

CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA FLUÊNCIA
EM PEÇAS FLETIDAS DE MADEIRA

Engº ALFONSO HUMBERTO CELIA-SILVA

Prof. Dr. CARLITO CALIL JUNIOR



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

CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA FLUÊNCIA EM
PEÇAS FLETIDAS DE MADEIRA

DEDALUS - Acervo - EESC



31100017623

Engº ALFONSO HUMBERTO CELIA-SILVA

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

1989

SÃO CARLOS

A G R A D E C I M E N T O S

Meu muito obrigado a todos que, de uma maneira ou outra, contribuíram para a realização deste trabalho e a meus pais, esposa, filhos e amigos pelo apoio e abnegação nas horas mais difíceis.

RESUMO

O estudo da fluência em madeira, ou seja, as deformações ocorridas ao longo do tempo em estruturas sob carregamento permanente ou de longa duração, tem sua importância para definir parâmetros de cálculo em estado limite de utilização para estruturas de madeira. A previsão da história de carregamento no comportamento do material permitiria aos calculistas e executores de estruturas de madeira a realização de projetos mais eficientes e conseqüentemente mais racionais e econômicos.

No presente trabalho desenvolveu-se uma metodologia de ensaio para fluência em peças fletidas que poderia ser aplicada a outras solicitações. Efetuadas duas séries de ensaios, a primeira com 21 corpos de prova de 4,0 cm x 4,0 cm x 120 cm e a segunda com 18 corpos de prova de 2,0 cm x 2,0 cm x 60 cm, verificou-se um acréscimo na flecha de 10% a 20% para carregamentos de curta duração, menos de seis semanas, e acréscimo de 20% a 50% para carregamento de média duração.

Não se teve a intenção de esgotar o assunto, mas somente aprofundar seu estudo, ou ainda apresentar uma referência inicial para o estudo da fluência como propriedade reológica da madeira e suas conseqüências no comportamento físico e mecânico das estruturas de madeira.

A B S T R A C T

The study of creep in wood, that is, time-dependent deformation in structures subject to permanent on long term - load duration, has its importance in the definition of design parameters in the serviceability limit states of timber. The history of load material behavior allow to safe and economical structures to timber structure designers and constructions.

In this work was developed a creep experimental methodology in bending wood samples whiler can be used to other strength solicitations.

That tests were made in two series of experiments. The first one with 21 samples of 4cm x 4cm x 120cm size and the second with 18 samples of 2 x 2 x 60cm, showed the increment of displacement of 10% to 20% to short-term load class duration, with less than six weeks, and an increment of 20% to 50% to medium term load duration class.

The idea of this work, was only an introduction and a first national reference to the study of creep as a rheological wood property and its consequences in physical and mechanical behavior of timber structures.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO DA LITERATURA	04
2.1. Trabalhos e Teorias	04
2.2. Principais Normas	25
2.3. Mecanismos de Fluência e Modelos Reológicos	30
3. METODOLOGIA, INSTRUMENTAÇÃO E RESULTADOS	45
3.1. Experiências Anteriores no LaMEM	45
3.2. Ensaio em Corpos de Prova de Dimensões Estruturais ..	61
3.3. Ensaio em Pequenos Corpos de Prova	77
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES	97
4.1. Análise de Resultados	97
4.2. Dificuldades Encontradas na Experimentação	99
4.3. Metodologia Proposta	100
4.4. Propostas Para Novos Estudos	102
5. BIBLIOGRAFIA	103

1- INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da humanidade a madeira tem sido utilizada nos mais variados setores de atividades: em embarcações, mobiliário, instrumentos musicais, ferramentas, embalagens, na construção civil em caixilhos, divisórias, tacos, tábuas de assoalho e forros, lambris, revestimentos, estruturas de coberturas, fôrmas e cimbramentos para obras de concreto armado e protendido, galpões, silos, pontes e construções rurais, entre outros.

A madeira, sendo um material anisotrópico, apresenta fratura plástica ou frágil conforme o tipo de solicitação: esforços de tração e cisalhamento provocam rupturas frágeis, enquanto os esforços de compressão e de flexão provocam rupturas plásticas. Quando as características de resistência e de deformação dependem do fator tempo de atuação do carregamento, está caracterizado o fenômeno da fluência. Como a maioria dos materiais utilizados na construção, a madeira sofre redução na rigidez ou na resistência quando submetida a carregamento de longa duração.

Existe alguma controvérsia a respeito do termo a ser utilizado para definir o fenômeno, CEB (1984). Os ingleses e alemães utilizam "creep" e "kriechen" (escorregamento) para designar a deformação total ocorrida ao longo do tempo e os termos "flow" e "fliessen" para a deformação irreversível. Os franceses utilizam "fluage" e "plasticité différée", respectivamente e em português e espanhol o termo "fluencia" é geral, sendo dividida em recuperável e não recuperável. A fluência resulta num acréscimo de deformação com o passar do tempo, deformação lenta, e/ou uma redução nas tensões internas da estrutura se as deformações forem mantidas constantes: relaxação das tensões.

Os termos "deformação lenta" e "fluência" se confundem na literatura nacional e portuguesa a respeito do assunto, sendo utilizados indistintamente neste trabalho para designar o fenômeno da deformação, permanente ou não, sofrida por certos materiais quando submetidos à ação de cargas de longa duração. Lembre-se porém, que fluência é a deformação em resposta a um tipo particular de carregamento permanente ou de longa duração, e não um tipo particular de elasticidade.

Reologia é o estudo do comportamento tensão-deformação em dependência com o tempo (rheo = fluxo) e trata da deformação lenta ou fluência de sólidos tais como polímeros ou líquidos em condições dinâmicas ou na eminência de fluxo.

No estudo de suas propriedades mecânicas a madeira é vista como sólido de comportamento elástico ou elasto-plástico conforme os níveis de tensão envolvidos. No entanto as deformações tendem a aumentar com o tempo de aplicação de uma tensão constante, ou seja, após deformação inicialmente elástica, desenvolvem deformações adicionais elásticas ou não. A magnitude destas deformações depende de fatores tais como magnitude, orientação, velocidade de aplicação e duração dos esforços aplicados, teor de umidade da estrutura e condições climáticas de temperatura e umidade relativa.

Apesar da madeira ser o primeiro material de construção no qual foi notado o efeito da deformação lenta, o fenômeno somente passou a ser pesquisado quando observado em outros materiais como o concreto e o aço. O primeiro com o advento de estruturas profundas, envolvendo elevados níveis de tensão e no aço quando empregado em condições de elevadas temperaturas, situações que exigiram maiores cuidados dos projetistas, pois a adoção de coeficientes de segurança num cálculo determinístico, como era feito até então, e continua sendo utilizado para madeira, mostrou-se inadequado, simplista e principalmente anti-econômico. Partiu-se então para um estudo aprofundado da reologia do material em questão, envolvendo a variável tempo de aplicação e em alguns casos até a história de carregamento, correlacionando os efeitos que poderiam influenciar no comportamento do material.

A bibliografia a respeito da fluência no aço é vasta e geralmente relacionada à fadiga e elevadas temperaturas nos quais o fenômeno se pronuncia. No concreto a fluência é relacionada à retração por perda de umidade ocorrida nos processos de cura e endurecimento. Já na madeira a fluência ocorre mesmo em níveis baixos de tensão e em temperatura ambiente, sendo mais pronunciada nos esforços de compressão perpendicular às fibras e na flexão estática.

O presente trabalho trata da introdução ao estudo da fluência em peças de madeira. Para execução deste estudo foi necessária a elaboração de uma metodologia de ensaio e desenvolvimento do sistema de coleta de dados, ou seja, das deformações sofridas por corpos de prova submetidos a cargas constantes, passando de manual através de transdutores mecânicos ao automatizado, utilizando transdutores de deslocamentos elétricos conectados ao equipamento de aquisição de dados Control Unit HP 3497A e do microcomputador HP 9825T, do Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira (LaMEM) da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC).

Determinou-se enfim, uma metodologia para ensaio de

fluência em peças fletidas de madeira, dados necessários para se definir uma equação de fluência a qual permita prever o comportamento da madeira sob carregamento prolongado, metodologia esta que poderá ser adaptada a outros tipos de carregamentos. Enfim permitir um melhor controle tecnológico do uso da madeira em construção civil.

2- REVISÃO DA LITERATURA

2.1- Trabalhos e Teorias

Os primeiros trabalhos sobre a deformação lenta, segundo CLOUSER (1959), datam do século XVIII; Parent (1707), estudou a resistência da madeira e Buffon (1740), determina coeficientes de seguranças para cargas de longa duração.

HAUPT (1840), constatou que carregamentos prolongados podem influir na resistência da madeira à flexão estática. Este efeito foi também notado em 1881 por Thurston quando verificou que pequenos corpos de prova rompiam com 60% do carregamento convencional para o ensaio com 8 a 15 meses de duração de carga. Contemporaneamente Johnson verificou que a resistência de colunas submetidas a carregamentos de longa duração é de aproximadamente 50% da resistência estimada, conforme citação de CLOUSER.

TIEMANN (1908), verificou o aumento da resistência da madeira com o aumento da velocidade de carregamento, este ganho de resistência era aproximadamente igual tanto na flexão estática como na compressão paralela às fibras. Tiemann concluiu também:

a. A resistência estática e a rigidez não são afetadas se a tensão aplicada for inferior ao limite de elasticidade e removida antes de ocorrer alguma ruptura parcial;

b. Peças secas de pinho podem resistir a esforços permanentes inferiores a 75% do limite de proporcionalidade, desde que não ocorra aumento em seu teor de umidade;

c. Os carregamentos permanentes são seguros quando os acréscimos de deformação diminuem com o tempo.

Para o cálculo do efeito de cargas permanentes desenvolveu-se o uso de um fator de duração de carga. O fator $9/16$ razão entre a tensão no limite de proporcionalidade e a tensão de ruptura da madeira em relação ao ensaio com cargas de rápida duração, foi recomendado, até a década de 20, como fator de carga permanente para correção na seção transversal, sem limitação no tempo de aplicação do tempo. Em 1927 foi recomendado um fator de segurança igual a 1,5 para carregamento contínuo por aproximadamente 10 anos.

COMBS (1939), fez a correspondência do fator $9/16$ para um período de carregamento de 500 anos. Ele extrapolou a curva carregamento por duração de carga apresentado por Markwardt e Wilson propondo o carregamento com 10 anos de duração como base de comparação entre cargas de duração diferentes. Este valor foi designado

posteriormente como "normal loading".

Durante a Segunda Grande Guerra, no Forest Products Laboratory (FPL) foi estudado o efeito do carregamento prolongado em pequenos corpos de prova sem defeitos. WOOD (1947), propôs uma curva relacionando a porcentagem da resistência normal e a duração do carregamento em questão sendo a resistência normal aquela que a madeira teria no ensaio de flexão estática com carga rápida. WOOD (1951), apresenta uma análise mais completa com carregamentos de até 10 anos de duração.

Tomando como base o carregamento normal de 10 anos de duração chegou-se a curva apresentada no FPL (1974) (fig. 2.1) e adotada pela National Forest Products Association (1977) como especificação nacional para os EUA (fig. 2.2).

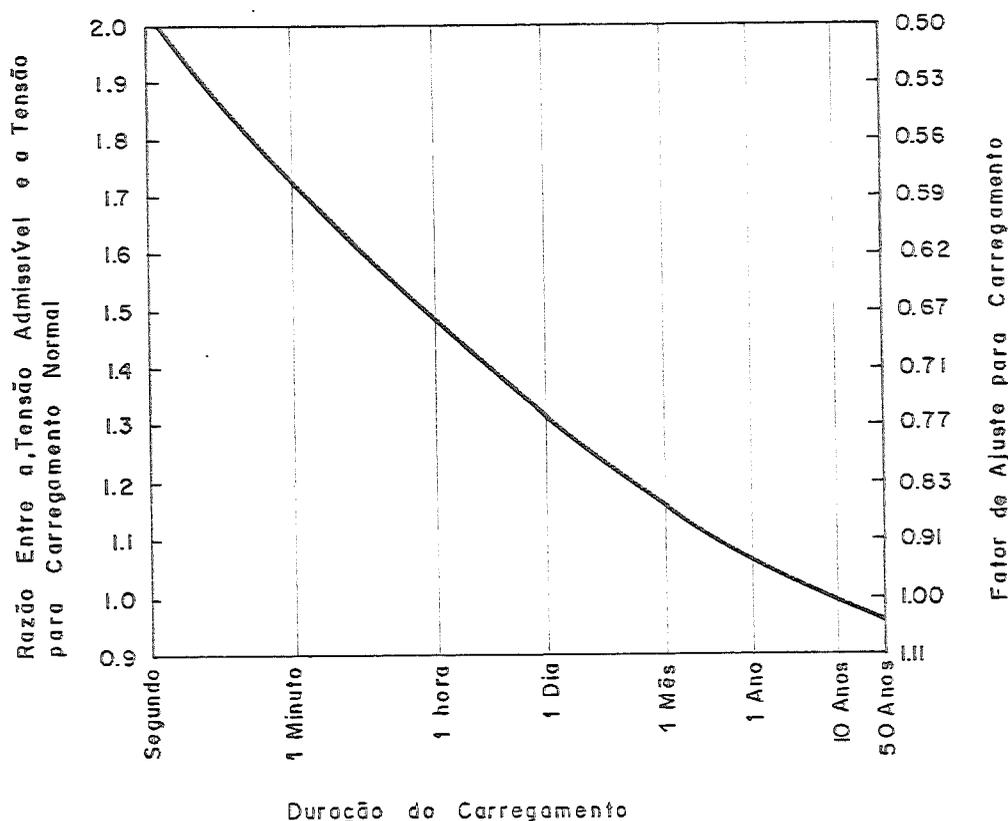


Figura 2.1- Relação entre a tensão de serviço e a duração do carregamento. Wood Handbook - FPL.

