função de $w_{wm} = 0,15$ mm foram obtidos através de regressão potencial;

A seguir, apresentam-se os valores de σ_{tt} em (MPa) referentes a $w_{wm} = 0,15$ mm calculados por regressão potencial na Seção 2 para os modelos 1/3, 2/3 e 3/3.

| MODELO | σ_{tt} (MPa) |
|-------------------|------------------------|
| 1/3 | 288,37 |
| 2/3 | 263,60 |
| 3/3 | 285,18 |
| MÉDIA | 279,05 |
| DESVIO PADRÃO (s) | 13,47 |

O valor 279,05 MPa representa a tensão normal média na armadura transversal para aberturas de fissuras de 0,15 mm na Seção 2, ou seja, cerca de apenas 30% do valor da resistência experimental da armadura da tela ($f_u = 870$ MPa).

d) Considerando que a NBR 6118² limita f_{ywd} em 435 MPa para evitar excesso das aberturas de fissuras, observa-se que para $w_{wm} = 0,15$ mm (limite da NBR 11.173¹), apenas o modelo 3/3 ficou com w_{wm} abaixo desse valor quando $\sigma_{tt} = 435$ MPa foi atingida, isto na Seção 1. Em todos os outros casos, essa tensão $\sigma_{tt} = f_{ywd}$ só foi atingida quando as fissuras já estavam bem abertas, como é o caso do modelo 2/3 na Seção 2 com maiores aberturas, da ordem de 0,31 mm (valor calculado por regressão potencial). A NBR 6118² limita a abertura de fissuras em 0,3 mm para o concreto armado em ambientes protegidos.

As tabelas de números 6.38 a 6.41 apresentam os espaçamentos e aberturas de fissuras calculadas pelas teorias da treliça de banzos paralelos e generalizada, sendo

confrontadas com valores experimentais em função da força cortante V e da tensão σ_{tt} na armadura transversal. A tabela 6.38 especificamente, também apresenta valores teórico-experimentais calculados com o programa ECCALC. Cada tabela apresenta a evolução, por etapa de carregamento, para cada modelo individual na Seção 2, com exceção do modelo 1B/3 que foi analisado na Seção 1. Foram observados apenas os modelos armados com estribos, ou seja: 1/3, 1B/3, 2/3 e 3/3. Os valores teóricos e teórico-experimentais foram calculados com as equações 3.22 e 3.23 do item 3.1.4 desta pesquisa.

Observe-se que, os espaçamentos teóricos, para serem comparados com os experimentais, foram divididos por $\sin \theta$, obtendo-se assim, os espaçamentos horizontais.

A seguir, são feitas algumas observações para os valores encontrados:

a) Os espaçamentos médios entre fissuras medidos experimentalmente ficaram sempre abaixo dos espaçamentos teóricos e em geral, cerca de 65% desses valores. Apenas o modelo 2/3 apresentou espaçamento médio experimental 48% do teórico;

b) Os valores dos espaçamentos medidos experimentalmente ficaram mais afastados dos teóricos em geral a medida que o carregamento aumentou, chegando-se a uma relação experimental/teórico de 0,33 para o modelo 2/3, uma etapa antes da ruptura (menor relação) e 1,41 para o modelo 3/3, ao se observar a segunda fissura (maior relação);

c) Comparando-se os espaçamentos medidos experimentalmente com os espaçamentos dos fios transversais das telas (ver também Anexo 1) verifica-se que nos estágios mais avançados do carregamento, o espaçamento médio horizontal fica em geral entre 30 mm e 40 mm, sendo levemente menor nos modelos com três telas na alma ($e = 25$ mm). Verificando-se estes espaçamentos para o limite $\sigma_{tt} = 435$ MPa observou-se que, apenas os modelos 2/3 e 3/3, atingiram esta tensão (σ_{tt}). Os valores destes espaçamentos para $\sigma_{tt} = 435$ MPa obtidos

TABELA 6.38

TENSÃO NA ARMADURA TRANSVERSAL - FISSURAS DE CISCALHAMENTO
 MODELO 1/3 - SEÇÃO 2 - 2h DO APOIO

| FORÇA (kN) | TENSÃO ESTRIBO (MPa) | ESPAÇAMENTO (mm) | | | | | ABERTURA (mm) | | | | |
|---------------|----------------------------|------------------|---------|--------|-------|-------|---------------|---------|-------|-------|-------|
| | | TEO | TEO-EXP | EXP | E/T | E/T-E | TEO | TEO-EXP | EXP | E/T | E/T-E |
| 10,000 | -0,417 | 96,034 | 96,690 | | | | 0,023 | 0,052 | 0,030 | 1,289 | 0,576 |
| 12,500 | 47,290 | 83,754 | 88,280 | | | | 0,038 | 0,075 | 0,035 | 0,911 | 0,467 |
| 15,000 | 114,170 | 77,804 | 82,570 | 58,200 | 0,748 | 0,705 | 0,054 | 0,104 | 0,085 | 1,572 | 0,818 |
| 20,000 | 176,670 | 72,033 | 76,870 | 54,050 | 0,750 | 0,703 | 0,086 | 0,164 | 0,115 | 1,334 | 0,703 |
| 30,000 | 275,410 | 67,581 | 72,050 | 39,000 | 0,577 | 0,541 | 0,151 | 0,302 | 0,155 | 1,024 | 0,514 |
| 40,000 | 362,080 | 65,728 | 70,510 | 39,000 | 0,593 | 0,553 | 0,217 | 0,407 | 0,230 | 1,059 | 0,565 |
| MÉDIA | | | | | 0,667 | 0,626 | | | | 1,198 | 0,607 |

TRAÇÃO NA ARMADURA TRANSVERSAL
 ESPAÇAMENTO DE FISSURAS
 MODELO 1/3 - SEÇÃO 2

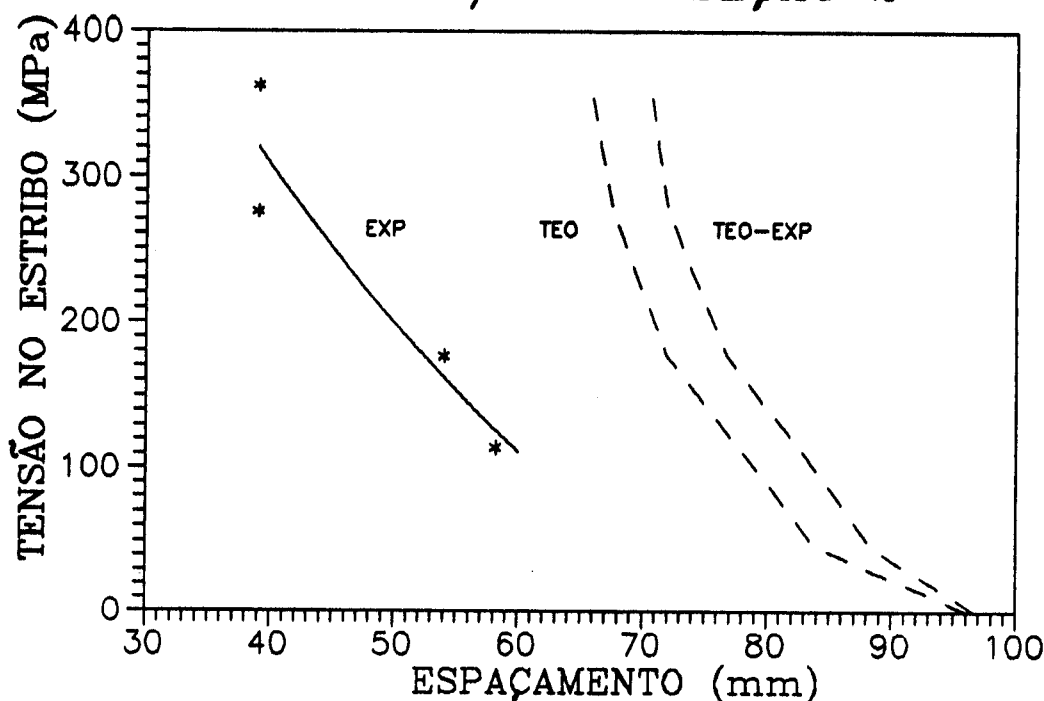


FIGURA 6.16 - DIAGRAMAS $\sigma_{tt} - s_w$ MODELO 1/3 - SEÇÃO 2

TABELA 6.39

TENSÃO NA ARMADURA TRANSVERSAL - FISSURAS DE CISALHAMENTO
 MODELO 1B/3 - SEÇÃO 1 - h DO APOIO

| FORÇA (kN) | TENSÃO ESTRIBO (MPa) | ESPAÇAMENTO (mm) | | | ABERTURA (mm) | | |
|---------------|----------------------------|------------------|--------|-------|---------------|-------|-------|
| | | TEO | EXP | E/T | TEO | EXP | E/T |
| 15,000 | -1,250 | 78,827 | | | 0,054 | | |
| 20,000 | -2,500 | 72,790 | | | 0,086 | 0,090 | 1,041 |
| 30,000 | 227,920 | 68,164 | 50,000 | 0,734 | 0,152 | 0,110 | 0,721 |
| 40,000 | 322,080 | 66,246 | 45,000 | 0,679 | 0,219 | 0,130 | 0,593 |
| 50,000 | 348,130 | 65,199 | 40,055 | 0,614 | 0,286 | 0,150 | 0,525 |
| 60,000 | 418,000 | 64,540 | 37,650 | 0,583 | 0,353 | 0,190 | 0,539 |
| MÉDIA | | | | 0,653 | | | 0,684 |

TABELA 6.40

TENSÃO NA ARMADURA TRANSVERSAL - FISSURAS DE CISALHAMENTO
 MODELO 2/3 - SEÇÃO 2 - $2.h$ DO APOIO

| FORÇA (kN) | TENSÃO ESTRIBO (MPa) | ESPAÇAMENTO (mm) | | | ABERTURA (mm) | | |
|---------------|----------------------------|------------------|---------|-------|---------------|-------|-------|
| | | TEO | EXP | E/T | TEO | EXP | E/T |
| 15,000 | 7,500 | 137,634 | 130,000 | 0,945 | 0,050 | 0,020 | 0,397 |
| 20,000 | 110,830 | 116,739 | 70,000 | 0,600 | 0,094 | 0,050 | 0,531 |
| 30,000 | 249,170 | 103,437 | 38,750 | 0,375 | 0,186 | 0,150 | 0,806 |
| 40,000 | 345,830 | 98,523 | 31,000 | 0,315 | 0,280 | 0,200 | 0,715 |
| 50,000 | 480,000 | 95,978 | 31,000 | 0,323 | 0,374 | 0,300 | 0,803 |
| 55,000 | 540,000 | 95,117 | 31,000 | 0,326 | 0,421 | 0,390 | 0,926 |
| MÉDIA | | | | 0,480 | | | 0,696 |

TABELA 6.41

TENSÃO NA ARMADURA TRANSVERSAL - FISSURAS DE CISALHAMENTO
 MODELO 3/3 - SEÇÃO 2 - $2.h$ DO APOIO

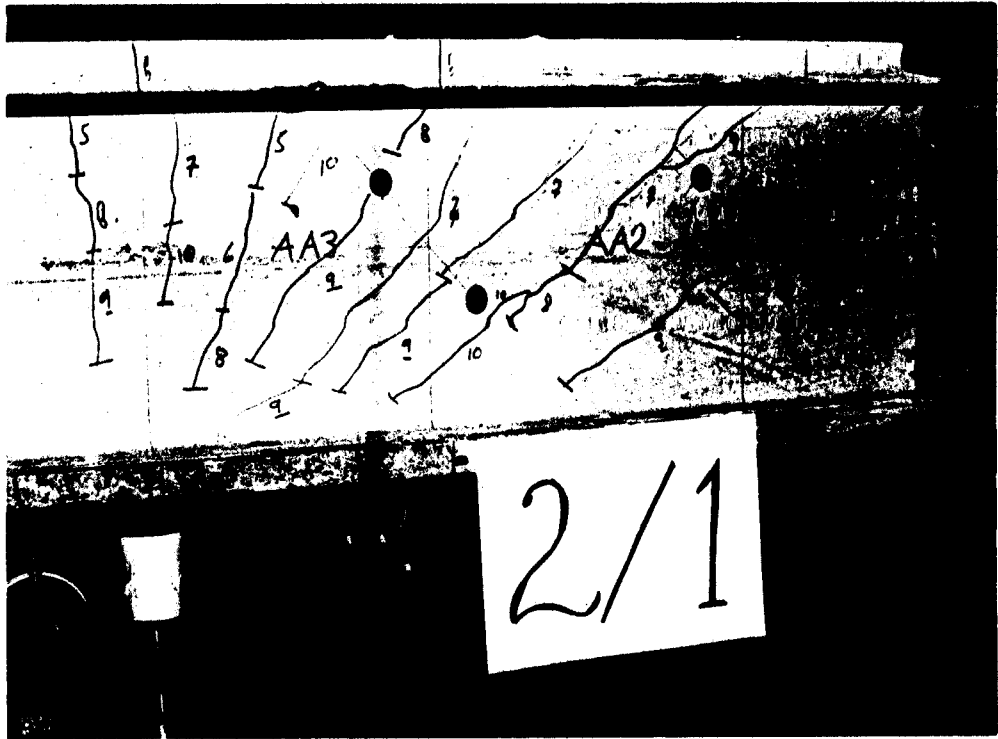
| FORÇA (kN) | TENSÃO ESTRIBO (MPa) | ESPAÇAMENTO (mm) | | | ABERTURA (mm) | | |
|---------------|----------------------------|------------------|---------|-------|---------------|-------|-------|
| | | TEO | EXP | E/T | TEO | EXP | E/T |
| 15,000 | 16,040 | 104,068 | | | 0,037 | 0,070 | 1,897 |
| 20,000 | 125,000 | 90,216 | 127,500 | 1,413 | 0,066 | 0,090 | 1,355 |
| 30,000 | 257,710 | 81,007 | 47,100 | 0,581 | 0,128 | 0,130 | 1,017 |
| 40,000 | 380,000 | 77,515 | 40,850 | 0,527 | 0,190 | 0,170 | 0,894 |
| 50,000 | 520,000 | 75,687 | 34,100 | 0,451 | 0,253 | 0,210 | 0,831 |
| 60,000 | 610,000 | 74,563 | 31,150 | 0,418 | 0,316 | 0,280 | 0,887 |
| 65,000 | 660,000 | 74,149 | 30,000 | 0,405 | 0,347 | 0,340 | 0,980 |
| MÉDIA | | | | 0,632 | | | 1,123 |

através de interpolação de Lagrange, foram 31 mm e 39 mm respectivamente. Estes valores, bem abaixo dos teóricos, demonstram que as condições para determinação do espaçamento das fissuras prescritos pela NBR 11.173, apresentados com a equação 3.28 do item 3.1.5.1, se adaptaram apenas para fissuras à flexão, não sendo aconselhados para fissuras inclinadas de cisalhamento. Vale lembrar que o espaçamento teórico horizontal utilizado nos cálculos foi aquele indicado pela equação 3.22 do item 3.1.4 dividido por $\sin \theta$, que ficou bastante acima dos valores experimentais, como já comentado nas observações a) e b) anteriores. A figura 6.16 apresenta os diagramas $\sigma_{tt} - s_w$ para o modelo 1/3 na Seção 2 obtido da tabela 6.38. Foram traçadas as curvas dos espaçamentos teóricos, teórico-experimentais e experimentais. A curva média destes referidos espaçamentos experimentais foi obtida através de regressão potencial.

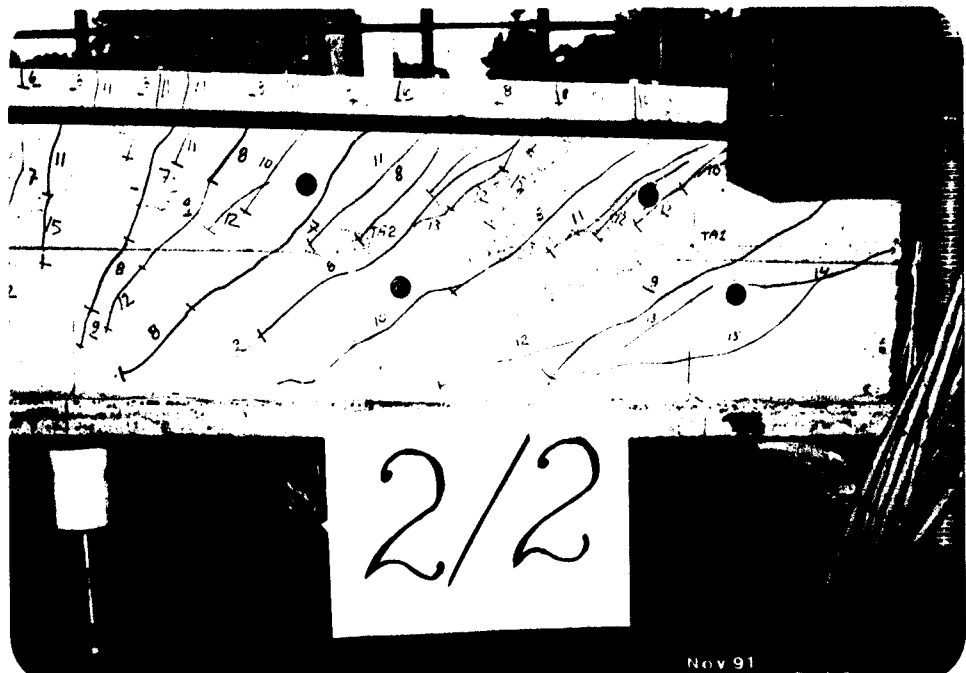
As fotografias 6.6, 6.7 e 6.8 apresentam as fissuras para os modelos 2/1, 2/2 e 2/3 respectivamente, onde se notou um maior espaçamento das mesmas no modelo 2/1 (fios transversais mais espaçados).

d) Os valores das aberturas experimentais das fissuras inclinadas de cisalhamento ficaram acima dos valores teóricos em média para os modelos 1/3 e 3/3, enquanto para os modelos 1B/3 e 2/3, ficaram abaixo;

e) O gráfico da figura 6.17 mostra os valores de σ_{tt} contra w_{wm} , para cálculos teóricos, teórico-experimentais e valores experimentais. Nota-se uma grande semelhança entre a curva experimental e aquela ilustrada na figura 3.6 do item 3.1.5.4 deste trabalho, como indicado pelo CEB-90⁵, onde pode-se perceber claramente as zonas a) não fissurado, b) formação de fissuras, c) fissuração estabilizada e d) após o escoamento;



FOTOGRAFIA 6.6 - ESPAÇAMENTO DAS FISSURAS DO MODELO 2/1



FOTOGRAFIA 6.7 - ESPAÇAMENTO DAS FISSURAS DO MODELO 2/2



FOTOGRAFIA 6.8 - ESPAÇAMENTO DAS FISSURAS DO MODELO 2/3

TRAÇÃO NA ARMADURA TRANSVERSAL
 ABERTURA DE FISSURAS
 MODELO 1/3 - SEÇÃO 2

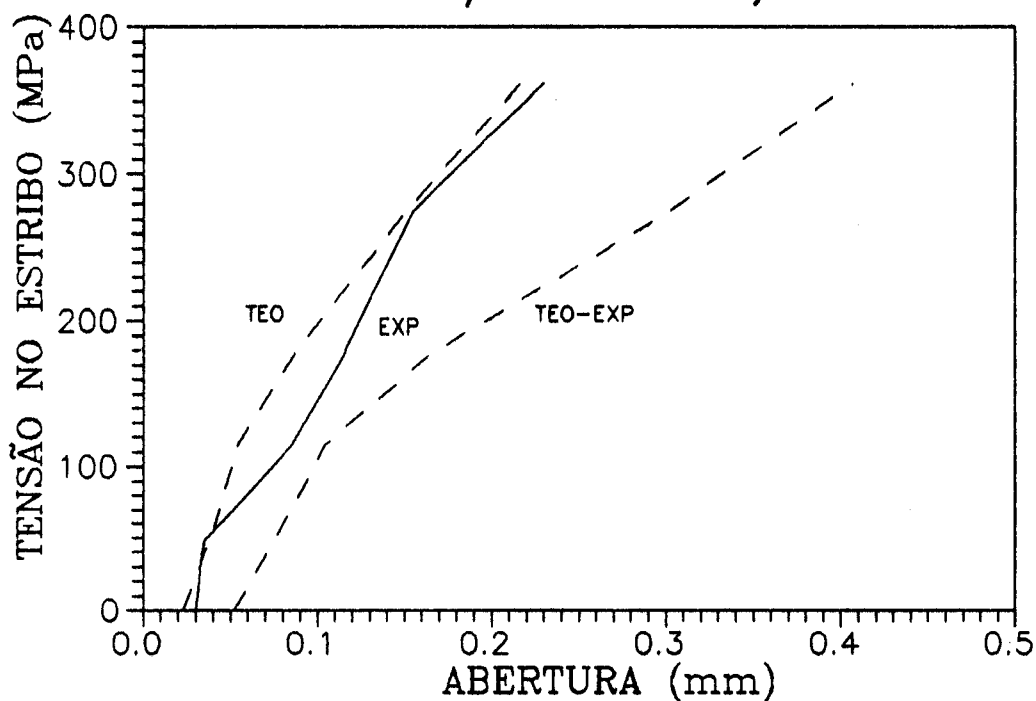


FIGURA 6.17 - DIAGRAMAS $\sigma_{tt} - w_{wm}$ MODELO 1/3 - SEÇÃO 2

f) Os valores teórico-experimentais das aberturas de fissuras ficaram mais distantes dos experimentais no modelo 1/3 que os valores teóricos, como pode ser observado na tabela 6.38 e na figura 6.17. A relação experimental/teórico-experimental ficou em 0,607 (<1) enquanto a relação experimental/teórico ficou em 1,198 (>1). Os valores maiores das aberturas teórico-experimentais podem ser explicados pelo fato de que, sendo w_{wm} função inversa do braço de alavanca z e como z diminui com o carregamento, as aberturas de fissuras calculadas com o programa ECCALC crescem mais rapidamente que aquelas teóricas, onde z é mantido fixo.

A inclinação das fissuras θ representa a mesma inclinação das bielas que ficam entre elas, como observado por SILVA [1991]⁴⁷. O cálculo teórico de θ é feito utilizando a equação 2.53 do item 2.1.2.7. Os resultados experimentais para cada modelo estão apresentados no Anexo 1 deste trabalho.

As tabelas 6.42, 6.43 e 6.44, mostram resultados experimentais para os modelos 1/3, 2/3 e 3/3 respectivamente, na Seção 2, em conjunto com os valores de θ obtidos de cálculos teóricos e teórico-experimentais. Os cálculos teóricos foram obtidos com a equação 2.53 do item 2.1.2.7 através de resultados baseados no Estádio II, cujas hipóteses não fazem variar a altura da linha neutra x com o carregamento e por conseguinte o valor do braço de alavanca z . Já os cálculos teórico-experimentais feitos com a ajuda do programa ECCALC pela equação 2.50 do item 2.1.2.7 levaram em consideração as deformações das armaduras longitudinais, dos estribos e da argamassa comprimida, ou seja, se basearam no decréscimo de x e por conseguinte de z com a evolução do carregamento, bem como, na própria tensão σ_{tt} determinada experimentalmente através das deformações dos estribos.

TABELA 6.42
 INCLINAÇÃO DA BIELA - MODELO 1/3
 RESULTADOS TEÓRICO-EXPERIMENTAIS
 SEÇÃO 2 - 2h DO APOIO

| FORÇA (kN) | INCLINAÇÃO DA BIELA (GRAUS) | | | | | | |
|---------------|-----------------------------|--------------------|-------|-------------------------|-------|-------|-------|
| | TEÓRICO | VALORES OBSERVADOS | | AJUSTE REGRESSÃO LINEAR | | | |
| | | TEO-EXP | FISS. | TEO-EXP | FISS. | F/T-E | F/TEO |
| 10,00 | 26,81 | 45,00 | 60,00 | 28,54 | 58,52 | 2,05 | 2,18 |
| 12,50 | 31,15 | 18,44 | 52,00 | 27,87 | 55,30 | 1,98 | 1,78 |
| 15,00 | 33,83 | 20,15 | 52,00 | 27,21 | 52,08 | 1,91 | 1,54 |
| 20,00 | 36,97 | 23,09 | 46,70 | 25,88 | 45,64 | 1,76 | 1,23 |
| 30,00 | 39,87 | 22,97 | 35,50 | 23,22 | 32,76 | 1,41 | 0,82 |
| 40,00 | 41,23 | 23,61 | 18,00 | 20,56 | 19,89 | 0,97 | 0,48 |
| Média | 34,98 | 25,54 | 44,03 | 25,54 | 44,03 | 1,68 | 1,34 |

TABELA 6.43
 INCLINAÇÃO DA BIELA - MODELO 2/3
 RESULTADOS TEÓRICO-EXPERIMENTAIS
 SEÇÃO 2 - 2h DO APOIO

| FORÇA (kN) | INCLINAÇÃO DA BIELA (GRAUS) | | | | | | |
|---------------|-----------------------------|--------------------|-------|-------------------------|-------|-------|-------|
| | TEÓRICO | VALORES OBSERVADOS | | AJUSTE REGRESSÃO LINEAR | | | |
| | | TEO-EXP | FISS. | TEO-EXP | FISS. | F/T-E | F/TEO |
| 15,00 | 26,89 | 18,43 | 60,00 | 18,14 | 54,62 | 3,01 | 2,03 |
| 20,00 | 32,23 | 18,43 | 57,50 | 19,09 | 52,21 | 2,74 | 1,62 |
| 30,00 | 37,00 | 21,61 | 38,50 | 20,98 | 47,40 | 2,26 | 1,28 |
| 40,00 | 39,19 | 22,47 | 32,00 | 22,88 | 42,60 | 1,86 | 1,09 |
| 50,00 | 40,44 | 25,18 | 34,00 | 24,77 | 37,79 | 1,53 | 0,93 |
| 55,00 | 40,88 | 25,46 | 48,00 | 25,72 | 35,38 | 1,38 | 0,87 |
| Média | 36,10 | 21,93 | 45,00 | 21,93 | 45,00 | 2,13 | 1,30 |

TABELA 6.44
 INCLINAÇÃO DA BIELA - MODELO 3/3
 RESULTADOS TEÓRICO-EXPERIMENTAIS
 SEÇÃO 2 - 2h DO APOIO

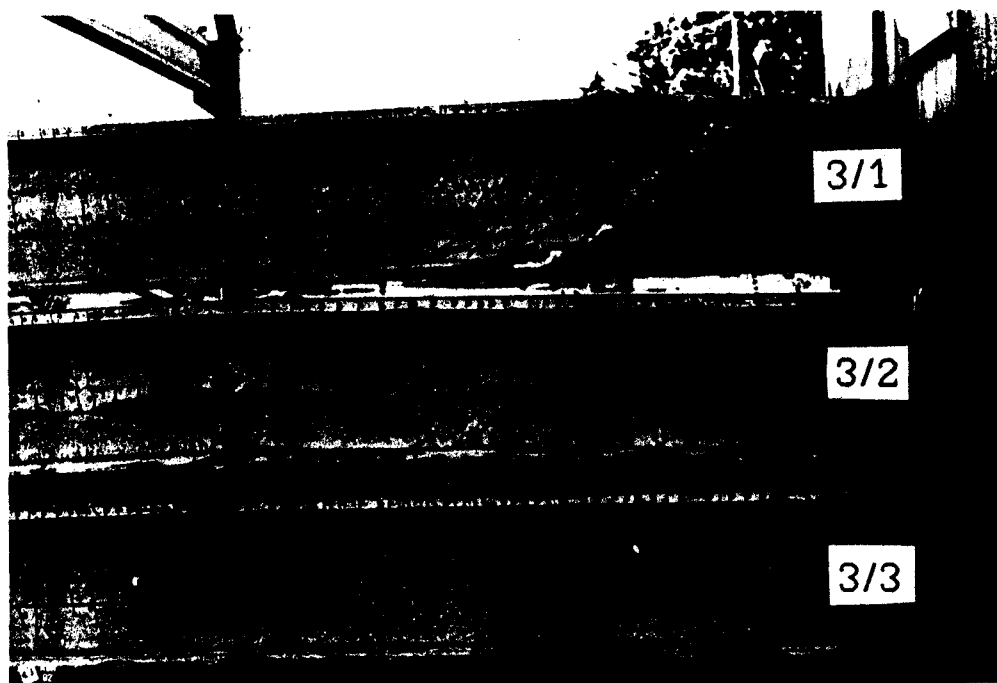
| FORÇA (kN) | INCLINAÇÃO DA BIELA (GRAUS) | | | | | | |
|---------------|-----------------------------|---------|-------|-------------------------|-------|-------|-------|
| | VALORES OBSERVADOS | | | AJUSTE REGRESSÃO LINEAR | | | |
| | TEÓRICO | TEO-EXP | FISS. | TEO-EXP | FISS. | F/T-E | F/TEO |
| 15,00 | 28,35 | 18,00 | 60,00 | 19,52 | 53,20 | 2,73 | 1,88 |
| 20,00 | 33,21 | 19,83 | 46,50 | 21,03 | 51,08 | 2,43 | 1,54 |
| 30,00 | 37,59 | 26,38 | 45,30 | 24,06 | 46,85 | 1,95 | 1,25 |
| 40,00 | 39,60 | 29,20 | 40,00 | 27,09 | 42,62 | 1,57 | 1,08 |
| 50,00 | 40,76 | 30,62 | 36,00 | 30,12 | 38,39 | 1,27 | 0,94 |
| 60,00 | 41,50 | 30,96 | 38,50 | 33,15 | 34,16 | 1,03 | 0,82 |
| 65,00 | 41,79 | 30,81 | 34,00 | 34,67 | 32,04 | 0,92 | 0,77 |
| Média | 37,54 | 26,54 | 42,90 | 27,09 | 42,62 | 1,70 | 1,18 |

Observando-se as referidas tabelas, pode-se fazer os seguintes comentários:

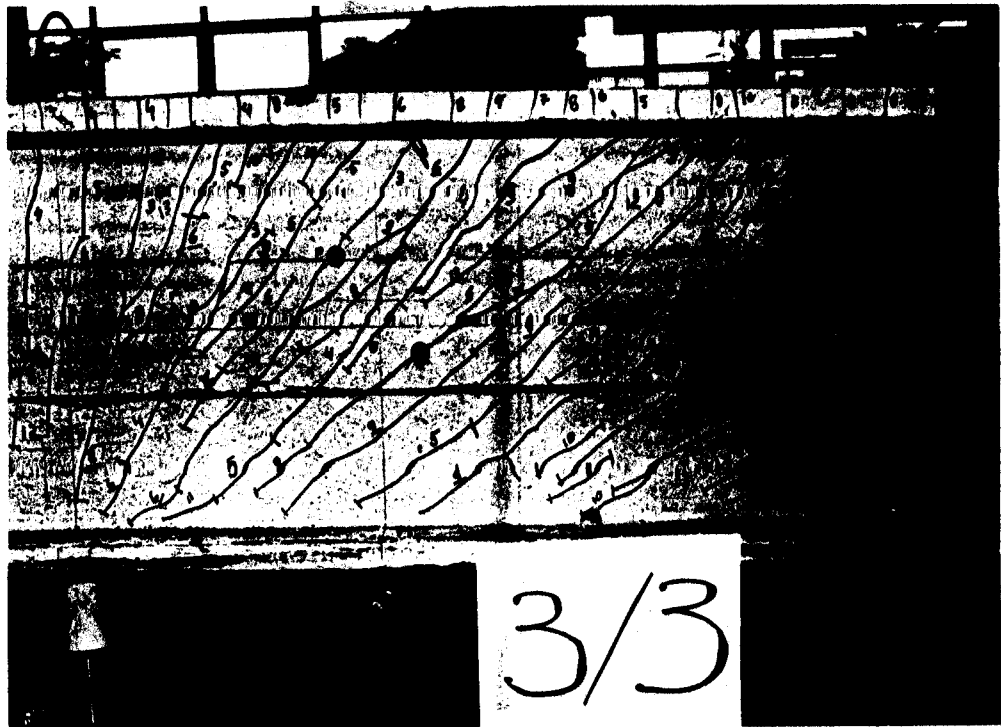
- a) Os valores teóricos de θ tiveram tendência de crescimento com o carregamento, nos três modelos;
- b) Os valores teórico-experimentais tiveram tendência de crescimento com o carregamento, apenas para os modelos 2/3 e 3/3, ficando ali, sempre abaixo dos valores teóricos, o que indica menores valores de σ_{tt} nestes modelos, quando calculados com dados teórico-experimentais (ver equação 2.50 do item 2.1.2.7). As fotografias 6.9, 6.10 e 6.11 ilustram as inclinações das fissuras dos modelos das Séries 2 e 3;
- c) Os valores teórico-experimentais de θ para o modelo 1/3 conforme tabela 6.42, foram ajustados através de regressão linear mas a nuvem de pontos ficou muito dispersa, com coeficiente de correlação linear de -0,32, valor este, muito baixo, (apenas 32% de precisão) o que torna a análise pouco confiável, não justificando portanto a tendência decrescente diferente que teve diante dos outros modelos, cujos coeficientes ficaram em média 0,95. A fotografia 6.12 apresenta as fissuras dos modelos da Série 1 e a fotografia 6.13, as fissuras para o modelo 1/3;



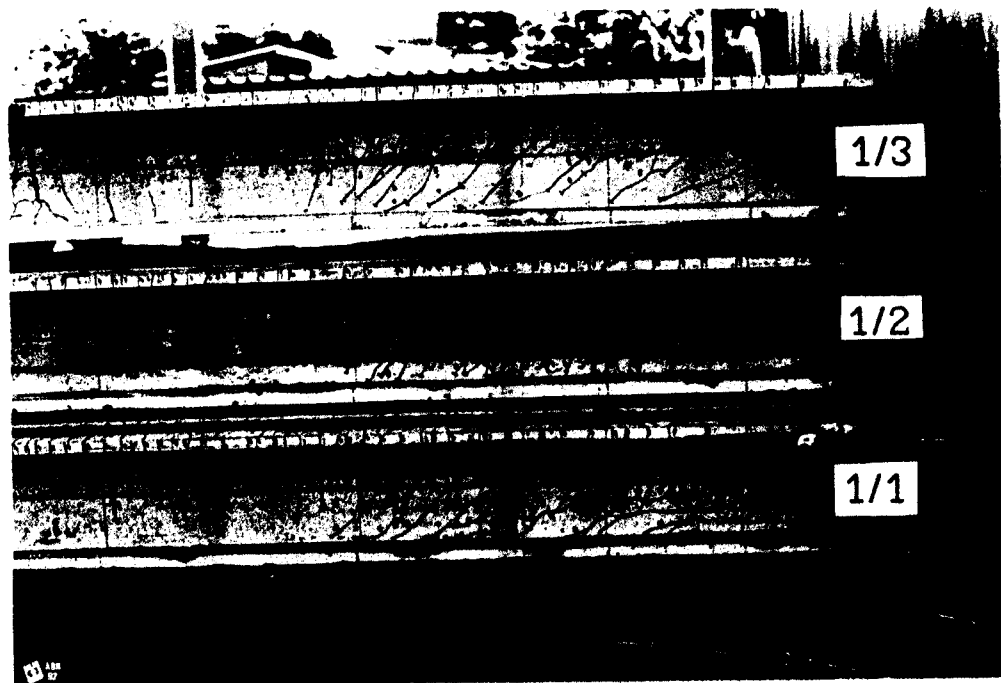
FOTOGRAFIA 6.9 - INCLINAÇÕES DAS FISSURAS - MODELOS SÉRIE 2



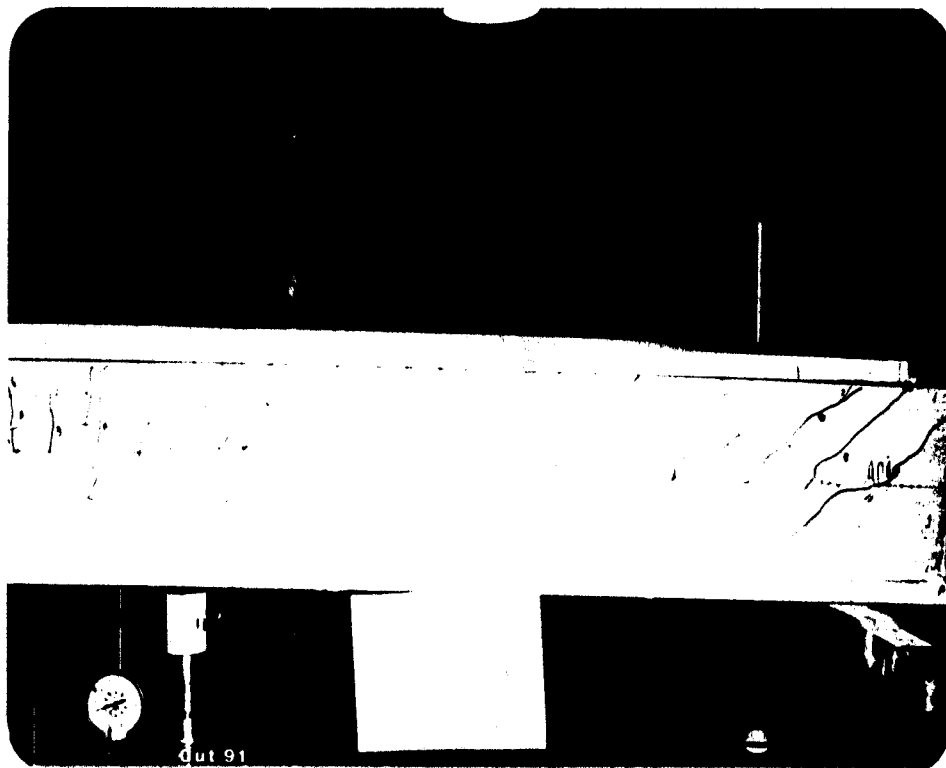
FOTOGRAFIA 6.10 - INCLINAÇÕES DAS FISSURAS - MODELOS SÉRIE 3



FOTOGRAFIA 6.11 - INCLINAÇÕES DAS FISSURAS DO MODELO 3/3



FOTOGRAFIA 6.12 - INCLINAÇÕES DAS FISSURAS - MODELOS SÉRIE 1



FOTOGRAFIA 6.13 - INCLINAÇÕES DAS FISSURAS DO MODELO 1/3

d) Os valores experimentais de θ apresentam tendência de redução com o acréscimo do carregamento nos três modelos, sendo que para o modelo 1/3 esta tendência foi bem mais acentuada do que para os outros modelos;

e) As tendências mencionadas no item d) foram contrárias a todos os valores teóricos e aos valores teórico-experimentais dos modelos 2/3 e 3/3. Esta discrepância indica que não existe uma fidelidade dos ângulos θ calculados teoricamente, com os obtidos experimentalmente. Deve-se observar que o coeficiente de correlação linear da regressão dos valores experimentais para o modelo 2/3, foi de pouca precisão, ou seja 0,65. Já para os modelos 1/3 e 3/3 foram de 0,99 e 0,88 respectivamente;

f) Pensando então apenas nos valores médios de θ , percebe-se que os valores teórico-experimentais indicam valores muito

baixos entre 20° e 30°. Em seguida aparecem os valores teóricos, um pouco mais altos na faixa de 35° e que se aproximam mais dos valores de θ experimentais que ficaram entre 40° e 45°. FUSCO [1982]⁴² já havia afirmado, baseado em resultados experimentais para o concreto armado que, almas delgadas mobilizam inclinações das bielas entre 38° e 45°, o que se confirma para os modelos de argamassa armada. Mais uma vez se nota uma palpável diferença entre os valores experimentais e teóricos destas tabelas;

g) Examinando, além das tabelas 6.42, 6.43 e 6.44, os valores experimentais de θ apresentados no Anexo 1, observou-se que, embora no concreto armado, como indicado por FUSCO [1982]⁴², as bielas sejam menos inclinadas em alma espessa, no caso dos modelos aqui ensaiados na Seção 2, aconteceu o contrário como indicado a seguir:

- vigas com $b_w = 2,5$ cm: $\bar{\theta} = 39^\circ$
- vigas com $b_w = 4,0$ cm: $\bar{\theta} = 42^\circ$

onde:

$\bar{\theta}$ = média dos valores médios de θ nos modelos considerados.

Deve ser observado que as vigas ensaiadas eram de argamassa armada e portanto as almas eram delgadas, como indicado a seguir:

- vigas com $b_w = 2,5$ cm: $b_w/b_{fe} = 1/6$
- vigas com $b_w = 4,0$ cm: $b_w/b_{fe} = 1/3,7$

h) Comparando as tensões normais das bielas $\sigma_{c\theta}$ nos estágios mais elevados do carregamento com as inclinações médias das fissuras θ , ou seja, examinando as tabelas de 6.17 a 6.22, de 6.42 a 6.44 e o Anexo 1, pode-se indicar os valores constantes na tabela 6.45.

A tabela 6.45 mostra que para a argamassa armada, a tensão $\sigma_{c\theta}$ não obedece à equação 2.26 do item 2.1.2.2 como ocorre com o concreto armado, indicado em FUSCO [1982]⁴². Um exame apenas dos ângulos θ desta tabela, mostra que estes são maiores para os modelos armados com estribos.

TABELA 6.45
INFLUÊNCIA DE θ SOBRE $\sigma_{c\theta}$

| MODELO | θ (°) | $\sigma_{c\theta}$ |
|--------|--------------|--------------------|
| 3/3 | 42,8 | 3,1. τ_0 |
| 1/3 | 41,8 | 2,3. τ_0 |
| 1/1 | 38,5 | 3,0. τ_0 |
| 1/2 | 36,2 | 2,2. τ_0 |

6.3.3 ESTADO LIMITE DE DEFORMAÇÕES EXCESSIVAS

A tabela 6.46 apresenta os valores em mm dos deslocamentos verticais teóricos v ($v_M + v_V$) no meio do vão (v_M devidos à flexão, baseados nas equações de PINHEIRO citado em GIONGO [1990]⁶ e v_V devidos à força cortante no meio do vão para $V = 20$ kN, calculados com as equações 3.60 e 3.63 dos itens 3.2.3.2 e 3.2.4) para ações de curta duração, em confronto com valores experimentais de v obtidos dos ensaios. São apresentadas duas colunas teóricas, uma para v calculado de acordo com a NBR 11.173 [1990]¹ da ABNT com $\tau_w = V/(b_w \cdot d)$ e outra com valores de v calculados com $\tau_0 = V/(b_w \cdot z)$.

A seguir são apresentadas algumas observações sobre a tabela.

- a) Os valores teóricos dos deslocamentos calculados com τ_w ficaram bem próximos dos valores teóricos calculados com τ_0 porém estes valores calculados com τ_0 aproximaram-se mais dos valores experimentais;
- b) Os valores teóricos ficaram sempre acima dos experimentais, com relação experimental/teórico entre 0,57 e 0,90;
- c) Para o mesmo valor da distância da força concentrada vertical F ao centro do apoio a , ou seja, os modelos das

Séries 1 e 3, os que tiveram menor deslocamentos foram os de maior altura h (Série 3), como era de se esperar;

TABELA 6.46
COMPARAÇÃO DOS DESLOCAMENTOS v EM mm NO MEIO
DO VÃO CONSIDERANDO A FLEXÃO (v_M) E O
CISALHAMENTO (v_V) PARA $V = 20$ kN

| MODELO | ABNT | TEO. | EXP. | EX/TE |
|--------|-------|-------|-------|-------|
| 1/1 | 12,41 | 12,37 | 10,07 | 0,81 |
| 1/2 | 11,89 | 11,86 | 10,70 | 0,90 |
| 1/3 | 12,21 | 12,19 | 9,54 | 0,78 |
| 1B/1 | 7,06 | 7,04 | 4,03 | 0,57 |
| 1B/2 | 4,39 | 4,38 | 3,47 | 0,79 |
| 1B/3 | 3,44 | 3,43 | 3,14 | 0,92 |
| 2/1 | 8,28 | 8,24 | 6,62 | 0,80 |
| 2/2 | 8,55 | 8,50 | 5,86 | 0,69 |
| 2/3 | 7,13 | 8,11 | 6,10 | 0,75 |
| 3/1 | 5,38 | 5,35 | 4,14 | 0,77 |
| 3/2 | 5,59 | 5,55 | 3,75 | 0,68 |
| 3/3 | 5,77 | 5,75 | 4,00 | 0,70 |

$$\text{ABNT: } \tau_w = V/(b_w \cdot d)$$

$$\text{TEO.: } \tau_o = V/(b_w \cdot z)$$

d) Para a mesma rigidez da alma (modelos das Séries 1 e 1B), os que tiveram menor valor do deslocamento, foram os de menor distância a de aplicação da força F ao apoio, também como era de se esperar;

e) Os modelos de maior armadura transversal em geral, tiveram menor deslocamento v com excessão do modelo 1/2 em relação ao modelo 1/1. Uma justificativa para este fato pode ter sido a influência da grande resistência à compressão da argamassa do modelo 1/1 que, devido ao menor fator água-cimento de 0,53, alcançou 44 MPa, bem superior aos outros modelos;

f) Os modelos da Série 1 foram os que tiveram maior relação média experimental/teórico, cerca de 0,83, enquanto os

modelos da Série 3, a mais baixa relação média, na faixa de 0,72, o que mostrou não haver grandes variações entre os resultados entre séries.

As tabelas de números 6.47 a 6.52 apresentam os deslocamentos teóricos, no meio do vão, devidos à flexão v_M ao lado de deslocamentos devidos à força cortante v_V calculados com as mesmas equações citadas na tabela anterior, bem como, o deslocamento total ($v = v_M + v_V$), por etapa de carregamento. São apresentados também os valores experimentais de v_{exp} obtidos de cada etapa dos ensaios, bem como, as relações v_V/v e v_{exp}/v . Cada tabela contém dados para um modelo individual; no caso foram analisados os modelos 1/1, 1/2, 1/3, 1B/3, 2/3 e 3/3, respectivamente.

Observe-se que para o Estádio I foi utilizada a equação 3.50 do item 3.2.2.

A tabela 6.49, em particular, apresenta também além dos resultados já comentados, valores teórico-experimentais calculados com o programa ECCALC para o modelo 1/3. A figura 6.18 ilustra um diagrama com resultados teóricos da tabela 6.49 em confronto com resultados experimentais. Estes resultados teóricos do deslocamento total v em linha interrompida, são subdivididos em mais duas linhas que representam v_M e v_V .

A figura 6.19 apresenta os diagramas dos deslocamentos experimentais no meio do vão, contra a força cortante, para todos os seis modelos em conjunto, citados nas tabelas de deslocamentos.

Observando-se as tabelas e as figuras, pode-se fazer os seguintes comentários:

a) Observe-se a grande influência dos deslocamentos verticais devidos à força cortante, principalmente nos estágios mais avançados do carregamento, quando chegaram a mais de 21% do deslocamento total no modelo 3/3 (maior altura h). Esta influência foi menor no modelo 2/3 (alma mais espessa), quando para estágios mais elevados do carregamento ficou quase 13% do deslocamento total;

b) A influência da força cortante no deslocamento vertical é menor para carregamentos menores (Estádio I), chegando a um mínimo de 5,4% para o modelo 2/3 com a força cortante de 2,5 kN e um máximo de 12,4% para o modelo 3/3 com carregamento de 5 kN;

TABELA 6.47
DESLOCAMENTO VERTICAL NO MEIO DO VÃO
(LEVANDO EM CONTA O CISALHAMENTO) - MODELO 1/1

| FORÇA CORTANTE (kN) | DESLOCAMENTO (mm) | | | | | EXP. | EXP. / TEO. |
|-------------------------------|-------------------|----------|--------|-------|---------|-------|-------------------|
| | TEÓRICO | | | | COR/TOT | | |
| | FLEXÃO | CORTANTE | TOTAL | | | | |
| 2,500 | 0,550 | 0,049 | 0,599 | 0,082 | 0,510 | 0,851 | |
| 5,000 | 1,101 | 0,098 | 1,199 | 0,082 | 0,990 | 0,826 | |
| 10,000 | 2,202 | 0,196 | 2,398 | 0,082 | 3,460 | 1,443 | |
| 12,500 | 2,752 | 0,245 | 2,997 | 0,082 | 5,040 | 1,682 | |
| 15,000 | 7,878 | 1,119 | 8,997 | 0,124 | 6,760 | 0,751 | |
| 20,000 | 10,505 | 1,864 | 12,369 | 0,151 | 10,070 | 0,814 | |
| 30,000 | 15,757 | 3,569 | 19,325 | 0,185 | 17,070 | 0,883 | |
| 35,000 | 18,383 | 4,468 | 22,851 | 0,196 | 21,150 | 0,926 | |
| Média | | | | 0,123 | | 1,022 | |

TABELA 6.48
DESLOCAMENTO VERTICAL NO MEIO DO VÃO
(LEVANDO EM CONTA O CISALHAMENTO) - MODELO 1/2

| FORÇA CORTANTE (kN) | DESLOCAMENTO (mm) | | | | | EXP. | EXP. / TEO. |
|-------------------------------|-------------------|----------|--------|-------|---------|-------|-------------------|
| | TEÓRICO | | | | COR/TOT | | |
| | FLEXÃO | CORTANTE | TOTAL | | | | |
| 2,500 | 0,559 | 0,049 | 0,608 | 0,081 | 0,700 | 1,151 | |
| 5,000 | 1,118 | 0,098 | 1,216 | 0,081 | 1,180 | 0,970 | |
| 7,500 | 1,676 | 0,147 | 1,824 | 0,081 | 2,450 | 1,343 | |
| 10,000 | 2,235 | 0,197 | 2,432 | 0,081 | 3,910 | 1,608 | |
| 12,500 | 2,794 | 0,246 | 3,040 | 0,081 | 5,600 | 1,842 | |
| 15,000 | 7,770 | 0,947 | 8,717 | 0,109 | 7,200 | 0,826 | |
| 20,000 | 10,360 | 1,504 | 11,863 | 0,127 | 10,700 | 0,902 | |
| 30,000 | 15,540 | 2,755 | 18,294 | 0,151 | 19,180 | 1,048 | |
| 35,000 | 18,129 | 3,410 | 21,539 | 0,158 | 25,290 | 1,174 | |
| 38,000 | 19,683 | 3,808 | 23,492 | 0,162 | 33,890 | 1,443 | |
| Média | | | | 0,111 | | 1,231 | |

TABELA 6.49

DESLOCAMENTO VERTICAL NO MEIO DO VÃO
(LEVANDO EM CONTA O CISALHAMENTO)
MODELO 1/3

| FORÇA (kN) | DESLOCAMENTO (mm) | | | | | | | | | | | |
|---------------|-------------------|----------|--------|---------|---------|----------|--------|---------|--------|-------|-------|--|
| | TEÓRICO | | | | TEO-EXP | | | | EXP | E/TEO | E/T-E | |
| | FLEXÃO | CORTANTE | TOTAL | COR/TOT | FLEXÃO | CORTANTE | TOTAL | COR/TOT | | | | |
| 2,500 | 0,602 | 0,053 | 0,655 | 0,081 | 0,602 | 0,053 | 0,655 | 0,081 | 0,510 | 0,779 | 0,779 | |
| 3,800 | 0,947 | 0,083 | 1,030 | 0,081 | 0,947 | 0,083 | 1,030 | 0,081 | | | | |
| 5,000 | 2,701 | 0,384 | 3,085 | 0,124 | 1,748 | 0,211 | 1,959 | 0,108 | 0,990 | 0,321 | 0,505 | |
| 10,000 | 5,402 | 0,545 | 5,947 | 0,092 | 5,294 | 0,813 | 6,107 | 0,133 | 3,420 | 0,575 | 0,560 | |
| 12,500 | 6,752 | 0,694 | 7,446 | 0,093 | 6,908 | 1,100 | 8,008 | 0,137 | 4,990 | 0,670 | 0,623 | |
| 15,000 | 8,103 | 0,899 | 9,002 | 0,100 | 8,397 | 1,184 | 9,581 | 0,124 | 6,450 | 0,717 | 0,673 | |
| 20,000 | 10,804 | 1,383 | 12,187 | 0,113 | 11,313 | 1,395 | 12,708 | 0,110 | 9,540 | 0,783 | 0,751 | |
| 30,000 | 16,205 | 2,462 | 18,667 | 0,132 | 17,030 | 2,150 | 19,180 | 0,112 | 15,760 | 0,844 | 0,822 | |
| 40,000 | 21,607 | 3,599 | 25,206 | 0,143 | 18,170 | 4,560 | 22,730 | 0,201 | 25,920 | 1,028 | 1,140 | |
| Média | | | | 0,107 | | | | 0,121 | | 0,715 | 0,732 | |

DESLOCAMENTO VERTICAL
NO MEIO DO VÃO
MODELO 1/3

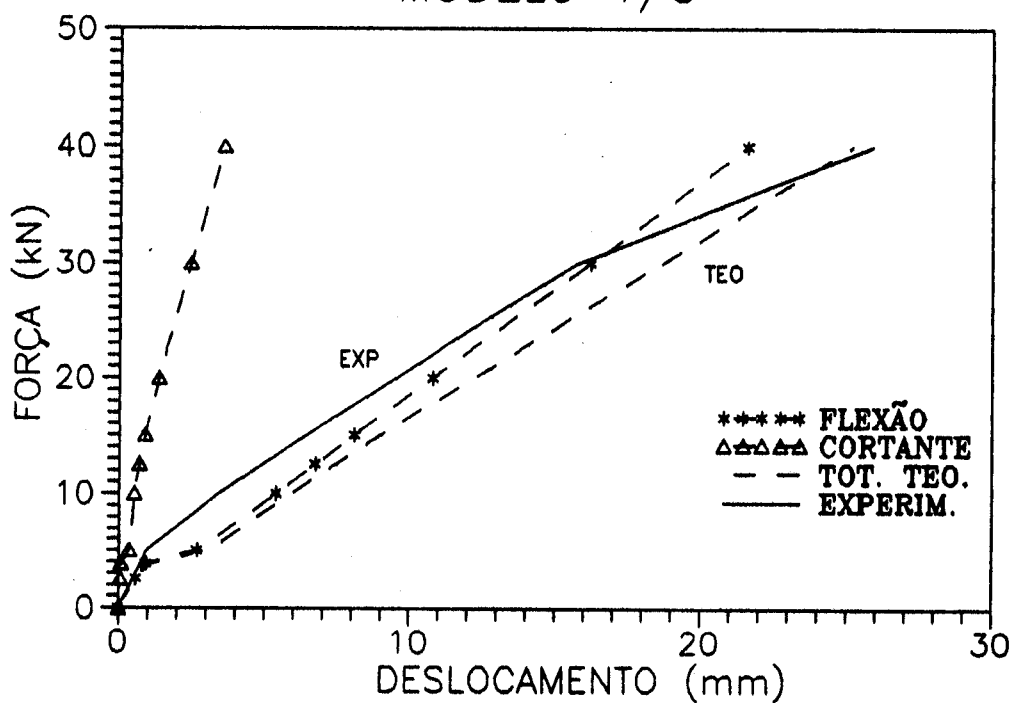


FIGURA 6.18 - DESL. VERTICAL NO MEIO DO VÃO - MOD. 1/3

TABELA 6.50
DESLOCAMENTO VERTICAL NO MEIO DO VÃO
(LEVANDO EM CONTA O CISALHAMENTO)
MODELO 1B/3

| FORÇA CORTANTE (kN) | DESLOCAMENTO (mm) | | | | | |
|-------------------------------|-------------------|----------|--------|---------|--------|-------|
| | TEÓRICO | | | | EXP. | E/TEO |
| | FLEXÃO | CORTANTE | TOTAL | COR/TOT | | |
| 2,500 | 0,401 | 0,023 | 0,423 | 0,054 | 0,270 | 0,638 |
| 5,000 | 0,801 | 0,045 | 0,846 | 0,054 | 0,450 | 0,532 |
| 7,500 | 1,202 | 0,068 | 1,270 | 0,054 | 0,680 | 0,536 |
| 10,000 | 1,602 | 0,091 | 1,693 | 0,054 | 0,920 | 0,543 |
| 12,500 | 2,003 | 0,113 | 2,116 | 0,054 | 1,180 | 0,558 |
| 15,000 | 5,617 | 0,404 | 6,021 | 0,067 | 1,520 | 0,252 |
| 20,000 | 7,490 | 0,625 | 8,115 | 0,077 | 3,140 | 0,387 |
| 30,000 | 11,234 | 1,241 | 12,476 | 0,100 | 6,380 | 0,511 |
| 40,000 | 14,979 | 1,940 | 16,919 | 0,115 | 9,470 | 0,560 |
| 50,000 | 18,724 | 2,672 | 21,396 | 0,125 | 12,610 | 0,589 |
| 60,000 | 22,469 | 3,422 | 25,891 | 0,132 | 16,080 | 0,621 |
| Média | | | | 0,080 | | 0,521 |

TABELA 6.51
DESLOCAMENTO VERTICAL NO MEIO DO VÃO
(LEVANDO EM CONTA O CISALHAMENTO)
MODELO 2/3

| FORÇA CORTANTE (kN) | DESLOCAMENTO (mm) | | | | | |
|-------------------------------|-------------------|----------|--------|---------|--------|-------|
| | TEÓRICO | | | | EXP. | E/TEO |
| | FLEXÃO | CORTANTE | TOTAL | COR/TOT | | |
| 2,500 | 0,401 | 0,023 | 0,423 | 0,054 | 0,400 | 0,945 |
| 5,000 | 0,801 | 0,045 | 0,846 | 0,054 | 0,720 | 0,851 |
| 7,500 | 1,202 | 0,068 | 1,270 | 0,054 | 1,090 | 0,858 |
| 10,000 | 1,602 | 0,091 | 1,693 | 0,054 | 1,660 | 0,981 |
| 12,500 | 4,681 | 0,359 | 5,040 | 0,071 | 2,600 | 0,516 |
| 15,000 | 5,617 | 0,404 | 6,021 | 0,067 | 3,750 | 0,623 |
| 20,000 | 7,490 | 0,625 | 8,115 | 0,077 | 6,100 | 0,752 |
| 30,000 | 11,234 | 1,241 | 12,476 | 0,100 | 10,730 | 0,860 |
| 40,000 | 14,979 | 1,940 | 16,919 | 0,115 | 15,730 | 0,930 |
| 50,000 | 18,724 | 2,672 | 21,396 | 0,125 | 21,450 | 1,003 |
| 55,000 | 20,596 | 3,046 | 23,642 | 0,129 | 28,680 | 1,213 |
| Média | | | | 0,082 | | 0,866 |

TABELA 6.52
 DESLOCAMENTO VERTICAL NO MEIO DO VÃO
 (LEVANDO EM CONTA O CISCALHAMENTO)
 MODELO 3/3

| FORÇA CORTANTE (kN) | DESLOCAMENTO (mm) | | | | | |
|---------------------------|-------------------|----------|--------|---------|--------|-------|
| | TEÓRICO | | | | EXP. | E/TEO |
| | FLEXÃO | CORTANTE | TOTAL | COR/TOT | | |
| 5,000 | 0,541 | 0,076 | 0,617 | 0,124 | 0,530 | 0,859 |
| 10,000 | 1,081 | 0,153 | 1,234 | 0,124 | 1,510 | 1,224 |
| 15,000 | 3,638 | 0,569 | 4,207 | 0,135 | 2,350 | 0,559 |
| 20,000 | 4,851 | 0,824 | 5,675 | 0,145 | 4,000 | 0,705 |
| 30,000 | 7,277 | 1,504 | 8,781 | 0,171 | 7,290 | 0,830 |
| 40,000 | 9,702 | 2,264 | 11,966 | 0,189 | 10,720 | 0,896 |
| 50,000 | 12,128 | 3,054 | 15,182 | 0,201 | 14,540 | 0,958 |
| 60,000 | 14,553 | 3,860 | 18,413 | 0,210 | 21,930 | 1,191 |
| 65,000 | 15,766 | 4,267 | 20,033 | 0,213 | 30,810 | 1,538 |
| Média | | | | 0,168 | | 0,973 |

DESLOCAMENTO VERTICAL
 NO MEIO DO VÃO

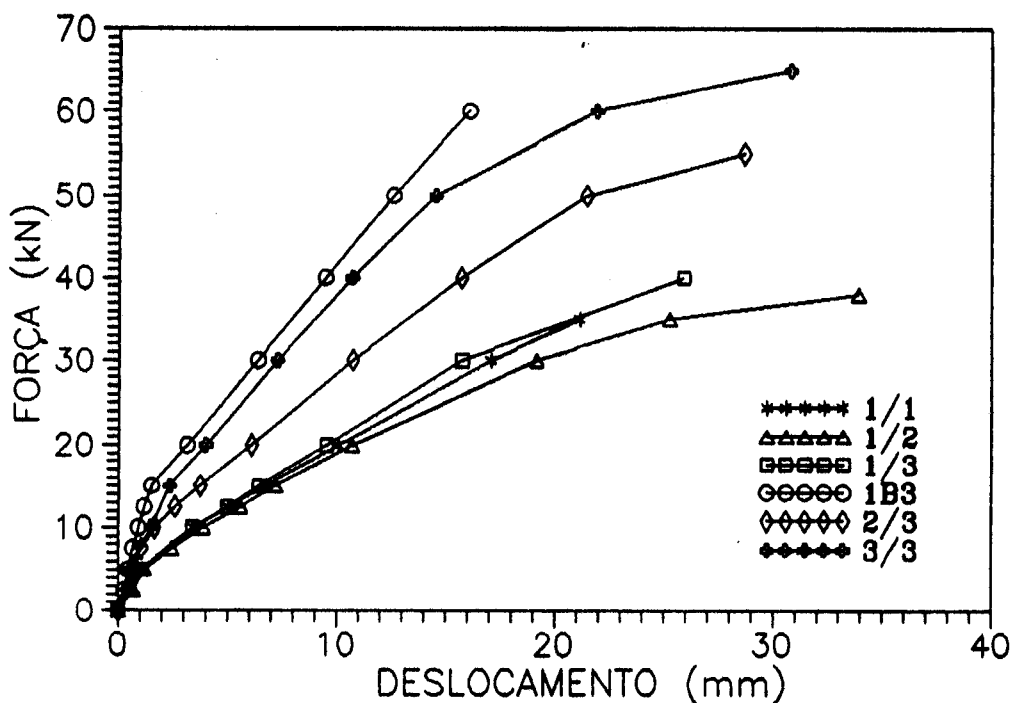


FIGURA 6.19 - DESLOCAMENTO VERTICAL NO MEIO DO VÃO

c) Nos modelos 1/2, 1/3, 2/3 e 3/3, os deslocamentos experimentais no Estádio II só ultrapassaram os teóricos para carregamentos próximos à ruptura, o que indica a influência do escoamento do aço, não considerado nos cálculos teóricos do Estádio II. A figura 6.18 ilustra esta observação para o modelo 1/3;

d) O modelo 1B/3 ficou com deslocamentos experimentais durante todo o carregamento, abaixo dos teóricos (52% em média). Isto indica a forte influência da posição da carga a nos deslocamentos;

e) Na figura 6.19, para todos os modelos, os deslocamentos experimentais são pequenos antes da fissuração, quando o momento de inércia é bem maior. Após o início da fissuração, os deslocamentos são mais acentuados mas seguem mais ou menos uma linha reta. Após o escoamento da armadura, estes deslocamentos são bastantes acentuados, devido às grandes deformações;

f) Os valores teórico-experimentais calculados com o programa ECCALC na tabela 6.49 para o modelo 1/3, estão bastante próximos dos valores teóricos porém um pouco acima dos mesmos;

g) Os deslocamentos experimentais indicados na tabela 6.49 para o modelo 1/3, atingiram em média 71,5% dos deslocamentos teóricos e 73,2% dos deslocamentos teórico-experimentais, o que indica um discreto aumento da precisão quando são usados os cálculos através do programa ECCALC.

7. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

7.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Neste capítulo, são apresentadas as conclusões baseadas nos comentários feitos na fase de Análise dos Resultados. As conclusões, embora tenham se restringido apenas às vigas ora ensaiadas, servem de referência para outras pesquisas na área, bem como, para projetos semelhantes de vigas de argamassa armada. Na segunda parte do capítulo, foram feitas sugestões para projetos, novas pesquisas e normalização, baseadas na análise e nas conclusões.

7.2 RESUMO DAS CONCLUSÕES

7.2.1 ESFORÇOS SOLICITANTES E TENSÕES

A seguir são apresentadas algumas conclusões sobre a análise feita no capítulo 6:

7.2.1.1 Esforço Cortante Resistente (V_u)

- Os cálculos teóricos do esforço cortante resistente (Estado Limite Último) feitos com as equações estudadas no capítulo 2, com o auxílio do programa AECALC, se mostraram coerentes, tendo sido tanto mais precisos, quanto mais dados experimentais sobre os materiais eram conhecidos. (tabelas 6.1 e 6.2 do item 6.2.1);

- Os cálculos de V_u com equações do CEB-90⁵ ficaram em média, acima e mais próximos dos experimentais. Os cálculos de acordo com a NBR 11.173¹ mostraram-se satisfatórios onde os valores de V_u atingiram 57% dos valores experimentais em média, como se pode constatar na tabela 6.4. Deve-se observar que todos os coeficientes de minoração das resistências dos materiais e de segurança dos esforços foram considerados unitários, para efeito de comparação dos cálculos teóricos com os experimentais.

7.2.1.2 Tensões de Cisalhamento no Estádio I (τ_0)

Para os casos em que seja preciso utilizar o regime elástico, os cálculos como peças delgadas (para relações $h/b_w > 10$), se mostraram mais precisos do que aqueles feitos com as equações da teoria da resistência dos materiais, embora essa diferença tenha sido pequena. Deve-se

observar que de acordo com as tabelas 6.5, 6.6 e 6.7 do item 6.2.3, apenas o modelo 3/2 com mais telas na alma, obteve cálculos teóricos abaixo dos experimentais. Isto confirma as suposições de que antes da fissuração, a quantidade de armadura influi na tensão de cisalhamento τ_0 .

7.2.1.3 Tensões na Armadura Transversal (σ_{tt})

- A análise dos valores experimentais de σ_{tt} para os modelos desta pesquisa concorda com as observações feitas para o concreto armado citadas em FUSCO [1982]⁴² e LEONHARDT & MÖNNIG [1977]³⁹, tais como: teoria da treliça generalizada, efeito de arco e variação da espessura da alma (b_w);

- As tensões medidas experimentalmente ficaram bem abaixo das tensões teóricas calculadas pela treliça generalizada. Isto pode indicar a participação favorável das partes comprimidas na resistência à força cortante da argamassa armada, talvez devido à concentração de armadura na alma e na mesa comprimida, o que merece uma investigação mais detalhada por parte de futuros pesquisadores.

7.2.1.4 Tensões na Biela Comprimida ($\sigma_{c\theta}$)

- As observações feitas a respeito de $\sigma_{c\theta}$ para o concreto armado em FUSCO [1982]⁴² e LEONHARDT & MÖNNIG [1977]³⁹, tais como, efeito de arco e efeito da espessura da alma b_w , foram também observadas nas vigas de argamassa armada ora ensaiadas;

- Não foi notada redução significativa das resistências das bielas comprimidas devido as armaduras que as atravessam para os modelos de argamassa armada ensaiados em geral. Apenas para concentrações maiores de armadura (3 telas na alma), este efeito pode ser ligeiramente observado (modelos 1/2 e 1B/2).

- Os valores experimentais de $\sigma_{c\theta}$ medidos nas etapas mais elevadas foram em geral bem maiores que os valores teóricos. Isto pode ter ocorrido devido a uma possível desagregação parcial da seção diagonal resistente, como consequência da fissuração, conforme comentários do item 6.2.5 (figura 6.9) deste trabalho e de FUSCO [1982]⁴², indicando que, para $\sigma_{c\theta}$, não são respeitadas as hipóteses da treliça clássica.

7.2.1.5 Efeito de Arco

- O efeito de arco ficou bem caracterizado nas vigas de argamassa armada, obedecendo ao que foi observado no item 2.1.2.4;

- Especificamente para o modelo 1B/3, observou-se uma forte influência da distância a da força vertical concentrada aplicada ao apoio, onde a força cortante absorvida pela inclinação do banzo comprimido no efeito de arco, chegou a 65% da força cortante total, indicando que apenas 40% da força cortante reduzida prescrita pela NBR 6118² foi efetivamente utilizada, conforme item 6.2.7 deste trabalho.

7.2.2 ESTADOS LIMITES DE UTILIZAÇÃO

7.2.2.1 Força Cortante de Fissuração (V_r)

- A expressão do CEB-90⁵ para o cálculo de V_r , foi a que mais se aproximou dos valores experimentais;

- A expressão adaptada de MANSUR & ONG [1987]⁴⁵ pode servir de base para projetos de vigas de argamassa armada semelhantes às ensaiadas nesta pesquisa.

7.2.2.2 Fissuras de Cisalhamento (w_w)

- A utilização do fator $k_\theta = 2$ ($\theta = 45^\circ \rightarrow$ Treliça de Mörsch) para o cálculo da abertura de fissuras usando as equações da NBR 11.173¹ se mostrou inadequada, levando a valores altos para w_w . No ítem de sugestões deste capítulo, apresenta-se uma proposta mais elaborada para este fator;
- As expressões adaptadas do ACI, utilizando o fator $k_\theta = f(\theta)$ e $\sigma_s = 0,8 \cdot \sigma_{tt}$ indicados por LEONHARDT [1979]⁵², bem como, eliminando o fator β_d (válido somente para a flexão), foram as que mais se aproximaram dos valores experimentais de w_w ;
- O valor médio de σ_{tt} que provocou abertura de fissuras de 0,15 mm (limite da NBR 11.173¹) na Seção 2, foi de 279 MPa, apenas 30% do valor da resistência última experimental da armadura da tela;
- A evolução das aberturas de fissuras de cisalhamento com o valor do carregamento, segue a mesma curva observada para o concreto armado como indicado pelo CEB-90⁵ nas figura 3.6 do ítem 3.1.5.4;
- Não existe uma fidelidade dos ângulos θ de inclinação das fissuras experimentais com os valores teóricos calculados conforme as equações da treliça generalizada e de banzos paralelos.
- A relação das inclinações das bielas com as espessuras das almas não seguiu o que foi preconizado em FUSCO [1982]⁴²;
- Os valores da tensão $\sigma_{c\theta}$ não foram inversamente proporcionais ao ângulo θ , como indica a teoria da treliça de banzos paralelos através da equação 2.26 do ítem 2.1.2.2;
- As condições prescritas pela NBR 11.173¹, para espaçamentos de fissuras, se adaptam apenas às fissuras de flexão, tendo em vista que, na alma as fissuras são inclinadas, não havendo paralelismo entre as mesmas e os espaçamentos dos fios da tela que são horizontais e verticais.

7.2.2.3 Deslocamentos Verticais no Meio do Vão

- Os valores teóricos dos deslocamentos verticais no meio do vão, calculados levando em consideração a força cortante, ficaram sempre acima dos experimentais cerca 31% em média, conforme tabela 6.46 do item 6.3.3. Somente para carregamentos próximos à ruína esta situação se inverteu devido ao escoamento do aço;
- Os deslocamentos verticais teóricos no meio do vão devidos à força cortante, têm boa influência nos deslocamentos totais, chegando em alguns casos a 20% deste total nos estágios mais avançados do carregamento;
- A posição da força concentrada vertical (distância a do apoio) teve grande influência nos deslocamentos, sendo que, para os modelos da série 1B, os valores experimentais ficaram em média, 50% dos valores teóricos;
- As curvas de deslocamento da figura 6.19 mostram maior rigidez das peças antes da primeira fissura, uma tendência linear mais acentuada após a formação das fissuras e grandes deslocamentos após o escoamento do aço.

7.3 SUGESTÕES

7.3.1 APRESENTAÇÃO

Neste ítem, são feitas sugestões de ordem geral, bem como, estudos estatísticos para determinação de parâmetros de cisalhamento que se aproximem mais dos valores experimentais obtidos nos ensaios e que sirvam de base para novas pesquisas, projetos e normas de vigas de argamassa armada.

7.3.2 TENSÃO NA ARMADURA TRANSVERSAL (σ_{tt})

Sugere-se a novos pesquisadores, ensaiar vigas que mantendo a mesma taxa de armadura transversal (ρ_w), variem parâmetros como b_w , h e a , de modo que, alterando apenas um desses referidos parâmetros de cada vez, se possa analisar seus efeitos sobre a tensão na armadura transversal (σ_{tt}).

7.3.3 BRAÇO DE ALAVANCA DE REFERÊNCIA (z)

A NBR 6118² indica a relação $z = d/1,15$ para representar o braço de alavanca no cálculo do cisalhamento (Estádio II) através da treliça de Morsch.

Como já comentado nos itens 2.1.2.5 e 2.2.1.3 deste trabalho, z pode ser calculado de modo bem preciso, pelo programa AECALC como foi feito para os modelos aqui ensaiados.

Pode-se também sugerir um valor para vigas de argamassa armada, baseado nos ensaios ora realizados, através de levantamentos estatísticos dos resultados teórico-experimentais obtidos do programa ECCALC. Assim, em vez do valor 1,15 utilizado para o concreto armado, determina-se um valor que se adapte a projetos e a normalização para as referidas vigas de argamassa armada.

TABELA 7.1
VALORES DE d/z

| FORÇA (kN) | MODELOS | | | | | | | | |
|---------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1/1 | 1/2 | 1/3 | 2/1 | 2/2 | 2/3 | 3/1 | 3/2 | 3/3 |
| 20,000 | 1,084 | 1,017 | 1,093 | 1,111 | 1,110 | 1,128 | 1,080 | 1,088 | 1,082 |
| 30,000 | 1,083 | 1,095 | 1,173 | 1,101 | 1,100 | 1,108 | 1,081 | 1,078 | 1,080 |
| 40,000 | 1,084 | - | 1,093 | 1,094 | 1,096 | 1,101 | 1,084 | 1,076 | 1,080 |
| 50,000 | - | - | - | 1,086 | 1,095 | 1,094 | 1,079 | 1,077 | 1,077 |
| 60,000 | - | - | - | - | 1,044 | - | - | 1,070 | 1,060 |

MÉDIA GERAL $(d/z)_m = 1,0881$
 DESVIO PADRÃO $(s) = 0,0243$
 DESVIO RELATIVO $(\delta) = 0,0223$

A tabela 7.1 apresenta valores das relações d/z para modelos das Séries 1, 2 e 3 na Seção 2, para diversos estágios de carregamento, das peças fissuradas.

Aplicando o critério de Chauvenet, obtém-se os seguintes desvios máximos admissíveis.

$$1,035 \leq (d/z)_m \leq 1,141$$

Descartando os valores fora do intervalo, obtém-se novos valores para $(d/z)_m$, s e δ :

$$(d/z)_m = 1,0876 \quad s = 0,01555 \quad \delta = 0,01430$$

Deste modo, para vigas de argamassa em duplo T semelhantes às que foram ensaiadas nesta pesquisa, sugere-se adotar:

$$z = d/1,09 \tag{7.1}$$

Deve ser observado que este maior valor de z obtido em relação ao utilizado pela NBR 6118²

($z = d/1,15$), foi grandemente influenciado pela forma da seção transversal em duplo T e de paredes delgadas.

7.3.4 TENSÃO CONVENCIONAL DE CISALHAMENTO (τ_w)

O Anexo da NBR 7197⁴⁹ que altera dispositivos da NBR 6118² indica para a tensão de cisalhamento de referência última, o seguinte valor de acordo com a equação 2.61 do item 2.2.1.2.

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

HANAI [1981]⁷ sugere alterações nesse critério de resistência para a argamassa armada devido ao possível efeito negativo das telas ao longo das bielas comprimidas, que podem ser feitas de acordo com o raciocínio apresentado a seguir.

Desenvolvendo a equação 2.61, obtém-se:

$$\tau_{wu} = 0,30 \cdot f_{cd} = 0,30 \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

Em vez de 0,30, deve-se procurar um coeficiente α a ser determinado, de modo que:

$$\tau_{wu} = \alpha \cdot f_{cd} \tag{7.2}$$

Explicitando α , obtém-se:

$$\alpha = \frac{\tau_{wu}}{f_{cd}} \tag{7.3}$$

De acordo com a relação d/z encontrada no item 7.3.3, pode-se escrever:

$$\tau_{wu} = \frac{\tau_{0u}}{1,088}$$

Substituindo-se τ_{wu} na equação 7.3, encontra-se:

$$\alpha = \frac{\tau_{0u}}{1,088 \cdot f_{cd}} \quad (7.4)$$

O valor da tensão de cisalhamento última τ_{0u} pode ser determinado através de resultados experimentais, de acordo com a equação 2.26 do item 2.1.2.2 b). Desta equação, explicita-se τ_0 obtendo-se para τ_{0u} :

$$\tau_{0u} = \frac{\sigma_{c\theta,u} \cdot \text{sen } 2\theta}{2} \quad (7.5)$$

onde:

$\sigma_{c\theta,u}$ = valor último da tensão na biela comprimida para uma etapa antes da ruptura, determinada conforme a equação 6.2 do item 6.2.5.

Apesar de terem sido ensaiados doze modelos, nenhum deles rompeu por compressão da biela nas zonas instrumentadas com rosetas, o que impossibilitou a determinação de valores últimos de $\sigma_{c\theta}$.

Sugere-se a novos pesquisadores da área, projetar modelos que rompam por compressão da biela nas zonas devidamente instrumentadas com rosetas. Para isso, as vigas devem ser convenientemente dimensionadas, de modo que a ruptura não ocorra nem por flexão nem por tração da armadura transversal.

Com esses valores de τ_{0u} e α obtém-se então a condição:

$$\tau_{wu} = \alpha \cdot f_{cd} \leq \frac{\tau_{0u}}{1,088} \quad (7.6)$$

Os resultados obtidos com a equação 7.6 deverão ser comparados com a afirmação de HANAI [1981]⁷, que como já mencionado anteriormente, alerta que para argamassa armada, devido à maior quantidade de armadura na alma, constituída de telas, deve-se considerar o efeito desfavorável das mesmas ao longo das bielas de compressão. A

partir desses referidos resultados, podem também ser sugeridas modificações para a norma brasileira NBR 11.173¹. Lembre-se que o limite $\tau_{0u}/1,088$ correspondente a 4,5 MPa da norma brasileira, de acordo com AMARAL [1974]⁴⁴, é devido à não proporcionalidade entre τ_{0u} e f_{cd} para concretos de alta resistência.

7.3.5 VALOR REDUZIDO DA TENSÃO DE CISALHAMENTO (τ_d)

Como já comentado no item 2.2.1.2, a tensão reduzida de cisalhamento (τ_d), conforme o Anexo da NBR 7197⁴⁹ que altera dispositivos da NBR 6118², pode ser obtida através das equações 2.63 e 2.64 reescritas a seguir :

$$\tau_d = 1,15 \cdot \tau_{wd} - \tau_c$$

onde:

$$\tau_c = \psi_1 \cdot \sqrt{f_{ck}} \quad , \text{ sendo } \psi_1 = 0,15 \text{ (flexão simples).}$$

Com dados experimentais é possível determinar um valor de ψ_1 para vigas de argamassa armada na flexão simples.

Pode-se escrever a equação 2.63 no seguinte formato:

$$\tau_d = \tau_{0d} - \tau_c \quad (7.7)$$

Na expressão 7.7, $1,15 \cdot \tau_{wd}$ foi substituído pela tensão de cisalhamento τ_{0d} , calculada de acordo com a equação 2.2 do item 2.1.2.1: $\tau_{0d} = V_d / (b_w \cdot z)$.

A tensão τ_d pode também ser obtida através da equação 2.47 do item 2.1.2.4: $\sigma_{tt} = \tau_d \cdot b_w \cdot s_t / A_{sw}$.
Explicitando τ_d desta equação, obtém-se:

$$\tau_d = \frac{\sigma_{tt} \cdot A_{sw}}{b_w \cdot s_t}$$

Substituindo-se τ_d desta expressão e τ_{od} da equação 2.2 na equação 7.7, vem:

$$\tau_c = \frac{V_d}{b_w \cdot z} - \frac{\sigma_{tt} \cdot A_{sw}}{b_w \cdot s_t} = \frac{1}{b_w} \cdot \left(\frac{V_d}{z} - \sigma_{tt} \cdot \frac{A_{sw}}{s_t} \right)$$

Como da equação 2.64: $\tau_c = \psi_1 \cdot \sqrt{f_{ck}}$, substituindo nessa equação de τ_c ora deduzida:

$$\psi_1 \cdot \sqrt{f_{ck}} = \frac{1}{b_w} \cdot \left(\frac{V_d}{z} - \sigma_{tt} \cdot \frac{A_{sw}}{s_t} \right)$$

Explicitando o valor de ψ_1 , obtém-se finalmente:

$$\psi_1 = \frac{1}{b_w \cdot \sqrt{f_{ck}}} \cdot \left(\frac{V_d}{z} - \sigma_{tt} \cdot \frac{A_{sw}}{s_t} \right) \quad (7.8)$$

A partir de dados experimentais de σ_{tt} , montou-se a tabela 7.2, obtendo-se valores para ψ_1 , calculados com base na equação 7.8.

TABELA 7.2
VALORES DE ψ_1 - SEÇÃO 2

| FORÇA CORTANTE (kN) | MODELO 1/3 | | MODELO 2/3 | | MODELO 3/3 | |
|---------------------------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|
| | τ_{od} | ψ_1 | τ_{od} | ψ_1 | τ_{od} | ψ_1 |
| 10,000 | 1,850 | 0,304 | 1,193 | 0,203 | 1,317 | 0,215 |
| 20,000 | 3,700 | 0,337 | 2,387 | 0,293 | 2,635 | 0,271 |
| 30,000 | 5,560 | 0,489 | 3,580 | 0,354 | 3,952 | 0,315 |
| 40,000 | 7,410 | 0,660 | 4,774 | 0,458 | 5,269 | 0,373 |
| 50,000 | | | 5,967 | 0,524 | 6,587 | 0,407 |
| 55,000 | | | 6,564 | 0,564 | | |
| 60,000 | | | | | 7,904 | 0,507 |
| 65,000 | | | | | 8,562 | 0,550 |

Analisando-se a tabela 7.2, observa-se que os menores valores de ψ_1 estão sempre próximos à primeira fissura, crescendo com a evolução do carregamento. Como τ_c é

função direta de ψ_1 , convém, a favor da segurança, considerar apenas estes valores menores para o cálculo estatístico da redução τ_c . Assim, considerando agora somente os carregamentos que causaram a primeira fissura, montou-se a tabela 7.3.

TABELA 7.3
VALORES DE ψ_1 NA PRIMEIRA FISSURA

| MODELO | V_d (kN) | ψ_1 |
|-----------------------|------------|----------|
| 1/3 | 10,00 | 0,304 |
| 2/3 | 12,50 | 0,258 |
| 3/3 | 15,00 | 0,305 |
| MÉDIA (ψ_{1m}) | | 0,288 |
| DESVIO PADRÃO (s) | | 0,028 |

Embora neste caso específico a quantidade de resultados não tenha sido suficiente, pensando então num valor de ψ_{1k} , abaixo da média, igual ao quantil de 5% na curva normal de Gauss conforme figura 7.1 e como mencionado por FUSCO [1977]⁶³ para valores característicos, obtém-se a seguinte equação:

$$\psi_{1k} = \psi_{1m} - 1,645 \cdot s = 0,288 - 1,645 \times 0,028 = 0,242$$

Assim, ψ_{1k} será o valor que tem probabilidade de 5% de ser ultrapassado no sentido desfavorável.

Logo, pode-se sugerir para vigas de argamassa armada: $\psi_1 = 0,24$.

Portanto a nova expressão de τ_c na flexão simples para vigas de argamassa armada ficaria:

$$\tau_c = 0,24 \cdot \sqrt{f_{ck}} \quad (7.9)$$

Mais uma vez observa-se a necessidade de um maior número de modelos para melhor fidedignidade da aplicação da curva normal de Gauss, o que ficaria a cargo de futuros

pesquisadores, a fim de que possam enviar sugestões à NBR 11.173¹ com maior precisão.

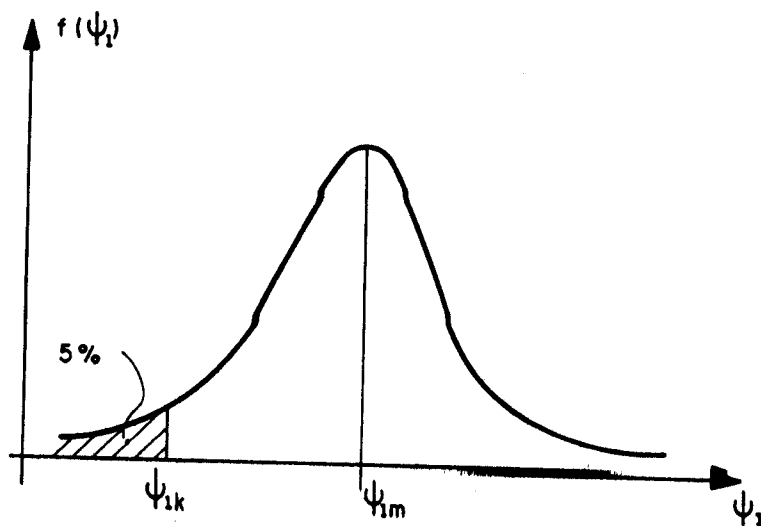


FIGURA 7.1 - VALOR LIMITE DE ψ_1

7.3.6 CISALHAMENTO LONGITUDINAL MESA-ALMA

Como já comentado no item 6.2.6, sugere-se a novos pesquisadores, a instrumentação das armaduras transversais das mesas (armadura de costura) com extensômetros elétricos uniaxiais, para que se possa determinar as tensões normais nessas barras e comparar com os valores teóricos. Para isso, é necessário colocar em locais previamente escolhidos, armadura complementar composta de barras adicionais de diâmetro maior que os das telas e que possam ser instrumentadas.

7.3.7 EFEITO DE ARCO

No item 6.2.7, determinou-se um valor para o esforço cortante reduzido, quando atuam forças concentradas verticais próximas aos apoios ($a < 2.h$) através da equação 6.7. Como foi analisado apenas um modelo, sugere-se a novos pesquisadores, que sejam feitos mais ensaios nesse sentido,

a fim de que, se possa também, dar subsídios para futuras revisões na NBR 11.173¹.

7.3.8 ESTADO DE FORMAÇÃO DE FISSURAS

Para vigas de argamassa armada em duplo T, semelhantes às que foram ensaiadas nesta pesquisa, pode-se sugerir a equação 6.8, adaptada de MANSUR & ONG [1987]⁴⁵, deduzida no item 6.3.1, para o cálculo da força cortante de fissuração de cálculo (V_{rd}).

$$V_{rd} = 0,30 \cdot b_w \cdot d \cdot \left(f_{ck} \cdot \rho_s \cdot \frac{d}{a} \right)^{0,76} \quad (7.10)$$

7.3.9 ESTADO LIMITE DE ABERTURA DE FISSURAS

7.3.9.1 Limitação da Resistência de Cálculo da Armadura Transversal (f_{ywd})

A NBR 6118² limita para a tensão na armadura transversal, o valor máximo da resistência de cálculo do aço (f_{ywd}) de 435 MPa com a finalidade de evitar aberturas excessivas de fissuras na alma. Para o concreto armado esta abertura máxima é de 0,30 mm em ambientes protegidos. No caso de argamassa armada este limite é de apenas 0,15 mm, o que induz a se determinar um valor para f_{ywd} máximo que melhor se adapte a este citado valor das aberturas de fissuras.

No item 6.3.2 deste trabalho, calculou-se estatisticamente os valores médios das tensões nas armaduras transversais (σ_{tt}) para as aberturas de fissuras de 0,15 mm nas Seções 2 dos modelos que tiveram estas referidas armaduras instrumentadas (estribos). Estes resultados

calculados com regressão potencial são transcritos na tabela 7.4.

Determinando o valor característico, obtém-se:

$$f_{ywk} = f_{ywm} - \xi \cdot s$$

TABELA 7.4

TENSÕES σ_{tt} PARA $w = 0,15$ mm

| MODELO | σ_{tt} (MPa) |
|------------------------------|---------------------|
| 1/3 | 288,37 |
| 2/3 | 263,60 |
| 3/3 | 285,18 |
| MÉDIA (f_{ywm}) | 279,05 |
| DESVIO PADRÃO (s) | 13,47 |
| DESVIO RELATIVO (δ) | 0,0483 |

$$f_{ywk} = 279,05 - 1,645 \times 13,47 = 256,89 \text{ MPa}$$

Como $\gamma_s = 1,15$, pode-se sugerir:

$$f_{ywd} = \frac{f_{ywk}}{1,15} = \frac{256,89}{1,15} = 223,4 \text{ MPa, ou seja:}$$

$$f_{ywd} \leq 223 \text{ MPa} \quad (7.11)$$

Este valor de cálculo de f_{ywd} limita as aberturas de fissuras em 0,15 mm que é o máximo permitido pela NBR 11.173¹. Novamente se observa que estes resultados são restritos aos modelos ensaiados, sugerindo-se a novos pesquisadores, que se utilizem de um maior número de amostras, a fim de que a confiabilidade possa ser melhorada.

7.3.9.2 Inclinações das Fissuras (θ)

LEONHARDT [1979]⁵² sugere um fator k_θ para correção dos valores das aberturas de fissuras inclinadas, como já foi comentado no item 3.1.4 desta pesquisa.