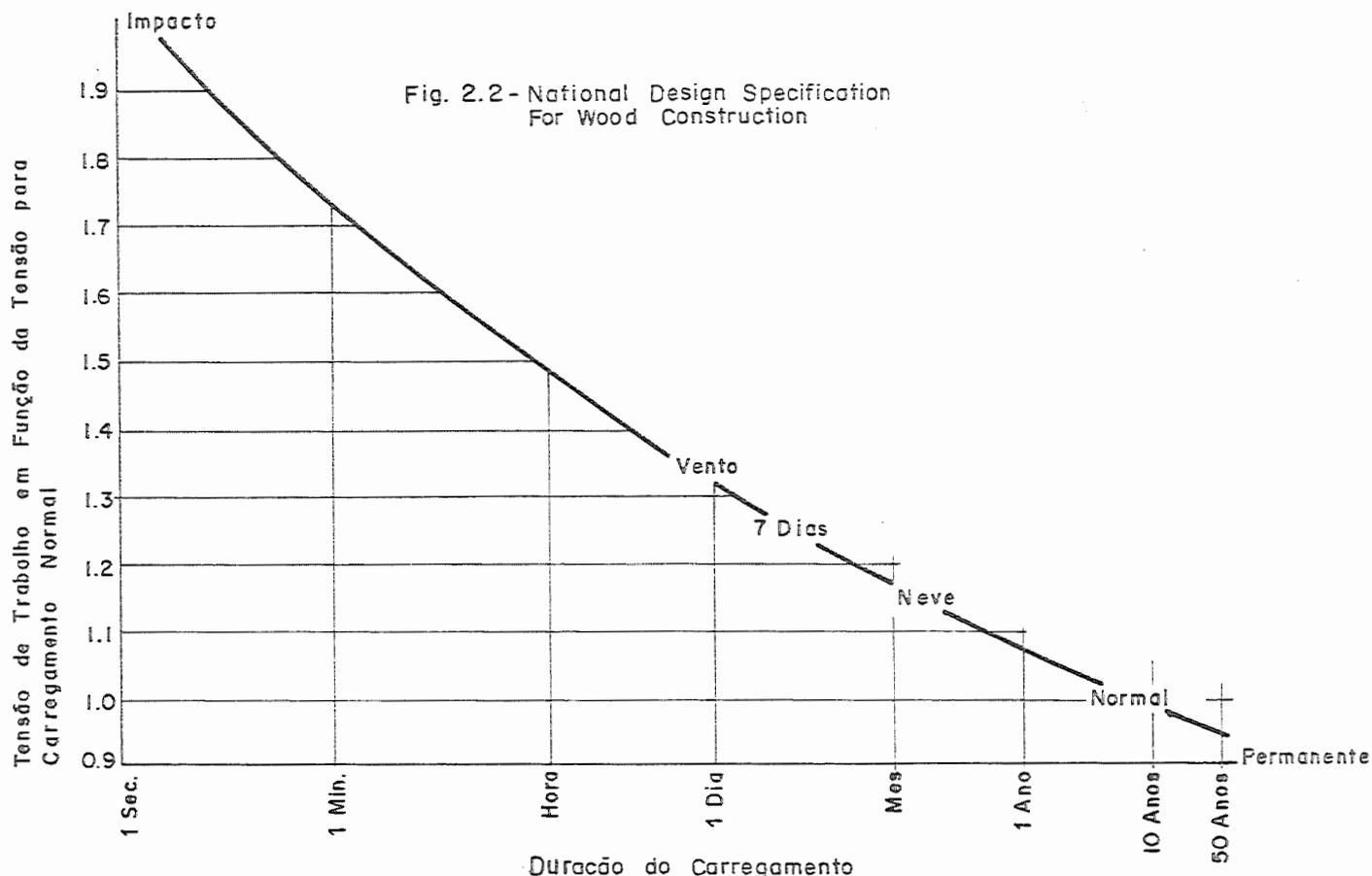


Figura 2.2- National Design Specification For Wood Construction

WOOD (1947) apresenta resultados de corpos de prova submetidos à diferentes quantias da carga de ruptura, aplicados com diferentes velocidades de carregamento. Fazendo ensaios em compressão axial apresentou as seguintes conclusões:

Em carregamento rápido, aproximadamente 4 segundos até a ruptura, a deformação específica ocorrida é da ordem de 0,014% e seu comportamento em relação ao tempo de aplicação do carregamento é apresentado na fig. 2.3, sendo a carga de ruptura registrada da ordem de 105% da de ruptura em ensaio normalizado, ou seja, tempo de carregamento por volta de 5 minutos.

Por outro lado, aplicando um carregamento de 52% de carga de ruptura por um período de tempo bastante longo pode-se notar o aumento da deformação com o decorrer do tempo, porém sem atingir a ruptura no período de ensaio (fig. 2.4).

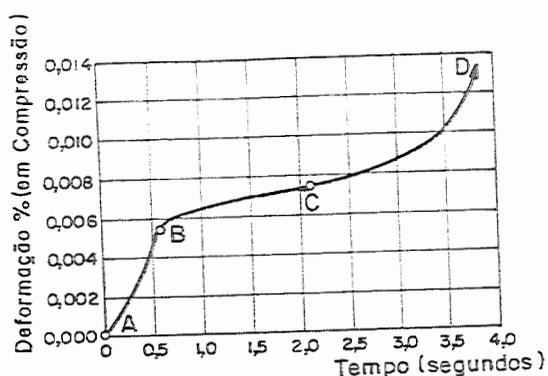


Figura 2.3- Deformação específica na compressão em função do tempo de atuação da carga

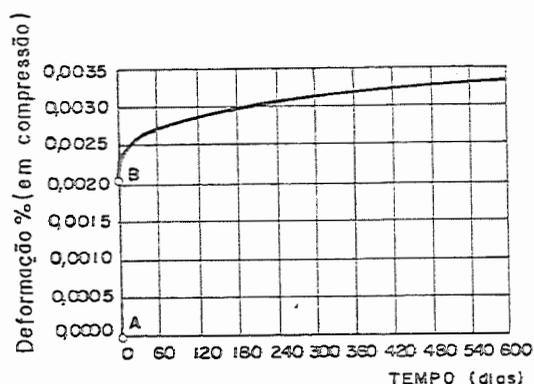


Figura 2.4- Deformação específica na compressão em função do tempo de atuação da carga

Em viga ensaiada à flexão estática, submetida a tensões da ordem de 75% da tensão de ruptura estimada em ensaio normalizado (Fig. 2.5), ocorrem deformações elásticas nos primeiros instantes do carregamento (trecho AB), seguida por um longo período de deformações plásticas (trecho BC), e a partir do ponto de inflexão C, o qual ocorre por volta do 20º dia de carregamento, o acréscimo de deformação é crescente levando à ruptura da viga.

Wood observou também que o tempo decorrido entre o ponto de inflexão C e a ruptura, quando ocorriam, era muito inferior ao tempo de deformação plástica.

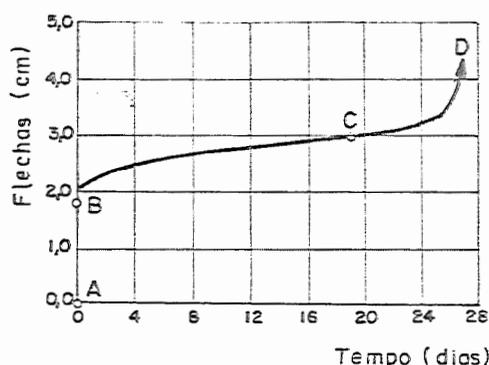


Figura 2.5- Flecha em função do tempo de atuação do carregamento

Estudos realizados no U.S. Forest Products Laboratory (FPL) sobre fluência em ligações com anéis metálicos, conduziram à conclusões semelhantes, alguns anos depois.

Outros estudos no FPL indicam que o esforço de ruptura sob carregamento prolongado é próximo da carga correspondente ao limite de proporcionalidade determinado em ensaios normalizados, ou seja, da ordem de $9/16 = 56\%$ da carga de ruptura.

O fato da madeira ter capacidade de suportar cargas de maiores intensidades por curto intervalo de tempo e resistência menor à carga de longa duração, pode ser explicado considerando a madeira um material de comportamento elástico e plástico respectivamente. Para o primeiro tipo de carregamento as deformações são predominantemente elásticas, enquanto são em predominância plásticas, no caso de carregamento permanente, influenciando a queda de resistência do material.

Wood apresentou também os seguintes resultados relacionando a resistência da madeira com o tempo de atuação do carregamento até a ruptura, considerando 100% correspondente à ruptura para ensaio normalizado (fig. 2.6).

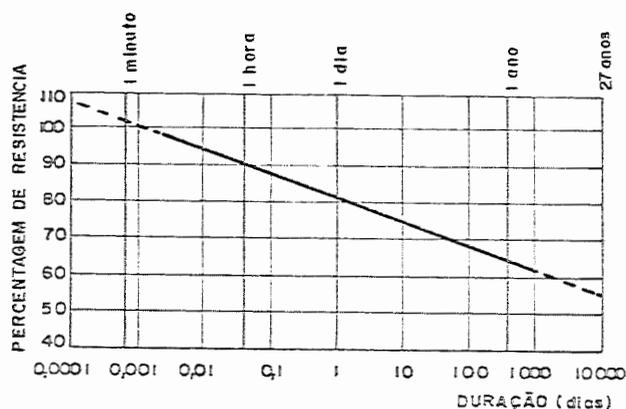


Figura 2.6. Resistência da madeira com o tempo

Da reta apresentada por Wood pode-se notar um decréscimo de 6% na resistência da madeira cada vez que o tempo de atuação do carregamento decuplica-se. Nota-se também que a resistência aos 27 anos de carregamento (extrapolada) é de aproximadamente 56% da resistência para carregamento normalizado, relação semelhante entre as tensões nos limites de proporcionalidade e de ruptura.

Posteriormente Wood apresentou a seguinte equação correlacionando tensão e tempo de atuação do carregamento:

$$f = \frac{108,4}{t^{0,04635}} + 18,3$$

sendo: t - tempo em segundos;

f - tensão de ruptura para o tempo t, dada em porcentagem da tensão de ruptura para ensaio normalizado.

A forma mais geral da curva de fluência é a apresentada na fig. 2.7. A deformação é inicialmente elástica e devida à aplicação do carregamento, entenda-se que esta deformação pode incluir componentes não elásticos, a depender dos níveis de tensão envolvidos, porém não de fluência, sendo preferível denominá-la de deformação instantânea.

Após esta deformação inicia-se o fenômeno da fluência propriamente dito. A fluência primária ocorre com taxa de deformação decrescente ($du/dt < 0$) atingindo um valor mínimo que se mantém praticamente constante durante todo o segundo estágio, ou seja, a fluência secundária, estacionária ou linear. Na fluência terciária ocorre um acréscimo na taxa de deformação ($du/dt > 0$), podendo levar o material ou estrutura à ruptura.

Porém os três estágios nem sempre estão presentes, dependendo dos níveis de tensão envolvidos, direção e tipo do carregamento atuante, carregamentos anteriores - história de carga da estrutura - simetria entre eixos de orientação e carregamento, teor umidade e condições ambientais entre outros fatores.

Materiais como a madeira têm suas resistências reduzidas para carregamentos de longa duração e cíclicos. GERHARDS (1977/78) considerando esta característica do material, apresentou uma teoria segundo a qual a ruptura final de uma estrutura de madeira ocorre por acréscimos de avarias micro ou macroscópicas surgidas na referida estrutura devida a carregamentos independentes ou não, de curta

ou longa duração, a ruptura depende da história do carregamento da estrutura. Considerando as tensões de ruptura ao longo do tempo como porcentagem da tensão de ruptura prevista para ensaio estático normalizado, tem-se as curvas da figura 2.8.

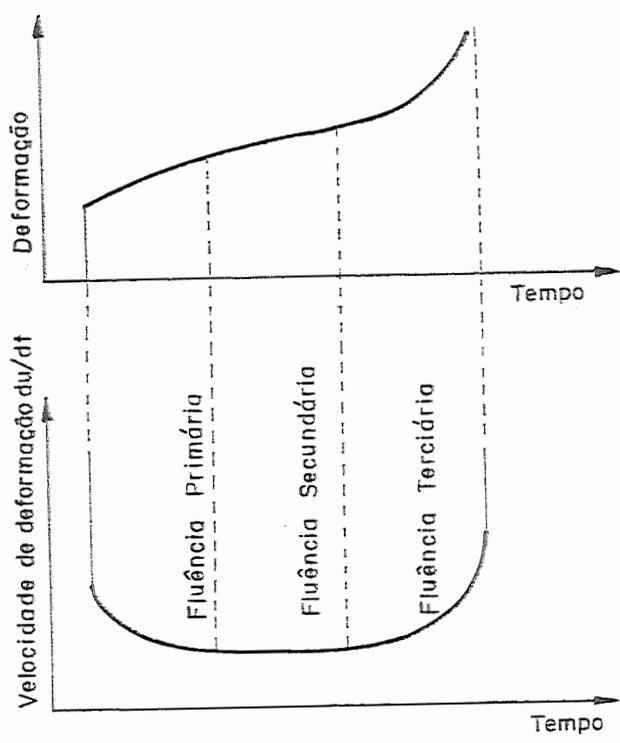


Figura 2.7. Comportamento da fluência

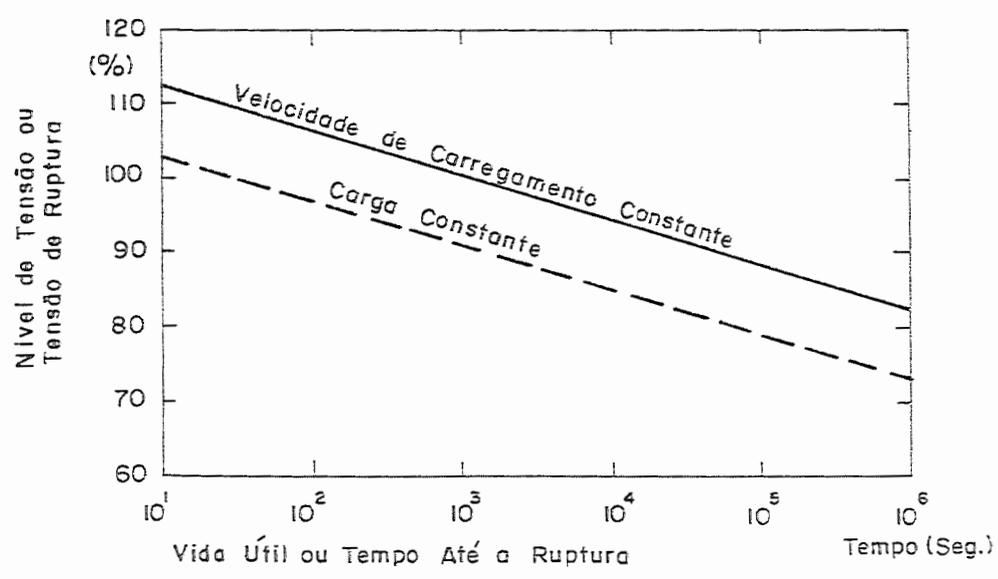


Figura 2.8. Relação entre tensões de ruptura e tempo de atuação da carga

SENFY e SUDDARTH (1971) estudaram os efeitos da fluência em madeira determinando modelos matemáticos envolvendo molas e amortecedores, as molas representando as deformações elásticas hookeanas, enquanto os amortecedores de viscosidade newtoniana representam as deformações plásticas.

Os modelos de 3 ou 4 elementos da fig 2.9 são os utilizados para representar a madeira, a qual segundo Jayne (1963) tem comportamento de material cristalino quando submetida a cargas de curta duração (semelhante à moça), ou comportamento do material amorfo quando o tempo de atuação do carregamento é longo (similar ao amortecedor).

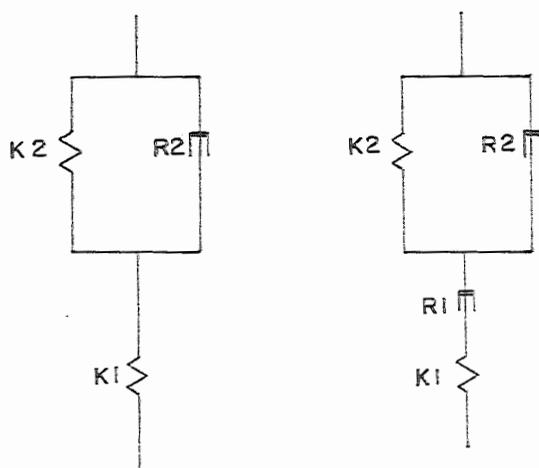


Figura 2.9- Modelos analógicos de 3 ou 4 elementos de molas e amortecedores

Afim de determinar as validades destes modelos e sua aplicabilidade foram programados ensaios de fluência em compressão paralela às fibras, e para evitar efeitos da variação do teor de umidade e da temperatura, os corpos de prova foram ensaiados saturados em condições climáticas o mais invariáveis possíveis.

O esquema de carregamento é o mostrado na fig. 2.10; pode-se notar que o corpo de prova fica submerso e a leitura do defletômetro é uma medida ampliada da deformação ocorrida no espécime.

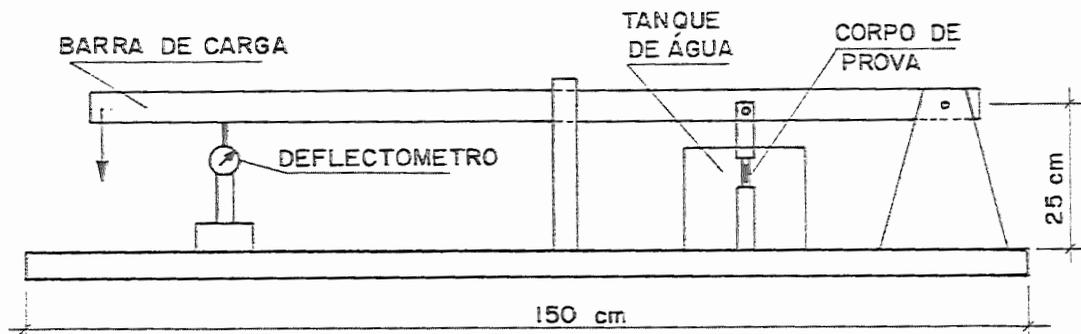


Figura 2.10- Esquema de carregamento

Foram estudados quatro níveis de tensão: 10, 20, 40 e 60% da resistência máxima à compressão paralela às fibras, com duração de carga de até 20 dias. As principais observações e conclusões efetuadas foram:

Ocorre fluência mesmo nos níveis mais baixos de tensão, ou mesmo em períodos pequenos de carregamento.

Em geral os modelos de 3 ou 4 elementos são adequados para descrever o fenômeno em questão, porém para níveis mais altos de tensão e períodos maiores de carregamento é recomendado o modelo de quatro elementos.

O gráfico da fig. 2.11 apresenta as curvas de deformação dos modelos analógicos de três e quatro elementos e os resultados obtidos nos ensaios de compressão paralela às fibras para o nível de tensão de 60% da tensão de ruptura à compressão paralela.

KEITH (1971), procurou analisar as deformações e rupturas microscópicas relacionando estas observações com as deformações macroscópicas registradas em ensaio, levando em conta ainda o nível de tensão submetido ao corpo de prova e o nível de umidade do mesmo.

Para tanto foram programados ensaios com corpos de prova de "Abeto Branco" submetido à compressão axial em dois níveis diferentes de umidade e em cinco níveis diferentes de tensão: 40, 50, 60, 70 e 80% da tensão de ruptura à compressão axial. O tempo de aplicação do carregamento também foi variável desde alguns minutos até 10 dias, afim de se determinar a correlação entre a fluência e o aparecimento das micro-fissuras.

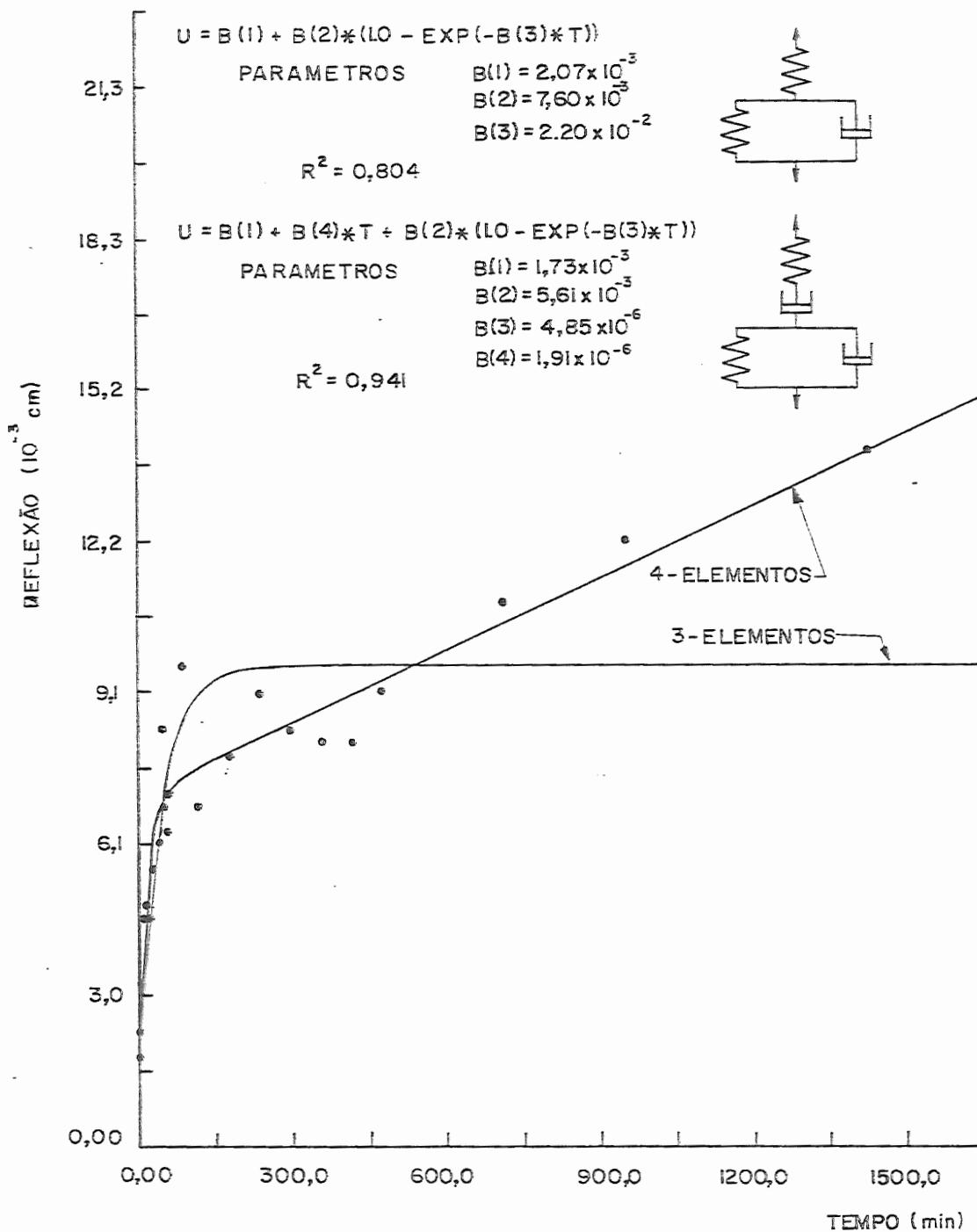


Figura 2.11- Curvas de ajuste para os modelos de 3 e 4 elementos

Estudos anatômicos utilizando luz polarizada e microscopia eletrônica foram programados para se acompanhar as microdeformações e o aparecimento de micro-rupturas. Keith apresentou após minuciosas observações microscópicas, os seguintes resultados:

- As deformações microscópicas nas paredes das células dos corpos de prova ensaiados são mais intensas e em maior número quando aumentava-se o tempo de carregamento para um mesmo nível de tensão;

- Para o tempo de carregamento acima de 10 dias um número significativo de deformações ocorrem em níveis de tensão na ordem de 60 a 70% da tensão de ruptura para ensaios normalizados;

- Considerando mesmos níveis de tensão, as deformações ocorrem primeiro nos corpos de prova de maior teor de umidade. As microfissuras ocorrem em níveis menores de tensão se forem maiores os teores de umidade;

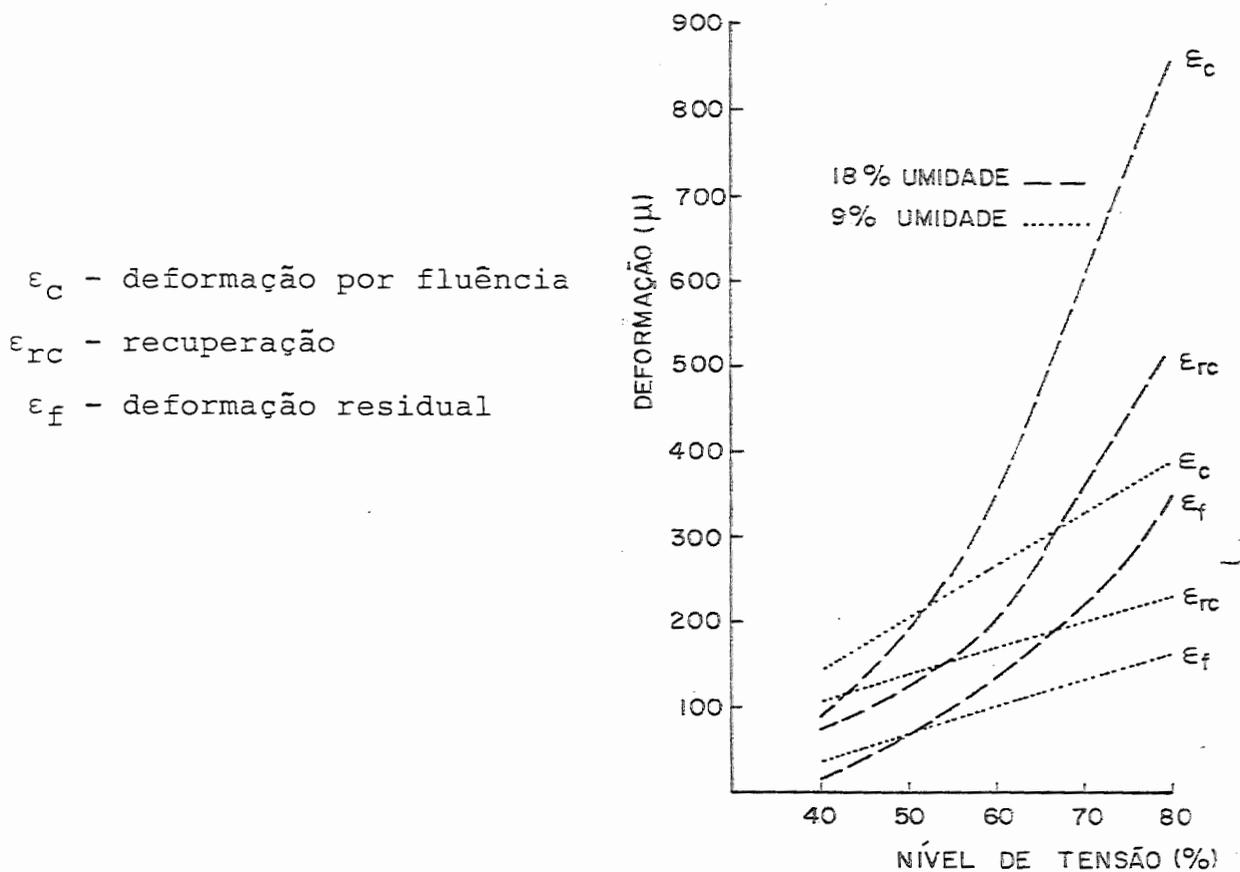


Figura 2.12- Resultados apresentados por Keith

- A função de fluência, razão entre as deformações por fluência e as deformações elásticas, têm um valor crítico por volta de 20%, sendo este um valor consistente para se prever o início das microfissuras;

- As microfissuras ocorrem preferencialmente nas extremidades dos traqueídes e nas áreas de cruzamento com os raios medulares.

Na fig. 2.13 são apresentadas algumas fotos de micro-rupturas obtidas por Keith.