Através dos valores teóricos de θ e dos valores experimentais das aberturas de fissuras w_w , pode-se sugerir um valor de k_θ que se adapte às vigas de argamassa armada e que possa ser aplicado nos cálculos teóricos de verificação.

LEONHARDT [1979]⁵² sugere os seguintes valores transcritos das relações 3.18 deste trabalho:

$$\begin{array}{lll} \text{para} & \theta = 15^\circ & , & k_\theta = 1,0 \\ \text{para} & \theta = 45^\circ & , & k_\theta = 2,0 \end{array}$$

interpolando-se linearmente os valores intermediários.

Escrevendo estas relações em forma de equação de uma linha reta:

$$k_\theta = \frac{\theta}{30} + 0,5 \quad (7.12)$$

O fator k_θ deve ser multiplicado pelo valor da abertura da fissura calculada conforme item 3.1.4, assim:

$$w_w = k_\theta \cdot w$$

Para o caso dos modelos ora ensaiados pode-se explicitar o valor de k_θ , obtendo-se:

$$k_\theta = \frac{w_w}{w} \quad (7.13)$$

onde:

w_w = valor da abertura da fissura inclinada obtida experimentalmente;

w = valor da abertura da fissura calculada teoricamente sem levar em consideração k_{θ} , conforme item 3.1.4.

Como o ângulo θ de inclinação da fissura é função do carregamento, para cada etapa pode-se determinar o valor teórico de w com seu correspondente valor teórico de θ .

Assim, para cada modelo, usando valores das tabelas 6.32, 6.33, 6.34, e 6.35 com carregamentos de 15 kN, 20 kN, 30 kN e 40 kN respectivamente, determinou-se θ através da equação 2.53 do item 2.1.2.7 e k_{θ} através da equação 7.13 deste item. Os resultados são apresentados na tabela 7.5.

Com estes valores e após a regressão linear ilustrada na figura 7.2 obtém-se os seguintes resultados:

$$k_{\theta} = -0,00367.\theta + 1,141$$

$$r = 0,38 \text{ (coeficiente de correlação linear)}$$

Poderiam ser sugeridos os seguintes limites:

| | | | |
|------|-----------------------|---|---------------------|
| para | $\theta = 15^{\circ}$ | , | $k_{\theta} = 1,09$ |
| para | $\theta = 45^{\circ}$ | , | $k_{\theta} = 0,98$ |

ou mesmo, $k_{\theta} \approx 1$ para qualquer ângulo.

Estes resultados mostram a independência que as aberturas de fissuras têm em relação ao valor teórico de θ calculado com a equação 2.53 do item 2.1.2.7. Isto pode também ser percebido pelo coeficiente de correlação linear da regressão ($r = 0,38$), ou seja, apenas 38% de precisão nos resultados da aproximação, o que pode ser visualizado pela elevada dispersão dos pontos na figura 7.2. Estas conclusões, sugerem a não adoção do fator k_{θ} ($k_{\theta} = 1$) indicado por LEONHARDT [1979]⁵², quando for usada a equação 3.23 do item 3.1.4 para determinação das aberturas de fissuras.

TABELA 7.5
DETERMINAÇÃO DE k_{θ}

| θ (°) | k_{θ} |
|--------------|--------------|
| 36,16 | 0,73 |
| 36,77 | 1,11 |
| 36,97 | 2,18 |
| 37,01 | 0,41 |
| 36,75 | 0,73 |
| 36,79 | 1,60 |
| 31,25 | 0,38 |
| 31,89 | 0,80 |
| 32,23 | 0,74 |
| 32,91 | 0,96 |
| 33,53 | 1,43 |
| 33,21 | 1,90 |
| 32,67 | 0,83 |
| 33,55 | 1,10 |
| 33,83 | 2,42 |
| 25,45 | 0,47 |
| 26,40 | 0,65 |
| 26,89 | 0,47 |
| 27,90 | 0,61 |
| 28,82 | 1,38 |
| 28,35 | 2,33 |
| 39,37 | 0,51 |
| 39,74 | 1,05 |
| 39,87 | 1,76 |
| 39,89 | 0,53 |
| 39,73 | 0,67 |
| 39,76 | 1,19 |
| 36,43 | 0,40 |
| 36,80 | 0,91 |
| 37,00 | 1,26 |
| 37,41 | 0,72 |
| 37,78 | 1,05 |
| 37,59 | 1,59 |
| 41,25 | 0,51 |
| 41,13 | 0,58 |
| 41,15 | 1,01 |
| 38,78 | 0,47 |
| 39,05 | 0,79 |
| 39,19 | 1,17 |
| 39,47 | 0,66 |
| 39,74 | 0,89 |
| 39,60 | 1,46 |

DETERMINAÇÃO DE k_{θ}

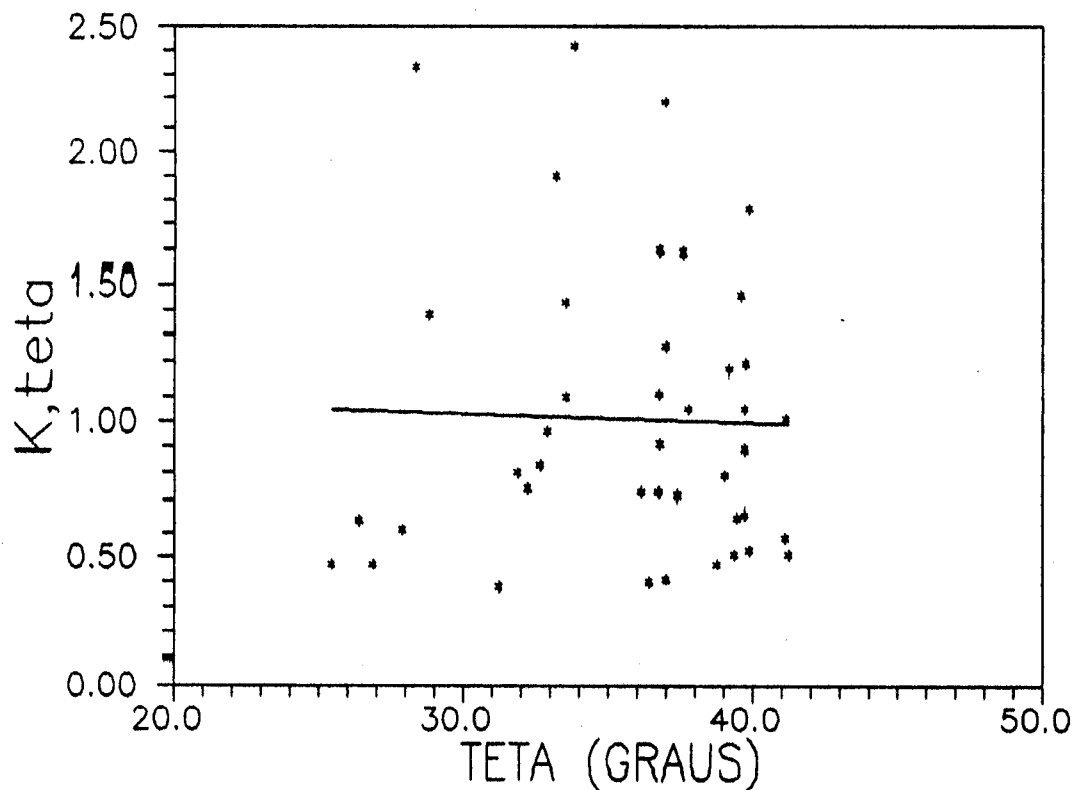


FIGURA 7.2 - DETERMINAÇÃO DE k_{θ}

7.3.10 ESTADO LIMITE DE DEFORMAÇÕES EXCESSIVAS

Sugere-se a adoção no cálculo teórico dos deslocamentos verticais, a influência da força cortante que em alguns casos chegou a 21% do deslocamento teórico total como já comentado no capítulo anterior.

7.3.11 RESUMO DOS PARÂMETROS OBTIDOS NAS SUGESTÕES

- Braço de Alavanca de referência

$$z = d/1,09$$

- Valor reduzido da Tensão de Cisalhamento

$$\tau_d = 1,09 \cdot \tau_{wd} - \tau_G > 0$$

com:

$$\tau_c = 0,24 \sqrt{f_{ck}}$$

- Força Cortante de Fissuração de Cálculo (MANSUR & ONG adaptado)

$$V_{rd} = 0,30 \cdot b_w \cdot d \cdot \left(f_{ck} \cdot \rho_s \cdot \frac{d}{a} \right)^{0,76}$$

- Resistência de Cálculo da Armadura Transversal

$$f_{ywd} \leq 223 \text{ MPa}$$

- Fator k_θ para correção de w_w

$$k_\theta = 1$$

7.3.12 EXEMPLO DE APLICAÇÃO DOS PARÂMETROS SUGERIDOS

Apresenta-se a seguir um exemplo numérico de dimensionamento e verificação para a Série 1 dos modelos ensaiados, utilizando os novos parâmetros de cisalhamento sugeridos.

7.3.12.1 Dimensionamento (Projeto)

Utilizando-se as dimensões e resistências da Série 1, foram os seguintes os dados utilizados:

$$\begin{aligned} b_w &= 2,5 \text{ cm}, & h &= 25 \text{ cm}, & b_{fs} &= 15 \text{ cm}, & h_{fs} &= 2,5 \text{ cm} \\ f_{ck} &= 44 \text{ MPa}, & f_y &= 870 \text{ MPa}, & E_s &= 208 \text{ GPa}, & V &= 15 \text{ kN} \\ c &= 0,5 \text{ cm}, & \phi_L &= 6,3 \text{ mm}, & \phi_t &= 2 \text{ mm}. \end{aligned}$$

TELA EL 126 (0,63 cm²/m para os fios transversais)

Cálculos

$$\cdot d = h - c - \frac{\phi L}{2} = 25 - 0,5 - \frac{0,63}{2} = 24,19 \text{ cm}$$

(valor para projeto)

$$\cdot V_d = V \cdot \gamma_F = 15 \times 1,4 = 21 \text{ kN}$$

$$\cdot \tau_{wd} = \frac{V_d}{b_w \cdot d} = \frac{21}{2,5 \times 24,19} = 0,3473 \text{ kN/cm}^2 = 3,473 \text{ MPa}$$

$$\cdot f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{44}{1,4} = 31,43 \text{ MPa}$$

$$\cdot \tau_{wu} = 0,30 \cdot f_{cd} = 0,30 \times 31,43 = 9,43 \text{ MPa} > 4,5 \text{ MPa}$$

Adota-se: $\tau_{wu} = 4,5 \text{ MPa}$

· Como $\tau_{wd} = 3,473 \text{ MPa} < \tau_{wu} = 4,5 \text{ MPa}$, não haverá ruptura da biela de compressão.

$$\cdot \tau_c = 0,24 \cdot \sqrt{f_{ck}} = 0,24 \cdot \sqrt{44} = 1,592 \text{ MPa}$$

$$\cdot \tau_d = 1,09 \cdot \tau_{wd} - \tau_c = 1,09 \times 3,473 - 1,592 = 2,194 \text{ MPa}$$

$$\cdot f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_s} = \frac{870}{1,15} = 756,52 \text{ MPa}$$

· Como $f_{yd} = 756,52 \text{ MPa} > 223 \text{ MPa}$, adota-se $f_{ywd} = 223 \text{ MPa}$

$$\cdot \frac{A_{sw}}{s_t} = \frac{\tau_d}{f_{ywd}} \cdot b_w \cdot \frac{100}{1} = \frac{2,194}{223} \times 2,5 \times 100 = 2,459 \text{ cm}^2/\text{m}$$

· Como a tela EL 126 tem seção dos fios transversais de 0,63 cm²/m, são necessárias (2,459/0,63) quatro telas na alma, ou duas telas com posicionamento normal de modo a que o espaçamento dos fios verticais fique com 2,5 cm (1,26 cm²/m)

. Como comparação, fazendo-se os mesmos cálculos com os critérios atuais da NBR 11.173¹, obter-se-ia:

$\tau_c = 0,995 \text{ MPa}$, $\tau_d = 2,999 \text{ MPa}$ e $A_{sw}/s_t = 1,724 \text{ cm}^2/\text{m}$
 (a área da armadura transversal seria 30% menor, principalmente devido ao fato de não limitar a abertura de fissuras em 15 mm)

7.3.12.2 Verificação da Força Cortante Resistente

Para o modelo 1/1, utilizou-se $n = 2$ telas na alma, ou seja, para cada tela: $a_{sw} = 0,63 \text{ cm}^2/\text{m}$.

Com os novos parâmetros, a equação que calcula V_d para evitar a ruptura da diagonal tracionada, fica:

$$V_d = \frac{b_w \cdot d}{1,09} \cdot \left(\tau_c + \frac{a_{sw} \cdot n \cdot f_{ywd}}{100 \cdot b_w} \right) \quad (7.14)$$

$$V_d = \frac{2,5 \times 24,19}{1,09} \times \left(0,1592 + \frac{0,63 \times 2 \times 22,3}{100 \times 2,5} \right) = 15,07 \text{ kN}$$

Para evitar a ruptura da biela comprimida:

$$V_d = 0,30 \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d \leq 4,5 \cdot b_w \cdot d$$

$$V_d = 0,30 \times 4,4 \times 2,5 \times 24,19 = 79,81 \text{ kN}$$

$$V_d = 4,5 \times 2,5 \times 24,19 + 10 = 27,21 \text{ kN}$$

Assim, adota-se o menor valor:

$$V_d = 15,07 \text{ kN}$$

Obs. Por simplificação utilizou-se o valor de projeto
 $d = 24,19 \text{ cm}$.

. Comparando com os critérios atuais da NBR 11.173¹, obter-se-ia: $V_d = 16,76 \text{ kN}$ (11% maior do que com os critérios sugeridos). Isto se deve principalmente, ao fato

de que, nas sugestões usou-se:

$$f_{ywd} = 223 \text{ MPa} \ll 435 \text{ MPa}$$

7.3.12.3 Fissuração (Modelo 1/1 - $k_{\theta} = 1$)

$$\rho_w = \frac{(A_{sw}/s_t)}{b} = \frac{0,0126}{2,5} = 5,04 \times 10^{-3}$$

$$\rho_r = \frac{A_{sw}/n}{(c + 8 \cdot \phi) \cdot 15 \cdot \phi} = \frac{\pi \times 0,2^2/4}{(0,5 + 8 \times 0,2) \times 15 \times 0,2}$$

$$\rho_r = 4,987 \times 10^{-3} \text{ (ver equação A2.1 do Anexo 2).}$$

Como $\rho_w = 5,04 \times 10^{-3} > \rho_r = 4,987 \times 10^{-3}$, adota-se:

$$\rho_r = 5,04 \times 10^{-3}$$

$$s_w = 1,5 \cdot \left(c + \frac{\phi}{2} \right) + 0,16 \cdot \frac{\phi}{\rho_r}$$

$$s_w = 1,5 \times \left(0,5 + \frac{0,2}{2} \right) + 0,16 \times \frac{0,2}{5,04 \times 10^{-3}} = 7,249 \text{ cm}$$

Para $V_d = 15,07 \text{ kN}$:

$$\tau_{wd} = \frac{V_d}{b_w \cdot d} = \frac{15,07}{2,5 \times 24,19} = 0,2492 \text{ kN/cm}^2 = 2,492 \text{ MPa}$$

$$\tau_d = 1,09 \cdot \tau_{wd} - \tau_c = 1,09 \times 2,492 - 1,592 = 1,124 \text{ MPa}$$

$$w_{wm} = \frac{0,8 \cdot k_{\theta} \cdot \tau_d}{E_s \cdot \rho_w} \cdot s_w = \frac{0,8 \times 1 \times 1,124 \times 72,49}{208000 \times 5,04 \times 10^{-3}} = 0,0622 \text{ mm}$$

$$w_{wk} = 1,658 \cdot w_{wm} = 1,658 \times 0,0622 = 0,103 \text{ mm} < 0,15 \text{ mm}$$

Com os critérios atuais da NBR 11.173¹, obter-se-ia para $V_d = 16,76 \text{ kN}$ (anteriormente calculado), a abertura $w_{wk} = 0,201 \text{ mm}$, valor este que ultrapassa o limite de $0,15 \text{ mm}$.

7.3.12.4 Comentários

Os valores encontrados nos exemplos 7.3.12.1 e 7.3.12.2 são, de certo modo, a favor da segurança. Isto deve ao fato de que se usou um valor para $f_{ywd} = 223$ MPa, bem menor que a resistência última experimental do aço, que foi de 870 MPa. Este valor de f_{ywd} , como já comentado no item 7.3.9.1, serve para limitar a abertura de fissuras em $w_w \leq 0,15$ mm, o que foi constatado no exemplo 7.3.12.3, quando se obteve $w_{wk} = 0,103$ mm.

Comparando os valores de V_d e w_{wk} obtidos utilizando-se a resistência de cálculo sugerida do aço de $f_{ywd} = 223$ MPa, com valores obtidos usando-se a resistência última experimental do aço nos corpos-de-prova, obteve-se os seguintes resultados para $f_{ym} = 870$ MPa:

$$V_d = 33,16 \text{ kN} \quad \text{e} \quad w_{wk} = 1,658 \times 0,243 = 0,40 \text{ mm} .$$

ou seja, o valor de V_d se aproximaria mais do valor experimental, mas a abertura de fissuras ficaria bem além do limite da NBR 11.173¹, o que confirma a necessidade de se reduzir o valor de cálculo de f_{ywd} . Observe-se que neste caso, apenas de comparação, não se considerou o valor $V_d = 27,21$ kN referente à ruptura da biela comprimida.

7.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora a quantidade de modelos experimentais não tenha sido suficiente para a gama de considerações estudadas neste trabalho, espera-se que o mesmo sirva de subsídio para pesquisadores dedicados à área, que desejem se aprofundar em cada assunto específico aqui comentado. Espera-se também que sirva de auxílio a projetistas de estruturas de argamassa armada, semelhantes às que aqui foram ensaiadas.

Os assuntos que foram abordados nesta pesquisa são também deveras importantes no que diz respeito à

normalização, sugerindo-se aos responsáveis pelas futuras atualizações da norma brasileira de argamassa armada NBR 11.173¹, analisar os parâmetros aqui sugeridos de modo a adotá-los ou não.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto e execução de argamassa armada; NBR-11.173. Rio de Janeiro, 1989. 19p.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto e execução de obras de concreto armado; NBR-6118. Rio de Janeiro, 1980. 17p.
3. AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Committee 549. Guide for the design construction, and repair of ferrocement; ACI 549.IR-88. ACI Structural Journal, v.85, n.3, p.325-351, May/June, 1988.
4. COMITE FEDERAL DO CONSELHO DE MINISTROS PARA ASSUNTOS DE ESTRUTURA. Instruções para o projeto de estruturas de argamassa armada (ferro-cimento). (Tradução em espanhol do original russo); SN 366-77.
5. CEB-FIP Model Code 1990: final draft. CEB: Bulletin d'Information, Lausanne, ns.203-204-205, July, 1991.
6. GIONGO, J.S. Argamassa armada: dimensionamento de perfis submetidos à flexão - fundamentos e experimentação. São Carlos, 1990. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos - USP.
7. HANAI, J.B. Construções de argamassa armada: situação, perspectivas e pesquisas. São Carlos, 1981. 300p. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos - USP.

8. NERVI, P.L. Il ferro-cemento; sue caratteristiche e possibilità. L'Ingegnere, v.25, n.1, p.17-25, gen. 1951.
9. NERVI, P.L. Costruire correttamente: caratteristiche e possibilità delle strutture cementizie armate. Milano: Ulrico Hoepli, 1955. 177p.
10. NERVI, P.L. Concrete and structural form. The Structural Engineer, v.34, n.5, p.155-172, May, 1956.
11. NERVI, P.L. Nuevas estructuras, Barcelona: G. Gili, 1963. 167p.
12. SCHIEL, F., MARTINELLI, D.A.O. Argamassas armadas em elementos estruturais. Forum de Engenharia: técnica e equipamentos. v.1, n.4, p.21-29, julho, 1964.
13. KHAIDUKOV, G.K. Development of armocement structures. Bulletin of the International Association for Shell Structures, v.36, p.85-97, Dec. 1968.
14. MIRONKOV, B.A. El ferrocemento en la Union Sovietiva. Revista IMCYC, v.17, n.106, p.25-31, feb. 1980.
15. SMOLA, P. Ferrocement structures in Czechoslovakia. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF FERROCEMENT, Bergamo, July 1981. Proceedings. p.22-24.
16. WALKUS, B.R. A system for producing ferrocement elements. Journal of Ferrocement, v.11, n.2, p.155-162, Apr. 1981.
17. PETRONI, L. Aplicação da argamassa armada na construção de lajes. São Carlos, 1971, 117p. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos - USP.

18. PETRONI, L. Vigas de argamassa armada. São Carlos, 1974. 105p. Tese (Livre docência) - Escola de Engenharia de São Carlos - USP.
19. MACHADO JUNIOR, E.F. Piscinas e reservatórios de argamassa armada. São Carlos, 1980. 130p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos - USP.
20. LIMA, J.F. Escola transitória: modelo rural. Brasília: MEC-SG-CEDATE, 1984. 113p.
21. PROJETO FERROCIMENTO, Fortaleza, Centro de Tecnologia da UFC, n.1-20, 1983-1987.
22. EL DEBS, M.K. Contribuição ao projeto de galerias enterradas: alternativas em argamassa armada. São Carlos, 1984. 303p. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos - USP.
23. HANAI, J.B. Argamassa armada: fundamentos tecnológicos para projeto e execução. São Carlos, 1987. 261p. Tese (Livre docência) - Escola de Engenharia de São Carlos - USP.
24. MIGLIORE JUNIOR, A.R. Estruturas de contenção com elementos pré-moldados de argamassa armada. São Carlos, 1987. 151p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos - USP.
25. BALLARIN, A.W. Propriedades mecânicas da argamassa armada com telas soldadas. São Carlos, 1989. 116p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos - USP.

26. AGNESINI, M.V.C. Argamassas hidráulicas simples de CP-32 e areia quartzosa destinadas à execução de peças pré-fabricadas de argamassa armada. São Carlos: EESC-USP, 1988. 114p.
27. AGNESINI, M.V.C. Sistema construtivo com elementos pré-fabricados de argamassa armada: uma alternativa para execução de pontilhões rodoviários em zonas urbanas e estradas vicinais. São Carlos, 1989. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos - USP.
28. LIBÓRIO, J.B.L. Estudo patológico de construções de argamassa armada existentes no Brasil. São Carlos, 1990. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos - USP.
29. LIMA, F.B. Estudo experimental de elementos de argamassa armada com tela de chapa de aço expandida. São Carlos, 1990. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos - USP.
30. FURLAN JUNIOR, S. Uso da protensão em peças de concreto de seção delgada (argamassa armada protendida). São Carlos, 1991. 203p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos - USP.
31. MACHADO JUNIOR, E.F. Casas populares pré-moldadas em argamassa armada: procura de uma solução econômica e confortável. São Carlos, 1991. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos - USP.

32. MARCELINO, N.A. Projeto e produção de sistemas e componentes em argamassa armada para edificações. São Carlos, 1991. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos - USP.
33. GIL, L.S. Desenvolvimento de programas em micro-computador 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).
34. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Tela de aço soldada para armadura de concreto; NBR-7481. Rio de Janeiro, 1982. 14p.
35. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado; NBR 7480. Rio de Janeiro, 1985.
36. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Agregados para concreto; NBR-7211. Rio de Janeiro, 1983. 9p.
37. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Cimento Portland de alta resistência inicial. NBR 5733. Rio de Janeiro, 1980. 2p.
38. FUSCO, P.B. Construções de concreto: solicitações tangenciais, introdução, combinação de ações, forças cortantes, conceitos básicos. São Paulo: EPUSP, 1981. 91p.
39. LEONHARDT, F., MÖNNIG, E. Construções de concreto: princípios básicos de dimensionamento de estruturas de concreto armado. Rio de Janeiro: Interciência, 1977. v.1, 336p.

40. CAMPANARI, F.A. Teoria das estruturas. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1985. v.2, p.433-783.
41. CARVALHO, L.A.M. Projeto de estruturas de ferrocimento. Projeto Ferrocimento. Fortaleza, UFC, n.20, p.41-47, out./dez., 1987, (edição técnica n° 5).
42. FUSCO, P.B. Estruturas de concreto: solicitações tangenciais, problemas básicos de cisalhamento no concreto estrutural, problemas gerais de dimensionamento. São Paulo: EPUSP, 1982. 243p.
43. LEONHARDT, F. Shear in concrete structures, in shear and torsion. CEB: - Bulletin d'Information, Paris, n.126, 1978.
44. AMARAL, N.A. A resistência do concreto armado à força cortante. Dirigente Construtor, p.26-36, nov. 1974.
45. MANSUR, M.A., ONG, K.C.G. Shear strength of ferrocement beams. ACI Structural Journal, v.84, n.1, p.10-17, Jan./Feb., 1987.
46. MacGREGOR, J.G. Reinforced concrete: mechanics and design. New Jersey: Prentice Hall, 1988.
47. SILVA, R.C. Concreto armado: aplicação de modelos de bielas e tirantes. São Carlos, 1991. 207p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos - USP.
48. ANDRADE, J.R.L. Estruturas correntes de concreto armado. São Carlos: EESC, 1982. 137p.

49. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de estruturas de concreto protendido; NBR-7197. Rio de Janeiro, 1989. 71p.
50. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Ações e segurança nas estruturas; NBR-8681. Rio de Janeiro, 1984. 21p.
51. AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Committee 318. Building code requirements for reinforced concrete; ACI 318M-83. Detroit, July 1985.
52. LEONHARDT, F. Construções de concreto - verificação da capacidade de utilização. Rio de Janeiro, Interciência, 1979. v.4, 210p.
53. MOLLICA JUNIOR, S. O uso da tela soldada no combate à fissuração. São Paulo, IBTS, 1986. 76p.
54. LOPEZ, J.J.A., SOLANA, V., MECA, S. A theoretical method for analysis of reinforced concrete members submitted to shear and bending. CEB: Bulletin d'Information, n.126, p.209-284, 1973.
55. AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Committee 549. State of-the-art report on ferrocement. Concrete International, v.4, n.8, p.13-38, August, 1982. (ACI-549R-82).
56. NAAMAN, A.E. Design predictions of crack widths in Ferrocement. In: FERROCEMENT: material and applications. Detroit: American Concrete Institute, 1979. p.25-42. (ACI SP-61).
57. BALAGURU, P.N., NAAMAN, A.E., SHAH, S.P. Analysis and behavior of ferrocement in flexure. Journal of Structural Division, v.103, p.1937-1951, 1977.

58. BAYKOV, V.N., SIGALOV E.E. Estruturas de hormigon armado. Moscu: Editorial MIR, 1980. (Tradução em espanhol do original russo).
59. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado; NBR-9062. Rio de Janeiro, 1985. 66p.
60. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Ensaio de cimento Portland; NBR-7215. Rio de Janeiro, 1982. 20p.
61. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Agregados: determinação da composição granulométrica; NBR-7217. Rio Janeiro, 1987. 5p.
62. TAKEYA, T. Introdução à análise experimental de estruturas. São Carlos: EESC-USP, 1988. 27p.
63. FUSCO, P.B. Estruturas de concreto: Fundamentos estatísticos de segurança das estruturas. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1977. v.2, 274p.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Vocabulário de teoria das estruturas. São Paulo, 1967. 58p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Símbolos gráficos para projetos de estruturas. NBR 7808. Rio de Janeiro, 1983. 14p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - Barra e fio de aço destinados a armaduras para concreto armado. NBR 7480. Rio de Janeiro, 1982. 15p.

CALIL JUNIOR, C. Análise experimental de materiais e de estruturas. São Carlos: EESC-USP, 1988.

PINHEIRO, L.M., GIONGO, J.S. Concreto armado: Propriedades dos materiais. São Carlos: EESC-USP, 1986. 79p.

GINONGO, J.S. Argamassa armada: exemplo de cálculo de viga calha. São Paulo: ABCP, 1991. 34p.

BEER, F.P., JOHNSTON, E.R. Resistência dos materiais. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1982. 652p.

CONSELHO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. Regulamentação metrológica e quadro geral de unidades de medida. Brasília, 1982. 32p.

NOBRE, E. M. Dimensionamento econômico ao cisalhamento. Estrutura, p.112-122, set. 1982.

PINHEIRO, L.M. Concreto armado: tabelas e ábacos. São Carlos: EESC-USP, 1986.

**ARGAMASSA ARMADA; ESTUDO EXPERIMENTAL DE
VIGAS SUBMETIDAS A FORÇA CORTANTE
VOL. 2 - (ANEXOS)**

**AUTOR : ENG. ERNANI MENDES NOBRE
ORIENTADOR : PROF. DR. JOSÉ SAMUEL GIONGO**

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

ARGAMASSA ARMADA : ESTUDO EXPERIMENTAL DE
VIGAS SUBMETIDAS À AÇÃO DE FORÇA CORTANTE
VOL. 2 - (ANEXOS)

ENG. ERNANI MENDES NOBRE
ORIENTADOR: PROF. DR. JOSÉ SAMUEL GIONGO

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

COMISSÃO JULGADORA:

Prof. Doutor JASSON RODRIGUES DE FIGUEIREDO (UFSCAR)
Prof. Titular JOÃO BENTO DE HANAI (USP-EESC)
Prof. Doutor JOSÉ SAMUEL GIONGO (USP-EESC)

SUPLENTES:

Prof. Assoc. MOUNIR KHALIL EL DEBS (USP-EESC)
Prof. Doutor LAERCIO FERREIRA E SILVA (USP-EESC)

SÃO CARLOS, JUNHO 1992

SUMÁRIO

ANEXOS

| | |
|--|--------|
| ANEXO N ^o 1 | A1 - 1 |
| A1. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS | A1 - 2 |
| A1.1 MODELO 1/1 | A1 - 3 |
| A1.2 MODELO 1/2 | A1- 19 |
| A1.3 MODELO 1/3 | A1- 35 |
| A1.4 MODELO 1B/1 | A1- 51 |
| A1.5 MODELO 1B/2 | A1- 64 |
| A1.6 MODELO 1B/3 | A1- 77 |
| A1.7 MODELO 2/1 | A1- 89 |
| A1.8 MODELO 2/2 | A1-106 |
| A1.9 MODELO 2/3 | A1-123 |
| A1.10 MODELO 3/1 | A1-140 |
| A1.11 MODELO 3/2 | A1-156 |
| A1.12 MODELO 3/3 | A1-172 |
| ANEXO N ^o 2 | A2 - 1 |
| A2. PROGRAMA DE MICRO-COMPUTADOR PARA VERIFICAÇÃO DE DE PEÇAS DE ARGAMASSA ARMADA SUBMETIDAS AOS EFEITOS DO MOMENTO FLETOR E DA FORÇA CORTANTE (AECALC) | A2 - 2 |
| A2.1 Entrada de Dados das Resistências dos Materiais | A2 - 3 |
| A2.2 Cálculos no Estádio Ib | A2 - 3 |
| A2.3 Cálculos no Estado Limite Último | A2 - 3 |
| A2.4 Cálculos no Estádio II | A2 - 4 |
| A2.4.1 Tensão na Diagonal Tractionada (σ_{tt}) . | A2 - 4 |
| A2.4.2 Ângulo de Inclinação da Biela (θ) ... | A2 - 4 |

| | |
|---|--------|
| A2.4.3 Tensão na Biela Comprimida ($\sigma_{c\theta}$) | A2 - 5 |
| A2.5 Estados Limites de Utilização | A2 - 5 |
| A2.5.1 Estado de Fissuração Inaceitável | A2 - 5 |
| A2.5.2 Estado de Deformação Excessiva | A2 - 7 |
| A2.6 Observações sobre o Programa AECALC | A2 - 7 |
| A2.7 Exemplo de Impressão de Dados e Resultados | |
| (Modelo 1/3) | A2 - 7 |

ANEXO N° 1

A1 - APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

A seguir, são apresentados os resultados obtidos nos ensaios de laboratório. As páginas que abrem a apresentação dos resultados de cada modelo indicam as datas de moldagem e de ensaio, o tipo de ruptura e a força cortante última atingida.

A1.1 - MODELO 1/1

MOLDAGEM: 26/08/91

ENSAIO: 04/09/91

TIPO DE RUPTURA : CISALHAMENTO - COMPRESSÃO DA BIELA

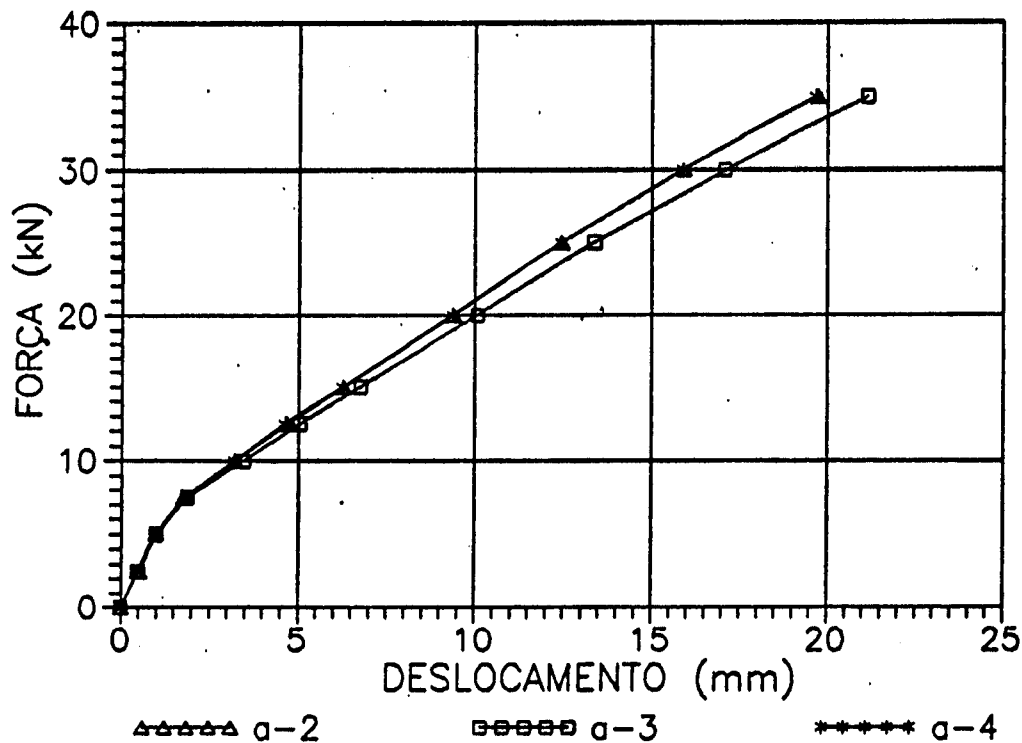
FORÇA CORTANTE ÚLTIMA: 42 kN

DESLOCAMENTOS VERTICAIS - MODELO 1/1
(mm)

| ETAPA | HORA | FORÇA(kN) | v2 | v3 | v4 |
|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|
| 0 | 9h07 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1 | 9h13 | 2,50 | 0,48 | 0,47 | 0,47 |
| 2 | 9h16 | 5,00 | 0,97 | 0,99 | 0,96 |
| 1 | 9h18 | 2,50 | 0,51 | 0,51 | 0,50 |
| 2 | 9h20 | 5,00 | 0,97 | 0,99 | 0,97 |
| 3 | 9h24 | 7,50 | 1,76 | 1,87 | 1,85 |
| 4 | 9h26 | 10,00 | 3,22 | 3,46 | 3,19 |
| 5 | 9h44 | 12,50 | 4,68 | 5,04 | 4,63 |
| 6 | 9h51 | 15,00 | 6,29 | 6,76 | 6,25 |
| 7 | 10h09 | 20,00 | 9,38 | 10,07 | 9,35 |
| 8 | 10h25 | 25,00 | 12,45 | 13,38 | 12,43 |
| 9 | 10h44 | 30,00 | 15,90 | 17,07 | 15,86 |
| 10 | 11h02 | 35,00 | 19,71 | 21,15 | 19,66 |

| | | | |
|--------------------------|---------|---------|---------|
| DISTÂNCIA APOIO ESQUERDO | 1045,00 | 1447,50 | 1850,00 |
|--------------------------|---------|---------|---------|

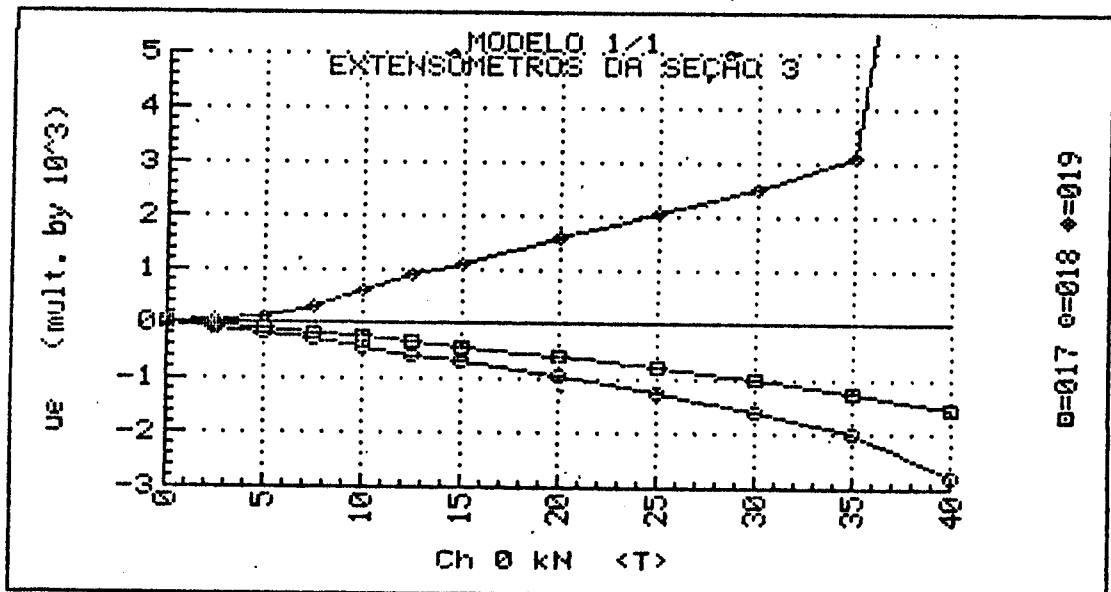
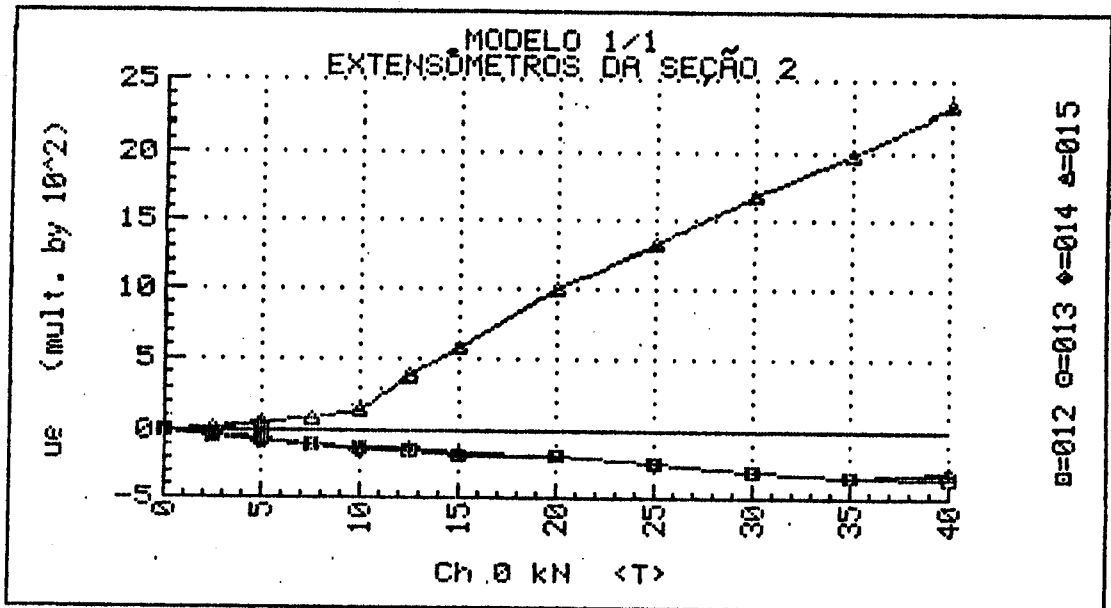
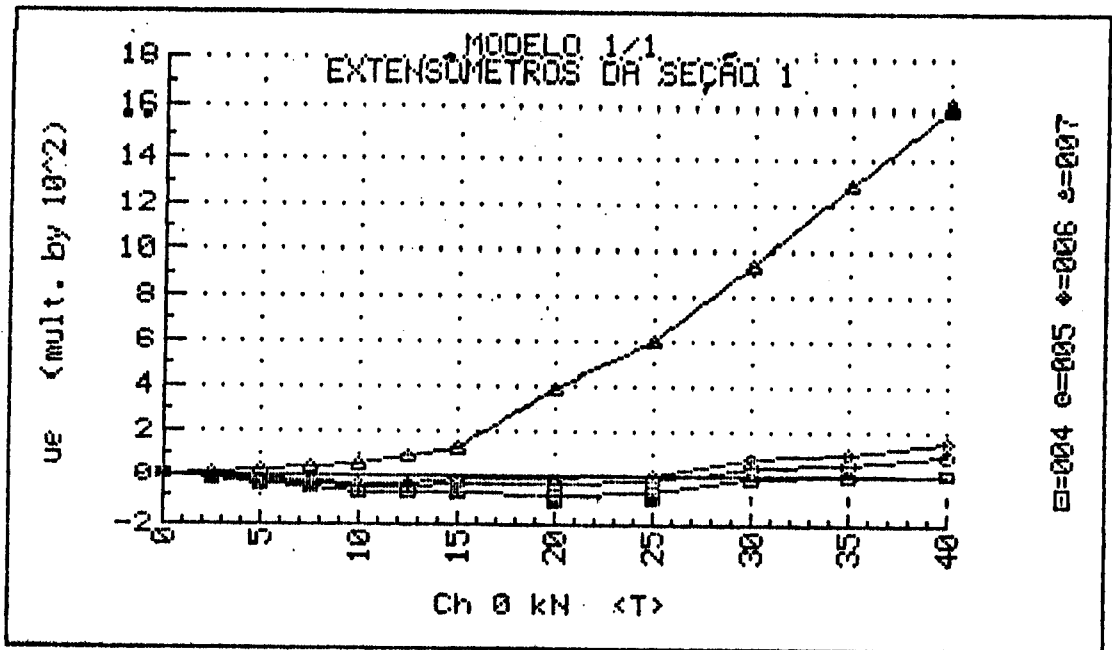
DIAGRAMAS FORÇA - DESLOCAMENTO
MODELO 1/1



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

ENSAIO DE VIGA DE ARGAMASSA ARMADA
 MODELO 1/1 DATA: 04/09/91
 DEFORMAÇÕES DOS EXTENSÔMETROS ELÉTRICOS UNIAXIAIS

| F (kN) | EC 1.1 ($\mu\epsilon$) | EC 1.2 ($\mu\epsilon$) | EC 1.3 ($\mu\epsilon$) | EC 2.1 ($\mu\epsilon$) | EC 2.2 ($\mu\epsilon$) | EC 2.3 ($\mu\epsilon$) | EC 3.1 ($\mu\epsilon$) | EC 3.3 ($\mu\epsilon$) | ES 1 ($\mu\epsilon$) | ES 2 ($\mu\epsilon$) | ES 3 ($\mu\epsilon$) |
|-----------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 0.00 | +0. | +0. | +0. | +1. | +0. | +1. | +0. | +1. | +1. | +0. | +1. |
| 2.47 | -21. | -15. | -11. | -27. | -33. | -31. | -51. | -87. | +12. | +25. | +46. |
| 5.00 | -44. | -36. | -28. | -63. | -73. | -69. | -117. | -186. | +22. | +49. | +98. |
| 2.53 | -26. | -19. | -14. | -33. | -39. | -39. | -61. | -112. | +12. | +28. | +57. |
| 5.00 | -45. | -36. | -29. | -64. | -74. | -69. | -119. | -190. | +23. | +51. | +100. |
| 7.53 | -64. | -53. | -44. | -96. | -110. | -102. | -182. | -311. | +35. | +79. | +309. |
| 10.05 | -84. | -67. | -52. | -123. | -133. | -124. | -268. | -440. | +48. | +137. | +604. |
| 12.53 | -87. | -63. | -48. | -131. | -136. | -129. | -357. | -575. | +86. | +382. | +884. |
| 15.00 | -87. | -54. | -30. | -170. | -185. | -162. | -442. | -704. | +126. | +588. | +1121. |
| 20.00 | -100. | -56. | -21. | -189. | -186. | -182. | -612. | -971. | +390. | +1009. | +1582. |
| 25.05 | -94. | -39. | +0. | -236. | -238. | -235. | -803. | -1263. | +598. | +1322. | +2034. |
| 30.00 | -22. | +41. | +69. | -300. | -308. | -291. | -1007. | -1605. | +938. | +1679. | +2518. |
| 35.05 | -11. | +55. | +96. | -349. | -340. | -330. | -1234. | -2024. | +1285. | +1986. | +3104. |
| 40.00 | +6. | +86. | +146. | -363. | -319. | -309. | -1553. | -2788. | +1615. | +2319. | +14290. |



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

ENSAIO DE VIGA DE ARGAMASSA ARMADA
 MODELO 1/1 DATA: 04/09/91
 DEFORMAÇÕES DOS EXTENSÔMETROS ELÉTRICOS DAS ROSETAS
 ROSETA 1

| F (kN) | ϵ_m ($\mu\epsilon$) | ϵ_b ($\mu\epsilon$) | ϵ_c ($\mu\epsilon$) | ϵ_1 ($\mu\epsilon$) | ϵ_2 ($\mu\epsilon$) | σ_1 (MPa) | σ_2 (MPa) | θ ($^\circ$) |
|-----------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|
| 0.00 | +0. | +0. | +0. | +0. | +0. | +0.0 | +0.0 | U/C |
| 2.47 | +4. | +23. | +0. | +19. | +23. | +0.5 | +0.6 | +47.6 |
| 5.00 | -12. | -50. | -4. | +35. | -51. | +0.8 | -1.4 | -47.6 |
| 2.53 | -7. | -29. | -3. | +19. | -29. | +0.4 | -0.8 | -47.3 |
| 5.00 | -13. | -51. | -3. | +36. | -52. | +0.8 | -1.4 | -48.2 |
| 7.53 | -17. | -76. | -4. | +55. | -76. | +1.2 | -2.0 | -48.0 |
| 10.05 | -33. | -104. | -6. | +66. | -105. | +1.4 | -2.9 | -49.6 |
| 12.53 | -82. | -148. | -3. | +70. | -156. | +1.2 | -4.4 | -55.3 |
| 15.00 | -158. | -212. | +0. | +76. | -234. | +0.9 | -6.8 | -60.3 |
| 20.00 | -263. | -321. | +12. | +113. | -364. | +1.3 | -10.7 | -62.5 |
| 25.05 | -424. | -408. | +31. | +114. | -507. | +0.4 | -15.1 | -68.5 |
| 30.00 | -576. | -596. | -50. | +73. | -699. | -2.1 | -21.4 | -66.4 |
| 35.05 | -710. | -850. | -210. | +3. | -923. | -5.7 | -28.8 | U/C |
| 40.00 | -948. | -1111. | -292. | -29. | -1211. | -8.5 | -38.0 | -61.9 |

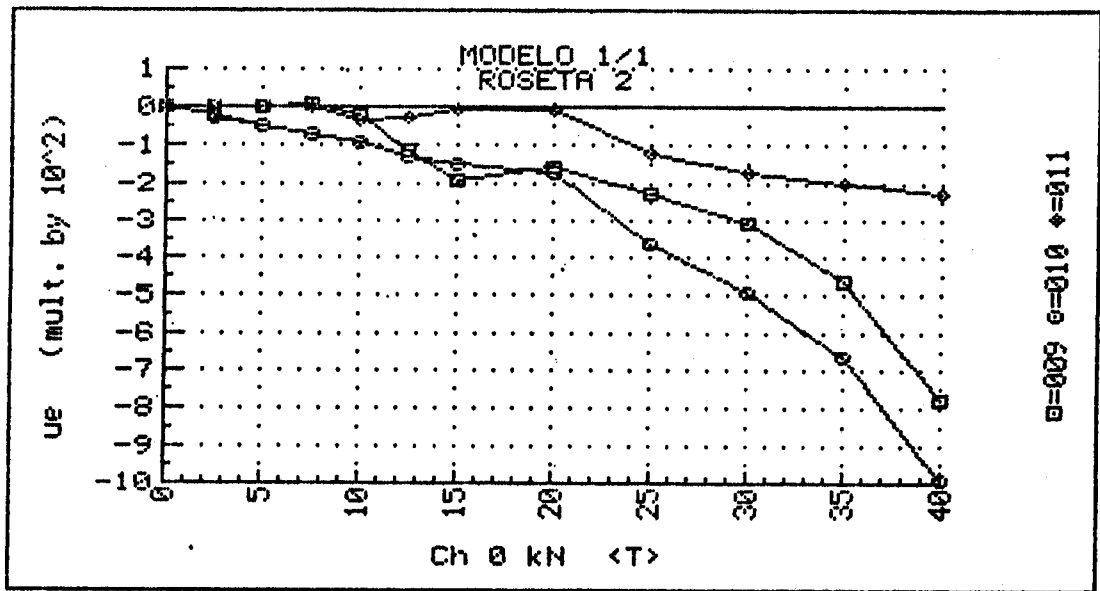
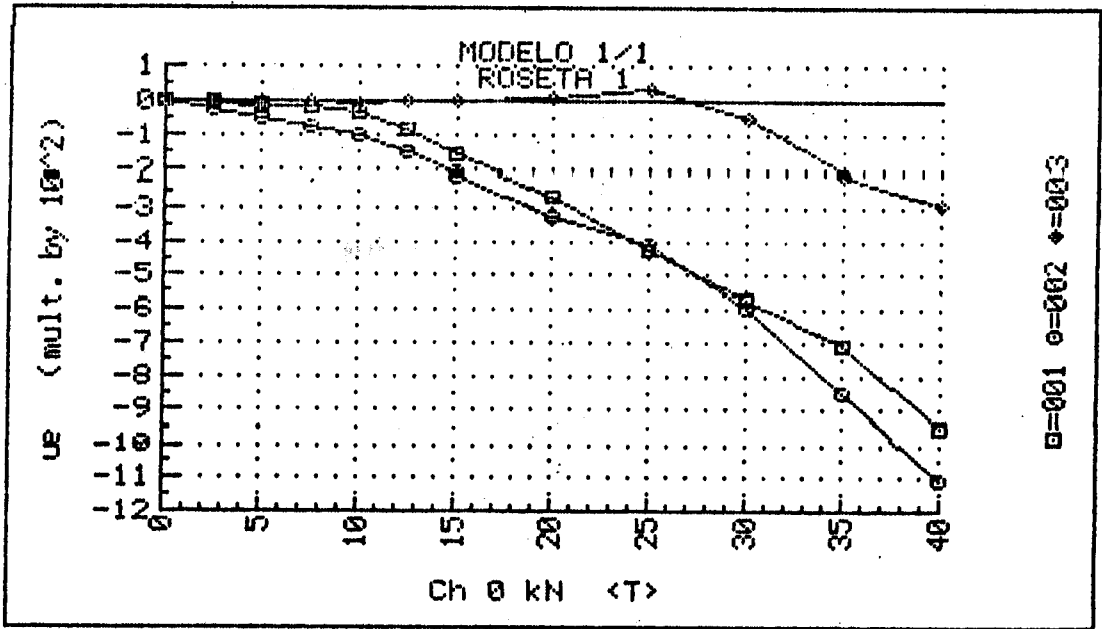
Cálculos feitos com: $E_c = 30.000$ MPa e $\nu = 0,2$

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

ENSAIO DE VIGA DE ARGAMASSA ARMADA
 MODELO 1/1 DATA: 04/09/91
 DEFORMAÇÕES DOS EXTENSÔMETROS ELÉTRICOS DAS ROSETAS
 ROSETA 2

| F (kN) | ϵ_a ($\mu\epsilon$) | ϵ_b ($\mu\epsilon$) | ϵ_c ($\mu\epsilon$) | ϵ_1 ($\mu\epsilon$) | ϵ_2 ($\mu\epsilon$) | σ_1 (MPa) | σ_2 (MPa) | θ ($^\circ$) |
|-----------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|
| 0.00 | +0. | +1. | +0. | +1. | -1. | +0.0 | -0.0 | U/C |
| 2.47 | +2. | -21. | +1. | +24. | -21. | +0.6 | -0.5 | -44.4 |
| 5.00 | +1. | -48. | -2. | +47. | -48. | +1.2 | -1.2 | -44.1 |
| 2.53 | +2. | -25. | +0. | +27. | -25. | +0.7 | -0.6 | -43.9 |
| 5.00 | +2. | -48. | -1. | +49. | -48. | +1.2 | -1.2 | -44.1 |
| 7.53 | +4. | -70. | -2. | +72. | -70. | +1.8 | -1.7 | -43.8 |
| 10.05 | -18. | -91. | -36. | +37. | -92. | +0.6 | -2.6 | -41.1 |
| 12.53 | -117. | -129. | -30. | -3. | -144. | -1.0 | -4.5 | U/C |
| 15.00 | -194. | -149. | -7. | +5. | -206. | -1.1 | -6.4 | -76.2 |
| 20.00 | -157. | -175. | -11. | +33. | -200. | -0.2 | -6.1 | -64.5 |
| 25.05 | -227. | -362. | -119. | +23. | -369. | -1.6 | -11.4 | -53.0 |
| 30.00 | -306. | -494. | -175. | +22. | -502. | -2.5 | -15.6 | -52.2 |
| 35.05 | -462. | -661. | -197. | +28. | -687. | -3.4 | -21.3 | -55.9 |
| 40.00 | -776. | -990. | -231. | +55. | -1061. | -4.9 | -32.8 | -59.6 |

Cálculos feitos com: $E_c = 30.000$ MPa e $\nu = 0,2$

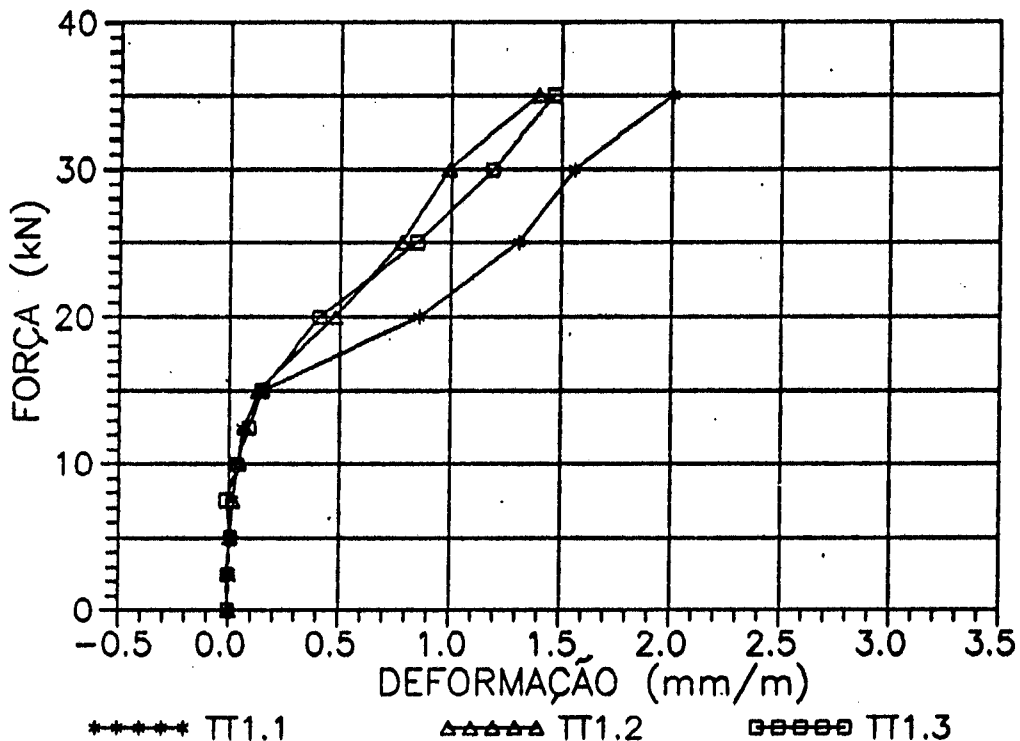


DEFORMAÇÕES MEDIDAS COM EXTENSÔMETRO
MECÂNICO NA MESA TRACIONADA
MODELO 1/1 (mm/m) - SEÇÃO 1

| ETAPA | F (kN) | T (°C) | TT1.1 | TT1.2 | TT1.3 |
|-------|--------|--------|-------|-------|-------|
| 0 | 0,00 | 19,50 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1 | 2,50 | 20,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 2 | 5,00 | 20,00 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| 1 | 2,50 | 20,00 | -0,01 | 0,00 | 0,00 |
| 2 | 5,00 | 20,00 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| 3 | 7,50 | 20,50 | 0,02 | 0,02 | -0,01 |
| 4 | 10,00 | 20,50 | 0,04 | 0,05 | 0,04 |
| 5 | 12,50 | 20,50 | 0,06 | 0,07 | 0,09 |
| 6 | 15,00 | 21,00 | 0,15 | 0,13 | 0,15 |
| 7 | 20,00 | 21,00 | 0,86 | 0,48 | 0,41 |
| 8 | 25,00 | 21,50 | 1,31 | 0,78 | 0,85 |
| 9 | 30,00 | 22,00 | 1,56 | 0,99 | 1,19 |
| 10 | 35,00 | 22,00 | 2,01 | 1,40 | 1,47 |

Obs. Ruptura por cisalhamento - compressão na biela

DIAGRAMAS FORÇA - DEFORMAÇÃO
MODELO 1/1 - Seção 1
Mesa Tracionada



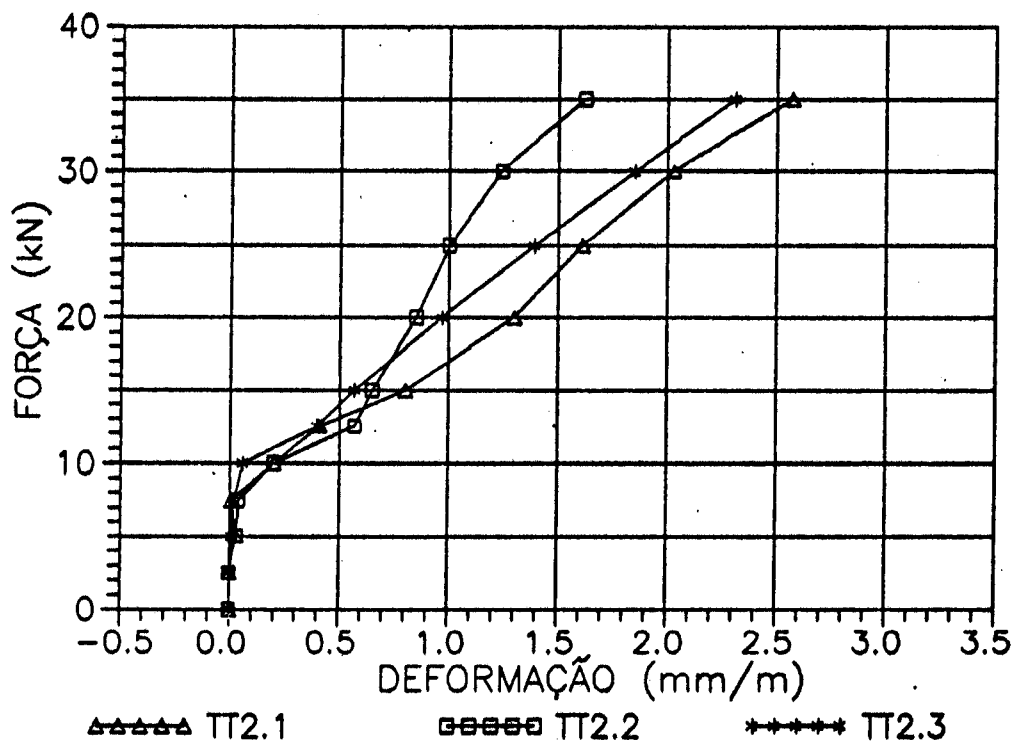
DEFORMAÇÕES MEDIDAS COM EXTENSÔMETRO

MECÂNICO NA MESA TRACIONADA

MODELO 1/1 (mm/m) - SEÇÃO 2

| ETAPA | F (kN) | T (°C) | TT2.1 | TT2.2 | TT2.3 |
|-------|--------|--------|-------|-------|-------|
| 0 | 0,00 | 19,50 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1 | 2,50 | 20,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 2 | 5,00 | 20,00 | 0,02 | 0,01 | 0,01 |
| 1 | 2,50 | 20,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 2 | 5,00 | 20,00 | 0,03 | 0,03 | 0,01 |
| 3 | 7,50 | 20,50 | 0,01 | 0,04 | 0,02 |
| 4 | 10,00 | 20,50 | 0,20 | 0,20 | 0,06 |
| 5 | 12,50 | 20,50 | 0,41 | 0,57 | 0,40 |
| 6 | 15,00 | 21,00 | 0,80 | 0,65 | 0,57 |
| 7 | 20,00 | 21,00 | 1,30 | 0,85 | 0,97 |
| 8 | 25,00 | 21,50 | 1,61 | 1,00 | 1,39 |
| 9 | 30,00 | 22,00 | 2,03 | 1,24 | 1,85 |
| 10 | 35,00 | 22,00 | 2,57 | 1,62 | 2,31 |

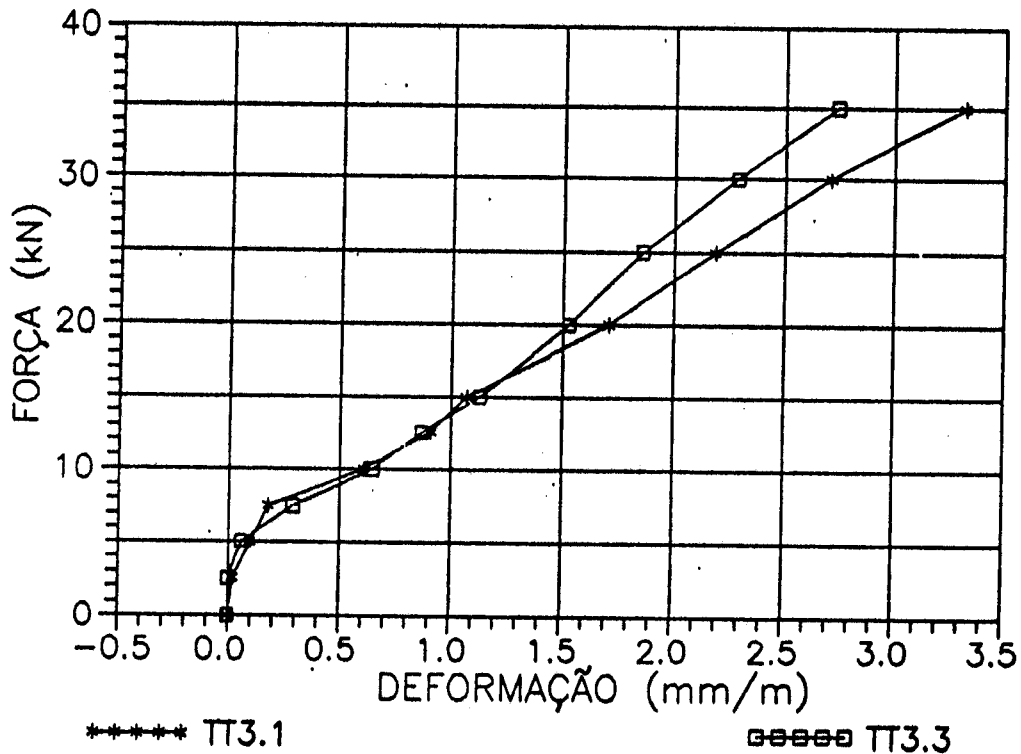
DIAGRAMAS FORÇA - DEFORMAÇÃO
 MODELO 1/1 - Seção 2
 Mesa Tracionada



DEFORMAÇÕES MEDIDAS COM EXTENSÔMETRO
 MECÂNICO NA MESA TRACIONADA
 MODELO 1/1 (mm/m) - SEÇÃO 3

| ETAPA | F (kN) | T (°C) | TT3.1 | TT3.3 |
|-------|--------|--------|-------|-------|
| 0 | 0,00 | 19,50 | 0,00 | 0,00 |
| 1 | 2,50 | 20,00 | 0,01 | 0,01 |
| 2 | 5,00 | 20,00 | 0,10 | 0,05 |
| 1 | 2,50 | 20,00 | 0,02 | 0,00 |
| 2 | 5,00 | 20,00 | 0,10 | 0,06 |
| 3 | 7,50 | 20,50 | 0,18 | 0,29 |
| 4 | 10,00 | 20,50 | 0,61 | 0,65 |
| 5 | 12,50 | 20,50 | 0,91 | 0,87 |
| 6 | 15,00 | 21,00 | 1,07 | 1,13 |
| 7 | 20,00 | 21,00 | 1,71 | 1,53 |
| 8 | 25,00 | 21,50 | 2,19 | 1,86 |
| 9 | 30,00 | 22,00 | 2,71 | 2,29 |
| 10 | 35,00 | 22,00 | 3,32 | 2,74 |

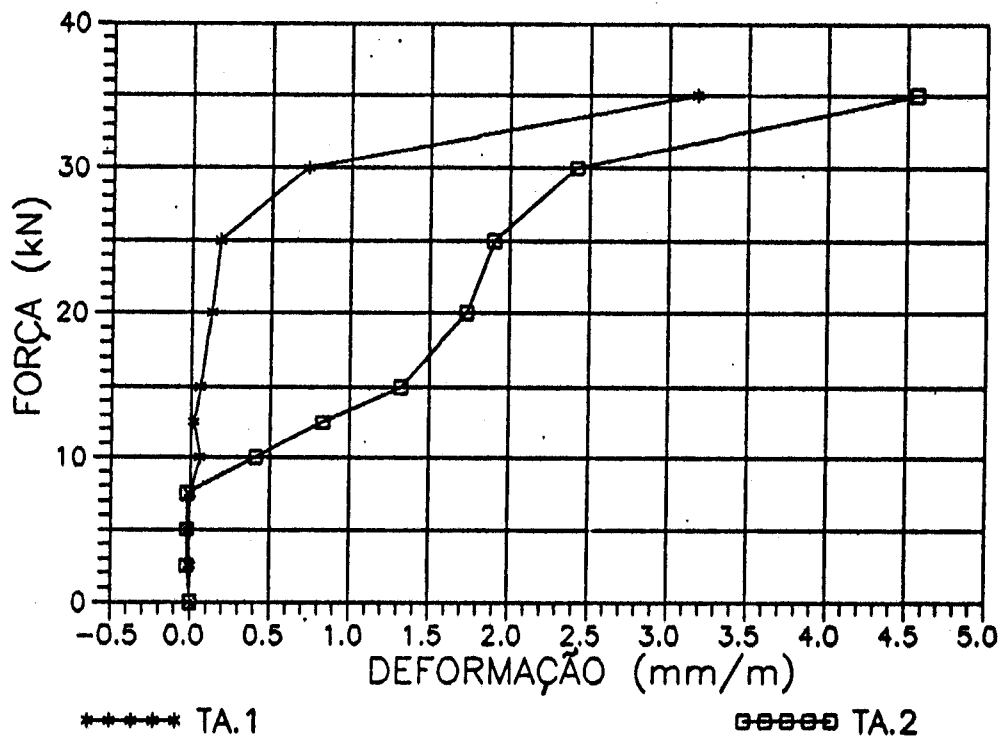
DIAGRAMAS FORÇA - DEFORMAÇÃO
 MODELO 1/1 - Seção 3
 Mesa Tracionada



DEFORMAÇÕES MEDIDAS COM EXTENSÔMETRO
MECÂNICO NA ALMA
MODELO 1/1 (mm/m)

| ETAPA | F (kN) | T (°C) | TA.1 | TA.2 |
|-------|--------|--------|-------|-------|
| 0 | 0,00 | 19,50 | 0,00 | 0,00 |
| 1 | 2,50 | 20,00 | 0,00 | -0,01 |
| 2 | 5,00 | 20,00 | 0,00 | -0,06 |
| 1 | 2,50 | 20,00 | 0,00 | -0,02 |
| 2 | 5,00 | 20,00 | -0,01 | -0,02 |
| 3 | 7,50 | 20,50 | 0,00 | -0,02 |
| 4 | 10,00 | 20,50 | 0,06 | 0,41 |
| 5 | 12,50 | 20,50 | 0,02 | 0,83 |
| 6 | 15,00 | 21,00 | 0,06 | 1,32 |
| 7 | 20,00 | 21,00 | 0,13 | 1,73 |
| 8 | 25,00 | 21,50 | 0,18 | 1,90 |
| 9 | 30,00 | 22,00 | 0,73 | 2,42 |
| 10 | 35,00 | 22,00 | 3,18 | 4,56 |

DIAGRAMAS FORÇA - DEFORMAÇÃO
MODELO 1/1 - ALMA
Extensômetros mecânicos a 45°



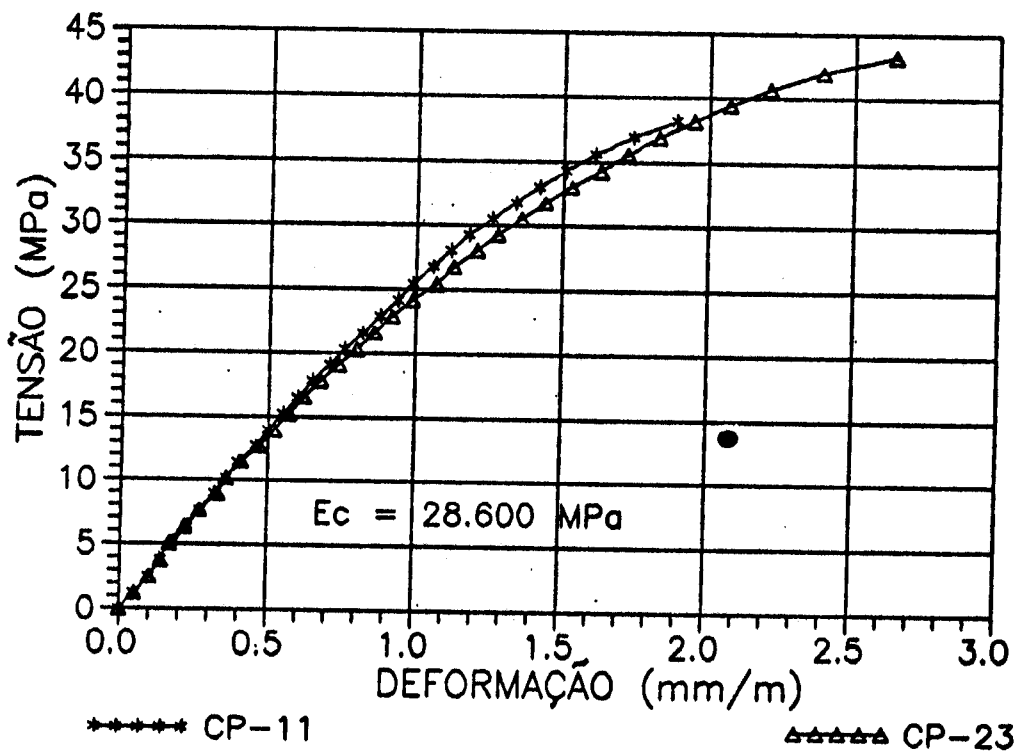
RESULTADOS DOS ENSAIOS DOS CORPOS-DE-PROVA DE ARGAMASSA
MODELO 1/1

| RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa) | | | | RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (MPa) | | |
|--------------------------------|-------|--------|--------|----------------------------|--------|--------|
| IDADE | 1 DIA | 3 DIAS | 7 DIAS | 1 DIA | 3 DIAS | 7 DIAS |
| | 16,6 | 33,7 | 45,8 | 1,6 | 2,8 | 3,1 |
| | 15,9 | 33,5 | 39,5 | 1,4 | 3,7 | 2,9 |
| | 15,9 | 35,0 | 47,4 | 1,2 | 3,2 | 2,7 |
| | 15,3 | 32,5 | 43,4 | 1,4 | 3,2 | 4,1 |
| MÉDIA | 15,9 | 33,7 | 44,0 | 1,4 | 3,2 | 3,2 |
| DESVIO MÁXIMO | 0,7 | 1,3 | 4,5 | 0,2 | 0,5 | 0,9 |
| DESVIO MAX. % | 4,2 | 3,9 | 10,3 | 14,3 | 14,7 | 28,1 |
| DES. MAX. ADMISS. | 0,6 | 1,2 | 4,0 | 0,2 | 0,4 | 0,7 |
| DESVIO PADRÃO | 0,5 | 1,0 | 3,4 | 0,2 | 0,4 | 0,6 |
| COEF. % VARIACÃO | 3,3 | 3,1 | 7,8 | 11,7 | 11,4 | 19,4 |
| INTERVALO CONF. 95% | 15,1 | 32,0 | 38,6 | 1,1 | 2,6 | 2,2 |
| | 16,8 | 35,3 | 49,5 | 1,7 | 3,8 | 4,2 |

1111

DIAGRAMAS TENSÃO - DEFORMAÇÃO

Modelo 1/1



ESPAÇAMENTOS ENTRE FISSURAS NA MESA TRACIONADA
VALORES MÉDIOS (mm) MODELO 1/1

| ETAPA | FORÇA (kN) | TA1 | TA2 | TA3 | TB | TC3 | TC2 | TC1 |
|-------|------------|-------|------|-----|------|------|------|-----|
| 0 | 0,0 | | | | | | | |
| 1 | 2,5 | | | | | | | |
| 2 | 5,0 | | | | | | | |
| 3 | 7,5 | | | | | | | |
| 4 | 10,0 | | | | 50,0 | | | |
| 5 | 12,5 | 160,0 | | | 50,0 | 30,0 | | |
| 6 | 15,0 | 160,0 | 33,3 | | 46,0 | 40,6 | | |
| 7 | 20,0 | 55,0 | 33,3 | | 38,6 | 35,8 | 75,0 | |
| 8 | 25,0 | 41,7 | 31,1 | | 31,1 | 35,8 | 40,0 | |
| 9 | 30,0 | 41,7 | 29,0 | | 30,2 | 29,1 | 40,0 | |
| 10 | 35,0 | 31,3 | 27,3 | | 25,4 | 29,1 | 38,0 | |
| RUINA | 42,0 | 31,3 | 27,3 | | 25,4 | 29,1 | 38,0 | |

ESPAÇAMENTOS ENTRE FISSURAS NA ALMA
VALORES MÉDIOS (mm) MODELO 1/1

| ETAPA | FORÇA (kN) | AA1 | AA2 | AA3 | AB | AC3 | AC2 | AC1 |
|-------|------------|-----|-------|------|-------|-------|-------|------|
| 0 | 0,0 | - | - | - | - | - | - | - |
| 1 | 2,5 | - | - | - | - | - | - | - |
| 2 | 5,0 | - | - | - | - | - | - | - |
| 3 | 7,5 | - | - | - | - | - | - | - |
| 4 | 0,0 | - | - | 95,0 | 200,0 | - | - | - |
| 5 | 12,5 | - | 160,0 | 95,0 | 200,0 | 105,0 | - | - |
| 6 | 15,0 | - | 160,0 | 93,0 | 96,5 | 77,5 | 180,0 | - |
| 7 | 20,0 | - | 45,0 | 51,7 | 68,9 | 46,5 | 83,3 | 62,5 |
| 8 | 25,0 | - | 35,7 | 46,5 | 48,3 | 46,5 | 62,5 | 62,5 |
| 9 | 30,0 | - | 35,7 | 46,5 | 46,0 | 46,5 | 62,5 | 62,5 |
| 10 | 35,0 | - | 35,7 | 42,2 | 43,9 | 46,5 | 62,5 | 35,7 |
| RUINA | 42,0 | - | 35,7 | 42,2 | 43,9 | 46,5 | 62,5 | 35,7 |

VALORES DAS ABERTURAS DE FISSURAS (mm) - MESA TRACIONADA

MODELO 1/1

| ETAPA | FORÇA(kN) | TA1 | TA2 | TA3 | TB | TC3 | TC2 | TC1 |
|-------|-----------|-----|------|------|------|------|------|-----|
| 0 | 0,00 | | | | | | | |
| 1 | 2,50 | | | | | | | |
| 2 | 5,00 | | | | | | | |
| 3 | 7,50 | | | | | | | |
| 4 | 10,00 | | | | 0,05 | | | |
| 5 | 12,50 | | | 0,06 | 0,06 | 0,07 | | |
| 6 | 15,00 | | | 0,06 | 0,07 | 0,07 | | |
| 7 | 20,00 | | 0,06 | 0,06 | 0,07 | 0,07 | 0,05 | |
| 8 | 25,00 | | 0,06 | 0,10 | 0,09 | 0,10 | 0,06 | |
| 9 | 30,00 | | 0,10 | 0,11 | 0,11 | 0,12 | 0,07 | |
| 10 | 35,00 | | 0,10 | 0,13 | 0,11 | 0,13 | 0,07 | |

VALORES DAS ABERTURAS DE FISSURAS (mm) - ALMA

MODELO 1/1

| ETAPA | FORÇA(kN) | AA1 | AA2 | AA3 | AB | AC3 | AC2 | AC1 |
|-------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 0,00 | | | | | | | |
| 1 | 2,50 | | | | | | | |
| 2 | 5,00 | | | | | | | |
| 3 | 7,50 | | | | | | | |
| 4 | 10,00 | | 0,05 | 0,04 | 0,05 | 0,09 | | |
| 5 | 12,50 | | 0,09 | 0,05 | 0,05 | 0,11 | 0,10 | |
| 6 | 15,00 | | 0,11 | 0,07 | 0,07 | 0,12 | 0,11 | |
| 7 | 20,00 | 0,05 | 0,14 | 0,09 | 0,07 | 0,14 | 0,16 | 0,07 |
| 8 | 25,00 | 0,15 | 0,17 | 0,09 | 0,07 | 0,16 | 0,20 | 0,14 |
| 9 | 30,00 | 0,16 | 0,17 | 0,10 | 0,11 | 0,16 | 0,20 | 0,17 |
| 10 | 35,00 | 0,20 | 0,22 | 0,13 | 0,11 | 0,20 | 0,23 | 0,20 |

INCLINAÇÕES DAS FISSURAS E DAS TENSÕES PRINCIPAIS DE
 COMPRESSÃO NO CENTRO DE GRAVIDADE - MODELO 1/1

| ETAPA | FORÇA (kN) | SEÇÃO 1 | | SEÇÃO 2 | |
|-------|---------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| | | θ (°) | β (°) | θ (°) | β (°) |
| 1 | 2,5 | | 42,7 | | 46,1 |
| 2 | 5,0 | | 42,8 | | 45,9 |
| 3 | 7,5 | | 42,0 | | 46,2 |
| 4 | 10,0 | 60,0 | 40,4 | 53,3 | 48,9 |
| 5 | 12,5 | 60,0 | 34,7 | 45,0 | |
| 6 | 15,0 | 50,0 | 29,7 | 45,5 | 13,8 |
| 7 | 20,0 | 42,5 | 27,5 | 40,0 | 25,5 |
| 8 | 25,0 | 34,0 | 21,5 | 34,0 | 37,0 |
| 9 | 30,0 | 34,0 | 23,6 | 26,5 | 37,8 |
| 10 | 35,0 | 10,0 | | 25,0 | 34,1 |
| 11 | 40,0 | | 28,1 | | 30,4 |
| MÉDIA | - | 41,5 | 33,3 | 38,5 | 36,6 |

θ = inclinação das fissuras

β = inclinação da tensão principal de compressão (σ_2)

A1.2 - MODELO 1/2

MOLDAGEM: 02/09/91

ENSAIO: 09/09/91

TIPO DE RUPTURA: CISALHAMENTO - COMPRESSÃO DA BIELA

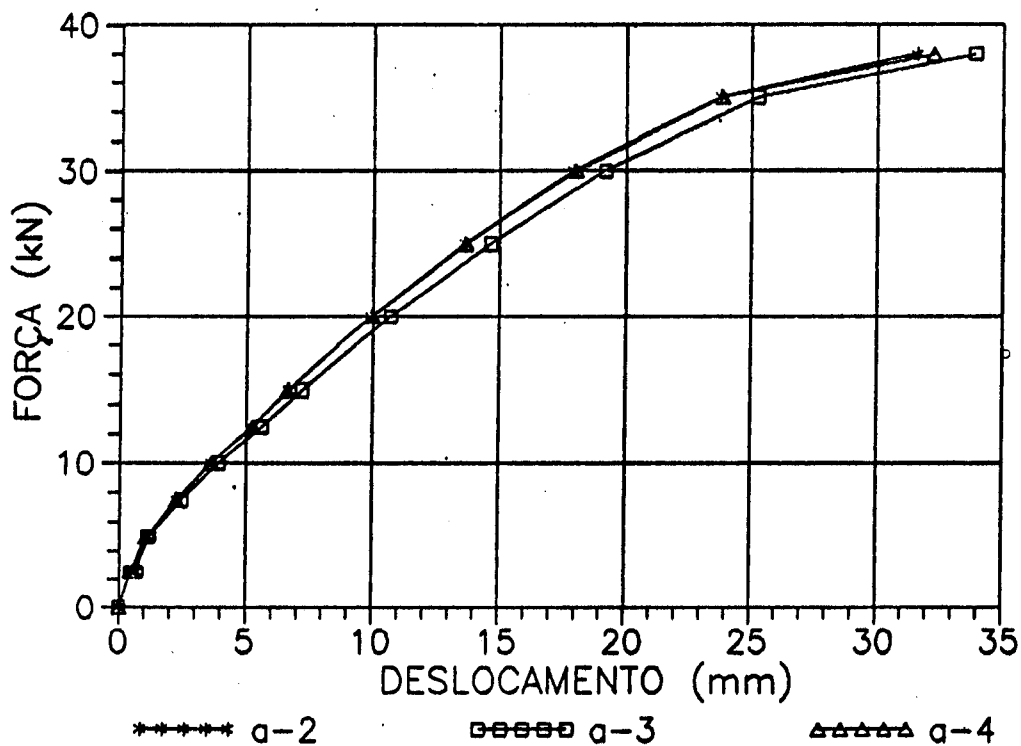
FORÇA CORTANTE ÚLTIMA: 38 kN

DESLOCAMENTOS VERTICAIS - MODELO 1/2
(mm)

| ETAPA | HORA | FORÇA (kN) | v2 | v3 | v4 |
|-------|-------|------------|-------|-------|-------|
| 0 | 14h23 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1 | 14h26 | 2,50 | 0,47 | 0,45 | 0,42 |
| 2 | 14h34 | 5,00 | 1,10 | 1,13 | 1,04 |
| 1 | 14h36 | 2,50 | 0,68 | 0,70 | 0,63 |
| 2 | 14h38 | 5,00 | 1,14 | 1,18 | 1,08 |
| 3 | 14h32 | 7,50 | 2,28 | 2,45 | 2,24 |
| 4 | 14h47 | 10,00 | 3,63 | 3,91 | 3,61 |
| 5 | 14h57 | 12,50 | 5,22 | 5,60 | 5,22 |
| 6 | 15h09 | 15,00 | 6,68 | 7,20 | 6,64 |
| 7 | 15h23 | 20,00 | 9,92 | 10,70 | 9,96 |
| 8 | 15h43 | 25,00 | 13,62 | 14,64 | 13,68 |
| 9 | 15h58 | 30,00 | 17,89 | 19,18 | 18,02 |
| 10 | 16h15 | 35,00 | 23,78 | 25,29 | 23,86 |
| 11 | 16h30 | 38,00 | 31,57 | 33,89 | 32,26 |

| | | | |
|--------------------------|---------|---------|---------|
| DISTÂNCIA APOIO ESQUERDO | 1045,00 | 1447,50 | 1850,00 |
|--------------------------|---------|---------|---------|

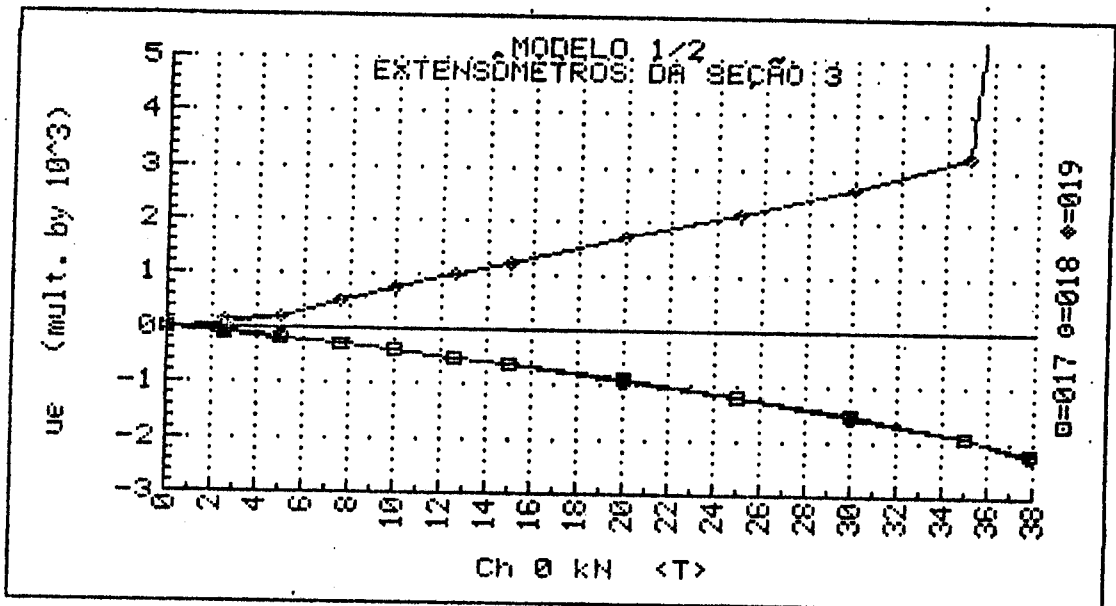
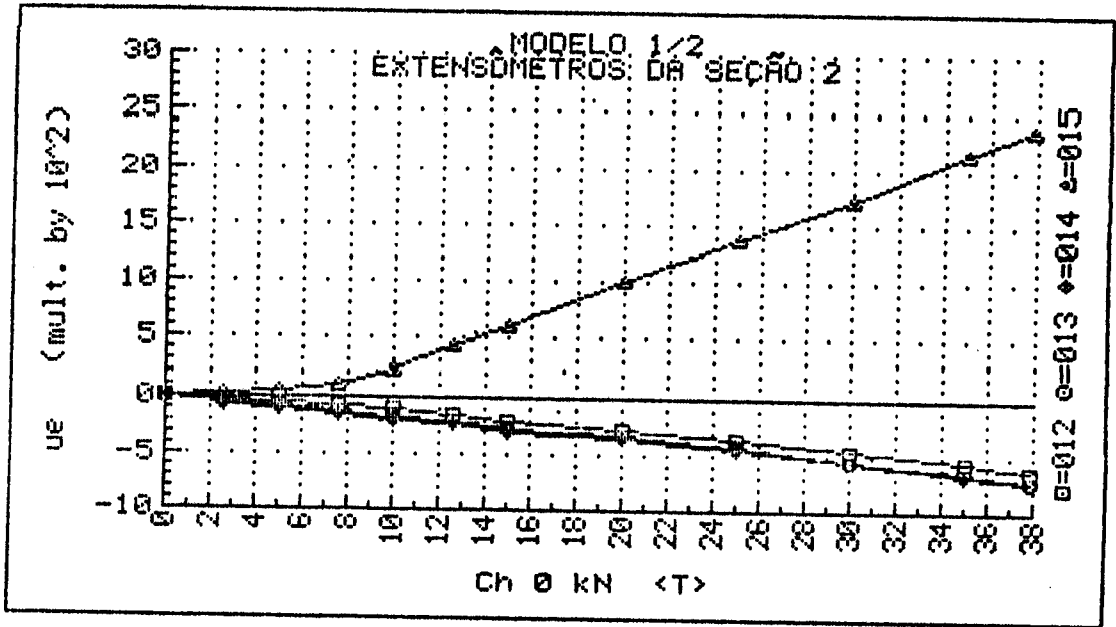
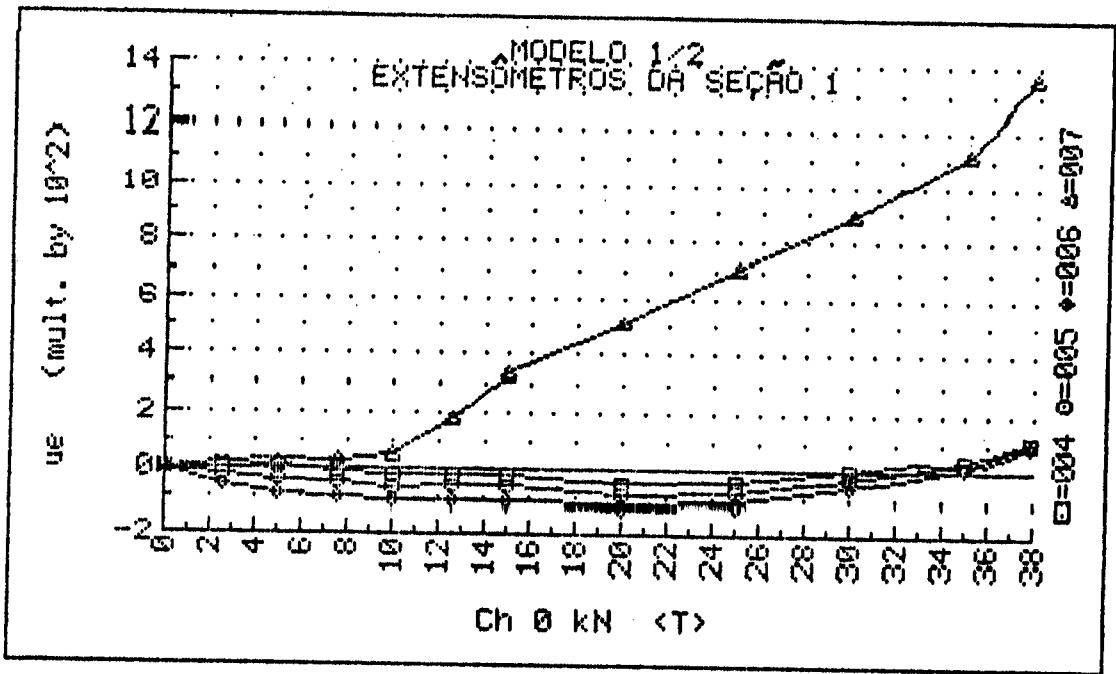
DIAGRAMAS FORÇA - DESLOCAMENTO
MODELO 1/2