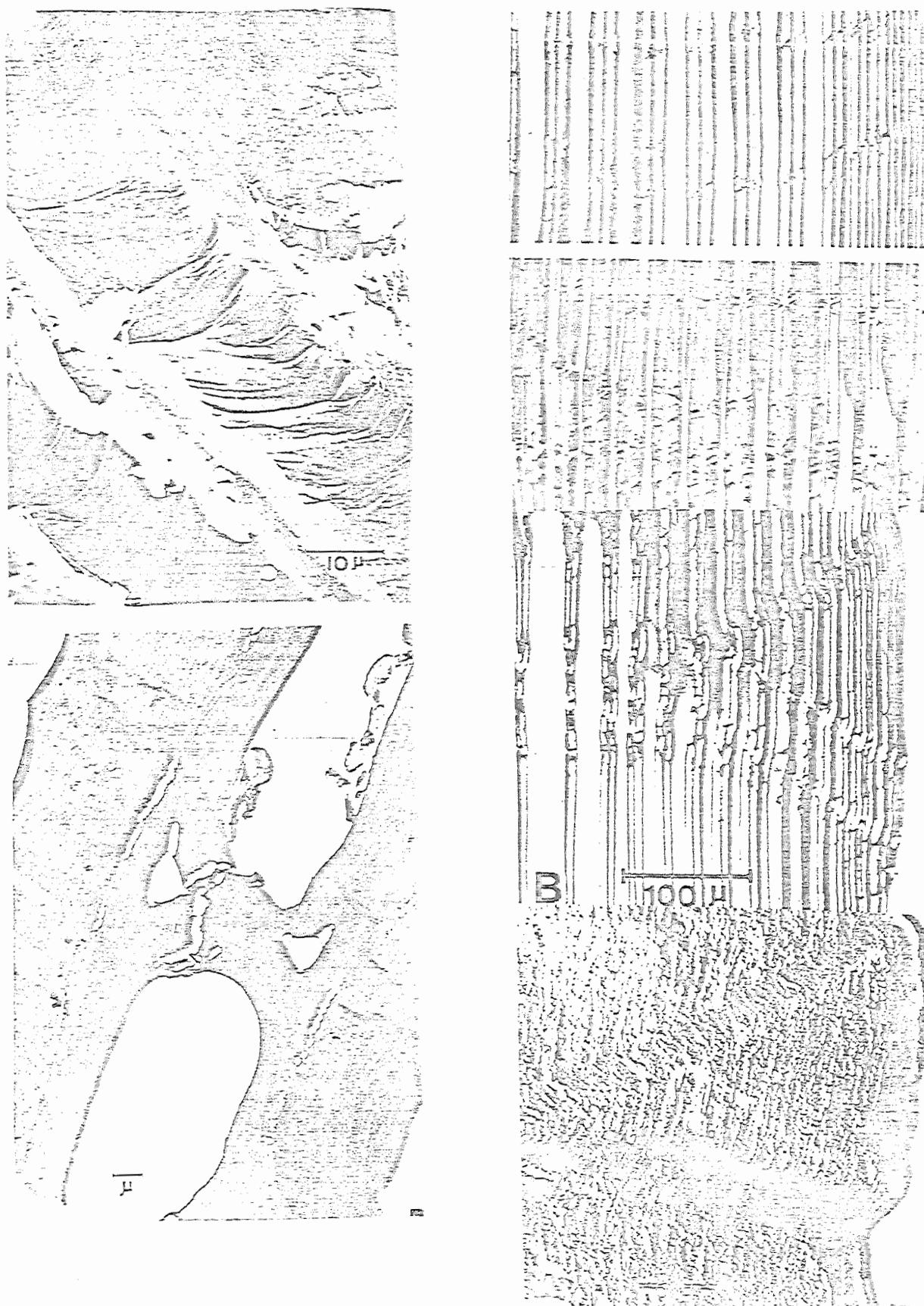


Figura 2.13- Micro-rupturas típicas por compressão

Com a finalidade de se determinar tensões admissíveis de trabalho para as chapas de madeira, McNATT (1970/75), realizou trabalhos a fim de se analisar duas condições de carregamento, ou seja, a variação na velocidade de aplicação da carga e a duração do carregamento até a ruptura do material sob a tensão constante.

Foram ensaiadas várias chapas comerciais e uma fabricada no FPL, das quais os corpos de prova foram retirados conforme o esquema apresentado na fig. 2.14, sendo Tc os corpos de prova de controle para determinação da resistência estática à tração e TL corpos de prova para ensaio de fluência, os quais foram carregados de modo a se obter níveis de tensão de 90, 80, 70, 60 e 50% da tensão estática de ruptura. Os corpos de prova foram preparados segundo o método de ensaio ASTM Standart D-1037.

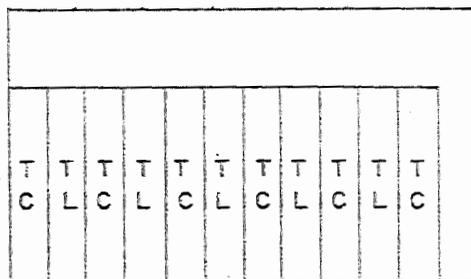


Figura 2.14- Esquema de retirada dos corpos de prova nos ensaios de McNatt

Foram determinados os tempos de carregamento até a ruptura e foram determinadas também as seguintes relações entre nível de tensão e a duração do carregamento:

$$\log_{10} T = 10,219 - 0,120 SL$$

$$SL = 84,8 - 8,3 \log_{10} T$$

SL - nível de tensão - % da tensão de ruptura

T - tempo até a ruptura - horas

Para madeira maciça Pearson, ensaiando à flexão estática, apresentou os seguintes resultados:

$$SL = 91,3 - 7,0 \log_{10} T$$

McNatt compara os valores obtidos para as chapas com os resultados de Pearson para madeira maciça, apresentando o gráfico da fig. 2.15.

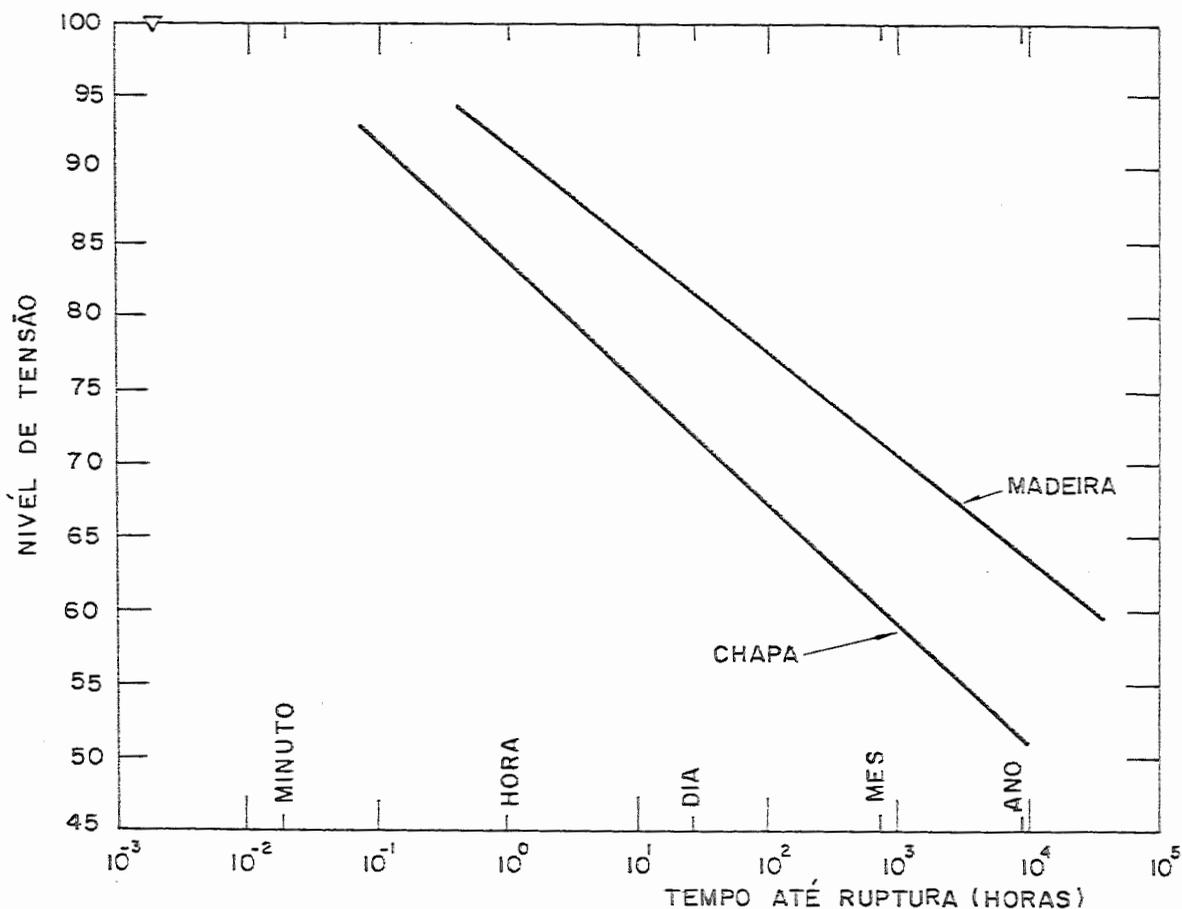


Figura 2.15- Gráfico tensão de ruptura por tempo de aplicação do carregamento

O estudo de McNatt permite concluir que a madeira suporta para cargas permanentes, acima de 10 anos de carregamento, até 57% da tensão de ruptura para ensaio normalizado, enquanto esta porcentagem cai para 43% para chapas de fibra, ou seja, as chapas de partículas sob carregamento na ordem de 50% da tensão de ruptura estática, alcançam o colapso após um ano de carregamento, enquanto a madeira sólida sob o mesmo nível de tensão não apresenta colapso mesmo após 100 anos de carregamento

McNATT, juntamente com KANVIK e SUPERFESKY (1980) apresentando uma proposta de método de ensaio para a análise de deformação lenta em peças de assoalho realizaram ensaios com corpos de prova montados conforme mostrado na fig. 2.16.

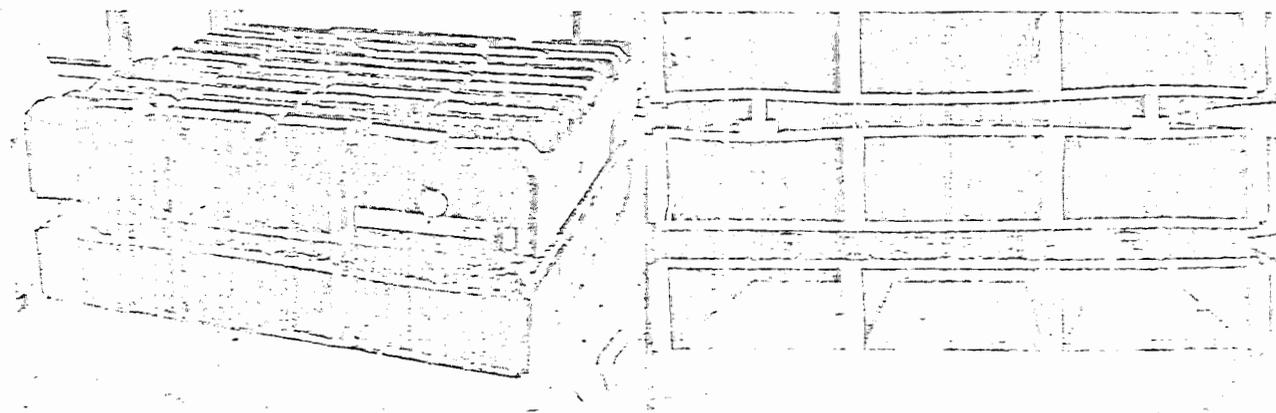


Figura 2.16- Painéis de assoalho carregados. Cargas Sistema de medida de deformação e suportes

Os carregamentos foram concentrados em suportes de 1,0 e 3,0 polegadas, 2,5 e 7,6cm respectivamente, de diâmetro, apresentando o típico gráfico de deformação com o tempo para as duas áreas de aplicação de carregamento da fig. 2.17.

O método de ensaio proposto pode ser útil para determinação de deformações em peças fletidas sob carregamento permanente ou na auscultação de pisos ou estruturas de madeira.

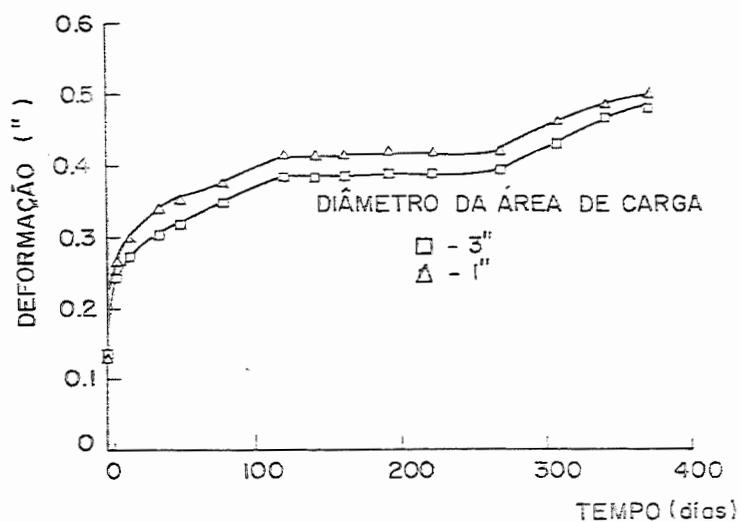


Figura 2.17- Deformação por tempo em tábuas de assoalho

OZELTON (1976) apresenta as seguintes considerações das normas britânicas em relação ao efeito de duração do carregamento.

Fator de duração do carregamento, aplicado a tensões de tração e flexão:

Duração de Carga	
- Longa duração (carga permanentes)	1,0
- Média duração (neve, carga móvel)	1,25
- Curta duração (vento, cargas de montagem)	1,50

Tabela 2.1- Fatores de redução no carregamento
CP 112: Part 3 - BRE (1973)

- Obs.: . BRE Information sheet I:S.4/75, recomenda o valor de 1,75 para o fator referente a cargas de impacto;
- . O fator é aplicado às tensões e não aos módulos de elasticidade;
 - . Para compressão, o efeito de duração do carregamento é considerado nos fatores de flambagem.