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

ENSAIO DE VIGA DE ARGAMASSA ARMADA
 MODELO 1/2 DATA: 09/09/91
 DEFORMAÇÕES DOS EXTENSÔMETROS ELÉTRICOS UNIAXIAIS

| F (kN) | EC 1.1 ($\mu\epsilon$) | EC 1.2 ($\mu\epsilon$) | EC 1.3 ($\mu\epsilon$) | EC 2.1 ($\mu\epsilon$) | EC 2.2 ($\mu\epsilon$) | EC 2.3 ($\mu\epsilon$) | EC 3.1 ($\mu\epsilon$) | EC 3.3 ($\mu\epsilon$) | ES 1 ($\mu\epsilon$) | ES 2 ($\mu\epsilon$) | ES 3 ($\mu\epsilon$) |
|-----------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 0.00 | +0. | +0. | +0. | +0. | +1. | +0. | +0. | +0. | +0. | +0. | +0. |
| 2.53 | +22. | -19. | -57. | -15. | -42. | -60. | -86. | -75. | +16. | +28. | +61. |
| 5.00 | +14. | -38. | -86. | -43. | -83. | -110. | -175. | -170. | +29. | +58. | +181. |
| 2.53 | +23. | -20. | -59. | -15. | -46. | -68. | -101. | -98. | +18. | +35. | +133. |
| 5.00 | +14. | -37. | -85. | -44. | -84. | -110. | -179. | -175. | +31. | +61. | +196. |
| 7.53 | -7. | -55. | -103. | -78. | -127. | -154. | -283. | -297. | +44. | +98. | +500. |
| 10.00 | -25. | -71. | -105. | -111. | -166. | -195. | -399. | -413. | +64. | +220. | +757. |
| 12.53 | -21. | -62. | -112. | -140. | -203. | -236. | -526. | -545. | +181. | +427. | +996. |
| 15.00 | -22. | -63. | -112. | -203. | -266. | -298. | -653. | -673. | +331. | +612. | +1218. |
| 20.00 | -46. | -88. | -119. | -266. | -330. | -357. | -907. | -929. | +515. | +1005. | +1685. |
| 25.00 | -39. | -78. | -106. | -349. | -432. | -450. | -1204. | -1225. | +710. | +1374. | +2162. |
| 30.05 | +0. | -28. | -59. | -440. | -545. | -557. | -1514. | -1541. | +893. | +1720. | +2656. |
| 35.00 | +48. | +26. | +9. | -542. | -658. | -665. | -1876. | -1904. | +1123. | +2158. | +3266. |
| 37.84 | +111. | +107. | +96. | -621. | -714. | -716. | -2196. | -2253. | +1355. | +2386. | +12614. |



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

ENSAIO DE VIGA DE ARGAMASSA ARMADA
 MODELO 1/2 DATA: 09/09/91
 DEFORMAÇÕES DOS EXTENSÔMETROS ELÉTRICOS DAS ROSETAS
 ROSETA 1

| F (KN) | ϵ_A ($\mu\epsilon$) | ϵ_B ($\mu\epsilon$) | ϵ_C ($\mu\epsilon$) | ϵ_1 ($\mu\epsilon$) | ϵ_2 ($\mu\epsilon$) | σ_1 (MPa) | σ_2 (MPa) | θ ($^\circ$) |
|-----------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|
| 0.00 | +1. | +0. | +1. | +2. | +0. | +0.1 | +0.0 | U/C |
| 2.53 | +7. | +13. | +0. | +13. | -6. | +0.4 | -0.1 | +34.9 |
| 5.00 | -3. | +1. | -1. | +1. | -5. | +0.0 | -0.1 | U/C |
| 2.53 | -1. | +13. | +3. | +13. | -11. | +0.3 | -0.3 | +49.7 |
| 5.00 | -4. | +2. | +0. | +2. | -6. | +0.0 | -0.2 | U/C |
| 7.53 | -12. | -17. | -4. | +3. | -18. | -0.0 | -0.6 | U/C |
| 10.00 | -23. | -40. | -8. | +10. | -41. | +0.1 | -1.2 | -53.9 |
| 12.53 | -50. | -76. | +0. | +31. | -82. | +0.5 | -2.4 | -58.3 |
| 15.00 | -90. | -118. | +2. | +43. | -131. | +0.5 | -3.8 | -60.9 |
| 20.00 | -87. | -177. | -31. | +62. | -181. | +0.8 | -5.3 | -51.7 |
| 25.00 | -120. | -296. | -190. | -10. | -300. | -2.2 | -9.4 | -38.0 |
| 30.05 | -110. | -523. | -355. | +84. | -548. | -0.8 | -16.6 | -33.6 |
| 35.00 | -93. | -725. | -477. | +195. | -765. | +1.3 | -22.7 | -33.2 |
| 37.84 | +4. | -891. | -528. | +420. | -945. | +7.2 | -26.9 | -33.5 |

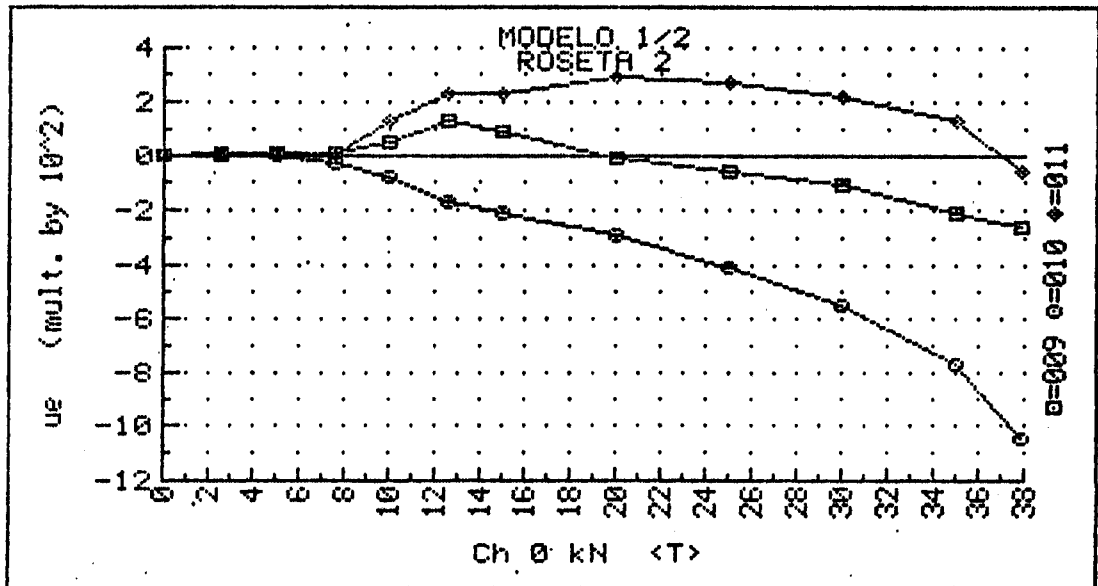
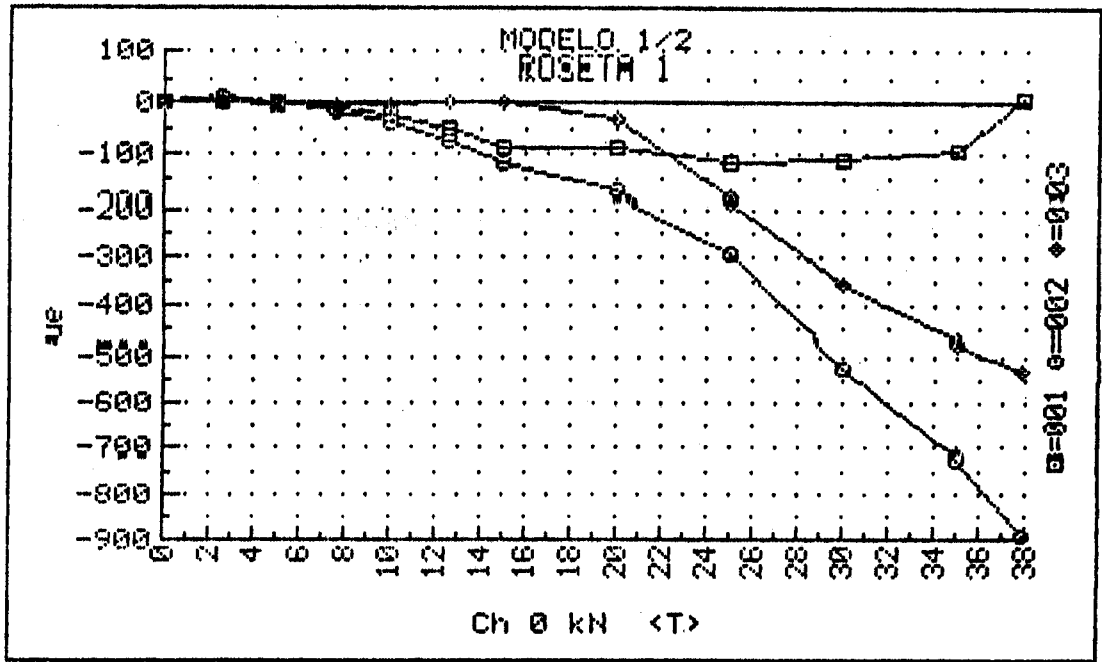
Cálculos feitos com: $E_c = 30.000 \text{ MPa}$ e $\nu = 0,2$

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

ENSAIO DE VIGA DE ARGAMASSA ARMADA
 MODELO 1/2 DATA: 09/09/91
 DEFORMAÇÕES DOS EXTENSÔMETROS ELÉTRICOS DAS ROSETAS
 ROSETA 2

| F (kN) | ϵ_a ($\mu\epsilon$) | ϵ_b ($\mu\epsilon$) | ϵ_c ($\mu\epsilon$) | ϵ_1 ($\mu\epsilon$) | ϵ_2 ($\mu\epsilon$) | σ_1 (MPa) | σ_2 (MPa) | θ ($^\circ$) |
|-----------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|
| 0.00 | +1. | +0. | +0. | +1. | -0. | +0.0 | +0.0 | U/C |
| 2.53 | +4. | +11. | -5. | +11. | -12. | +0.3 | -0.3 | +34.3 |
| 5.00 | +6. | -2. | -1. | +8. | -3. | +0.2 | -0.0 | U/C |
| 2.53 | +7. | +11. | +2. | +12. | +7. | +0.3 | +0.1 | +31.1 |
| 5.00 | +7. | -2. | +0. | +10. | -3. | +0.3 | -0.0 | U/C |
| 7.53 | +10. | -27. | -2. | +35. | -28. | +0.9 | -0.6 | -39.7 |
| 10.00 | +49. | -81. | +125. | +260. | -86. | +7.6 | -1.1 | -51.3 |
| 12.53 | +125. | -167. | +231. | +527. | -171. | +15.4 | -2.0 | -49.4 |
| 15.00 | +93. | -213. | +228. | +540. | -219. | +15.5 | -3.5 | -50.1 |
| 20.00 | +15. | +291. | +292. | +595. | -317. | +16.6 | -6.2 | -54.8 |
| 25.00 | -61. | -409. | +266. | +639. | -435. | +17.3 | -9.6 | -53.9 |
| 30.05 | +113. | +550. | +216. | +676. | -572. | +17.5 | -13.7 | -52.6 |
| 35.00 | -213. | -767. | +135. | +709. | -788. | +17.2 | -20.2 | -51.7 |
| 37.84 | -258. | -1048. | -63. | +733. | -1054. | +16.3 | -28.4 | -48.1 |

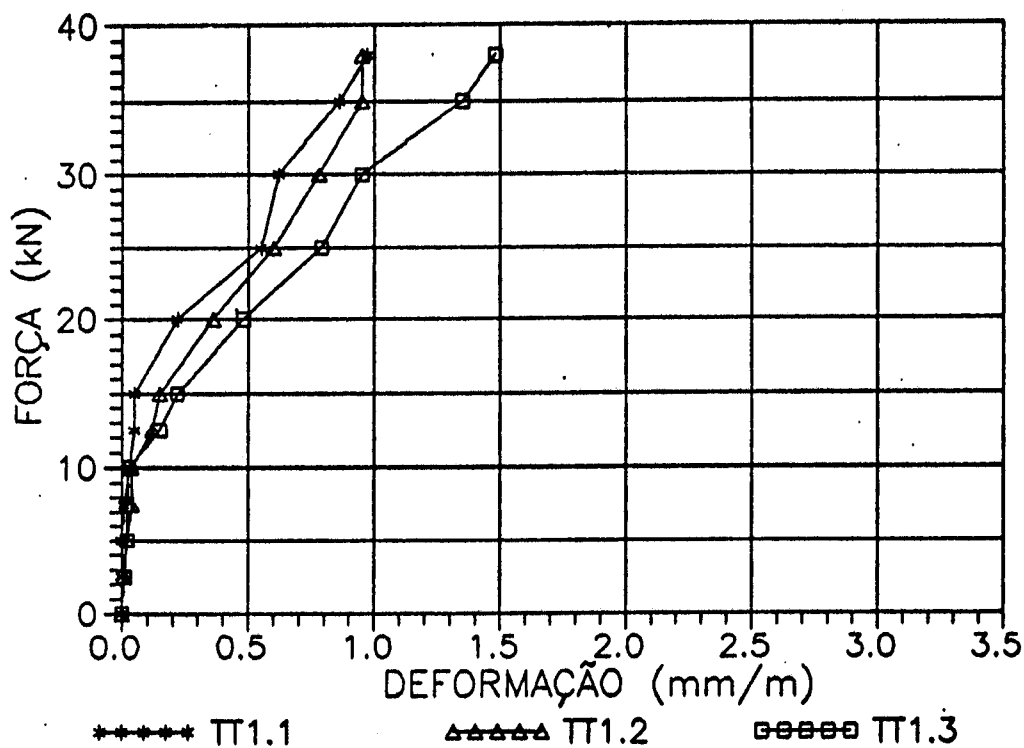
Cálculos feitos com: $E_c = 30.000$ MPa e $\nu = 0,2$



DEFORMAÇÕES MEDIDAS COM ESTENSÔMETRO
 MECÂNICO NA MESA TRACIONADA
 MODELO 1/2 (mm/m) - SEÇÃO 1

| ETAPA | F (kN) | T (°C) | TT1.1 | TT1.2 | TT1.3 |
|-------|--------|--------|-------|-------|-------|
| 0 | 0,00 | 24,50 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1 | 2,50 | 24,50 | 0,00 | 0,01 | 0,02 |
| 2 | 5,00 | 24,50 | 0,00 | 0,01 | 0,02 |
| 1 | 2,50 | 24,50 | 0,00 | 0,01 | 0,01 |
| 2 | 5,00 | 24,50 | 0,00 | 0,02 | 0,02 |
| 3 | 7,50 | 24,50 | 0,01 | 0,04 | 0,02 |
| 4 | 10,00 | 24,50 | 0,03 | 0,04 | 0,03 |
| 5 | 12,50 | 24,50 | 0,05 | 0,12 | 0,15 |
| 6 | 15,00 | 24,50 | 0,05 | 0,15 | 0,22 |
| 7 | 20,00 | 24,50 | 0,22 | 0,36 | 0,48 |
| 8 | 25,00 | 24,50 | 0,55 | 0,60 | 0,79 |
| 9 | 30,00 | 24,50 | 0,62 | 0,78 | 0,95 |
| 10 | 35,00 | 24,50 | 0,86 | 0,95 | 1,35 |
| 11 | 38,00 | 24,50 | 0,97 | 0,95 | 1,48 |

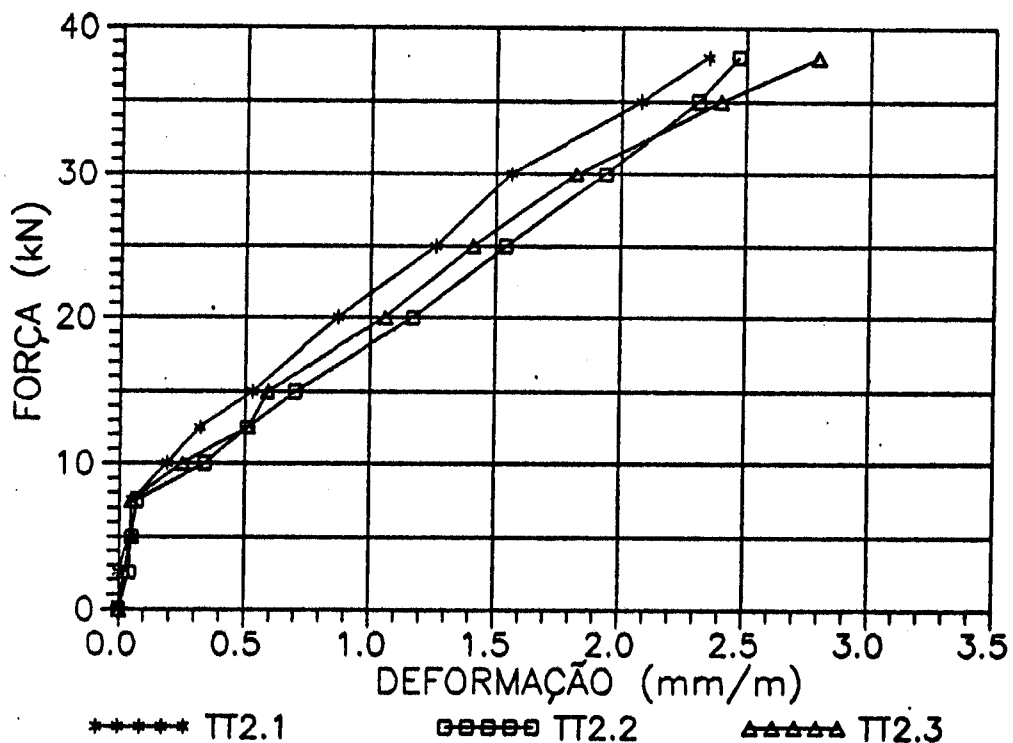
DIAGRAMAS FORÇA - DEFORMAÇÃO
 MODELO 1/2 - Seção 1
 Mesa Tracionada



DEFORMAÇÕES MEDIDAS COM EXTENSÔMETRO
 MECÂNICO NA MESA TRACIONADA
 MODELO 1/2 (mm/m) - SEÇÃO 2

| ETAPA | F (kN) | T (°C) | TT2.1 | TT2.2 | TT2.3 |
|-------|--------|--------|-------|-------|-------|
| 0 | 0,00 | 24,50 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1 | 2,50 | 24,50 | 0,01 | 0,03 | 0,01 |
| 2 | 5,00 | 24,50 | 0,02 | 0,05 | 0,04 |
| 1 | 2,50 | 24,50 | 0,00 | 0,04 | 0,02 |
| 2 | 5,00 | 24,50 | 0,04 | 0,05 | 0,05 |
| 3 | 7,50 | 24,50 | 0,05 | 0,07 | 0,05 |
| 4 | 10,00 | 24,50 | 0,19 | 0,34 | 0,25 |
| 5 | 12,50 | 24,50 | 0,32 | 0,51 | 0,51 |
| 6 | 15,00 | 24,50 | 0,53 | 0,70 | 0,59 |
| 7 | 20,00 | 24,50 | 0,87 | 1,17 | 1,06 |
| 8 | 25,00 | 24,50 | 1,26 | 1,54 | 1,41 |
| 9 | 30,00 | 24,50 | 1,56 | 1,94 | 1,82 |
| 10 | 35,00 | 24,50 | 2,08 | 2,31 | 2,40 |
| 11 | 38,00 | 24,50 | 2,35 | 2,47 | 2,79 |

DIAGRAMAS FORÇA - DEFORMAÇÃO
 MODELO 1/2 - Seção 2
 Mesa Tracionada

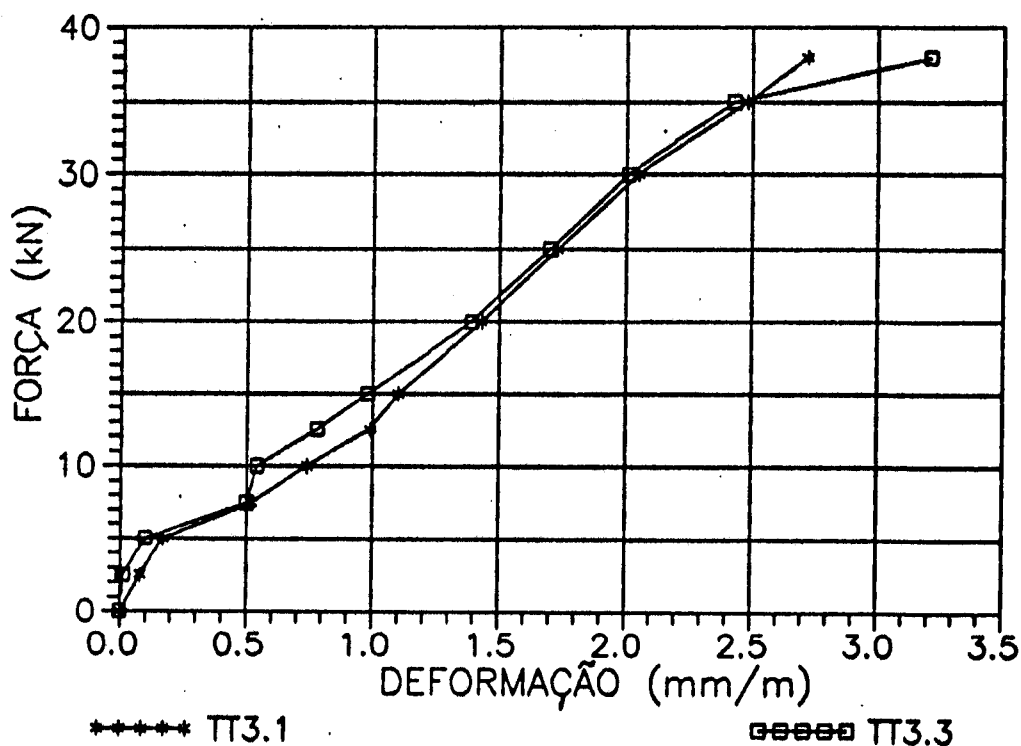


DEFORMAÇÕES MEDIDAS COM EXTENSÔMETRO
 MECÂNICO NA MESA TRACIONADA
 MODELO 1/2 (mm/m) - SEÇÃO 3

| ETAPA | F (kN) | T (°C) | TT3.1 | TT3.3 |
|-------|--------|--------|-------|-------|
| 0 | 0,00 | 24,50 | 0,00 | 0,00 |
| 1 | 2,50 | 24,50 | 0,07 | 0,01 |
| 2 | 5,00 | 24,50 | 0,15 | 0,08 |
| 1 | 2,50 | 24,50 | 0,08 | 0,01 |
| 2 | 5,00 | 24,50 | 0,17 | 0,10 |
| 3 | 7,50 | 24,50 | 0,52 | 0,50 |
| 4 | 10,00 | 24,50 | 0,74 | 0,54 |
| 5 | 12,50 | 24,50 | 0,99 | 0,78 |
| 6 | 15,00 | 24,50 | 1,10 | 0,98 |
| 7 | 20,00 | 24,50 | 1,43 | 1,39 |
| 8 | 25,00 | 24,50 | 1,73 | 1,70 |
| 9 | 30,00 | 24,50 | 2,05 | 2,01 |
| 10 | 35,00 | 24,50 | 2,48 | 2,43 |
| 11 | 38,00 | 24,50 | 2,72 | 3,21 |

Obs. Ruptura por cisalhamento - compressão na biela

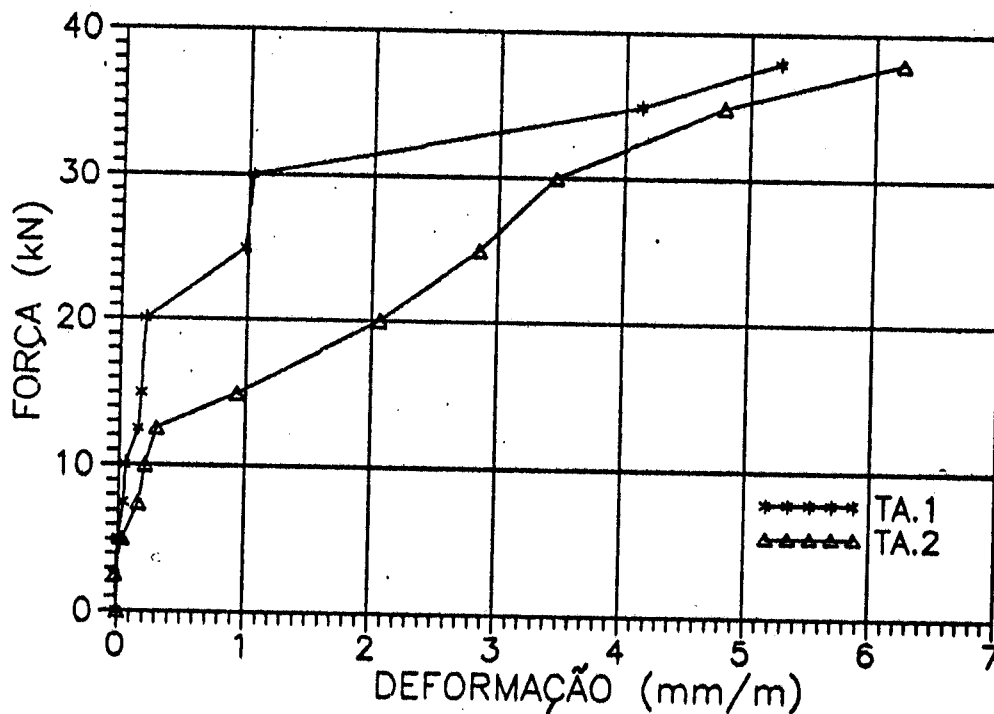
DIAGRAMAS FORÇA - DEFORMAÇÃO
 MODELO 1/2 - Seção 3
 Mesa Tracionada



DEFORMAÇÕES MEDIDAS COM EXTENSÔMETRO
 MECÂNICO NA ALMA
 MODELO 1/2 (mm/m)

| ETAPA | F (kN) | T (°C) | TA.1 | TA.2 |
|-------|--------|--------|------|------|
| 0 | 0,00 | 24,50 | 0,00 | 0,00 |
| 1 | 2,50 | 24,50 | 0,00 | 0,00 |
| 2 | 5,00 | 24,50 | 0,02 | 0,03 |
| 1 | 2,50 | 24,50 | 0,00 | 0,01 |
| 2 | 5,00 | 24,50 | 0,02 | 0,05 |
| 3 | 7,50 | 24,50 | 0,05 | 0,17 |
| 4 | 10,00 | 24,50 | 0,08 | 0,24 |
| 5 | 12,50 | 24,50 | 0,18 | 0,32 |
| 6 | 15,00 | 24,50 | 0,19 | 0,96 |
| 7 | 20,00 | 24,50 | 0,24 | 2,10 |
| 8 | 25,00 | 24,50 | 1,03 | 2,90 |
| 9 | 30,00 | 24,50 | 1,09 | 3,51 |
| 10 | 35,00 | 24,50 | 4,21 | 4,87 |
| 11 | 38,00 | 24,50 | 5,31 | 6,29 |

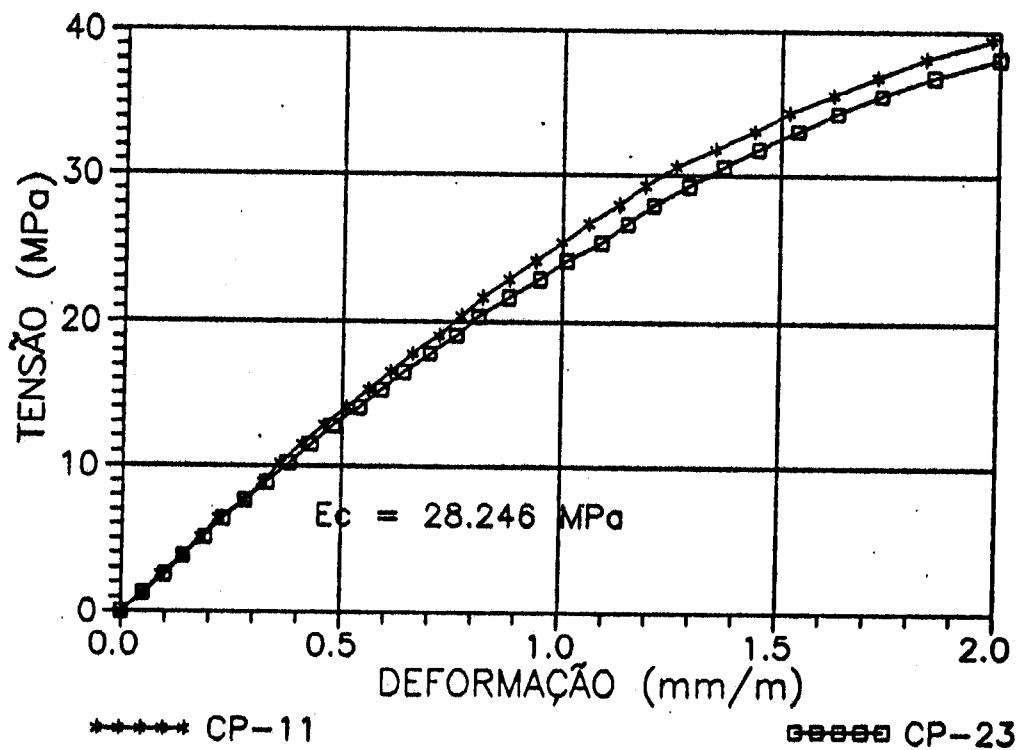
DIAGRAMAS FORÇA - DEFORMAÇÃO
 MODELO 1/2 - ALMA



RESULTADOS DOS ENSAIOS DOS CORPOS-DE-PROVA DE ARGAMASSA
MODELO 1/2

| RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa) | | | | RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (MPa) | | |
|--------------------------------|-------|--------|--------|----------------------------|--------|--------|
| IDADE | 1 DIA | 3 DIAS | 7 DIAS | 1 DIA | 3 DIAS | 7 DIAS |
| | 12,1 | 30,6 | 38,3 | 1,3 | 3,0 | 2,8 |
| | 11,5 | 31,2 | 39,7 | 1,2 | 2,5 | 3,4 |
| | 11,5 | 30,8 | 39,0 | 1,2 | 3,1 | 3,2 |
| | 11,7 | 31,2 | 39,5 | 1,2 | 2,6 | 3,7 |
| MÉDIA | 11,7 | 31,0 | 39,1 | 1,2 | 2,8 | 3,3 |
| DESVIO MÁXIMO | 0,4 | 0,3 | 0,8 | 0,1 | 0,3 | 0,5 |
| DESVIO MAX. % | 3,4 | 1,1 | 2,1 | 6,1 | 10,7 | 14,5 |
| DES. MAX. ADMISS. | 0,3 | 0,3 | 0,7 | 0,1 | 0,3 | 0,4 |
| DESVIO PADRÃO | 0,3 | 0,3 | 0,6 | 0,1 | 0,3 | 0,4 |
| COEF. % VARIACÃO | 2,4 | 1,0 | 1,6 | 4,1 | 10,5 | 11,5 |
| INTERVALO CONF. 95% | 11,2 | 30,5 | 38,1 | 1,1 | 2,3 | 2,7 |
| | 12,2 | 31,4 | 40,1 | 1,3 | 3,3 | 3,9 |

DIAGRAMAS TENSÃO – DEFORMAÇÃO Modelo 1/2



ESPAÇAMENTOS ENTRE FISSURAS NA MESA TRACIONADA
VALORES MÉDIOS (mm) MODELO 1/2

| ETAPA | F (kN) | TA1 | TA2 | TA3 | TB | TC3 | TC2 | TC1 |
|-------|--------|-------|------|------|------|------|------|-----|
| 0 | 0,0 | | | | | | | |
| 1 | 2,5 | | | | | | | |
| 2 | 5,0 | | | | | | | |
| 3 | 7,5 | | | | | | | |
| 4 | 10,0 | | | 53,0 | 74,2 | 93,0 | | |
| 5 | 12,5 | | | 51,7 | 42,0 | 58,1 | | |
| 6 | 15,0 | | | 38,8 | 42,0 | 31,0 | 62,5 | |
| 7 | 20,0 | | 40,0 | 35,8 | 33,3 | 25,8 | 41,7 | |
| 8 | 25,0 | | 40,0 | 31,0 | 32,2 | 25,8 | 27,8 | |
| 9 | 30,0 | | 31,3 | 23,3 | 30,2 | 24,5 | 25,0 | |
| 10 | 35,0 | | 13,8 | 23,3 | 28,4 | 22,1 | 22,7 | |
| 11 | 38,0 | 115,0 | 13,8 | 22,1 | 26,1 | 22,1 | 22,7 | |
| RUINA | 38,0 | 115,0 | 13,8 | 22,1 | 26,1 | 22,1 | 22,7 | |

ESPAÇAMENTOS ENTRE FISSURAS NA ALMA
VALORES MÉDIOS (mm) MODELO 1/2

| ETAPA | F (kN) | AA1 | AA2 | AA3 | AB | AC3 | AC2 | AC1 |
|-------|--------|------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| 0 | 0,0 | | | | | | | |
| 1 | 2,5 | | | | | | | |
| 2 | 5,0 | | | | | | | |
| 3 | 7,5 | | | | | | | |
| 4 | 10,0 | | | | | | | |
| 5 | 12,5 | | | | | 150,0 | | |
| 6 | 15,0 | | | | | 150,0 | | |
| 7 | 20,0 | | 160,0 | 100,0 | 193,0 | 66,4 | 62,5 | |
| 8 | 25,0 | | 50,0 | 60,0 | 120,6 | 58,1 | 50,0 | 50,0 |
| 9 | 30,0 | 83,3 | 41,7 | 38,8 | 60,3 | 42,3 | 35,7 | 41,7 |
| 10 | 35,0 | 83,3 | 41,7 | 38,8 | 50,8 | 42,3 | 31,3 | 31,3 |
| 11 | 38,0 | 83,3 | 35,7 | 33,2 | 30,2 | 38,8 | 22,7 | 31,3 |
| RUINA | 38,0 | 83,3 | 35,7 | 33,2 | 30,2 | 38,8 | 22,7 | 31,3 |

VALORES DAS ABERTURAS DE FISSURAS (mm) - MESA TRACIONADA

MODELO 1/2

| ETAPA | FORÇA(kN) | TA1 | TA2 | TA3 | TB | TC3 | TC2 | TC1 |
|-------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 0,00 | | | | | | | |
| 1 | 2,50 | | | | | | | |
| 2 | 5,00 | | | | | | | |
| 3 | 7,50 | | | | 0,03 | | | |
| 4 | 10,00 | | | 0,04 | 0,05 | 0,05 | | |
| 5 | 12,50 | | | 0,05 | 0,07 | 0,06 | | |
| 6 | 15,00 | | 0,04 | 0,05 | 0,08 | 0,06 | 0,06 | |
| 7 | 20,00 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,09 | 0,06 | 0,08 | |
| 8 | 25,00 | 0,06 | 0,06 | 0,10 | 0,11 | 0,08 | 0,09 | |
| 9 | 30,00 | 0,06 | 0,06 | 0,13 | 0,13 | 0,09 | 0,09 | |
| 10 | 35,00 | 0,06 | 0,06 | 0,13 | 0,15 | 0,09 | 0,09 | |
| 11 | 38,00 | 0,06 | 0,06 | 0,13 | 0,17 | 0,11 | 0,09 | 0,05 |

VALORES DAS ABERTURAS DE FISSURAS (mm) - ALMA

MODELO 1/2

| ETAPA | FORÇA(kN) | AA1 | AA2 | AA3 | AB | AC3 | AC2 | AC1 |
|-------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 0,00 | | | | | | | |
| 1 | 2,50 | | | | | | | |
| 2 | 5,00 | | | | | | | |
| 3 | 7,50 | | | | | | | |
| 4 | 10,00 | | | | | | | |
| 5 | 12,50 | | | | | 0,06 | | |
| 6 | 15,00 | 0,06 | 0,06 | | | 0,07 | | |
| 7 | 20,00 | 0,06 | 0,10 | 0,08 | 0,05 | 0,10 | 0,11 | 0,10 |
| 8 | 25,00 | 0,07 | 0,10 | 0,09 | 0,06 | 0,10 | 0,11 | 0,10 |
| 9 | 30,00 | 0,10 | 0,13 | 0,14 | 0,10 | 0,10 | 0,14 | 0,12 |
| 10 | 35,00 | 0,11 | 0,16 | 0,15 | 0,10 | 0,13 | 0,16 | 0,14 |
| 11 | 38,00 | 0,17 | 0,17 | 0,16 | 0,10 | 0,15 | 0,19 | 0,20 |

INCLINAÇÕES DAS FISSURAS E DAS TENSÕES PRINCIPAIS DE
 COMPRESSÃO NO CENTRO DE GRAVIDADE - MODELO 1/2

| ETAPA | FORÇA (kN) | SEÇÃO 1 | | SEÇÃO 2 | |
|-------|---------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| | | θ (°) | β (°) | θ (°) | β (°) |
| 1 | 2,5 | | | | |
| 2 | 5,0 | | | | |
| 3 | 7,5 | | | | 50,3 |
| 4 | 10,0 | | 36,1 | | 38,7 |
| 5 | 12,5 | | 31,7 | | 40,6 |
| 6 | 15,0 | 50,0 | 29,1 | 46,5 | 39,9 |
| 7 | 20,0 | 39,5 | 38,3 | 43,3 | 35,2 |
| 8 | 25,0 | 39,5 | 52,0 | 33,7 | 36,1 |
| 9 | 30,0 | 35,0 | 56,4 | 31,7 | 37,4 |
| 10 | 35,0 | 35,0 | 56,8 | 31,7 | 38,3 |
| 11 | 38,0 | 30,0 | 56,5 | 30,0 | 41,9 |
| MÉDIA | - | 38,2 | 44,6 | 36,2 | 39,8 |

θ = inclinação das fissuras

β = inclinação da tensão principal de compressão (σ_2)

A1.3 - MODELO 1/3

MOLDAGEM: 09/09/91

ENSAIO: 16/09/91

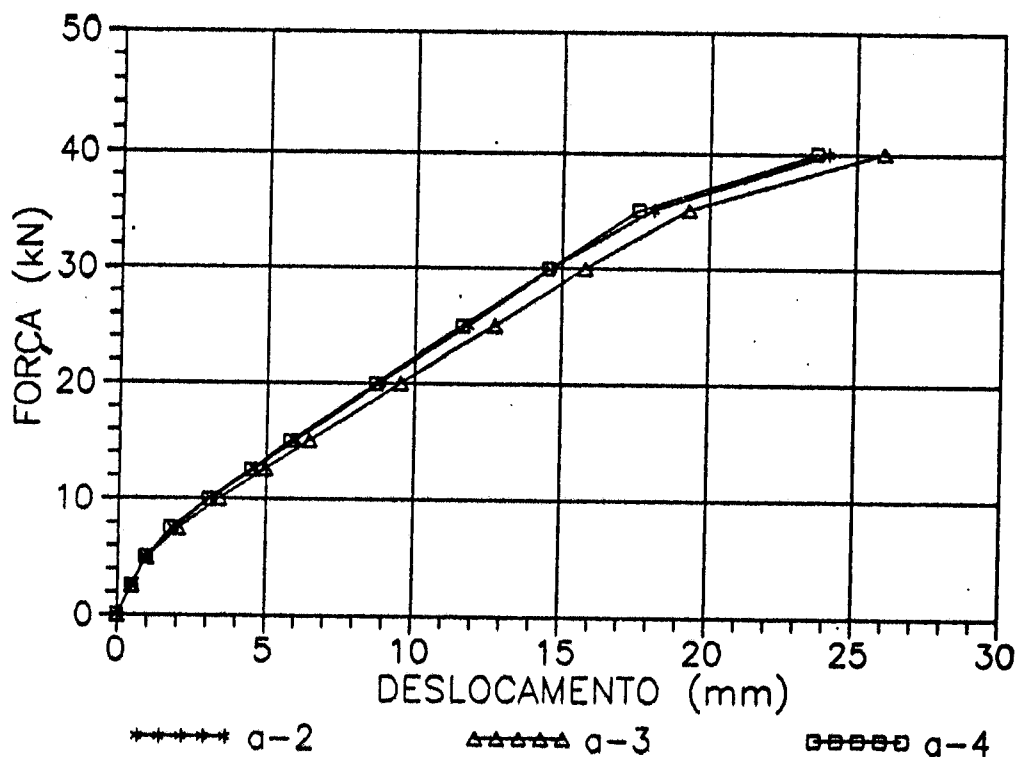
TIPO DE RUPTURA: FLEXÃO - TRAÇÃO NA ARMADURA LONGITUDINAL

FORÇA CORTANTE ÚLTIMA: 44 kN

DESLOCAMENTOS VERTICAIS - MODELO 1/3
(mm)

| ETAPA | HORA | FORÇA (kN) | v2 | v3 | v4 |
|--------------------------|-------|------------|---------|---------|---------|
| 0 | 14h21 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1 | 14h24 | 2,50 | 0,48 | 0,47 | 0,47 |
| 2 | 14h26 | 5,00 | 0,97 | 0,99 | 0,96 |
| 1 | 14h29 | 2,50 | 0,51 | 0,51 | 0,50 |
| 2 | 14h31 | 5,00 | 0,97 | 0,99 | 0,97 |
| 3 | 14h35 | 7,50 | 1,87 | 2,02 | 1,78 |
| 4 | 14h43 | 10,00 | 3,16 | 3,42 | 3,07 |
| 5 | 14h56 | 12,50 | 4,62 | 4,99 | 4,50 |
| 6 | 15h10 | 15,00 | 5,98 | 6,45 | 5,82 |
| 7 | 15h21 | 20,00 | 8,85 | 9,54 | 8,71 |
| 8 | 15h40 | 25,00 | 11,82 | 12,70 | 11,63 |
| 9 | 15h57 | 30,00 | 14,63 | 15,76 | 14,53 |
| 10 | 16h13 | 35,00 | 18,10 | 19,30 | 17,60 |
| 11 | 16h21 | 40,00 | 24,04 | 25,92 | 23,66 |
| DISTÂNCIA APOIO ESQUERDO | | | 1045,00 | 1447,50 | 1850,00 |

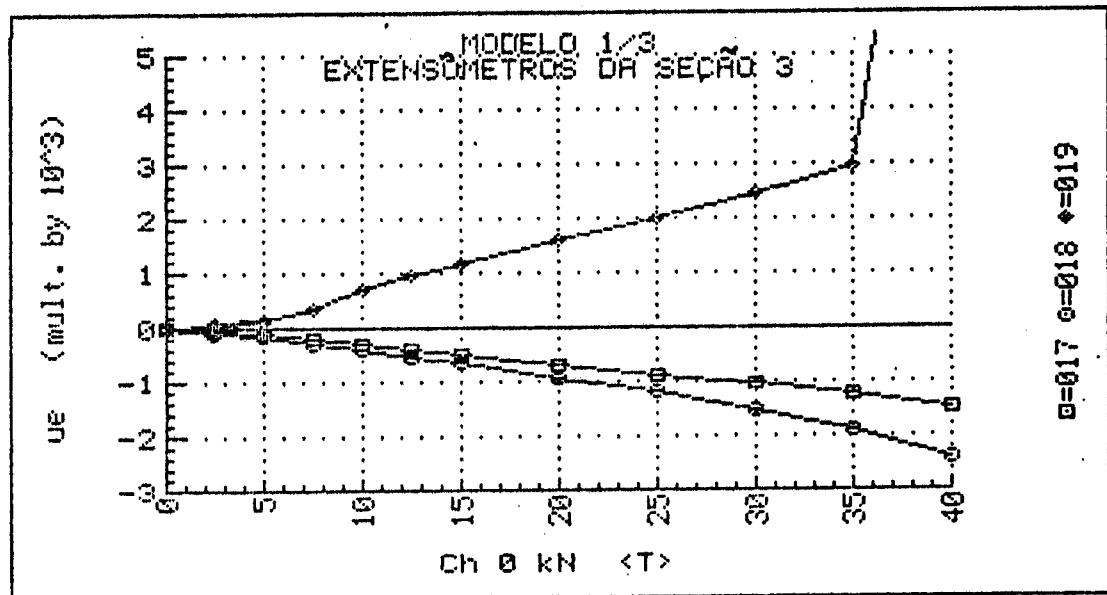
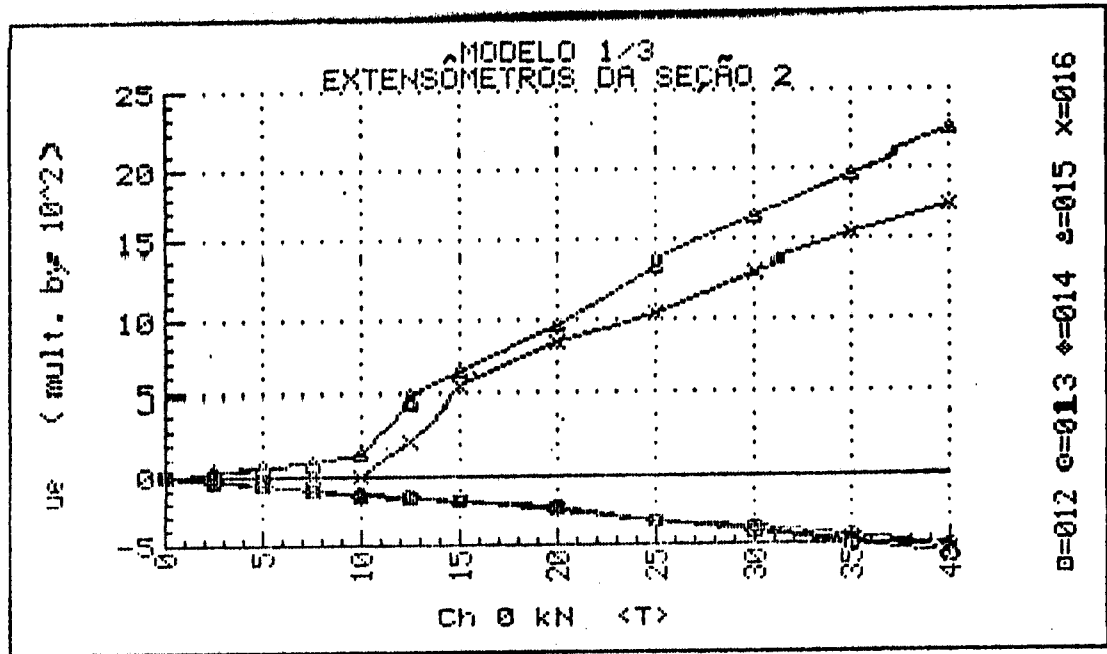
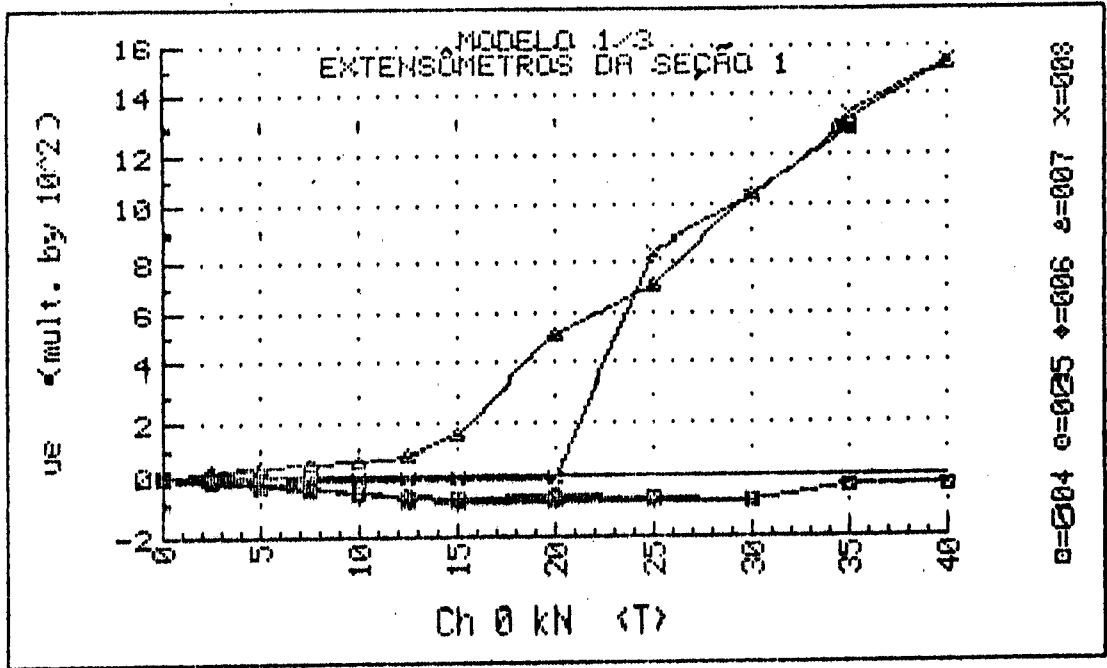
DIAGRAMAS FORÇA - DESLOCAMENTO
MODELO 1/3



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
 ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

ENSAIO DE VIGA DE ARGAMASSA ARMADA
 MODELO 1/3 DATA: 16/09/91
 DEFORMAÇÕES DOS EXTENSÔMETROS ELÉTRICOS UNIAXIAIS

| F (KN) | EC 1.1 ($\mu\epsilon$) | EC 1.2 ($\mu\epsilon$) | EC 1.3 ($\mu\epsilon$) | EC 2.1 ($\mu\epsilon$) | EC 2.2 ($\mu\epsilon$) | EC 2.3 ($\mu\epsilon$) | EC 3.1 ($\mu\epsilon$) | EC 3.3 ($\mu\epsilon$) | ES 1 ($\mu\epsilon$) | ES 2 ($\mu\epsilon$) | ES 3 ($\mu\epsilon$) | ET 1 ($\mu\epsilon$) | ET 2 ($\mu\epsilon$) |
|-----------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 0.00 | +0. | +0. | +0. | -1. | +1. | +0. | +0. | +0. | +0. | +0. | +0. | +0. | -1. |
| 2.53 | -17. | -15. | -16. | -31. | -27. | -32. | -57. | -80. | +14. | +27. | +51. | -2. | -3. |
| 5.00 | -40. | -32. | -27. | -66. | -59. | -62. | -118. | -168. | +27. | +55. | +125. | -6. | -7. |
| 2.53 | -19. | -16. | -15. | -33. | -29. | -35. | -62. | -98. | +17. | +32. | +80. | -2. | -3. |
| 5.00 | -41. | -32. | -27. | -67. | -59. | -63. | -121. | -173. | +29. | +57. | +132. | -5. | -7. |
| 7.53 | -56. | -49. | -48. | -99. | -92. | -100. | -203. | -294. | +43. | +86. | +364. | -9. | -9. |
| 9.95 | -69. | -67. | -71. | -133. | -128. | -142. | -297. | -417. | +58. | +140. | +687. | -11. | -2. |
| 12.53 | -85. | -83. | -87. | -157. | -150. | -163. | -394. | -545. | +78. | +474. | +931. | -8. | +227. |
| 15.00 | -92. | -92. | -96. | -186. | -171. | -188. | -493. | -671. | +154. | +646. | +1150. | -7. | +548. |
| 20.00 | -84. | -83. | -99. | -249. | -224. | -253. | -681. | -931. | +509. | +958. | +1584. | -10. | +848. |
| 25.00 | -88. | -91. | -103. | -345. | -341. | -345. | -887. | -1222. | +712. | +1359. | +2097. | +837. | +1035. |
| 30.00 | -96. | -97. | -102. | -420. | -376. | -403. | -1070. | -1547. | +1040. | +1659. | +2452. | +1030. | +1322. |
| 35.00 | -46. | -47. | -43. | -509. | -437. | -478. | -1269. | -1878. | +1301. | +1970. | +2973. | +1322. | +1536. |
| 40.00 | -42. | -45. | -41. | -577. | -520. | -548. | -1514. | -2396. | +1517. | +2227. | +13034. | +1536. | +1738. |



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

ENSAIO DE VIGA DE ARGAMASSA ARMADA
 MODELO 1/3 DATA: 16/09/91
 DEFORMAÇÕES DOS EXTENSÔMETROS ELÉTRICOS DAS ROSETAS
 ROSETA 1

| F (kN) | ϵ_a ($\mu\epsilon$) | ϵ_b ($\mu\epsilon$) | ϵ_c ($\mu\epsilon$) | ϵ_1 ($\mu\epsilon$) | ϵ_2 ($\mu\epsilon$) | σ_1 (MPa) | σ_2 (MPa) | α ($^\circ$) |
|-----------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|
| 0.00 | +1. | +0. | +0. | +1. | -0. | +0.0 | +0.0 | U/C |
| 2.53 | +3. | -10. | +1. | +23. | -19. | +0.6 | -0.5 | -43.7 |
| 5.00 | +3. | -42. | +1. | +46. | -42. | +1.2 | -1.0 | -44.4 |
| 2.53 | +3. | -21. | +1. | +25. | -21. | +0.7 | -0.5 | -43.8 |
| 5.00 | +4. | -42. | +1. | +47. | -42. | +1.2 | -1.0 | -44.1 |
| 7.53 | +5. | -61. | +1. | +67. | -61. | +1.7 | -1.5 | -44.1 |
| 9.95 | +5. | -81. | +0. | +86. | -81. | +2.2 | -2.0 | -44.2 |
| 12.53 | -8. | -107. | +6. | +105. | -107. | +2.6 | -2.7 | -46.8 |
| 15.00 | -31. | -139. | +12. | +121. | -140. | +2.9 | -3.6 | -49.7 |
| 20.00 | -107. | -217. | +23. | +145. | -229. | +3.1 | -6.2 | -55.2 |
| 25.00 | -149. | -352. | -74. | +132. | -355. | +1.9 | -10.3 | -49.5 |
| 30.00 | -199. | -460. | -101. | +165. | -464. | +2.2 | -13.5 | -49.5 |
| 35.00 | -356. | -555. | -47. | +185. | -588. | +2.1 | -17.2 | -56.8 |
| 40.00 | -444. | -642. | -27. | +221. | -692. | +2.6 | -20.2 | -58.6 |

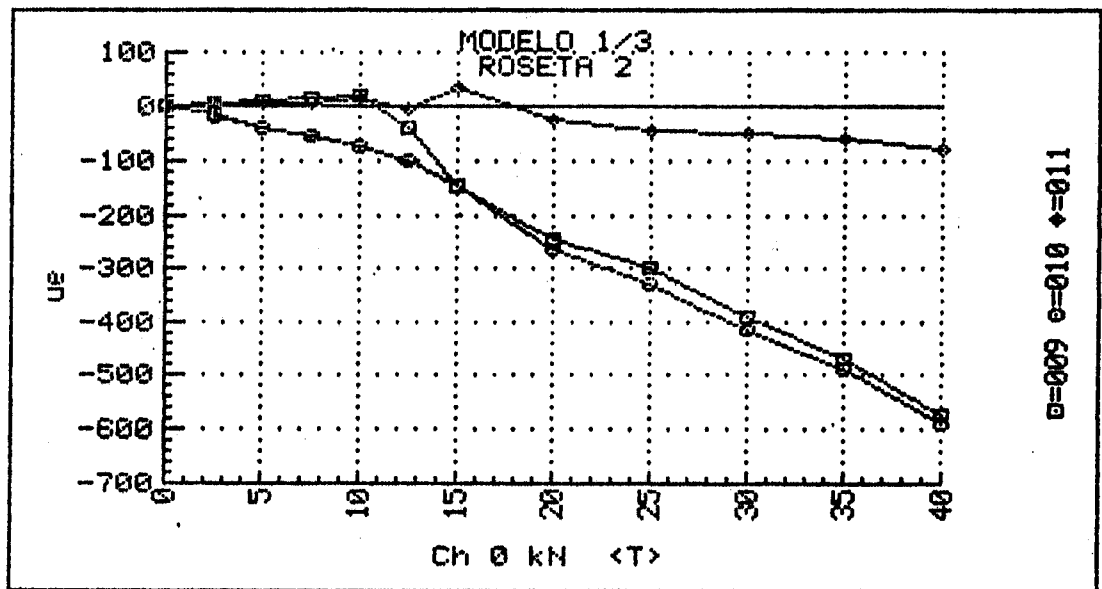
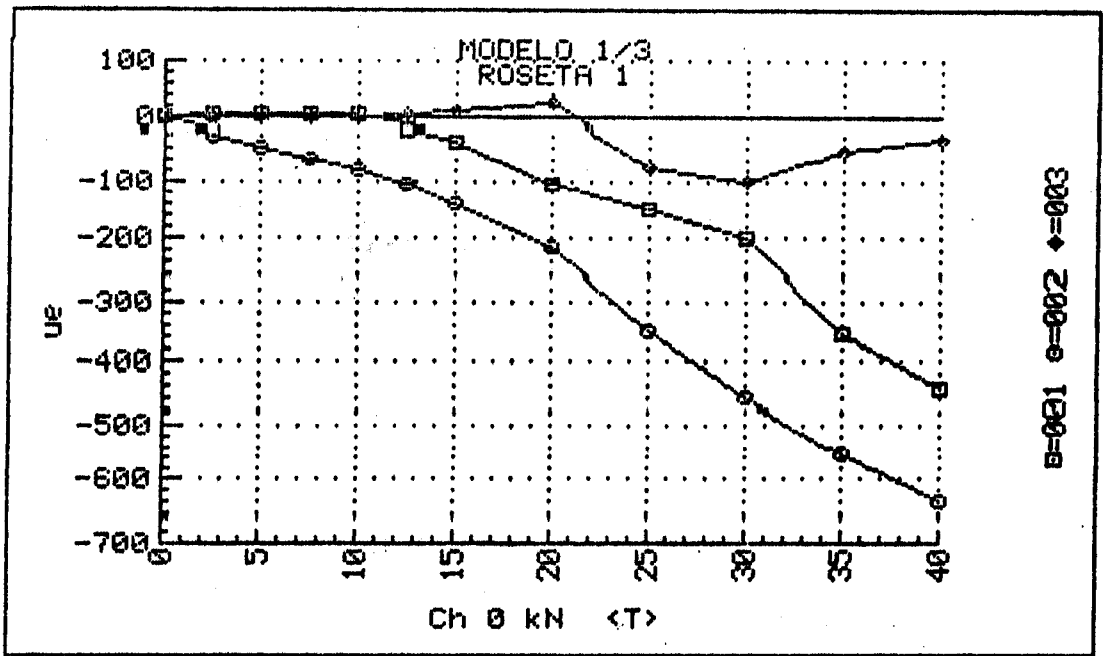
Cálculos feitos com: $E_c = 30.000$ MPa e $\nu = 0,2$
 ϵ_a : horizontal ϵ_b : 45° ϵ_c : vertical
 α : ângulo entre ϵ_a e ϵ_1 , + no sentido horário a partir de ϵ_a .

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

ENSAIO DE VIGA DE ARGAMASSA ARMADA
 MODELO 1/3 DATA: 16/09/91
 DEFORMAÇÕES DOS EXTENSÔMETROS ELÉTRICOS DAS ROSETAS
 ROSETA 2

| F (kN) | ϵ_a ($\mu\epsilon$) | ϵ_b ($\mu\epsilon$) | ϵ_c ($\mu\epsilon$) | ϵ_1 ($\mu\epsilon$) | ϵ_2 ($\mu\epsilon$) | σ_1 (MPa) | σ_2 (MPa) | α ($^\circ$) |
|-----------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|
| 0.00 | +0. | +1. | +0. | +1. | -1. | +0.0 | -0.0 | U/C |
| 2.53 | +6. | -17. | +2. | +25. | -18. | +0.7 | -0.4 | -42.1 |
| 5.00 | +10. | -39. | +3. | +52. | -39. | +1.4 | -0.9 | -42.8 |
| 2.53 | +7. | -18. | +3. | +28. | -19. | +0.8 | -0.4 | -42.6 |
| 5.00 | +11. | -39. | +4. | +53. | -39. | +1.4 | -0.9 | -42.9 |
| 7.53 | +17. | -55. | +5. | +78. | -56. | +2.1 | -1.3 | -42.3 |
| 9.95 | +18. | -77. | +17. | +113. | -77. | +3.0 | -1.7 | -44.9 |
| 12.53 | -40. | -100. | -3. | +59. | -102. | +1.2 | -2.0 | -51.6 |
| 15.00 | -143. | -146. | +34. | +73. | -182. | +1.2 | -5.2 | -66.9 |
| 20.00 | -245. | -264. | -23. | +36. | -305. | -0.8 | -9.3 | -65.3 |
| 25.00 | -301. | -330. | -43. | +32. | -376. | -1.9 | -11.5 | -64.6 |
| 30.00 | -391. | -415. | -50. | +38. | -479. | -1.8 | -14.7 | -65.6 |
| 35.00 | -468. | -491. | -60. | +41. | -569. | -2.3 | -17.5 | -66.0 |
| 40.00 | -576. | -589. | -78. | +35. | -688. | -3.2 | -21.3 | -66.8 |

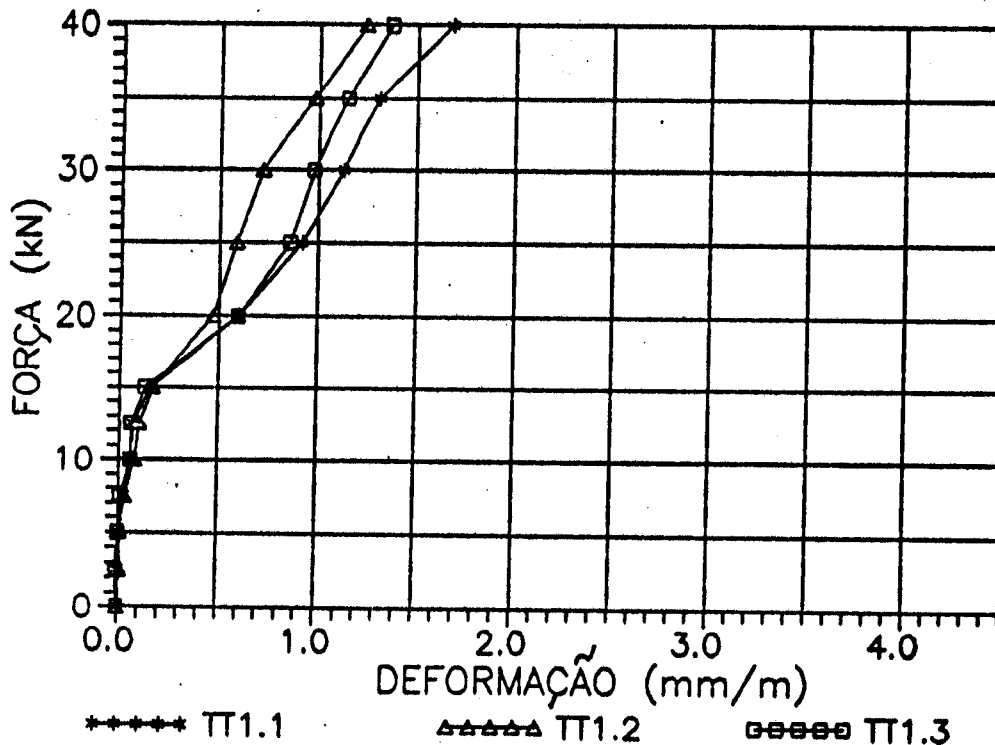
Cálculos feitos com: $E_c = 30.000$ MPa e $\nu = 0,2$
 ϵ_a : horizontal ϵ_b : 45° ϵ_c : vertical
 α : ângulo entre ϵ_a e ϵ_1 , + no sentido horário a partir de ϵ_a .



DEFORMAÇÕES MEDIDAS COM EXTENSÔMETRO
 MECÂNICO NA MESA TRACIONADA
 MODELO 1/3 (mm/m) - SEÇÃO 1

| ETAPA | F (kN) | T (°C) | TT1.1 | TT1.2 | TT1.3 |
|-------|--------|--------|-------|-------|-------|
| 0 | 0,00 | 26,50 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1 | 2,50 | 26,50 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| 2 | 5,00 | 26,50 | 0,02 | 0,03 | 0,02 |
| 1 | 2,50 | 26,50 | 0,01 | 0,02 | 0,00 |
| 2 | 5,00 | 26,50 | 0,01 | 0,02 | 0,01 |
| 3 | 7,50 | 26,50 | 0,04 | 0,04 | 0,02 |
| 4 | 10,00 | 26,50 | 0,06 | 0,08 | 0,06 |
| 5 | 12,50 | 26,50 | 0,09 | 0,12 | 0,08 |
| 6 | 15,00 | 26,50 | 0,17 | 0,18 | 0,14 |
| 7 | 20,00 | 26,00 | 0,60 | 0,47 | 0,60 |
| 8 | 25,00 | 26,00 | 0,94 | 0,60 | 0,88 |
| 9 | 30,00 | 26,00 | 1,18 | 0,77 | 1,03 |
| 10 | 35,00 | 26,00 | 1,36 | 1,02 | 1,20 |
| 11 | 40,00 | 26,00 | 1,73 | 1,29 | 1,42 |

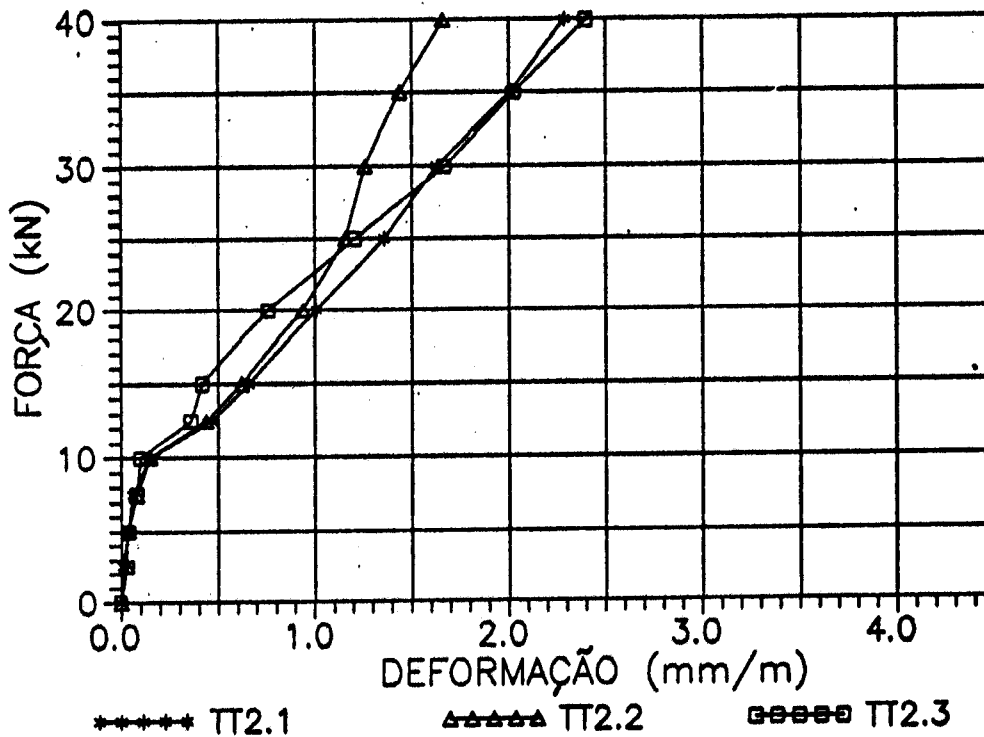
DIAGRAMAS FORÇA - DEFORMAÇÃO
 MODELO 1/3 - Seção 1
 Mesa Tracionada



DEFORMAÇÕES MEDIDAS COM EXTENSÔMETRO
 MECÂNICO NA MESA TRACIONADA
 MODELO 1/3 (mm/m) - SEÇÃO 2

| ETAPA | F (kN) | T (°C) | TT2.1 | TT2.2 | TT2.3 |
|-------|--------|--------|-------|-------|-------|
| 0 | 0,00 | 26,50 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1 | 2,50 | 26,50 | 0,02 | 0,04 | 0,03 |
| 2 | 5,00 | 26,50 | 0,05 | 0,06 | 0,06 |
| 1 | 2,50 | 26,50 | 0,02 | 0,04 | 0,04 |
| 2 | 5,00 | 26,50 | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| 3 | 7,50 | 26,50 | 0,07 | 0,09 | 0,09 |
| 4 | 10,00 | 26,50 | 0,15 | 0,15 | 0,10 |
| 5 | 12,50 | 26,50 | 0,49 | 0,46 | 0,38 |
| 6 | 15,00 | 26,50 | 0,67 | 0,63 | 0,43 |
| 7 | 20,00 | 26,00 | 1,01 | 0,94 | 0,76 |
| 8 | 25,00 | 26,00 | 1,38 | 1,18 | 1,23 |
| 9 | 30,00 | 26,00 | 1,68 | 1,31 | 1,72 |
| 10 | 35,00 | 26,00 | 2,05 | 1,49 | 2,08 |
| 11 | 40,00 | 26,00 | 2,34 | 1,71 | 2,45 |

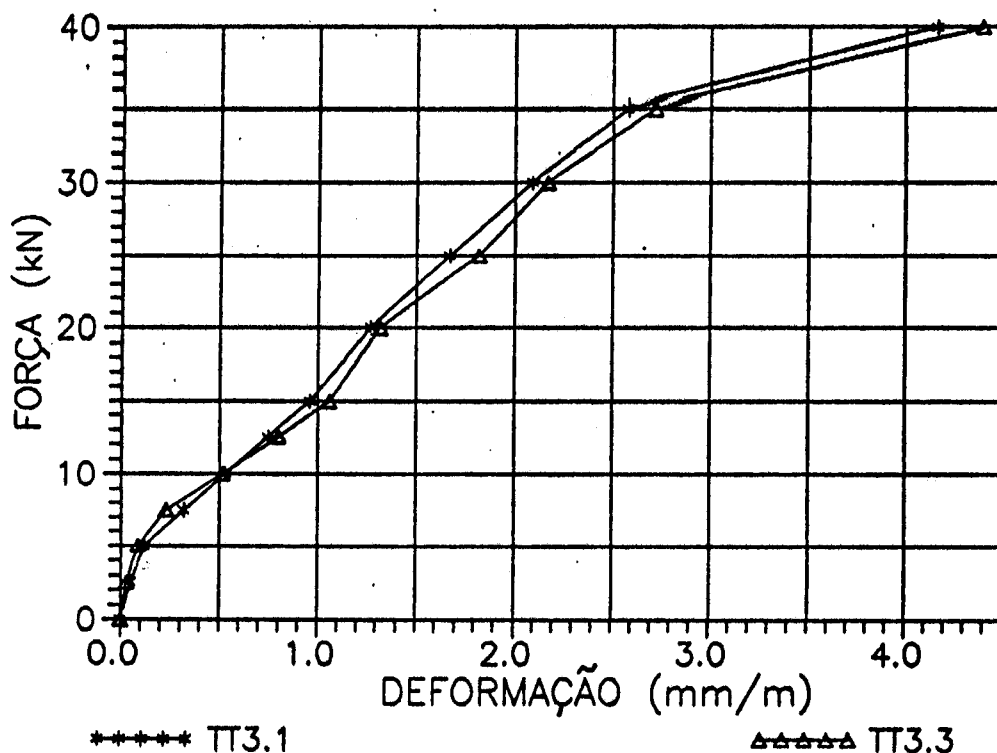
DIAGRAMAS FORÇA - DEFORMAÇÃO
 MODELO 1/3 - Seção 2
 Mesa Tracionada



DEFORMAÇÕES MEDIDAS COM EXTENSÔMETRO
 MECÂNICO NA MESA TRACIONADA
 MODELO 1/3 (mm/m) - SEÇÃO 3

| ETAPA | F (kN) | T (°C) | TT3.1 | TT3.3 |
|-------|--------|--------|-------|-------|
| 0 | 0,00 | 26,50 | 0,00 | 0,00 |
| 1 | 2,50 | 26,50 | 0,04 | 0,04 |
| 2 | 5,00 | 26,50 | 0,13 | 0,09 |
| 1 | 2,50 | 26,50 | 0,06 | 0,04 |
| 2 | 5,00 | 26,50 | 0,13 | 0,10 |
| 3 | 7,50 | 26,50 | 0,33 | 0,24 |
| 4 | 10,00 | 26,50 | 0,53 | 0,52 |
| 5 | 12,50 | 26,50 | 0,77 | 0,82 |
| 6 | 15,00 | 26,50 | 0,97 | 1,07 |
| 7 | 20,00 | 26,00 | 1,27 | 1,32 |
| 8 | 25,00 | 26,00 | 1,69 | 1,84 |
| 9 | 30,00 | 26,00 | 2,14 | 2,22 |
| 10 | 35,00 | 26,00 | 2,63 | 2,77 |
| 11 | 40,00 | 26,00 | 4,21 | 4,44 |

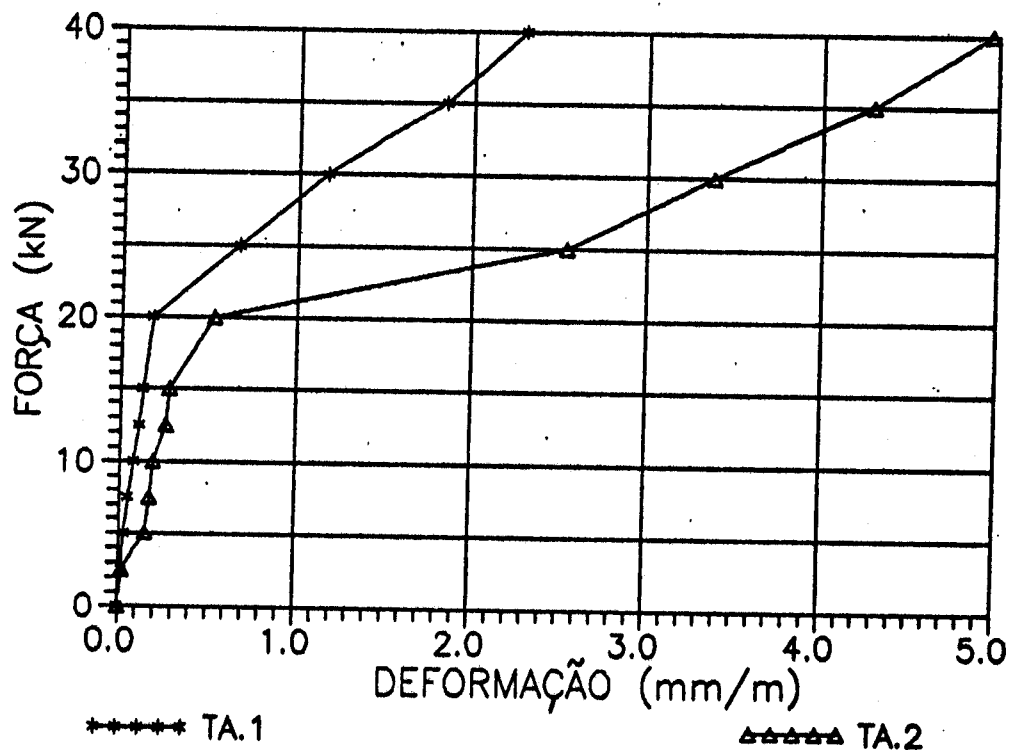
DIAGRAMAS FORÇA - DEFORMAÇÃO
 MODELO 1/3 - Seção 3
 Mesa Tracionada



DEFORMAÇÕES MEDIDAS COM EXTENSÔMETRO
MECÂNICO NA ALMA
MODELO 1/3 (mm/m)

| ETAPA | F (kN) | T (°C) | TA.1 | TA.2 |
|-------|--------|--------|------|------|
| 0 | 0,00 | 26,50 | 0,00 | 0,00 |
| 1 | 2,50 | 26,50 | 0,02 | 0,01 |
| 2 | 5,00 | 26,50 | 0,05 | 0,15 |
| 1 | 2,50 | 26,50 | 0,03 | 0,03 |
| 2 | 5,00 | 26,50 | 0,04 | 0,16 |
| 3 | 7,50 | 26,50 | 0,06 | 0,18 |
| 4 | 10,00 | 26,50 | 0,08 | 0,19 |
| 5 | 12,50 | 26,50 | 0,13 | 0,28 |
| 6 | 15,00 | 26,50 | 0,14 | 0,29 |
| 7 | 20,00 | 26,00 | 0,18 | 0,53 |
| 8 | 25,00 | 26,00 | 0,69 | 2,56 |
| 9 | 30,00 | 26,00 | 1,22 | 3,43 |
| 10 | 35,00 | 26,00 | 1,89 | 4,34 |
| 11 | 40,00 | 26,00 | 2,34 | 5,01 |

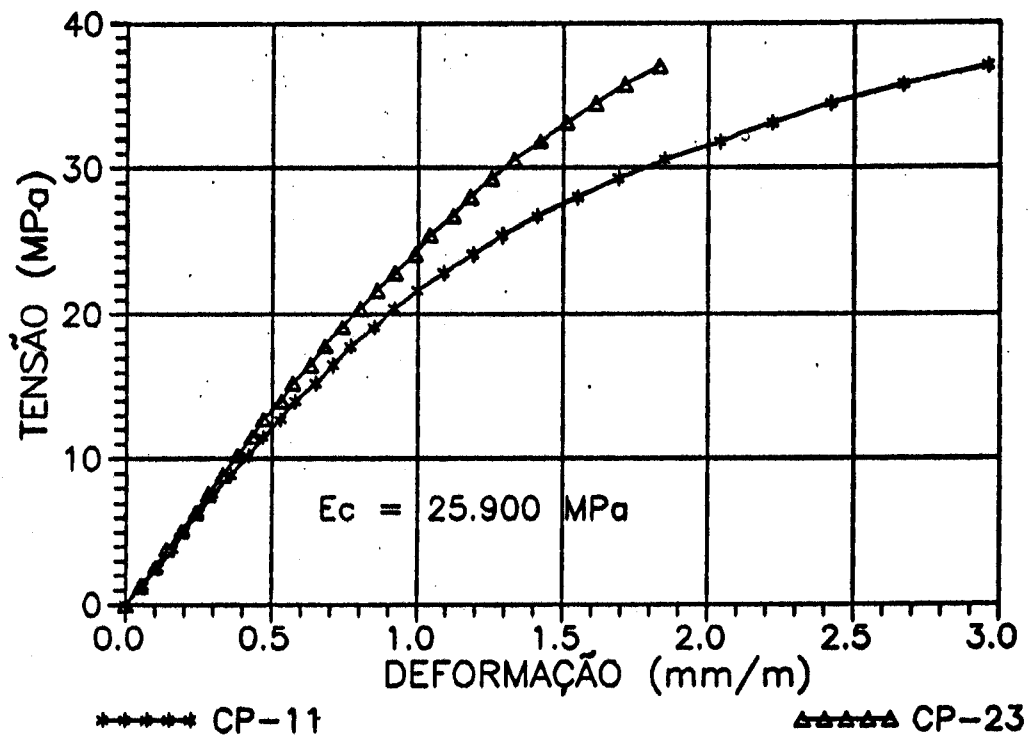
DIAGRAMAS FORÇA – DEFORMAÇÃO
MODELO 1/3 – ALMA



**RESULTADOS DOS ENSAIOS DOS CORPOS-DE-PROVA DE ARGAMASSA
MODELO 1/3**

| RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa) | | | | RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (MPa) | | |
|--------------------------------|-------|--------|--------|----------------------------|--------|--------|
| IDADE | 1 DIA | 3 DIAS | 7 DIAS | 1 DIA | 3 DIAS | 7 DIAS |
| | 12,7 | 30,6 | 36,9 | 1,1 | 2,8 | 3,4 |
| | 12,1 | 32,5 | 37,3 | 1,1 | 2,0 | 2,6 |
| | 12,1 | 28,0 | 36,9 | 1,1 | 2,0 | 3,0 |
| | 12,1 | 29,3 | 38,2 | 1,2 | 2,4 | 2,4 |
| MÉDIA | 12,3 | 30,1 | 37,3 | 1,1 | 2,3 | 2,9 |
| DESVIO MÁXIMO | 0,4 | 2,4 | 0,9 | 0,1 | 0,5 | 0,5 |
| DESVIO MAX. % | 3,7 | 8,0 | 2,3 | 6,7 | 21,7 | 19,3 |
| DES. MAX. ADMISS. | 0,3 | 2,2 | 0,7 | 0,1 | 0,4 | 0,5 |
| DESVIO PADRÃO | 0,3 | 1,9 | 0,6 | 0,0 | 0,4 | 0,4 |
| COEF. % VARIÇÃO | 2,4 | 6,4 | 1,6 | 4,4 | 16,7 | 15,6 |
| INTERVALO CONF. 95% | 11,8 | 27,0 | 36,3 | 1,0 | 1,7 | 2,1 |
| | 12,7 | 33,2 | 38,3 | 1,2 | 2,9 | 3,6 |

DIAGRAMAS TENSÃO - DEFORMAÇÃO
Modelo 1/3



ESPAÇAMENTOS ENTRE FISSURAS NA MESA TRACIONADA
VALORES MÉDIOS (mm) MODELO 1/3

| ETAPA F (kN) | TA1 | TA2 | TA3 | TB | TC3 | TC2 | TC1 |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 0,0 | | | | | | |
| 1 | 2,5 | | | | | | |
| 2 | 5,0 | | | | | | |
| 3 | 7,5 | | | | | | |
| 4 | 10,0 | | 77,5 | 74,2 | 50,0 | | |
| 5 | 12,5 | | 46,5 | 53,6 | 50,0 | | |
| 6 | 15,0 | | 42,3 | 48,3 | 38,8 | 40,0 | |
| 7 | 20,0 | 62,5 | 27,4 | 34,5 | 29,1 | 35,5 | |
| 8 | 25,0 | 62,5 | 27,4 | 30,2 | 27,4 | 31,3 | |
| 9 | 30,0 | 55,0 | 41,7 | 23,3 | 26,8 | 24,5 | 22,7 |
| 10 | 35,0 | 44,0 | 25,0 | 21,1 | 25,4 | 22,1 | 22,7 |
| 11 | 40,0 | 44,0 | 10,0 | 19,4 | 22,4 | 22,1 | 20,8 |
| RUINA | 44,0 | 44,0 | 10,0 | 19,4 | 22,4 | 22,1 | 20,8 |

ESPAÇAMENTOS ENTRE FISSURAS NA ALMA
VALORES MÉDIOS (mm) MODELO 1/3

| ETAPA F (kN) | AA1 | AA2 | AA3 | AB | AC3 | AC2 | AC1 |
|--------------|------|------|------|-------|-------|-------|------|
| 0 | 0,0 | | | | | | |
| 1 | 2,5 | | | | | | |
| 2 | 5,0 | | | | | | |
| 3 | 7,5 | | | | | | |
| 4 | 10,0 | | | | | | |
| 5 | 12,5 | | 93,0 | 193,0 | 116,3 | | |
| 6 | 15,0 | 50,0 | 66,4 | 107,2 | 93,0 | | |
| 7 | 20,0 | 50,0 | 58,1 | 48,3 | 58,1 | 165,0 | |
| 8 | 25,0 | 41,7 | 46,5 | 43,9 | 51,7 | 62,5 | |
| 9 | 30,0 | 75,0 | 35,7 | 42,3 | 42,0 | 46,5 | 41,7 |
| 10 | 35,0 | 75,0 | 35,7 | 42,3 | 38,6 | 42,3 | 35,7 |
| 11 | 40,0 | 75,0 | 35,7 | 42,3 | 37,1 | 38,8 | 35,7 |
| RUINA | 44,0 | 75,0 | 35,7 | 42,3 | 37,1 | 38,8 | 35,7 |

VALORES DAS ABERTURAS DE FISSURAS (mm) - MESA TRACIONADA

MODELO 1/3

| ETAPA | FORÇA(kN) | TA1 | TA2 | TA3 | TB | TC3 | TC2 | TC1 |
|-------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 0,00 | | | | | | | |
| 1 | 2,50 | | | | | | | |
| 2 | 5,00 | | | | | | | |
| 3 | 7,50 | | | | | | | |
| 4 | 10,00 | | | 0,03 | 0,04 | 0,04 | | |
| 5 | 12,50 | | | 0,04 | 0,06 | 0,05 | | |
| 6 | 15,00 | | | 0,05 | 0,06 | 0,06 | | |
| 7 | 20,00 | 0,02 | 0,05 | 0,05 | 0,06 | 0,06 | 0,02 | |
| 8 | 25,00 | 0,04 | 0,06 | 0,06 | 0,08 | 0,06 | 0,04 | |
| 9 | 30,00 | 0,05 | 0,07 | 0,07 | 0,10 | 0,09 | 0,05 | |
| 10 | 35,00 | 0,06 | 0,08 | 0,10 | 0,14 | 0,10 | 0,06 | 0,05 |
| 11 | 40,00 | 0,06 | 0,09 | 0,10 | 0,17 | 0,15 | 0,07 | 0,05 |

VALORES DAS ABERTURAS DE FISSURAS (mm) - ALMA

MODELO 1/3

| ETAPA | FORÇA(kN) | AA1 | AA2 | AA3 | AB | AC3 | AC2 | AC1 |
|-------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 0,00 | | | | | | | |
| 1 | 2,50 | | | | | | | |
| 2 | 5,00 | | | | | | | |
| 3 | 7,50 | | | | | | | |
| 4 | 10,00 | | | 0,06 | 0,06 | | | |
| 5 | 12,50 | | | 0,07 | 0,07 | 0,05 | | |
| 6 | 15,00 | | 0,09 | 0,08 | 0,08 | 0,07 | | |
| 7 | 20,00 | | 0,13 | 0,10 | 0,11 | 0,07 | 0,06 | 0,09 |
| 8 | 25,00 | 0,10 | 0,16 | 0,10 | 0,11 | 0,12 | 0,08 | 0,11 |
| 9 | 30,00 | 0,17 | 0,20 | 0,11 | 0,12 | 0,17 | 0,08 | 0,18 |
| 10 | 35,00 | 0,19 | 0,23 | 0,12 | 0,14 | 0,18 | 0,12 | 0,20 |
| 11 | 40,00 | 0,20 | 0,30 | 0,16 | 0,18 | 0,25 | 0,14 | 0,20 |

INCLINAÇÕES DAS FISSURAS E DAS TENSÕES PRINCIPAIS DE
 COMPRESSÃO NO CENTRO DE GRAVIDADE - MODELO 1/3

| ETAPA | FORÇA (kN) | SEÇÃO 1 | | SEÇÃO 2 | |
|-------|---------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| | | θ (°) | β (°) | θ (°) | β (°) |
| 1 | 2,5 | | 46,2 | | 47,4 |
| 2 | 5,0 | | 45,9 | | 47,1 |
| 3 | 7,5 | | 45,9 | | 47,7 |
| 4 | 10,0 | | 45,8 | 60,0 | 45,1 |
| 5 | 12,5 | | 43,2 | 52,0 | 38,4 |
| 6 | 15,0 | 40,0 | 40,3 | 52,0 | 23,1 |
| 7 | 20,0 | 30,0 | 34,8 | 46,7 | 24,7 |
| 8 | 25,0 | 28,5 | 40,5 | 35,5 | 25,4 |
| 9 | 30,0 | 23,5 | 40,5 | 35,5 | 24,4 |
| 10 | 35,0 | 40,0 | 33,2 | 35,0 | 24,0 |
| 11 | 40,0 | 40,0 | 31,4 | 18,0 | 23,2 |
| MEDIA | - | 33,7 | 40,7 | 41,8 | 33,7 |

θ = inclinação das fissuras

β = inclinação da tensão principal de compressão (σ_2)

A1.4 - MODELO 1B/1

MOLDAGEM : 16/09/91

ENSAIO: 23/09/91

TIPO DE RUPTURA:

CISALHAMENTO - TRACÇÃO NA ARMADURA TRANSVERSAL

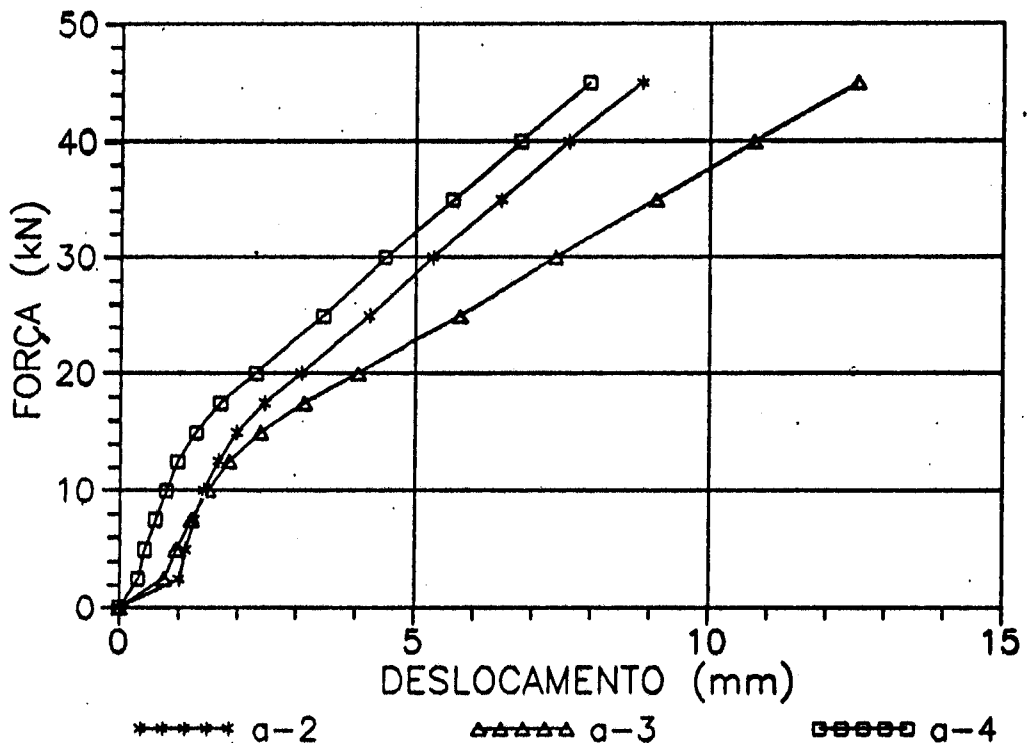
FORÇA CORTANTE ÚLTIMA: 49,5 kN

DESLOCAMENTOS VERTICAIS - MODELO 1B/1
(mm)

| ETAPA | HORA | FORÇA(kN) | v2 | v3 | v4 |
|-------|-------|-----------|------|-------|------|
| 0 | 14h27 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1 | 14h31 | 2,50 | 0,00 | 0,74 | 0,31 |
| 2 | 14h33 | 5,00 | 1,12 | 0,96 | 0,44 |
| 1 | 14h36 | 2,50 | 1,01 | 0,76 | 0,32 |
| 2 | 14h38 | 5,00 | 1,12 | 0,96 | 0,43 |
| 3 | 14h40 | 7,50 | 1,26 | 1,21 | 0,61 |
| 4 | 14h43 | 10,00 | 1,42 | 1,50 | 0,79 |
| 5 | 14h45 | 12,50 | 1,67 | 1,85 | 0,98 |
| 6 | 14h49 | 15,00 | 1,98 | 2,38 | 1,29 |
| 7 | 14h53 | 17,50 | 2,45 | 3,11 | 1,70 |
| 8 | 15h08 | 20,00 | 3,07 | 4,03 | 2,30 |
| 9 | 15h19 | 25,00 | 4,22 | 5,76 | 3,44 |
| 10 | 15h33 | 30,00 | 5,29 | 7,39 | 4,49 |
| 11 | 15h48 | 35,00 | 6,45 | 9,09 | 5,63 |
| 12 | 16h02 | 40,00 | 7,60 | 10,76 | 6,79 |
| 13 | 16h17 | 45,00 | 8,86 | 12,53 | 7,96 |

| | | | |
|--------------------------|--------|---------|---------|
| DISTÂNCIA APOIO ESQUERDO | 530,00 | 1447,50 | 2365,00 |
|--------------------------|--------|---------|---------|

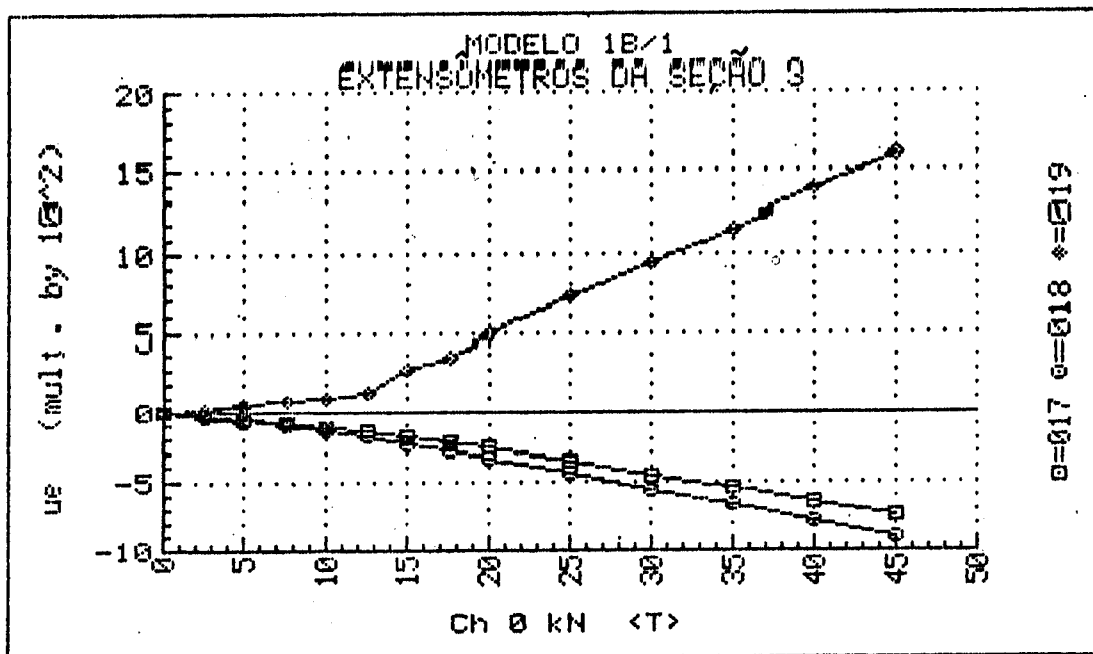
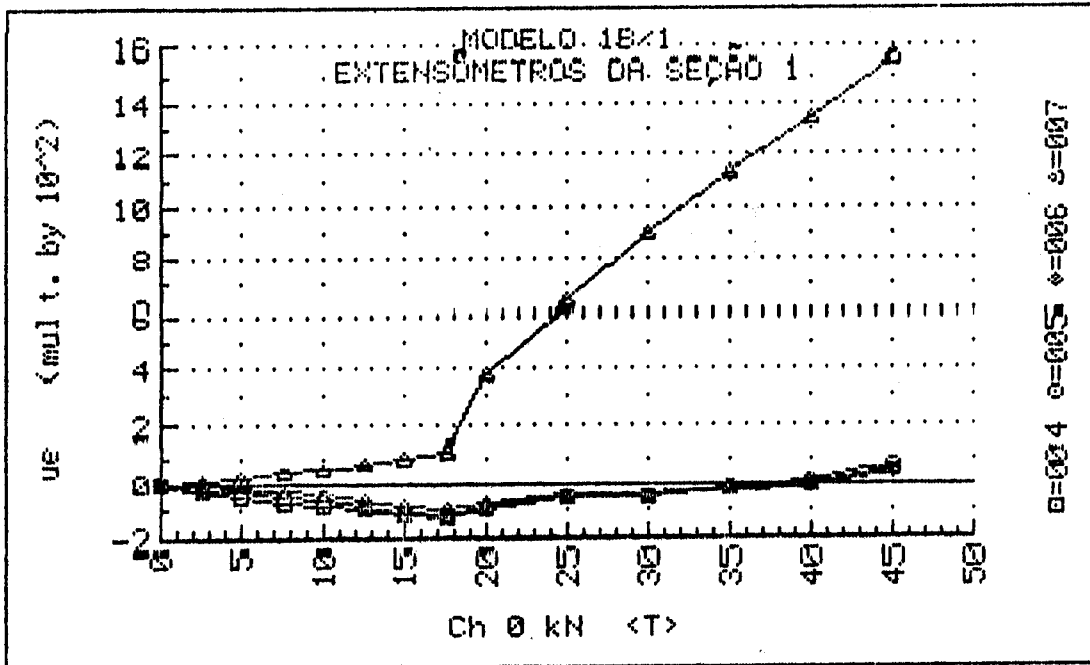
DIAGRAMAS FORÇA - DESLOCAMENTO
MODELO 1B/1



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

ENSAIO DE VIGA DE ARGAMASSA ARMADA
 MODELO 1B/1 DATA: 23/09/91
 DEFORMAÇÕES DOS EXTENSÔMETROS ELÉTRICOS UNIAXIAIS

| F (kN) | EC 1.1 ($\mu\epsilon$) | EC 1.2 ($\mu\epsilon$) | EC 1.3 ($\mu\epsilon$) | EC 3.1 ($\mu\epsilon$) | EC 3.3 ($\mu\epsilon$) | ES 1 ($\mu\epsilon$) | ES 3 ($\mu\epsilon$) |
|-----------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 0.00 | +0. | +0. | +0. | +0. | +1. | +0. | +1. |
| 2.53 | -33. | -17. | -1. | -27. | -35. | +11. | +23. |
| 5.00 | -54. | -35. | -14. | -55. | -70. | +25. | +47. |
| 2.53 | +33. | +18. | +2. | +26. | +35. | +14. | +28. |
| 5.00 | -53. | -34. | -13. | -53. | -68. | +27. | +51. |
| 7.53 | -73. | -53. | -28. | -82. | -104. | +41. | +76. |
| 10.00 | -90. | -71. | -46. | -113. | -142. | +57. | +104. |
| 12.53 | -104. | -89. | -65. | -143. | -184. | +75. | +146. |
| 15.00 | -118. | -108. | -85. | -184. | -234. | +95. | +300. |
| 17.53 | -133. | -126. | -105. | -228. | -289. | +124. | +384. |
| 20.00 | -96. | -87. | -80. | -270. | -345. | +381. | +496. |
| 25.00 | -52. | -47. | -49. | -360. | -449. | +632. | +714. |
| 30.00 | -52. | -46. | -48. | -454. | -558. | +903. | +943. |
| 35.00 | -17. | -7. | -21. | -546. | -665. | +1134. | +1157. |
| 40.00 | -4. | +9. | -14. | -637. | -777. | +1342. | +1383. |
| 45.00 | +58. | +75. | +40. | -733. | -896. | +1565. | +1600. |

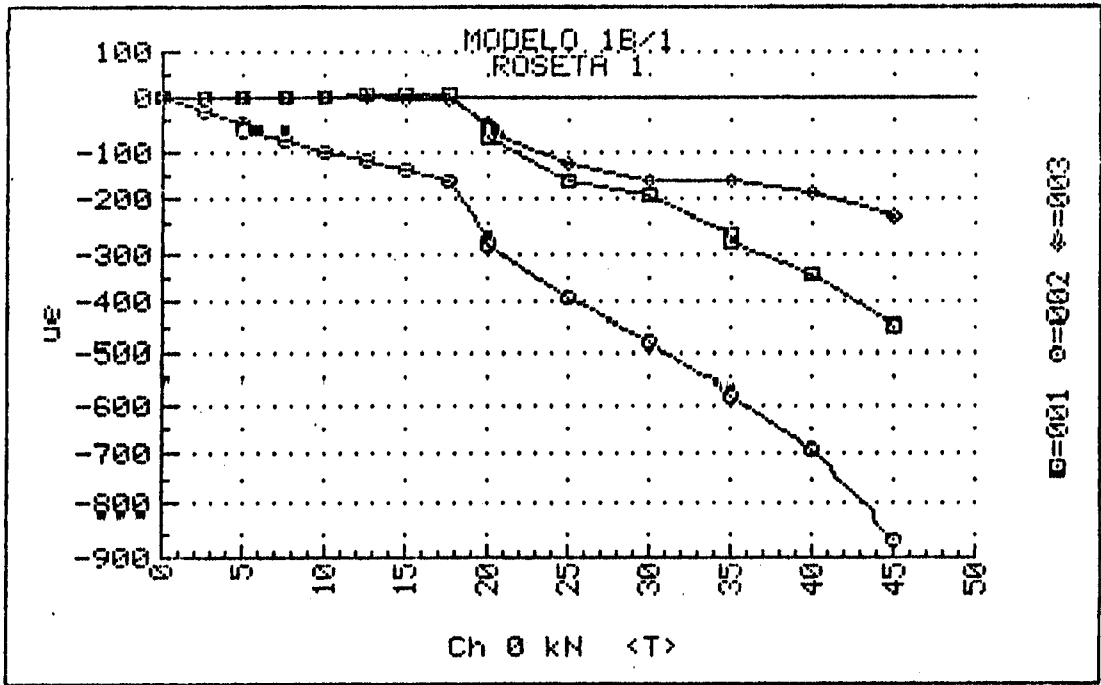


UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
 ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
 DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS

ENSAIO DE VIGA DE ARGAMASSA ARMADA
 MODELO 1B/1 DATA: 23/09/91
 DEFORMAÇÕES DOS EXTENSÔMETROS ELÉTRICOS DAS ROSETAS
 ROSETA 1

| F (kN) | ϵ_a ($\mu\epsilon$) | ϵ_b ($\mu\epsilon$) | ϵ_c ($\mu\epsilon$) | ϵ_1 ($\mu\epsilon$) | ϵ_2 ($\mu\epsilon$) | σ_1 (MPa) | σ_2 (MPa) | α ($^\circ$) |
|-----------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|
| 0.00 | +0. | +0. | +0. | +0. | +0. | +0.00 | +0.00 | U/C |
| 2.53 | +0. | -31. | +0. | +31. | -31. | +0.78 | -0.78 | +45.00 |
| 5.00 | +0. | -53. | +1. | +52. | -53. | +1.30 | -1.34 | -44.74 |
| 2.53 | +2. | -32. | +0. | +34. | -32. | +0.86 | -0.79 | -44.16 |
| 5.00 | +1. | -53. | +0. | +54. | -53. | +1.36 | -1.33 | -44.74 |
| 7.53 | +1. | -77. | -1. | +77. | -77. | +1.91 | -1.91 | -44.64 |
| 10.00 | +2. | -98. | -2. | +98. | -98. | +2.45 | -2.45 | -44.43 |
| 12.53 | +4. | -119. | -2. | +121. | -119. | +3.04 | -2.97 | -44.31 |
| 15.00 | +8. | -138. | -6. | +140. | -138. | +3.50 | -3.43 | -43.60 |
| 17.53 | +4. | -163. | -9. | +158. | -163. | +3.92 | -4.10 | -43.88 |
| 20.00 | -70. | -282. | -54. | +158. | -282. | +3.18 | -7.83 | -46.01 |
| 25.00 | -164. | -391. | -127. | +101. | -392. | +0.72 | -11.62 | -47.14 |
| 30.00 | -195. | -481. | -165. | +121. | -481. | +0.79 | -14.27 | -46.43 |
| 35.00 | -278. | -578. | -161. | +144. | -583. | +0.86 | -17.32 | -49.63 |
| 40.00 | -345. | -696. | -190. | +168. | -703. | +0.85 | -20.91 | -50.13 |
| 45.00 | -452. | -859. | -235. | +184. | -871. | +0.30 | -26.06 | -50.96 |

Cálculos feitos com: $E_c = 30.000$ MPa e $\nu = 0,2$
 ϵ_a : horizontal ϵ_b : 45° ϵ_c : vertical
 α : ângulo entre ϵ_a e ϵ_1 , + no sentido horário a partir de ϵ_a .

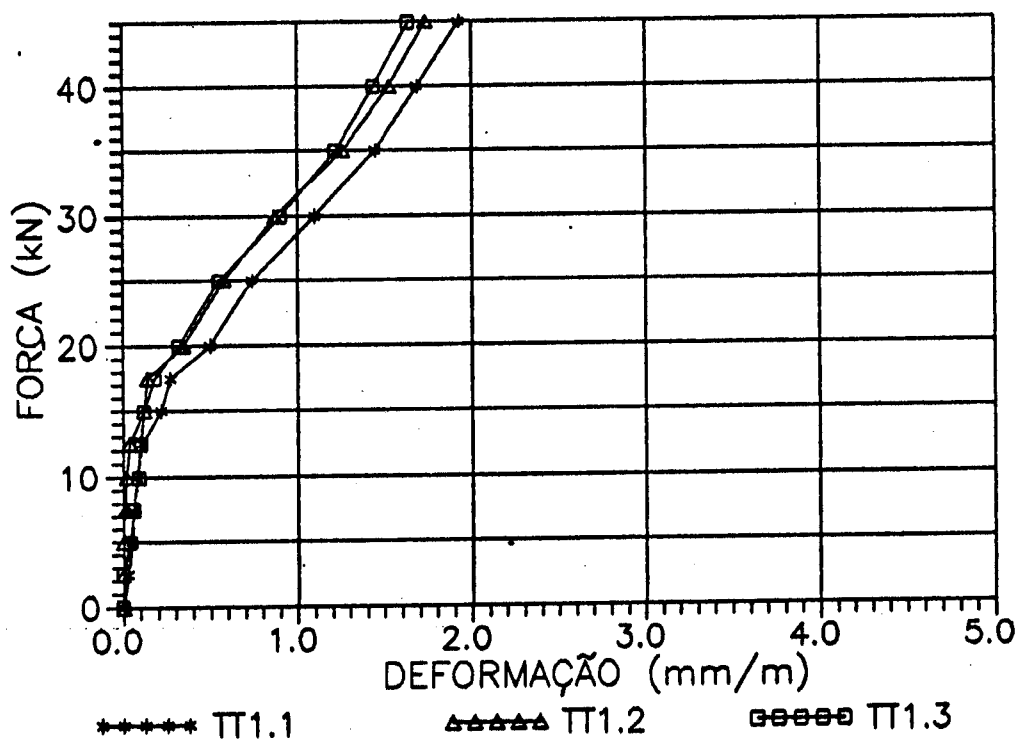


DEFORMAÇÕES MEDIDAS COM EXTENSÔMETRO MECÂNICO

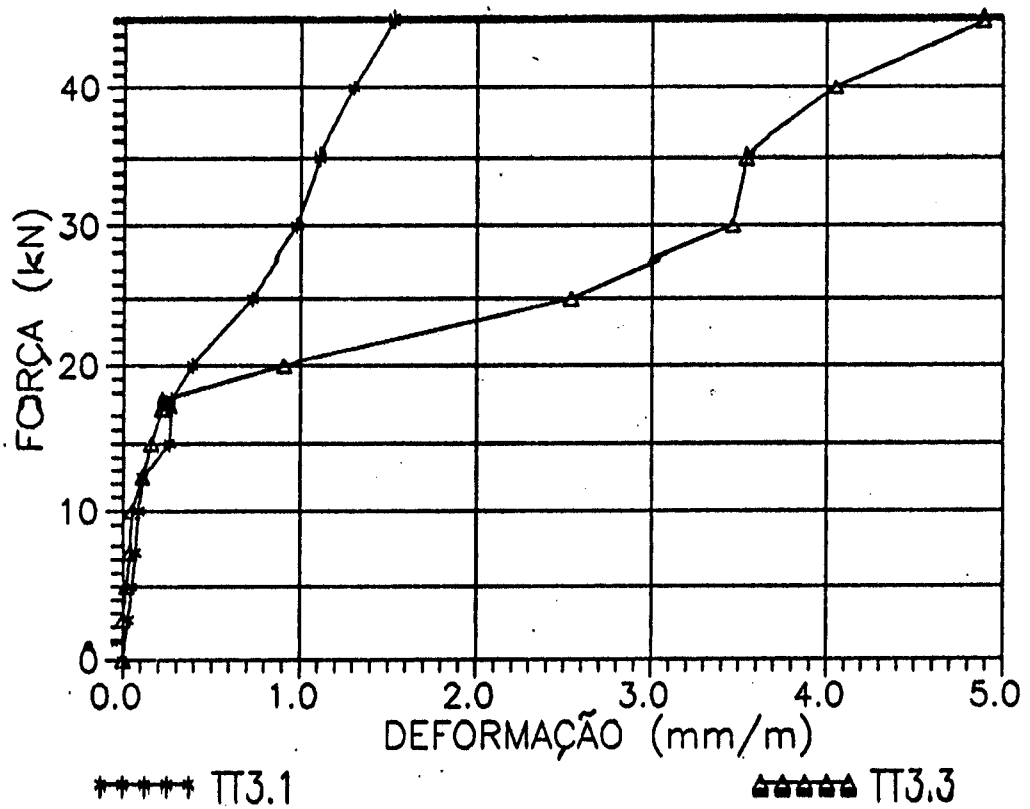
MODELO 1B/1 (mm/m)

| ETAPA | F (kN) | T (°C) | TT1.1 | TT1.2 | TT1.3 | TT3.1 | TT3.3 | TA.1 |
|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| 0 | 0,00 | 26,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1 | 2,50 | 26,00 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,03 | 0,00 | 0,02 |
| 2 | 5,00 | 26,00 | 0,05 | 0,01 | 0,01 | 0,04 | 0,01 | 0,05 |
| 1 | 2,50 | 26,00 | 0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,03 | 0,00 | 0,02 |
| 2 | 5,00 | 26,00 | 0,05 | 0,00 | 0,04 | 0,05 | 0,02 | 0,06 |
| 3 | 7,50 | 26,00 | 0,06 | 0,01 | 0,06 | 0,07 | 0,04 | 0,08 |
| 4 | 10,00 | 26,00 | 0,08 | 0,02 | 0,09 | 0,09 | 0,05 | 0,14 |
| 5 | 12,50 | 26,00 | 0,11 | 0,04 | 0,10 | 0,11 | 0,11 | 0,24 |
| 6 | 15,00 | 26,50 | 0,22 | 0,12 | 0,12 | 0,26 | 0,16 | 0,33 |
| 7 | 17,50 | 26,50 | 0,27 | 0,14 | 0,18 | 0,27 | 0,22 | 0,36 |
| 8 | 20,00 | 27,00 | 0,50 | 0,35 | 0,32 | 0,39 | 0,91 | 0,45 |
| 9 | 25,00 | 26,50 | 0,74 | 0,58 | 0,55 | 0,73 | 2,54 | 1,02 |
| 10 | 30,00 | 26,50 | 1,10 | 0,87 | 0,90 | 0,98 | 3,46 | 1,18 |
| 11 | 35,00 | 26,50 | 1,45 | 1,26 | 1,22 | 1,11 | 3,54 | 1,47 |
| 12 | 40,00 | 26,50 | 1,69 | 1,53 | 1,44 | 1,30 | 4,05 | 1,72 |
| 13 | 45,00 | 26,50 | 1,93 | 1,74 | 1,64 | 1,53 | 4,89 | 1,94 |

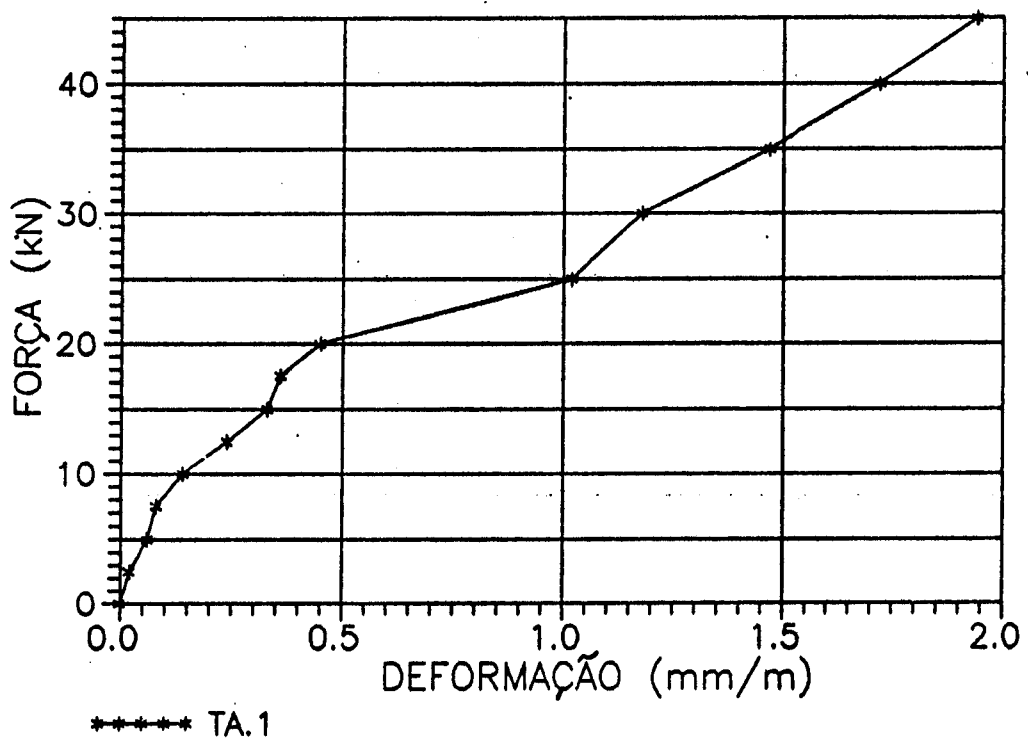
DIAGRAMAS FORÇA - DEFORMAÇÃO
 MODELO 1B/1 - Seção 1
 Mesa Tracionada



DIAGRAMAS FORÇA - DEFORMAÇÃO
 MODELO 1B/1 - Seção 3
 Mesa Tracionada



DIAGRAMAS FORÇA - DEFORMAÇÃO
 MODELO 1B/1 - ALMA

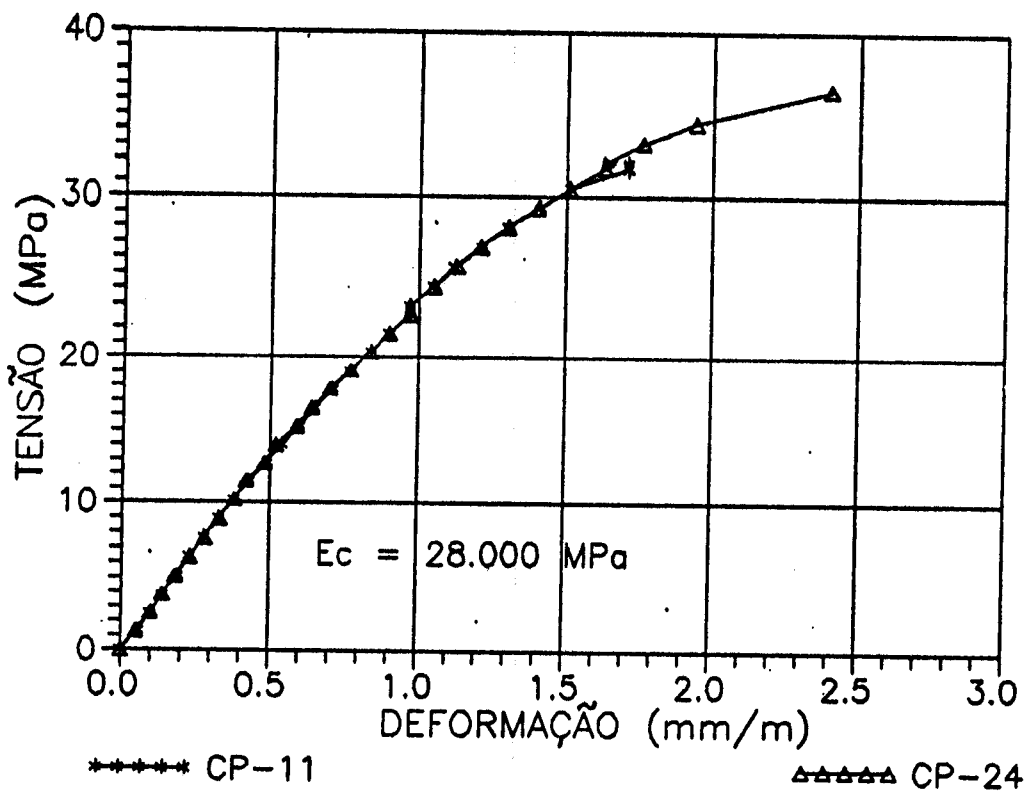


**RESULTADOS DOS ENSAIOS DOS CORPOS-DE-PROVA DE ARGAMASSA
MODELO 1B/1**

| RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa) | | | | RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (MPa) | | |
|--------------------------------|-------|--------|--------|----------------------------|--------|--------|
| IDADE | 1 DIA | 3 DIAS | 7 DIAS | 1 DIA | 3 DIAS | 7 DIAS |
| | 15,3 | 26,7 | 36,3 | 1,6 | 2,5 | 2,3 |
| | 15,3 | 29,9 | 31,8 | 1,4 | 2,8 | 2,2 |
| | 17,2 | 31,2 | 38,8 | 1,5 | 2,9 | 2,3 |
| | 13,4 | 29,3 | 35,0 | 1,4 | 3,0 | 2,8 |
| MÉDIA | 15,3 | 29,3 | 35,5 | 1,5 | 2,8 | 2,4 |
| DESVIO MÁXIMO | 1,9 | 2,6 | 3,7 | 0,1 | 0,3 | 0,4 |
| DESVIO MAX. % | 12,4 | 8,8 | 10,4 | 8,5 | 10,7 | 16,7 |
| DES. MAX. ADMISS. | 1,8 | 2,2 | 3,4 | 0,1 | 0,2 | 0,3 |
| DESVIO PADRÃO | 1,6 | 1,9 | 2,9 | 0,1 | 0,2 | 0,3 |
| COEF. % VARIACÃO | 10,1 | 6,5 | 8,2 | 6,5 | 7,7 | 11,3 |
| INTERVALO CONF. 95% | 12,8 | 26,3 | 30,8 | 1,3 | 2,5 | 2,0 |
| | 17,8 | 32,3 | 40,1 | 1,6 | 3,1 | 2,8 |

DIAGRAMAS TENSÃO - DEFORMAÇÃO

Modelo 1B/1



ESPAÇAMENTOS ENTRE FISSURAS NA MESA TRACIONADA
VALORES MÉDIOS (mm) - MODELO 1B/1

| ETAPA | FORÇA (kN) | TA1 | TA2 | TB | TC2 | TC1 |
|-------|------------|------|------|-------|------|------|
| 0 | 0,0 | | | | | |
| 1 | 2,5 | | | | | |
| 2 | 5,0 | | | | | |
| 3 | 7,5 | | | | | |
| 4 | 10,0 | | | | | |
| 5 | 12,5 | | | | | |
| 6 | 15,0 | | | | | |
| 7 | 17,5 | | | 105,0 | | |
| 8 | 20,0 | | | 76,7 | 66,7 | |
| 9 | 25,0 | | 40,0 | 64,0 | 40,0 | |
| 10 | 30,0 | | 40,0 | 52,5 | 28,6 | |
| 11 | 35,0 | 83,3 | 33,3 | 43,4 | 28,6 | 83,3 |
| 12 | 40,0 | 83,3 | 33,3 | 35,6 | 20,0 | 83,3 |
| 13 | 45,0 | 62,5 | 28,6 | 32,7 | 20,0 | 62,5 |
| RUINA | 49,5 | 62,5 | 28,6 | 32,7 | 20,0 | 62,5 |

ESPAÇAMENTOS ENTRE FISSURAS NA ALMA
VALORES MÉDIOS (mm) MODELO 1B/1

| ETAPA | FORÇA (kN) | AA1 | AA2 | AB | AC2 | AC1 |
|-------|------------|------|------|-------|------|------|
| 0 | 0,0 | | | | | |
| 1 | 2,5 | | | | | |
| 2 | 5,0 | | | | | |
| 3 | 7,5 | | | | | |
| 4 | 10,0 | | | | | |
| 5 | 12,5 | | | | | |
| 6 | 15,0 | | | | | |
| 7 | 17,5 | | | | | |
| 8 | 20,0 | | 66,6 | | | |
| 9 | 25,0 | 62,5 | 66,6 | | 66,7 | 83,3 |
| 10 | 30,0 | 62,5 | 33,3 | 142,5 | 50,0 | 83,3 |
| 11 | 35,0 | 50,0 | 33,3 | 99,8 | 50,0 | 50,0 |
| 12 | 40,0 | 41,7 | 28,6 | 86,7 | 50,0 | 50,0 |
| 13 | 45,0 | 41,7 | 28,6 | 83,1 | 40,0 | 35,7 |
| RUINA | 49,5 | 41,7 | 28,6 | 83,1 | 40,0 | 35,7 |

VALORES DAS ABERTURAS DE FISSURAS (mm)
MESA TRACIONADA - MODELO 1B/1

| ETAPA | FORÇA(kN) | TA1 | TA2 | TB | TC2 | TC1 |
|-------|-----------|------|------|------|------|------|
| 0 | 0,00 | | | | | |
| 1 | 2,50 | | | | | |
| 2 | 5,00 | | | | | |
| 3 | 7,50 | | | | | |
| 4 | 10,00 | | | | | |
| 5 | 12,50 | | | | | |
| 6 | 15,00 | | | | | |
| 7 | 17,50 | | 0,05 | 0,04 | | |
| 8 | 20,00 | | 0,05 | 0,04 | 0,07 | |
| 9 | 25,00 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,08 | 0,05 |
| 10 | 30,00 | 0,05 | 0,06 | 0,08 | 0,08 | 0,07 |
| 11 | 35,00 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,09 | 0,08 |
| 12 | 40,00 | 0,06 | 0,07 | 0,09 | 0,09 | 0,08 |
| 13 | 45,00 | 0,06 | 0,08 | 0,10 | 0,10 | 0,12 |

VALORES DAS ABERTURAS DE FISSURAS (mm)

ALMA - MODELO 1B/1

| ETAPA | FORÇA(kN) | AA1 | AA2 | AB | AC2 | AC1 |
|-------|-----------|------|------|------|------|------|
| 0 | 0,00 | | | | | |
| 1 | 2,50 | | | | | |
| 2 | 5,00 | | | | | |
| 3 | 7,50 | | | | | |
| 4 | 10,00 | | | | | |
| 5 | 12,50 | | | | | |
| 6 | 15,00 | | | | | |
| 7 | 17,50 | | 0,05 | | 0,05 | |
| 8 | 20,00 | 0,05 | 0,08 | | 0,10 | |
| 9 | 25,00 | 0,16 | 0,10 | 0,06 | 0,13 | 0,17 |
| 10 | 30,00 | 0,17 | 0,13 | 0,08 | 0,13 | 0,18 |
| 11 | 35,00 | 0,20 | 0,13 | 0,09 | 0,13 | 0,20 |
| 12 | 40,00 | 0,23 | 0,16 | 0,09 | 0,16 | 0,23 |
| 13 | 40,00 | 0,24 | 0,16 | 0,11 | 0,16 | 0,35 |

INCLINAÇÕES DAS FISSURAS E DA TENSÕES PRINCIPAIS DE
 COMPRESSÃO NO CENTRO DE GRAVIDADE - MODELO 1B/1

| ETAPA | FORÇA (kN) | SEÇÃO I | |
|-------|---------------|--------------|-------------|
| | | θ (°) | β (°) |
| 1 | 2,5 | | 45,8 |
| 2 | 5,0 | | 45,3 |
| 3 | 7,5 | | 45,4 |
| 4 | 10,0 | | 45,6 |
| 5 | 12,5 | | 46,7 |
| 6 | 15,0 | | 46,4 |
| 7 | 17,5 | 54,0 | 46,1 |
| 8 | 20,0 | 42,5 | 44,0 |
| 9 | 25,0 | 37,0 | 42,9 |
| 10 | 30,0 | 37,0 | 43,6 |
| 11 | 35,0 | 37,0 | 40,4 |
| 12 | 40,0 | 34,3 | 39,9 |
| 13 | 45,0 | 32,5 | 39,0 |
| MÉDIA | - | 24,9 | 43,9 |

θ = inclinação das fissuras

β = inclinação da tensão principal de compressão

A1.5 - MODELO 1B/2

MODLDAGEM : 23/09/91

ENSAIO: 30/09/91.

TIPO DE RUPTURA: CISALHAMENTO - COMPRESSÃO NA BIELA

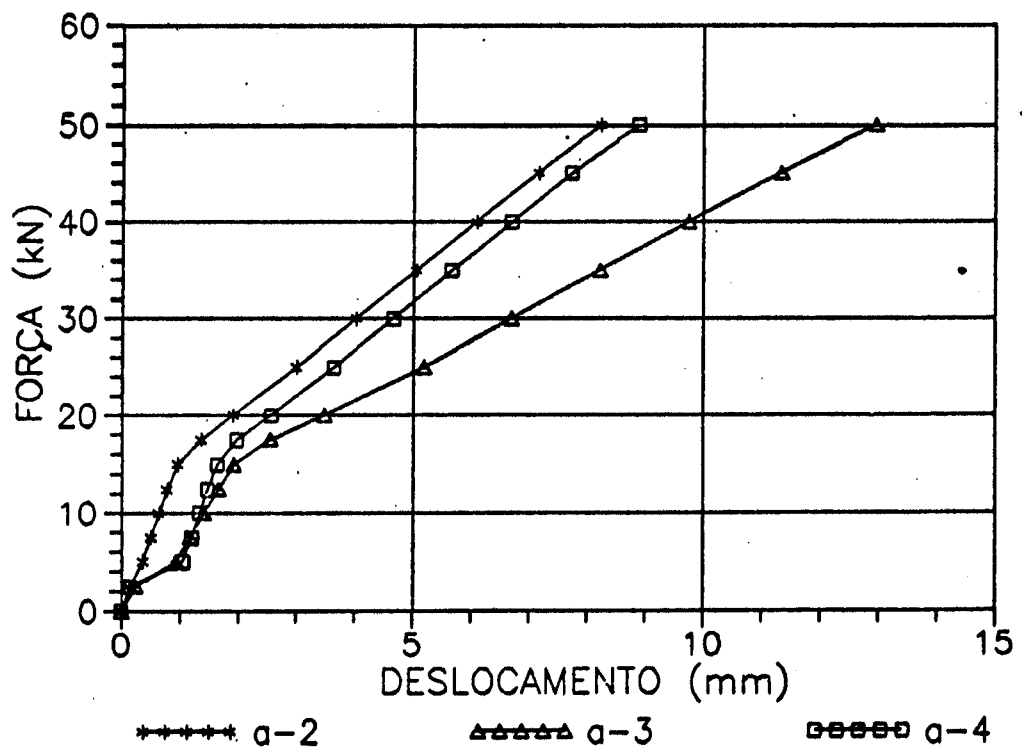
FORÇA CORTANTE ÚLTIMA: 55 kN

DESLOCAMENTOS VERTICAIS - MODELO 1B/2
(mm)

| ETAPA | HORA | FORÇA (kN) | v2 | v3 | v4 |
|-------|-------|------------|------|-------|------|
| 0 | 14h38 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1 | 14h44 | 2,50 | 0,24 | 0,70 | 0,91 |
| 2 | 14h47 | 5,00 | 0,37 | 0,93 | 1,03 |
| 1 | 14h48 | 2,50 | 0,14 | 0,24 | 0,14 |
| 2 | 14h49 | 5,00 | 0,37 | 0,93 | 1,05 |
| 3 | 14h51 | 7,50 | 0,51 | 1,17 | 1,20 |
| 4 | 14h54 | 10,00 | 0,64 | 1,40 | 1,34 |
| 5 | 14h57 | 12,50 | 0,78 | 1,66 | 1,47 |
| 6 | 15h09 | 15,00 | 0,96 | 1,92 | 1,64 |
| 7 | 15h06 | 17,50 | 1,36 | 2,54 | 1,97 |
| 8 | 15h11 | 20,00 | 1,91 | 3,47 | 2,56 |
| 9 | 15h22 | 25,00 | 3,00 | 5,18 | 3,64 |
| 10 | 15h38 | 30,00 | 4,02 | 6,60 | 4,66 |
| 11 | 15h53 | 35,00 | 5,06 | 8,22 | 5,66 |
| 12 | 16h09 | 40,00 | 6,09 | 9,74 | 6,69 |
| 13 | 16h26 | 45,00 | 7,16 | 11,32 | 7,73 |
| 14 | 16h43 | 50,00 | 8,23 | 12,95 | 8,89 |

| | | | |
|--------------------------|--------|---------|---------|
| DISTÂNCIA APOIO ESQUERDO | 530,00 | 1447,50 | 2365,00 |
|--------------------------|--------|---------|---------|

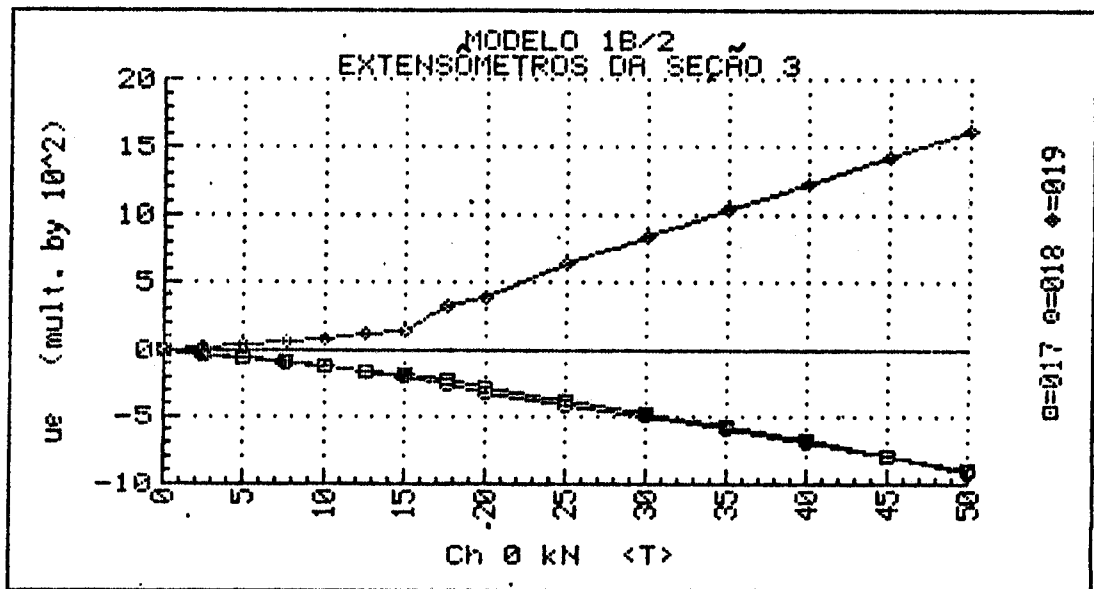
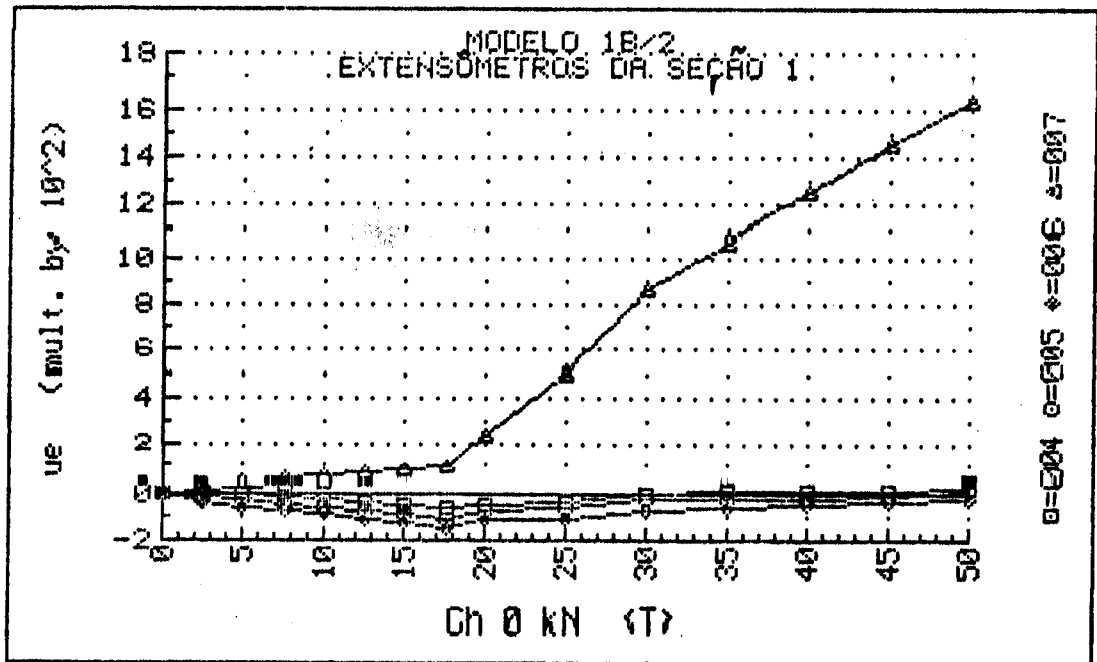
DIAGRAMAS FORÇA - DESLOCAMENTO
MODELO 1B/2



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

ENSAIO DE VIGA DE ARGAMASSA ARMADA
 MODELO 1B/2 DATA: 30/09/91
 DEFORMAÇÕES DOS EXTENSÔMETROS ELÉTRICOS UNIAXIAIS

| F (KN) | EC 1.1 (μ E) | EC 1.2 (μ E) | EC 1.3 (μ E) | EC 3.1 (μ E) | EC 3.3 (μ E) | ES 1 (μ E) | ES 3 (μ E) |
|-----------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------|--------------------|
| 0.05 | 00. | 00. | 41. | 41. | 41. | 41. | 40. |
| 2.53 | +6. | -15. | -34. | -27. | -31. | +10. | +22. |
| 5.00 | +0. | -30. | -59. | -57. | -63. | +22. | +44. |
| 2.47 | +7. | -15. | -36. | -27. | -31. | +11. | +23. |
| 5.00 | +0. | -30. | -59. | -57. | -63. | +23. | +44. |
| 7.53 | -12. | -45. | -77. | -80. | -96. | +35. | +65. |
| 10.00 | -27. | -62. | -94. | -121. | -128. | +47. | +87. |
| 12.53 | -40. | -78. | -111. | -154. | -163. | +61. | +112. |
| 15.00 | -54. | -93. | -126. | -186. | -200. | +75. | +138. |
| 17.53 | -65. | -107. | -144. | -226. | -257. | +89. | +155. |
| 20.00 | -45. | -80. | -118. | -282. | -311. | +232. | +384. |
| 25.00 | -33. | -64. | -109. | -386. | -411. | +504. | +642. |
| 30.00 | +1. | -26. | -74. | -484. | -504. | +861. | +833. |
| 35.00 | +7. | -27. | -61. | -585. | -605. | +1060. | +1041. |
| 40.00 | +9. | -27. | -50. | -687. | -705. | +1255. | +1228. |
| 45.00 | +9. | -11. | -41. | -796. | -807. | +1455. | +1417. |
| 50.00 | +19. | +7. | -22. | -909. | -912. | +1643. | +1614. |

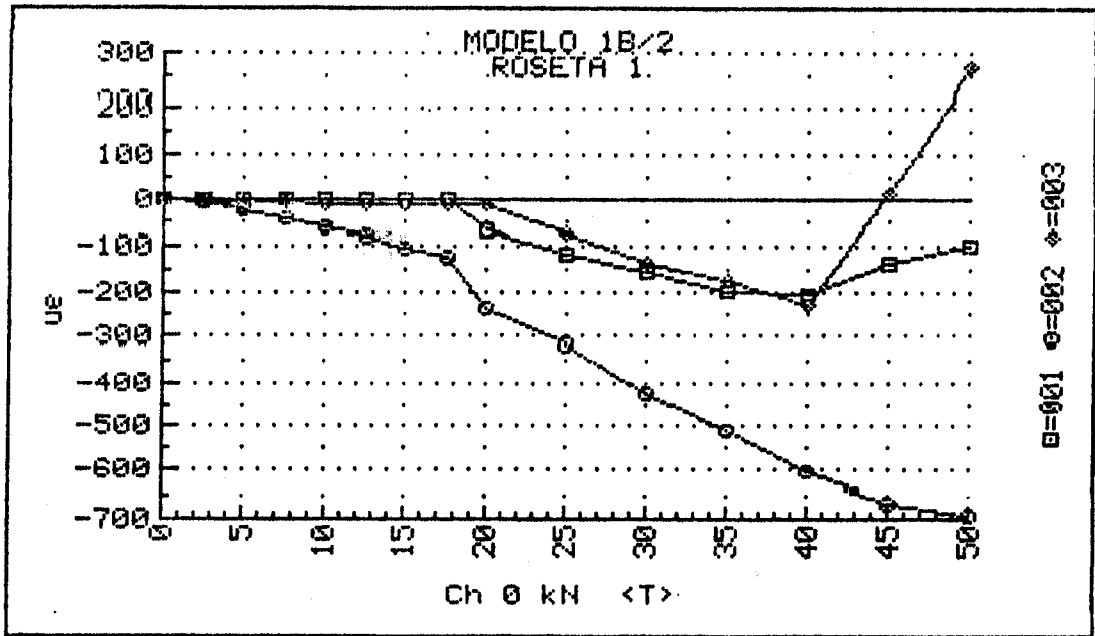


UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
 ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
 DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS

ENSAIO DE VIGA DE ARGAMASSA ARMADA
 MODELO 1B/2 DATA: 30/09/91
 DEFORMAÇÕES DOS EXTENSÔMETROS ELÉTRICOS DAS ROSETAS
 ROSETA 1

| F (kN) | ϵ_a ($\mu\epsilon$) | ϵ_b ($\mu\epsilon$) | ϵ_c ($\mu\epsilon$) | ϵ_1 ($\mu\epsilon$) | ϵ_2 ($\mu\epsilon$) | σ_1 (MPa) | σ_2 (MPa) | α ($^\circ$) |
|-----------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|
| 0.05 | +0. | -1. | +0. | +1. | -1. | +0.0 | -0.0 | U/C |
| 2.53 | +1. | -8. | -3. | +6. | -8. | +0.1 | -0.2 | -37.0 |
| 5.00 | +1. | -21. | -6. | +17. | -22. | +0.4 | -0.6 | -39.9 |
| 2.47 | +0. | -9. | -4. | +5. | -9. | +0.1 | -0.2 | -37.0 |
| 5.00 | +1. | -23. | -7. | +18. | -24. | +0.4 | -0.6 | -39.6 |
| 7.53 | +1. | -43. | -8. | +36. | -43. | +0.9 | -1.1 | -41.8 |
| 10.00 | +0. | -62. | -10. | +53. | -62. | +1.3 | -1.6 | -42.6 |
| 12.53 | +1. | -84. | -12. | +74. | -85. | +1.8 | -2.2 | -42.7 |
| 15.00 | +1. | -106. | -12. | +95. | -106. | +2.3 | -2.7 | -43.2 |
| 17.53 | +2. | -128. | -11. | +119. | -128. | +2.9 | -3.3 | -43.5 |
| 20.00 | -70. | -234. | -16. | +151. | -236. | +3.2 | -6.4 | -49.0 |
| 25.00 | -121. | -316. | -77. | +119. | -317. | +1.7 | -9.2 | -47.9 |
| 30.00 | -154. | -425. | -135. | +137. | -426. | +1.6 | -12.4 | -46.0 |
| 35.00 | -200. | -514. | -175. | +139. | -514. | +1.1 | -15.2 | -46.1 |
| 40.00 | -206. | -607. | -232. | +169. | -607. | +1.5 | -17.9 | -44.1 |
| 45.00 | -140. | -671. | +10. | +545. | -676. | +12.8 | -17.7 | -48.5 |
| 50.00 | -102. | -697. | +271. | +888. | -719. | +23.3 | -16.9 | -51.7 |

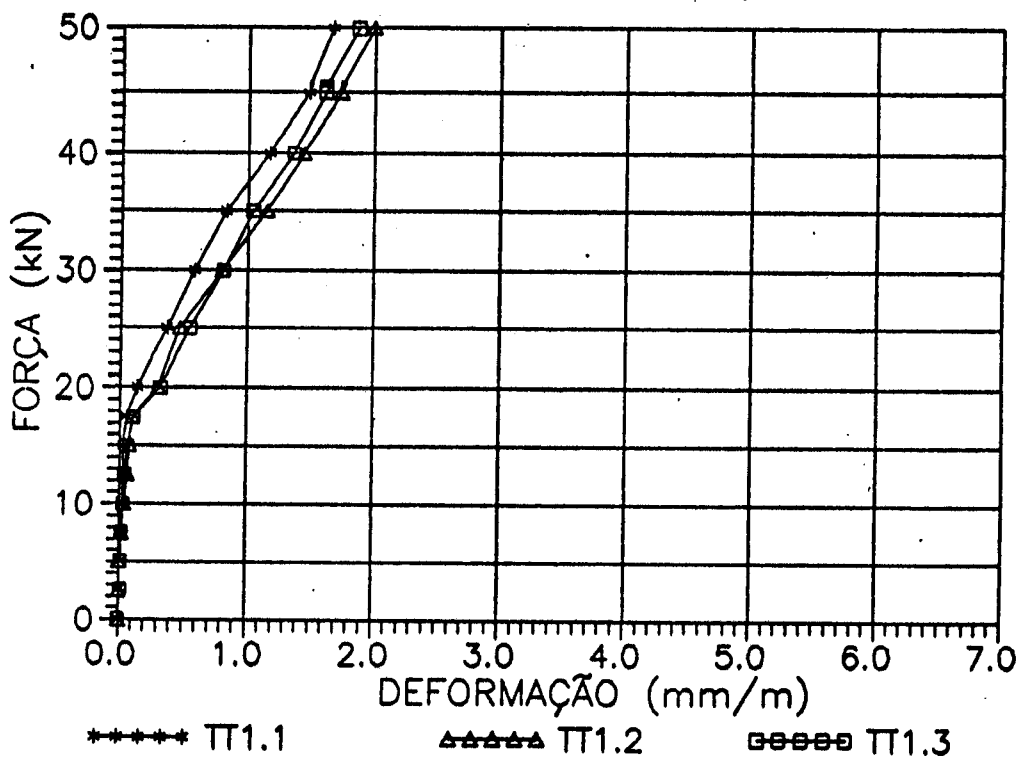
Cálculos feitos com: $E_c = 30.000$ MPa e $\nu = 0,2$
 ϵ_a : horizontal ϵ_b : 45° ϵ_c : vertical
 α : ângulo entre ϵ_a e ϵ_1 , + no sentido horário a partir de ϵ_a



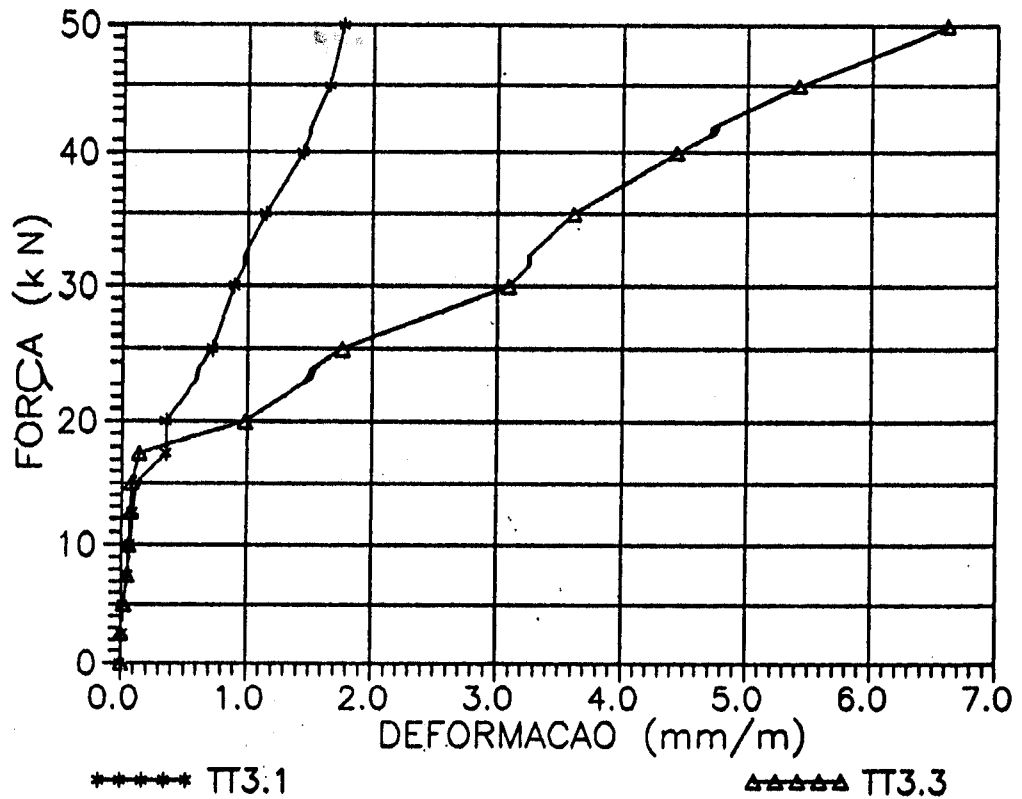
DEFORMAÇÕES MEDIDAS COM EXTENSÔMETRO MECÂNICO
 MODELO 1B/2 (mm/m)

| ETAPA | F (kN) | T (°C) | TT1.1 | TT1.2 | TT1.3 | TT3.1 | TT3.3 | TA.1 |
|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| 0 | 0,00 | 22,50 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1 | 2,50 | 22,50 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,00 |
| 2 | 5,00 | 22,50 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,03 | 0,01 | 0,02 |
| 1 | 2,50 | 22,50 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,01 |
| 2 | 5,00 | 22,50 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| 3 | 7,50 | 22,50 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,05 | 0,05 | 0,04 |
| 4 | 10,00 | 22,50 | 0,03 | 0,04 | 0,03 | 0,07 | 0,06 | 0,07 |
| 5 | 12,50 | 22,50 | 0,03 | 0,06 | 0,04 | 0,09 | 0,07 | 0,09 |
| 6 | 15,00 | 22,50 | 0,03 | 0,08 | 0,06 | 0,11 | 0,08 | 0,12 |
| 7 | 17,50 | 22,50 | 0,05 | 0,10 | 0,11 | 0,35 | 0,14 | 0,27 |
| 8 | 20,00 | 22,50 | 0,14 | 0,30 | 0,32 | 0,35 | 0,98 | 0,52 |
| 9 | 25,00 | 23,00 | 0,37 | 0,47 | 0,55 | 0,72 | 1,76 | 0,79 |
| 10 | 30,00 | 23,00 | 0,58 | 0,80 | 0,81 | 0,89 | 3,09 | 1,00 |
| 11 | 35,00 | 23,00 | 0,83 | 1,15 | 1,04 | 1,14 | 3,61 | 1,19 |
| 12 | 40,00 | 23,00 | 1,17 | 1,44 | 1,36 | 1,44 | 4,44 | 1,43 |
| 13 | 45,00 | 23,00 | 1,48 | 1,73 | 1,61 | 1,65 | 5,41 | 1,74 |
| 14 | 50,00 | 23,00 | 1,67 | 1,99 | 1,87 | 1,76 | 6,60 | 1,97 |

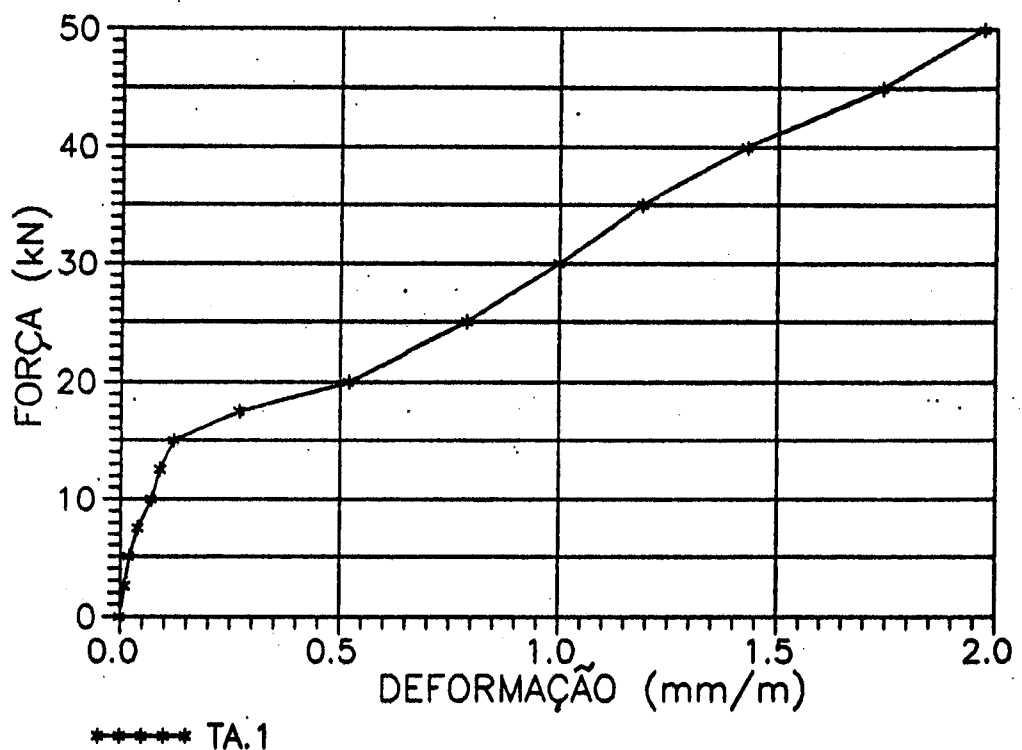
DIAGRAMAS FORÇA - DEFORMAÇÃO
 MODELO 1B/2 - Seção 1
 Mesa Tracionada



DIAGRAMAS FORÇA - DEFORMAÇÃO
 MODELO 1B/2 - Seção 3
 Mesa Tracionada



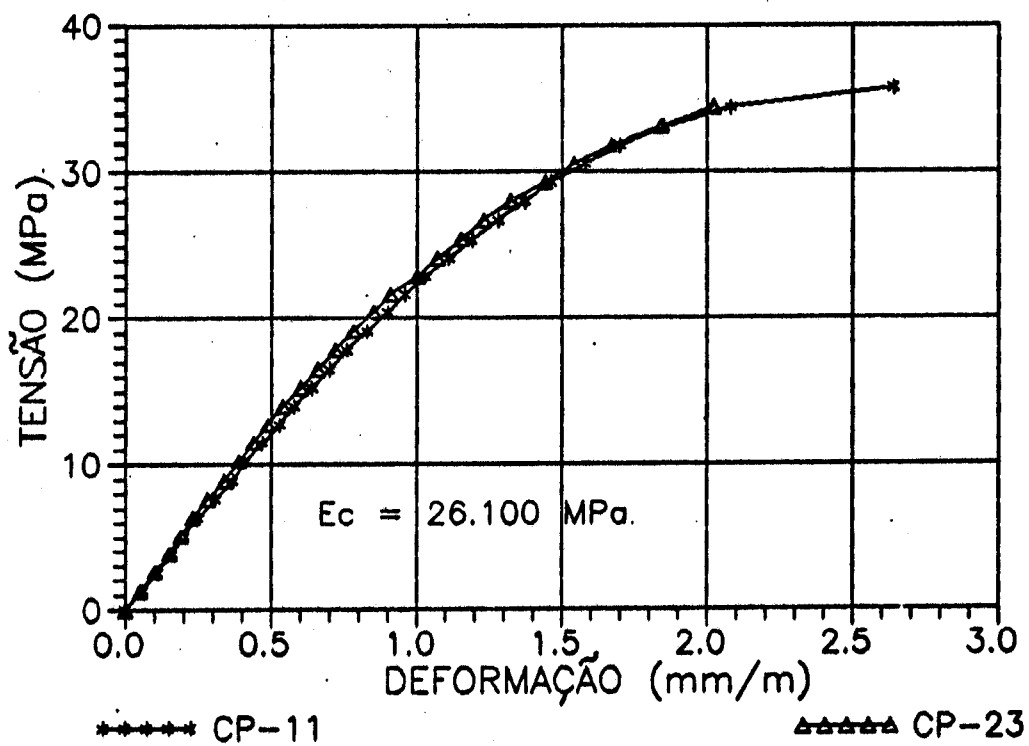
DIAGRAMAS FORÇA - DEFORMAÇÃO
 MODELO 1B/2 - ALMA



RESULTADOS DOS ENSAIOS DOS CORPOS-DE-PROVA DE ARGAMASSA
 MODELO 1B/2

| RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa) | | | | RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (MPa) | | |
|--------------------------------|-------|--------|--------|----------------------------|--------|--------|
| IDADE | 1 DIA | 3 DIAS | 7 DIAS | 1 DIA | 3 DIAS | 7 DIAS |
| | 12,7 | 28,0 | 41,4 | 1,4 | 2,5 | 3,7 |
| | 13,4 | 29,3 | 35,8 | 1,4 | 2,3 | 3,2 |
| | 13,4 | 31,2 | 38,2 | 1,4 | 2,5 | 3,1 |
| | 14,0 | 26,7 | 35,2 | 1,2 | 2,5 | 3,5 |
| MÉDIA | 13,4 | 28,8 | 37,7 | 1,3 | 2,5 | 3,4 |
| DESVIO MÁXIMO | 0,7 | 2,4 | 3,8 | 0,1 | 0,2 | 0,3 |
| DESVIO MAX. % | 5,0 | 8,3 | 10,0 | 11,1 | 6,1 | 9,6 |
| DES. MAX. ADMISS. | 0,6 | 2,2 | 3,2 | 0,1 | 0,1 | 0,3 |
| DESVIO PADRÃO | 0,5 | 1,9 | 2,8 | 0,1 | 0,1 | 0,3 |
| COEF. % VARIACÃO | 4,0 | 6,7 | 7,5 | 7,4 | 4,1 | 8,2 |
| INTERVALO CONF. 95% | 12,5 | 25,7 | 33,2 | 1,2 | 2,3 | 2,9 |
| | 14,2 | 31,9 | 42,1 | 1,5 | 2,6 | 3,8 |

DIAGRAMAS TENSÃO - DEFORMAÇÃO
Modelo 1B/2



ESPAÇAMENTOS ENTRE FISSURAS NA MESA TRACIONADA
VALORES MÉDIOS (mm) - MODELO 1B/2

| ETAPA | FORÇA (kN) | TA1 | TA2 | TB | TC2 | TC1 |
|-------|------------|------|------|------|------|------|
| 0 | 0,0 | | | | | |
| 1 | 2,5 | | | | | |
| 2 | 5,0 | | | | | |
| 3 | 7,5 | | | | | |
| 4 | 10,0 | | | | | |
| 5 | 12,5 | | | | | |
| 6 | 15,0 | | | | | |
| 7 | 17,5 | | | | | |
| 8 | 20,0 | | | | | |
| 9 | 25,0 | | 40,0 | 73,8 | 44,0 | |
| 10 | 30,0 | | 33,4 | 58,7 | 44,0 | |
| 11 | 35,0 | | 33,4 | 49,6 | 28,6 | 31,0 |
| 12 | 40,0 | 50,0 | 28,6 | 45,3 | 25,0 | 31,0 |
| 13 | 45,0 | 45,0 | 25,0 | 39,9 | 25,0 | 31,0 |
| 14 | 50,0 | 45,0 | 25,0 | 36,2 | 25,0 | 31,0 |
| RUINA | 55,0 | 45,0 | 25,0 | 36,2 | 25,0 | 31,0 |

ESPAÇAMENTOS ENTRE FISSURAS NA ALMA
VALORES MÉDIOS (mm) MODELO 1B/2

| ETAPA | FORÇA (kN) | AA1 | AA2 | AB | AC2 | AC1 |
|-------|------------|------|------|-------|------|------|
| 0 | 0,0 | | | | | |
| 1 | 2,5 | | | | | |
| 2 | 5,0 | | | | | |
| 3 | 7,5 | | | | | |
| 4 | 10,0 | | | | | |
| 5 | 12,5 | | | | | |
| 6 | 15,0 | | | | | |
| 7 | 17,5 | | | | | |
| 8 | 20,0 | | | | | |
| 9 | 25,0 | 50,0 | 36,0 | | 50,0 | |
| 10 | 30,0 | 35,0 | 36,0 | 199,5 | 50,0 | 83,3 |
| 11 | 35,0 | 26,7 | 36,0 | 117,4 | 50,0 | 62,5 |
| 12 | 40,0 | 26,7 | 33,4 | 71,3 | 40,0 | 50,0 |
| 13 | 45,0 | 26,7 | 33,4 | 68,8 | 28,6 | 35,7 |
| 14 | 50,0 | 26,7 | 33,4 | 62,4 | 28,6 | 31,3 |
| RUINA | 55,0 | 26,7 | 33,4 | 62,4 | 28,6 | 31,3 |

VALORES DAS ABERTURAS DE FISSURAS (mm)

MESA TRACIONADA - MODELO 1B/2

| ETAPA | FORÇA(kN) | TA1 | TA2 | TB | TC2 | TC1 |
|-------|-----------|------|------|------|------|------|
| 0 | 0,00 | | | | | |
| 1 | 2,50 | | | | | |
| 2 | 5,00 | | | | | |
| 3 | 7,50 | | | | | |
| 4 | 10,00 | | | | | |
| 5 | 12,50 | | | | | |
| 6 | 15,00 | | | | | |
| 7 | 17,50 | | | | | |
| 8 | 20,00 | | 0,03 | 0,04 | | |
| 9 | 25,00 | | 0,03 | 0,04 | 0,05 | |
| 10 | 30,00 | | 0,04 | 0,05 | 0,06 | |
| 11 | 35,00 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,06 | 0,03 |
| 12 | 40,00 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,06 | 0,04 |
| 13 | 45,00 | 0,05 | 0,07 | 0,06 | 0,06 | 0,05 |
| 14 | 50,00 | 0,06 | 0,08 | 0,07 | 0,06 | 0,06 |

VALORES DAS ABERTURAS DE FISSURAS (mm)

ALMA - MODELO 1B/2

| ETAPA | FORÇA(kN) | AA1 | AA2 | AB | AC2 | AC1 |
|-------|-----------|------|------|------|------|------|
| 0 | 0,00 | | | | | |
| 1 | 2,50 | | | | | |
| 2 | 5,00 | | | | | |
| 3 | 7,50 | | | | | |
| 4 | 10,00 | | | | | |
| 5 | 12,50 | | | | | |
| 6 | 15,00 | | | | | |
| 7 | 17,50 | | | | | |
| 8 | 20,00 | | 0,06 | | 0,09 | |
| 9 | 25,00 | 0,06 | 0,10 | | 0,09 | 0,10 |
| 10 | 30,00 | 0,08 | 0,10 | 0,05 | 0,14 | 0,15 |
| 11 | 35,00 | 0,08 | 0,11 | 0,06 | 0,16 | 0,16 |
| 12 | 40,00 | 0,10 | 0,12 | 0,06 | 0,16 | 0,16 |
| 13 | 45,00 | 0,10 | 0,15 | 0,07 | 0,18 | 0,18 |
| 14 | 50,00 | 0,15 | 0,15 | 0,07 | 0,20 | 0,22 |

INCLINAÇÕES DAS FISSURAS E DAS TENSÕES PRINCIPAIS DE
 COMPRESSÃO NO CENTRO DE GRAVIDADE - MODELO 1B/2

| ETAPA | FORÇA (kN) | SEÇÃO 1 | |
|-------|---------------|--------------|-------------|
| | | θ (°) | β (°) |
| 1 | 2,5 | | 53,0 |
| 2 | 5,0 | | 50,4 |
| 3 | 7,5 | | 48,2 |
| 4 | 10,0 | | 47,4 |
| 5 | 12,5 | | 47,3 |
| 6 | 15,0 | | 46,8 |
| 7 | 17,5 | | 46,5 |
| 8 | 20,0 | 44,0 | 41,0 |
| 9 | 25,0 | 44,0 | 42,1 |
| 10 | 30,0 | 41,0 | 44,0 |
| 11 | 35,0 | 41,0 | 43,9 |
| 12 | 40,0 | 41,0 | 45,9 |
| 13 | 45,0 | 40,0 | 41,5 |
| 14 | 50,0 | 40,0 | 38,3 |
| MÉDIA | - | 41,6 | 45,5 |

θ = inclinação das fissuras

β = inclinação da tensão principal de compressão

A1.6 - MODELO 1B/3

MOLDAGEM: 01/10/91

ENSAIO: 08/10/91

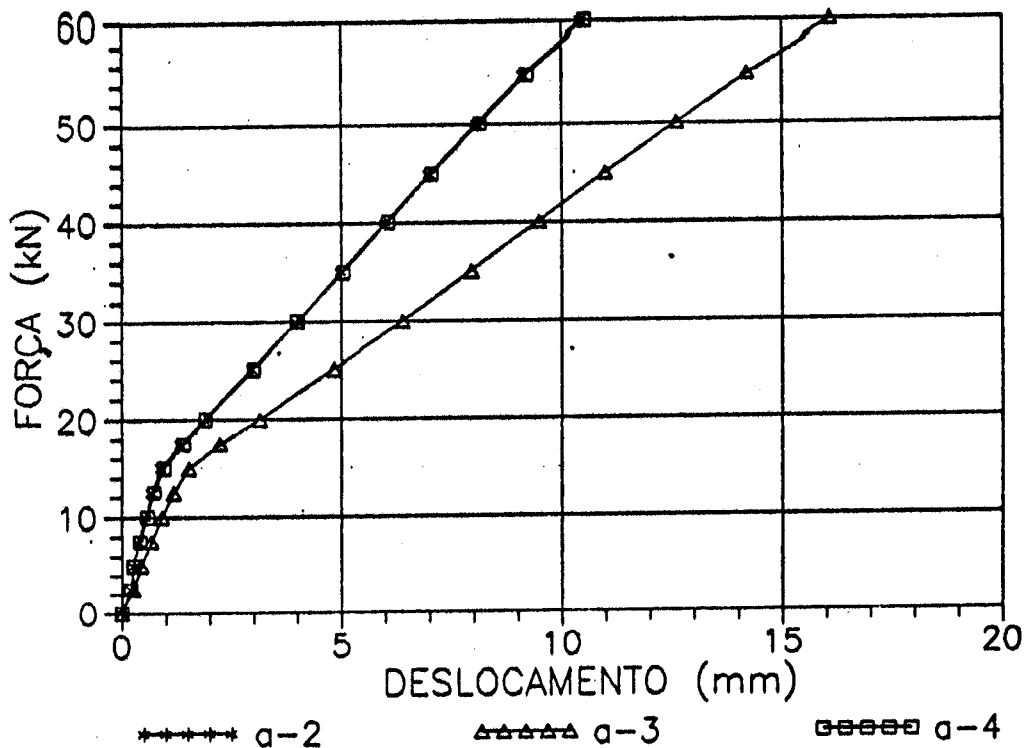
TIPO DE RUPTURA: CISALHAMENTO - COMPRESSÃO NA BIELA

FORÇA CORTANTE ÚLTIMA: 65 kN

DESLOCAMENTOS VERTICAIS - MODELO 1B/3
(mm)

| ETAPA | HORA | FORÇA (kN) | v2 | v3 | v4 |
|--------------------------|-------|------------|--------|---------|---------|
| 0 | 14h15 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1 | 14h19 | 2,50 | 0,12 | 0,22 | 0,17 |
| 2 | 14h21 | 5,00 | 0,28 | 0,45 | 0,37 |
| 1 | 14h23 | 2,50 | 0,24 | 0,27 | 0,21 |
| 2 | 14h25 | 5,00 | 0,28 | 0,45 | 0,26 |
| 3 | 14h27 | 7,50 | 0,38 | 0,68 | 0,41 |
| 4 | 14h29 | 10,00 | 0,55 | 0,92 | 0,58 |
| 5 | 14h31 | 12,50 | 0,69 | 1,18 | 0,73 |
| 6 | 14h36 | 15,00 | 0,88 | 1,52 | 0,95 |
| 7 | 14h39 | 17,50 | 1,33 | 2,22 | 1,39 |
| 8 | 14h48 | 20,00 | 1,87 | 3,14 | 1,90 |
| 9 | 15h00 | 25,00 | 2,96 | 4,83 | 2,99 |
| 10 | 15h14 | 30,00 | 3,99 | 6,38 | 3,99 |
| 11 | 15h33 | 35,00 | 4,98 | 7,94 | 5,03 |
| 12 | 15h47 | 40,00 | 5,99 | 9,47 | 6,05 |
| 13 | 16h02 | 45,00 | 6,99 | 10,98 | 7,03 |
| 14 | 16h16 | 50,00 | 8,05 | 12,61 | 8,13 |
| 15 | 16h33 | 55,00 | 9,12 | 14,19 | 9,19 |
| 16 | 16h44 | 60,00 | 10,43 | 16,08 | 10,51 |
| DISTÂNCIA APOIO ESQUERDO | | | 530,00 | 1447,50 | 2365,00 |

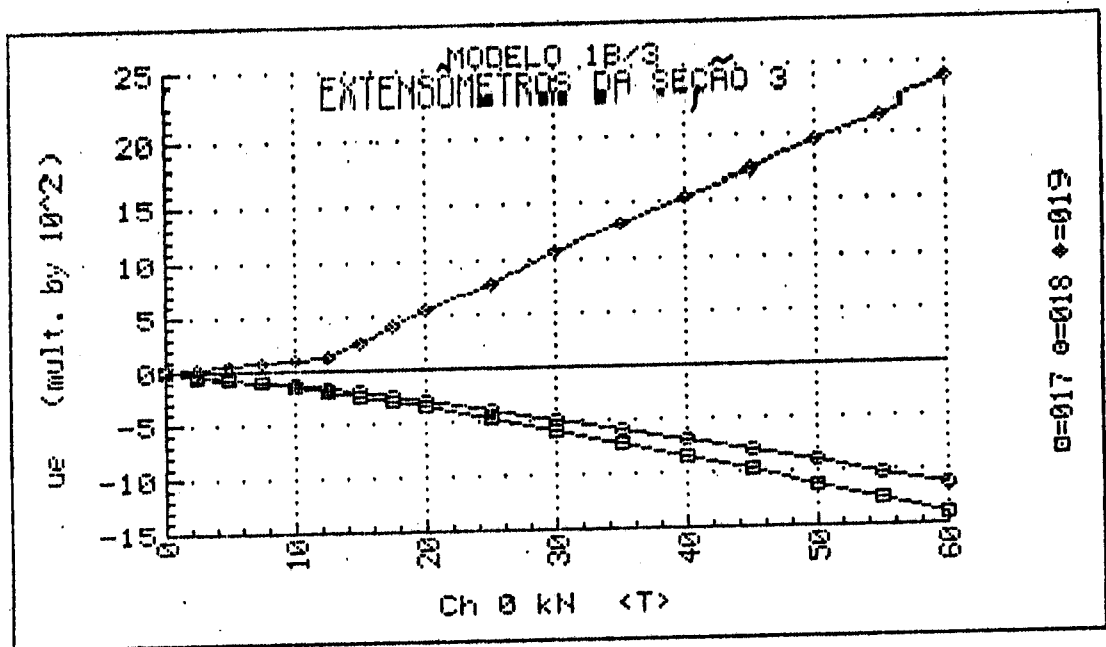
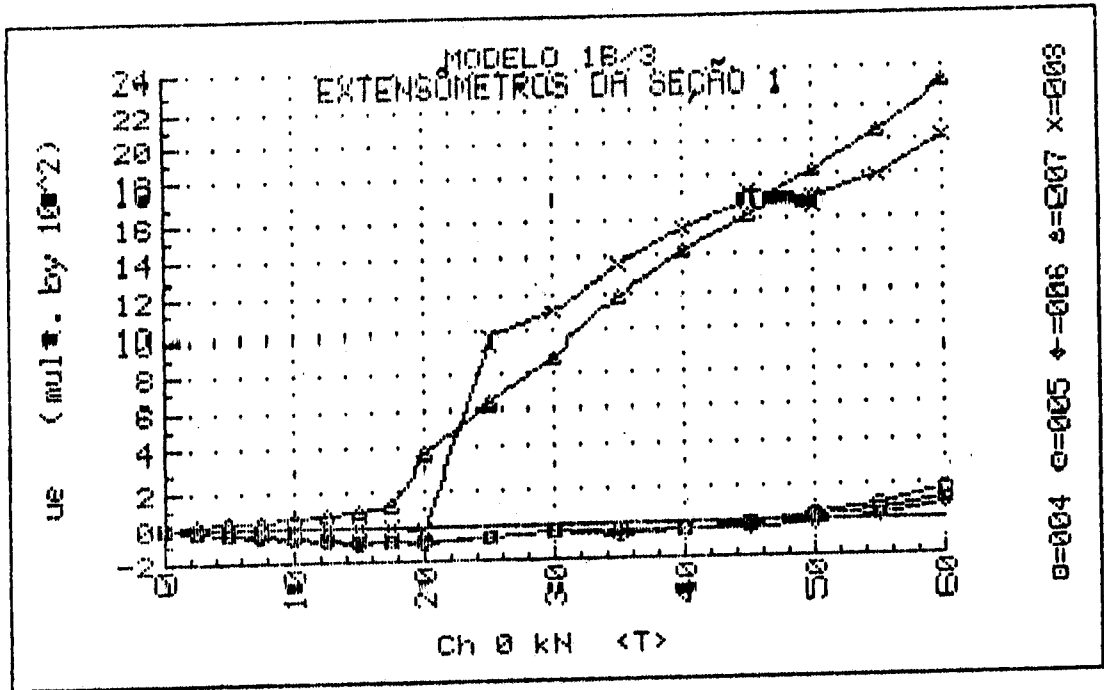
DIAGRAMAS FORÇA - DESLOCAMENTO
MODELO 1B/3



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

ENSAIO DE VIGA DE ARGAMASSA ARMADA
 MODELO 1B/3 DATA: 08/10/91
 DEFORMAÇÕES DOS EXTENSÔMETROS ELÉTRICOS UNIAXIAIS

| F (kN) | EC 1.1 ($\mu\epsilon$) | EC 1.2 ($\mu\epsilon$) | EC 1.3 ($\mu\epsilon$) | EC 3.1 ($\mu\epsilon$) | EC 3.3 ($\mu\epsilon$) | ES 1 ($\mu\epsilon$) | ES 3 ($\mu\epsilon$) | ET 1 ($\mu\epsilon$) |
|-----------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 0.00 | +0. | +0. | +0. | +0. | +0. | +0. | +1. | +0. |
| 2.53 | -14. | -14. | -13. | -35. | -31. | +15. | +24. | +0. |
| 5.00 | -27. | -29. | -30. | -73. | -63. | +27. | +46. | +0. |
| 2.47 | -13. | -14. | -14. | -38. | -34. | +15. | +25. | +1. |
| 5.00 | -26. | -29. | -30. | -73. | -63. | +28. | +46. | +0. |
| 7.47 | -40. | -44. | -45. | -111. | -96. | +42. | +70. | +0. |
| 10.00 | -55. | -61. | -61. | -151. | -128. | +57. | +95. | -1. |
| 12.53 | -69. | -77. | -76. | -191. | -163. | +72. | +125. | -2. |
| 15.00 | -84. | -93. | -92. | -239. | -205. | +85. | +242. | -6. |
| 17.53 | -84. | -88. | -89. | -303. | -253. | +123. | +411. | -6. |
| 20.00 | -91. | -96. | -97. | -362. | -307. | +360. | +545. | -12. |
| 25.00 | -65. | -68. | -67. | -477. | -403. | +629. | +784. | +965. |
| 30.00 | -32. | -39. | -35. | -599. | -500. | +887. | +1065. | +1094. |
| 35.00 | -39. | -62. | -43. | -727. | -602. | +1183. | +1298. | +1357. |
| 40.00 | -27. | -30. | -40. | -850. | -698. | +1414. | +1519. | +1546. |
| 45.00 | -17. | -11. | -34. | -978. | -800. | +1617. | +1732. | +1705. |
| 50.00 | +9. | +30. | -16. | -1117. | -908. | +1823. | +1946. | +1671. |
| 55.00 | +47. | +83. | +21. | -1254. | -1015. | +2052. | +2152. | +1792. |
| 60.00 | +117. | +168. | +85. | -1411. | -1134. | +2319. | +2380. | +2008. |

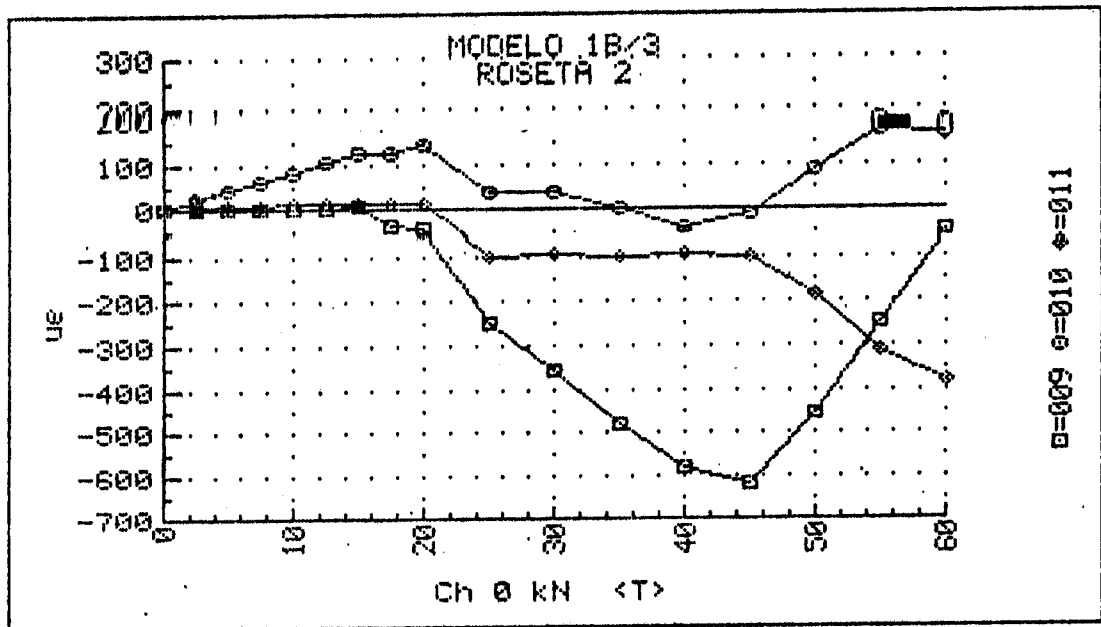
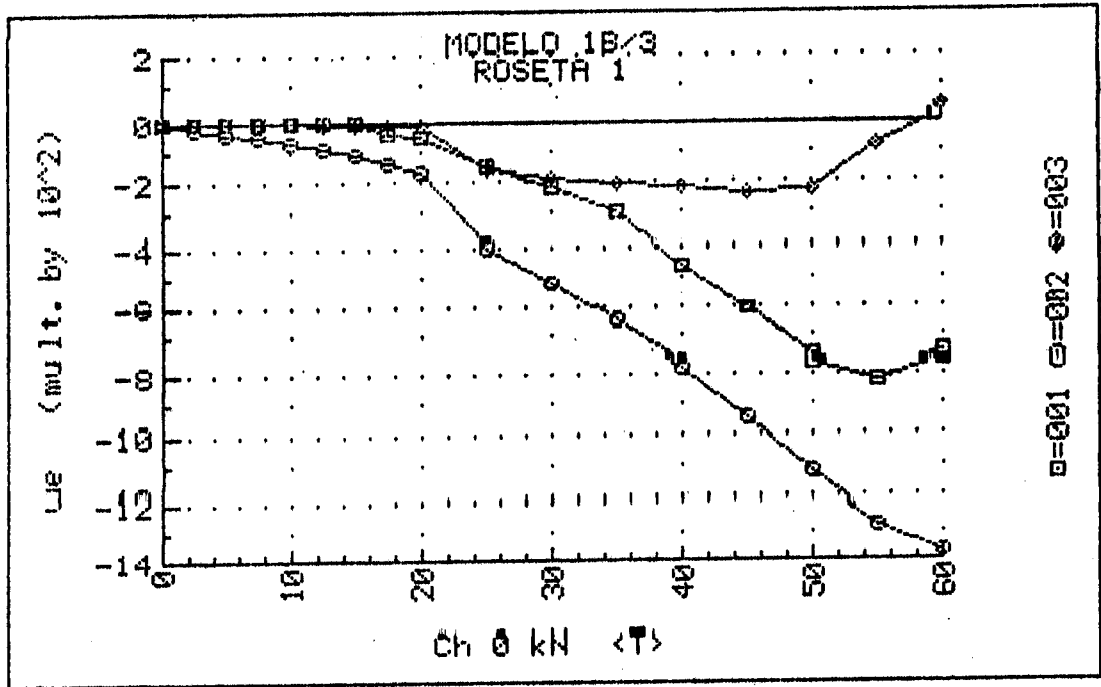


UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
 ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
 DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS

ENSAIO DE VIGA DE ARGAMASSA ARMADA
 MODELO 1B/3 DATA: 08/10/71
 DEFORMAÇÕES DOS EXTENSÔMETROS ELÉTRICOS DAS ROSETAS
 ROSETA 1

| F (kN) | ϵ_a ($\mu\epsilon$) | ϵ_b ($\mu\epsilon$) | ϵ_c ($\mu\epsilon$) | ϵ_1 ($\mu\epsilon$) | ϵ_2 ($\mu\epsilon$) | σ_1 (MPa) | σ_2 (MPa) | θ ($^\circ$) |
|-----------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|
| 0.00 | +1. | +0. | +0. | +1. | -0. | +0.0 | +0.0 | U/C |
| 2.53 | +1. | -18. | -1. | +18. | -18. | +0.5 | -0.5 | -43.5 |
| 5.00 | +0. | -36. | -1. | +35. | -36. | +0.9 | -0.9 | -44.6 |
| 2.47 | +0. | -18. | +0. | +18. | -18. | +0.5 | -0.5 | +45.0 |
| 5.00 | +0. | -36. | -1. | +35. | -36. | +0.9 | -0.9 | -44.6 |
| 7.47 | +0. | -53. | -2. | +51. | -53. | +1.3 | -1.3 | -44.5 |
| 10.00 | +0. | -73. | -4. | +69. | -73. | +1.7 | -1.8 | -44.2 |
| 12.53 | -1. | -92. | -6. | +85. | -92. | +2.1 | -2.3 | -44.2 |
| 15.00 | +1. | -111. | -11. | +102. | -112. | +2.5 | -2.9 | -43.4 |
| 17.53 | -37. | -143. | -8. | +100. | -144. | +2.2 | -3.9 | -48.4 |
| 20.00 | -53. | -174. | -11. | +112. | -176. | +2.4 | -4.8 | -49.3 |
| 25.00 | -147. | -399. | -156. | +96. | -399. | +0.5 | -11.9 | -44.5 |
| 30.00 | -220. | -518. | -193. | +105. | -518. | +0.0 | -15.5 | -46.3 |
| 35.00 | -301. | -648. | -214. | +135. | -650. | +0.2 | -19.5 | -48.2 |
| 40.00 | -461. | -784. | -217. | +123. | -801. | -1.2 | -24.3 | -52.6 |
| 45.00 | -610. | -945. | -237. | +131. | -978. | -2.0 | -29.7 | -54.8 |
| 50.00 | -757. | -1116. | -231. | +181. | -1169. | -1.6 | -35.4 | -56.5 |
| 55.00 | -823. | -1281. | -77. | +461. | -1361. | +5.9 | -39.6 | -57.1 |
| 60.00 | -755. | -1368. | +34. | +722. | -1442. | +13.5 | -40.6 | -55.7 |

Cálculos feitos com: $E_c = 30.000$ MPa e $\nu = 0,2$
 ϵ_a : horizontal ϵ_b : 45° ϵ_c : vertical
 θ : ângulo entre ϵ_a e ϵ_1 , + no sentido horário a partir de ϵ_a

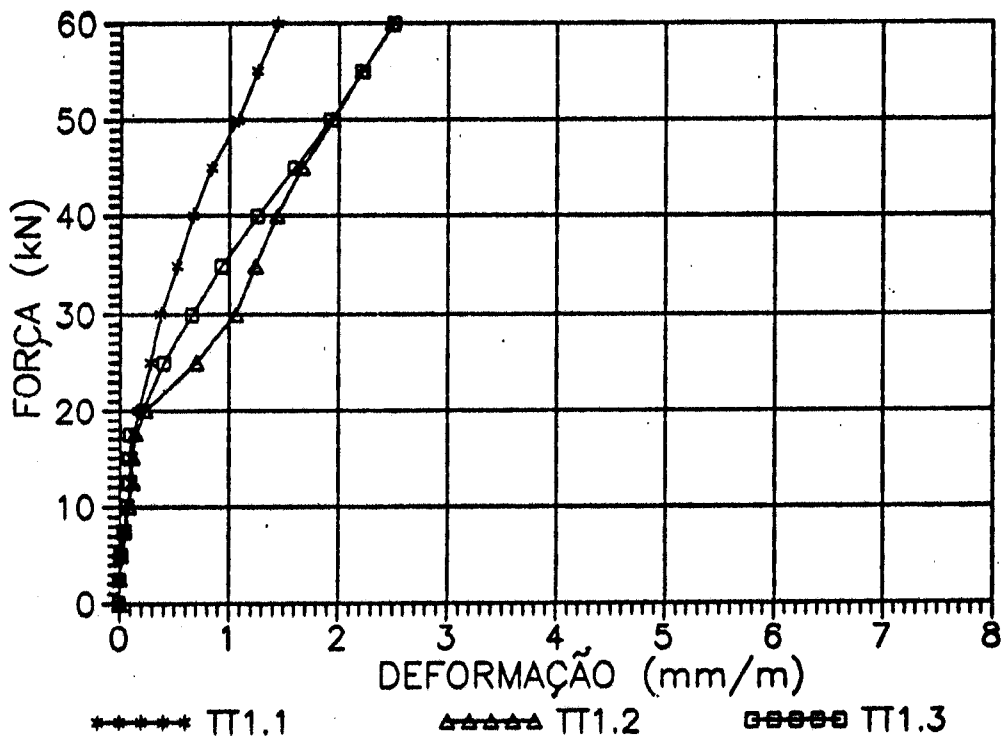


DEFORMAÇÕES MEDIDAS COM EXTENSÔMETRO MECÂNICO

MODELO 1B/3 (mm/m)

| ETAPA | F (kN) | T (°C) | TT1.1 | TT1.2 | TT1.3 | TT3.1 | TT3.3 | TA.1 |
|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| 0 | 0,00 | 19,50 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1 | 2,50 | 19,50 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 |
| 2 | 5,00 | 19,50 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,03 | 0,01 | 0,02 |
| 1 | 2,50 | 19,50 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,01 | 0,01 |
| 2 | 5,00 | 19,50 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,03 | 0,03 | 0,02 |
| 3 | 7,50 | 19,50 | 0,06 | 0,04 | 0,04 | 0,09 | 0,06 | 0,08 |
| 4 | 10,00 | 19,50 | 0,09 | 0,09 | 0,07 | 0,15 | 0,07 | 0,13 |
| 5 | 12,50 | 19,50 | 0,11 | 0,12 | 0,09 | 0,19 | 0,09 | 0,15 |
| 6 | 15,00 | 19,50 | 0,11 | 0,12 | 0,09 | 0,25 | 0,09 | 0,30 |
| 7 | 17,50 | 19,50 | 0,13 | 0,14 | 0,10 | 0,31 | 0,11 | 0,43 |
| 8 | 20,00 | 19,50 | 0,17 | 0,24 | 0,21 | 0,56 | 0,18 | 0,72 |
| 9 | 25,00 | 19,50 | 0,28 | 0,70 | 0,40 | 0,84 | 1,34 | 1,06 |
| 10 | 30,00 | 19,50 | 0,37 | 1,06 | 0,66 | 1,17 | 2,40 | 1,36 |
| 11 | 35,00 | 19,50 | 0,52 | 1,24 | 0,93 | 1,36 | 2,84 | 1,68 |
| 12 | 40,00 | 19,50 | 0,67 | 1,44 | 1,26 | 1,52 | 3,42 | 1,95 |
| 13 | 45,00 | 19,50 | 0,84 | 1,67 | 1,60 | 1,74 | 3,91 | 2,09 |
| 14 | 50,00 | 19,00 | 1,08 | 1,95 | 1,93 | 1,95 | 4,67 | 2,31 |
| 15 | 55,00 | 19,00 | 1,26 | 2,22 | 2,22 | 2,17 | 5,86 | 2,53 |
| 16 | 60,00 | 19,00 | 1,44 | 2,49 | 2,51 | 2,37 | 7,30 | 2,73 |

DIAGRAMAS FORÇA - DEFORMAÇÃO
 MODELO 1B/3 - Seção 1
 Mesa Tracionada



DIAGRAMAS FORÇA - DEFORMAÇÃO
 MODELO 1B/3 - Seção 3
 Mesa Tracionada

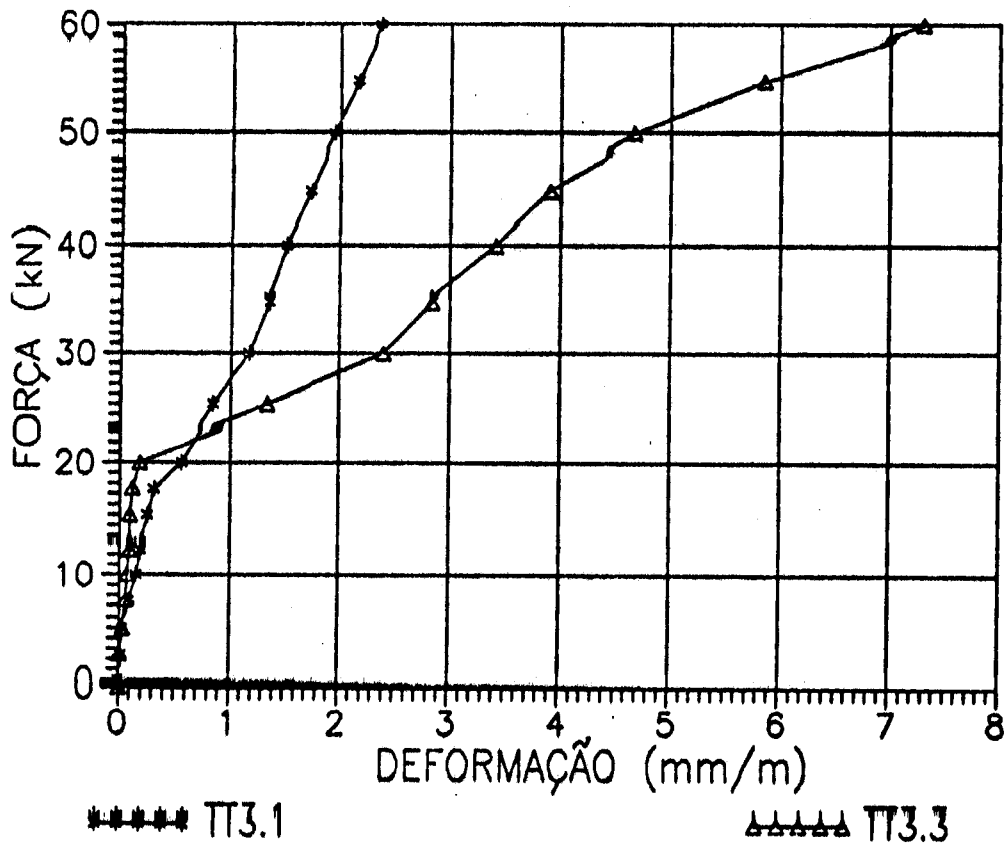
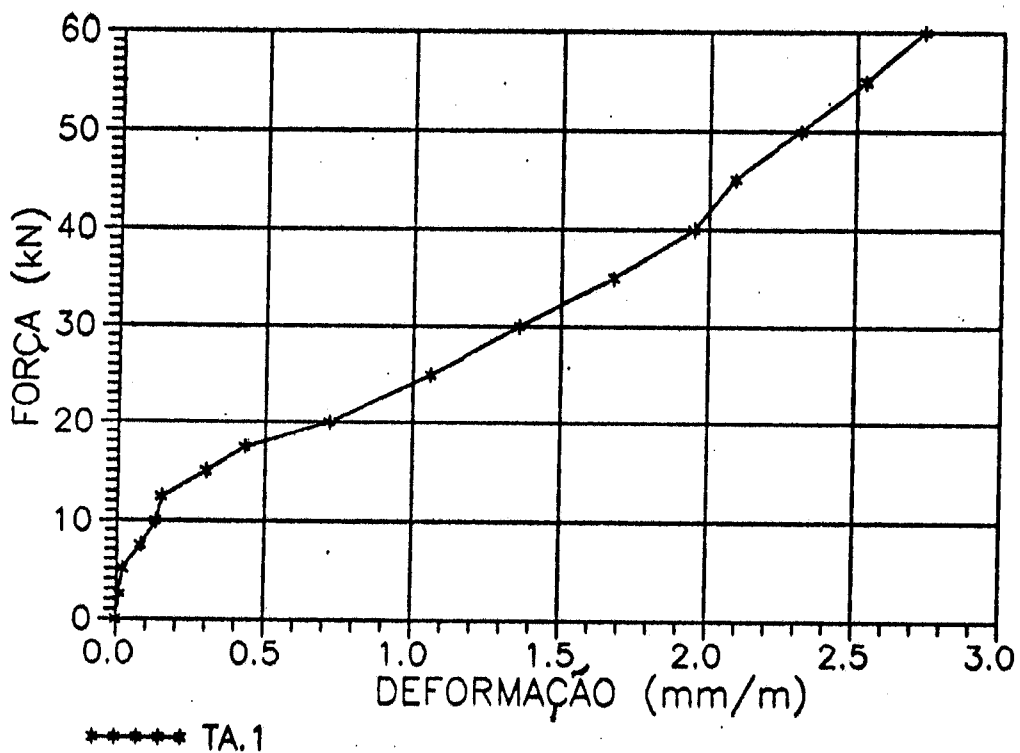


DIAGRAMA FORÇA - DEFORMAÇÃO
 MODELO 1B/3 - ALMA



RESULTADOS DOS ENSAIOS DOS CORPOS-DE-PROVA DE ARGAMASSA
MODELO 1B/3

| RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa) | | | | RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (MPa) | | |
|--------------------------------|-------|--------|--------|----------------------------|--------|--------|
| IDADE | 1 DIA | 3 DIAS | 7 DIAS | 1 DIA | 3 DIAS | 7 DIAS |
| | 15,5 | 31,1 | | 1,6 | 2,6 | |
| | 15,3 | 33,2 | | 1,2 | 3,2 | |
| | 15,3 | 34,1 | | 1,4 | 3,5 | |
| | 15,5 | 33,0 | | 1,2 | 2,9 | |
| | | 33,2 | | | 2,6 | |
| | | 31,3 | | | 2,9 | |
| | | 30,4 | | | 3,1 | |
| | | 33,5 | | | 3,0 | |
| MÉDIA | 15,4 | 32,5 | | 1,4 | 3,0 | |
| DESVIO MÁXIMO | 0,2 | 2,1 | | 0,4 | 0,5 | |
| DESVIO MAX. % | 1,3 | 6,4 | | 29,6 | 17,6 | |
| DES. MAX. ADMISS. | 0,2 | 3,1 | | 0,3 | 0,7 | |
| DESVIO PADRÃO | 0,2 | 2,0 | | 0,3 | 0,5 | |
| COEF. % VARIAÇÃO | 1,1 | 6,3 | | 19,1 | 15,5 | |
| INTERVALO | 15,1 | 30,8 | | 0,9 | 2,6 | |
| CONF. 95% | 15,7 | 34,2 | | 1,8 | 3,4 | |

Obs. Por motivos excepcionais, foram rompidos oito corpos-de-prova com três dias e nenhum aos sete dias. Assim, o módulo de deformação longitudinal foi determinado de forma teórica.

ESPAÇAMENTO ENTRE FISSURAS NA MESA TRACIONADA
VALORES MÉDIOS (mm) - MODELO 1B/3

| ETAPA | FORÇA (kN) | TA1 | TA2 | TB | TC2 | TC1 |
|-------|------------|------|------|-------|------|------|
| 0 | 0,0 | | | | | |
| 1 | 2,5 | | | | | |
| 2 | 5,0 | | | | | |
| 3 | 7,5 | | | | | |
| 4 | 10,0 | | | | | |
| 5 | 12,5 | | | | | |
| 6 | 15,0 | | | | | |
| 7 | 17,5 | | | | | |
| 8 | 20,0 | | | 199,5 | 60,0 | |
| 9 | 25,0 | | | 83,1 | 60,0 | |
| 10 | 30,0 | | 40,0 | 45,3 | 50,0 | |
| 11 | 35,0 | | 33,4 | 40,7 | 50,0 | |
| 12 | 40,0 | | 28,6 | 35,6 | 50,0 | |
| 13 | 45,0 | 40,0 | 25,0 | 29,8 | 40,0 | 50,0 |
| 14 | 50,0 | 40,0 | 25,0 | 29,3 | 28,6 | 50,0 |
| 15 | 55,0 | 40,0 | 25,0 | 29,3 | 25,0 | 50,0 |
| 16 | 60,0 | 40,0 | 25,0 | 29,3 | 25,0 | 50,0 |
| RUINA | 65,0 | 40,0 | 25,0 | 29,3 | 25,0 | 50,0 |

ESPAÇAMENTO ENTRE FISSURAS NA ALMA
VALORES MÉDIOS (mm) - MODELO 1B/3

| ETAPA | FORÇA (kN) | AA1 | AA2 | AB | AC2 | AC1 |
|-------|------------|------|-------|-------|------|------|
| 0 | 0,0 | | | | | |
| 1 | 2,5 | | | | | |
| 2 | 5,0 | | | | | |
| 3 | 7,5 | | | | | |
| 4 | 10,0 | | | | | |
| 5 | 12,5 | | | | | |
| 6 | 15,0 | | | | | |
| 7 | 17,5 | | | | | |
| 8 | 20,0 | | | | | |
| 9 | 25,0 | 50,0 | 100,0 | | 66,7 | |
| 10 | 30,0 | 50,0 | 50,0 | 181,4 | 66,7 | 83,3 |
| 11 | 35,0 | 50,0 | 50,0 | 124,7 | 66,7 | 83,3 |
| 12 | 40,0 | 50,0 | 40,0 | 90,7 | 50,0 | 62,5 |
| 13 | 45,0 | 46,7 | 40,0 | 79,8 | 40,0 | 50,0 |
| 14 | 50,0 | 46,7 | 33,4 | 73,9 | 33,3 | 50,0 |
| 15 | 55,0 | 46,7 | 28,6 | 73,9 | 33,3 | 41,7 |
| 16 | 60,0 | 46,7 | 28,6 | 64,4 | 33,3 | 41,7 |
| RUINA | 65,0 | 46,7 | 28,6 | 64,4 | 33,3 | 41,7 |

VALORES DAS ABERTURAS DE FISSURAS (mm)

MESA TRACIONADA - MODELO 1B/3

| ETAPA | FORÇA(kN) | TA1 | TA2 | TB | TC2 | TC1 |
|-------|-----------|------|------|------|------|------|
| 0 | 0,00 | | | | | |
| 1 | 2,50 | | | | | |
| 2 | 5,00 | | | | | |
| 3 | 7,50 | | | | | |
| 4 | 10,00 | | | | | |
| 5 | 12,50 | | | | | |
| 6 | 15,00 | | | | | |
| 7 | 17,50 | | | 0,04 | | |
| 8 | 20,00 | | | 0,04 | 0,04 | |
| 9 | 25,00 | | 0,04 | 0,05 | 0,05 | |
| 10 | 30,00 | 0,03 | 0,06 | 0,07 | 0,06 | 0,05 |
| 11 | 35,00 | 0,05 | 0,06 | 0,09 | 0,06 | 0,06 |
| 12 | 40,00 | 0,06 | 0,08 | 0,12 | 0,07 | 0,06 |
| 13 | 45,00 | 0,06 | 0,08 | 0,12 | 0,07 | 0,07 |
| 14 | 50,00 | 0,06 | 0,10 | 0,14 | 0,07 | 0,08 |
| 15 | 55,00 | 0,08 | 0,10 | 0,14 | 0,10 | 0,09 |
| 16 | 60,00 | 0,08 | 0,10 | 0,15 | 0,10 | 0,10 |

VALORES DAS ABERTURAS DE FISSURAS (mm)

ALMA - MODELO 1B/3

| ETAPA | FORÇA(kN) | AA1 | AA2 | AB | AC2 | AC1 |
|-------|-----------|------|------|------|------|------|
| 0 | 0,00 | | | | | |
| 1 | 2,50 | | | | | |
| 2 | 5,00 | | | | | |
| 3 | 7,50 | | | | | |
| 4 | 10,00 | | | | | |
| 5 | 12,50 | | | | | |
| 6 | 15,00 | | | | | |
| 7 | 17,50 | | 0,04 | | 0,06 | |
| 8 | 20,00 | | 0,09 | | 0,10 | |
| 9 | 25,00 | 0,08 | 0,11 | 0,04 | 0,12 | 0,14 |
| 10 | 30,00 | 0,10 | 0,11 | 0,06 | 0,13 | 0,15 |
| 11 | 35,00 | 0,10 | 0,13 | 0,06 | 0,16 | 0,17 |
| 12 | 40,00 | 0,13 | 0,13 | 0,07 | 0,16 | 0,18 |
| 13 | 45,00 | 0,13 | 0,16 | 0,08 | 0,18 | 0,20 |
| 14 | 50,00 | 0,13 | 0,17 | 0,09 | 0,20 | 0,25 |
| 15 | 55,00 | 0,16 | 0,17 | 0,09 | 0,20 | 0,30 |
| 16 | 60,00 | 0,20 | 0,17 | 0,10 | 0,25 | 0,33 |

INCLINAÇÕES DAS FISSURAS E DAS TENSÕES PRINCIPAIS DE
 COMPRESSÃO NO CENTRO DE GRAVIDADE - MODELO 1B/3

| ETAPA | FORÇA (kN) | SEÇÃO 1 | |
|-------|---------------|--------------|-------------|
| | | θ (°) | β (°) |
| 1 | 2,5 | | 46,5 |
| 2 | 5,0 | | 45,4 |
| 3 | 7,5 | | 45,0 |
| 4 | 10,0 | | 45,4 |
| 5 | 12,5 | | 45,5 |
| 6 | 15,0 | | 45,8 |
| 7 | 17,5 | | 45,8 |
| 8 | 20,0 | | 46,6 |
| 9 | 25,0 | 40,0 | 45,5 |
| 10 | 30,0 | 35,0 | 43,7 |
| 11 | 35,0 | 35,0 | 41,8 |
| 12 | 40,0 | 35,0 | 37,4 |
| 13 | 45,0 | 38,0 | 35,2 |
| 14 | 50,0 | 40,0 | 33,5 |
| 15 | 55,0 | 30,0 | 32,9 |
| 16 | 60,0 | 30,0 | 34,3 |
| MÉDIA | - | 35,4 | 41,9 |

θ = inclinação das fissuras

β = inclinação da tensão principal de compressão

A1.7 - MODELO 2/1

MODLDAGEM: 29/10/91

ENSAIO: 07/11/91

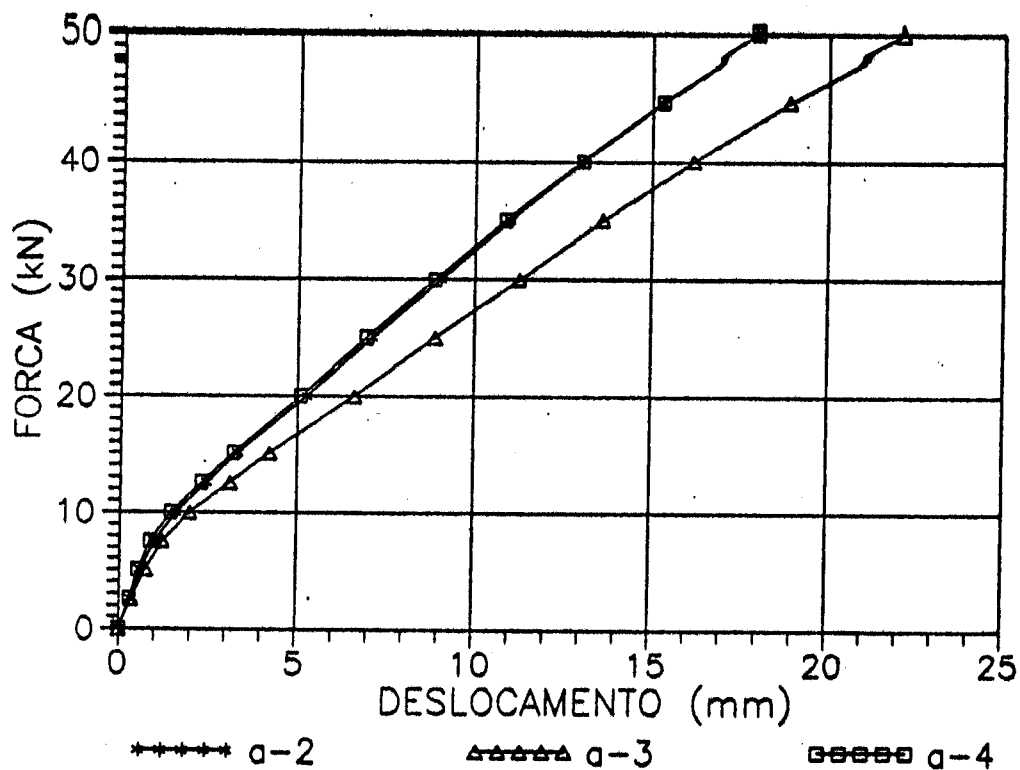
TIPO DE RUPTURA: CISALHAMENTO
TRAÇÃO NA ARMADURA TRANSVERSAL

FORÇA CORTANTE ÚLTIMA: 50 kN

DESLOCAMENTOS VERTICAIS - MODELO 2/1
(mm)

| ETAPA | HORA | FORÇA (kN) | v2 | v3 | v4 |
|--------------------------|-------|------------|--------|---------|---------|
| 0 | 14h23 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1 | 14h28 | 2,50 | 0,32 | 0,37 | 0,28 |
| 2 | 14h32 | 5,00 | 0,59 | 0,71 | 0,52 |
| 1 | 14h36 | 2,50 | 0,31 | 0,36 | 0,29 |
| 2 | 14h40 | 5,00 | 0,60 | 0,74 | 0,53 |
| 3 | 14h43 | 7,50 | 0,99 | 1,22 | 0,87 |
| 4 | 14h47 | 10,00 | 1,59 | 1,98 | 1,45 |
| 5 | 14h52 | 12,50 | 2,45 | 3,11 | 2,31 |
| 6 | 15h08 | 15,00 | 3,33 | 4,23 | 3,21 |
| 7 | 15h21 | 20,00 | 5,27 | 6,62 | 5,09 |
| 8 | 15h35 | 25,00 | 7,11 | 8,89 | 6,95 |
| 9 | 15h50 | 30,00 | 9,05 | 11,24 | 8,87 |
| 10 | 16h03 | 35,00 | 10,98 | 13,61 | 10,86 |
| 11 | 16h17 | 40,00 | 13,05 | 16,17 | 13,03 |
| 12 | 16h30 | 45,00 | 15,27 | 18,88 | 15,30 |
| 13 | 16h43 | 50,00 | 17,94 | 22,11 | 17,97 |
| DISTÂNCIA APOIO ESQUERDO | | | 780,00 | 1447,50 | 2115,00 |

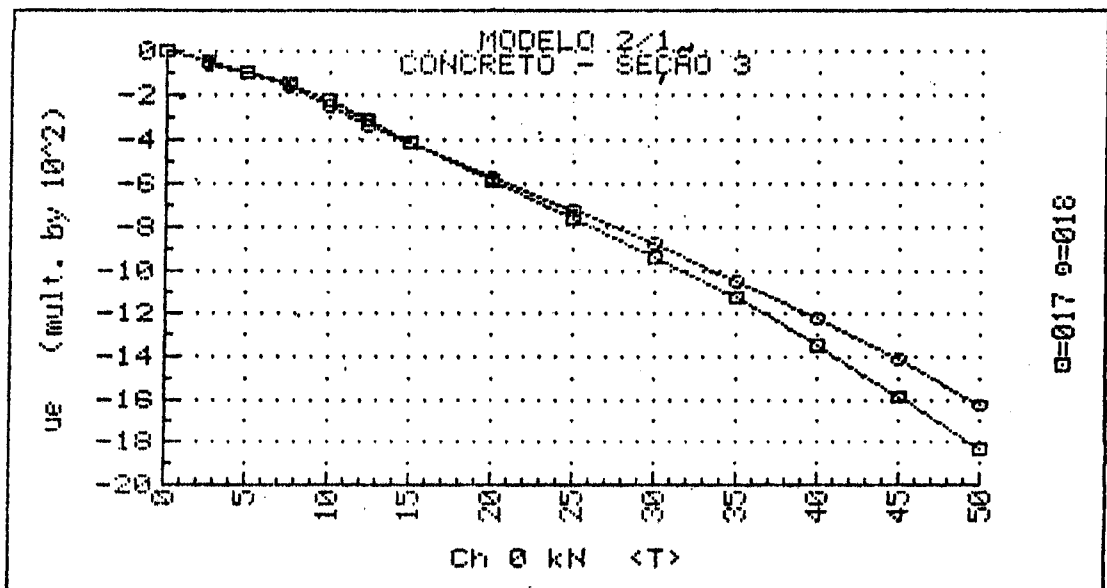
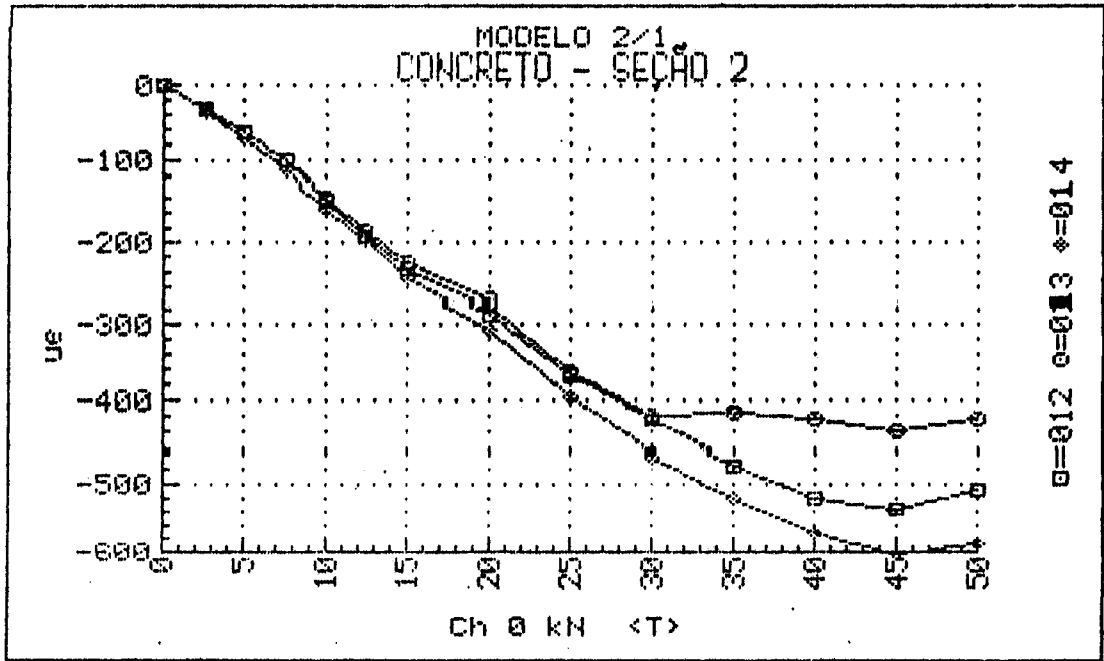
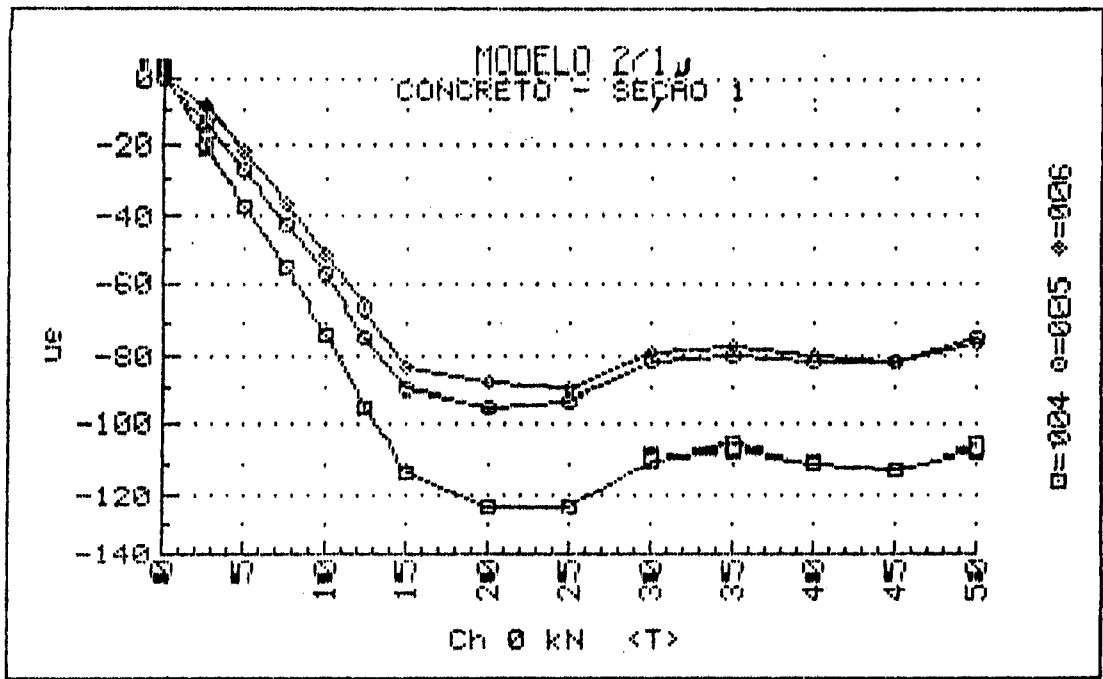
DIAGRAMAS FORÇA - DESLOCAMENTO
MODELO 2/1

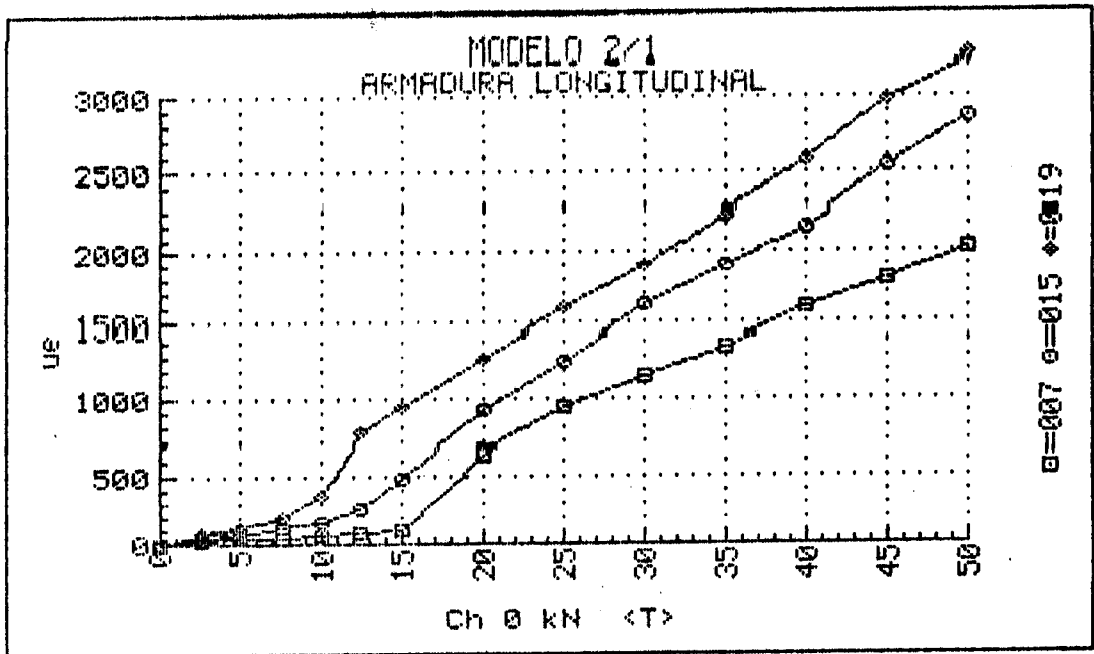


UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
 ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
 DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS

ENSAIO DE VIGA DE ARGAMASSA ARMADA
 MODELO 2/1 DATA: 07/11/91
 DEFORMAÇÕES DOS EXTENSÔMETROS ELÉTRICOS UNIAXIAIS

| F (kN) | EC 1.1 ($\mu\epsilon$) | EC 1.2 ($\mu\epsilon$) | EC 1.3 ($\mu\epsilon$) | EC 2.1 ($\mu\epsilon$) | EC 2.2 ($\mu\epsilon$) | EC 2.3 ($\mu\epsilon$) | EC 3.1 ($\mu\epsilon$) | EC 3.3 ($\mu\epsilon$) | ES 1 ($\mu\epsilon$) | ES 2 ($\mu\epsilon$) | ES 3 ($\mu\epsilon$) |
|-----------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 0.00 | +1. | +0. | +0. | -1. | +0. | +0. | +0. | +0. | +1. | +0. | +1. |
| 2.53 | -20. | -14. | -9. | -31. | -31. | -34. | -45. | -50. | +15. | +27. | +60. |
| 5.00 | -38. | -27. | -22. | -63. | -64. | -71. | -94. | -102. | +30. | +60. | +103. |
| 2.53 | -21. | -13. | -8. | -34. | -33. | -38. | -48. | -57. | +21. | +39. | +83. |
| 5.00 | -38. | -27. | -22. | -64. | -64. | -72. | -95. | -105. | +34. | +64. | +118. |
| 7.53 | -56. | -42. | -37. | -99. | -101. | -113. | -146. | -168. | +49. | +112. | +198. |
| 10.00 | -73. | -57. | -52. | -142. | -140. | -155. | -219. | -247. | +65. | +167. | +367. |
| 12.47 | -95. | -74. | -66. | -193. | -183. | -198. | -318. | -333. | +81. | +256. | +769. |
| 15.00 | -113. | -90. | -84. | -236. | -230. | -250. | -408. | -412. | +98. | +476. | +945. |
| 20.00 | -123. | -95. | -89. | -290. | -278. | -307. | -584. | -571. | +641. | +922. | +1276. |
| 25.00 | -123. | -93. | -90. | -367. | -363. | -397. | -760. | -726. | +938. | +1255. | +1593. |
| 30.00 | -109. | -82. | -79. | -426. | -419. | -463. | -935. | -878. | +1157. | +1630. | +1907. |
| 35.00 | -106. | -80. | -77. | -475. | -414. | -519. | -1130. | -1045. | +1366. | +1902. | +2253. |
| 40.00 | -110. | -82. | -80. | -519. | -422. | -570. | -1353. | -1226. | +1604. | +2185. | +2588. |
| 45.00 | -112. | -82. | -82. | -538. | -439. | -605. | -1586. | -1409. | +1809. | +2536. | +2987. |
| 50.00 | -106. | -74. | -76. | -508. | -424. | -586. | -1838. | -1626. | +2011. | +2858. | +3249. |





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

ENSAIO DE VIGA DE ARGAMASSA ARMADA

MODELO 2/1

DATA: 07/11/91

DEFORMAÇÕES DOS EXTENSÔMETROS ELÉTRICOS DAS ROSETAS

ROSETA 1

| F (kN) | ϵ_a ($\mu\epsilon$) | ϵ_b ($\mu\epsilon$) | ϵ_c ($\mu\epsilon$) | ϵ_1 ($\mu\epsilon$) | ϵ_2 ($\mu\epsilon$) | σ_1 (MPa) | σ_2 (MPa) | α ($^\circ$) |
|-----------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|
| 0.00 | +0. | +0. | +0. | +0. | +0. | +0.0 | +0.0 | U/C |
| 2.53 | -1. | -19. | +0. | +18. | -19. | +0.5 | -0.5 | -45.7 |
| 5.00 | -1. | -35. | +0. | +34. | -35. | +0.8 | -0.9 | -45.4 |
| 2.53 | +1. | -19. | +1. | +21. | -19. | +0.5 | -0.5 | +45.0 |
| 5.00 | +0. | -34. | +1. | +35. | -34. | +0.9 | -0.8 | -45.4 |
| 7.53 | +0. | -48. | +1. | +49. | -48. | +1.2 | -1.2 | -45.3 |
| 10.00 | +1. | -62. | +2. | +65. | -62. | +1.6 | -1.5 | -45.2 |
| 12.47 | +3. | -78. | -1. | +80. | -78. | +2.0 | -1.9 | -44.3 |
| 15.00 | +2. | -92. | +1. | +95. | -92. | +2.4 | -2.3 | -44.9 |
| 20.00 | -62. | -133. | -2. | +73. | -137. | +1.4 | -3.8 | -53.3 |
| 25.00 | -240. | -243. | +2. | +54. | -293. | -0.1 | -8.8 | -67.2 |
| 30.00 | -315. | -316. | +0. | +66. | -381. | -0.3 | -11.5 | -67.4 |
| 35.00 | -339. | -366. | -15. | +73. | -426. | -0.4 | -12.9 | -65.3 |
| 40.00 | -394. | -418. | -14. | +83. | -490. | -0.5 | -14.8 | -65.8 |
| 45.00 | -441. | -471. | -15. | +96. | -551. | -0.5 | -16.6 | -65.6 |
| 50.00 | -496. | -539. | -19. | +111. | -627. | -0.5 | -18.9 | -65.2 |

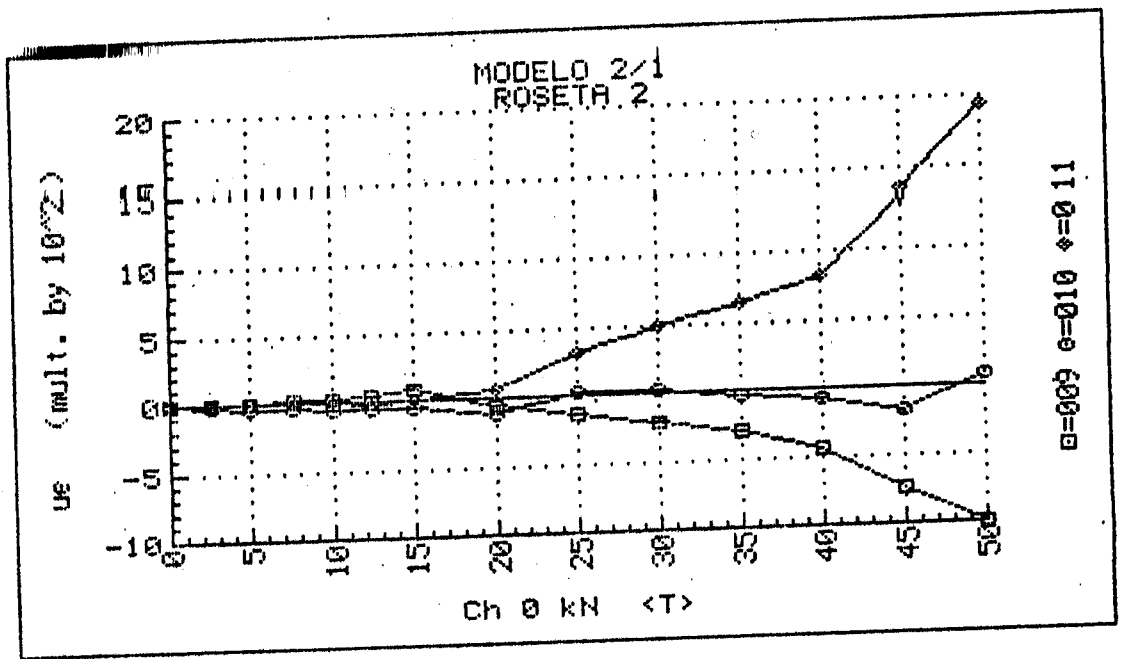
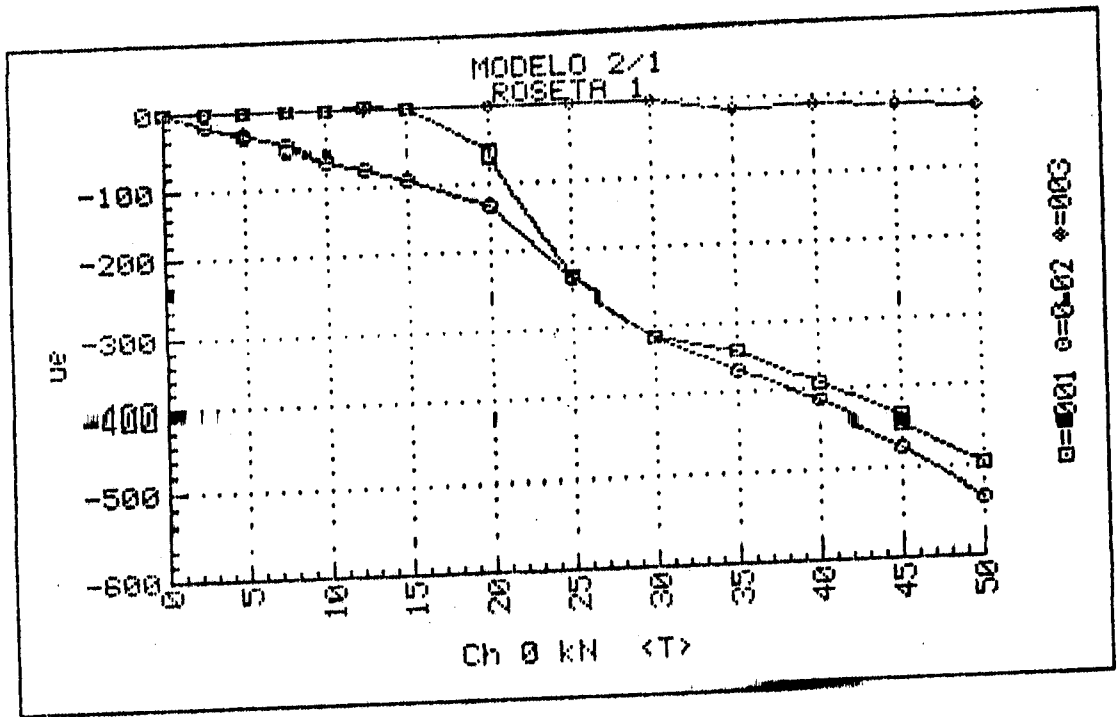
Cálculos feitos com: $E_c = 30.000$ MPa e $\nu = 0,2$
 ϵ_a : horizontal ϵ_b : 45° ϵ_c : vertical
 α : ângulo entre ϵ_a e ϵ_1 , + no sentido horário a partir de ϵ_a

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

ENSAIO DE VIGA DE ARGAMASSA ARMADA
 MODELO 2/1 DATA: 07/11/91
 DEFORMAÇÕES DOS EXTENSÔMETROS ELÉTRICOS DAS ROSETAS
 ROSETA 2

| F (kN) | ϵ_a ($\mu\epsilon$) | ϵ_b ($\mu\epsilon$) | ϵ_c ($\mu\epsilon$) | ϵ_1 ($\mu\epsilon$) | ϵ_2 ($\mu\epsilon$) | σ_1 (MPa) | σ_2 (MPa) | θ ($^\circ$) |
|-----------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|
| 0.00 | +0. | +0. | +0. | +0. | +0. | +0.0 | +0.0 | U/C |
| 2.53 | +2. | -18. | +0. | +20. | -18. | +0.5 | -0.4 | -43.6 |
| 5.00 | +6. | -33. | +1. | +40. | -33. | +1.0 | -0.8 | -43.1 |
| 2.53 | +8. | -18. | +1. | +27. | -19. | +0.7 | -0.4 | -40.8 |
| 5.00 | +8. | -32. | +2. | +42. | -32. | +1.1 | -0.7 | -42.7 |
| 7.53 | +16. | -44. | +1. | +61. | -44. | +1.6 | -1.0 | -41.0 |
| 10.00 | +25. | -55. | -4. | +78. | -57. | +2.1 | -1.3 | -38.8 |
| 12.47 | +41. | -59. | -13. | +92. | -64. | +2.5 | -1.4 | -35.0 |
| 15.00 | +73. | -56. | -9. | +129. | -65. | +3.6 | -1.2 | -32.6 |
| 20.00 | -62. | -124. | +61. | +138. | -139. | +3.4 | -3.5 | -58.2 |
| 25.00 | -139. | +13. | +324. | +337. | -152. | +9.6 | -2.6 | -80.5 |
| 30.00 | -215. | +15. | +498. | +520. | -237. | +14.8 | -4.2 | -80.2 |
| 35.00 | -291. | -33. | +646. | +691. | -336. | +19.5 | -6.2 | -77.9 |
| 40.00 | -444. | -76. | +819. | +872. | -497. | +24.1 | -10.1 | -78.7 |
| 45.00 | -745. | -175. | +1366. | +1472. | -851. | +40.7 | -17.4 | -77.7 |
| 50.00 | -1005. | +77. | +1940. | +1991. | -1056. | +55.6 | -20.6 | -82.6 |

Cálculos feitos com: $E_c = 30.000$ MPa e $\nu = 0,2$
 ϵ_a : horizontal ϵ_b : 45° ϵ_c : vertical
 α : ângulo entre ϵ_a e ϵ_1 , + no sentido horário a partir de ϵ_a

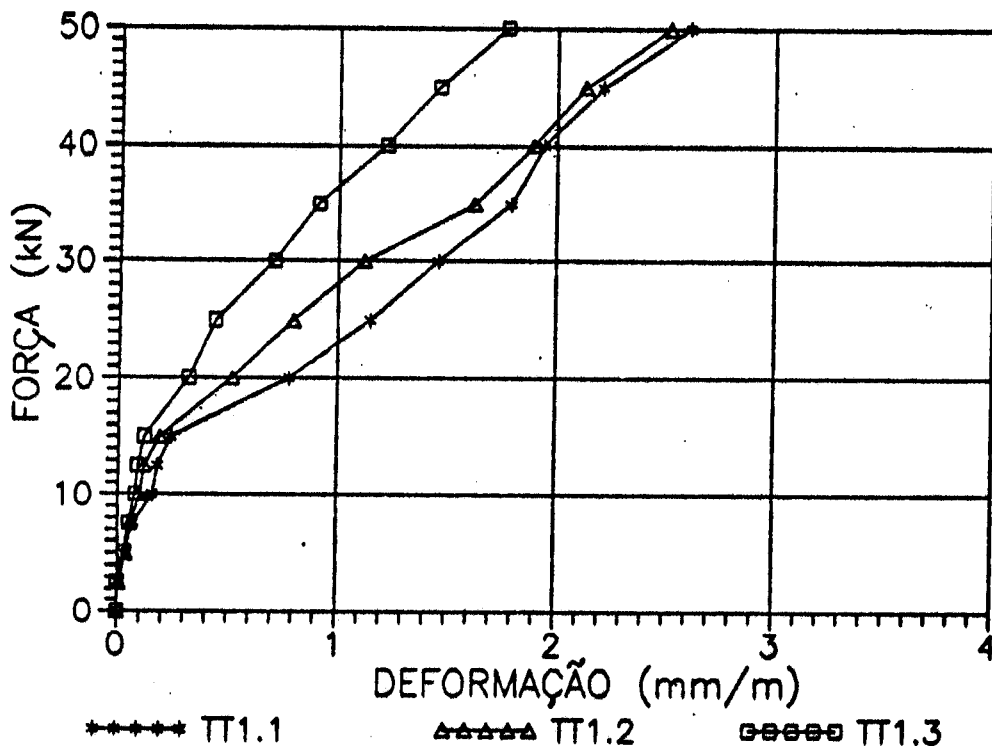


DEFORMAÇÕES MEDIDAS COM EXTENSÔMETRO MECÂNICO

MESA TRACIONADA - MODELO 2/1 (mm/m) - SEÇÃO 1

| ETAPA | F (kN) | T (°C) | TT1.1 | TT1.2 | TT1.3 |
|-------|--------|--------|-------|-------|-------|
| 0 | 0,00 | 28,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1 | 2,50 | 28,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 |
| 2 | 5,00 | 28,00 | 0,02 | 0,02 | 0,03 |
| 1 | 2,50 | 28,00 | 0,01 | 0,01 | 0,00 |
| 2 | 5,00 | 28,00 | 0,03 | 0,04 | 0,03 |
| 3 | 7,50 | 28,00 | 0,07 | 0,06 | 0,05 |
| 4 | 10,00 | 28,00 | 0,16 | 0,10 | 0,08 |
| 5 | 12,50 | 28,50 | 0,18 | 0,12 | 0,09 |
| 6 | 15,00 | 28,50 | 0,24 | 0,19 | 0,12 |
| 7 | 20,00 | 28,50 | 0,78 | 0,52 | 0,32 |
| 8 | 25,00 | 28,50 | 1,15 | 0,80 | 0,44 |
| 9 | 30,00 | 28,50 | 1,46 | 1,12 | 0,71 |
| 10 | 35,00 | 28,50 | 1,79 | 1,62 | 0,91 |
| 11 | 40,00 | 28,00 | 1,94 | 1,89 | 1,22 |
| 12 | 45,00 | 28,00 | 2,21 | 2,13 | 1,46 |
| 13 | 50,00 | 28,00 | 2,61 | 2,52 | 1,77 |

DIAGRAMAS FORÇA - DEFORMAÇÃO
 MODELO 2/1 - Seção 1
 Mesa Tracionada



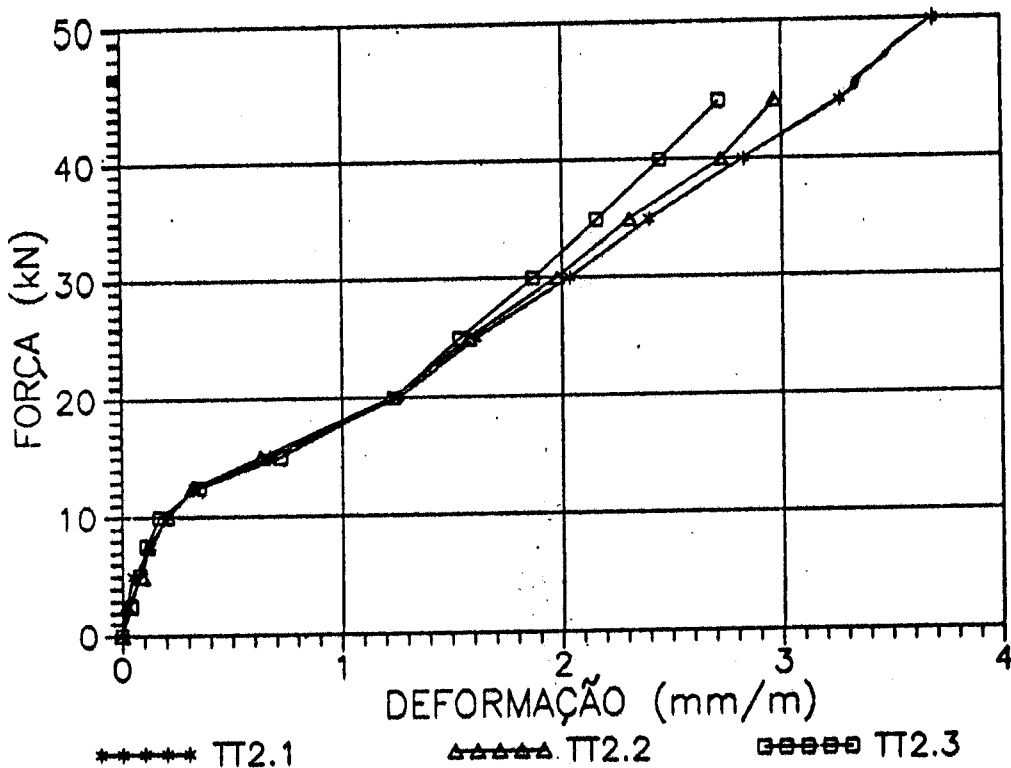
DEFORMAÇÕES MEDIDAS COM EXTENSÔMETRO MECÂNICO

MESA TRACIONADA - MODELO 2/1 (mm/m) - SEÇÃO 2

| ETAPA | F (kN) | T (°C) | TT2.1 | TT2.2 | TT2.3 |
|-------|--------|--------|-------|-------|-------|
| 0 | 0,00 | 28,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1 | 2,50 | 28,00 | 0,01 | 0,01 | 0,02 |
| 2 | 5,00 | 28,00 | 0,04 | 0,06 | 0,06 |
| 1 | 2,50 | 28,00 | 0,02 | 0,02 | 0,04 |
| 2 | 5,00 | 28,00 | 0,05 | 0,09 | 0,08 |
| 3 | 7,50 | 28,00 | 0,13 | 0,12 | 0,11 |
| 4 | 10,00 | 28,00 | 0,21 | 0,21 | 0,17 |
| 5 | 12,50 | 28,50 | 0,33 | 0,32 | 0,35 |
| 6 | 15,00 | 28,50 | 0,67 | 0,63 | 0,72 |
| 7 | 20,00 | 28,50 | 1,26 | 1,23 | 1,24 |
| 8 | 25,00 | 28,50 | 1,61 | 1,58 | 1,54 |
| 9 | 30,00 | 28,50 | 2,04 | 1,98 | 1,87 |
| 10 | 35,00 | 28,50 | 2,40 | 2,31 | 2,16 |
| 11 | 40,00 | 28,00 | 2,83 | 2,73 | 2,45 |
| 12 | 45,00 | 28,00 | 3,27 | 2,97 | 2,72 |
| 13 | 50,00 | 28,00 | 3,69 | | |

Obs. Não deu tempo para fazer as leituras da etapa 13 (F = 50 kN) devido à ruptura iminente.

DIAGRAMAS FORÇA - DEFORMAÇÃO MODELO 2/1 - Seção 2 Mesa Tracionada

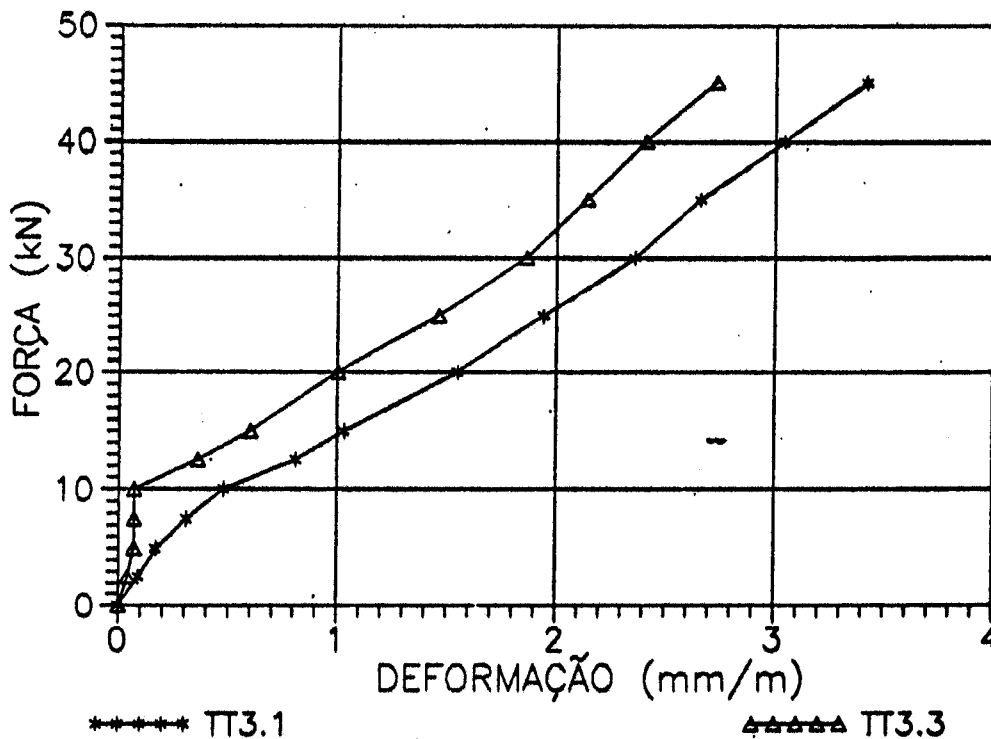


DEFORMAÇÕES MEDIDAS COM EXTENSÔMETRO MECÂNICO
MESA TRACIONADA - MODELO 2/1 (mm/m) - SEÇÃO 3

| ETAPA | F (kN) | T (°C) | TT3.1 | TT3.3 |
|-------|--------|--------|-------|-------|
| 0 | 0,00 | 28,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1 | 2,50 | 28,00 | 0,02 | 0,02 |
| 2 | 5,00 | 28,00 | 0,16 | 0,05 |
| 1 | 2,50 | 28,00 | 0,09 | 0,04 |
| 2 | 5,00 | 28,00 | 0,17 | 0,07 |
| 3 | 7,50 | 28,00 | 0,31 | 0,07 |
| 4 | 10,00 | 28,00 | 0,48 | 0,07 |
| 5 | 12,50 | 28,50 | 0,81 | 0,36 |
| 6 | 15,00 | 28,50 | 1,03 | 0,60 |
| 7 | 20,00 | 28,50 | 1,55 | 1,00 |
| 8 | 25,00 | 28,50 | 1,94 | 1,46 |
| 9 | 30,00 | 28,50 | 2,36 | 1,86 |
| 10 | 35,00 | 28,50 | 2,66 | 2,14 |
| 11 | 40,00 | 28,00 | 3,04 | 2,41 |
| 12 | 45,00 | 28,00 | 3,42 | 2,73 |

Obs, Não deu tempo para fazer as leituras da etapa 13
(F = 50 kN) devido à ruptura iminente.

DIAGRAMAS FORÇA - DEFORMAÇÃO
MODELO 2/1 - Seção 3
Mesa Tracionada

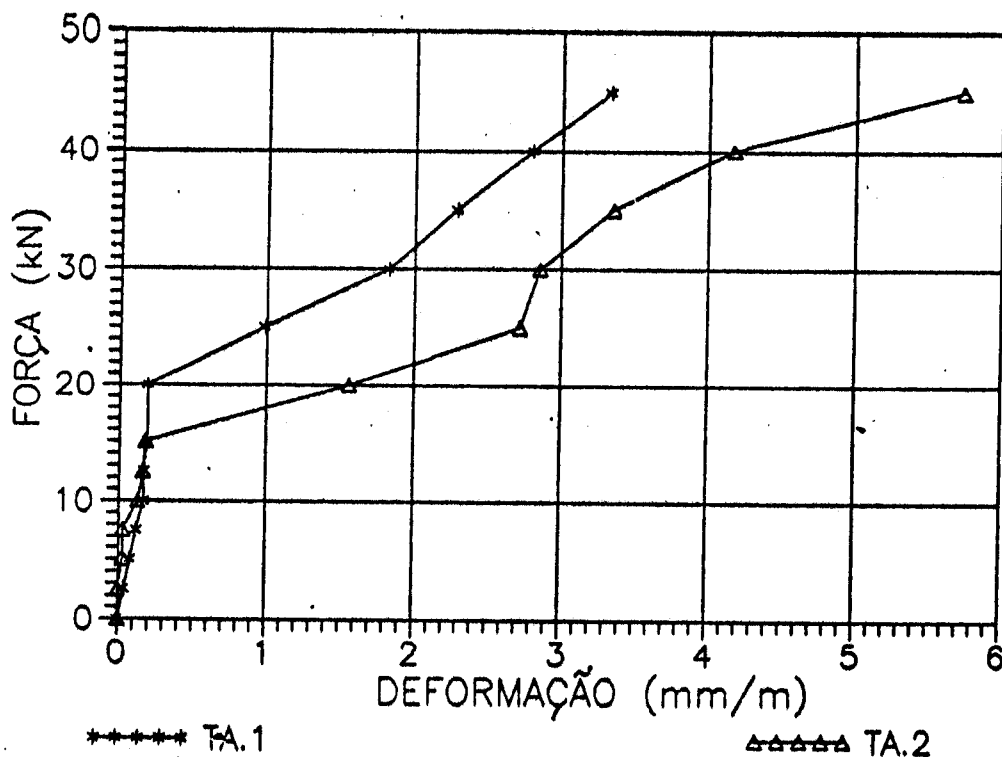


DEFORMAÇÕES MEDIDAS COM EXTENSÔMETRO
MECÂNICO NA ALMA - MODELO 2/1 (mm/m)

| ETAPA | F (kN) | T (°C) | TA.1 | TA.2 |
|-------|--------|--------|------|------|
| 0 | 0,00 | 28,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1 | 2,50 | 28,00 | 0,05 | 0,02 |
| 2 | 5,00 | 28,00 | 0,07 | 0,03 |
| 1 | 2,50 | 28,00 | 0,04 | 0,00 |
| 2 | 5,00 | 28,00 | 0,08 | 0,03 |
| 3 | 7,50 | 28,00 | 0,12 | 0,03 |
| 4 | 10,00 | 28,00 | 0,17 | 0,13 |
| 5 | 12,50 | 28,50 | 0,17 | 0,16 |
| 6 | 15,00 | 28,50 | 0,19 | 0,18 |
| 7 | 20,00 | 28,50 | 0,19 | 1,56 |
| 8 | 25,00 | 28,50 | 0,99 | 2,72 |
| 9 | 30,00 | 28,50 | 1,83 | 2,85 |
| 10 | 35,00 | 28,50 | 2,29 | 3,35 |
| 11 | 40,00 | 28,00 | 2,80 | 4,17 |
| 12 | 45,00 | 28,00 | 3,33 | 5,73 |
| 13 | 50,00 | 28,00 | | |

Obs. Não deu tempo para fazer as leituras da etapa 13
(F = 50 kN) devido à ruptura iminente.

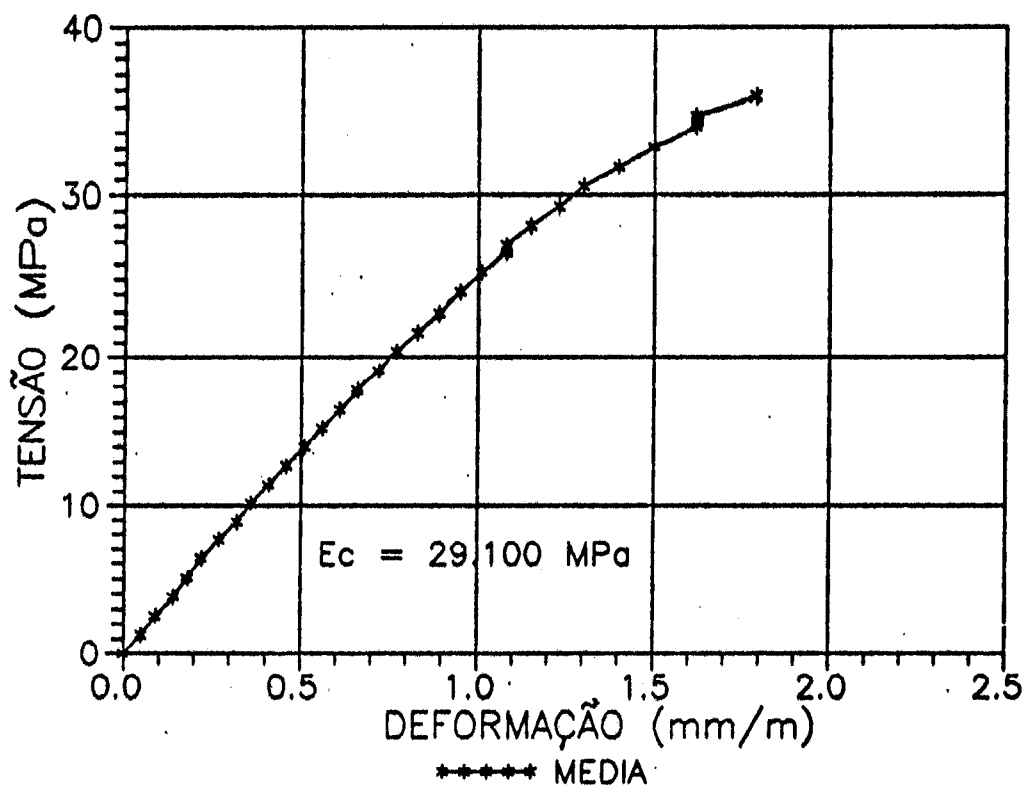
DIAGRAMAS FORÇA - DEFORMAÇÃO
MODELO 2/1 - ALMA



**RESULTADOS DOS ENSAIOS DOS CORPOS-DE-PROVA DE ARGAMASSA
MODELO 2/1**

| RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa) | | | | RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (MPa) | | |
|--------------------------------|-------|--------|---------|----------------------------|--------|---------|
| IDADE | 1 DIA | 3 DIAS | 10 DIAS | 1 DIA | 3 DIAS | 10 DIAS |
| | 17,8 | 31,2 | 38,8 | 1,7 | 2,6 | 3,0 |
| | 17,8 | 30,6 | 35,8 | 1,6 | 2,9 | 3,0 |
| | 18,1 | 28,0 | 36,3 | 1,6 | 2,6 | 3,8 |
| | 18,1 | 28,6 | 38,5 | 1,4 | 3,0 | 3,8 |
| MÉDIA | 18,0 | 29,6 | 37,3 | 1,6 | 2,7 | 3,4 |
| DESVIO MÁXIMO | 0,1 | 1,6 | 1,6 | 0,2 | 0,2 | 0,4 |
| DESVIO MAX. % | 0,7 | 5,4 | 4,2 | 14,2 | 8,4 | 12,0 |
| DES. MAX. ADMISS. | 0,2 | 1,7 | 1,8 | 0,2 | 0,2 | 0,5 |
| DESVIO PADRÃO | 0,1 | 1,5 | 1,5 | 0,2 | 0,2 | 0,5 |
| COEF. % VARIACÃO | 0,8 | 5,1 | 4,1 | 9,7 | 7,6 | 13,9 |
| INTERVALO CONF. 95% | 17,7 | 27,2 | 34,9 | 1,3 | 2,4 | 2,6 |
| | 18,2 | 32,0 | 39,8 | 1,8 | 3,1 | 4,1 |

DIAGRAMA TENSÃO – DEFORMAÇÃO
Modelo 2/1



ESPAÇAMENTOS ENTRE FISSURAS NA MESA TRACIONADA
VALORES MÉDIOS (mm) MODELO 2/1

| ETAPA | F (kN) | TA1 | TA2 | TA3 | TB | TC3 | TC2 | TC1 |
|-------|--------|------|------|------|-------|------|------|------|
| 0 | 0,0 | | | | | | | |
| 1 | 2,5 | | | | | | | |
| 2 | 5,0 | | | | | | | |
| 3 | 7,5 | | | | | | | |
| 4 | 10,0 | | | | | | | |
| 5 | 12,5 | | | 67,0 | 115,0 | | | |
| 6 | 15,0 | | | 40,0 | 71,2 | 97,0 | | |
| 7 | 20,0 | | | 30,0 | 51,6 | 85,0 | | |
| 8 | 25,0 | | 45,0 | 30,0 | 37,4 | 40,0 | 57,5 | |
| 9 | 30,0 | | 33,8 | 28,6 | 33,2 | 40,0 | 33,8 | 60,0 |
| 10 | 35,0 | 52,0 | 28,7 | 28,6 | 27,2 | 25,0 | 31,3 | 60,0 |
| 11 | 40,0 | 52,0 | 28,7 | 28,6 | 26,2 | 22,2 | 27,8 | 60,0 |
| 12 | 45,0 | 52,0 | 28,7 | 28,6 | 24,9 | 22,2 | 27,8 | 60,0 |
| RUINA | 45,0 | 52,0 | 28,7 | 28,6 | 24,9 | 22,2 | 27,8 | 60,0 |

ESPAÇAMENTO ENTRE FISSURAS NA ALMA
VALORES MÉDIOS (mm) MODELO 2/1

| ETAPA | F (kN) | AA1 | AA2 | AA3 | AB | AC3 | AC2 | AC1 |
|-------|--------|-------|------|------|-------|-------|------|-------|
| 0 | 0,0 | | | | | | | |
| 1 | 2,5 | | | | | | | |
| 2 | 5,0 | | | | | | | |
| 3 | 7,5 | | | | | | | |
| 4 | 10,0 | | | | | | | |
| 5 | 12,5 | | | | 186,9 | | | |
| 6 | 15,0 | | | | 124,6 | 100,0 | | |
| 7 | 20,0 | | 85,0 | 50,0 | 93,4 | 95,0 | | |
| 8 | 25,0 | 110,0 | 85,0 | 40,0 | 83,1 | 61,0 | 70,0 | |
| 9 | 30,0 | 110,0 | 62,5 | 40,0 | 74,8 | 61,0 | 70,0 | |
| 10 | 35,0 | 110,0 | 62,5 | 40,0 | 65,0 | 45,8 | 70,0 | 100,0 |
| 11 | 40,0 | 110,0 | 62,5 | 40,0 | 65,0 | 45,8 | 70,0 | 100,0 |
| 12 | 45,0 | 110,0 | 62,5 | 40,0 | 62,3 | 33,3 | 70,0 | 100,0 |
| RUINA | 45,0 | 110,0 | 62,5 | 40,0 | 62,3 | 33,3 | 70,0 | 100,0 |

VALORES DAS ABERTURAS DE FISSURAS (mm) - MESA TRACIONADA

MODELO 2/1

| ETAPA | FORÇA (kN) | TA1 | TA2 | TA3 | TB | TC3 | TC2 | TC1 |
|-------|------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 0,00 | | | | | | | |
| 1 | 2,50 | | | | | | | |
| 2 | 5,00 | | | | | | | |
| 3 | 7,50 | | | | | | | |
| 4 | 10,00 | | | | | | | |
| 5 | 12,50 | | | 0,05 | 0,03 | | | |
| 6 | 15,00 | | | 0,05 | 0,05 | 0,06 | | |
| 7 | 20,00 | | 0,04 | 0,06 | 0,06 | 0,07 | | |
| 8 | 25,00 | | 0,05 | 0,08 | 0,06 | 0,09 | 0,06 | |
| 9 | 30,00 | 0,04 | 0,06 | 0,09 | 0,06 | 0,11 | 0,06 | 0,05 |
| 10 | 35,00 | 0,04 | 0,07 | 0,10 | 0,07 | 0,11 | 0,06 | 0,05 |
| 11 | 40,00 | 0,05 | 0,08 | 0,12 | 0,07 | 0,13 | 0,06 | 0,06 |
| 12 | 45,00 | 0,05 | 0,09 | 0,13 | 0,07 | 0,14 | 0,08 | 0,06 |

VALORES DAS ABERTURAS DE FISSURAS (mm) - ALMA

MODELO 2/1

| ETAPA | FORÇA (kN) | AA1 | AA2 | AA3 | AB | AC3 | AC2 | AC1 |
|-------|------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 0,00 | | | | | | | |
| 1 | 2,50 | | | | | | | |
| 2 | 5,00 | | | | | | | |
| 3 | 7,50 | | | | | | | |
| 4 | 10,00 | | | | | | | |
| 5 | 12,50 | | | | 0,05 | | | |
| 6 | 15,00 | | | 0,06 | 0,08 | 0,06 | | |
| 7 | 20,00 | | 0,09 | 0,07 | 0,09 | 0,09 | 0,08 | |
| 8 | 25,00 | 0,13 | 0,12 | 0,09 | 0,10 | 0,13 | 0,09 | 0,15 |
| 9 | 30,00 | 0,17 | 0,18 | 0,12 | 0,11 | 0,15 | 0,20 | 0,19 |
| 10 | 35,00 | 0,25 | 0,22 | 0,14 | 0,14 | 0,16 | 0,25 | 0,23 |
| 11 | 40,00 | 0,30 | 0,33 | 0,17 | 0,14 | 0,17 | 0,37 | 0,33 |
| 12 | 45,00 | 0,38 | 0,40 | 0,17 | 0,15 | 0,20 | 0,47 | 0,38 |

INCLINAÇÕES DAS FISSURAS E DAS TENSÕES PRINCIPAIS DE
COMPRESSÃO NO CENTRO DE GRAVIDADE - MODELO 2/1

| ETAPA | FORÇA (kN) | SEÇÃO 1 | | SEÇÃO 2 | |
|-------|---------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| | | θ (°) | β (°) | θ (°) | β (°) |
| 1 | 2,5 | | 44,3 | | 49,2 |
| 2 | 5,0 | | 44,6 | | 47,3 |
| 3 | 7,5 | | 44,7 | | 49,0 |
| 4 | 10,0 | | 44,8 | | 51,2 |
| 5 | 12,5 | | 45,7 | | 55,0 |
| 6 | 15,0 | | 45,1 | 77,0 | 57,4 |
| 7 | 20,0 | 38,7 | 36,7 | 46,0 | 31,8 |
| 8 | 25,0 | 37,0 | 22,8 | 51,0 | 9,5 |
| 9 | 30,0 | 54,0 | 22,6 | 38,3 | 9,8 |
| 10 | 35,0 | 27,0 | 24,7 | 40,0 | 12,1 |
| 11 | 40,0 | | 24,2 | 45,0 | 11,3 |
| 12 | 45,0 | | 24,4 | | 12,3 |
| 13 | 50,0 | | 24,8 | | 7,4 |
| MÉDIA | - | 39,2 | 34,6 | 49,6 | 31,0 |

θ = inclinação das fissuras

β = inclinação da tensão principal de compressão

Obs. Dados da Roseta2 inválidos devido a possíveis fissuras nos extensômetros.

Não apareceram novas fissuras após a etapa 10 na Seção 1 e após a etapa 11 na Seção 2.