KOLLMANN e CÔTE (1959, 1968) em mecânica e Reologia de Madeira, apresentam que os módulos de elasticidade à tração paralela às fibras, e à compressão paralela às fibras são praticamente iguais, porém as tensões correspondentes aos limites de elasticidade são distintos (fig. 2.18).

$$E_T \cong E_C ; \sigma_l \text{ pCP} < \sigma_l \text{ pTP}$$

O comportamento à fluência é também semelhante para diferentes tipos de solicitações.

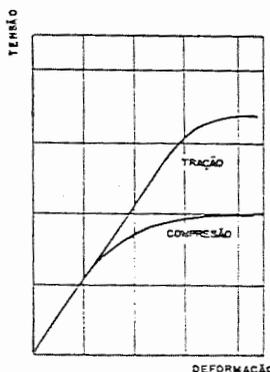


Figura 2.18- Comportamento reológico da madeira à tração e à compressão paralela às fibras (velocidade de ensaio estático)

A madeira sendo um material elasto-plástico, apresenta o ciclo carga-descarga mostrado na fig. 2.19, quando ocorre inversão no sentido da sollicitação; ou o mostrado na fig. 2.20, com ciclos de carga-descarga, sem inversão no carregamento.

As deformações residuais se acumulam, resultando numa histerese tensão-deformação e o comportamento reológico depende da história de carregamento sofrida pelo material.

- O A' - carregamento inicial
- A'B' - descarga
- O B' - deformação residual
- B'C' - carregamento invertido para recuperar a forma original do corpo
- O C' - tensão residual
- C'D' - carregamento invertido até a tensão A'P'
- D'E' - descarga
- O E' - deformação residual
- E'F' - tensão para recuperar a forma original
- O F' - tensão residual
- F'A' - novo carregamento

A área C'D'F'A' representa a energia dissipada no processo em acomodações nas estruturas internas do material, evidenciada macroscopicamente em parte em deformações permanentes.

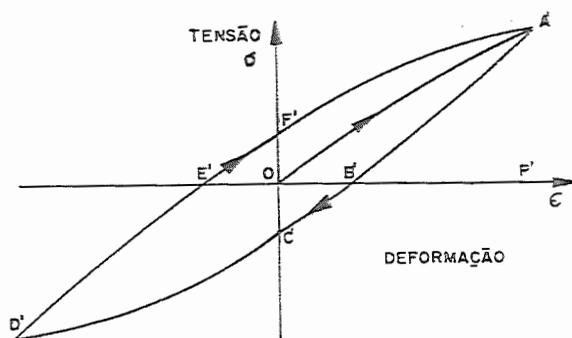


Figura 2.19- Ciclo de carregamento tração-compressão

No caso da fig. 2.20 a energia dispendida se acumula a cada ciclo, a plasticidade do material aumenta a cada passo.

BARKAS (1949), apresenta a hipótese de que a energia perdida em cada ciclo decresce (fig.2.21), terminando pela coincidência entre as curvas de carga e descarga, ou seja, após vários ciclos de carregamento, um material elasto-plástico se transforma em material elástico. Na realidade um material com tendências de se reordenar internamente com perda de entropia no curso de repetidos ciclos de carga-descarga não alcança exatamente este estado ideal, apesar do enrijecimento sofrido.

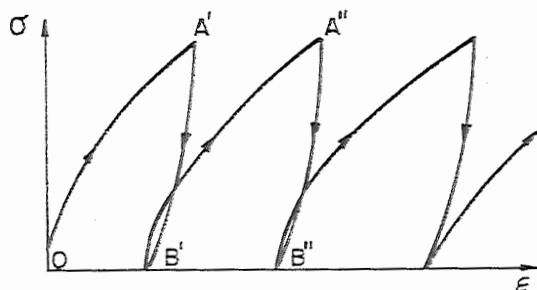


Figura 2.20- Ciclo de carga-descarga sem inversão de esforços

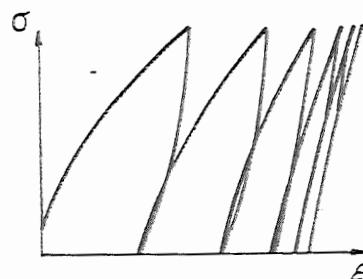


Figura 2.21- Ciclos de carga-descarga com perda de entropia

Kollmann demonstrou experimentalmente que a madeira tanto pode ter um comportamento cumulativo de deformações ou não, como a repetição do carregamento, dependendo da espécie, dos níveis de tensão alcançados e da duração de cada ciclo (fig. 2.22).

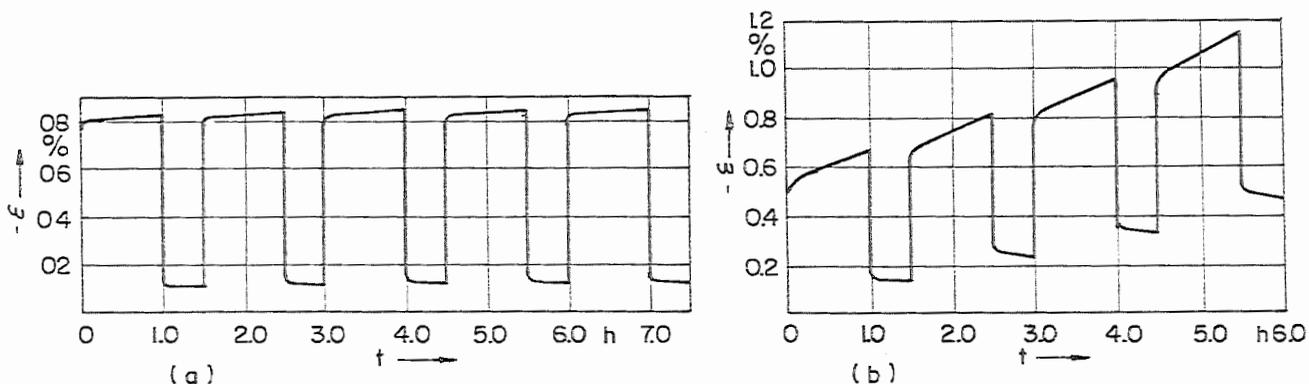


Figura 2.22- Ciclos de carga-descarga com entropia constante (a) e com perda de entropia (b)

KING (1961) observou deformações residuais em peças fletidas somente nas submetidas a níveis de tensão acima de 42% da tensão de flexão, porém este efeito foi notado até em níveis de tensão da ordem de 20% por outros pesquisadores.

O comportamento visco elástico da madeira é representado pela curva da fig 2.23. No instante t_0 de aplicação da carga P , ocorre uma deformação instantânea δ_e , seguida da fluência δ . Conforme a teoria visco-elástica linear, a deformação total δ_1 correspondente ao tempo t_1 é a soma de três componentes: deformação elástica δ_e , deformação elástica retardada δ_{de} e componente plástica δ_p não recuperável.

$$\delta_1 = \delta_e + \delta_{de} + \delta_p$$

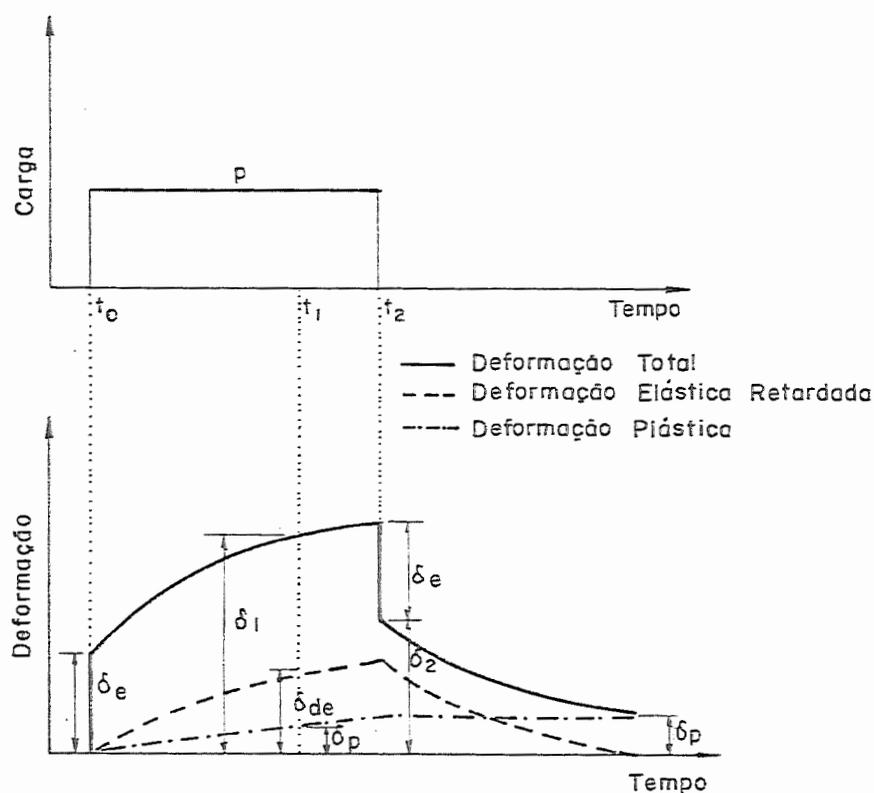


Figura 2.23- Comportamento visco elástico da madeira

A deformação elástica retardada δ_{de} não pode, a princípio, ser separada da deformação plástica, esta última é obtida após a descarga da estrutura e corresponde ao valor residual de deformação, valor assintótico à curva de descarga. Na maioria dos compostos de madeira o acréscimo na deformação plástica é constante,

a curva δ_p é linear com o tempo.

Pela facilidade na determinação das deformações e do equilíbrio de forças atuantes, a flexão estática é o ensaio mais utilizado para o estudo da fluência em madeira.

Considerando uma viga em balanço de comprimento, em cuja extremidade é aplicado o peso P_a , correspondente a deformação instantânea δ_{ae} , com o passar do tempo esta deformação aumenta numa taxa decrescente (fig. 2.24). Duplicando a carga para $P_b = 2.P_a$ as deformações correspondentes serão duplicadas, porém esta linearidade só se verifica em baixos níveis de tensão, um comportamento linear instantâneo não garante um comportamento linear ao longo do tempo, taxa de variação da fluência depende das tensões existentes.

Sendo a carga superior ou igual a P_c , a taxa de deformação inicialmente decrescente muda de comportamento a partir de uma deformação crítica, tornando-se crescente, resultando na ruptura da estrutura por fluência ao ser alcançada a deformação última δ_u .

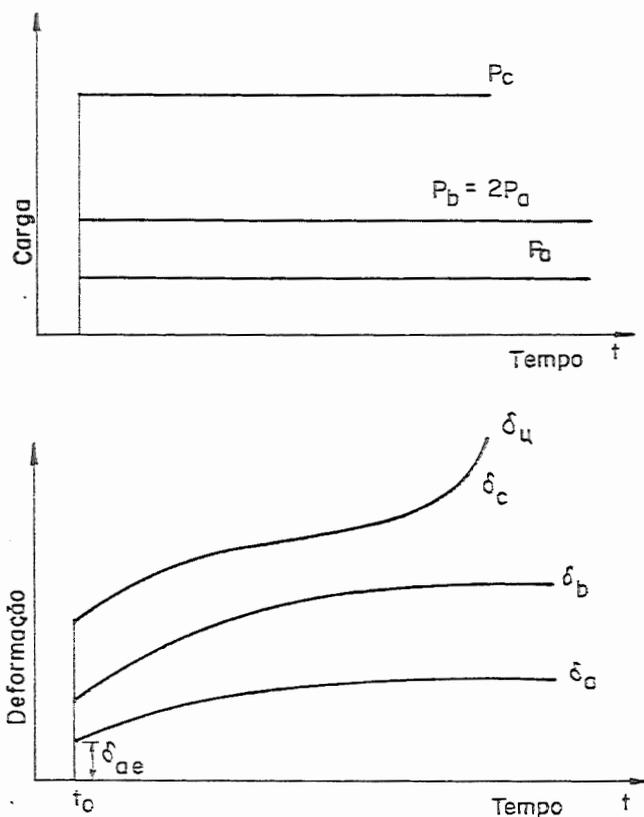


Figura 2.24- Deformações em viga em balanço com carga constante

Os polímeros apresentam resistência à tração crescente com seu peso molecular médio, VAN VLACK (1973) fig. 2.25.

A madeira apresenta uma estrutura linear de monômeros bifuncionais, celulose e hemicelulose de alto grau de polimerização,

envoltos por uma matriz de lignina, tridimensional de alto peso molecular. As moléculas adjacentes de celulose e hemicelulose são ligadas entre si por meio de pontes de hidrogênio, forças de Van der Waals, que permitem o escorregamento entre as moléculas. Por outro lado, as cadeias adjacentes podem se combinar em alguns pontos, de forma a ocorrer uma cristalização local, que dificulta o escorregamento entre cadeias.