A1.8 - MODELO 2/2

MOLDAGEM: 06/11/91

ENSAIO: 12/11/91

TIPO DE RUPTURA: FLEXÃO - COMPRESSÃO NA MESA

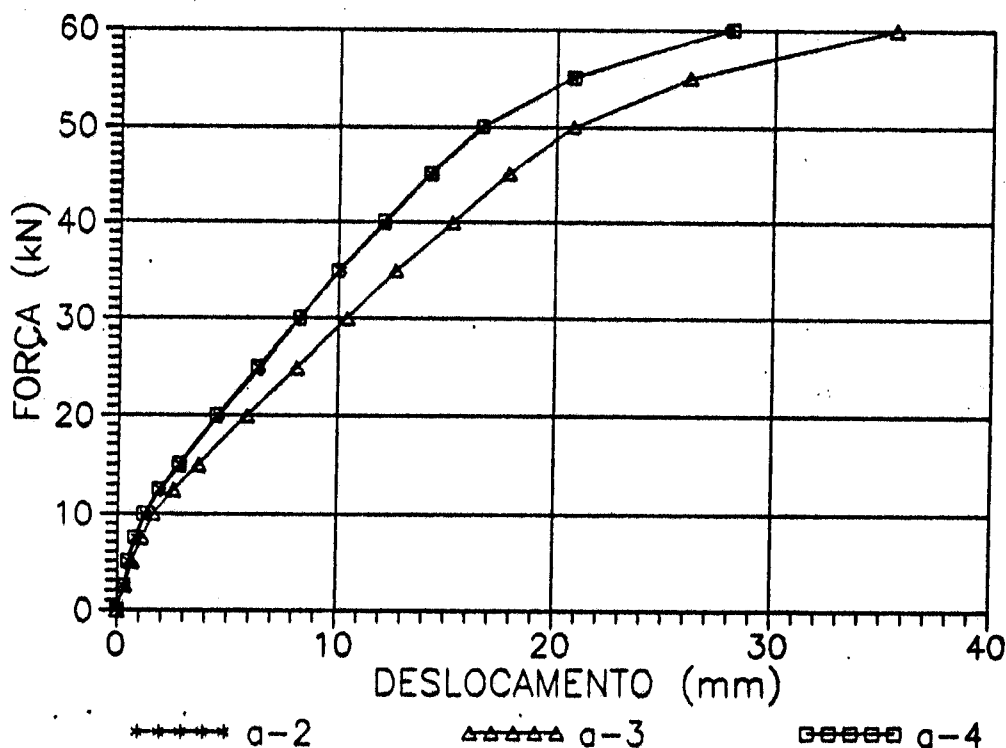
FORÇA CORTANTE ÚLTIMA: 62 kN

DESLOCAMENTOS VERTICAIS - MODELO 2/2
(mm)

| ETAPA | HORA | FORÇA (kN) | v2 | v3 | v4 |
|-------|-------|------------|-------|-------|-------|
| 0 | 14h23 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1 | 14h26 | 2,50 | 0,29 | 0,35 | 0,27 |
| 2 | 14h30 | 5,00 | 0,54 | 0,69 | 0,48 |
| 1 | 14h31 | 2,50 | 0,32 | 0,37 | 0,30 |
| 2 | 14h33 | 5,00 | 0,55 | 0,69 | 0,47 |
| 3 | 14h37 | 7,50 | 0,86 | 1,11 | 0,78 |
| 4 | 14h41 | 10,00 | 1,30 | 1,66 | 1,18 |
| 5 | 14h44 | 12,50 | 1,97 | 2,54 | 1,87 |
| 6 | 14h52 | 15,00 | 2,85 | 3,67 | 2,78 |
| 7 | 15h08 | 20,00 | 4,59 | 5,86 | 4,47 |
| 8 | 15h17 | 25,00 | 6,44 | 8,14 | 6,31 |
| 9 | 15h27 | 30,00 | 8,28 | 10,43 | 8,24 |
| 10 | 15h39 | 35,00 | 10,10 | 12,66 | 10,00 |
| 11 | 15h52 | 40,00 | 12,20 | 15,23 | 12,10 |
| 12 | 16h05 | 45,00 | 14,29 | 17,82 | 14,23 |
| 13 | 16h15 | 50,00 | 16,60 | 20,75 | 16,58 |
| 14 | 16h28 | 55,00 | 20,66 | 26,11 | 20,76 |
| 15 | 16h42 | 60,00 | 27,84 | 35,55 | 28,01 |

| | | | |
|--------------------------|--------|---------|---------|
| DISTÂNCIA APOIO ESQUERDO | 780,00 | 1447,50 | 2115,00 |
|--------------------------|--------|---------|---------|

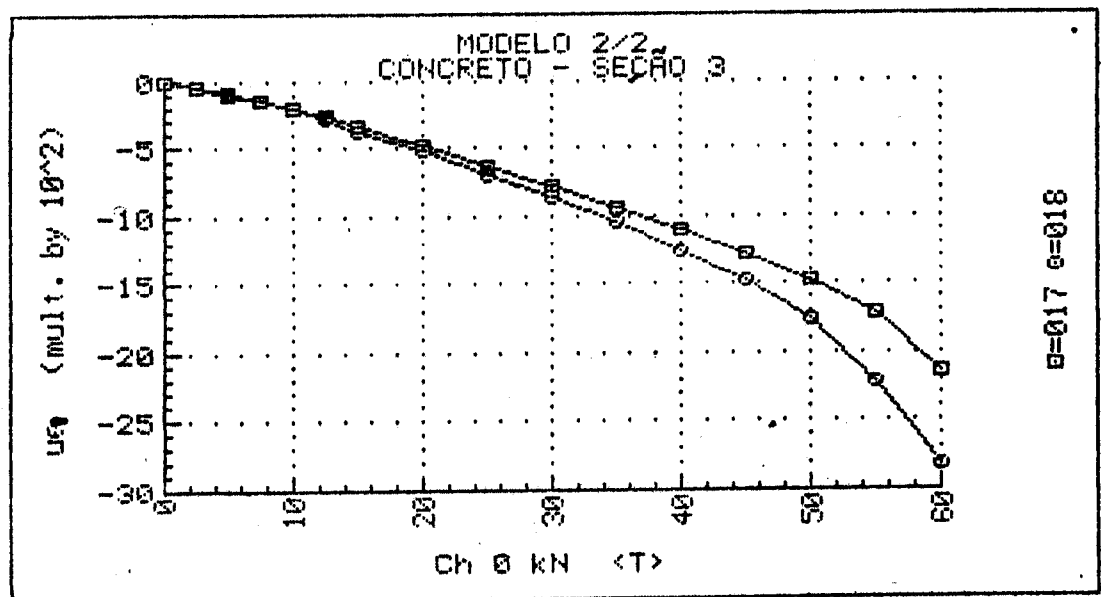
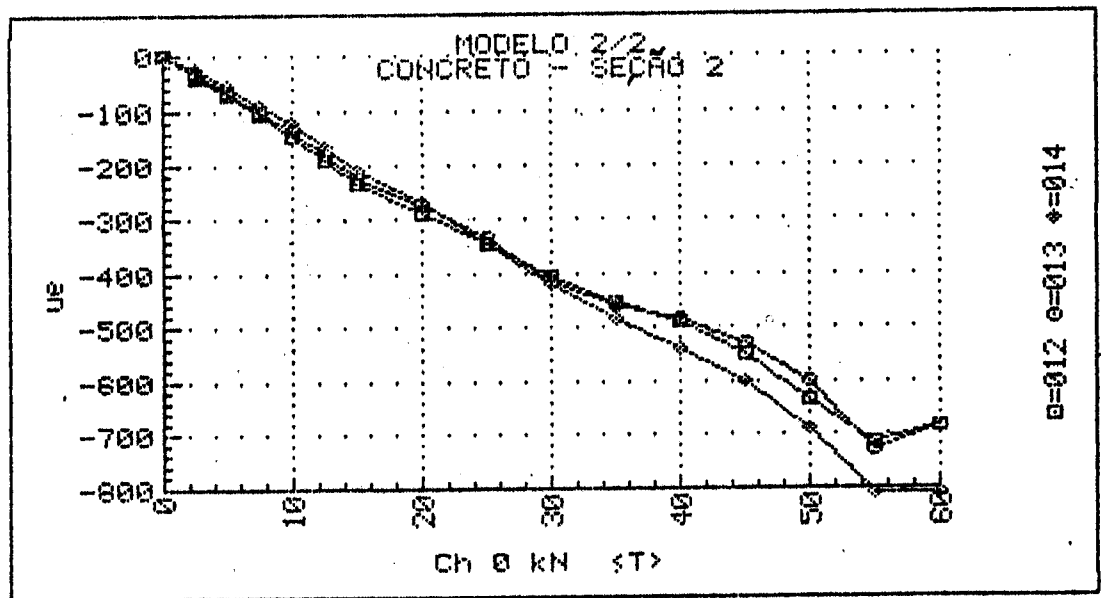
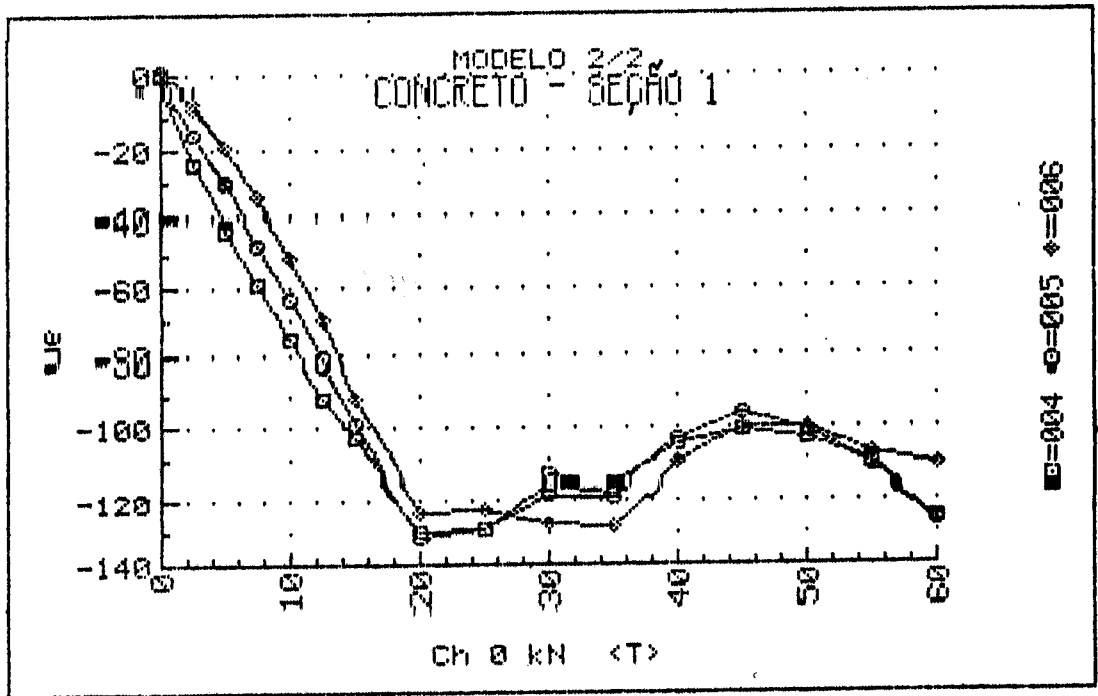
DIAGRAMAS FORÇA - DESLOCAMENTO
MODELO 2/2

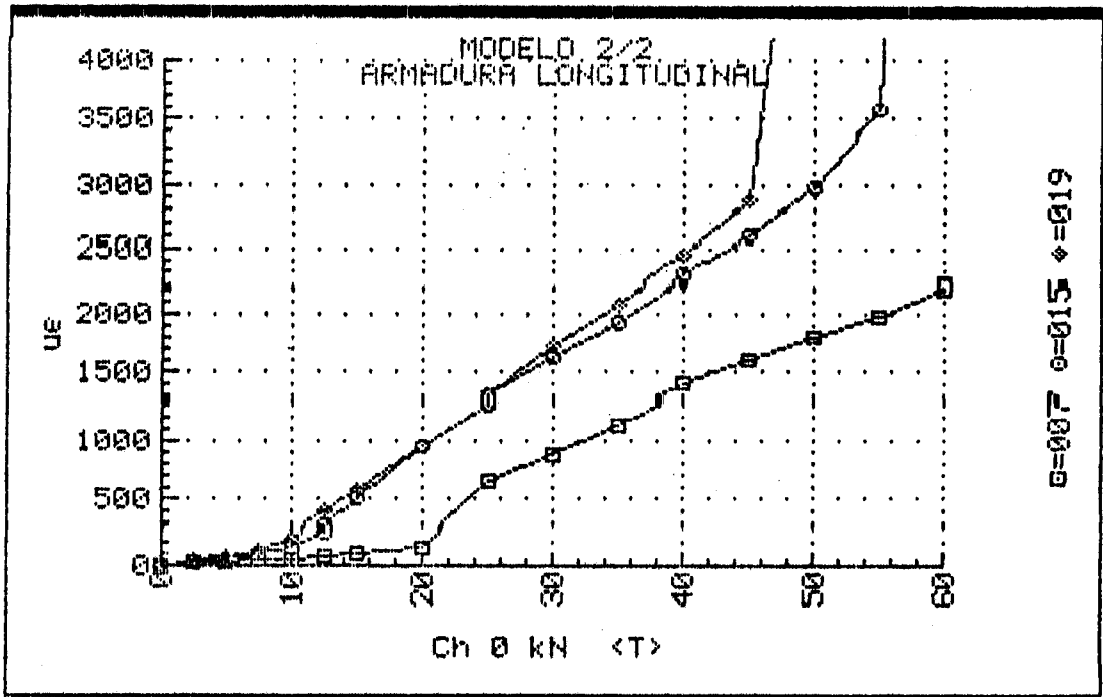


UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
 ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
 DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS

ENSAIO DE VIGA DE ARGAMASSA ARMADA
 MODELO 2/2 DATA: 12/11/91
 DEFORMAÇÕES DOS EXTENSÔMETROS ELÉTRICOS UNIAXIAIS

| F (kN) | EC 1.1 ($\mu\epsilon$) | EC 1.2 ($\mu\epsilon$) | EC 1.3 ($\mu\epsilon$) | EC 2.1 ($\mu\epsilon$) | EC 2.2 ($\mu\epsilon$) | EC 2.3 ($\mu\epsilon$) | EC 3.1 ($\mu\epsilon$) | EC 3.3 ($\mu\epsilon$) | ES 1 ($\mu\epsilon$) | ES 2 ($\mu\epsilon$) | ES 3 ($\mu\epsilon$) |
|-----------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 0.00 | +0. | +1. | +0. | +0. | +0. | +0. | +0. | +0. | +0. | -1. | +0. |
| 2.53 | -25. | -15. | -6. | -36. | -31. | -25. | -43. | -43. | +16. | +28. | +37. |
| 5.00 | -42. | -31. | -19. | -70. | -64. | -55. | -89. | -89. | +30. | +58. | +76. |
| 2.53 | -25. | -15. | -8. | -38. | -33. | -27. | -45. | -46. | +19. | +33. | +44. |
| 5.00 | -42. | -30. | -19. | -71. | -64. | -55. | -90. | -89. | +31. | +59. | +78. |
| 7.53 | -59. | -47. | -35. | -106. | -99. | -88. | -139. | -142. | +46. | +91. | +124. |
| 10.00 | -75. | -64. | -51. | -145. | -137. | -122. | -195. | -207. | +62. | +148. | +233. |
| 12.53 | -90. | -81. | -70. | -190. | -180. | -164. | -267. | -286. | +79. | +263. | +395. |
| 15.00 | -104. | -99. | -90. | -233. | -223. | -209. | -346. | -371. | +96. | +512. | +582. |
| 20.00 | -130. | -132. | -123. | -292. | -276. | -271. | -488. | -528. | +158. | +941. | +943. |
| 25.00 | -129. | -129. | -123. | -345. | -334. | -346. | -630. | -690. | +642. | +1305. | +1300. |
| 30.00 | -115. | -118. | -127. | -405. | -414. | -421. | -777. | -865. | +885. | +1628. | +1733. |
| 35.00 | -117. | -119. | -128. | -454. | -461. | -487. | -932. | -1047. | +1119. | +1937. | +2071. |
| 40.00 | -106. | -104. | -111. | -488. | -485. | -540. | -1106. | -1254. | +1397. | +2268. | +2459. |
| 45.00 | -101. | -95. | -100. | -550. | -531. | -600. | -1288. | -1479. | +1605. | +2597. | +2879. |
| 50.00 | -104. | -101. | -100. | -634. | -598. | -689. | -1472. | -1754. | +1794. | +2968. | +6821. |
| 54.95 | -111. | -112. | -108. | -714. | -731. | -809. | -1715. | -2213. | +1983. | +3571. | +13184. |
| 60.00 | -125. | -126. | -112. | -685. | -686. | -808. | -2136. | -2822. | +2286. | +11916. | +11660. |





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

ENSAIO DE VIGA DE ARGAMASSA ARMADA
 MODELO 2/2 DATA: 12/11/91
 DEFORMAÇÕES DOS EXTENSÔMETROS ELÉTRICOS DAS ROSETAS
 ROSETA 1

| F (kN) | ϵ_a ($\mu\epsilon$) | ϵ_b ($\mu\epsilon$) | ϵ_c ($\mu\epsilon$) | ϵ_1 ($\mu\epsilon$) | ϵ_2 ($\mu\epsilon$) | σ_1 (MPa) | σ_2 (MPa) | θ ($^\circ$) |
|-----------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|
| 0.00 | -1. | +0. | -1. | +0. | -2. | -0.0 | -0.1 | U/C |
| 2.53 | +0. | -25. | -2. | +23. | -25. | +0.6 | -0.6 | -43.9 |
| 5.00 | +0. | -42. | -3. | +39. | -42. | +1.0 | -1.1 | -44.0 |
| 2.53 | +1. | -25. | -1. | +25. | -25. | +0.6 | -0.6 | -43.9 |
| 5.00 | +0. | -42. | -3. | +39. | -42. | +1.0 | -1.1 | -44.0 |
| 7.53 | +1. | -58. | -5. | +54. | -58. | +1.3 | -1.5 | -43.5 |
| 10.00 | +2. | -72. | -6. | +68. | -72. | +1.7 | -1.8 | -43.4 |
| 12.53 | +5. | -84. | -9. | +81. | -85. | +2.0 | -2.1 | -42.6 |
| 15.00 | +5. | -97. | -12. | +91. | -97. | +2.2 | -2.5 | -42.5 |
| 20.00 | +3. | -125. | -10. | +118. | -125. | +2.9 | -3.2 | -43.5 |
| 25.00 | -54. | -175. | -10. | +113. | -177. | +2.4 | -4.8 | -49.4 |
| 30.00 | -186. | -221. | +23. | +93. | -256. | +1.3 | -7.4 | -63.4 |
| 35.00 | -236. | -279. | +13. | +97. | -320. | +1.0 | -9.4 | -63.3 |
| 40.00 | -276. | -375. | -35. | +95. | -406. | +0.4 | -12.1 | -59.4 |
| 45.00 | -324. | -479. | -89. | +90. | -503. | -0.3 | -15.2 | -56.7 |
| 50.00 | -386. | -567. | -110. | +100. | -596. | -0.6 | -18.0 | -56.7 |
| 54.95 | -450. | -657. | -124. | +117. | -692. | -0.7 | -20.9 | -56.9 |
| 60.00 | -513. | -751. | -129. | +150. | -792. | -0.3 | -23.8 | -57.0 |

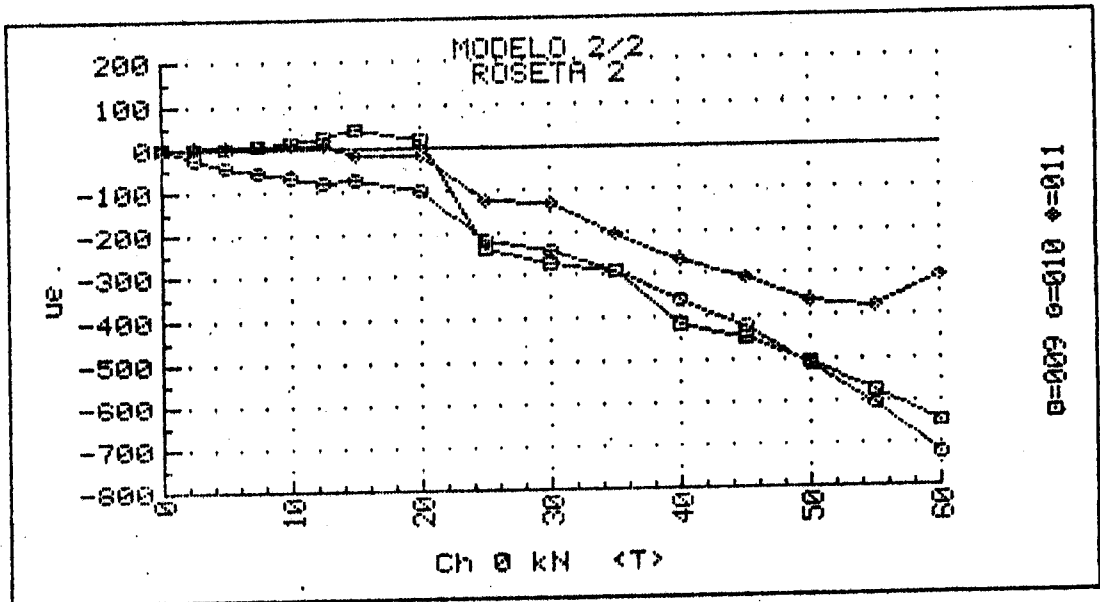
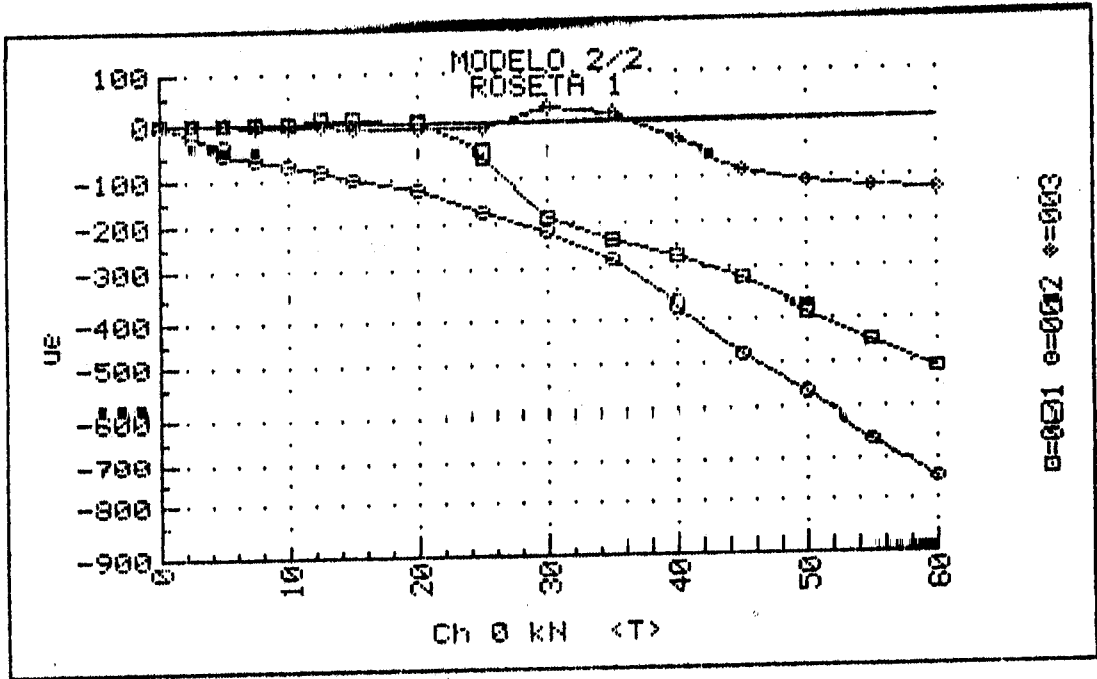
Cálculos feitos com: $E_c = 30.000$ MPa e $\nu = 0,2$
 ϵ_a : horizontal ϵ_b : 45° ϵ_c : vertical
 α : ângulo entre ϵ_a e ϵ_1 , + no sentido horário a partir de ϵ_a

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

ENSAIO DE VIGA DE ARGAMASSA ARMADA
 MODELO 2/2 DATA: 12/11/91
 DEFORMAÇÕES DOS EXTENSÔMETROS ELÉTRICOS DAS ROSETAS
 ROSETA 2

| F (KN) | ϵ_a ($\mu\epsilon$) | ϵ_b ($\mu\epsilon$) | ϵ_c ($\mu\epsilon$) | ϵ_1 ($\mu\epsilon$) | ϵ_2 ($\mu\epsilon$) | σ_1 (MPa) | σ_2 (MPa) | θ ($^\circ$) |
|-----------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|
| 0.00 | +0. | +0. | -1. | +0. | -1. | -0.0 | -0.0 | U/C |
| 2.53 | +1. | -25. | +3. | +29. | -25. | +0.8 | -0.6 | -46.0 |
| 5.00 | +2. | -42. | +6. | +50. | -42. | +1.3 | -1.0 | -46.2 |
| 2.53 | +3. | -24. | +6. | +33. | -24. | +0.9 | -0.6 | -46.5 |
| 5.00 | +2. | -42. | +7. | +50. | -42. | +1.3 | -1.0 | -46.5 |
| 7.53 | +5. | -57. | +7. | +69. | -57. | +1.8 | -1.4 | -45.4 |
| 10.00 | +12. | -70. | +7. | +88. | -70. | +2.3 | -1.6 | -44.1 |
| 12.53 | +22. | -80. | +6. | +108. | -80. | +2.9 | -1.8 | -42.5 |
| 15.00 | +43. | -76. | -18. | +105. | -81. | +2.8 | -1.9 | -35.4 |
| 20.00 | +18. | -99. | -19. | +100. | -101. | +2.5 | -2.5 | -39.6 |
| 25.00 | -240. | -219. | -124. | -113. | -251. | -5.1 | -8.5 | -73.5 |
| 30.00 | -274. | -245. | -134. | -123. | -286. | -5.6 | -9.7 | -74.8 |
| 35.00 | -294. | -292. | -208. | -191. | -310. | -7.9 | -10.9 | -68.2 |
| 40.00 | -416. | -364. | -269. | -266. | -419. | -10.9 | -14.8 | -81.9 |
| 45.00 | -452. | -424. | -312. | -301. | -463. | -12.3 | -16.4 | -74.6 |
| 50.00 | -505. | -513. | -367. | -332. | -540. | -13.8 | -18.9 | -66.0 |
| 54.95 | -575. | -605. | -381. | -318. | -638. | -13.9 | -21.9 | -63.7 |
| 60.00 | -647. | -724. | -310. | -182. | -776. | -10.5 | -25.4 | -62.2 |

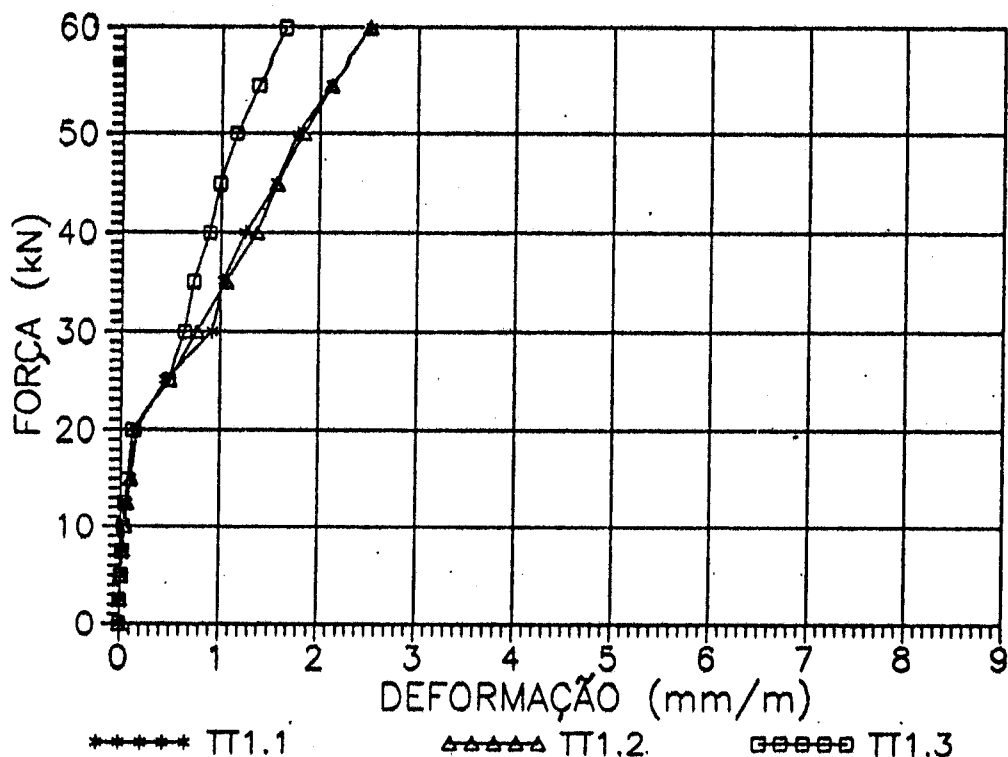
Cálculos feitos com: $E_c = 30.000$ MPa e $\nu = 0,2$
 ϵ_a : horizontal ϵ_b : 45° ϵ_c : vertical
 α : ângulo entre ϵ_a e ϵ_1 , + no sentido horário a partir de ϵ_a



DEFORMAÇÕES MEDIDAS COM EXTENSÔMETRO MECÂNICO
MESA TRACIONADA - SEÇÃO 1
MODELO 2/2 (mm/m)

| ETAPA | F (kN) | T (°C) | TT1.1 | TT1.2 | TT1.3 |
|-------|--------|--------|-------|-------|-------|
| 0 | 0,00 | 27,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1 | 2,50 | 27,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 2 | 5,00 | 27,00 | 0,01 | 0,01 | 0,00 |
| 1 | 2,50 | 27,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 |
| 2 | 5,00 | 27,00 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| 3 | 7,50 | 27,00 | 0,03 | 0,03 | 0,02 |
| 4 | 10,00 | 27,50 | 0,05 | 0,05 | 0,03 |
| 5 | 12,50 | 27,50 | 0,07 | 0,07 | 0,04 |
| 6 | 15,00 | 27,50 | 0,11 | 0,10 | 0,07 |
| 7 | 20,00 | 27,50 | 0,16 | 0,13 | 0,12 |
| 8 | 25,00 | 27,50 | 0,45 | 0,49 | 0,48 |
| 9 | 30,00 | 27,50 | 0,92 | 0,76 | 0,64 |
| 10 | 35,00 | 27,50 | 1,03 | 1,06 | 0,73 |
| 11 | 40,00 | 27,50 | 1,25 | 1,37 | 0,89 |
| 12 | 45,00 | 27,50 | 1,56 | 1,57 | 0,99 |
| 13 | 50,00 | 28,00 | 1,78 | 1,84 | 1,16 |
| 14 | 55,00 | 28,00 | 2,12 | 2,12 | 1,38 |
| 15 | 60,00 | 28,00 | 2,52 | 2,51 | 1,65 |

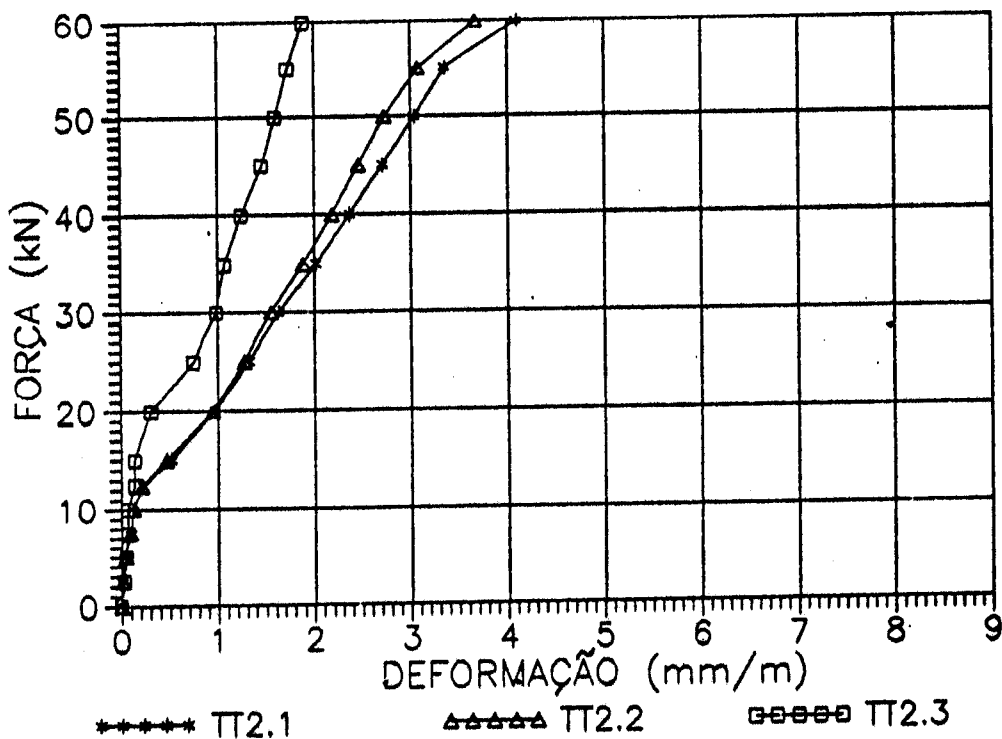
DIAGRAMAS FORÇA - DEFORMAÇÃO
MODELO 2/2 - Seção 1
Mesa Tracionada



DEFORMAÇÕES MEDIDAS COM EXTENSÔMETRO MECÂNICO
MESA TRACIONADA - SEÇÃO 2
MODELO 2/2 (mm/m)

| ETAPA | F (kN) | T (°C) | TT2.1 | TT2.2 | TT2.3 |
|-------|--------|--------|-------|-------|-------|
| 0 | 0,00 | 27,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1 | 2,50 | 27,00 | 0,01 | 0,02 | 0,02 |
| 2 | 5,00 | 27,00 | 0,03 | 0,03 | 0,04 |
| 1 | 2,50 | 27,00 | 0,01 | 0,02 | 0,03 |
| 2 | 5,00 | 27,00 | 0,04 | 0,04 | 0,05 |
| 3 | 7,50 | 27,00 | 0,10 | 0,09 | 0,07 |
| 4 | 10,00 | 27,50 | 0,12 | 0,14 | 0,07 |
| 5 | 12,50 | 27,50 | 0,23 | 0,22 | 0,14 |
| 6 | 15,00 | 27,50 | 0,52 | 0,47 | 0,14 |
| 7 | 20,00 | 27,50 | 0,97 | 0,95 | 0,31 |
| 8 | 25,00 | 27,50 | 1,33 | 1,28 | 0,75 |
| 9 | 30,00 | 27,50 | 1,64 | 1,55 | 0,99 |
| 10 | 35,00 | 27,50 | 2,02 | 1,89 | 1,07 |
| 11 | 40,00 | 27,50 | 2,37 | 2,19 | 1,25 |
| 12 | 45,00 | 27,50 | 2,71 | 2,46 | 1,46 |
| 13 | 50,00 | 28,00 | 3,04 | 2,73 | 1,60 |
| 14 | 55,00 | 28,00 | 3,36 | 3,08 | 1,73 |
| 15 | 60,00 | 28,00 | 4,10 | 3,67 | 1,89 |

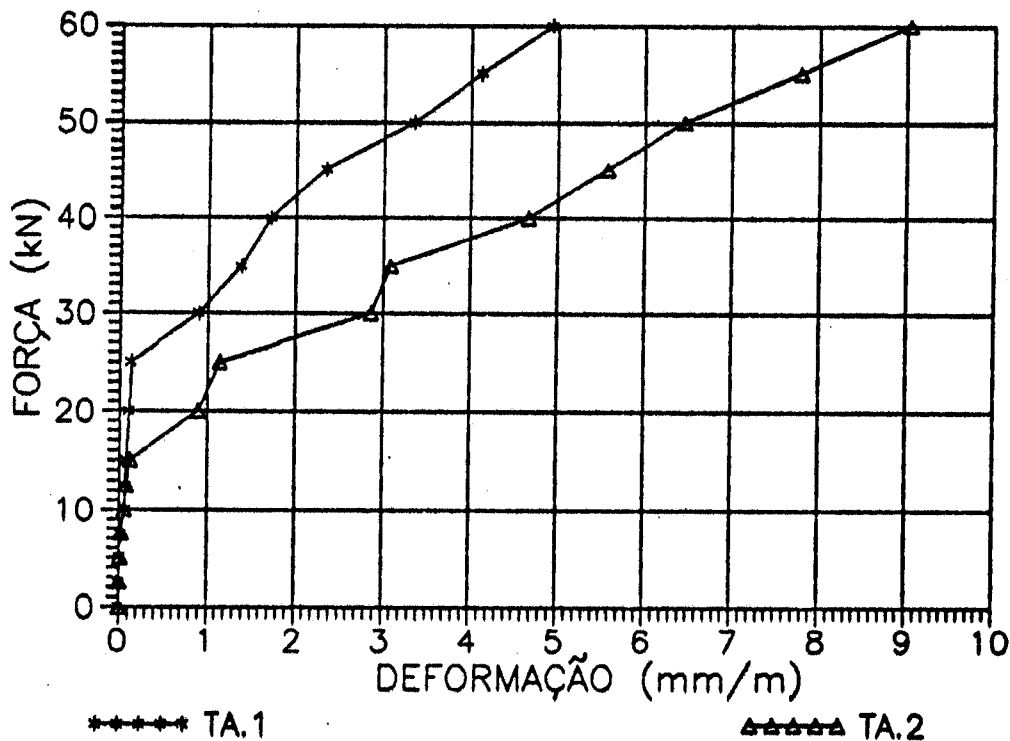
DIAGRAMAS FORÇA - DEFORMAÇÃO
MODELO 2/2 - Seção 2
Mesa Tracionada



DEFORMAÇÕES MEDIDAS COM EXTENSÔMETRO
 MECÂNICO - ALMA
 MODELO 2/2 (mm/m)

| ETAPA | F (kN) | T (°C) | TA,1 | TA,2 |
|-------|--------|--------|------|-------|
| 0 | 0,00 | 27,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1 | 2,50 | 27,00 | 0,00 | -0,01 |
| 2 | 5,00 | 27,00 | 0,00 | 0,01 |
| 1 | 2,50 | 27,00 | 0,00 | 0,00 |
| 2 | 5,00 | 27,00 | 0,01 | 0,01 |
| 3 | 7,50 | 27,00 | 0,02 | 0,02 |
| 4 | 10,00 | 27,50 | 0,07 | 0,06 |
| 5 | 12,50 | 27,50 | 0,07 | 0,08 |
| 6 | 15,00 | 27,50 | 0,08 | 0,12 |
| 7 | 20,00 | 27,50 | 0,11 | 0,89 |
| 8 | 25,00 | 27,50 | 0,13 | 1,14 |
| 9 | 30,00 | 27,50 | 0,90 | 2,86 |
| 10 | 35,00 | 27,50 | 1,38 | 3,09 |
| 11 | 40,00 | 27,50 | 1,72 | 4,66 |
| 12 | 45,00 | 27,50 | 2,35 | 5,57 |
| 13 | 50,00 | 28,00 | 3,35 | 6,45 |
| 14 | 55,00 | 28,00 | 4,12 | 7,78 |
| 15 | 60,00 | 28,00 | 4,93 | 9,03 |

DIAGRAMAS FORÇA - DEFORMAÇÃO
 MODELO 2/2 - ALMA

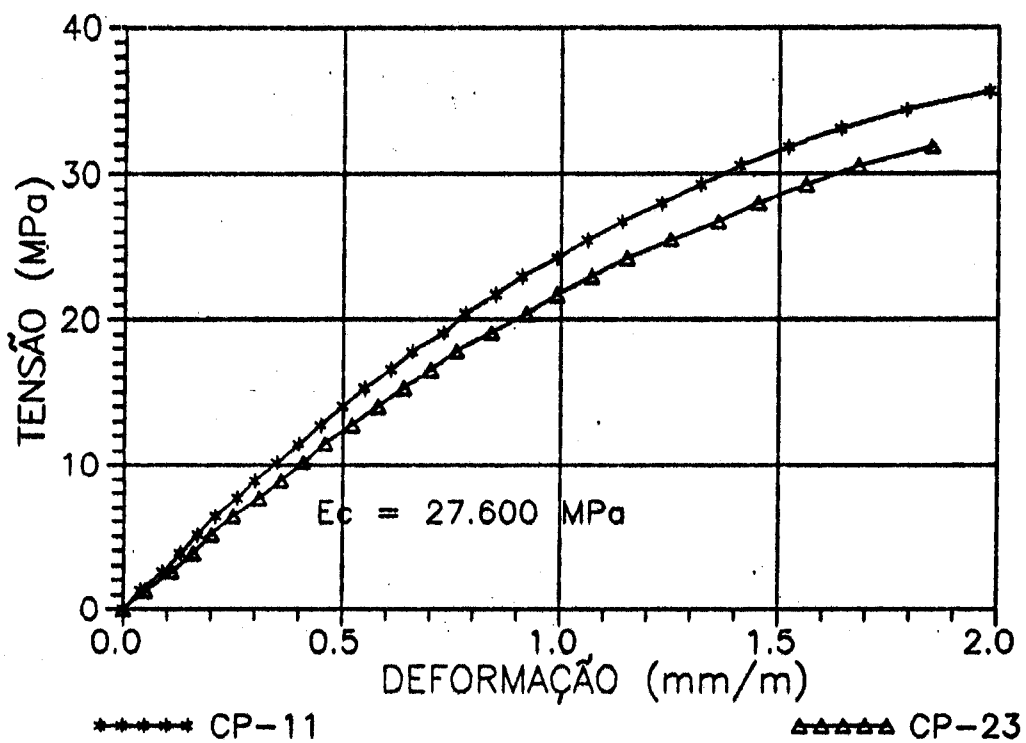


RESULTADOS DOS ENSAIOS DOS CORPOS-DE-PROVA DE ARGAMASSA
 MODELO 2/2

| RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa) | | | | RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (MPa) | | |
|--------------------------------|-------|--------|---------|----------------------------|--------|---------|
| IDADE | 1 DIA | 3 DIAS | 10 DIAS | 1 DIA | 3 DIAS | 10 DIAS |
| | 16,2 | 29,3 | 36,3 | 1,6 | 2,7 | 3,0 |
| | 17,2 | 29,5 | 36,3 | 1,4 | 2,8 | 2,8 |
| | 17,2 | 30,6 | 34,4 | 1,2 | 2,2 | 2,9 |
| | 17,2 | 31,8 | 32,5 | 1,4 | 2,2 | 2,9 |
| MÉDIA | 16,9 | 30,3 | 34,9 | 1,4 | 2,5 | 2,9 |
| DESVIO MÁXIMO | 0,8 | 1,5 | 2,4 | 0,2 | 0,3 | 0,1 |
| DESVIO MAX. % | 4,5 | 5,0 | 6,8 | 16,5 | 12,1 | 2,6 |
| DES. MAX. ADMISS. | 0,6 | 1,3 | 2,1 | 0,2 | 0,4 | 0,1 |
| DESVIO PADRÃO | 0,5 | 1,2 | 1,8 | 0,2 | 0,3 | 0,1 |
| COEF. % VARIAÇÃO | 3,0 | 3,8 | 5,2 | 11,6 | 12,8 | 2,1 |
| INTERVALO CONF. 95% | 16,1 | 28,5 | 31,9 | 1,1 | 2,0 | 2,8 |
| | 17,7 | 32,1 | 37,8 | 1,7 | 3,0 | 3,0 |

DIAGRAMAS TENSÃO - DEFORMAÇÃO

Modelo 2/2



ESPAÇAMENTOS ENTRE FISSURAS NA MESA TRACIONADA
VALORES MÉDIOS (mm) MODELO 2/2

| ETAPA | F (kN) | TA1 | TA2 | TA3 | TB | TC3 | TC2 | TC1 |
|-------|--------|------|-------|-------|-------|------|------|------|
| 0 | 0,0 | | | | | | | |
| 1 | 2,5 | | | | | | | |
| 2 | 5,0 | | | | | | | |
| 3 | 7,5 | | | | | | | |
| 4 | 10,0 | | | | | | | |
| 5 | 12,5 | | | | 373,0 | | | |
| 6 | 15,0 | | | 125,0 | 87,9 | | | |
| 7 | 20,0 | | 120,0 | 40,0 | 48,7 | 55,0 | | |
| 8 | 25,0 | | 60,0 | 40,0 | 44,0 | 55,0 | 35,7 | |
| 9 | 30,0 | | 47,5 | 40,0 | 38,3 | 40,0 | 35,7 | |
| 10 | 35,0 | 36,7 | 35,7 | 28,6 | 38,3 | 33,3 | 35,7 | 57,5 |
| 11 | 40,0 | 36,7 | 31,3 | 28,6 | 40,4 | 28,6 | 35,7 | 38,3 |
| 12 | 45,0 | 36,7 | 27,8 | 25,0 | 38,3 | 28,6 | 35,7 | 38,3 |
| 13 | 50,0 | 36,7 | 27,8 | 25,0 | 35,6 | 25,0 | 27,8 | 36,7 |
| 14 | 55,0 | 36,7 | 27,8 | 25,0 | 32,5 | 25,0 | 27,8 | 36,7 |
| 15 | 60,0 | 36,7 | 27,8 | 25,0 | 26,7 | 25,0 | 27,8 | 36,7 |
| RUINA | 62,0 | 36,7 | 27,8 | 25,0 | 26,7 | 25,0 | 27,8 | 36,7 |

ESPAÇAMENTOS ENTRE FISSURAS NA ALMA
VALORES MÉDIOS (mm) MODELO 2/2

| ETAPA | F (kN) | AA1 | AA2 | AA3 | AB | AC3 | AC2 | AC1 |
|-------|--------|------|-------|-------|-------|------|------|------|
| 0 | 0,0 | | | | | | | |
| 1 | 2,5 | | | | | | | |
| 2 | 5,0 | | | | | | | |
| 3 | 7,5 | | | | | | | |
| 4 | 10,0 | | | | | | | |
| 5 | 12,5 | | | | | | | |
| 6 | 15,0 | | | | 213,6 | 50,0 | | |
| 7 | 20,0 | | | 105,0 | 83,1 | 50,0 | | |
| 8 | 25,0 | | 105,0 | 70,0 | 55,4 | 50,0 | 50,0 | |
| 9 | 30,0 | | 81,5 | 70,0 | 49,8 | 50,0 | 40,0 | |
| 10 | 35,0 | | 81,5 | 40,0 | 44,0 | 50,0 | 40,0 | |
| 11 | 40,0 | 95,0 | 81,5 | 40,0 | 40,4 | 40,0 | 40,0 | 55,0 |
| 12 | 45,0 | 95,0 | 81,5 | 40,0 | 39,3 | 40,0 | 40,0 | 55,0 |
| 13 | 50,0 | 95,0 | 81,5 | 40,0 | 39,3 | 40,0 | 40,0 | 50,0 |
| 14 | 55,0 | 95,0 | 81,5 | 40,0 | 37,4 | 40,0 | 40,0 | 50,0 |
| 15 | 60,0 | 95,0 | 81,5 | 40,0 | 37,4 | 40,0 | 40,0 | 50,0 |
| RUINA | 62,0 | 95,0 | 81,5 | 40,0 | 37,4 | 40,0 | 40,0 | 50,0 |

VALORES DAS ABERTURAS DE FISSURAS (mm) - MESA TRACIONADA

MODELO 2/2

| ETAPA | FORÇA(kN) | TA1 | TA2 | TA3 | TB | TC3 | TC2 | TC1 |
|-------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 0,00 | | | | | | | |
| 1 | 2,50 | | | | | | | |
| 2 | 5,00 | | | | | | | |
| 3 | 7,50 | | | | | | | |
| 4 | 10,00 | | | | | | | |
| 5 | 12,50 | | | | 0,03 | | | |
| 6 | 15,00 | | | 0,02 | 0,06 | 0,05 | | |
| 7 | 20,00 | | 0,05 | 0,05 | 0,06 | 0,06 | 0,05 | |
| 8 | 25,00 | | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,06 | 0,06 | |
| 9 | 30,00 | | 0,07 | 0,06 | 0,08 | 0,07 | 0,06 | 0,03 |
| 10 | 35,00 | 0,02 | 0,08 | 0,08 | 0,08 | 0,10 | 0,07 | 0,05 |
| 11 | 40,00 | 0,06 | 0,10 | 0,08 | 0,10 | 0,10 | 0,08 | 0,05 |
| 12 | 45,00 | 0,07 | 0,10 | 0,09 | 0,11 | 0,11 | 0,10 | 0,06 |
| 13 | 50,00 | 0,09 | 0,11 | 0,10 | 0,13 | 0,11 | 0,10 | 0,09 |
| 14 | 55,00 | 0,09 | 0,11 | 0,10 | 0,18 | 0,12 | 0,11 | 0,10 |
| 15 | 60,00 | 0,10 | 0,11 | 0,10 | 0,22 | 0,14 | 0,12 | 0,11 |

VALORES DAS ABERTURAS DE FISSURAS (mm) - ALMA

MODELO 2/2

| ETAPA | FORÇA(kN) | AA1 | AA2 | AA3 | AB | AC3 | AC2 | AC1 |
|-------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 0,00 | | | | | | | |
| 1 | 2,50 | | | | | | | |
| 2 | 5,00 | | | | | | | |
| 3 | 7,50 | | | | | | | |
| 4 | 10,00 | | | | | | | |
| 5 | 12,50 | | | | | | | |
| 6 | 15,00 | | | 0,04 | 0,04 | 0,05 | | |
| 7 | 20,00 | | | 0,08 | 0,06 | 0,07 | 0,07 | |
| 8 | 25,00 | | 0,13 | 0,10 | 0,08 | 0,09 | 0,14 | 0,09 |
| 9 | 30,00 | 0,13 | 0,18 | 0,13 | 0,09 | 0,13 | 0,17 | 0,15 |
| 10 | 35,00 | 0,17 | 0,20 | 0,15 | 0,10 | 0,16 | 0,20 | 0,20 |
| 11 | 40,00 | 0,22 | 0,24 | 0,16 | 0,11 | 0,18 | 0,24 | 0,22 |
| 12 | 45,00 | 0,25 | 0,27 | 0,17 | 0,13 | 0,20 | 0,28 | 0,24 |
| 13 | 50,00 | 0,27 | 0,33 | 0,20 | 0,16 | 0,22 | 0,35 | 0,28 |
| 14 | 55,00 | 0,35 | 0,40 | 0,20 | 0,18 | 0,26 | 0,45 | 0,32 |
| 15 | 60,00 | 0,38 | 0,42 | 0,25 | 0,20 | 0,33 | 0,50 | 0,35 |

INCLINAÇÕES DAS FISSURAS E DAS TENSÕES PRINCIPAIS DE
COMPRESSÃO NO CENTRO DE GRAVIDADE - MODELO 2/2

| ETAPA | FORÇA (kN) | SEÇÃO 1 | | SEÇÃO 2 | |
|-------|---------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| | | θ (°) | β (°) | θ (°) | β (°) |
| 1 | 2,5 | | 46,1 | | 43,5 |
| 2 | 5,0 | | 46,0 | | 43,5 |
| 3 | 7,5 | | 46,5 | | 44,0 |
| 4 | 10,0 | | 46,6 | | 45,9 |
| 5 | 12,5 | | 47,4 | | 47,5 |
| 6 | 15,0 | | 47,5 | | 54,6 |
| 7 | 20,0 | | 46,5 | 42,0 | 50,4 |
| 8 | 25,0 | 33,3 | 40,6 | 33,3 | 16,5 |
| 9 | 30,0 | 32,5 | 26,6 | 36,0 | 15,2 |
| 10 | 35,0 | 30,0 | 26,7 | 30,0 | 21,8 |
| 11 | 40,0 | 27,0 | 30,6 | 48,5 | 8,1 (*) |
| 12 | 45,0 | 26,0 | 33,3 | 30,5 | 15,4 |
| 13 | 50,0 | 26,0 | 33,3 | 38,5 | 24,0 |
| 14 | 55,0 | 22,0 | 33,1 | 15,0 | 26,3 |
| 15 | 60,0 | 28,0 | 33,0 | 29,0 | 26,9 |
| MÉDIA | - | 28,1 | 38,9 | 33,6 | 32,2 |

θ = inclinação das fissuras

β = inclinação da tensão principal de compressão

(*) - Possíveis fissuras na roseta.

A1.9 - MODELO 2/3

MOLDAGEM: 12/11/91

ENSAIO: 19/11/91

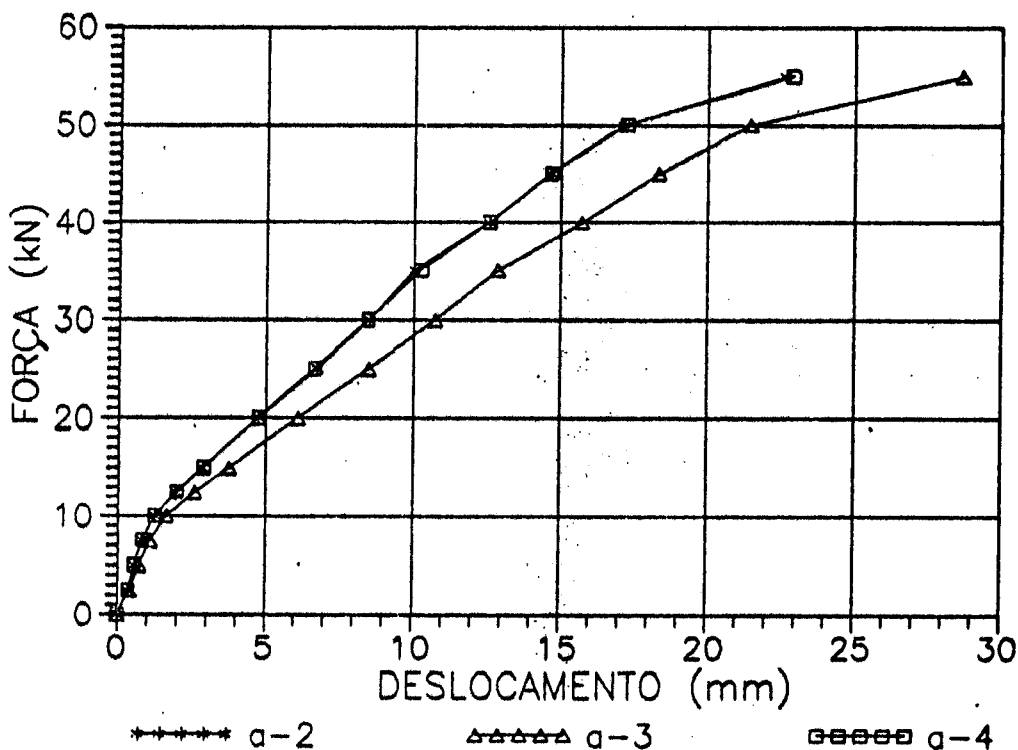
TIPO DE RUPTURA: CISCALHAMENTO
TRACÃO NA ARMADURA TRANSVERSAL

FORÇA CORTANTE ÚLTIMA: 57 kN

DESLOCAMENTOS VERTICAIS - MODELO 2/3
(mm)

| ETAPA | HORA | FORÇA (kN) | v2 | v3 | v4 |
|--------------------------|-------|------------|--------|---------|---------|
| 0 | 14h20 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1 | 14h24 | 2,50 | 0,27 | 0,37 | 0,27 |
| 2 | 14h27 | 5,00 | 0,52 | 0,69 | 0,52 |
| 1 | 14h29 | 2,50 | 0,34 | 0,40 | 0,36 |
| 2 | 14h31 | 5,00 | 0,55 | 0,72 | 0,55 |
| 3 | 14h34 | 7,50 | 0,82 | 1,09 | 0,83 |
| 4 | 14h38 | 10,00 | 1,26 | 1,66 | 1,26 |
| 5 | 14h43 | 12,50 | 1,96 | 2,60 | 1,99 |
| 6 | 14h54 | 15,00 | 2,86 | 3,75 | 2,90 |
| 7 | 15h05 | 20,00 | 4,76 | 6,10 | 4,74 |
| 8 | 15h16 | 25,00 | 6,74 | 8,49 | 6,66 |
| 9 | 15h27 | 30,00 | 8,51 | 10,73 | 8,46 |
| 10 | 15h41 | 35,00 | 10,04 | 12,86 | 10,26 |
| 11 | 15h52 | 40,00 | 12,57 | 15,73 | 12,56 |
| 12 | 16h07 | 45,00 | 14,65 | 18,32 | 14,66 |
| 13 | 16h18 | 50,00 | 17,12 | 21,45 | 17,23 |
| 14 | 16h32 | 55,00 | 22,62 | 28,68 | 22,88 |
| DISTÂNCIA APOIO ESQUERDO | | | 780,00 | 1447,50 | 2115,00 |

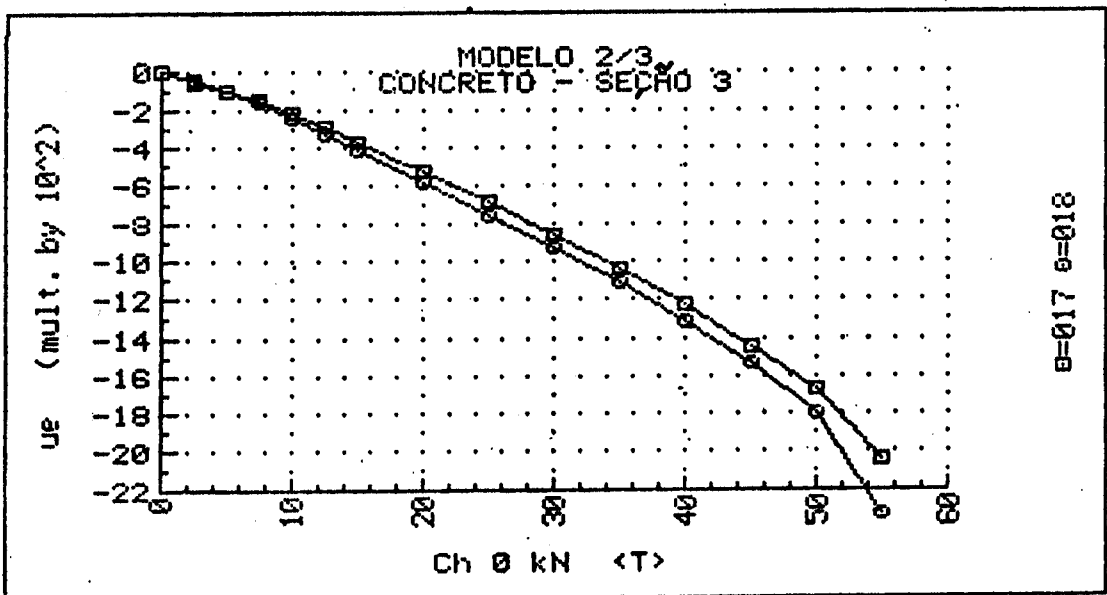
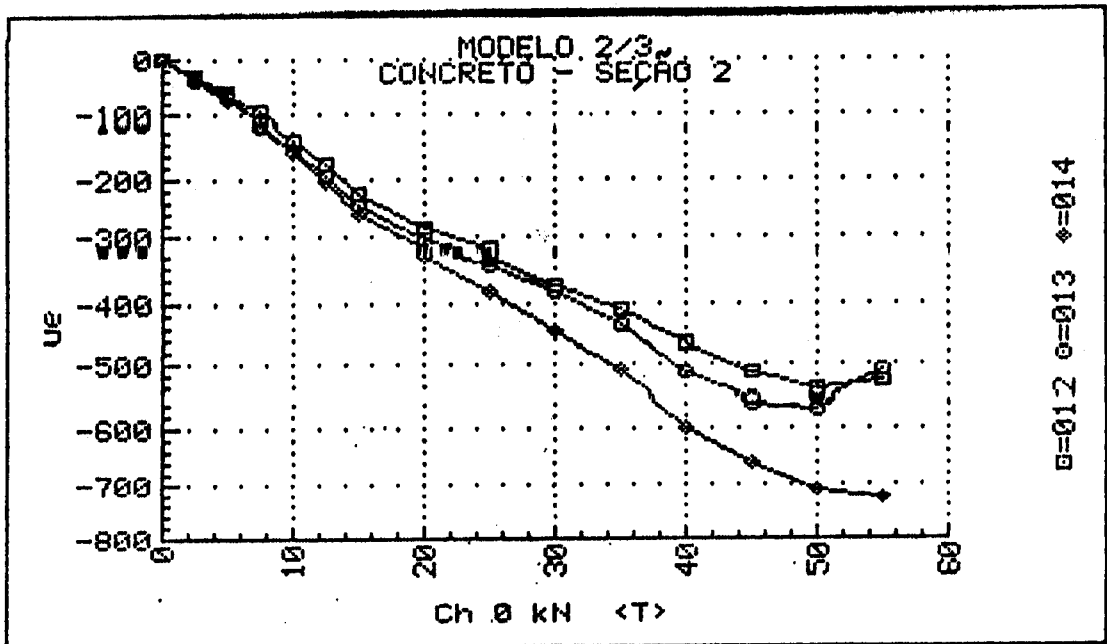
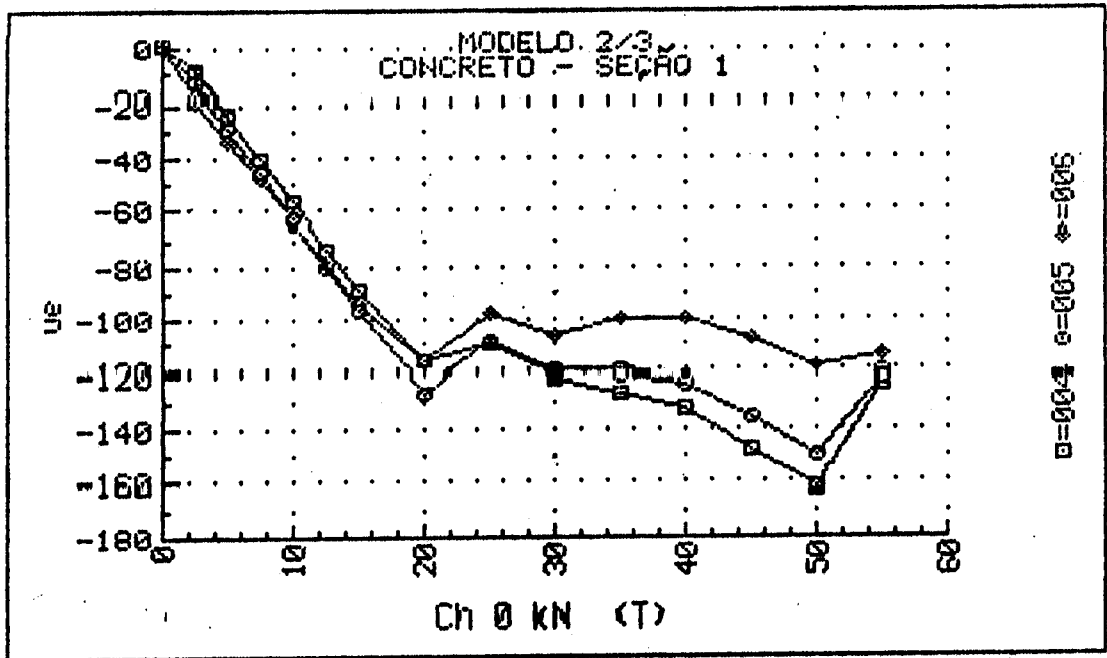
DIAGRAMAS FORÇA - DESLOCAMENTO
MODELO 2/3

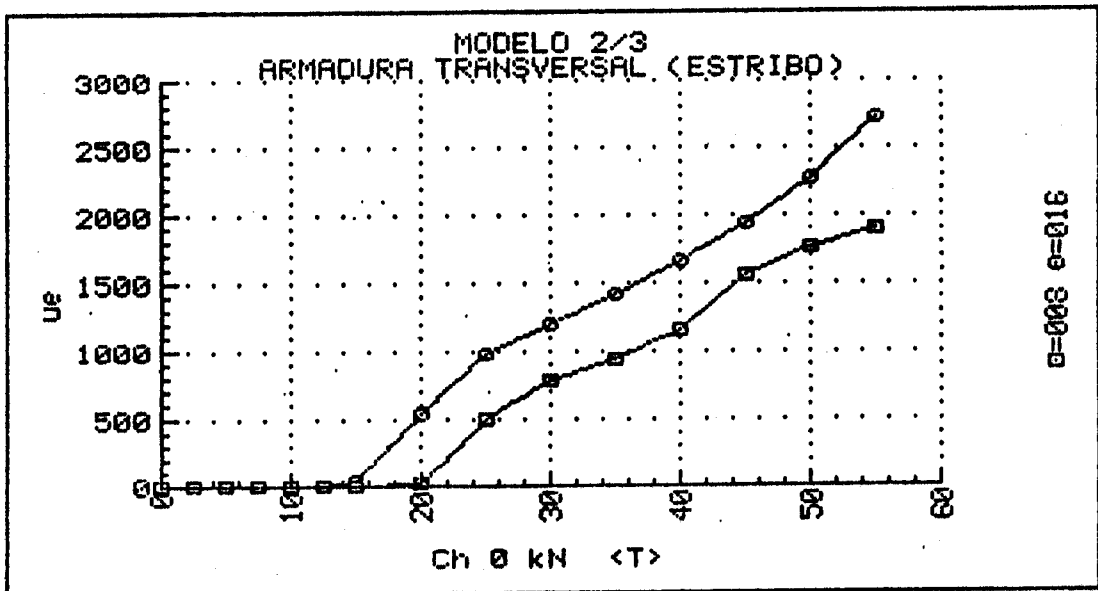
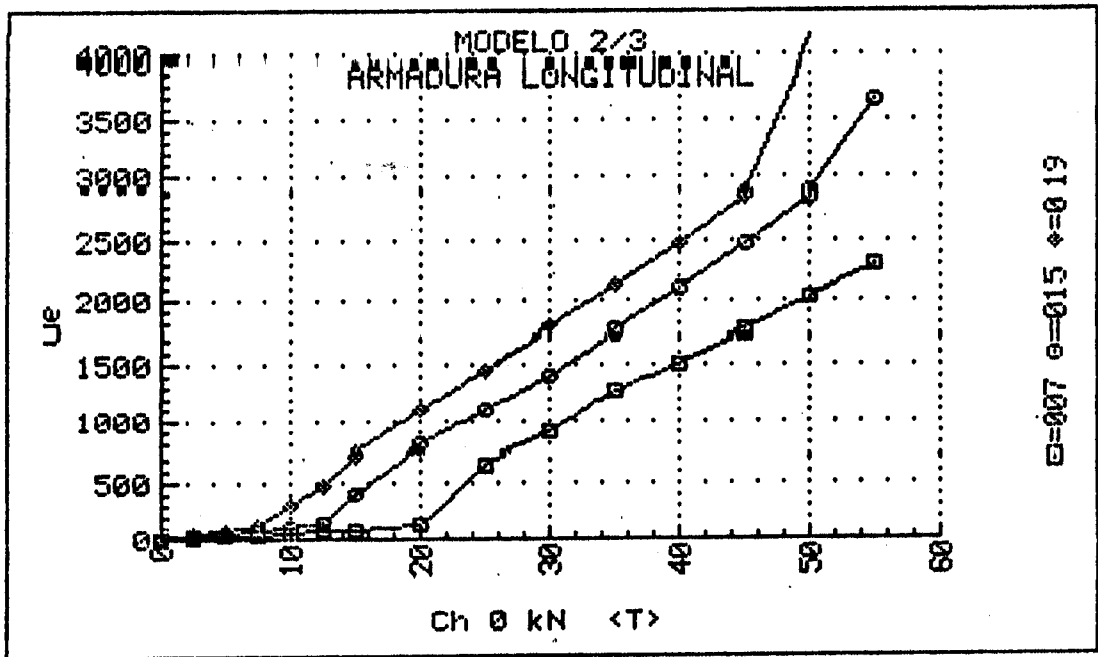


UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
 ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
 DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS

ENSAIO DE VIGA DE ARGAMASSA ARMADA
 MODELO 2/3 DATA: 19/11/91
 DEFORMAÇÕES DOS EXTENSÔMETROS ELÉTRICOS UNIAXIAIS

| F (kN) | EC 1.1 ($\mu\epsilon$) | EC 1.2 ($\mu\epsilon$) | EC 1.3 ($\mu\epsilon$) | EC 2.1 ($\mu\epsilon$) | EC 2.2 ($\mu\epsilon$) | EC 2.3 ($\mu\epsilon$) | EC 3.1 ($\mu\epsilon$) | EC 3.3 ($\mu\epsilon$) | ES 1 ($\mu\epsilon$) | ES 2 ($\mu\epsilon$) | ES 3 ($\mu\epsilon$) | ET 1 ($\mu\epsilon$) | ET 2 ($\mu\epsilon$) |
|-----------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 0.00 | +1. | +1. | +0. | +1. | +0. | +0. | -1. | +0. | +0. | +0. | +0. | +0. | +0. |
| 2.53 | -8. | -13. | -19. | -28. | -34. | -37. | -47. | -50. | +11. | +25. | +39. | +1. | +0. |
| 5.00 | -24. | -29. | -33. | -61. | -70. | -73. | -95. | -104. | +24. | +50. | +81. | +0. | +0. |
| 2.58 | -10. | -14. | -19. | -33. | -38. | -41. | -52. | -58. | +14. | +30. | +51. | +2. | +2. |
| 5.00 | -24. | -29. | -33. | -63. | -71. | -74. | -97. | -106. | +25. | +52. | +84. | +1. | +1. |
| 7.53 | -40. | -45. | -48. | -97. | -108. | -112. | -147. | -163. | +37. | +79. | +127. | +1. | +0. |
| 10.00 | -56. | -63. | -63. | -134. | -149. | -155. | -207. | -244. | +50. | +111. | +309. | +0. | -2. |
| 12.53 | -73. | -80. | -79. | -177. | -195. | -205. | -284. | -333. | +63. | +150. | +479. | -1. | -9. |
| 15.05 | -89. | -97. | -94. | -223. | -246. | -259. | -374. | -421. | +81. | +388. | +725. | +1. | +36. |
| 20.00 | -117. | -126. | -117. | -285. | -303. | -322. | -530. | -587. | +116. | +799. | +1094. | +13. | +532. |
| 25.00 | -110. | -109. | -98. | -322. | -333. | -381. | -690. | -754. | +645. | +1094. | +1458. | +509. | +983. |
| 30.00 | -121. | -120. | -106. | -370. | -382. | -444. | -854. | -927. | +904. | +1408. | +1771. | +773. | +1196. |
| 35.00 | -127. | -120. | -100. | -412. | -434. | -508. | -1038. | -1111. | +1264. | +1745. | +2125. | +938. | +1415. |
| 40.00 | -133. | -123. | -100. | -466. | -517. | -598. | -1235. | -1311. | +1511. | +2106. | +2474. | +1152. | +1660. |
| 45.00 | -148. | -136. | -108. | -514. | -560. | -661. | -1448. | -1530. | +1752. | +2480. | +2864. | +1555. | +1943. |
| 50.00 | -162. | -150. | -119. | -545. | -572. | -708. | -1671. | -1797. | +2029. | +2886. | +4162. | +1763. | +2284. |
| 55.00 | -123. | -122. | -114. | -532. | -508. | -726. | -2042. | -2324. | +2312. | +3680. | 0/9+ | +1908. | +2717. |





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

ENSAIO DE VIGA DE ARGAMASSA ARMADA
 MODELO 2/3 DATA: 19/11/91
 DEFORMAÇÕES DOS EXTENSÔMETROS ELÉTRICOS DAS ROSETAS
 ROSETA 1

| F (kN) | ϵ_a ($\mu\epsilon$) | ϵ_b ($\mu\epsilon$) | ϵ_c ($\mu\epsilon$) | ϵ_1 ($\mu\epsilon$) | ϵ_2 ($\mu\epsilon$) | σ_1 (MPa) | σ_2 (MPa) | θ ($^\circ$) |
|-----------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|
| 0.00 | +0. | +0. | +1. | +1. | -0. | +0.0 | +0.0 | U/C |
| 2.53 | +0. | -0. | +2. | +10. | -0. | +0.3 | -0.2 | -48.2 |
| 5.00 | -1. | -22. | +2. | +23. | -22. | +0.6 | -0.6 | -46.8 |
| 2.58 | -1. | -11. | +5. | +15. | -11. | +0.4 | -0.3 | -51.5 |
| 5.00 | -2. | -23. | +5. | +26. | -23. | +0.7 | -0.6 | -48.9 |
| 7.53 | -2. | -39. | +5. | +42. | -39. | +1.1 | -1.0 | -47.4 |
| 10.00 | -2. | -54. | +6. | +58. | -54. | +1.5 | -1.3 | -47.0 |
| 12.53 | -1. | -69. | +8. | +76. | -69. | +1.9 | -1.7 | -46.7 |
| 15.05 | -1. | -86. | +14. | +99. | -87. | +2.6 | -2.1 | -47.2 |
| 20.00 | -15. | -120. | +25. | +132. | -122. | +3.4 | -3.0 | -49.5 |
| 25.00 | -108. | -222. | +25. | +95. | -227. | +1.5 | -6.5 | -52.6 |
| 30.00 | -140. | -291. | -40. | +117. | -297. | +1.8 | -8.6 | -52.0 |
| 35.00 | -182. | -330. | -36. | +123. | -341. | +1.7 | -9.9 | -54.2 |
| 40.00 | -255. | -403. | -25. | +147. | -427. | +1.9 | -12.4 | -56.8 |
| 45.00 | -242. | -501. | -91. | +176. | -510. | +2.3 | -14.8 | -51.4 |
| 50.00 | -267. | -560. | -109. | +192. | -569. | +2.4 | -16.6 | -51.0 |
| 55.00 | -317. | -650. | -132. | +211. | -659. | +2.5 | -19.3 | -51.1 |

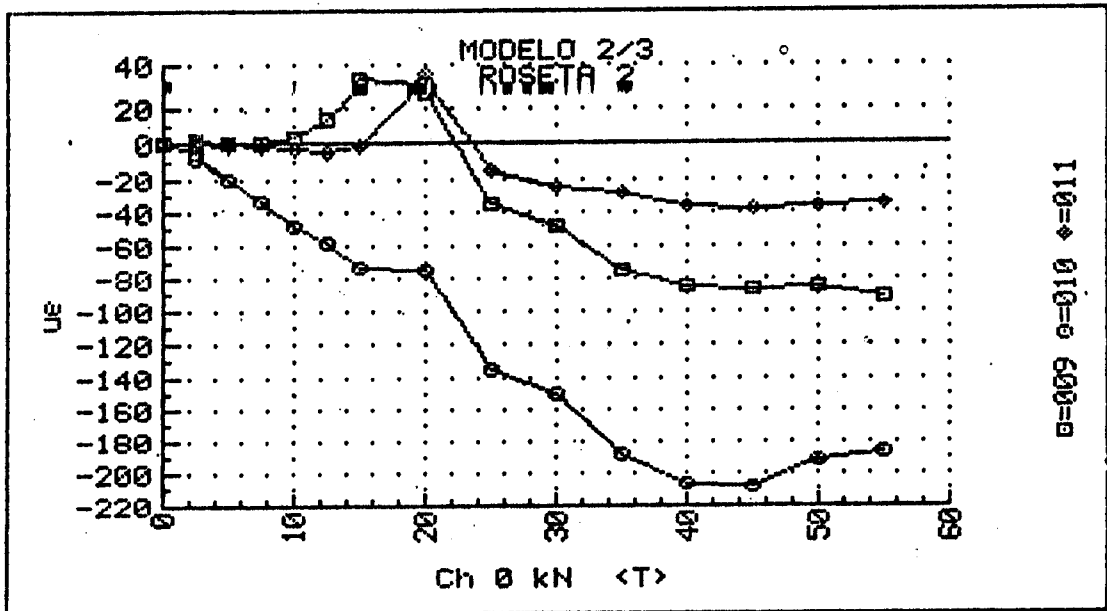
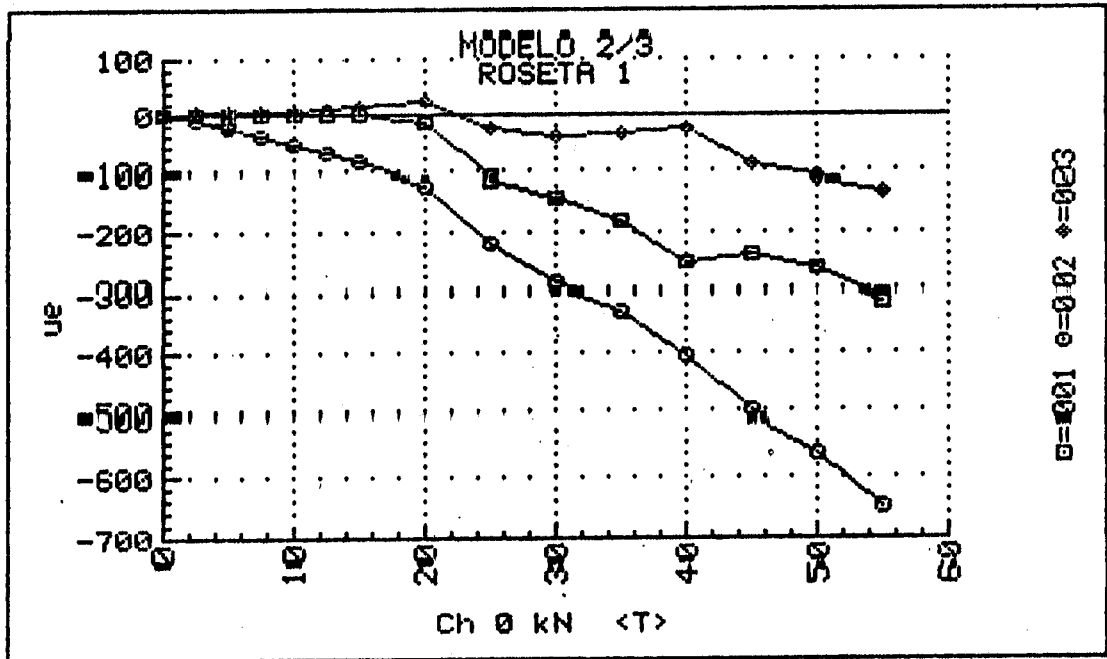
Cálculos feitos com: $E_c = 30.000$ MPa e $\nu = 0,2$
 ϵ_a : horizontal ϵ_b : 45° ϵ_c : vertical
 θ : ângulo entre ϵ_a e ϵ_1 , + no sentido horário a partir de ϵ_a

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

ENSAIO DE VIGA DE ARGAMASSA ARMADA
 MODELO 2/3 DATA: 19/11/91
 DEFORMAÇÕES DOS EXTENSÔMETROS ELÉTRICOS DAS ROSETAS
 ROSETA 2

| F (KN) | ϵ_a ($\mu\epsilon$) | ϵ_b ($\mu\epsilon$) | ϵ_c ($\mu\epsilon$) | ϵ_1 ($\mu\epsilon$) | ϵ_2 ($\mu\epsilon$) | σ_1 (MPa) | σ_2 (MPa) | θ ($^\circ$) |
|-----------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|
| 0.00 | +0. | +0. | +0. | +0. | +0. | +0.0 | +0.0 | U/C |
| 2.53 | +0. | -6. | +0. | +6. | -6. | +0.1 | -0.1 | +45.0 |
| 5.00 | +0. | -19. | -1. | +18. | -19. | +0.5 | -0.5 | -44.3 |
| 2.58 | +1. | -8. | +0. | +9. | -8. | +0.2 | -0.2 | -43.3 |
| 5.00 | +0. | -20. | +0. | +20. | -20. | +0.5 | -0.5 | +45.0 |
| 7.53 | +0. | -34. | -1. | +33. | -34. | +0.8 | -0.9 | -44.6 |
| 10.00 | +3. | -48. | -3. | +48. | -48. | +1.2 | -1.2 | -43.2 |
| 12.53 | +13. | -59. | -5. | +68. | -60. | +1.7 | -1.4 | -41.1 |
| 15.05 | +32. | -73. | -1. | +105. | -74. | +2.8 | -1.7 | -39.7 |
| 20.00 | +28. | -76. | +35. | +139. | -76. | +3.9 | -1.5 | -45.9 |
| 25.00 | -35. | -135. | -15. | +86. | -135. | +1.8 | -3.7 | -47.6 |
| 30.00 | -48. | -149. | -24. | +78. | -150. | +1.5 | -4.2 | -47.9 |
| 35.00 | -75. | -189. | -29. | +87. | -191. | +1.5 | -5.4 | -49.7 |
| 40.00 | -85. | -207. | -36. | +87. | -209. | +1.4 | -6.0 | -49.8 |
| 45.00 | -86. | -208. | -39. | +84. | -209. | +1.3 | -6.0 | -49.7 |
| 50.00 | -85. | -192. | -36. | +73. | -194. | +1.1 | -5.6 | -50.3 |
| 55.00 | -91. | -186. | -35. | +63. | -189. | +0.8 | -5.5 | -51.4 |

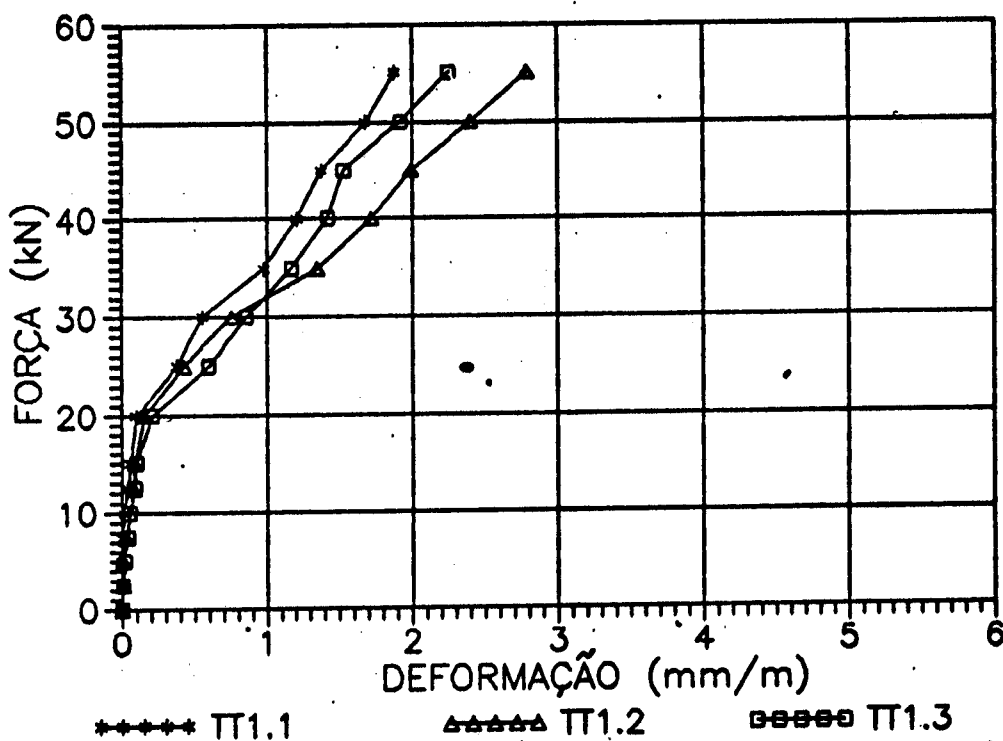
Cálculos feitos com: $E_c = 30.000$ MPa e $\nu = 0,2$
 ϵ_a : horizontal ϵ_b : 45° ϵ_c : vertical
 θ : ângulo entre ϵ_a e ϵ_1 , + no sentido horário a partir de ϵ_a



DEFORMAÇÕES MEDIDAS COM EXTENSÔMETRO MECÂNICO
MESA TRACIONADA - SEÇÃO 1
MODELO 2/3 (mm/m)

| ETAPA | F (kN) | T (°) | TT1.1 | TT1.2 | TT1.3 |
|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
| 0 | 0,00 | 30,50 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1 | 2,50 | 30,50 | 0,00 | 0,01 | 0,01 |
| 2 | 5,00 | 30,50 | 0,00 | 0,01 | 0,02 |
| 1 | 2,50 | 30,50 | 0,00 | 0,01 | 0,01 |
| 2 | 5,00 | 31,00 | 0,00 | 0,01 | 0,02 |
| 3 | 7,50 | 31,00 | 0,01 | 0,03 | 0,04 |
| 4 | 10,00 | 31,00 | 0,02 | 0,06 | 0,06 |
| 5 | 12,50 | 31,00 | 0,04 | 0,08 | 0,09 |
| 6 | 15,00 | 31,00 | 0,06 | 0,09 | 0,10 |
| 7 | 20,00 | 31,00 | 0,10 | 0,16 | 0,21 |
| 8 | 25,00 | 31,00 | 0,38 | 0,43 | 0,60 |
| 9 | 30,00 | 31,00 | 0,56 | 0,76 | 0,86 |
| 10 | 35,00 | 31,00 | 0,98 | 1,35 | 1,17 |
| 11 | 40,00 | 31,00 | 1,21 | 1,72 | 1,42 |
| 12 | 45,00 | 31,00 | 1,38 | 1,99 | 1,53 |
| 13 | 50,00 | 31,00 | 1,68 | 2,40 | 1,92 |
| 14 | 55,00 | 31,00 | 1,88 | 2,79 | 2,25 |

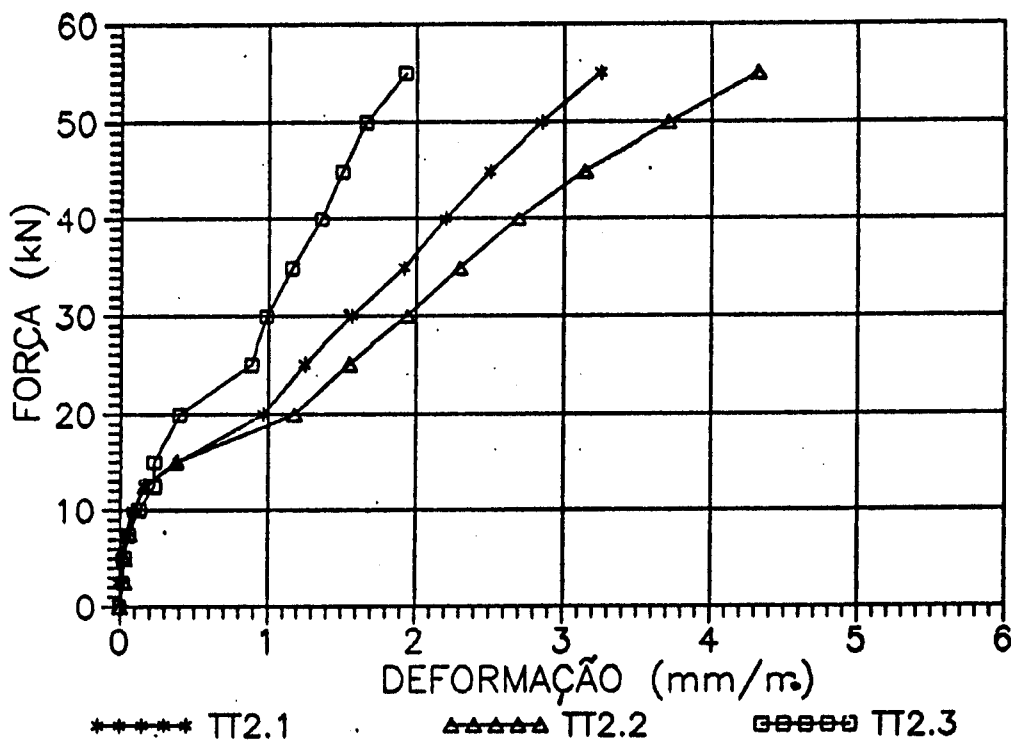
DIAGRAMAS FORÇA - DEFORMAÇÃO
MODELO 2/3- Seção 1
Mesa Tracionada



DEFORMAÇÕES MEDIDAS COM EXTENSÔMETRO MECÂNICO
MESA TRACIONADA - SEÇÃO 2
MODELO 2/3 (mm/m)

| ETAPA | F (kN) | T (°C) | TT2.1 | TT2.2 | TT2.3 |
|-------|--------|--------|-------|-------|-------|
| 0 | 0,00 | 30,50 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1 | 2,50 | 30,50 | 0,00 | 0,02 | 0,01 |
| 2 | 5,00 | 30,50 | 0,01 | 0,03 | 0,04 |
| 1 | 2,50 | 30,50 | 0,00 | 0,03 | 0,02 |
| 2 | 5,00 | 31,00 | 0,01 | 0,03 | 0,03 |
| 3 | 7,50 | 31,00 | 0,04 | 0,06 | 0,06 |
| 4 | 10,00 | 31,00 | 0,08 | 0,10 | 0,13 |
| 5 | 12,50 | 31,00 | 0,17 | 0,17 | 0,23 |
| 6 | 15,00 | 31,00 | 0,39 | 0,38 | 0,23 |
| 7 | 20,00 | 31,00 | 0,97 | 1,18 | 0,40 |
| 8 | 25,00 | 31,00 | 1,25 | 1,55 | 0,89 |
| 9 | 30,00 | 31,00 | 1,57 | 1,94 | 0,99 |
| 10 | 35,00 | 31,00 | 1,92 | 2,30 | 1,16 |
| 11 | 40,00 | 31,00 | 2,20 | 2,69 | 1,36 |
| 12 | 45,00 | 31,00 | 2,50 | 3,14 | 1,50 |
| 13 | 50,00 | 31,00 | 2,85 | 3,71 | 1,66 |
| 14 | 55,00 | 31,00 | 3,25 | 4,32 | 1,93 |

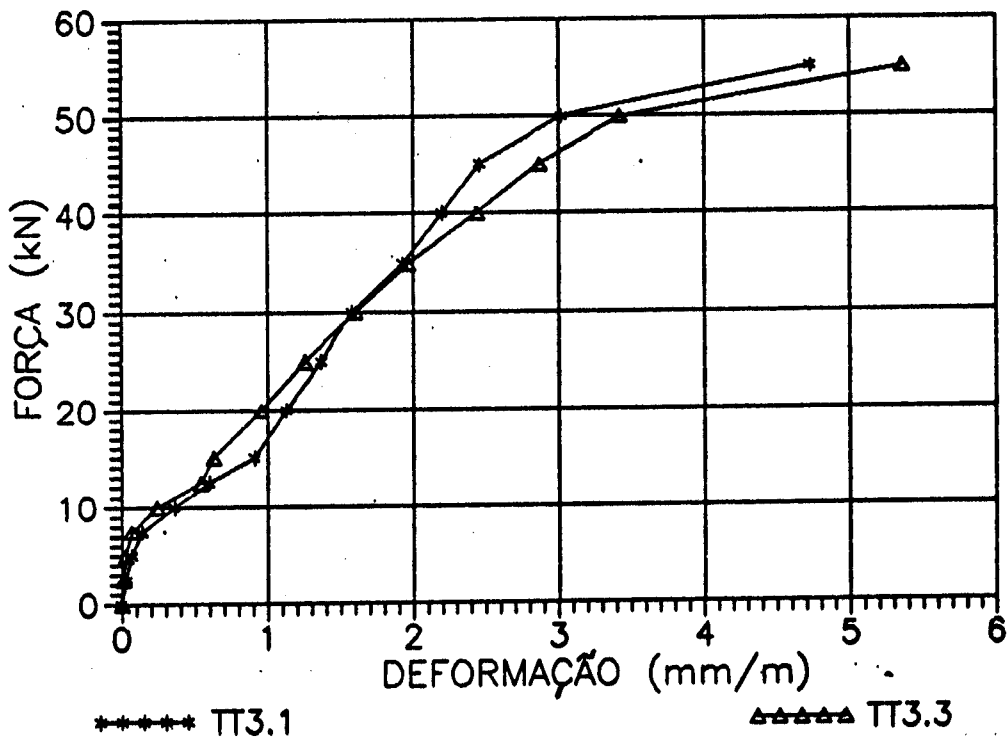
DIAGRAMAS FORÇA - DEFORMAÇÃO
MODELO 2/3 - Seção 2
Mesa Tracionada



DEFORMAÇÕES MEDIDAS COM EXTENSÔMETRO MECÂNICO
MESA TRACIONADA - SEÇÃO 3
MODELO 2/3 (mm/m)

| ETAPA | F (kN) | T (°C) | TT3.1 | TT3.3 |
|-------|--------|--------|-------|-------|
| 0 | 0,00 | 30,50 | 0,00 | 0,00 |
| 1 | 2,50 | 30,50 | 0,02 | 0,01 |
| 2 | 5,00 | 30,50 | 0,08 | 0,03 |
| 1 | 2,50 | 30,50 | 0,03 | 0,01 |
| 2 | 5,00 | 31,00 | 0,07 | 0,03 |
| 3 | 7,50 | 31,00 | 0,14 | 0,07 |
| 4 | 10,00 | 31,00 | 0,36 | 0,24 |
| 5 | 12,50 | 31,00 | 0,60 | 0,54 |
| 6 | 15,00 | 31,00 | 0,91 | 0,63 |
| 7 | 20,00 | 31,00 | 1,13 | 0,96 |
| 8 | 25,00 | 31,00 | 1,37 | 1,26 |
| 9 | 30,00 | 31,00 | 1,58 | 1,61 |
| 10 | 35,00 | 31,00 | 1,93 | 1,97 |
| 11 | 40,00 | 31,00 | 2,20 | 2,44 |
| 12 | 45,00 | 31,00 | 2,46 | 2,87 |
| 13 | 50,00 | 31,00 | 3,02 | 3,42 |
| 14 | 55,00 | 31,00 | 4,73 | 5,36 |

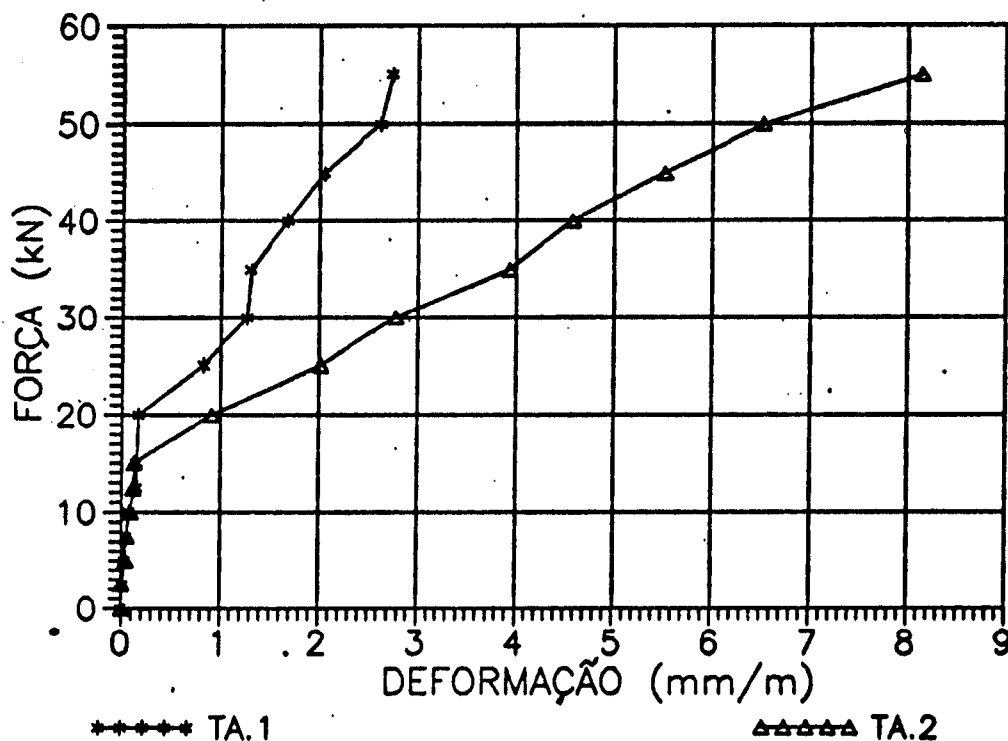
DIAGRAMAS FORÇA - DEFORMAÇÃO
MODELO 2/3 - Seção 3
Mesa Tracionada



DEFORMAÇÕES MEDIDAS COM EXTENSÔMETRO
MECÂNICO NA ALMA
MODELO 2/3 (mm/m)

| ETAPA | F (kN) | T (°C) | TA.1 | TA.2 |
|-------|--------|--------|------|------|
| 0 | 0,00 | 30,50 | 0,00 | 0,00 |
| 1 | 2,50 | 30,50 | 0,00 | 0,00 |
| 2 | 5,00 | 30,50 | 0,03 | 0,03 |
| 1 | 2,50 | 30,50 | 0,01 | 0,00 |
| 2 | 5,00 | 31,00 | 0,03 | 0,04 |
| 3 | 7,50 | 31,00 | 0,05 | 0,05 |
| 4 | 10,00 | 31,00 | 0,08 | 0,09 |
| 5 | 12,50 | 31,00 | 0,15 | 0,12 |
| 6 | 15,00 | 31,00 | 0,15 | 0,13 |
| 7 | 20,00 | 31,00 | 0,17 | 0,91 |
| 8 | 25,00 | 31,00 | 0,83 | 2,02 |
| 9 | 30,00 | 31,00 | 1,27 | 2,78 |
| 10 | 35,00 | 31,00 | 1,31 | 3,94 |
| 11 | 40,00 | 31,00 | 1,68 | 4,58 |
| 12 | 45,00 | 31,00 | 2,05 | 5,52 |
| 13 | 50,00 | 31,00 | 2,62 | 6,52 |
| 14 | 55,00 | 31,00 | 2,74 | 8,14 |

DIAGRAMAS FORÇA - DEFORMAÇÃO
MODELO 2/3 - ALMA

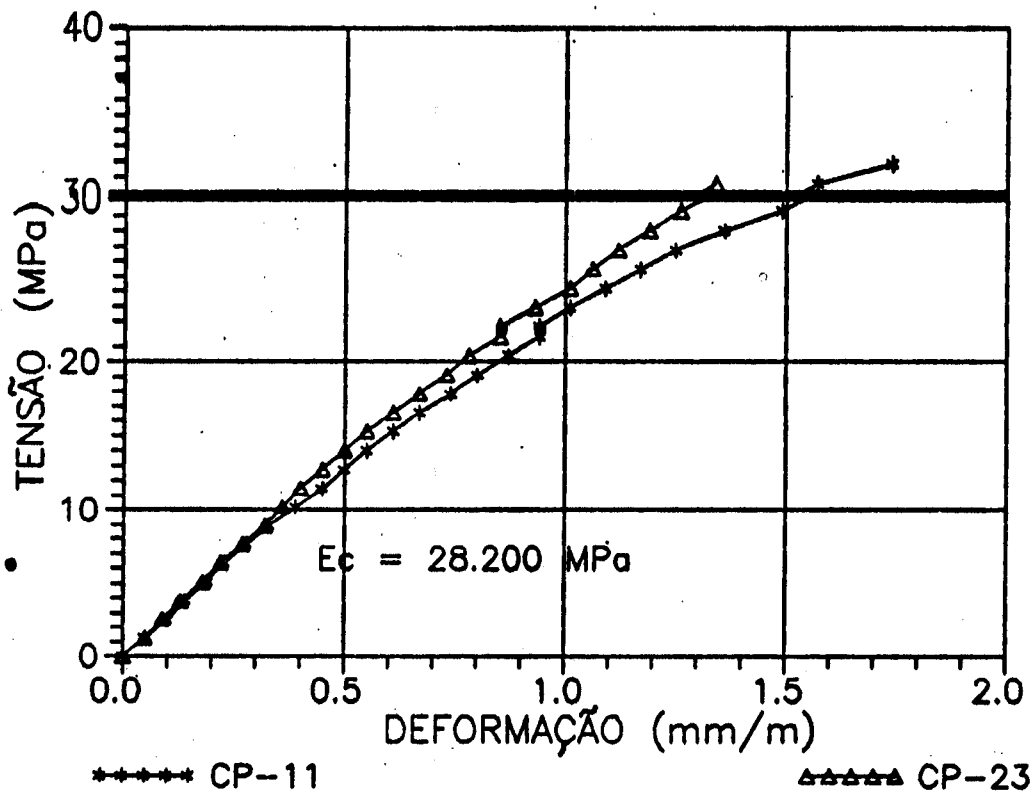


**RESULTADOS DOS ENSAIOS DOS CORPOS-DE-PROVA DE ARGAMASSA
MODELO 2/3**

| IDADE | RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO (MPa) | | | RESISTÊNCIA A TRAÇÃO (MPa) | | |
|---------------------|--------------------------------|--------|---------|----------------------------|--------|---------|
| | 1 DIA | 3 DIAS | 10 DIAS | 1 DIA | 3 DIAS | 10 DIAS |
| | 16,6 | 28,8 | 37,7 | 1,4 | 2,2 | 3,1 |
| | 15,9 | 26,7 | 32,3 | 1,5 | 2,3 | 3,4 |
| | 16,6 | 28,8 | 36,9 | 1,6 | 2,2 | 2,8 |
| | 15,9 | 28,0 | 31,3 | 1,4 | 2,2 | 3,4 |
| MÉDIA | 16,2 | 28,1 | 34,6 | 1,5 | 2,2 | 3,2 |
| DESVIO MÁXIMO | 0,3 | 1,3 | 3,2 | 0,2 | 0,1 | 0,3 |
| DESVIO MAX. % | 2,0 | 4,8 | 9,4 | 11,6 | 5,5 | 10,6 |
| DES. MAX. ADMISS. | 0,4 | 1,1 | 3,7 | 0,1 | 0,1 | 0,3 |
| DESVIO PADRÃO | 0,4 | 1,0 | 3,2 | 0,1 | 0,1 | 0,3 |
| COEF. % VARIACÃO | 2,3 | 3,4 | 9,3 | 8,9 | 3,7 | 8,1 |
| INTERVALO CONF. 95% | 15,6 | 26,5 | 29,5 | 1,2 | 2,1 | 2,8 |
| | 16,8 | 29,6 | 39,7 | 1,7 | 2,3 | 3,6 |