Devido à fluência, ocorre uma relaxação nas tensões aplicadas em um polímero quando as deformações são contidas. Defini-se tempo de relaxação como sendo o tempo necessário para reduzir as tensões a 1/e das tensões originais.

$$d\sigma/dt = -\sigma/\lambda$$

$$\sigma = \sigma_0 \cdot e^{-t/\lambda}$$

sendo: σ_0 - tensão inicial

λ - tempo de relaxação

$$t = \lambda \rightarrow \sigma = \sigma_0/e$$

$$1/\lambda = f(e^{-Q/RT})$$

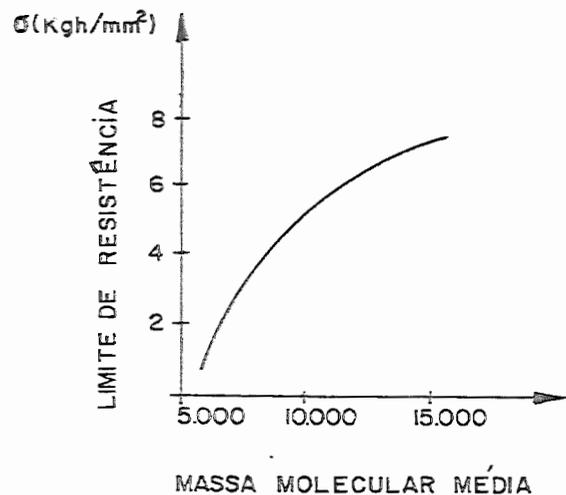


Figura 2.25- Variação da resistência dos polímeros em relação a massa molecular média

O tempo de relaxação é função das forças de coesão entre as moléculas e os cristais do material, onde:

Q = energia de ativação da difusão - energia inicial de fluência (cal/mol)

R = constante $\rightarrow R = 1,987$ cal/mol.K

T = temperatura (K)

HOSSDORF (1972), apresenta para fluência em plásticos o seguinte equacionamento: (fig. 2.25)

$$\varepsilon = \varepsilon_0 (1 + f(t))$$

sendo: ε_0 - deformação elástica no instante de aplicação de carga

$f(t)$ - função de fluência, que pode ser numa primeira aproximação ajustada a uma função logarítmica

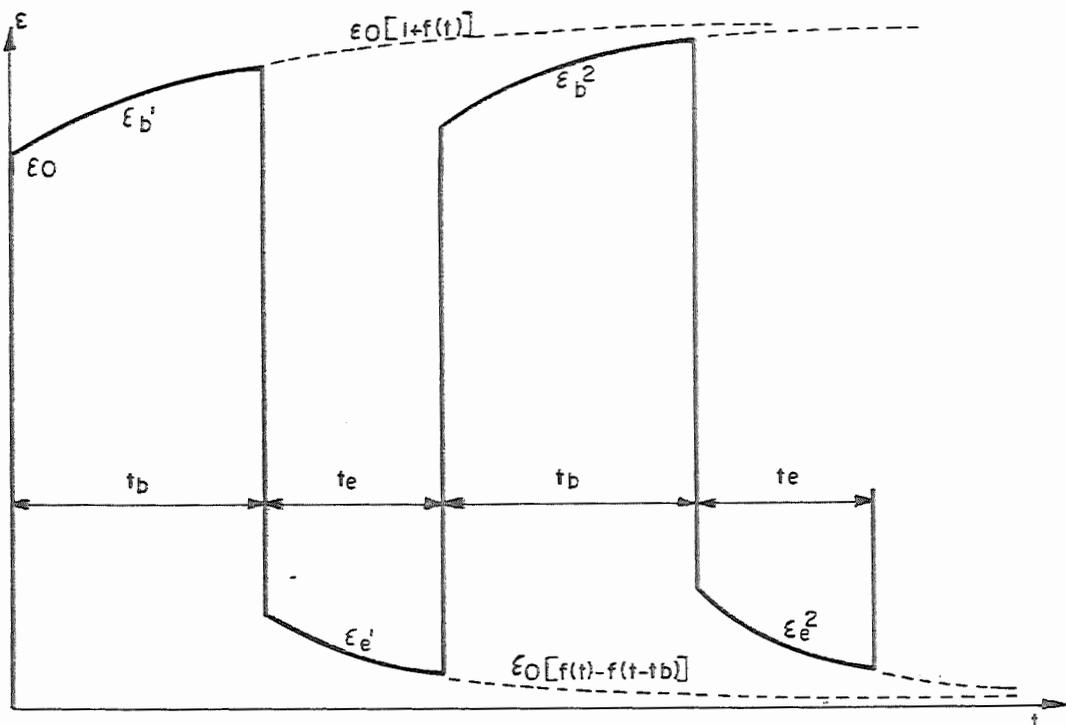


Figura 2.26- Fluência em plásticos

2.2- Principais Normas

As instituições normalizadoras internacionais apresentam basicamente o seguinte, a respeito da fluência:

No Structural Timber Design Code CIB (1980) os carregamentos são divididos em cinco classes de duração. Estas classes são definidas baseadas nas situações típicas de carregamento e nas propriedades reológicas dos materiais ou estruturas:

Classes de duração de carregamento	Duração de carregamento
I - Longa duração	$\geq 10^5$ hs (10 anos)
II - Média duração	$10^3 - 10^5$ hs (6 semanas a 10 anos)
III - Curta duração	$10 - 10^3$ hs (10 hs a 6 semanas)
IV - Muito curta duração	≤ 10 hs
V - Instantâneo	≤ 3 seg

Tabela 2.2- Classes de duração do carregamento

Os fatores multiplicativos devido à fluência na madeira são apresentados na tabela 2.3.

Classes de duração de carregamento	valores característicos ⁽¹⁾ classes de umidade ⁽⁴⁾		valores médios ⁽²⁾ classes de umidade		
	1 e 5	3	1	2	3
Longa duração	0,55 (0,35) ⁽³⁾	0,45 (0,30)	0,7	0,6	0,4
Média duração	0,60 (0,40)	0,50 (0,35)	1,0	0,8	0,7
Curta duração	0,70 (0,60)	0,60 (0,50)	1,0	0,8	0,7
Muito curta duração	0,90 (0,85)	0,75 (0,70)	1,0	0,8	0,7
Instantâneo	1,10 (1,10)	0,95 (0,95)	-	-	-

- Obs.: ⁽¹⁾ Relacionado aos valores característicos das resistências
⁽²⁾ Relacionados aos valores médios dos módulos de elasticidade
⁽³⁾ Aplicam-se à tração perpendicular às fibras
⁽⁴⁾ Classes de teor de umidade

Tabela 2.3- Fatores de fluência

Classes de teor de umidade (fig. 2.27):

- Classe 1: teor de umidade correspondente à temperatura de $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa excedendo a 0,65 por períodos limitados de tempo e nunca excedendo 0,80;
- Classe 2: teor de umidade correspondente à temperatura de $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa excedendo a 0,80 por períodos limitados de tempo;
- Classe 3: outras condições climáticas.

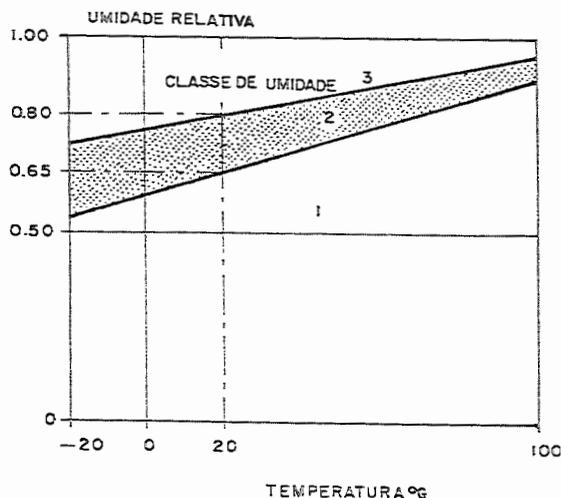


Figura 2.27- Classes de umidade

O EUROCODE nº 5 (1988), apresenta para as mesmas classes de umidade os seguintes fatores de modificação (K_{mod}) para valores de resistência (item 3.1.3 e 3.4).

Classes de duração de carregamento	Propriedades de resistência, exceto tração perpendicular às fibras		Tração perpendicular às fibras	
	Classes de umidade		Classes de umidade	
	1 e 2	3	1 e 2	3
Longa duração (10 anos)	0,8	0,65	0,55	0,45
Média duração (6 meses)	0,9	0,72	0,70	0,55
Curta duração (1 semana)	1,0	0,80	0,80	0,70
Instantâneo	1,2	1,00	1,20	1,00

Tabela 2.4- Fatores multiplicativos para resistência

No caso de combinação de carregamentos de diferentes classes de duração, pode-se considerar o valor K_{mod} correspondente à de mais curta duração ou ao critério do projetista.

Na determinação da flecha em vigas fletidas no EUROCODE nº 5 (item 4.1), é recomendado o cálculo da flecha como carregamento elástico instantâneo e posterior multiplicação pelo fator de fluência conforme o tempo de duração do carregamento:

Classes de duração do carregamento	Classe de umidade		
	1	2	3
Longa duração	1,5	1,8	3,0
Média duração	1,2	1,3	2,0
Curta duração	1,0	1,1	1,5

Tabela 2.5- Fatores de majoração das flechas

No caso da combinação de carregamentos de diferentes classes de duração, calcula-se a flecha separadamente para cada carregamento com os apropriados fatores de fluência, somando-as e comparando com valores máximos de projeto.

A National Forest Products Association (NFPA) em suas recomendações técnicas para projetos estruturais: National Design Specification for Wood Construction (NDS-1977) considera os valores de resistência característicos para carregamento normal de projeto, ou seja, o carregamento de 10 anos de duração (fig. 2.2). Para carregamentos de maior duração - cargas permanentes - utilizar-se-á 90% do valor característico como valor de projeto e para carregamentos de curta duração os fatores de majoração obtidos através do gráfico da fig. 2.2 ou os da tabela 2.5.

K_1	Duração do carregamento
1,15	2 meses
1,25	7 dias
1,33	cargas de vento
2,00	impacto*

Tabela 2.6- Fatores de majoração da resistência para cargas de curta duração

* não considerado quando a peça é impregnada à pressão com sais preservativos de alta retenção para exposição marinha.

No caso de peças fletidas a flecha calculada deve ser majorada do fator K_2 para carregamento permanente.

$K_2 = 1,5$ para madeira climatizada ou laminada

$K_2 = 2,0$ para madeira não climatizada

A flecha total é calculada como sendo a flecha instantânea multiplicada pelo fator apropriado (K_2) somada às flechas devido às cargas de curta duração.

Os valores de módulo de elasticidade para projeto são os valores médios para a espécie em uso. Em certas aplicações onde a flecha pode ser o fator crítico, pode ser adequado o uso de um valor reduzido do módulo de elasticidade conforme critérios do projetista.

Sugere no apêndice F a redução no módulo de elasticidade conforme a fórmula seguinte:

$$E_{red} = E_{m\u00e9dio} \cdot (1 - K_3 \cdot C_V)$$

onde: $C_V = 0,25$ para madeira em classifica\u00e7\u00e3o visual
 $C_V = 0,11$ para madeira classificada mecanicamente
e K_3 depende do n\u00edvel de exclus\u00e3o escolhido:

$$K_3 = 1,00 \text{ para } 84\%$$

$$K_3 = 1,65 \text{ para } 95\%$$

Wood Handbook (1974)

Ser\u00e3o apresentados os \u00edtems que acrescentem algo ao apresentado anteriormente pelo NDS.

Geralmente as varia\u00e7\u00f5es clim\u00e1ticas podem causar varia\u00e7\u00f5es na velocidade de flu\u00eancia, um aumento de 30°C na temperatura pode duplicar ou mesmo triplicar as deforma\u00e7\u00f5es por flu\u00eancia. As flechas finais de pe\u00e7as fletidas podem ser 4 a 6 vezes maiores as flechas iniciais se a mesma secar sob carregamento.

A flu\u00eancia com baixos n\u00edveis de tens\u00e3o \u00e9 similar em flex\u00e3o, tra\u00e7\u00e3o ou compress\u00e3o paralela \u00e0s fibras, por\u00eam se o n\u00edvel de tens\u00e3o for elevado existem evid\u00eancias de que a flu\u00eancia \u00e9 menos pronunciada em esfor\u00e7os de tra\u00e7\u00e3o paralela \u00e0s fibras e sensivelmente maior em compress\u00e3o normal.

As propriedades da flu\u00eancia s\u00e3o aproximadamente as mesmas para as diferentes esp\u00e9cies estudadas.

Se a deforma\u00e7\u00e3o for restringida a tens\u00e3o sofre um relaxamento, decrescendo na raz\u00e3o de 60 a 70% do valor inicial.

No c\u00e1lculo de estruturas de madeira pode ser utilizado o diagrama apresentado nas figuras 2.1 ou 2.2.

Existem evid\u00eancias de que um carregamento intermitente ou c\u00edclico causa efeitos cumulativos na resist\u00eancia da madeira. Geralmente em projetos ocorrem v\u00e1rios carregamentos com diferentes dura\u00e7\u00f5es, atuando simultaneamente ou n\u00e3o. Cada carregamento pode ser analisado separadamente e em conjunto, considerando-se as situa\u00e7\u00f5es cr\u00edticas, podendo-se majorar o carregamento ou minorar a resist\u00eancia conforme a maior facilidade de c\u00e1lculo. Por exemplo:

Seja uma estrutura suportando dois carregamentos:

Carga de 60 MPa aplicada durante um ano e carregamento permanente de 20 MPa (vida \u00fatil da estrutura de 50 anos).

tempo (anos)	carga total (MPa)	fator de ajuste	carga de projeto (MPa)
1	60 + 20 = 80	0,93	74
50	20	1,04	21

A carga crítica de 74 MPa a qual deve ser comparada, considerando a situação de cálculo, à tensão admissível para carregamento normal. Se as oscilações do carregamento for de curta duração pode ocorrer o fenômeno da fadiga, não valendo as suposições indicadas anteriormente.

A Norma Brasileira para o Cálculo e Execução de Estruturas de Madeira; NBR 7190/1982, antiga NB-11/1951, determina o seguinte: (item 69)

"a)... no cálculo das flechas devidas às cargas permanentes, considerar-se-á um módulo de elasticidade igual a 2/3 do módulo de elasticidade da madeira verde.

b) As flechas assim calculadas no meio dos vãos não deverão ultrapassar o seguinte valor: $l/350$."

2.3- Mecanismos de Fluência e Modelos Reológicos

Em materiais de menor rigidez como o concreto e a madeira, as deformações por fluência restringem o uso destes materiais em estruturas pelo estado limite de utilização, envolvendo problemas de estabilidade lateral, flambagem e redistribuição de esforços nos quais os efeitos de segunda ordem não podem ser desprezados.

O comportamento reológico do material pode ser favorável ou não ao comportamento estrutural do mesmo, a fluência, em geral, infere negativamente na economia e estética das estruturas. Neste sentido muitas teorias foram e são propostas na tentativa de estabelecer um método fidedigno na predição da fluência, em sua maioria aceitando a linearidade e superposição de efeitos para níveis de tensão menores do que 30% do valor médio da resistência, justificando a adoção do modelo linear para fluência, considerando os níveis típicos de tensão em estruturas de madeiras.

2.3.1- Mecanismos de fluência

KOLLMANN (1959, 1968), NEVILLE (1970) e BODIG (1982),

entre outros, citam algumas teorias propostas na tentativa de explicar o fenômeno da fluência, na sua maioria embasadas em estudos específicos, tais como:

. Teoria das deformações mecânicas - supõe que a fluência ocorra a nível de microestrutura do material, as microfissuras se propagam causando as deformações plásticas e da fluência.

. Teorias Plásticas - a fluência segundo estas teorias, seria de natureza do fluxo cristalino, ou seja, o resultado do deslizamento entre cadeias cristalinas do material. Estas deformações são plásticas e não recuperáveis podendo ocorrer sob quaisquer nível de tensão.

. Teorias do fluxo viscoso e do fluxo elasto-plástico - a madeira é considerada composta por duas fases, uma elástica formada pelas cadeias celulósicas e outra formada pela massa de lignina a qual se comporta como uma matriz viscosa. Destas teorias adveem as principais hipóteses de cálculo.

O mecanismo efetivo, isto é, preponderante na fluência depende do nível de tensão submetido à estrutura, ou seja, com tensões baixas ocorrem fluxo e deslizamentos entre estruturas macroscópicas, enquanto que sob altos níveis de tensão de escorregamentos entre estruturas cristalinas e microscópicas, as microfissuras internas contribuem na deformação total do corpo.

A alta taxa de fluência no início da deformação pode ser analisada da seguinte forma: parte do esforço suportado pela matriz viscosa de lignina ou por qualquer película aquosa adsorvida na estrutura de madeira começa a ser liberada transmitindo para o "esqueleto portante" de cadeias celulósicas ou por microfibrilas, reacomodando os esforços internos.

A deformação retardada pode ser devida a uma acomodação molecular ou cristalina do material. Este mecanismo é sensível à variação de temperatura, teor de umidade do material, umidade relativa do meio ambiente e outros fatores intrínsecos ou não do material. A aplicação do carregamento provoca uma resposta instantânea tanto no sólido como no líquido intersticial; esta tensão se distribui por estas duas fases como um todo. Com a continuidade do carregamento, a carga sustentada pela fase líquida comprimida migra para áreas de menor pressão, em consequência ocorre um acréscimo da tensão na matriz sólida, provocando um acréscimo tardio na deformação, o qual continua até o equilíbrio higroscópico estrutura-meio. Este comportamento é reversível restando alguma histerese associada ao ciclo dissorção-adsorção da água. Os esforços internos se transmitem

por meio de pontos de vinculação entre os elementos moleculares e cristalinos do material, esta interação pode ser por meio de contato direto entre estruturas cristalinas, vínculos de cristalização, ou por meio de uma fina camada de água, vínculos de coagulação. Os primeiros seriam responsáveis pelo comportamento elástico, enquanto os últimos responderiam pelo comportamento visco-plástico do material.

As moléculas de celulose, considerando numa análise simplista como moléculas bidimensionais compostas de quatro monômeros unidos transversalmente por meio de ligações secundárias de pontes de hidrogênio, comportam-se como molas de constantes elásticas diferentes conforme as ligações envolvidas e rigidez das mesmas. (fig. 2.28)

Aplicando-se a carga P nas extremidades das cadeias celulósicas ocorre um alongamento instantâneo u_e reversível em ligações elásticas, porém se a carga for mantida constante as deformações elásticas iniciais são seguidas de deformações plásticas associadas a fissuras e reconstituição das ligações químicas secundárias, deformação lenta, recuperável ou não, tendo como consequência alongação das moléculas. A tendência de todo polímero é permanecer ou deformar de maneira a minimizar sua energia livre, com a aplicação do carregamento as moléculas são parcialmente deformadas para $l + u_e$, esta mudança no formato molecular provoca reacomodação interna das forças e estruturas internas, resultando na deformação elástica retardada; o prosseguimento na deformação proporciona o enrijecimento das estruturas internas reduzindo a taxa de deformação retardada.

Removendo o esforço o polímero tende a retornar ao estado inicial de baixa energia, retorno este que é dificultado ou mesmo impedido pelas novas ligações secundárias formadas e pela interação com outras moléculas.

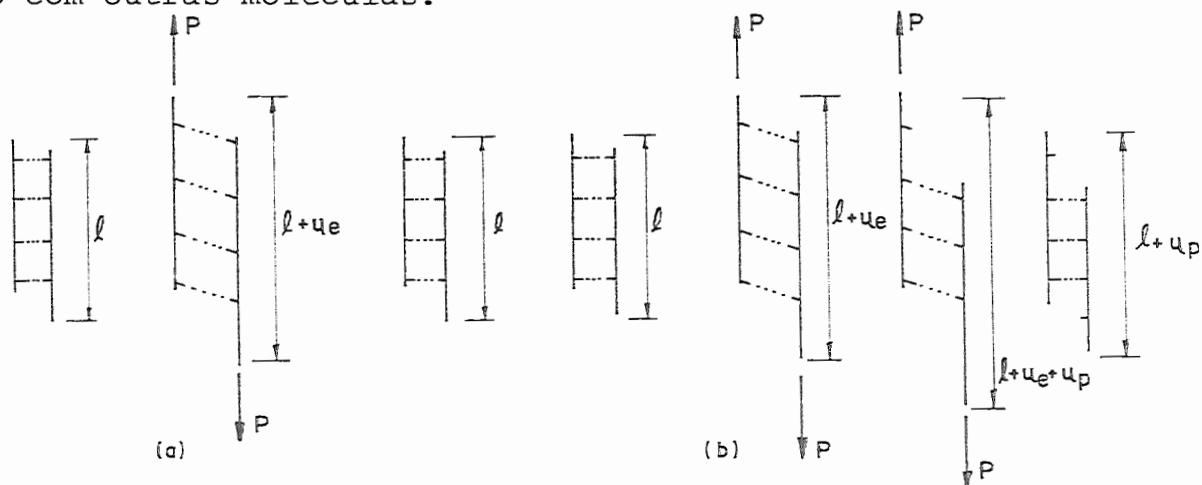


Figura 2.28- Representação esquemática das deformações (a) elástica, (b) plástica

2.3.2- Modelos Reológicos

O estudo das propriedades físicas e mecânicas de um meio ou material, envolvendo relações entre tensões e deformações com o tempo é chamado reologia. Através de corpos ideais, com propriedades reológicas definidas combinados de maneira adequada, pode-se simular o comportamento reológico de estruturas e materiais reais e numerosas tentativas têm sido realizadas utilizando os modelos reológicos constituídos de elementos simples que representem deformações ocorridas em função do tempo e das tensões atuantes.

Obter um modelo reológico definitivo ou que represente o comportamento real nas necessidades de cálculo é uma tarefa cujo sucesso depende acima de tudo da habilidade de escolher e compor os elementos básicos. Estas combinações entre elementos reológicos resultam em equações diferenciais envolvendo o tempo, tensões e deformações ou suas derivadas em relação ao tempo. As soluções destas equações diferenciais produzem as equações de fluência, deformação como função do tempo e das tensões, ou equações de relaxação, tensão em função das deformações e do tempo.

Elementos dos modelos reológicos:

Reologicamente idealizam-se as deformações elásticas como as de uma mola helicoidal ou sólido hookeneano, as deformações visco-plásticas como de um amortecedor de fluido newtoniano e finalmente as deformações plásticas por elementos de fricção - ou de St. Venant. Os elementos simplesmente representam o comportamento real não existindo, necessariamente, qualquer semelhança física ou comportamental entre o elemento reológico e o mecanismo de deformação do material real. Os modelos reológicos podem representar as propriedades físicas de um material ou corpo, consideradas somente do ponto de vista macroscópico.

Em adição aos modelos básicos: molas e amortecedores e menos frequentemente elementos de fricção, alguns modelos reológicos mais elaborados utilizam também outros elementos ou mecanismos, como molas internas e amortecedores, amortecedores com paredes que sofrem fricção, jogo de molas com diferentes rigidezes. O estudo dos modelos reológicos tem demonstrado que para materiais visco-elásticos, como a madeira, os modelos com molas e amortecedores são suficientes. Na madeira, regiões elásticas e plásticas podem ser representadas por diferentes elementos anatômicos e constituintes das paredes celulares. Regiões altamente cristalinas de celulose têm propriedades elásticas hookenianas, enquanto a lignina amorfa tem caracterís

ticas viscosas de um amortecedor, não sendo entretanto, elementos isolados na textura da madeira.

O elemento elástico, mola ou sólido hookeneano apresenta a seguinte relação tensão-deformação:

$$P_e = K \cdot u_e$$

O carregamento P_e é proporcional à deformação elástica u_e conforme a constante de proporcionalidade k .

A função deformação-carregamento é independente do tempo num corpo elástico (fig. 2.29) sendo, conseqüentemente, necessário outro elemento para descrever a dependência com o tempo, ou seja, o amortecedor.

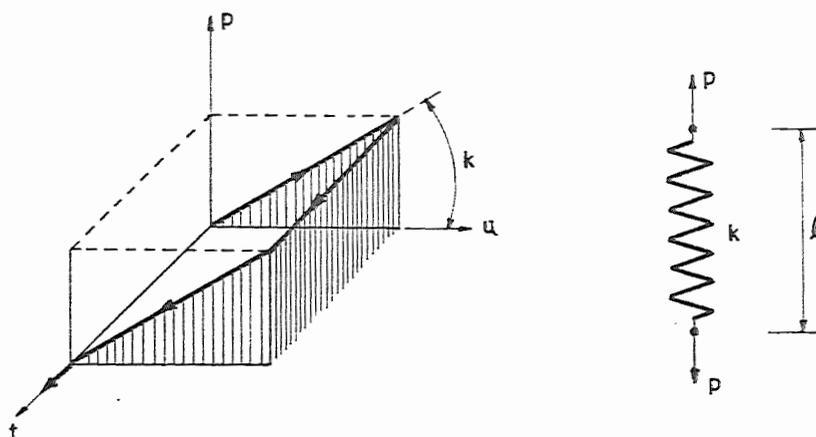


Figura 2.29- Reologia de sólido hookeneano

Um amortecedor composto de um pistão num cilindro com fluido newtoniano de viscosidade ν , de expressão:

$$P_v = \nu \cdot \frac{du_v}{dt}$$

Nesta equação diferencial a carga P é proporcional a taxa de variação da deformação ou deslocamento viscoso u_v com o tempo:

$$u_v = u_0 + (P_0/\nu) \cdot (t - t_0)$$

sendo: u_0 a deformação inicial antes da aplicação da carga constante P_0 no instante t_0 (fig. 2.30)

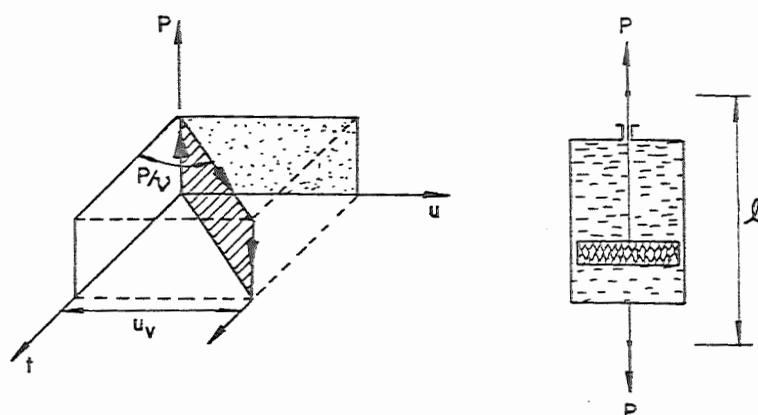


Figura 2.30- Reologia de amortecedor newtoniano

Os elementos básicos descritos anteriormente podem ser agrupados de modo a constituir modelos reológicos mais complexos. Existem dois modelos básicos conhecidos por modelo de Kelvin-Voigt (fig. 2.31), uma mola de constante k_K e um amortecedor de viscosidade v_K posicionados em paralelo submetidos portanto ao mesmo deslocamento, e a força total aplicada ao modelos é igual a soma das forças de cada elemento. No entanto o modelo de Kelvin não permite representar deformações elásticas. O modelo de Maxwell (fig. 2.32) é composto de mola e amortecedor em série, no qual a força aplicada nos dois elementos é a mesma, porém a deformação é a soma das deformações de cada elemento.

Quando uma carga é aplicada ao modelo de Kelvin-Voigt não ocorre deformação instantânea pois inicialmente toda carga é sustentada pelo amortecedor, sendo transferida numa razão decrescente à mola. Assim a deformação no modelo de Kelvin-Voigt tende assintoticamente ao valor da deformação instantânea da mola para a mesma carga.

A equação reológica do modelo de Kelvin-Voigt é:

$$P = k_K \cdot u_e + v_K \cdot du_v/dt$$

ou, sendo $u_e = u_v = u$

$$u = (P/k_K) \cdot (1 - e^{-t/\tau}) ; \quad t = 0 \quad u = 0$$

onde:

k_K - constante da mola

v_K - viscosidade do fluido do amortecedor

u_e e u_v - deformação da mola e do amortecedor respectivamente

$\tau = \nu_K/k_K$ - tempo de relaxação, representa o tempo necessário para a deformação ser igual a $1/e$ de seu valor último. Este valor de τ é igual ao tempo decorrido para alcançar a deformação total com uma taxa de variação da deformação igual a inicial, corresponde a derivada da curva no ponto $t = 0$.