DIAGRAMAS TENSÃO - DEFORMAÇÃO

Modelo 2/3



ESPAÇAMENTOS ENTRE FISSURAS NA MESA TRACIONADA
VALORES MÉDIOS (mm) MODELO 2/3

| ETAPA | F (kN) | TA1 | TA2 | TA3 | TB | TC3 | TC2 | TC1 |
|-------|--------|------|------|------|-------|------|------|------|
| 0 | 0,0 | | | | | | | |
| 1 | 2,5 | | | | | | | |
| 2 | 5,0 | | | | | | | |
| 3 | 7,5 | | | | | | | |
| 4 | 10,0 | | | | | | | |
| 5 | 12,5 | | | | 106,8 | | | |
| 6 | 15,0 | | | | 62,3 | | | |
| 7 | 20,0 | | 50,0 | 40,0 | 48,2 | 55,0 | | |
| 8 | 25,0 | | 33,3 | 40,0 | 38,3 | 50,0 | 62,5 | |
| 9 | 30,0 | | 33,3 | 40,0 | 28,8 | 48,3 | 50,0 | |
| 10 | 35,0 | | 33,3 | 29,0 | 28,8 | 25,0 | 31,3 | |
| 11 | 40,0 | 70,0 | 31,7 | 29,0 | 24,1 | 25,0 | 31,3 | 47,5 |
| 12 | 45,0 | 47,5 | 31,3 | 29,0 | 22,7 | 25,0 | 22,7 | 47,5 |
| 13 | 50,0 | 47,5 | 20,8 | 25,0 | 22,3 | 25,0 | 20,8 | 47,5 |
| 14 | 55,0 | 43,5 | 20,8 | 25,0 | 21,7 | 25,0 | 20,8 | 47,5 |
| RUINA | 57,0 | 43,5 | 20,8 | 25,0 | 21,7 | 25,0 | 20,8 | 47,5 |

ESPAÇAMENTOS ENTRE FISSURAS NA ALMA
VALORES MÉDIOS (mm) MODELO 2/3

| ETAPA | F (kN) | AA1 | AA2 | AA3 | AB | AC3 | AC2 | AC1 |
|-------|--------|------|------|------|-------|-------|------|------|
| 0 | 0,0 | | | | | | | |
| 1 | 2,5 | | | | | | | |
| 2 | 5,0 | | | | | | | |
| 3 | 7,5 | | | | | | | |
| 4 | 10,0 | | | | | | | |
| 5 | 12,5 | | | | | | | |
| 6 | 15,0 | | | | 124,6 | 130,0 | | |
| 7 | 20,0 | | | 70,0 | 74,8 | 130,0 | | |
| 8 | 25,0 | | | 36,7 | 65,0 | 66,7 | 83,3 | |
| 9 | 30,0 | | 40,0 | 36,7 | 59,8 | 66,7 | 62,5 | |
| 10 | 35,0 | | 40,0 | 27,5 | 57,5 | 40,0 | 50,0 | |
| 11 | 40,0 | 60,0 | 40,0 | 22,0 | 51,6 | 40,0 | 35,7 | |
| 12 | 45,0 | 55,0 | 40,0 | 22,0 | 44,0 | 40,0 | 35,7 | |
| 13 | 50,0 | 55,0 | 40,0 | 22,0 | 41,5 | 40,0 | 35,7 | 62,5 |
| 14 | 55,0 | 55,0 | 40,0 | 22,0 | 41,5 | 33,3 | 35,7 | 62,5 |
| RUINA | 57,0 | 55,0 | 40,0 | 22,0 | 41,5 | 33,3 | 35,7 | 62,5 |

VALORES DAS ABERTURAS DE FISSURAS (mm) - MESA TRACIONADA

MODELO 2/3

| ETAPA | FORÇA(kN) | TA1 | TA2 | TA3 | TB | TC3 | TC2 | TC1 |
|-------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 0,00 | | | | | | | |
| 1 | 2,50 | | | | | | | |
| 2 | 5,00 | | | | | | | |
| 3 | 7,50 | | | | | | | |
| 4 | 10,00 | | | | | | | |
| 5 | 12,50 | | | | 0,02 | | | |
| 6 | 15,00 | | | 0,06 | 0,03 | 0,04 | | |
| 7 | 20,00 | | 0,04 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,05 | |
| 8 | 25,00 | | 0,04 | 0,07 | 0,07 | 0,06 | 0,06 | |
| 9 | 30,00 | 0,06 | 0,05 | 0,07 | 0,09 | 0,08 | 0,09 | 0,04 |
| 10 | 35,00 | 0,08 | 0,05 | 0,08 | 0,10 | 0,09 | 0,10 | 0,05 |
| 11 | 40,00 | 0,10 | 0,06 | 0,10 | 0,10 | 0,09 | 0,10 | 0,06 |
| 12 | 45,00 | 0,10 | 0,08 | 0,10 | 0,11 | 0,10 | 0,12 | 0,06 |
| 13 | 50,00 | 0,11 | 0,08 | 0,11 | 0,12 | 0,10 | 0,12 | 0,06 |
| 14 | 55,00 | 0,11 | 0,08 | 0,12 | 0,14 | 0,14 | 0,12 | 0,07 |

VALORES DAS ABERTURAS DE FISSURAS (mm) - ALMA

MODELO 2/3

| ETAPA | FORÇA(kN) | AA1 | AA2 | AA3 | AB | AC3 | AC2 | AC1 |
|-------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 0,00 | | | | | | | |
| 1 | 2,50 | | | | | | | |
| 2 | 5,00 | | | | | | | |
| 3 | 7,50 | | | | | | | |
| 4 | 10,00 | | | | | | | |
| 5 | 12,50 | | | | 0,03 | | | |
| 6 | 15,00 | | | 0,02 | 0,04 | 0,07 | | |
| 7 | 20,00 | | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,14 | 0,09 | |
| 8 | 25,00 | 0,11 | 0,14 | 0,09 | 0,06 | 0,17 | 0,15 | 0,09 |
| 9 | 30,00 | 0,16 | 0,18 | 0,11 | 0,07 | 0,19 | 0,19 | 0,13 |
| 10 | 35,00 | 0,18 | 0,20 | 0,13 | 0,09 | 0,24 | 0,25 | 0,17 |
| 11 | 40,00 | 0,20 | 0,23 | 0,17 | 0,12 | 0,26 | 0,27 | 0,20 |
| 12 | 45,00 | 0,22 | 0,28 | 0,19 | 0,14 | 0,33 | 0,35 | 0,25 |
| 13 | 50,00 | 0,25 | 0,40 | 0,20 | 0,16 | 0,38 | 0,50 | 0,28 |
| 14 | 55,00 | 0,35 | 0,53 | 0,25 | 0,23 | 0,43 | 0,90 | 0,30 |

INCLINAÇÕES DAS FISSURAS E DAS TENSÕES PRINCIPAIS DE
COMPRESSÃO NO CENTRO DE GRAVIDADE ■ MODELO 2/3

| ETAPA | FORÇA (kN) | SEÇÃO 1 | | SEÇÃO 2 | |
|-------|---------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| | | θ (°) | β (°) | θ (°) | β (°) |
| 1 | 2,5 | | 38,5 | | 46,7 |
| 2 | 5,0 | | 41,1 | | 46,7 |
| 3 | 7,5 | | 42,6 | | 45,4 |
| 4 | 10,0 | | 43,0 | | 46,8 |
| 5 | 12,5 | | 43,3 | | 48,9 |
| 6 | 15,0 | | 42,8 | 60,0 | 50,3 |
| 7 | 20,0 | 55,0 | 40,5 | 47,5 | 44,1 |
| 8 | 25,0 | 37,5 | 37,6 | 51,0 | 42,4 |
| 9 | 30,0 | 35,0 | 38,0 | 38,5 | 42,1 |
| 10 | 35,0 | 38,0 | 35,8 | 30,0 | 40,3 |
| 11 | 40,0 | 35,0 | 33,2 | 32,0 | 40,2 |
| 12 | 45,0 | 42,0 | 38,6 | 36,0 | 40,3 |
| 13 | 50,0 | 34,0 | 39,0 | 34,0 | 39,7 |
| 14 | 55,0 | 33,0 | 38,9 | 48,0 | 38,6 |
| MÉDIA | - | 38,7 | 39,5 | 41,9 | 43,8 |

θ = inclinação das fissuras

β = inclinação da tensão principal de compressão

A1.10 - MODELO 3/1

MOLDAGEM: 08/10/91

ENSAIO: 15/10/91

TIPO DE RUPTURA: CISCALHAMENTO
TRAÇÃO NA ARMADURA TRANSVERSAL

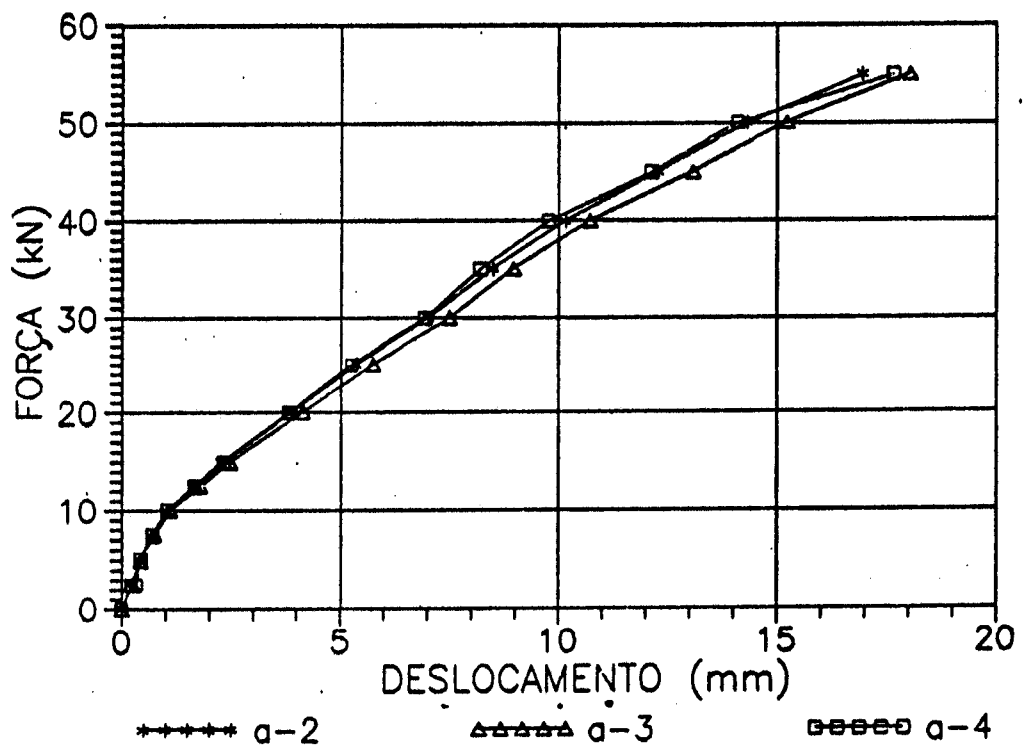
FORÇA CORTANTE ÚLTIMA: 60 kN

DESLOCAMENTOS VERTICAIS - MODELO 3/1
(mm)

| ETAPA | HORA | FORÇA (kN) | v2 | v3 | v4 |
|-------|-------|------------|-------|-------|-------|
| 0 | 14h16 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1 | 14h19 | 2,50 | 0,20 | 0,20 | 0,22 |
| 2 | 14h21 | 5,00 | 0,42 | 0,43 | 0,43 |
| 1 | 14h23 | 2,50 | 0,24 | 0,26 | 0,33 |
| 2 | 14h26 | 5,00 | 0,43 | 0,44 | 0,44 |
| 3 | 14h29 | 7,50 | 0,68 | 0,75 | 0,70 |
| 4 | 14h34 | 10,00 | 1,03 | 1,11 | 1,04 |
| 5 | 14h39 | 12,50 | 1,64 | 1,78 | 1,67 |
| 6 | 14h46 | 15,00 | 2,27 | 2,47 | 2,33 |
| 7 | 14h55 | 20,00 | 3,87 | 4,14 | 3,82 |
| 8 | 15h07 | 25,00 | 5,37 | 5,74 | 5,26 |
| 9 | 15h28 | 30,00 | 7,01 | 7,49 | 6,94 |
| 10 | 15h44 | 35,00 | 8,49 | 8,96 | 8,20 |
| 11 | 16h02 | 40,00 | 10,16 | 10,71 | 9,76 |
| 12 | 16h16 | 45,00 | 12,28 | 13,06 | 12,13 |
| 13 | 16h29 | 50,00 | 14,31 | 15,21 | 14,10 |
| 14 | 16h43 | 55,00 | 16,95 | 18,02 | 17,66 |

DISTÂNCIA APOIO ESQUERDO 1045,00 1447,50 1850,00

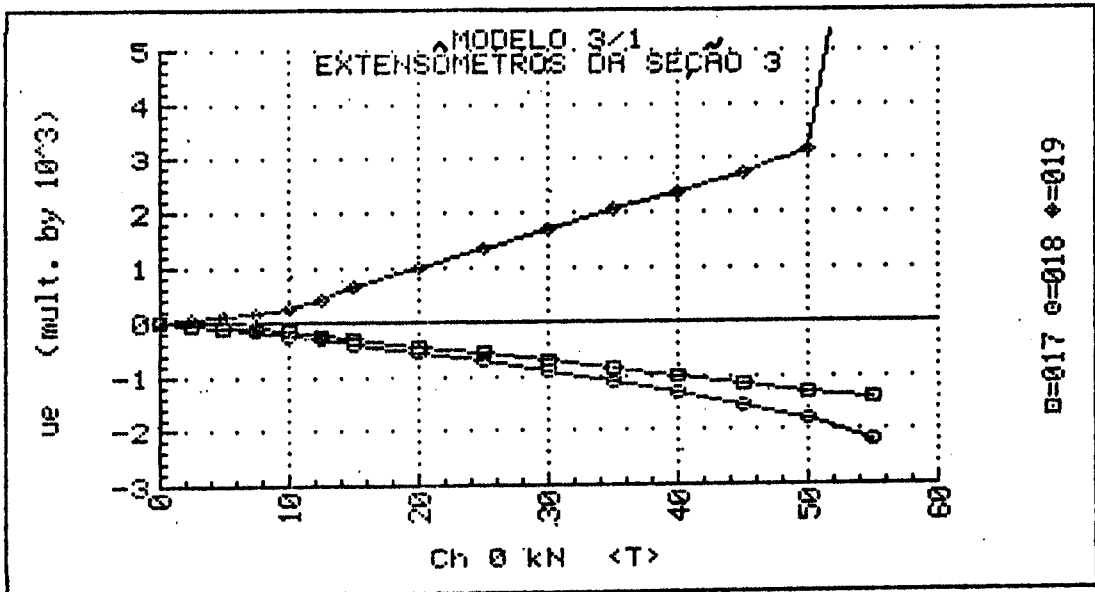
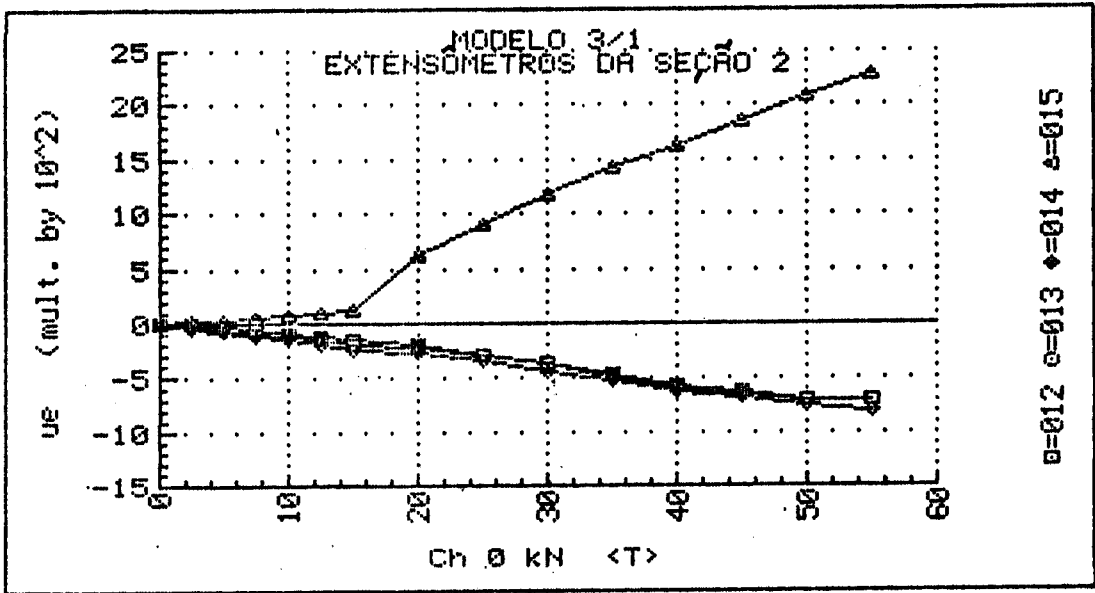
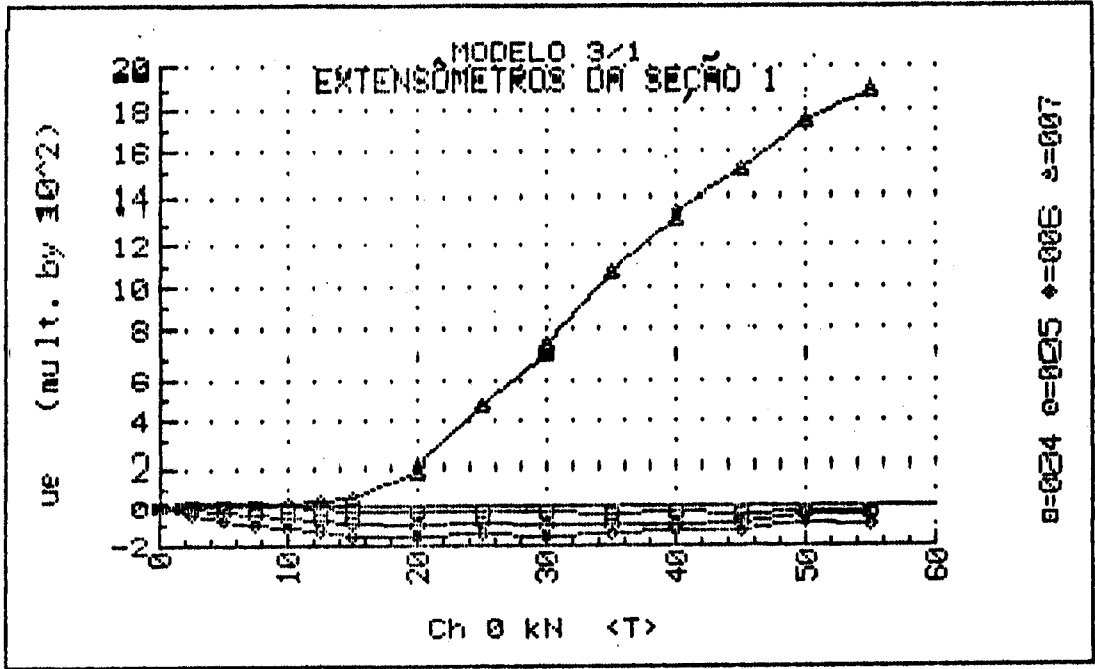
DIAGRAMAS FORÇA - DESLOCAMENTO
MODELO 3/1



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

ENSAIO DE VIGA DE ARGAMASSA ARMADA
 MODELO 3/1 DATA: 15/10/91
 DEFORMAÇÕES DOS EXTENSÔMETROS ELETRICOS UNIAXIAIS

| F (KN) | EC 1.1 (μE) | EC 1.2 (μE) | EC 1.3 (μE) | EC 2.1 (μE) | EC 2.2 (μE) | EC 2.3 (μE) | EC 3.1 (μE) | EC 3.3 (μE) | ES 1 (μE) | ES 2 (μE) | ES 3 (μE) |
|-----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 0.00 | +0. | +1. | +1. | +1. | +0. | +0. | +0. | +0. | +0. | +1. | +1. |
| 2.47 | +17. | -12. | -39. | -12. | -28. | -43. | -37. | -48. | +6. | +17. | +39. |
| 5.00 | +18. | -27. | -68. | -35. | -58. | -80. | -77. | -100. | +13. | +34. | +80. |
| 2.53 | +18. | -12. | -41. | -12. | -31. | -46. | -41. | -56. | +8. | +20. | +48. |
| 5.00 | +18. | -27. | -68. | -36. | -59. | -81. | -80. | -103. | +13. | +34. | +81. |
| 7.53 | +14. | -43. | -94. | -62. | -90. | -119. | -124. | -161. | +21. | +52. | +135. |
| 10.00 | +7. | -58. | -116. | -90. | -123. | -160. | -174. | -233. | +30. | +72. | +265. |
| 12.47 | -8. | -75. | -133. | -120. | -155. | -201. | -242. | -314. | +41. | +95. | +414. |
| 15.00 | -23. | -93. | -151. | -159. | -191. | -240. | -310. | -398. | +51. | +126. | +665. |
| 20.00 | -27. | -94. | -150. | -208. | -221. | -280. | -438. | -557. | +181. | +620. | +1011. |
| 25.00 | -23. | -86. | -144. | -289. | -288. | -360. | -572. | -722. | +465. | +897. | +1352. |
| 30.00 | -35. | -98. | -150. | -384. | -386. | -450. | -715. | -903. | +733. | +1178. | +1679. |
| 35.00 | -40. | -98. | -144. | -478. | -507. | -534. | -862. | -1091. | +1070. | +1427. | +2026. |
| 40.05 | -34. | -94. | -129. | -573. | -611. | -623. | -1021. | -1312. | +1325. | +1635. | +2365. |
| 45.05 | -42. | -89. | -122. | -634. | -648. | -687. | -1161. | -1532. | +1519. | +1862. | +2716. |
| 50.00 | -25. | -45. | -93. | -692. | -688. | -758. | -1294. | -1809. | +1746. | +2074. | +3154. |
| 55.00 | -35. | -48. | -95. | -709. | -698. | -794. | -1424. | -2219. | +1907. | +2264. | +9499. |



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

ENSAIO DE VIGA DE ARGAMASSA ARMADA
 MODELO 3/1 DATA: 15/10/91
 DEFORMAÇÕES DOS EXTENSÔMETROS ELÉTRICOS DAS ROSETAS
 ROSETA 1

| F (kN) | ϵ_a ($\mu\epsilon$) | ϵ_b ($\mu\epsilon$) | ϵ_c ($\mu\epsilon$) | ϵ_1 ($\mu\epsilon$) | ϵ_2 ($\mu\epsilon$) | σ_1 (MPa) | σ_2 (MPa) | α ($^\circ$) |
|-----------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|
| 0.00 | +0. | +1. | +1. | +1. | -0. | +0.0 | +0.0 | U/C |
| 2.47 | +3. | +6. | +1. | +6. | -2. | +0.2 | -0.0 | U/C |
| 5.00 | +4. | +3. | +4. | +5. | +3. | +0.2 | +0.1 | U/C |
| 2.53 | +3. | +9. | +3. | +9. | -3. | +0.3 | -0.0 | U/C |
| 5.00 | +4. | +3. | +4. | +5. | +3. | +0.2 | +0.1 | U/C |
| 7.53 | +3. | -3. | +8. | +14. | -3. | +0.4 | -0.0 | U/C |
| 10.00 | +3. | -12. | +14. | +29. | -12. | +0.8 | -0.2 | -52.5 |
| 12.47 | +0. | -24. | +21. | +47. | -26. | +1.3 | -0.5 | -53.5 |
| 15.00 | -3. | -37. | +28. | +64. | -39. | +1.8 | -0.8 | -53.7 |
| 20.00 | -50. | -84. | +20. | +63. | -93. | +1.4 | -2.5 | -58.5 |
| 25.00 | -72. | -174. | -26. | +79. | -177. | +1.4 | -5.0 | -50.1 |
| 30.00 | -116. | -245. | -2. | +136. | -254. | +2.7 | -7.1 | -53.5 |
| 35.00 | -194. | -331. | +3. | +159. | -350. | +2.8 | -10.0 | -56.4 |
| 40.05 | -315. | -424. | -9. | +141. | -465. | +1.5 | -13.7 | -60.2 |
| 45.05 | -362. | -561. | -58. | +173. | -593. | +1.7 | -17.4 | -56.7 |
| 50.00 | -421. | -688. | -96. | +201. | -718. | +1.8 | -21.2 | -55.3 |
| 55.00 | -501. | -835. | -118. | +249. | -868. | +2.4 | -25.6 | -55.0 |

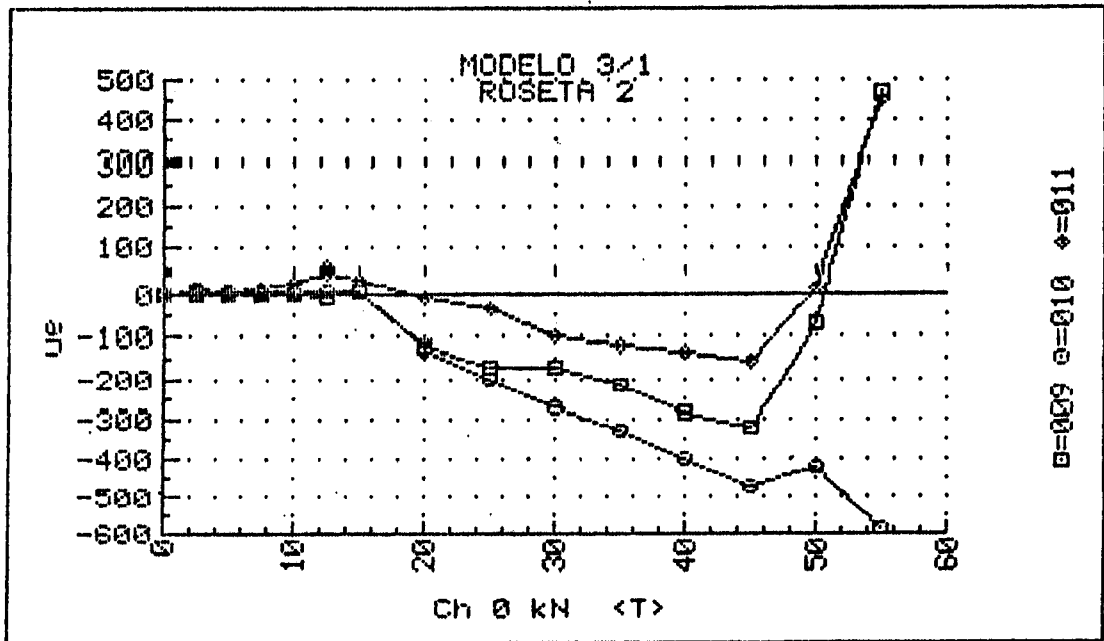
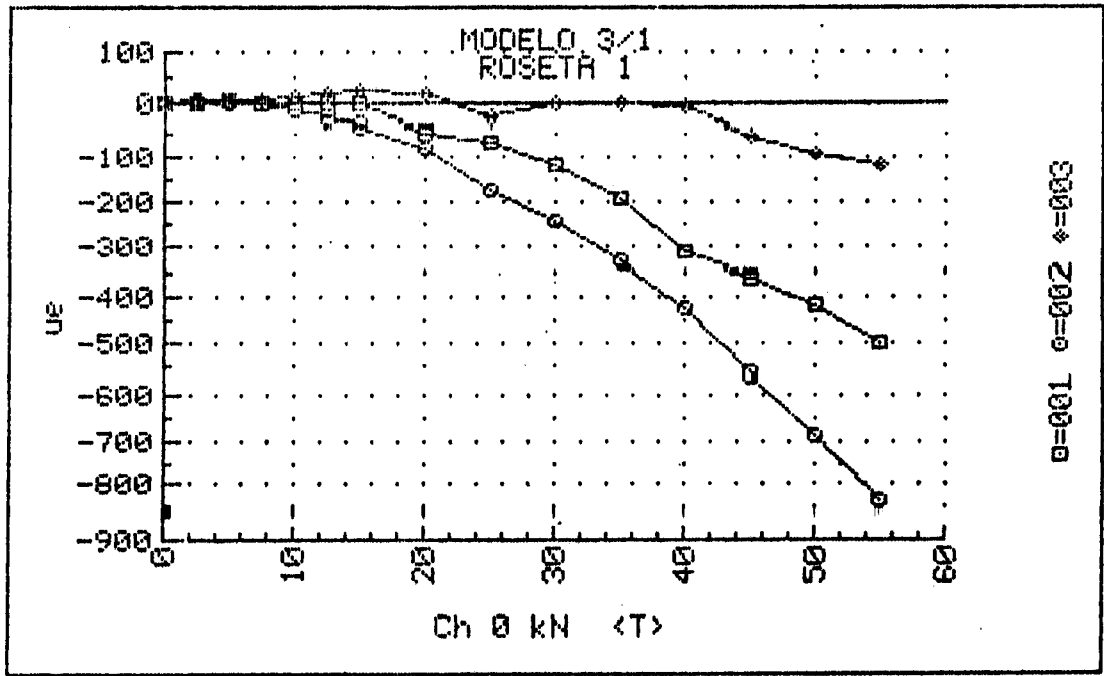
Cálculos feitos com: $E_c = 30.000$ MPa e $\nu = 0,2$
 ϵ_a : horizontal ϵ_b : 45° ϵ_c : vertical
 α : ângulo entre ϵ_a e ϵ_1 , + no sentido horário a partir de ϵ_a .

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

ENSAIO DE VIGA DE ARGAMASSA ARMADA
 MODELO 3/1 DATA: 15/10/91
 DEFORMAÇÕES DOS EXTENSÔMETROS ELÉTRICOS DAS ROSETAS
 ROSETA 2

| F (kN) | ϵ_a ($\mu\epsilon$) | ϵ_b ($\mu\epsilon$) | ϵ_c ($\mu\epsilon$) | ϵ_1 ($\mu\epsilon$) | ϵ_2 ($\mu\epsilon$) | σ_1 (MPa) | σ_2 (MPa) | θ ($^\circ$) |
|-----------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|
| 0.00 | +0. | +0. | +0. | +0. | +0. | +0.0 | +0.0 | U/C |
| 2.47 | +1. | +10. | +2. | +10. | -7. | +0.3 | -0.2 | +46.7 |
| 5.00 | +0. | +10. | +5. | +10. | -5. | +0.3 | -0.1 | +54.2 |
| 2.53 | +2. | +13. | +4. | +13. | -7. | +0.4 | -0.1 | +47.9 |
| 5.00 | +0. | +10. | +5. | +10. | -5. | +0.3 | -0.1 | +54.2 |
| 7.53 | -2. | +7. | +12. | +12. | -2. | +0.4 | +0.0 | U/C |
| 10.00 | -2. | +5. | +28. | +30. | -4. | +0.9 | +0.1 | U/C |
| 12.47 | -4. | +8. | +48. | +52. | -8. | +1.6 | +0.1 | -75.5 |
| 15.00 | +6. | +7. | +34. | +39. | +1. | +1.2 | +0.3 | U/C |
| 20.00 | -124. | -126. | -8. | +18. | -150. | -0.4 | -4.6 | -67.0 |
| 25.00 | -169. | -200. | -36. | +16. | -220. | -0.9 | -6.8 | -62.2 |
| 30.00 | -175. | -269. | -102. | -2. | -274. | -1.8 | -8.6 | U/C |
| 35.00 | -211. | -326. | -121. | -1. | -332. | -2.1 | -10.4 | U/C |
| 40.05 | -283. | -403. | -134. | +0. | -417. | -2.6 | -13.0 | U/C |
| 45.05 | -324. | -470. | -154. | +7. | -485. | -2.8 | -15.1 | -55.1 |
| 50.00 | -74. | -422. | +15. | +365. | -424. | +8.8 | -11.0 | -48.2 |
| 55.00 | +474. | -588. | +451. | +1514. | -589. | +43.6 | -8.9 | -44.7 |

Cálculos feitos com: $E_c = 30.000$ MPa e $\nu = 0,2$
 ϵ_a : horizontal ϵ_b : 45° ϵ_c : vertical
 α : ângulo entre ϵ_a e ϵ_1 , + no sentido horário a partir de ϵ_a



DEFORMAÇÕES MEDIDAS COM EXTENSÔMETRO MECÂNICO

MESA TRACIONADA - SEÇÃO 1

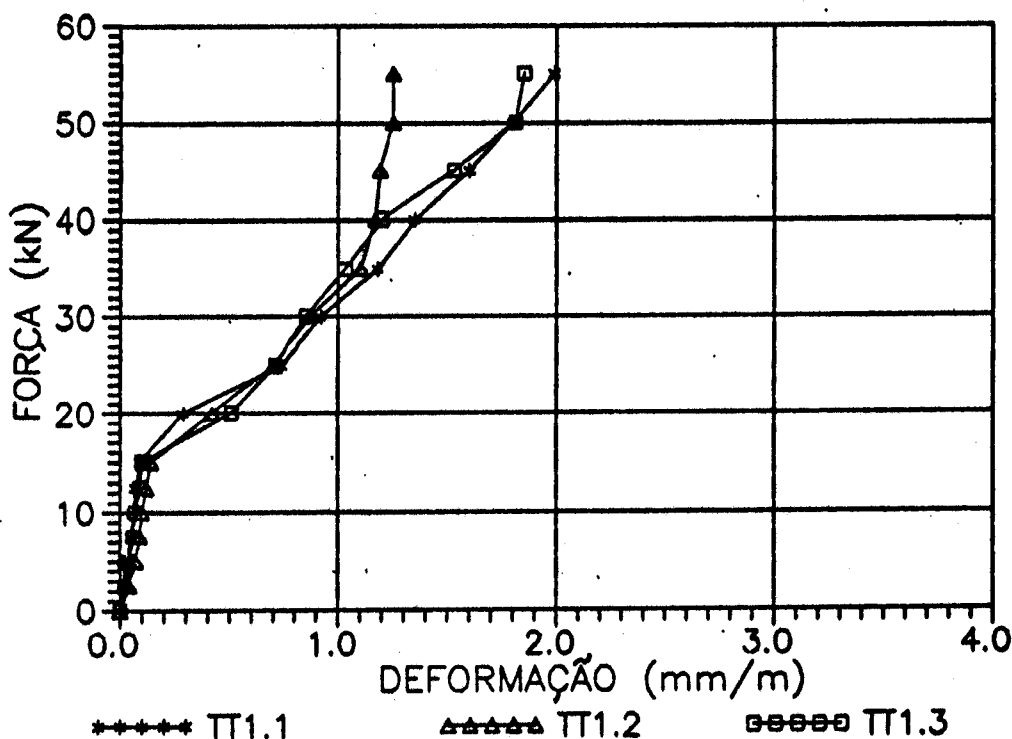
MODELO 3/1 (mm/m)

| ETAPA | F (kN) | T (°C) | TT1.1 | TT1.2 | TT1.3 |
|-------|--------|--------|-------|-------|-------|
| 0 | 0,00 | 28,50 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1 | 2,50 | 28,50 | 0,02 | 0,04 | 0,02 |
| 2 | 5,00 | 28,50 | 0,02 | 0,04 | 0,02 |
| 1 | 2,50 | 28,50 | 0,03 | 0,04 | 0,02 |
| 2 | 5,00 | 28,50 | 0,03 | 0,07 | 0,04 |
| 3 | 7,50 | 28,50 | 0,05 | 0,09 | 0,06 |
| 4 | 10,00 | 28,50 | 0,06 | 0,10 | 0,07 |
| 5 | 12,50 | 28,50 | 0,07 | 0,12 | 0,09 |
| 6 | 15,00 | 28,50 | 0,09 | 0,14 | 0,10 |
| 7 | 20,00 | 28,50 | 0,29 | 0,42 | 0,51 |
| 8 | 25,00 | 28,50 | 0,74 | 0,70 | 0,71 |
| 9 | 30,00 | 28,50 | 0,92 | 0,87 | 0,85 |
| 10 | 35,00 | 28,50 | 1,18 | 1,10 | 1,03 |
| 11 | 40,00 | 28,50 | 1,35 | 1,17 | 1,20 |
| 12 | 45,00 | 28,50 | 1,60 | 1,19 | 1,53 |
| 13 | 50,00 | 28,50 | 1,80 | 1,25 | 1,81 |
| 14 | 55,00 | 28,00 | 1,99 | 1,25 | 1,85 |

DIAGRAMAS FORÇA - DEFORMAÇÃO

MODELO 3/1 - Seção 1

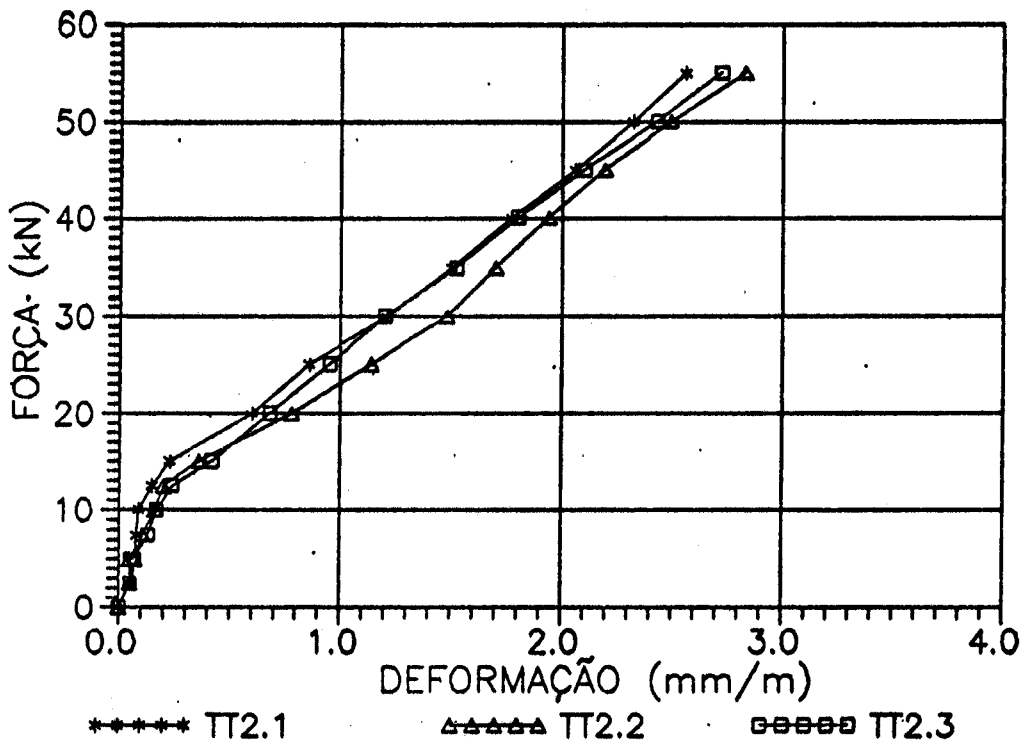
Mesa Tracionada



DEFORMAÇÕES MEDIDAS COM EXTENSÔMETRO MECÂNICO
MESA TRACIONADA - SEÇÃO 2
MODELO 3/1 (mm/m)

| ETAPA | F (kN) | T (°C) | TT2.1 | TT2.2 | TT2.3 |
|-------|--------|--------|-------|-------|-------|
| 0 | 0,00 | 28,50 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1 | 2,50 | 28,50 | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| 2 | 5,00 | 28,50 | 0,06 | 0,05 | 0,05 |
| 1 | 2,50 | 28,50 | 0,06 | 0,05 | 0,05 |
| 2 | 5,00 | 28,50 | 0,07 | 0,07 | 0,07 |
| 3 | 7,50 | 28,50 | 0,08 | 0,11 | 0,13 |
| 4 | 10,00 | 28,50 | 0,09 | 0,16 | 0,17 |
| 5 | 12,50 | 28,50 | 0,15 | 0,20 | 0,24 |
| 6 | 15,00 | 28,50 | 0,23 | 0,36 | 0,42 |
| 7 | 20,00 | 28,50 | 0,60 | 0,78 | 0,68 |
| 8 | 25,00 | 28,50 | 0,86 | 1,14 | 0,95 |
| 9 | 30,00 | 28,50 | 1,21 | 1,48 | 1,20 |
| 10 | 35,00 | 28,50 | 1,50 | 1,70 | 1,52 |
| 11 | 40,00 | 28,50 | 1,77 | 1,94 | 1,80 |
| 12 | 45,00 | 28,50 | 2,06 | 2,19 | 2,10 |
| 13 | 50,00 | 28,50 | 2,32 | 2,49 | 2,43 |
| 14 | 55,00 | 28,00 | 2,56 | 2,83 | 2,72 |

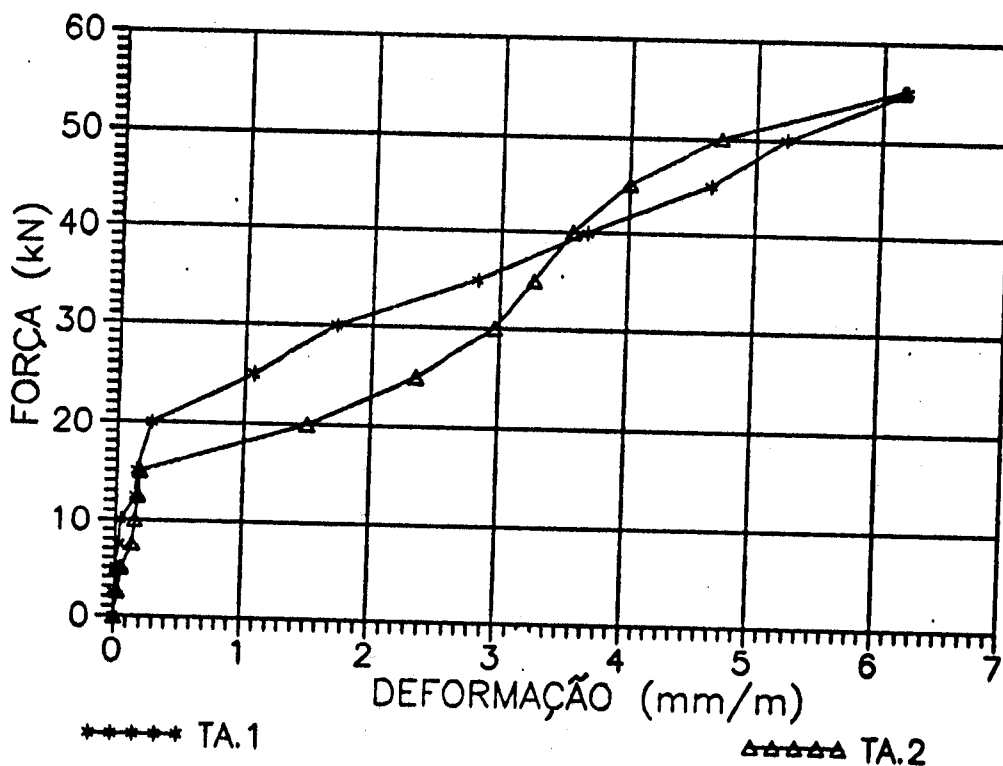
DIAGRAMAS FORÇA - DEFORMAÇÃO
MODELO 3/1 - Seção 2
Mesa Tracionada



DEFORMAÇÕES MEDIDAS COM EXTENSÔMETRO
 MECÂNICO NA ALMA
 MODELO 3/1 (mm/m)

| ETAPA | F (kN) | T (°C) | TA.1 | TA.2 |
|-------|--------|--------|------|------|
| 0 | 0,00 | 28,50 | 0,00 | 0,00 |
| 1 | 2,50 | 28,50 | 0,00 | 0,02 |
| 2 | 5,00 | 28,50 | 0,01 | 0,02 |
| 1 | 2,50 | 28,50 | 0,00 | 0,03 |
| 2 | 5,00 | 28,50 | 0,01 | 0,05 |
| 3 | 7,50 | 28,50 | 0,03 | 0,13 |
| 4 | 10,00 | 28,50 | 0,04 | 0,15 |
| 5 | 12,50 | 28,50 | 0,15 | 0,17 |
| 6 | 15,00 | 28,50 | 0,16 | 0,18 |
| 7 | 20,00 | 28,50 | 0,27 | 1,50 |
| 8 | 25,00 | 28,50 | 1,07 | 2,35 |
| 9 | 30,00 | 28,50 | 1,72 | 2,96 |
| 10 | 35,00 | 28,50 | 2,82 | 3,26 |
| 11 | 40,00 | 28,50 | 3,68 | 3,56 |
| 12 | 45,00 | 28,50 | 4,65 | 4,00 |
| 13 | 50,00 | 28,50 | 5,24 | 4,72 |
| 14 | 55,00 | 28,00 | 6,19 | 6,16 |

DIAGRAMAS FORÇA - DEFORMAÇÃO
 MODELO 3/1 - ALMA



**RESULTADOS DOS ENSAIOS DOS CORPOS-DE-PROVA DE ARGAMASSA
MODELO 3/1**

| RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO (MPa) | | | | RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (MPa) | | |
|--------------------------------|-------|--------|--------|----------------------------|--------|--------|
| IDADE | 1 DIA | 3 DIAS | 7 DIAS | 1 DIA | 3 DIAS | 7 DIAS |
| | 10,9 | 27,1 | 41,4 | 1,4 | 2,8 | 2,3 |
| | 11,1 | 26,0 | 36,8 | 1,2 | 2,4 | 3,9 |
| | 11,5 | 23,3 | 39,0 | 1,2 | 2,9 | 2,7 |
| | 11,5 | 26,9 | 34,6 | 1,2 | 2,1 | 2,9 |
| MÉDIA | 11,3 | 25,8 | 38,0 | 1,3 | 2,6 | 3,0 |
| DESVIO MÁXIMO | 0,3 | 2,5 | 3,4 | 0,1 | 0,4 | 0,9 |
| DESVIO MAX. % | 3,1 | 9,8 | 9,1 | 12,0 | 17,6 | 32,2 |
| DES.MAX. ADMISS. | 0,3 | 2,0 | 3,4 | 0,1 | 0,4 | 0,8 |
| DESVIO PADRÃO | 0,3 | 1,7 | 2,9 | 0,1 | 0,4 | 0,7 |
| COEF. % VARIACÃO | 2,7 | 6,8 | 7,7 | 8,0 | 14,5 | 23,1 |
| INTERVALO | 10,8 | 23,0 | 33,3 | 1,1 | 2,0 | 1,9 |
| CONF. 95% | 11,7 | 28,6 | 42,6 | 1,4 | 3,1 | 4,0 |

ESPAÇAMENTOS ENTRE FISSURAS NA MESA TRACIONADA
VALORES MÉDIOS (mm) MODELO 3/1

| ETAPA | F (kN) | TA1 | TA2 | TA3 | TB | TC3 | TC2 | TC1 |
|-------|--------|-------|------|------|------|------|-------|------|
| 0 | 0,0 | | | | | | | |
| 1 | 2,5 | | | | | | | |
| 2 | 5,0 | | | | | | | |
| 3 | 7,5 | | | | | | | |
| 4 | 10,0 | | | | | | | |
| 5 | 12,5 | | | | | | | |
| 6 | 15,0 | | | | | | | |
| 7 | 20,0 | | 58,3 | 88,3 | 50,8 | 44,1 | 116,7 | |
| 8 | 25,0 | 116,7 | 58,3 | 37,9 | 37,1 | 29,5 | 116,7 | 76,0 |
| 9 | 30,0 | 116,7 | 58,3 | 29,4 | 32,2 | 29,5 | 58,3 | 53,3 |
| 10 | 35,0 | 58,3 | 35,0 | 29,4 | 27,6 | 22,1 | 43,8 | 53,3 |
| 11 | 40,0 | 58,3 | 29,2 | 26,5 | 26,1 | 22,1 | 38,9 | 40,0 |
| 12 | 45,0 | 58,3 | 29,2 | 24,1 | 23,5 | 22,1 | 38,9 | 40,0 |
| 13 | 50,0 | 58,3 | 29,2 | 24,1 | 23,5 | 22,1 | 38,9 | 40,0 |
| 14 | 55,0 | 58,3 | 25,0 | 22,1 | 23,5 | 22,1 | 35,0 | 40,0 |
| RUINA | 60,0 | 53,8 | 25,0 | 22,1 | 23,5 | 22,1 | 35,0 | 40,0 |

ESPAÇAMENTOS ENTRE FISSURAS NA ALMA
VALORES MÉDIOS (mm) MODELO 3/1

| ETAPA | F (kN) | AA1 | AA2 | AA3 | AB | AC3 | AC2 | AC1 |
|-------|--------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|
| 0 | 0,0 | | | | | | | |
| 1 | 2,5 | | | | | | | |
| 2 | 5,0 | | | | | | | |
| 3 | 7,5 | | | | | | | |
| 4 | 10,0 | | | | | | | |
| 5 | 12,5 | | | | | 200,0 | | |
| 6 | 15,0 | | | | 321,7 | 200,0 | | |
| 7 | 20,0 | | 116,7 | 88,3 | 107,2 | 100,0 | 260,0 | |
| 8 | 25,0 | | 87,5 | 88,3 | 80,4 | 66,2 | 260,0 | |
| 9 | 30,0 | 116,7 | 58,3 | 66,3 | 68,9 | 53,0 | 43,8 | |
| 10 | 35,0 | 87,5 | 50,0 | 66,3 | 64,3 | 53,0 | 43,8 | |
| 11 | 40,0 | 70,0 | 43,8 | 44,2 | 64,3 | 53,0 | 43,8 | 71,7 |
| 12 | 45,0 | 58,3 | 43,8 | 44,2 | 56,8 | 53,0 | 38,9 | 71,7 |
| 13 | 50,0 | 58,3 | 43,8 | 37,9 | 56,8 | 44,1 | 38,9 | 71,7 |
| 14 | 55,0 | 43,8 | 38,9 | 29,4 | 37,1 | 44,1 | 38,9 | 71,7 |
| RUINA | 60,0 | 43,8 | 38,9 | 29,4 | 37,1 | 44,1 | 38,9 | 71,7 |

VALORES DAS ABERTURAS DE FISSURAS (mm) - MESA TRACIONADA

MODELO 3/1

| ETAPA | FORÇA (kN) | TA1 | TA2 | TA3 | TB | TC3 | TC2 | TC1 |
|-------|------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 0,00 | | | | | | | |
| 1 | 2,50 | | | | | | | |
| 2 | 5,00 | | | | | | | |
| 3 | 7,50 | | | | | | | |
| 4 | 10,00 | | | | | | | |
| 5 | 12,50 | | | | | | | |
| 6 | 15,00 | | | | | | | |
| 7 | 20,00 | | 0,05 | 0,02 | 0,06 | 0,06 | 0,05 | |
| 8 | 25,00 | | 0,06 | 0,03 | 0,06 | 0,06 | 0,05 | 0,04 |
| 9 | 30,00 | 0,04 | 0,07 | 0,04 | 0,06 | 0,06 | 0,05 | 0,05 |
| 10 | 35,00 | 0,04 | 0,10 | 0,05 | 0,07 | 0,06 | 0,06 | 0,05 |
| 11 | 40,00 | 0,05 | 0,11 | 0,05 | 0,07 | 0,07 | 0,06 | 0,06 |
| 12 | 45,00 | 0,05 | 0,13 | 0,05 | 0,09 | 0,09 | 0,06 | 0,06 |
| 13 | 50,00 | 0,05 | 0,13 | 0,06 | 0,10 | 0,10 | 0,12 | 0,06 |
| 14 | 55,00 | 0,07 | 0,13 | 0,08 | 0,11 | 0,12 | 0,13 | 0,06 |

VALORES DAS ABERTURAS DE FISSURAS (mm) - ALMA

MODELO 3/1

| ETAPA | FORÇA (kN) | AA1 | AA2 | AA3 | AB | AC3 | AC2 | AC1 |
|-------|------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 0,00 | | | | | | | |
| 1 | 2,50 | | | | | | | |
| 2 | 5,00 | | | | | | | |
| 3 | 7,50 | | | | | | | |
| 4 | 10,00 | | | | | | | |
| 5 | 12,50 | | | | | 0,06 | | |
| 6 | 15,00 | | | 0,04 | 0,05 | 0,07 | | |
| 7 | 20,00 | | 0,10 | 0,09 | 0,07 | 0,14 | 0,03 | 0,12 |
| 8 | 25,00 | 0,12 | 0,16 | 0,09 | 0,09 | 0,15 | 0,16 | 0,16 |
| 9 | 30,00 | 0,12 | 0,16 | 0,09 | 0,10 | 0,17 | 0,18 | 0,18 |
| 10 | 35,00 | 0,16 | 0,18 | 0,10 | 0,13 | 0,20 | 0,20 | 0,23 |
| 11 | 40,00 | 0,18 | 0,20 | 0,13 | 0,15 | 0,24 | 0,23 | 0,25 |
| 12 | 45,00 | 0,20 | 0,25 | 0,14 | 0,17 | 0,30 | 0,25 | 0,35 |
| 13 | 50,00 | 0,23 | 0,28 | 0,17 | 0,17 | 0,34 | 0,32 | 0,38 |
| 14 | 55,00 | 0,25 | 0,30 | 0,18 | 0,18 | 0,40 | 0,37 | 0,40 |

INCLINAÇÕES DAS FISSURAS E DAS TENSÕES PRINCIPAIS DE
COMPRESSÃO NO CENTRO DE GRAVIDADE - MODELO 3/1

| ETAPA | FORÇA (kN) | SEÇÃO 1 | | SEÇÃO 2 | |
|-------|---------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| | | θ (°) | β (°) | θ (°) | β (°) |
| 1 | 2,5 | | | | 42,1 |
| 2 | 5,0 | | | | 35,8 |
| 3 | 7,5 | | | | (*) |
| 4 | 10,0 | | 37,5 | | (*) |
| 5 | 12,5 | | 36,5 | | 14,5 |
| 6 | 15,0 | | 36,3 | 52,0 | (*) |
| 7 | 20,0 | 47,0 | 31,5 | 42,0 | 23,0 |
| 8 | 25,0 | 38,0 | 39,9 | 30,0 | 27,8 |
| 9 | 30,0 | 34,3 | 36,5 | 30,0 | (*) |
| 10 | 35,0 | 33,3 | 33,6 | 30,0 | (*) |
| 11 | 40,0 | 30,5 | 29,8 | 28,0 | (*) |
| 12 | 45,0 | 29,0 | 33,0 | 28,0 | 34,9 |
| 13 | 50,0 | 29,0 | 34,7 | 36,5 | 41,8 |
| 14 | 55,0 | 26,0 | 35,0 | 37,5 | 45,3 |
| MÉDIA | - | 33,4 | 34,9 | 34,9 | 33,2 |

θ = inclinação das fissuras

β = inclinação da tensão principal de compressão

Obs. (*) - Possíveis fissuras na Roseta 2

A1.11 - MODELO 3/2

MOLDAGEM: 14/10/91

ENSAIO: 22/10/91

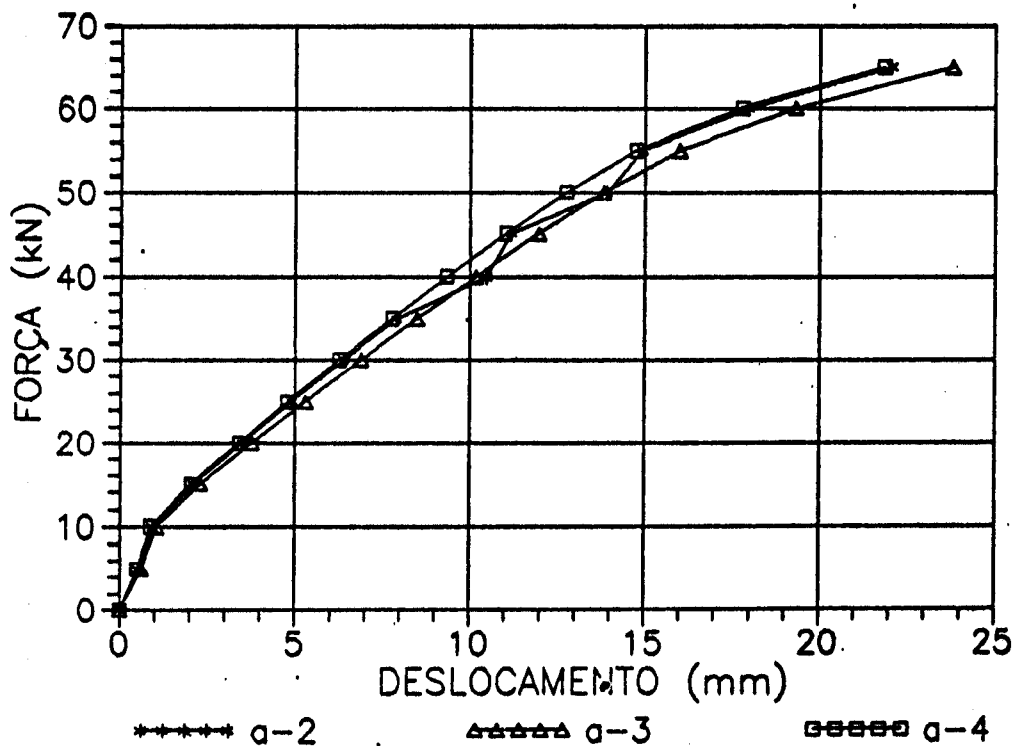
TIPO DE RUPTURA: FLEXÃO - COMPRESSÃO NA MESA

FORÇA CORTANTE ÚLTIMA: 67 KN

DESLOCAMENTOS VERTICAIS - MODELO 3/2
(mm)

| ETAPA | HORA | FORÇA (kN) | v2 | v3 | v4 |
|--------------------------|-------|------------|---------|--------|---------|
| 0 | 14h16 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1 | 14h19 | 5,00 | 0,38 | 0,43 | 0,31 |
| 2 | 14h23 | 10,00 | 0,54 | 0,72 | 0,63 |
| 1 | 14h26 | 5,00 | 0,53 | 0,60 | 0,49 |
| 2 | 14h29 | 10,00 | 0,95 | 1,05 | 0,88 |
| 3 | 14h32 | 15,00 | 2,09 | 2,28 | 2,03 |
| 4 | 14h44 | 20,00 | 3,49 | 3,75 | 3,39 |
| 5 | 14h59 | 25,00 | 4,90 | 5,28 | 4,78 |
| 6 | 15h15 | 30,00 | 6,39 | 6,88 | 6,26 |
| 7 | 15h28 | 35,00 | 7,91 | 8,49 | 7,77 |
| 8 | 15h45 | 40,00 | 10,46 | 10,15 | 9,33 |
| 9 | 16h00 | 45,00 | 11,18 | 11,96 | 11,02 |
| 10 | 16h15 | 50,00 | 13,91 | 13,81 | 12,74 |
| 11 | 16h30 | 55,00 | 14,93 | 15,98 | 14,74 |
| 12 | 16h45 | 60,00 | 17,99 | 19,30 | 17,77 |
| 13 | 17h00 | 65,00 | 22,07 | 23,80 | 21,84 |
| DISTÂNCIA APOIO ESQUERDO | | | 1045,00 | 1447,5 | 1850,00 |

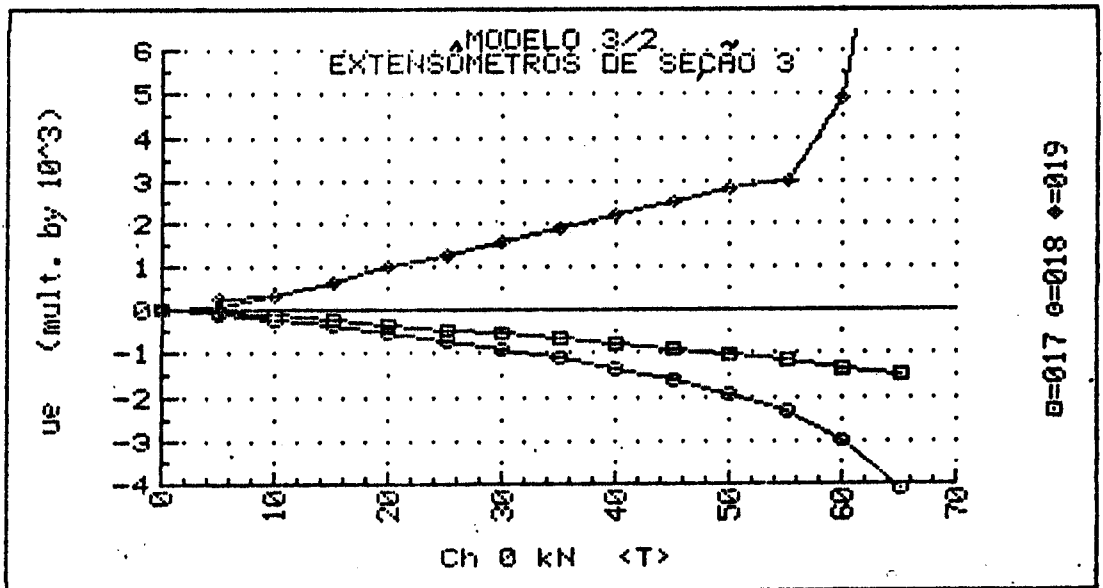
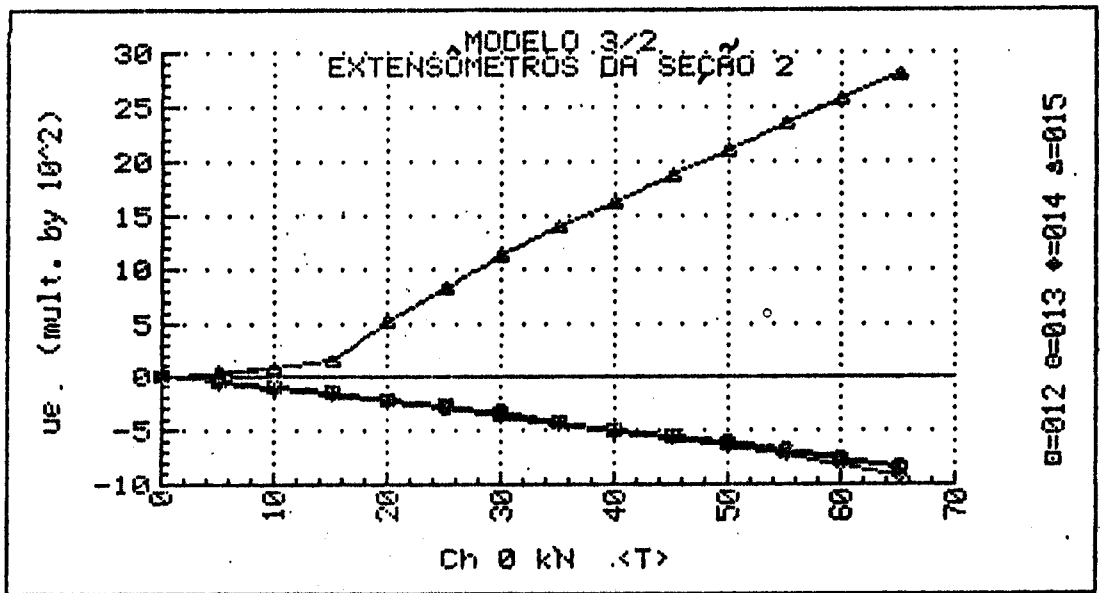
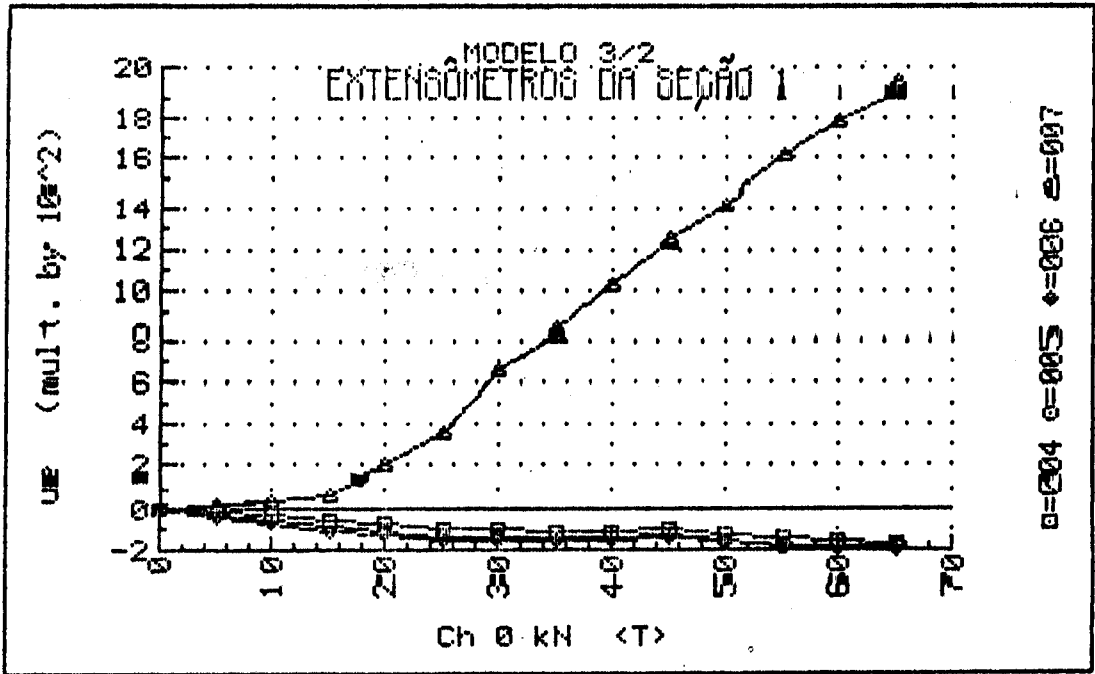
DIAGRAMAS FORÇA - DESLOCAMENTO
MODELO 3/2



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

ENSAIO DE VIGA DE ARGAMASSA ARMADA
 MODELO 3/2 DATA: 22/10/91
 DEFORMAÇÕES DOS EXTENSÔMETROS ELÉTRICOS UNIAXIAIS

| F (KN) | EG 1.1 ($\mu\epsilon$) | EG 1.2 ($\mu\epsilon$) | EG 1.3 ($\mu\epsilon$) | EG 2.1 ($\mu\epsilon$) | EG 2.2 ($\mu\epsilon$) | EG 2.3 ($\mu\epsilon$) | EG 3.1 ($\mu\epsilon$) | EG 3.3 ($\mu\epsilon$) | ES 1 ($\mu\epsilon$) | ES 2 ($\mu\epsilon$) | ES 3 ($\mu\epsilon$) |
|-----------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 0.00 | -1. | +0. | +0. | +0. | +0. | +0. | +0. | +0. | +0. | +0. | +0. |
| 5.00 | -14. | -27. | -39. | -46. | -48. | -53. | -70. | -93. | +17. | +35. | +72. |
| 9.95 | -34. | -57. | -77. | -95. | -101. | -115. | -143. | -225. | +41. | +79. | +304. |
| 5.05 | -10. | -28. | -45. | -45. | -52. | -64. | -78. | -130. | +24. | +46. | +220. |
| 10.00 | -35. | -58. | -77. | -96. | -102. | -115. | -146. | -232. | +42. | +80. | +324. |
| 15.00 | -56. | -84. | -109. | -150. | -156. | -177. | -257. | -393. | +68. | +157. | +649. |
| 20.00 | -77. | -112. | -134. | -222. | -231. | -249. | -371. | -573. | +206. | +535. | +979. |
| 25.00 | -98. | -138. | -158. | -278. | -290. | -306. | -479. | -745. | +362. | +816. | +1261. |
| 30.00 | -104. | -138. | -158. | -344. | -337. | -367. | -593. | -935. | +659. | +1118. | +1563. |
| 35.00 | -112. | -144. | -163. | -421. | -428. | -446. | -706. | -1140. | +835. | +1391. | +1865. |
| 40.00 | -109. | -143. | -158. | -496. | -511. | -523. | -823. | -1366. | +1030. | +1632. | +2159. |
| 45.00 | -102. | -128. | -147. | -552. | -552. | -583. | -944. | -1635. | +1243. | +1875. | +2473. |
| 50.00 | -123. | -153. | -162. | -616. | -610. | -651. | -1064. | -1932. | +1420. | +2110. | +2816. |
| 55.00 | -138. | -181. | -180. | -690. | -676. | -733. | -1190. | -2323. | +1615. | +2350. | +2969. |
| 60.00 | -153. | -180. | -197. | -766. | -746. | -828. | -1350. | -3012. | +1787. | +2578. | +4866. |
| 65.00 | -169. | -184. | -199. | -857. | -832. | -922. | -1502. | -4108. | +1932. | +2794. | +11990. |



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

ENSAIO DE VIGA DE ARGAMASSA ARMADA
 MODELO 3/2 DATA: 22/10/91
 DEFORMAÇÕES DOS EXTENSÔMETROS ELÉTRICOS DAS ROSETAS
 ROSETA 1

| F (kN) | ϵ_a ($\mu\epsilon$) | ϵ_b ($\mu\epsilon$) | ϵ_c ($\mu\epsilon$) | ϵ_1 ($\mu\epsilon$) | ϵ_2 ($\mu\epsilon$) | σ_1 (MPa) | σ_2 (MPa) | θ ($^\circ$) |
|-----------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|
| 0.00 | +0. | -1. | +0. | +1. | -1. | +0.0 | -0.0 | 0/0 |
| 5.00 | -1. | -17. | +2. | +18. | -18. | +0.5 | -0.4 | -47.3 |
| 9.95 | -1. | -40. | +6. | +45. | -40. | +1.1 | -1.0 | -47.3 |
| 5.05 | -1. | -16. | +4. | +20. | -17. | +0.5 | -0.4 | -48.8 |
| 10.00 | -2. | -41. | +6. | +45. | -41. | +1.1 | -1.0 | -47.6 |
| 15.00 | -12. | -65. | +12. | +66. | -66. | +1.6 | -1.6 | -50.1 |
| 20.00 | +8. | -82. | +18. | +109. | -83. | +2.9 | -1.9 | -46.6 |
| 25.00 | -16. | -106. | +15. | +106. | -107. | +2.6 | +2.7 | -49.1 |
| 30.00 | -97. | -202. | -16. | +95. | -207. | +1.7 | -5.9 | -52.8 |
| 35.00 | -108. | -255. | -15. | +138. | -260. | +2.7 | -7.3 | -51.7 |
| 40.00 | +44. | -319. | -49. | +317. | -322. | +7.9 | -8.1 | -40.8 |
| 45.00 | +234. | -429. | -116. | +577. | -460. | +15.2 | -10.8 | -35.1 |
| 50.00 | +341. | -516. | -161. | +746. | -566. | +19.8 | -13.0 | -33.7 |
| 55.00 | +369. | -596. | -200. | +823. | -653. | +21.6 | -15.3 | -33.7 |
| 60.00 | +313. | -692. | -254. | +805. | -746. | +20.5 | -18.3 | -34.3 |
| 65.00 | -302. | -787. | -302. | +182. | -787. | +0.8 | -23.5 | +45.0 |

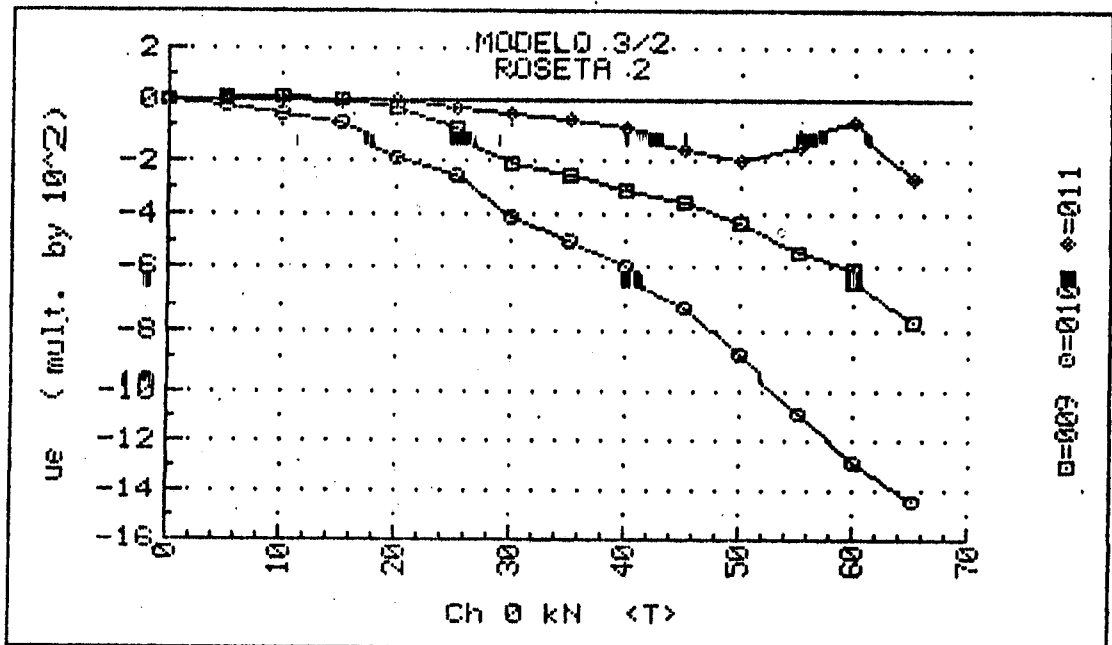
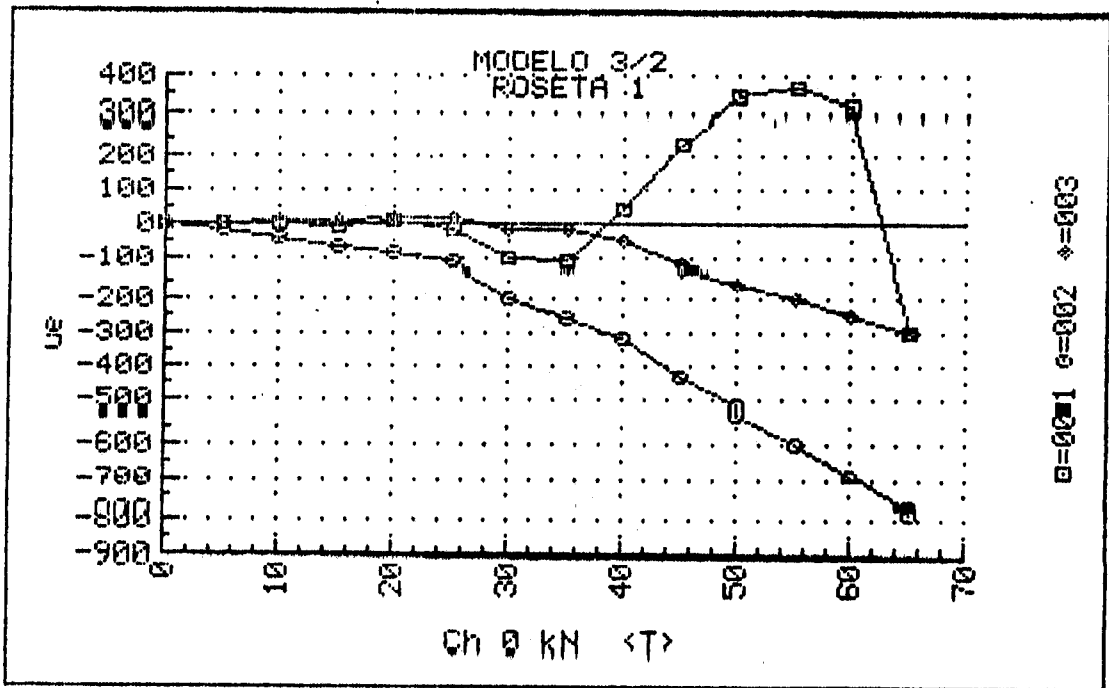
Cálculos feitos com: $E_c = 30.000$ MPa e $\nu = 0,2$
 ϵ_a : horizontal ϵ_b : 45° ϵ_c : vertical
 θ : ângulo entre ϵ_a e ϵ_1 , + no sentido horário a partir de ϵ_a

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

ENSAIO DE VIGA DE ARGAMASSA ARMADA
 MODELO 3/2 DATA: 22/10/91
 DEFORMAÇÕES DOS EXTENSÔMETROS ELÉTRICOS DAS ROSETAS
 ROSETA 2

| F (kN) | ϵ_a ($\mu\epsilon$) | ϵ_b ($\mu\epsilon$) | ϵ_c ($\mu\epsilon$) | ϵ_1 ($\mu\epsilon$) | ϵ_2 ($\mu\epsilon$) | σ_1 (MPa) | σ_2 (MPa) | θ ($^\circ$) |
|-----------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|
| 0.00 | +0. | +0. | +0. | +0. | +0. | +0.0 | +0.0 | U/C |
| 5.00 | +0. | +26. | +2. | +28. | +26. | +0.7 | +0.6 | +46.0 |
| 9.95 | +7. | -57. | +3. | +67. | -57. | +1.7 | -1.4 | -44.1 |
| 5.05 | +9. | -22. | +2. | +33. | -23. | +0.9 | -0.5 | -41.5 |
| 10.00 | +8. | -57. | +3. | +68. | -57. | +1.8 | -1.4 | -43.9 |
| 15.00 | +5. | -84. | -13. | +77. | -85. | +1.9 | -2.2 | -41.9 |
| 20.00 | -31. | -187. | -2. | +155. | -188. | +3.7 | -4.9 | -47.4 |
| 25.00 | -110. | -255. | -36. | +113. | -259. | +1.9 | -7.4 | -50.7 |
| 30.00 | -209. | -408. | -56. | +153. | -419. | +2.2 | -12.1 | -52.8 |
| 35.00 | -253. | -497. | -82. | +173. | -508. | +2.2 | -14.8 | -52.3 |
| 40.00 | -308. | -596. | -112. | +189. | -609. | +2.1 | -17.8 | -52.2 |
| 45.00 | -355. | -713. | -152. | +216. | -724. | +2.2 | -21.3 | -51.2 |
| 50.00 | -430. | -888. | -204. | +266. | -899. | +2.7 | -26.4 | -50.6 |
| 55.00 | -550. | -1086. | -148. | +414. | -1113. | +6.0 | -32.2 | -52.6 |
| 60.00 | -615. | -1293. | -94. | +620. | -1329. | +11.1 | -37.6 | -52.8 |
| 65.00 | -767. | -1446. | -264. | +449. | -1480. | +4.8 | -43.4 | -52.6 |

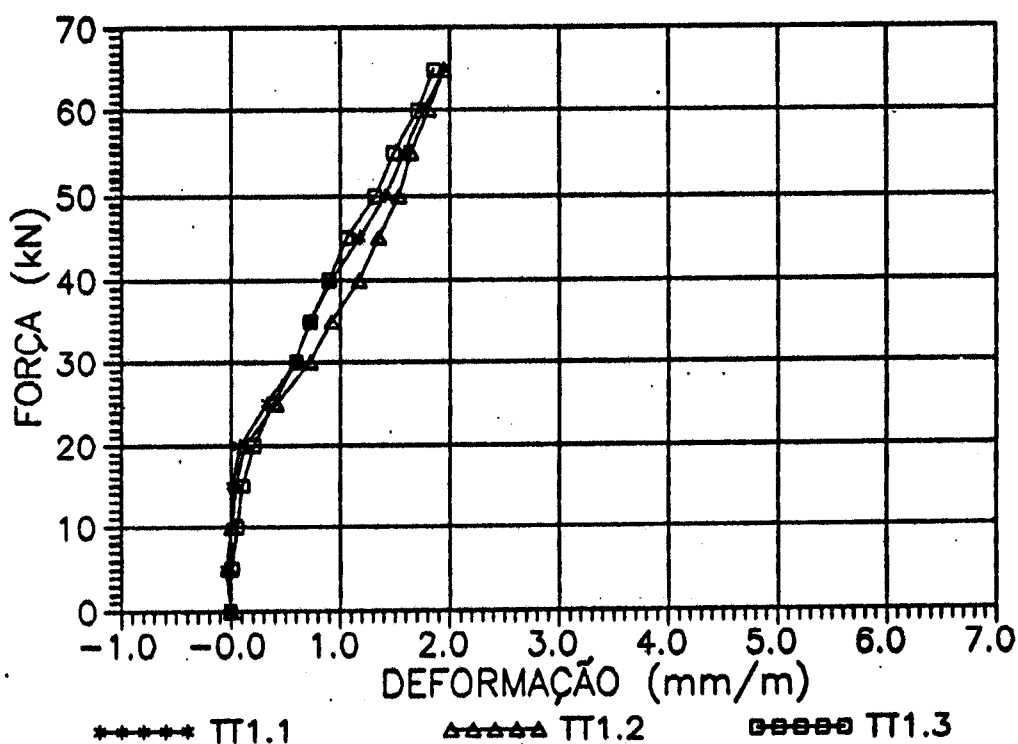
Cálculos feitos com: $E_c = 30.000$ MPa e $\nu = 0,2$
 ϵ_a : horizontal ϵ_b : 45° ϵ_c : vertical
 α : ângulo entre ϵ_a e ϵ_1 , + no sentido horário a partir de ϵ_a .



DEFORMAÇÕES MEDIDAS COM EXTENSÔMETRO MECÂNICO
 NA MESA TRACIONADA - SEÇÃO 1
 MODELO 3/2 (mm/m)

| ETAPA | F (kN) | T (°C) | TT1.1 | TT1.2 | TT1.3 |
|-------|--------|--------|-------|-------|-------|
| 0 | 0,00 | 26,50 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1 | 5,00 | 26,50 | 0,02 | 0,01 | 0,02 |
| 2 | 10,00 | 26,50 | 0,01 | 0,01 | 0,05 |
| 1 | 5,00 | 26,50 | -0,04 | -0,02 | 0,01 |
| 2 | 10,00 | 26,50 | 0,01 | 0,01 | 0,06 |
| 3 | 15,00 | 26,50 | 0,02 | 0,05 | 0,11 |
| 4 | 20,00 | 27,00 | 0,08 | 0,13 | 0,21 |
| 5 | 25,00 | 27,00 | 0,33 | 0,42 | 0,39 |
| 6 | 30,00 | 27,00 | 0,59 | 0,73 | 0,60 |
| 7 | 35,00 | 27,00 | 0,73 | 0,92 | 0,73 |
| 8 | 40,00 | 27,00 | 0,92 | 1,17 | 0,90 |
| 9 | 45,00 | 27,00 | 1,18 | 1,35 | 1,06 |
| 10 | 50,00 | 27,00 | 1,41 | 1,54 | 1,32 |
| 11 | 55,00 | 27,00 | 1,59 | 1,65 | 1,49 |
| 12 | 60,00 | 27,00 | 1,76 | 1,81 | 1,71 |
| 13 | 65,00 | 27,00 | 1,96 | 1,95 | 1,86 |

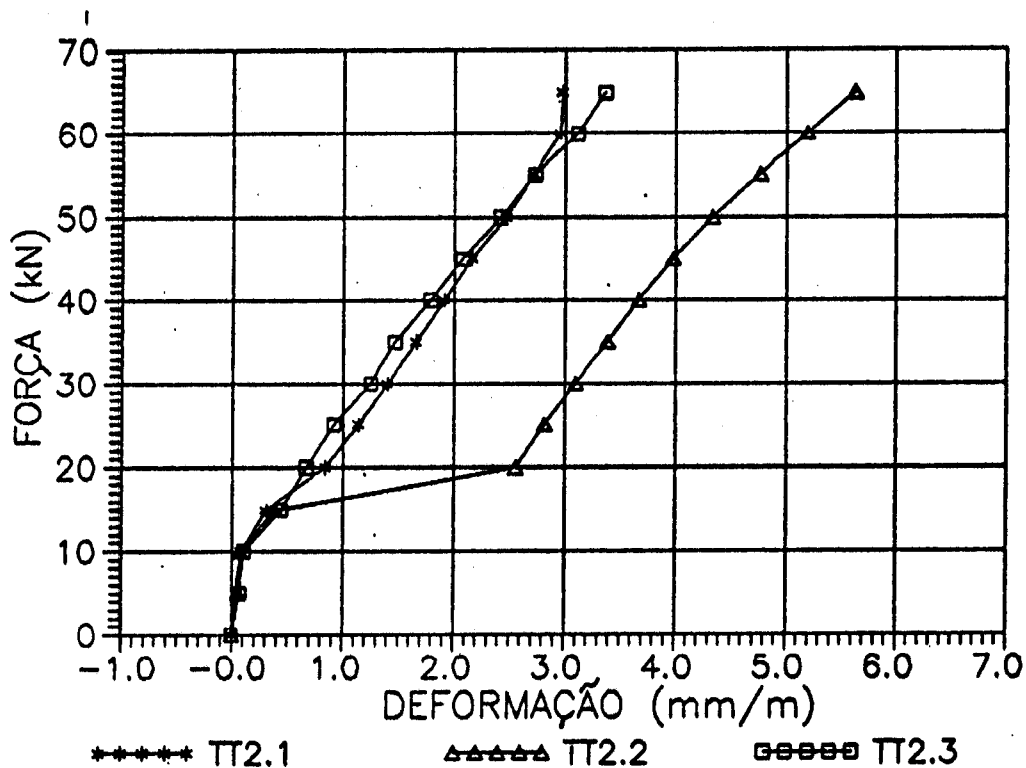
DIAGRAMAS FORÇA - DEFORMAÇÃO
 MODELO 3/2 - Seção 1
 Mesa Tracionada



DEFORMAÇÕES MEDIDAS COM EXTENSÔMETRO MECÂNICO
 NA MESA TRACIONADA - SEÇÃO 2
 MODELO 3/2 (mm/m)

| ETAPA | F (kN) | T (°C) | TT2.1 | TT2.2 | TT2.3 |
|-------|--------|--------|-------|-------|-------|
| 0 | 0,00 | 26,50 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1 | 5,00 | 26,50 | 0,05 | 0,07 | 0,08 |
| 2 | 10,00 | 26,50 | 0,05 | 0,07 | 0,08 |
| 1 | 5,00 | 26,50 | 0,04 | 0,05 | 0,07 |
| 2 | 10,00 | 26,50 | 0,08 | 0,08 | 0,11 |
| 3 | 15,00 | 26,50 | 0,31 | 0,39 | 0,44 |
| 4 | 20,00 | 27,00 | 0,84 | 2,56 | 0,67 |
| 5 | 25,00 | 27,00 | 1,14 | 2,82 | 0,92 |
| 6 | 30,00 | 27,00 | 1,40 | 3,10 | 1,25 |
| 7 | 35,00 | 27,00 | 1,66 | 3,39 | 1,47 |
| 8 | 40,00 | 27,00 | 1,91 | 3,67 | 1,79 |
| 9 | 45,00 | 27,00 | 2,16 | 3,98 | 2,08 |
| 10 | 50,00 | 27,00 | 2,47 | 4,34 | 2,42 |
| 11 | 55,00 | 27,00 | 2,72 | 4,77 | 2,73 |
| 12 | 60,00 | 27,00 | 2,96 | 5,19 | 3,12 |
| 13 | 65,00 | 27,00 | 2,98 | 5,63 | 3,37 |

DIAGRAMAS FORÇA - DEFORMAÇÃO
 MODELO 3/2 - Seção 2
 Mesa Tracionada

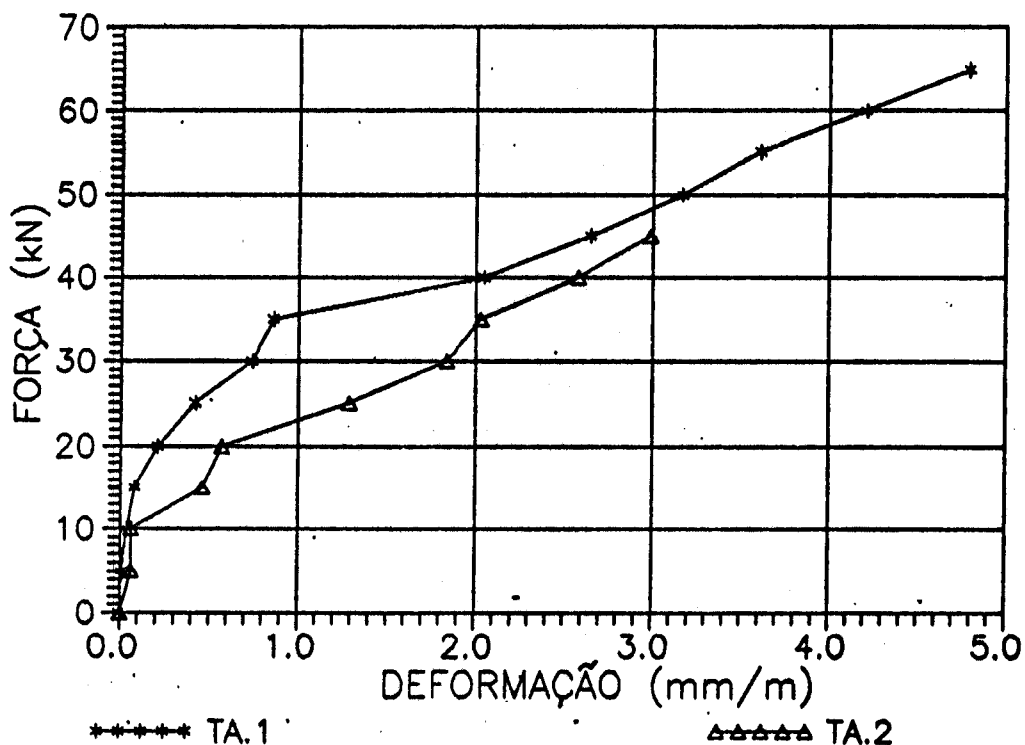


DEFORMAÇÕES MEDIDAS COM EXTENSÔMETRO
MECÂNICO NA ALMA
MODELO 3/2 (mm/m)

| ETAPA | F (kN) | T (°C) | TA.1 | TA.2 |
|-------|--------|--------|------|------|
| 0 | 0,00 | 26,50 | 0,00 | 0,00 |
| 1 | 5,00 | 26,50 | 0,03 | 0,04 |
| 2 | 10,00 | 26,50 | 0,03 | 0,06 |
| 1 | 5,00 | 26,50 | 0,01 | 0,06 |
| 2 | 10,00 | 26,50 | 0,04 | 0,06 |
| 3 | 15,00 | 26,50 | 0,08 | 0,46 |
| 4 | 20,00 | 27,00 | 0,21 | 0,57 |
| 5 | 25,00 | 27,00 | 0,42 | 1,29 |
| 6 | 30,00 | 27,00 | 0,74 | 1,84 |
| 7 | 35,00 | 27,00 | 0,86 | 2,03 |
| 8 | 40,00 | 27,00 | 2,05 | 2,58 |
| 9 | 45,00 | 27,00 | 2,65 | 2,99 |
| 10 | 50,00 | 27,00 | 3,17 | |
| 11 | 55,00 | 27,00 | 3,61 | (*) |
| 12 | 60,00 | 27,00 | 4,21 | |
| 13 | 65,00 | 27,00 | 4,79 | |

Obs. (*) - Uma fissura arrancou a pastilha de fixação do extensômetro mecânico.

DIAGRAMAS FORÇA - DEFORMAÇÃO
MODELO 3/2 - ALMA

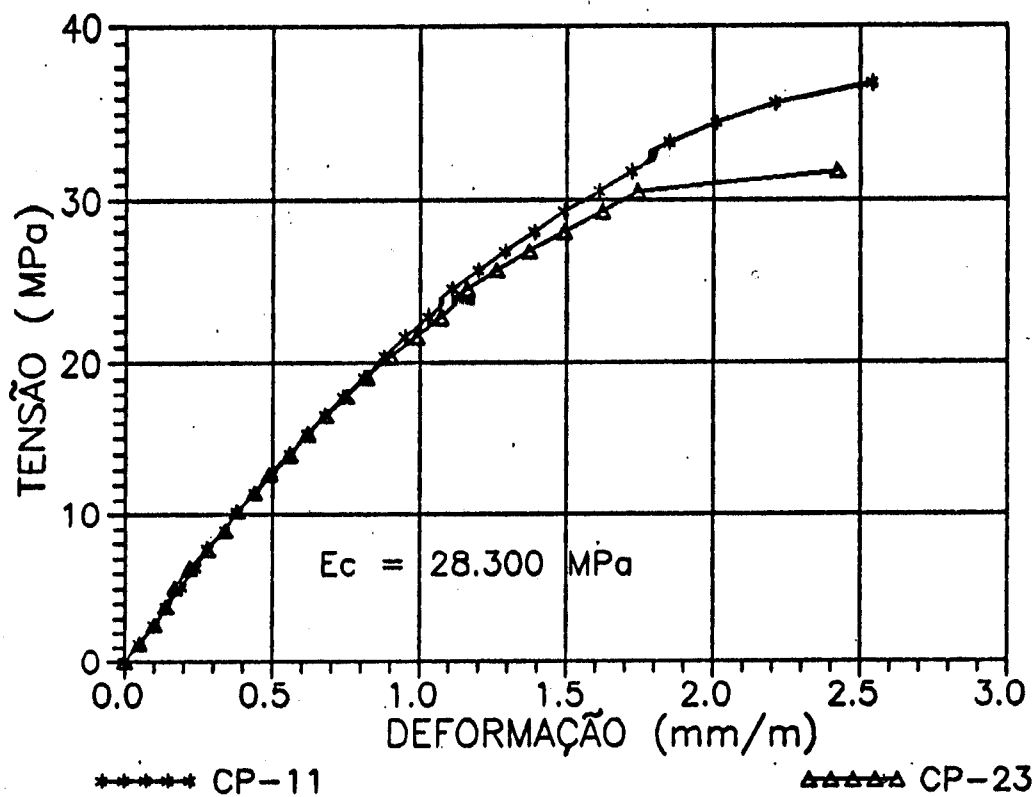


**RESULTADOS DOS ENSAIOS DOS CORPOS-DE PROVA DE ARGAMASSA
MODELO 3/2**

| RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO (MPa) | | | | RESISTÊNCIA A TRAÇÃO (MPa) | | |
|--------------------------------|--------------|--------------|--------------|----------------------------|------------|------------|
| IDADE | 1 DIA | 3 DIAS | 7 DIAS | 1 DIA | 3 DIAS | 7 DIAS |
| | 15,9 | 28,5 | 37,9 | 1,4 | 1,9 | 3,2 |
| | 15,5 | 26,2 | 36,9 | 1,5 | 2,2 | 2,6 |
| | 14,6 | 26,2 | 32,5 | 1,6 | 1,9 | 3,0 |
| | 14,6 | 28,0 | 32,1 | 1,6 | 1,6 | 2,8 |
| MÉDIA | 15,2 | 27,2 | 34,9 | 1,5 | 1,9 | 2,9 |
| DESVIO MÁXIMO | 0,8 | 1,3 | 3,0 | 0,1 | 0,3 | 0,3 |
| DESVIO MAX. % | 5,0 | 4,7 | 8,8 | 8,2 | 15,8 | 10,3 |
| DES. MAX. ADMISS. | 0,8 | 1,4 | 3,4 | 0,1 | 0,3 | 0,3 |
| DESVIO PADRÃO | 0,7 | 1,2 | 3,0 | 0,1 | 0,2 | 0,3 |
| COEF. % VARIAÇÃO | 4,3 | 4,4 | 8,5 | 6,3 | 12,9 | 8,9 |
| INTERVALO CONF. 95% | 14,1 16,2 | 25,3 29,1 | 30,1 39,6 | 1,4 1,7 | 1,5 2,3 | 2,5 3,3 |

DIAGRAMAS TENSÃO - DEFORMAÇÃO

Modelo 3/2



ESPAÇAMENTOS ENTRE FISSURAS NA MESA TRACIONADA
VALORES MÉDIOS (mm) - MODELO 3/2

| ETAPA | F (kN) | TA1 | TA2 | TA3 | TB | TC3 | TC2 | TC1 |
|-------|--------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 0,0 | | | | | | | |
| 1 | 5,0 | | | | | | | |
| 2 | 10,0 | | | | | | | |
| 3 | 15,0 | | | | | 53,0 | | |
| 4 | 20,0 | | 70,0 | 37,9 | | 53,0 | | |
| 5 | 25,0 | | 58,3 | 33,1 | 53,6 | 53,0 | 50,0 | |
| 6 | 30,0 | 80,0 | 50,0 | 22,1 | 50,8 | 33,1 | 38,9 | |
| 7 | 35,0 | 80,0 | 43,8 | 22,1 | 40,2 | 33,1 | 29,2 | 80,0 |
| 8 | 40,0 | 37,4 | 31,8 | 20,4 | 35,7 | 29,4 | 26,9 | 47,5 |
| 9 | 45,0 | 37,4 | 31,8 | 20,4 | 33,3 | 29,4 | 25,0 | 47,5 |
| 10 | 50,0 | 37,4 | 26,9 | 20,4 | 28,4 | 26,5 | 25,0 | 47,5 |
| 11 | 55,0 | 37,4 | 26,9 | 18,9 | 27,6 | 24,1 | 25,0 | 44,0 |
| 12 | 60,0 | 37,4 | 23,3 | 18,9 | 25,4 | 20,4 | 23,3 | 44,0 |
| 13 | 65,0 | 37,4 | 21,9 | 18,9 | 23,5 | 20,4 | 23,3 | 44,0 |
| RUINA | 67,0 | 37,4 | 21,9 | 18,9 | 23,5 | 20,4 | 23,3 | 44,0 |

ESPAÇAMENTOS ENTRE FISSURAS NA ALMA
VALORES MÉDIOS (mm) - MODELO 3/2

| ETAPA | F (kN) | AA1 | AA2 | AA3 | AB | AC3 | AC2 | AC1 |
|-------|--------|-------|------|------|-------|------|------|-------|
| 0 | 0,0 | | | | | | | |
| 1 | 5,0 | | | | | | | |
| 2 | 10,0 | | | | | | | |
| 3 | 15,0 | | | | | | | |
| 4 | 20,0 | | | 53,0 | 120,6 | 53,0 | | |
| 5 | 25,0 | | 70,0 | 44,2 | 80,4 | 44,2 | 70,0 | |
| 6 | 30,0 | 186,7 | 50,0 | 44,2 | 64,3 | 37,9 | 58,3 | |
| 7 | 35,0 | 87,5 | 43,8 | 33,1 | 40,2 | 26,5 | 43,8 | 105,0 |
| 8 | 40,0 | 87,5 | 38,9 | 29,4 | 37,1 | 24,1 | 43,8 | 70,0 |
| 9 | 45,0 | 50,0 | 35,0 | 26,5 | 35,7 | 20,4 | 26,9 | 50,0 |
| 10 | 50,0 | 50,0 | 35,0 | 24,1 | 32,2 | 20,4 | 25,0 | 43,8 |
| 11 | 55,0 | 43,8 | 31,8 | 24,1 | 30,2 | 20,4 | 25,0 | 43,8 |
| 12 | 60,0 | 43,8 | 31,8 | 24,1 | 30,2 | 20,4 | 25,0 | 43,8 |
| 13 | 65,0 | 43,8 | 31,8 | 24,1 | 30,2 | 20,4 | 25,0 | 43,8 |
| RUINA | 67,0 | 43,8 | 31,8 | 24,1 | 30,2 | 20,4 | 25,0 | 43,8 |

VALORES DAS ABERTURAS DE FISSURAS (mm) - MESA TRACIONADA

MODELO 3/2

| ETAPA | FORÇA (kN) | TA1 | TA2 | TA3 | TB | TC3 | TC2 | TC1 |
|-------|------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 0,00 | | | | | | | |
| 1 | 5,00 | | | | | | | |
| 2 | 10,00 | | | | | | | |
| 3 | 15,00 | | | | 0,04 | 0,04 | | |
| 4 | 20,00 | | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,04 | | |
| 5 | 25,00 | | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,05 | |
| 6 | 30,00 | 0,05 | 0,07 | 0,06 | 0,06 | 0,07 | 0,06 | 0,05 |
| 7 | 35,00 | 0,05 | 0,08 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,06 | 0,06 |
| 8 | 40,00 | 0,05 | 0,09 | 0,06 | 0,07 | 0,09 | 0,06 | 0,07 |
| 9 | 45,00 | 0,05 | 0,09 | 0,07 | 0,07 | 0,09 | 0,07 | 0,07 |
| 10 | 50,00 | 0,06 | 0,10 | 0,07 | 0,08 | 0,10 | 0,08 | 0,07 |
| 11 | 55,00 | 0,06 | 0,11 | 0,07 | 0,12 | 0,13 | 0,10 | 0,07 |
| 12 | 60,00 | 0,06 | 0,11 | 0,10 | 0,14 | 0,15 | 0,13 | 0,07 |
| 13 | 65,00 | 0,06 | 0,12 | 0,10 | 0,20 | 0,16 | 0,14 | 0,07 |

VALORES DAS ABERTURAS DE FISSURAS (mm) - ALMA

MODELO 3/2

| ETAPA | FORÇA (kN) | AA1 | AA2 | AA3 | AB | AC3 | AC2 | AC1 |
|-------|------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 0,00 | | | | | | | |
| 1 | 5,00 | | | | | | | |
| 2 | 10,00 | | | | | | | |
| 3 | 15,00 | | | 0,05 | 0,04 | 0,05 | | |
| 4 | 20,00 | | 0,07 | 0,08 | 0,06 | 0,05 | 0,06 | |
| 5 | 25,00 | 0,05 | 0,07 | 0,09 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | |
| 6 | 30,00 | 0,07 | 0,09 | 0,10 | 0,07 | 0,07 | 0,06 | 0,06 |
| 7 | 35,00 | 0,08 | 0,14 | 0,11 | 0,09 | 0,07 | 0,09 | 0,09 |
| 8 | 40,00 | 0,09 | 0,16 | 0,14 | 0,10 | 0,08 | 0,09 | 0,10 |
| 9 | 45,00 | 0,10 | 0,17 | 0,15 | 0,11 | 0,10 | 0,10 | 0,13 |
| 10 | 50,00 | 0,10 | 0,17 | 0,17 | 0,13 | 0,10 | 0,11 | 0,14 |
| 11 | 55,00 | 0,11 | 0,20 | 0,22 | 0,14 | 0,12 | 0,12 | 0,15 |
| 12 | 60,00 | 0,16 | 0,22 | 0,25 | 0,17 | 0,14 | 0,14 | 0,16 |
| 13 | 65,00 | 0,18 | 0,25 | 0,27 | 0,19 | 0,15 | 0,16 | 0,22 |

INCLINAÇÕES DAS FISSURAS E DAS TENSÕES PRINCIPAIS DE
COMPRESSÃO NO CENTRO DE GRAVIDADE - MODELO 3/2

| ETAPA | FORÇA (kN) | SEÇÃO 1 | | SEÇÃO 2 | |
|-------|---------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| | | θ (°) | β (°) | θ (°) | β (°) |
| 1 | 5,0 | | 41,2 | | 48,5 |
| 2 | 10,0 | | 42,4 | | 46,1 |
| 3 | 15,0 | | 39,9 | | 48,1 |
| 4 | 20,0 | 42,0 | 43,4 | 43,0 | 42,6 |
| 5 | 25,0 | 40,5 | 40,9 | 41,0 | 39,3 |
| 6 | 30,0 | 40,0 | 37,2 | 38,0 | 37,2 |
| 7 | 35,0 | 33,0 | 38,3 | 40,0 | 37,7 |
| 8 | 40,0 | 33,0 | 49,2 | 22,5 | 37,8 |
| 9 | 45,0 | 33,0 | 54,9 | 30,0 | 38,8 |
| 10 | 50,0 | 31,0 | 56,3 | 42,5 | 39,4 |
| 11 | 55,0 | 45,0 | 56,3 | 40,0 | 37,4 |
| 12 | 60,0 | 38,0 | 55,7 | 40,0 | 37,2 |
| 13 | 65,0 | 38,0 | 45,0 | 40,0 | 37,4 |
| MÉDIA | - | 37,4 | 46,2 | 37,7 | 40,6 |

θ = inclinação das fissuras

β = inclinação da tensão principal de compressão

A1.12 - MODELO 3/3

MOLDAGEM: 22/10/91

ENSAIO: 29/10/91

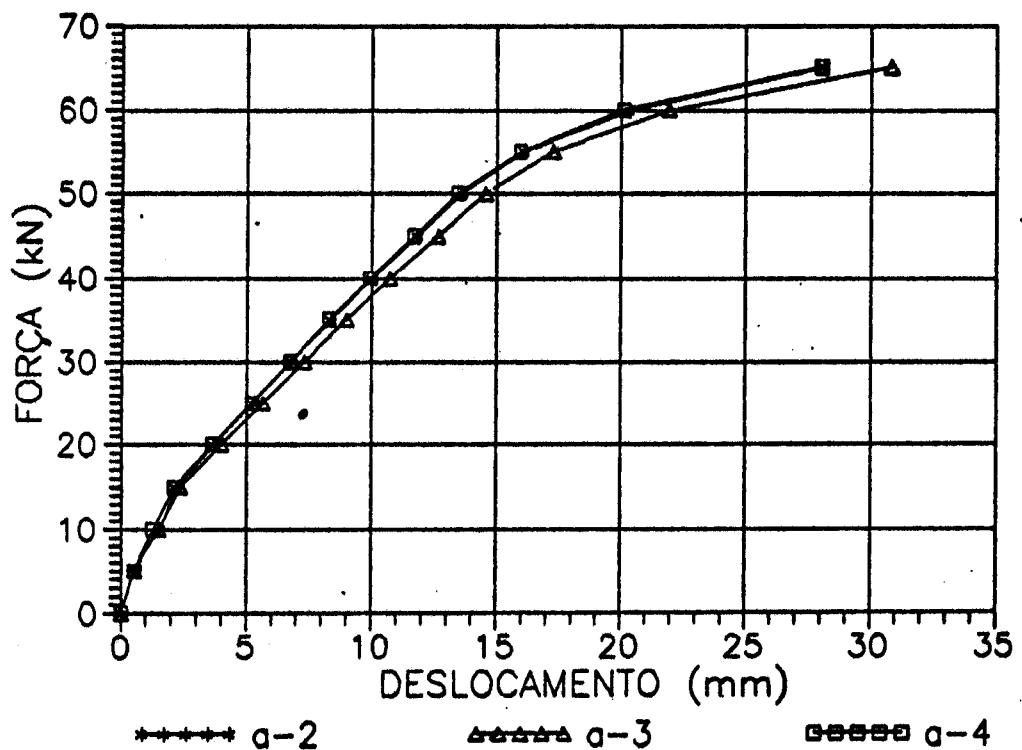
TIPO DE RUPTURA: FLEXÃO ■ TRACÇÃO NA ARMADURA

FORÇA CORTANTE ÚLTIMA: 65 kN

DESLOCAMENTOS VERTICAIS - MODELO 3/3
(mm)

| ETAPA | HORA | FORÇA (kN) | v2 | v3 | v4 |
|--------------------------|-------|------------|---------|---------|---------|
| 0 | 14h20 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1 | 14h29 | 5,00 | 0,40 | 0,43 | 0,39 |
| 2 | 14h34 | 10,00 | 0,91 | 0,97 | 0,87 |
| 1 | 14h36 | 5,00 | 0,49 | 0,53 | 0,52 |
| 2 | 14h39 | 10,00 | 1,57 | 1,51 | 1,27 |
| 3 | 14h43 | 15,00 | 2,17 | 2,35 | 2,11 |
| 4 | 14h52 | 20,00 | 3,70 | 4,00 | 3,64 |
| 5 | 15h05 | 25,00 | 5,23 | 5,64 | 5,21 |
| 6 | 15h21 | 30,00 | 6,79 | 7,29 | 6,74 |
| 7 | 15h36 | 35,00 | 8,37 | 9,00 | 8,29 |
| 8 | 15h56 | 40,00 | 10,00 | 10,72 | 9,92 |
| 9 | 16h12 | 45,00 | 11,83 | 12,65 | 11,70 |
| 10 | 16h28 | 50,00 | 13,61 | 14,54 | 13,46 |
| 11 | 16h43 | 55,00 | 16,08 | 17,27 | 15,95 |
| 12 | 16h57 | 60,00 | 20,34 | 21,93 | 20,10 |
| 13 | 17h10 | 65,00 | 28,12 | 30,81 | 28,01 |
| DISTÂNCIA APOIO ESQUERDO | | | 1045,00 | 1447,50 | 1850,00 |

DIAGRAMAS FORÇA - DESLOCAMENTO
MODELO 3/3

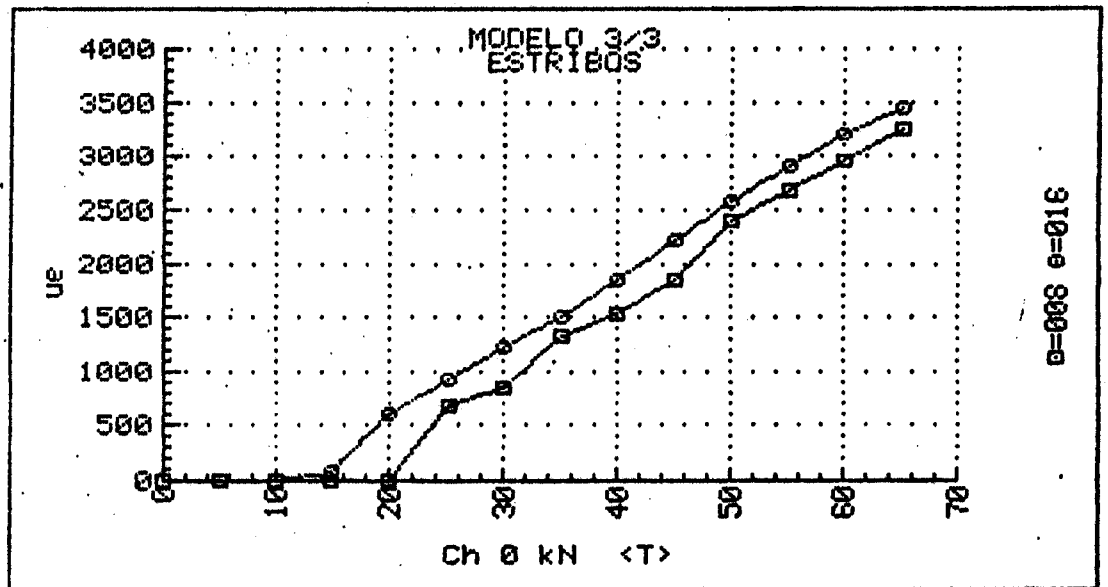
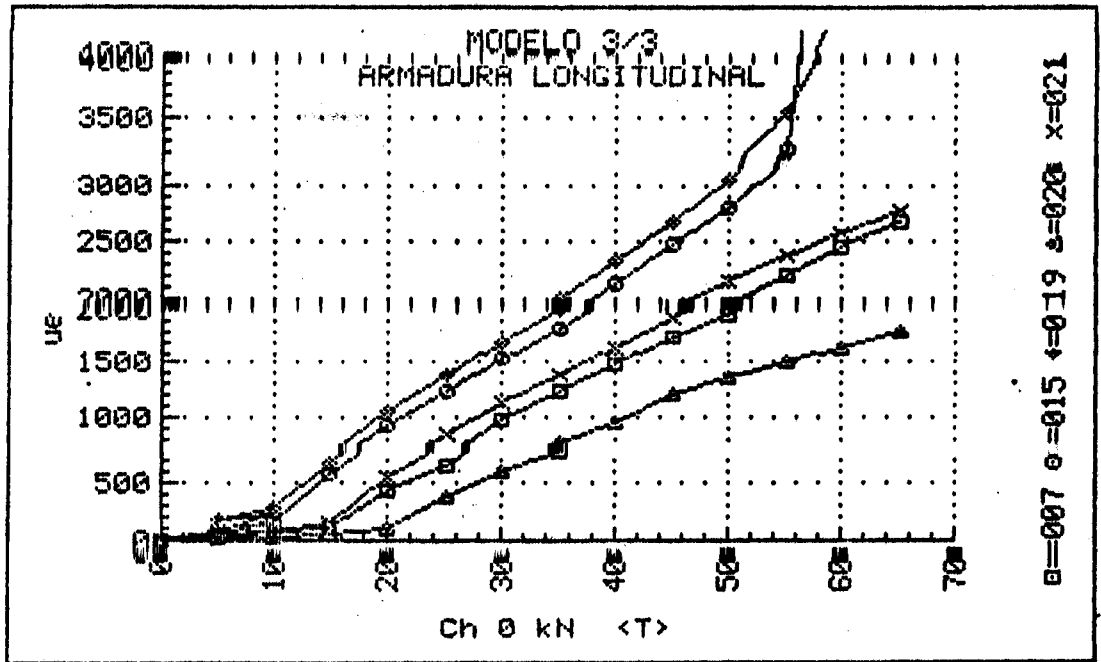


UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
 ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
 DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS

ENSAIO DE VIGA DE ARGAMASSA ARMADA
 MODELO 3/3 DATA: 29/10/91
 DEFORMAÇÕES DOS EXTENSÔMETROS ELÉTRICOS UNIAXIAIS - ARMADURAS

| F (kN) | ES 1 † (µE) | ES 1 (µE) | ES 2 † (µE) | ES 2 (µE) | ES 3 (µE) | ET 1 (µE) | ET 2 (µE) |
|-----------|----------------|--------------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 0.00 | +0. | +0. | +0. | +0. | +0. | +0. | +0. |
| 5.00 | +15. | +32. | +33. | +55. | +72. | +2. | +5. |
| 10.00 | +33. | +64. | +71. | +110. | +144. | +3. | +9. |
| 5.00 | +20. | +40. | +41. | +100. | +176. | +4. | +8. |
| 10.00 | +35. | +66. | +73. | +156. | +271. | +4. | +9. |
| 14.95 | +53. | +102. | +140. | +268. | +486. | +9. | +17. |
| 20.00 | +93. | +183. | +245. | +424. | +750. | +10. | +20. |
| 25.00 | +133. | +264. | +350. | +625. | +1071. | +10. | +20. |
| 30.00 | +160. | +316. | +412. | +736. | +1287. | +8. | +16. |
| 35.00 | +170. | +342. | +437. | +784. | +1364. | +8. | +16. |
| 40.00 | +190. | +386. | +492. | +876. | +1531. | +15. | +28. |
| 45.00 | +1211. | +1746. | +1922. | +2473. | +2676. | +1861. | +2221. |
| 50.00 | +1353. | +1958. | +2147. | +2801. | +3062. | +2390. | +2583. |
| 55.00 | +1507. | +2211. | +2370. | +3220. | +3542. | +2668. | +2901. |
| 60.00 | +1649. | +2455. | +2577. | +3674. | +4055. | +2953. | +3201. |
| 65.00 | +1792. | +2682. | +2786. | +4224. | +4606. | +3253. | +3454. |

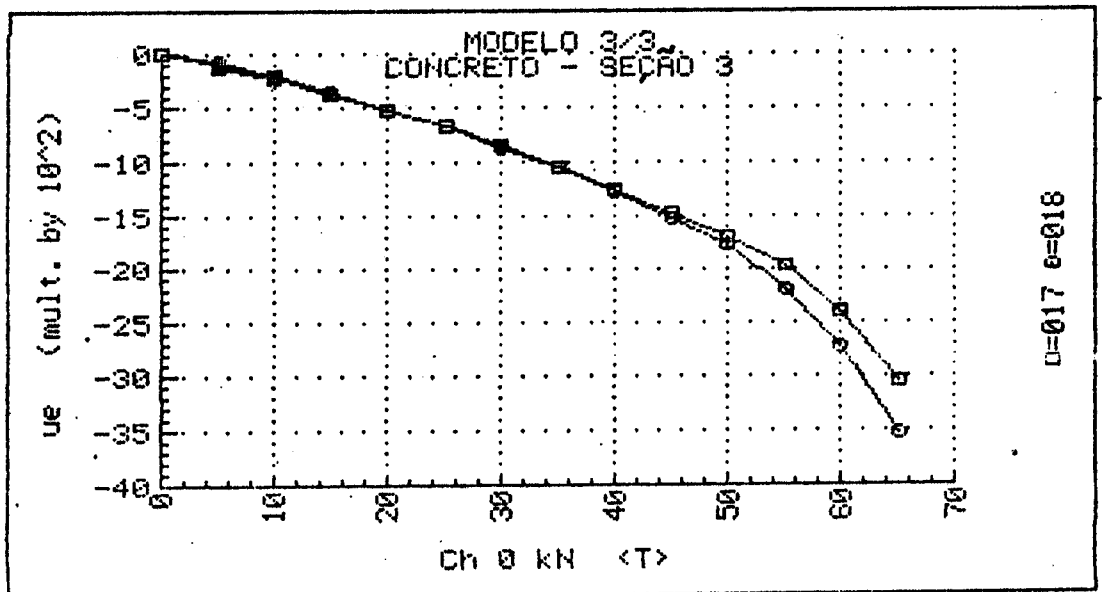
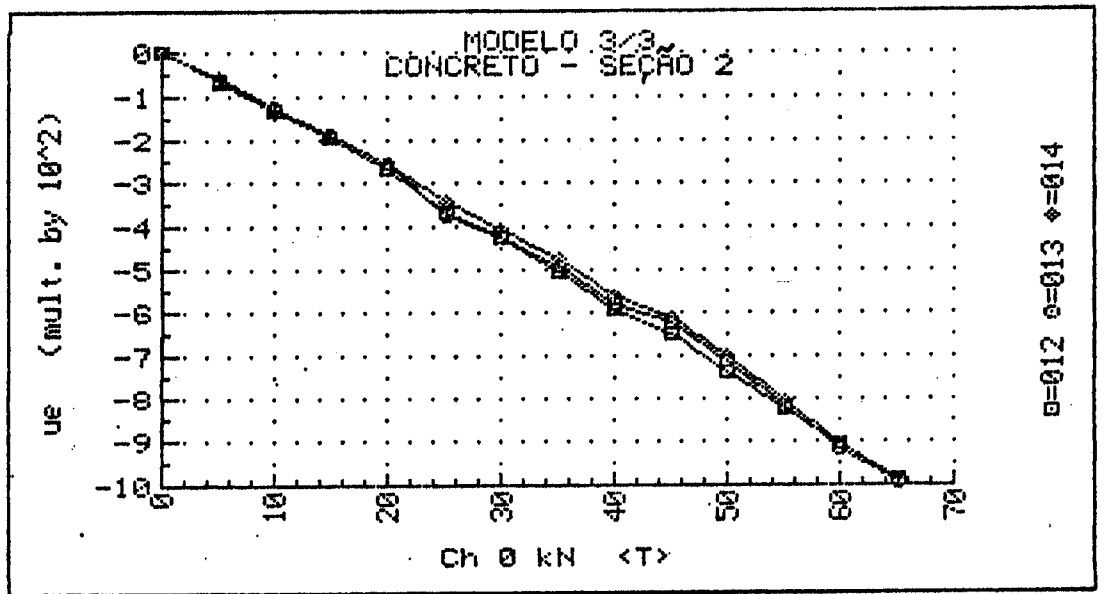
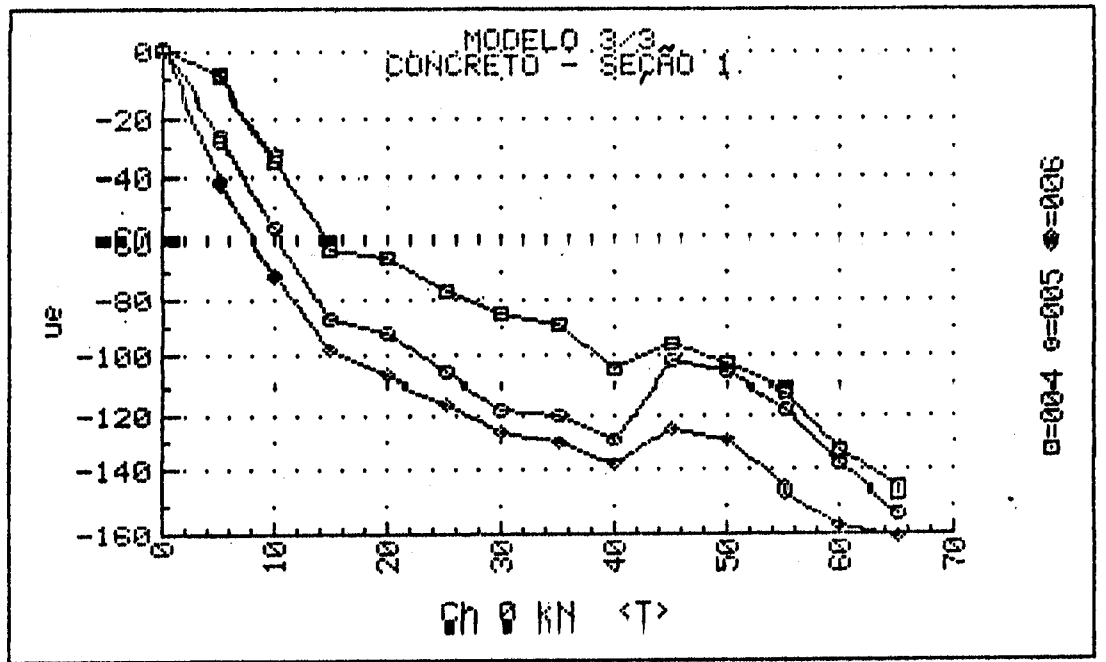
Obs. Os extensômetros ES1* e ES2* (canais 20 e 21 respectivamente) foram colocados involuntariamente, em seções distantes 250 mm e 500 mm do apoio.



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

ENSAIO DE VIGA DE ARGAMASSA ARMADA
 MODELO 3/3 DATA: 29/10/91
 DEFORMAÇÕES DOS EXTENSÔMETROS ELÉTRICOS UNIAXIAIS - CONCRETO

| F (KN) | EG 1:1 ($\mu\epsilon$) | EG 1:2 ($\mu\epsilon$) | EG 1:3 ($\mu\epsilon$) | EG 2:1 ($\mu\epsilon$) | EG 2:2 ($\mu\epsilon$) | EG 2:3 ($\mu\epsilon$) | EG 3:1 ($\mu\epsilon$) | EG 3:3 ($\mu\epsilon$) |
|-----------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 0.00 | +0. | +1. | +1. | +1. | +1. | +0. | +1. | +0. |
| 5.00 | -8. | -26. | -41. | -62. | -60. | -57. | -102. | -81. |
| 10.00 | -33. | -57. | -72. | -129. | -127. | -123. | -209. | -201. |
| 5.00 | -9. | -28. | -42. | -67. | -72. | -70. | -120. | -113. |
| 10.00 | -35. | -57. | -71. | -132. | -129. | -125. | -217. | -209. |
| 14.95 | -62. | -87. | -98. | -193. | -187. | -187. | -366. | -360. |
| 20.00 | -85. | -92. | -107. | -270. | -258. | -254. | -514. | -518. |
| 25.00 | -77. | -106. | -116. | -368. | -372. | -346. | -673. | -684. |
| 30.00 | -85. | -118. | -126. | -427. | -425. | -404. | -850. | -868. |
| 35.00 | -89. | -120. | -130. | -503. | -494. | -476. | -1038. | -1060. |
| 40.00 | -105. | -129. | -138. | -593. | -578. | -562. | -1255. | -1287. |
| 45.00 | -96. | -102. | -125. | -652. | -627. | -614. | -1474. | -1518. |
| 50.00 | -103. | -106. | -129. | -738. | -710. | -701. | -1709. | -1779. |
| 55.00 | -112. | -118. | -146. | -825. | -821. | -809. | -1975. | -2202. |
| 60.00 | -133. | -138. | -157. | -909. | -920. | -907. | -2406. | -2716. |
| 65.00 | -146. | -153. | -161. | -988. | -997. | -993. | -3048. | -3515. |



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

ENSAIO DE VIGA DE ARGAMASSA ARMADA
 MODELO 3/3 DATA: 29/10/91
 DEFORMAÇÕES DOS EXTENSÔMETROS ELÉTRICOS DAS ROSETAS
 ROSETA 1

| F (kN) | ϵ_a ($\mu\epsilon$) | ϵ_b ($\mu\epsilon$) | ϵ_c ($\mu\epsilon$) | ϵ_1 ($\mu\epsilon$) | ϵ_2 ($\mu\epsilon$) | σ_1 (MPa) | σ_2 (MPa) | θ ($^\circ$) |
|-----------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|
| 0.00 | +0. | +0. | +0. | +0. | +0. | +0.0 | +0.0 | U/C |
| 5.00 | +2. | -8. | +4. | +14. | -8. | +0.4 | -0.2 | -47.6 |
| 10.00 | +5. | -31. | +10. | +46. | -31. | +1.2 | -0.7 | -46.8 |
| 5.00 | +4. | -11. | +9. | +23. | -11. | +0.7 | -0.2 | -49.1 |
| 10.00 | +6. | -32. | +11. | +49. | -32. | +1.3 | -0.7 | -46.7 |
| 14.95 | +14. | -58. | +19. | +91. | -58. | +2.5 | -1.2 | -46.1 |
| 20.00 | -6. | -100. | +58. | +156. | -104. | +4.2 | -2.3 | -52.1 |
| 25.00 | -66. | -191. | +37. | +169. | -198. | +4.0 | -5.1 | -53.1 |
| 30.00 | -111. | -245. | +40. | +187. | -259. | +4.2 | -6.9 | -54.9 |
| 35.00 | +1621. | -470. | +1262. | +3361. | -479. | +102.0 | +6.1 | -42.3 |
| 40.00 | +2083. | -533. | +1055. | +3734. | -595. | +113.0 | +4.7 | -38.1 |
| 45.00 | +2205. | -580. | +809. | +3708. | -693. | +111.5 | +1.5 | -35.7 |
| 50.00 | +688. | -568. | +487. | +1748. | -572. | +51.0 | -7.0 | -42.5 |
| 55.00 | +621. | -594. | +344. | +1560. | -603. | +45.3 | -9.0 | -41.3 |
| 60.00 | +583. | -573. | +290. | +1456. | -583. | +41.9 | -9.1 | -40.9 |
| 65.00 | +564. | -606. | +236. | +1419. | -619. | +40.5 | -10.5 | -40.4 |

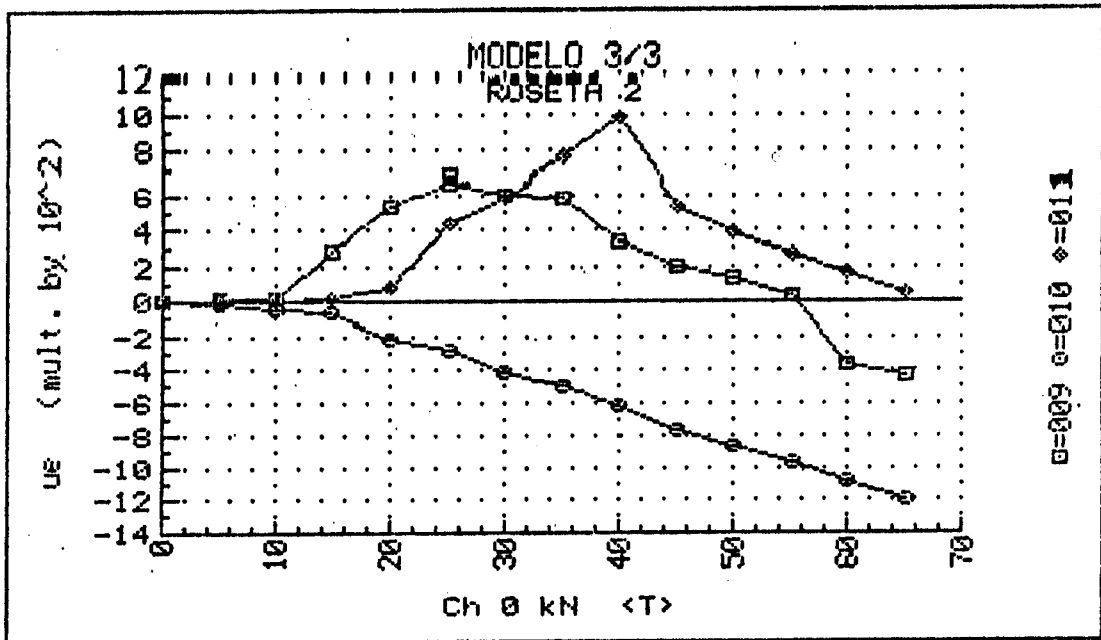
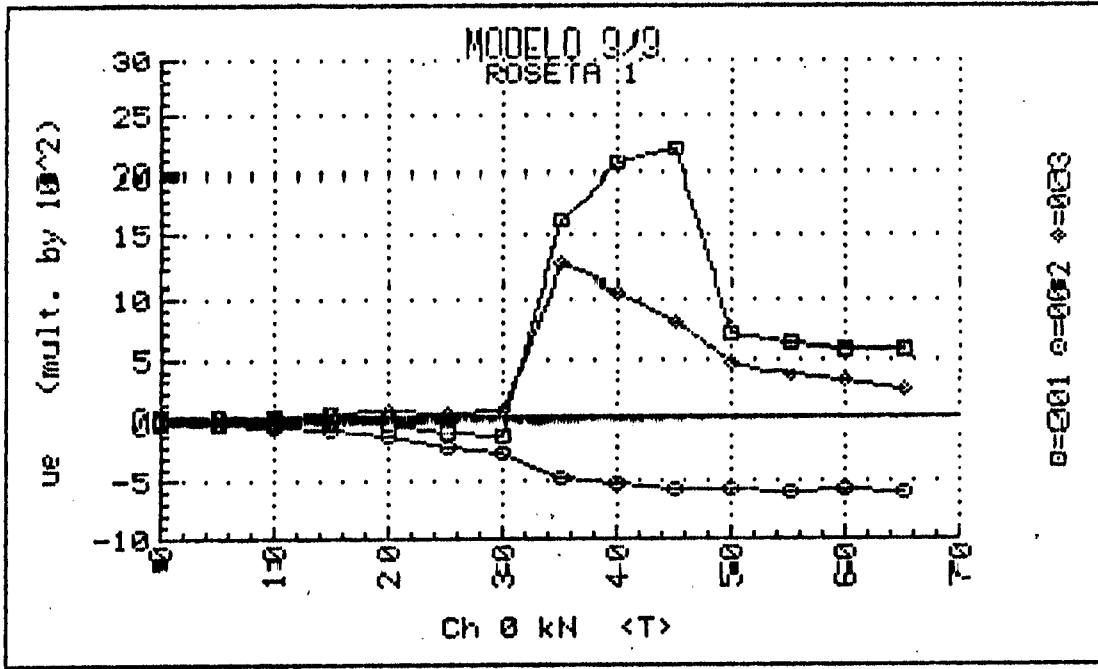
Cálculos feitos com: $E_c = 30.000$ MPa e $\nu = 0,2$
 ϵ_a : horizontal ϵ_b : 45° ϵ_c : vertical
 α : ângulo entre ϵ_a e ϵ_1 , + no sentido horário a partir de ϵ_a .

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

ENSAIO DE VIGA DE ARGAMASSA ARMADA
 MODELO 3/3 DATA: 29/10/91
 DEFORMAÇÕES DOS EXTENSÔMETROS ELÉTRICOS DAS ROSETAS
 ROSETA 2

| F (kN) | ϵ_a ($\mu\epsilon$) | ϵ_b ($\mu\epsilon$) | ϵ_c ($\mu\epsilon$) | ϵ_1 ($\mu\epsilon$) | ϵ_2 ($\mu\epsilon$) | σ_1 (MPa) | σ_2 (MPa) | θ ($^\circ$) |
|-----------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|
| 0.00 | +1. | +0. | +0. | +1. | -0. | +0.0 | +0.0 | U/C |
| 5.00 | +1. | -16. | +2. | +18. | -16. | +0.5 | -0.4 | -45.8 |
| 10.00 | +10. | -45. | +4. | +58. | -45. | +1.5 | -1.0 | -43.4 |
| 5.00 | +13. | -11. | +5. | +29. | -11. | +0.8 | -0.2 | -39.3 |
| 10.00 | +13. | -45. | +4. | +61. | -45. | +1.6 | -1.0 | -42.6 |
| 14.95 | +275. | -67. | +11. | +391. | -105. | +11.6 | -0.8 | -28.9 |
| 20.00 | +530. | -216. | +84. | +875. | -262. | +25.7 | -2.7 | -33.5 |
| 25.00 | +672. | -287. | +431. | +1399. | -296. | +41.9 | -0.5 | -40.9 |
| 30.00 | +606. | -414. | +590. | +1611. | -414. | +47.7 | -2.9 | -44.8 |
| 35.00 | +583. | -504. | +772. | +1862. | -508. | +55.0 | -4.2 | -47.3 |
| 40.00 | +341. | -619. | +983. | +1983. | -659. | +57.9 | -8.2 | -52.0 |
| 45.00 | +199. | -773. | +528. | +1512. | -785. | +42.3 | -15.1 | -49.1 |
| 50.00 | +141. | -861. | +377. | +1385. | -867. | +37.9 | -18.4 | -48.0 |
| 55.00 | +37. | -959. | +268. | +1269. | -965. | +33.6 | -22.2 | -48.0 |
| 60.00 | -370. | -1086. | +167. | +919. | -1122. | +21.7 | -29.3 | -52.6 |
| 65.00 | -438. | -1204. | +44. | +838. | -1232. | +18.5 | -33.3 | -51.7 |

Cálculos feitos com: $E_c = 30.000$ MPa e $\nu = 0,2$
 ϵ_a : horizontal ϵ_b : 45° ϵ_c : vertical
 θ : ângulo entre ϵ_a e ϵ_1 , + no sentido horário a partir de ϵ_a



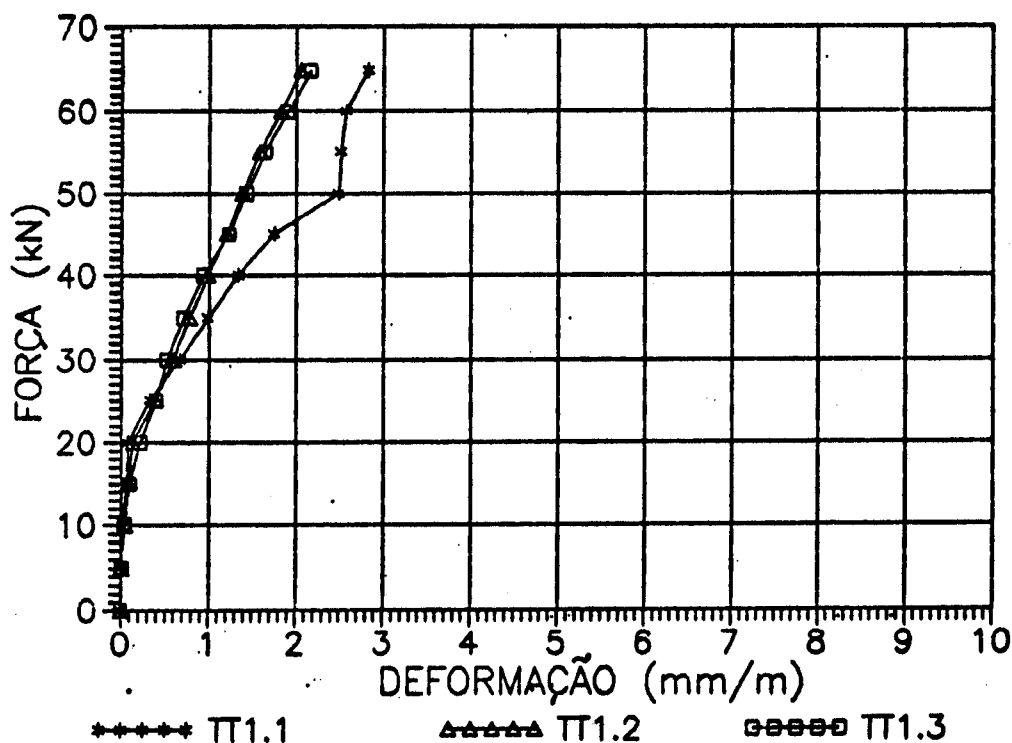
DEFORMAÇÕES MEDIDAS COM EXTENSÔMETRO MECÂNICO

MESA TRACIONADA - SEÇÃO 1

MODELO 3/3 (mm/m)

| ETAPA | F (kN) | T (°C) | TT1.1 | TT1.2 | TT1.3 |
|-------|--------|--------|-------|-------|-------|
| 0 | 0,00 | 29,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1 | 5,00 | 29,00 | 0,00 | 0,00 | 0,02 |
| 2 | 10,00 | 29,00 | 0,01 | 0,05 | 0,03 |
| 1 | 5,00 | 29,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 |
| 2 | 10,00 | 29,00 | 0,02 | 0,05 | 0,04 |
| 3 | 15,00 | 29,50 | 0,07 | 0,08 | 0,10 |
| 4 | 20,00 | 29,50 | 0,08 | 0,13 | 0,22 |
| 5 | 25,00 | 29,50 | 0,33 | 0,39 | 0,40 |
| 6 | 30,00 | 29,50 | 0,67 | 0,60 | 0,52 |
| 7 | 35,00 | 29,50 | 0,99 | 0,78 | 0,71 |
| 8 | 40,00 | 29,50 | 1,34 | 0,99 | 0,94 |
| 9 | 45,00 | 29,50 | 1,75 | 1,21 | 1,23 |
| 10 | 50,00 | 30,00 | 2,49 | 1,38 | 1,43 |
| 11 | 55,00 | 30,00 | 2,52 | 1,59 | 1,65 |
| 12 | 60,00 | 30,00 | 2,58 | 1,83 | 1,91 |
| 13 | 65,00 | 30,00 | 2,83 | 2,06 | 2,17 |

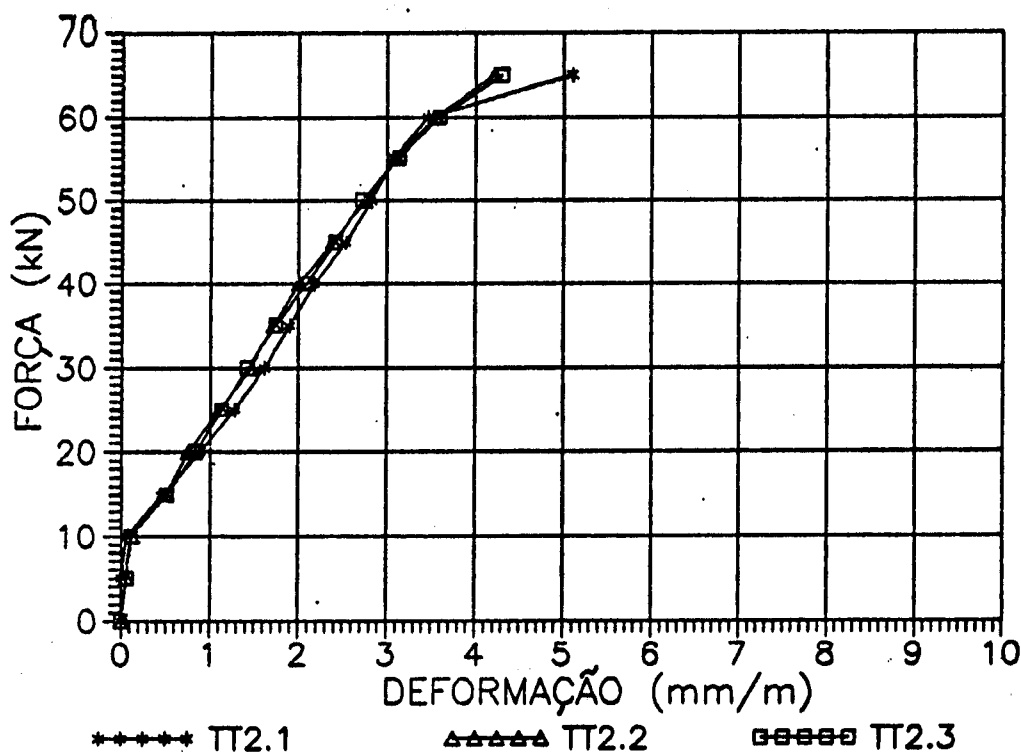
DIAGRAMAS FORÇA - DEFORMAÇÃO
 MODELO 3/3 - Seção 1
 Mesa Tracionada



DEFORMAÇÕES MEDIDAS COM EXTENSÔMETRO MECÂNICO
MESA TRACIONADA - SEÇÃO 2
MODELO 3/3 (mm/m)

| ETAPA | F (kN) | T (°C) | TT2.1 | TT2.2 | TT2.3 |
|-------|--------|--------|-------|-------|-------|
| 0 | 0,00 | 29,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1 | 5,00 | 29,00 | 0,00 | 0,06 | 0,06 |
| 2 | 10,00 | 29,00 | 0,04 | 0,09 | 0,10 |
| 1 | 5,00 | 29,00 | 0,01 | 0,06 | 0,06 |
| 2 | 10,00 | 29,00 | 0,06 | 0,12 | 0,11 |
| 3 | 15,00 | 29,50 | 0,46 | 0,49 | 0,51 |
| 4 | 20,00 | 29,50 | 0,89 | 0,75 | 0,84 |
| 5 | 25,00 | 29,50 | 1,28 | 1,11 | 1,13 |
| 6 | 30,00 | 29,50 | 1,62 | 1,47 | 1,42 |
| 7 | 35,00 | 29,50 | 1,90 | 1,72 | 1,74 |
| 8 | 40,00 | 29,50 | 2,18 | 2,00 | 2,09 |
| 9 | 45,00 | 29,50 | 2,53 | 2,38 | 2,41 |
| 10 | 50,00 | 30,00 | 2,82 | 2,75 | 2,72 |
| 11 | 55,00 | 30,00 | 3,07 | 3,10 | 3,13 |
| 12 | 60,00 | 30,00 | 3,46 | 3,54 | 3,59 |
| 13 | 65,00 | 30,00 | 5,10 | 4,21 | 4,30 |

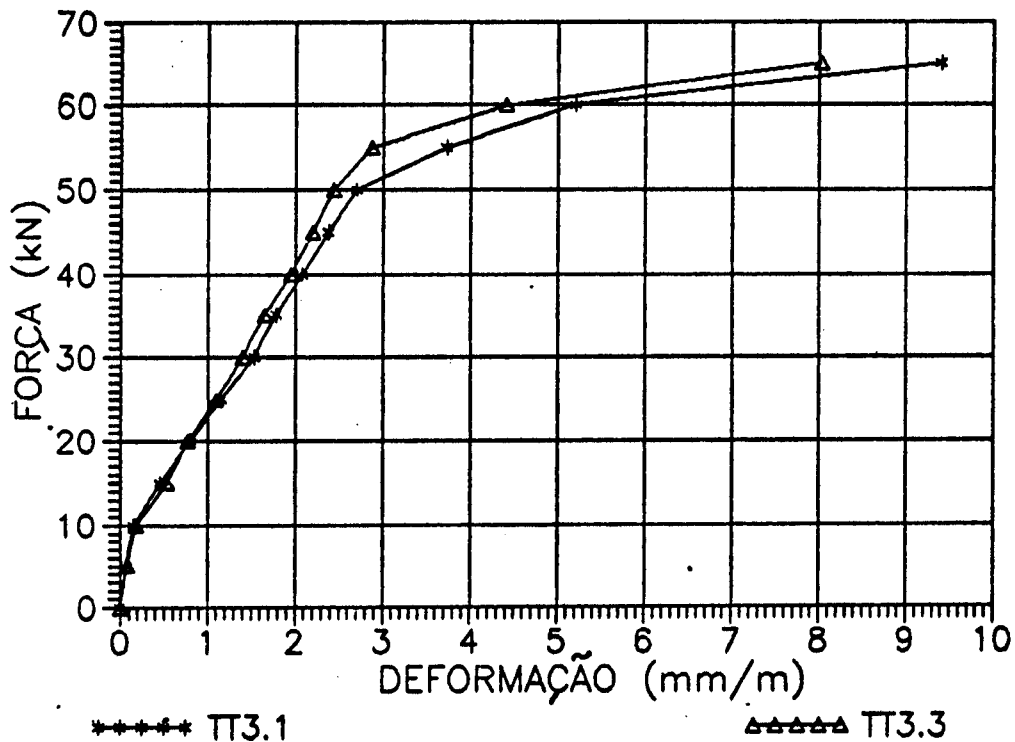
DIAGRAMAS FORÇA - DEFORMAÇÃO
MODELO 3/3 - Seção 2
Mesa Tracionada



DEFORMAÇÕES MEDIDAS COM EXTENSÔMETRO MECÂNICO
MESA TRACIONADA - SEÇÃO 3
MODELO 3/3 (mm/m)

| ETAPA | F (kN) | T (°C) | TT3.1 | TT3.3 |
|-------|--------|--------|-------|-------|
| 0 | 0,00 | 29,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1 | 5,00 | 29,00 | 0,06 | 0,06 |
| 2 | 10,00 | 29,00 | 0,14 | 0,17 |
| 1 | 5,00 | 29,00 | 0,07 | 0,08 |
| 2 | 10,00 | 29,00 | 0,15 | 0,18 |
| 3 | 15,00 | 29,50 | 0,46 | 0,53 |
| 4 | 20,00 | 29,50 | 0,80 | 0,77 |
| 5 | 25,00 | 29,50 | 1,15 | 1,10 |
| 6 | 30,00 | 29,50 | 1,53 | 1,40 |
| 7 | 35,00 | 29,50 | 1,78 | 1,65 |
| 8 | 40,00 | 29,50 | 2,08 | 1,95 |
| 9 | 45,00 | 29,50 | 2,38 | 2,20 |
| 10 | 50,00 | 30,00 | 2,70 | 2,44 |
| 11 | 55,00 | 30,00 | 3,73 | 2,87 |
| 12 | 60,00 | 30,00 | 5,21 | 4,41 |
| 13 | 65,00 | 30,00 | 9,40 | 8,03 |

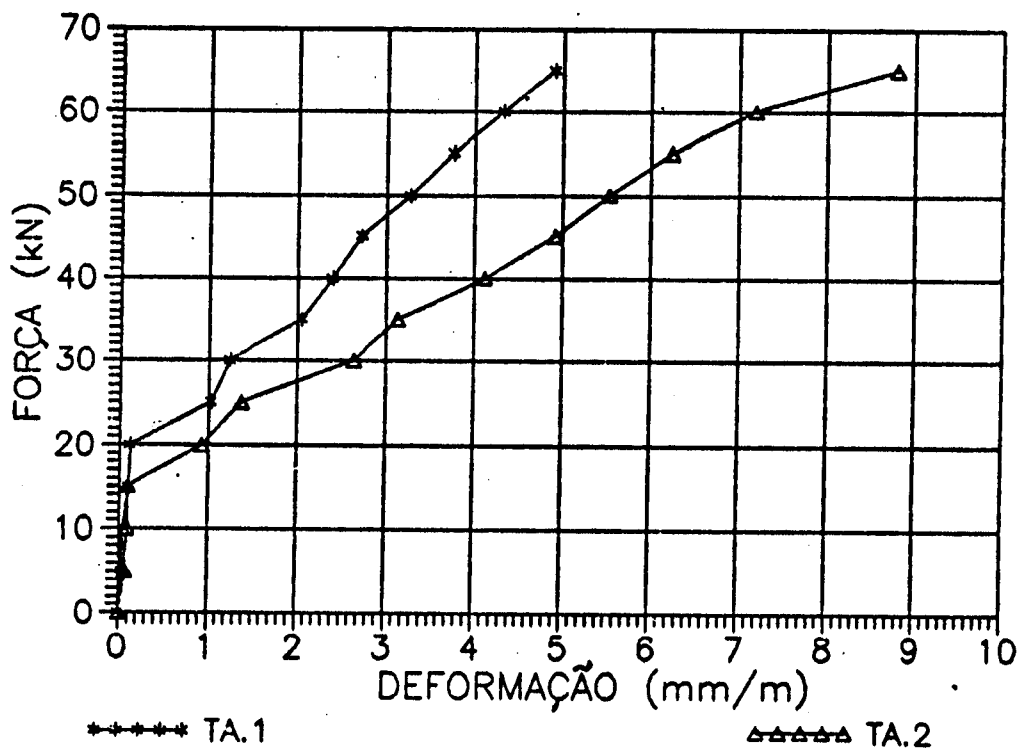
DIAGRAMAS FORÇA - DEFORMAÇÃO
MODELO 3/3 - Seção 3
Mesa Tracionada



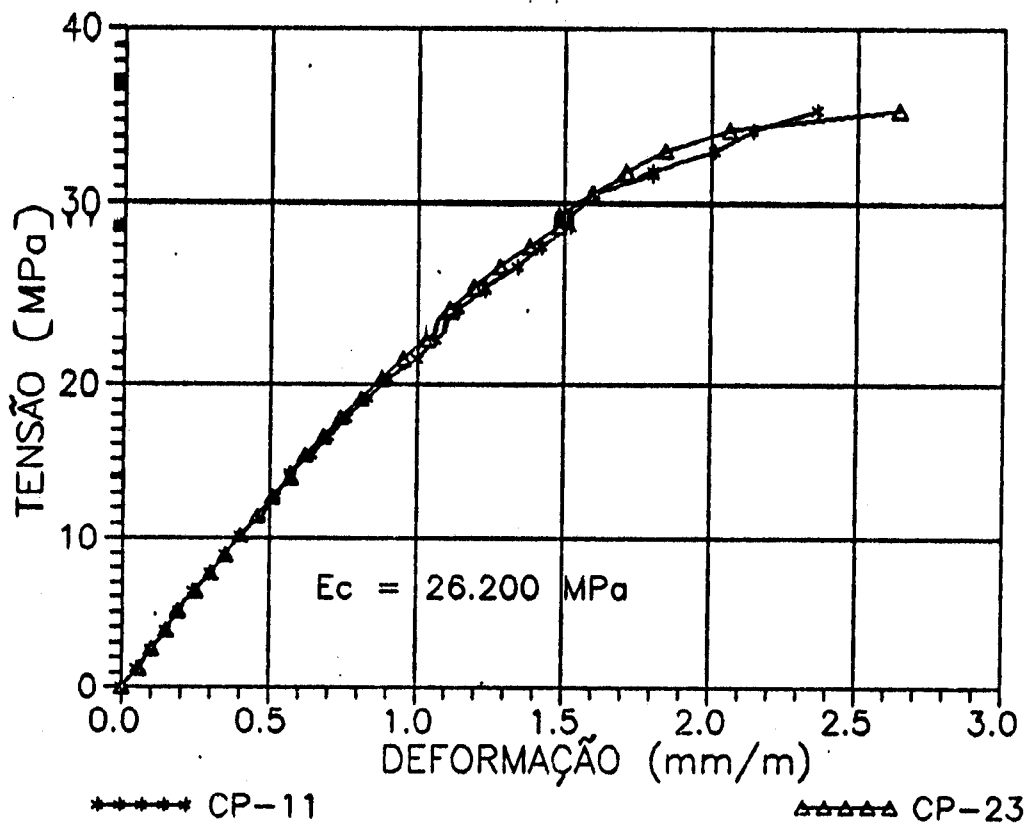
DEFORMAÇÕES MEDIDAS COM EXTENSÔMETRO
MECÂNICO NA ALMA - MODELO 3/3 (mm/m)

| ETAPA | F (kN) | T (°C) | TA.1 | TA.2 |
|-------|--------|--------|------|------|
| 0 | 0,00 | 29,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1 | 5,00 | 29,00 | 0,03 | 0,07 |
| 2 | 10,00 | 29,00 | 0,05 | 0,09 |
| 1 | 5,00 | 29,00 | 0,03 | 0,07 |
| 2 | 10,00 | 29,00 | 0,05 | 0,09 |
| 3 | 15,00 | 29,50 | 0,10 | 0,09 |
| 4 | 20,00 | 29,50 | 0,12 | 0,93 |
| 5 | 25,00 | 29,50 | 1,03 | 1,37 |
| 6 | 30,00 | 29,50 | 1,24 | 2,64 |
| 7 | 35,00 | 29,50 | 2,05 | 3,13 |
| 8 | 40,00 | 29,50 | 2,40 | 4,11 |
| 9 | 45,00 | 29,50 | 2,73 | 4,91 |
| 10 | 50,00 | 30,00 | 3,27 | 5,52 |
| 11 | 55,00 | 30,00 | 3,76 | 6,24 |
| 12 | 60,00 | 30,00 | 4,32 | 7,18 |
| 13 | 65,00 | 30,00 | 4,90 | 8,79 |

DIAGRAMAS FORÇA - DEFORMAÇÃO
MODELO 3/3 - ALMA



DIAGRAMAS TENSÃO - DEFORMAÇÃO
Modelo 3/3



ESPAÇAMENTOS ENTRE FISSURAS NA MESA TRACIONADA

VALORES MÉDIOS (mm) MODELO 3/3

| ETAPA | F (kN) | TA1 | TA2 | TA3 | TB | TC3 | TC2 | TC1 |
|-------|--------|------|-------|------|-------|-------|------|------|
| 0 | 0,0 | | | | | | | |
| 1 | 5,0 | | | | | | | |
| 2 | 10,0 | | | | | | | |
| 3 | 15,0 | | | | 137,9 | 190,0 | | |
| 4 | 20,0 | | 100,0 | 63,3 | 56,8 | 44,2 | 55,0 | |
| 5 | 25,0 | | 87,5 | 37,9 | 40,2 | 29,4 | 55,0 | |
| 6 | 30,0 | | 50,0 | 29,4 | 34,5 | 29,4 | 50,0 | 65,0 |
| 7 | 35,0 | 40,0 | 43,8 | 24,1 | 30,2 | 26,5 | 26,9 | 50,0 |
| 8 | 40,0 | 40,0 | 43,8 | 24,1 | 28,4 | 24,1 | 25,0 | 48,8 |
| 9 | 45,0 | 40,0 | 38,9 | 20,4 | 27,6 | 22,1 | 23,3 | 48,8 |
| 10 | 50,0 | 40,0 | 31,8 | 20,4 | 27,6 | 22,1 | 20,6 | 48,8 |
| 11 | 55,0 | 40,0 | 31,8 | 20,4 | 27,6 | 22,1 | 20,6 | 48,8 |
| 12 | 60,0 | 40,0 | 31,8 | 20,4 | 24,7 | 22,1 | 20,6 | 48,8 |
| 13 | 65,0 | 40,0 | 26,9 | 20,4 | 23,5 | 22,1 | 20,6 | 48,8 |
| RUINA | 65,0 | 40,0 | 26,9 | 20,4 | 23,5 | 22,1 | 20,6 | 48,8 |

ESPAÇAMENTOS ENTRE FISSURAS NA ALMA

VALORES MÉDIOS (mm) - MODELO 3/3

| ETAPA | F (kN) | AA1 | AA2 | AA3 | AB | AC3 | AC2 | AC1 |
|-------|--------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| 0 | 0,0 | | | | | | | |
| 1 | 5,0 | | | | | | | |
| 2 | 10,0 | | | | | | | |
| 3 | 15,0 | | | 85,0 | 241,3 | 130,0 | | |
| 4 | 20,0 | | 175,0 | 80,0 | 137,9 | 130,0 | 116,7 | |
| 5 | 25,0 | | 70,0 | 80,0 | 80,4 | 65,0 | 70,0 | 120,0 |
| 6 | 30,0 | 80,0 | 50,0 | 44,2 | 50,8 | 65,0 | 70,0 | 75,0 |
| 7 | 35,0 | 77,5 | 50,0 | 37,9 | 46,0 | 53,0 | 58,3 | 75,0 |
| 8 | 40,0 | 77,5 | 43,8 | 37,9 | 43,9 | 53,0 | 58,3 | 53,3 |
| 9 | 45,0 | 66,7 | 35,0 | 33,1 | 38,6 | 44,2 | 58,3 | 57,5 |
| 10 | 50,0 | 50,0 | 35,0 | 33,1 | 37,1 | 37,9 | 58,3 | 57,5 |
| 11 | 55,0 | 50,0 | 31,8 | 33,1 | 35,7 | 24,1 | 58,3 | 57,5 |
| 12 | 60,0 | 50,0 | 29,2 | 33,1 | 35,7 | 24,1 | 50,0 | 57,5 |
| 13 | 65,0 | 50,0 | 26,9 | 33,1 | 31,1 | 24,1 | 43,8 | 57,5 |
| RUINA | 65,0 | 50,0 | 26,9 | 33,1 | 31,1 | 24,1 | 43,8 | 57,5 |

VALORES DAS ABERTURAS DE FISSURAS (mm) - MESA TRACIONADA

MODELO 3/3

| ETAPA | FORÇA (kN) | TA1 | TA2 | TA3 | TB | TC3 | TC2 | TC1 |
|-------|------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 0,00 | | | | | | | |
| 1 | 5,00 | | | | | | | |
| 2 | 10,00 | | | | | | | |
| 3 | 15,00 | | | | 0,05 | | | |
| 4 | 20,00 | | 0,06 | 0,06 | 0,05 | 0,03 | 0,04 | |
| 5 | 25,00 | | 0,06 | 0,06 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | |
| 6 | 30,00 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,09 | 0,05 | 0,06 | 0,09 |
| 7 | 35,00 | 0,06 | 0,06 | 0,08 | 0,10 | 0,06 | 0,06 | 0,05 |
| 8 | 40,00 | 0,06 | 0,07 | 0,10 | 0,10 | 0,06 | 0,07 | 0,05 |
| 9 | 45,00 | 0,06 | 0,08 | 0,10 | 0,10 | 0,06 | 0,07 | 0,05 |
| 10 | 50,00 | 0,06 | 0,10 | 0,13 | 0,11 | 0,09 | 0,08 | 0,07 |
| 11 | 55,00 | 0,06 | 0,10 | 0,14 | 0,13 | 0,09 | 0,10 | 0,07 |
| 12 | 60,00 | 0,07 | 0,11 | 0,16 | 0,17 | 0,14 | 0,10 | 0,07 |

VALORES DAS ABERTURAS DE FISSURAS (mm) - ALMA

MODELO 3/3

| ETAPA | FORÇA (kN) | AA1 | AA2 | AA3 | AB | AC3 | AC2 | AC1 |
|-------|------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 0,00 | | | | | | | |
| 1 | 5,00 | | | | | | | |
| 2 | 10,00 | | | | | | | |
| 3 | 15,00 | | | 0,07 | 0,05 | 0,06 | | |
| 4 | 20,00 | | 0,09 | 0,09 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | |
| 5 | 25,00 | 0,06 | 0,11 | 0,11 | 0,07 | 0,07 | 0,10 | 0,06 |
| 6 | 30,00 | 0,09 | 0,13 | 0,13 | 0,10 | 0,10 | 0,12 | 0,09 |
| 7 | 35,00 | 0,10 | 0,15 | 0,14 | 0,10 | 0,11 | 0,14 | 0,13 |
| 8 | 40,00 | 0,10 | 0,18 | 0,16 | 0,11 | 0,14 | 0,16 | 0,15 |
| 9 | 45,00 | 0,10 | 0,20 | 0,20 | 0,12 | 0,16 | 0,18 | 0,16 |
| 10 | 50,00 | 0,13 | 0,20 | 0,22 | 0,12 | 0,16 | 0,20 | 0,16 |
| 11 | 55,00 | 0,16 | 0,24 | 0,25 | 0,15 | 0,18 | 0,30 | 0,16 |
| 12 | 60,00 | 0,16 | 0,27 | 0,28 | 0,19 | 0,22 | 0,35 | 0,16 |
| 13 | 65,00 | 0,17 | 0,38 | 0,30 | 0,25 | 0,27 | 0,35 | 0,16 |

**INCLINAÇÕES DAS FISSURAS E DAS TENSÕES PRINCIPAIS DE
COMPRESSÃO NO CENTRO DE GRAVIDADE - MODELO 3/3**

| ETAPA | FORÇA (kN) | SEÇÃO 1 | | SEÇÃO 2 | |
|-------|---------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| | | θ (°) | β (°) | θ (°) | β (°) |
| 1 | 5.0 | | 40.9 | | 50.7 |
| 2 | 10.0 | | 43.3 | | 47.4 |
| 3 | 15.0 | | 43.9 | 60.0 | 61.1 |
| 4 | 20.0 | 45.0 | 37.9 | 46.5 | 56.5 |
| 5 | 25.0 | 45.0 | 36.9 | 43.5 | 49.1 |
| 6 | 30.0 | 35.0 | 35.1 | 39.0 | 45.2 |
| 7 | 35.0 | 37.0 | 47.7 | 50.0 | 42.7 |
| 8 | 40.0 | 40.0 | 51.9 | 40.0 | 38.0 |
| 9 | 45.0 | 38.3 | 54.3 | 48.0 | 40.9 |
| 10 | 50.0 | 36.5 | 47.5 | 36.0 | 42.0 |
| 11 | 55.0 | 30.0 | 48.7 | 37.0 | 42.0 |
| 12 | 60.0 | 50.0 | 49.1 | 37.0 | 37.4 |
| 13 | 65.0 | 30.0 | 49.6 | 34.0 | 38.3 |
| MÉDIA | - | 38.7 | 45.1 | 42.8 | 45.5 |

θ = inclinação das fissuras

β = inclinação da tensão principal de compressão

ANEXO N° 2

A2. PROGRAMA DE MICRO-COMPUTADOR PARA VERIFICAÇÃO DE PEÇAS DE ARGAMASSA ARMADA SUBMETIDAS AOS EFEITOS DO MOMENTO FLETOR E DA FORÇA CORTANTE (AECALC)

O programa a seguir descrito foi inicialmente desenvolvido com o nome AACALC pelo Departamento de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo em linguagem BASIC para micro-computadores compatíveis com a linha IBM-PC, por Marquês de Collo P. C. (1987) e Nader M. (1987), sendo que, posteriormente foi concluída a fase relativa ao cálculo da verificação à flexão pura por Gil L. S. (1989). Todos esses trabalhos foram orientados por HANAI e GIONGO e tiveram recursos da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP, servindo de base para a pesquisa realizada por GIONGO [1990]⁶.

Com o objetivo de obter resultados relativos ao cisalhamento na flexão, o autor fez algumas implementações, também com orientação de GIONGO e financiamento da FAPESP. Foi então criada uma nova versão intitulada AECALC, cujas inovações são a seguir comentadas.

A2.1 ENTRADA DE DADOS DAS RESISTÊNCIAS DOS MATERIAIS

A entrada de dados continua a mesma, tendo apenas sido incluída a opção para uso de estribos. Ao digitar os dados das telas, o usuário é interrogado se são utilizados estribos. Caso a resposta seja afirmativa, o mesmo deverá entrar com o diâmetro, o espaçamento e a resistência de escoamento do aço. Neste ponto, o programa calcula a área equivalente como se toda a armadura transversal fosse composta apenas de telas, tal como recomendado pela SN 366-77⁴. A partir daí, segue o fluxograma anterior sem demais modificações.

A2.2 CÁLCULOS NO ESTÁDIO IB

Além dos resultados já fornecidos pelo programa AACALC, foi incluído o cálculo do deslocamento no meio do vão devido à força cortante de acordo com a equação 3.50. O deslocamento total será a soma dos deslocamentos devidos ao momento fletor e à força cortante.

A2.3 CÁLCULOS NO ESTADO LIMITE ÚLTIMO

Do mesmo modo, além dos resultados do programa AACALC, são calculados e apresentados os valores do braço de alavanca z determinado de acordo com as equações 2.69, 2.71 e 2.72 e da altura útil d conforme equação 2.73, deduzidas no item 2.2.1.3 deste trabalho. Apresentam-se também valores

de θ_{lim} e $\cotg \theta_{lim}$, calculados conforme indicação do CEB-90⁵ de acordo com a equação 2.106, do item 2.2.4.5 IV).

A2.4 CÁLCULOS NO ESTÁDIO II

Tendo em vista que os cálculos pela teoria clássica da treliça se dão no Estádio II, modificou-se a entrada de dados incluindo-se além do momento fletor, o valor da força cortante que atua em conjunto.

Seguindo a mesma sequência de cálculo do item A2.3 o programa apresenta o valor do braço de alavanca z e da altura útil d .

Em seguida, além dos resultados já constantes no programa AACALC, são apresentados os parâmetros de cisalhamento, calculados pela teoria da treliça, sendo que, para isso, utiliza-se o valor do braço de alavanca z ora determinado. São os seguintes os parâmetros apresentados:

A2.4.1 TENSÃO NA DIAGONAL TRACIONADA (σ_{tt})

Esta tensão é calculada pela treliça generalizada, conforme equação 2.47 deduzida no item 2.1.2.4 deste trabalho. O valor de τ_c utilizado, foi o do Anexo da NBR 6.118² incluído na NBR 7.197¹⁹ e indicado na equação 2.64 do item 2.2.1.2;

A2.4.2 ÂNGULO DE INCLINAÇÃO DA BIELA (θ)

Aproveitando o valor de σ_{tt} calculado no item A2.4.1, o programa, utilizando a teoria da treliça de banzos

paralelos, determina e apresenta os valores de θ e $\cotg \theta$ através da equação 2.50, indicada no item 2.1.2.7;

A2.4.3 TENSÃO NA BIELA COMPRIMIDA ($\sigma_{c\theta}$)

Utilizando a equação 2.26 deduzida no item 2.1.2.2 b) referente à treliça de banzos paralelos, o programa calcula a tensão na biela comprimida inclinada do ângulo θ , conforme já determinado no item A2.4.2.

A2.5 ESTADOS LIMITES DE UTILIZAÇÃO

A2.5.1 ESTADO DE FISSURAÇÃO INACEITÁVEL

Como foi feito no programa AACALC para as fissuras da mesa tracionada, também são calculados os espaçamentos e aberturas de fissuras da alma.

O espaçamento das fissuras de cisalhamento é calculado, utilizando a equação 3.22 do item 3.1.4.

O valor de ρ_r foi determinado tomando como base a figura 3.5 e seguindo a seguinte sequência:

- calcula-se ρ_r dividindo-se a área de cada ramo do estribo por uma área de envolvimento, como a seguir:

$$\rho_r = \frac{A_{sw}/n}{(c + \frac{\phi}{2} + 7,5.\phi).15.\phi} = \frac{A_{sw}/n}{(c + 8.\phi).15.\phi} \quad (A2.1)$$

onde:

c = cobrimento da armadura;

ϕ = diâmetro da barra;

A_{sw} = área da armadura transversal;

n = número de telas na alma.

- calcula-se ρ_w de acordo com a equação 2.14 para $\alpha = 90^\circ$;
- compara-se ρ_w com ρ_r e escolhe-se o maior valor para ser adotado como ρ_r , isto para prever a superposição das áreas de envolvimento.

Como a fissura é admitida inclinada de um ângulo θ em relação à horizontal, para se obter o espaçamento paralelo ao eixo da viga, deve-se dividir s_w calculado com a equação 3.22 por $\text{sen } \theta$, conforme pode-se constatar na figura A2.1.

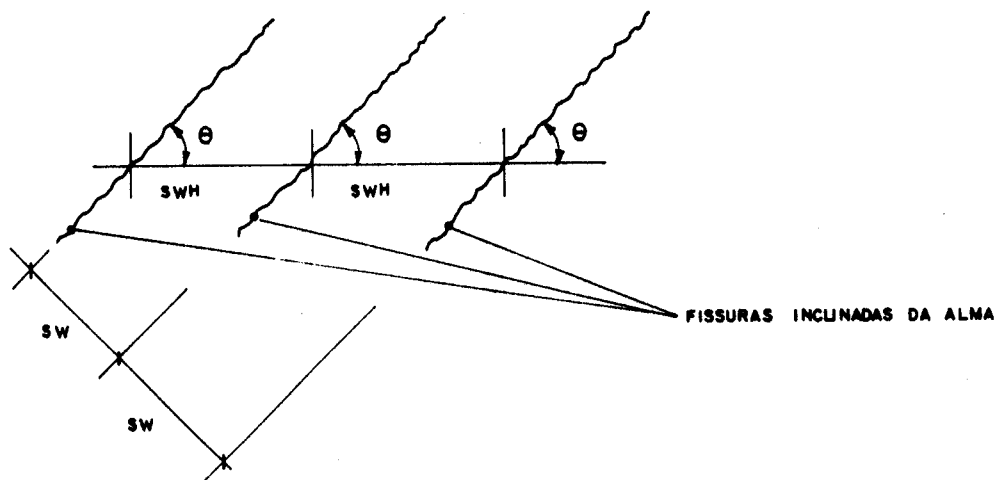


FIGURA A2.1 - ESPAÇAMENTO HORIZONTAL DAS FISSURAS

Assim:

$$s_{WH} = s_w / \text{sen } \theta \quad (\text{A2.2})$$

Optou-se por imprimir o espaçamento horizontal das fissuras no programa, para facilitar a comparação com os resultados experimentais, cujas tabelas são apresentadas com estes referidos espaçamentos na horizontal.

As aberturas das fissuras de cisalhamento são calculadas utilizando-se a equação 3.29 do item 3.1.5.1. O

coeficiente k_θ utiliza o ângulo θ já calculado através da treliça de banzos paralelos, enquanto τ_d é proveniente dos resultados obtidos dos conceitos de treliça generalizada.

A2.5.2 - ESTADO DE DEFORMAÇÃO EXCESSIVA

O deslocamento vertical devido à força cortante no meio do vão é calculado a partir das equações 3.60 e 3.63 dos itens 3.2.3.2 e 3.2.4 respectivamente deste trabalho.

Novamente, como foi feito no item A2.2, o programa soma os valores dos deslocamentos devido ao cisalhamento e devido ao momento fletor, apresentando o deslocamento total no meio do vão.

A2.6 OBSERVAÇÕES SOBRE O PROGRAMA AECALC

- O cálculo do deslocamento vertical no meio do vão devido ao momento fletor digitado M_d , só pode ser considerado para $M_d > M_r$, pois neste caso, I_{eq} só vale para o Estádio II;
- As hipóteses utilizadas para treliça no programa, consideram o aço antes do escoamento, portanto para $\epsilon_s > \epsilon_y$ os resultados no Estádio II, não são corretos;
- A $\cotg \theta$ foi limitada pelo programa aos valores 1 ($\theta = 45^\circ$) e 3 ($\theta = 18,43^\circ$), como indicado pelo CEB-90⁵;
- Nos cálculos do Estádio II, valores da força cortante digitados maiores que V_u , podem causar $\sigma_{tt} > f_{yd}$ e portanto, não valem as hipóteses utilizadas no programa.

A2.7 EXEMPLO DE IMPRESSÃO DE DADOS E RESULTADOS (MODELO 1/3)

Apresenta-se nas páginas seguintes um exemplo da listagem dos dados e resultados para o modelo 1/3.

CALCULO DE VIGAS DE PERFIS TÍPICOS DE ARGAMASSA ARMADA

MODELO 1/3

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DA SEÇÃO

ÁREA DA SEÇÃO 143.75 cm²
 COORDENADAS DO CG (NO MESMO EIXO DA ENTRADA DOS DADOS) Xcg= 0 cm
 Ycg= 11.03261 cm
 MOMENTOS DE INÉRCIA I_X = 13271,2 cm⁴
 I_Y = 3102,214 cm⁴
 I_{XY} = 0 cm⁴
 RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA À COMPRESSÃO DA ARGAMASSA 36.6 MPa
 SIGCD= 36.6
 RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA À TRACÃO DA ARGAMASSA 2.896 MPa
 MÓDULO DE DEFORMAÇÃO LONGITUDINAL DA ARGAMASSA 33435.37 MPa
 VAO ENTRE APOIOS DA VIGA 289.5 cm
 GAMAC= 1

DADOS DA ARMADURA COMPLEMENTAR

NÚMERO DE FIOS ---- 6
 DIÂMETRO DE CADA FIO ---- .63 cm
 DISTÂNCIA DA ARMADURA DISCRETA À FACE SUPERIOR DA PEÇA ---- 23.75 cm
 RESISTÊNCIA DE ESCOAMENTO ---- 500 MPa
 DEFORMAÇÃO LÍMITE DO TRECHO DE PROPORCIONALIDADE ---- 1.666667 mm/m
 DEFORMAÇÃO DE INÍCIO DE ESCOAMENTO ---- 4.047619 mm/m
 MÓDULO DE DEFORMAÇÃO LONGITUDINAL DO AÇO ---- 210000 MPa
 ÁREA TOTAL DA ARMADURA COMPLEMENTAR ---- 1.870351 cm²
 GAMAS= 1

DADOS DAS TELAS

DIÂMETRO DO FIO DA TELA ---- .2 cm
 ÁREA DE CADA FIO DA TELA ---- .031416 cm²
 DISTÂNCIA DO CG DAS TELAS À FACE MAIS PRÓXIMA ---- .6 cm
 RESISTÊNCIA DE ESCOAMENTO DO AÇO DA TELA ---- 600 MPa
 DEFORMAÇÃO LÍMITE DO TRECHO DE PROPORCIONALIDADE ---- 2 mm/m
 DEFORMAÇÃO DE INÍCIO DE ESCOAMENTO ---- 4.857143 mm/m
 MÓDULO DE DEFORMAÇÃO LONGITUDINAL DO AÇO ---- 210000 MPa

POSICIONAMENTO DAS TELAS

| | NÚMERO DE TELAS | / | FIOS |
|------------------------------------|-----------------|---|------|
| (A) FACE SUPERIOR DA MESA SUPERIOR | 1 | / | 6 |
| (B) FACE INFERIOR DA MESA SUPERIOR | 1 | / | 4 |
| (C) FACE SUPERIOR DA MESA INFERIOR | 1 | / | 8 |
| (D) FACE INFERIOR DA MESA INFERIOR | 1 | / | 9 |
| (E) ALMA (TELAS VERTICAIS) | 2 | / | 9 |

DISTÂNCIA DO PRIMEIRO FIO (SUPERIOR) À FACE SUPERIOR DA PEÇA 2.7 cm
 ESPACAMENTO VERTICAL DOS FIOS POSICIONADOS NA ALMA 2.5 cm
 ESPACAMENTO LONGITUDINAL DOS FIOS DAS TELAS DA ALMA 5 cm
 DIÂMETRO DOS ESTRIBOS .42 cm
 ESTRIBOS ESPACADOS A CADA 11 cm
 RESISTÊNCIA AO ESCOAMENTO DOS ESTRIBOS 600 MPa

DADOS DA SEÇÃO (cm)

LARGURA DA MESA SUPERIOR > 15
 ESPESSURA DA MESA SUPERIOR > 2.5
 LARGURA DA MESA INFERIOR > 22.5
 ESPESSURA DA MESA INFERIOR > 2.5
 LARGURA DA ALMA OU SOMA DAS LARGURAS > 2.5
 ALTURA TOTAL DA SECAO > 25

CALCULOS NO ESTADIO I b

=====

POSICAO DA LINHA NEUTRA 9.141006 cm
 MOMENTO DE FISSURACAO 3.710792 kNm
 FLECHA NO MEIO DO VAO DEVIDO AO MOMENTO FLETOR: .0746314 cm
 FLECHA NO MEIO DO VAO DEVIDO A FORCA CORTANTE: 6.39268E-03 cm
 FLECHA TOTAL NO MEIO DO VAO: 8.102408E-02 cm

CALCULOS NO ESTADO LIMITE ULTIMO

TENSOES E DEFORMACOES NAS ARMADURAS

=====

| CAMADA | TENSAO (MPa) | DEFORMACAO (mm/m) |
|--|--------------|-------------------|
| MESA SUPERIOR | | |
| CAMADA SUPERIOR | -321.6497 | -1.531665 |
| CAMADA INFERIOR | -189.3747 | -.9017841 |
| MESA INFERIOR | | |
| CAMADA SUPERIOR | 600 | 9.370119 |
| ARM. COMPLEMENTAR | 500 | 9.685059 |
| CAMADA INFERIOR | 600 | 10 |
| ALMA -- fios contados de cima para baixo | | |
| FIO 1 | -107.9747 | -.5141652 |
| FIO 2 | 146.4003 | .6971442 |
| FIO 3 | 400.7759 | 1.908454 |
| FIO 4 | 521.5282 | 3.119763 |
| FIO 5 | 579.5475 | 4.331073 |
| FIO 6 | 600 | 5.542382 |
| FIO 7 | 600 | 6.753692 |
| FIO 8 | 600 | 7.965001 |
| FIO 9 | 600 | 9.176911 |
| NA ARGAMASSA | 36.31133 | 1.822379 |

=====

POSICAO DA LINHA NEUTRA 3.743817 cm
 MOMENTO RESISTENTE ULTIMO 31.76557 kNm
 CORTANTE ULTIMA DA SECAO 36.53188 kN
 CARGA ULTIMA RESISTENTE 32.91769 kN
 BRACO DE ALAVANCA (z) = 21.0371 cm ALTURA UTIL (d) = 21.88273 cm
 cotg TETA lim. = 1.450568 TETA lim. = 34.5818
 O modelo provavelmente romperá no DOMINIO 2

CALCULOS NO ESTADIO II

=====

PARA O MOMENTO SOLICITANTE DE 10 kNm e FORCA CORTANTE DE 20 kN
 POSICAO DA LINHA NEUTRA 7.557849 cm
 MOMENTO DE INERCIA DA SECAO FISSURADA (I_{dois}) 6151.378 cm⁴
 MOMENTO DE INERCIA EQUIVALENTE (I_{eq}) 6515.183 cm⁴
 BRACO DE ALAVANCA (z) = 21.43889 cm ALTURA UTIL (d) = 22.58676 cm

TENSOES NO ESTADIO II

CAMADA TENSAO

| | (MPa) |
|-------------------|-----------------|
| ARGAMASSA | - 12.28643 |
| DEFORMACAO | - .3699018 mm/m |
| MESA SUPERIOR | |
| CAMADA SUPERIOR | -71.0421 |
| CAMADA INFERIOR | -57.76864 |
| MESA INFERIOR | |
| CAMADA SUPERIOR | 158.6909 |
| ARM. COMPLEMENTAR | 165.3276 |
| CAMADA INFERIOR | 171.9643 |

ALMA (fios contados de alma para baixo)

| | |
|-------|-----------|
| FIO 1 | -49.60036 |
| FIO 2 | -24.07448 |
| FIO 3 | 1.451411 |
| FIO 4 | 26.9773 |
| FIO 5 | 52.50318 |
| FIO 6 | 78.02907 |
| FIO 7 | 103.555 |
| FIO 8 | 129.0808 |
| FIO 9 | 154.6067 |

PARAMETROS DE CISALHAMENTO

----- TRELICA GENERALIZADA -----

TENSAO NA DIAGONAL TRACIONADA 280.5964 MPa

----- TRELICA DE BANZOS PARALELOS -----

ANGULO DE INCLINACAO DA BIELA PARA SIGMA tt = 280.5964 MPa: 37.11884 GRAUS
cotg TETA = 1.321334

TENSAO NA BIELA COMPRIMIDA 7.754674 MPa

VERIFICACAO DA ABERTURA DE FISSURAS

ESPACAMENTO ENTRE FISSURAS 3.261264 cm
 ABERTURA DE FISSURAS 4.417192E-02 mm
 ESPACAMENTO HORIZONTAL DAS FISSURAS DE CISALHAMENTO: 6.760044 cm
 ABERTURA DE FISSURAS DE CISALHAMENTO: .1255698 mm
 ACEITAVEL = 0.15 mm (PROTEGIDO)
 = 0.10 mm (NAO PROTEGIDO)

VERIFICACAO DA FLECHA :ESTADO DE DEFORMACAO EXCESSIVA

FLECHA NO MEIO DO VAO DEVIDO AO MOMENTO FLETOR: .4819696 cm
 FLECHA NO MEIO DO VAO DEVIDO A FORCA CORTANTE: 6.236476E-02 cm
 FLECHA TOTAL NO MEIO DO VAO: .5443343 cm