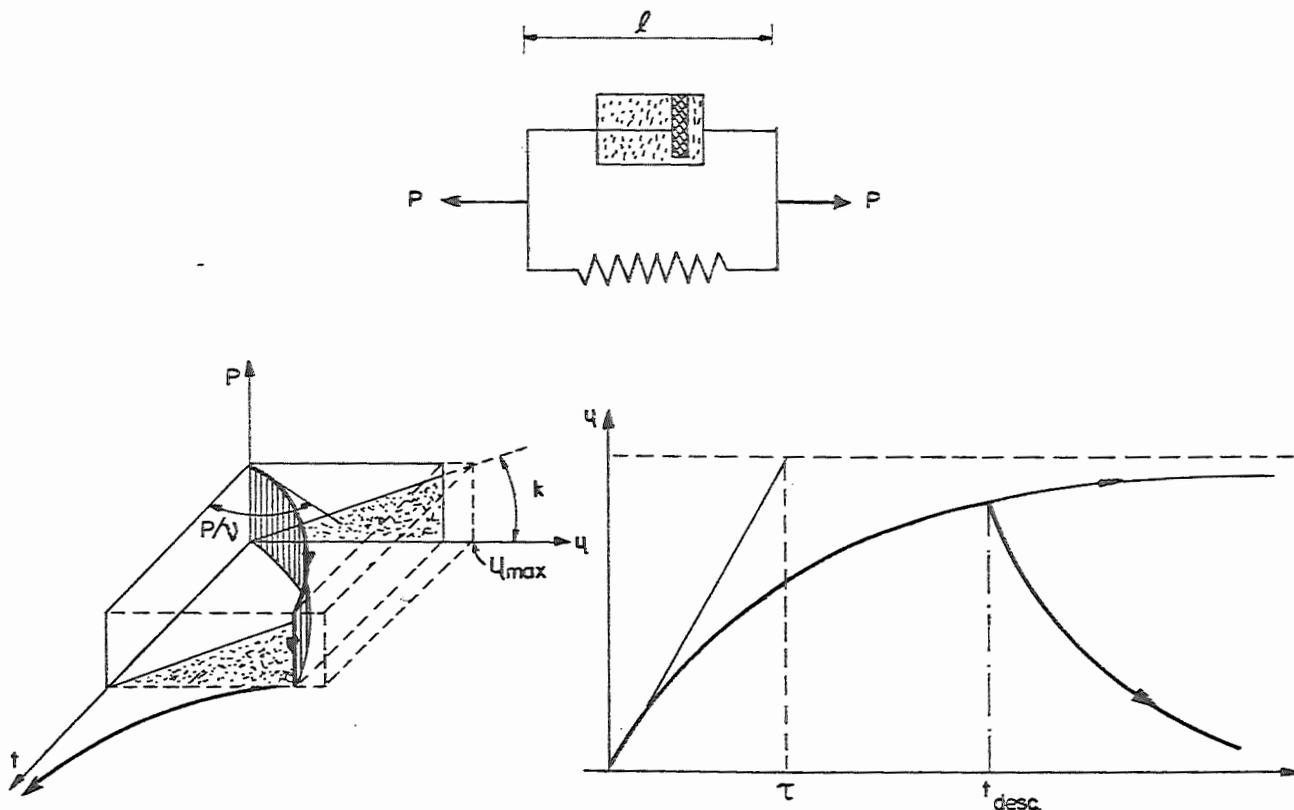


Figura 2.31- Modelo de Kelvin-Voigt e comportamento reológico

Conforme nota-se na fig. 2.31, a recuperação também é assintótica representando o modelo de Kelvin-Voigt a deformação retardada, seu comportamento é essencialmente elástico em dependência com o tempo. A equação de recuperação é obtida removendo-se a carga no instante t_1 sendo igual a:

$$u = P/k_K \cdot (1 - e^{-t_1/\tau}) \cdot e^{-(t-t_1)/\tau}$$

No caso do modelo de Maxwell, quando uma carga é aplicada a deformação total é a soma das deformações individualizadas

dos dois elementos, ou seja:

$$u = u_e + u_v$$

e
$$u_e = P/k_M \quad ; \quad du_v/dt = P/v$$

sendo: k_M - constante de proporcionalidade da mola
 v_M - viscosidade do fluido do amortecedor

$$du/dt = du_e/dt + du_v/dt$$

$$du/dt = (1/k_M) \cdot dP/dt + P/v_M$$

Integrando com P constante e igual a P_0 :

$$u = u_0 + \frac{1}{v_M} \cdot P_0 \cdot t$$

Como u_0 é a deformação inicial ($u_0 = P_0/k_M$):

$$u = P_0/k_M + (P_0/v_M) \cdot t$$

Na descarga a deformação elástica da mola é prontamente recuperada enquanto a deformação devida ao amortecedor é plástica e permanente (fig. 2.32).

Se a deformação for mantida constante, velocidade da deformação nula, então:

$$P = P_0 \cdot e^{-T/\tau}$$

sendo $\tau = v_M/k_M$ a constante de relaxação, representando o tempo necessário para a tensão ser relaxada para 1/e do valor inicial.

A curva da fig. 2.33 é característica da relaxação, o esforço P_0 deforma a mola de u_0 sendo $u_0 = P_0/k_M$ porém o amortecedor começa a se deformar aliviando a tensão geral.

Estes modelos básicos podem ser associados em modelos reológicos mais complexos, neste contexto uma mola ou um amortecedor isolado seriam considerados como casos degenerativos dos modelos básicos. O modelo de 4 elementos ou modelo de Burger é resultante da associação em série dos modelos de Kelvin-Voigt, representando o efeito elástico retardado, e de Maxwell, comportamentos plásticos e elásticos.

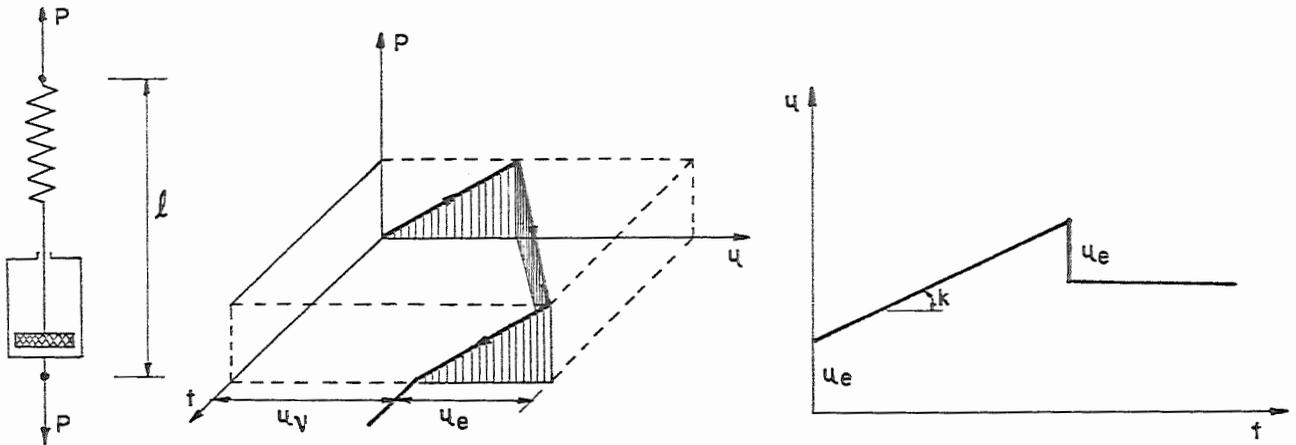


Figura 2.32- Modelo de Maxwell, comportamento reológico

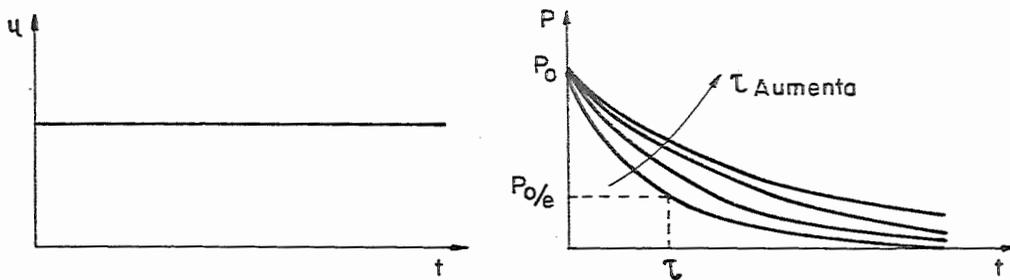


Figura 2.33- Curva de relaxação típica

A deformação ocorrida no modelo de Burger é a soma das deformações modelos básicos (fig. 2.34). Assim, quando aplica-se ao modelo de Burger a carga constante P_0 , ocorre uma deformação instantânea seguida por deformações dependentes do tempo incrementada a taxa decrescente e tendendo assintoticamente a reta correspondente a curva de deformação do modelo de Maxwell.

Ao remover a carga ocorre a recuperação instantânea devida a mola k_M , seguida da recuperação retardada assintótica a uma reta paralela ao eixo do tempo.

Como a deformação total é a soma dos componentes elástico, plástico e elástico retardado, então:

$$u = P_0 \cdot \left\{ \frac{1}{k_M} + \left(\frac{1}{k_K} \right) \cdot (1 - e^{-t/\tau}) + t/v_M \right\}$$

$$\tau = v_K/k_K$$

Se a carga não for constante com o tempo a deformação é dada pela equação diferencial:

$$\frac{d^2u}{dt^2} + \frac{k_K}{\nu_K} \cdot \frac{du}{dt} = \frac{P}{k_M} \cdot \left(\frac{1}{\nu_K} + \frac{1}{M} + \frac{k_K}{k_M \cdot \nu_K} + \frac{k_K}{\nu_M \cdot \nu_K} \right)$$

Para o estado monoaxial de tensões os parâmetros e variáveis da equação de Burger seriam escritos em bases unitárias, ou seja:

$$\epsilon = \sigma \cdot \left(\frac{1}{E_C} + \frac{1}{E_{de}} \right) \cdot \left(1 - e^{-t/\tau} \right) + t/\nu$$

ϵ - deformação

σ - tensão atuante

ν - coeficiente de viscosidade p/ deformação permanente

τ - ν_{de}/E_{de} ; tempo de relaxação

E_{de} - módulo de elasticidade retardado

E_C - módulo de elasticidade instantâneo

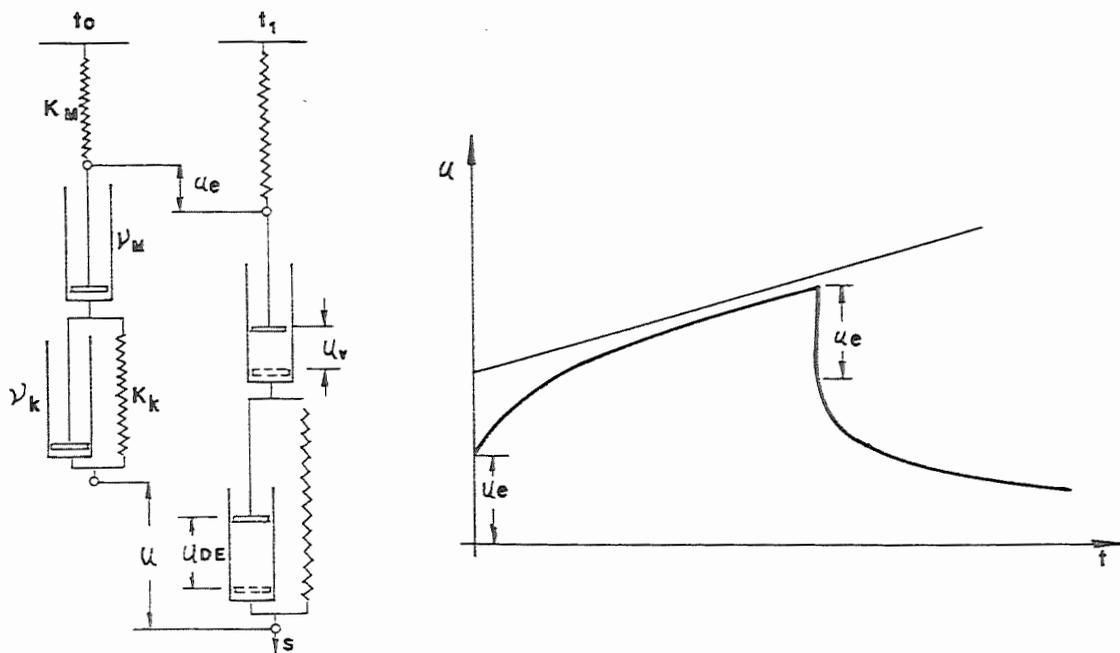


Figura 2.34- Modelo de Burger (4 elementos) e comportamento reológico

KOLLMANN (1968), através de curvas experimentais de deformação por tempo, valores para a viscosidade ν e sua dependência do teor de umidade para Douglas Fir. O valor da viscosidade a 12% de umidade para Douglas Fir é $\nu = 15 \cdot 10^6 \text{ Kgf} \cdot \text{s/cm}^2$.

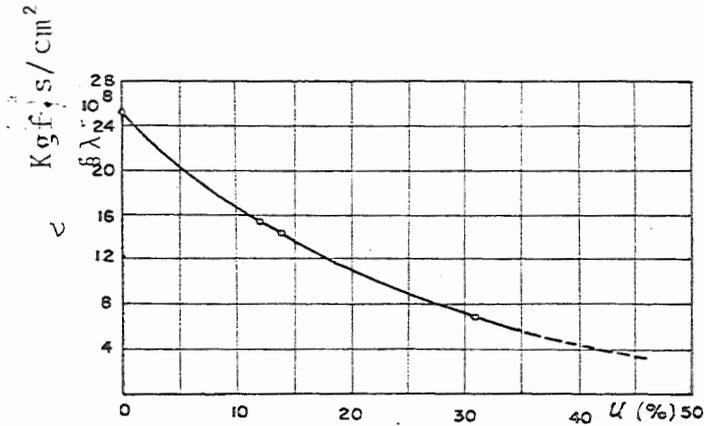


Figura 2.35- Viscosidade em função do teor de umidade

E propõe a seguinte equação polinomial para representar a fluência em peças fletidas:

$$\frac{f_t}{f_0} = A + B \log t + C (\log t)^2 + \dots$$

f_t - flecha no instante t

f_0 - flecha no instante t_0 (flecha instantânea)

t - tempo de atuação do carregamento

A, B, C, \dots constante de correlação

Sendo suficiente parar a série no termo quadrático.

2.4- Equações Propostas na Bibliografia para a análise Matemática de fluência

Todos os experimentos e teorias a respeito da fluência têm por finalidade primeira o melhor conhecimento dos materiais e estruturas e seus comportamentos ao longo do tempo. Modelos matemáticos foram desenvolvidos para expressar este comportamento por meio de equações numéricas, as quais permitiriam a previsão da deformação total.

Conforme a curva de deformação pelo tempo de aplicação

do carregamento a fluência é inicialmente acentuada, com taxa de variação das deformações decrescente com o tempo, desde que os níveis de tensão não sejam elevados o suficiente para provocar a ruptura do espécime ou da estrutura. Apesar da taxa decrescente a deformação pode crescer indefinidamente, existem experimentos com o concreto realizados na University of Califórnia, nos quais após 30 anos de carregamento os corpos de prova ainda apresentam taxas de fluência mensuráveis. Na maioria dos materiais a fluência tende a um valor limite após 4 ou 5 anos no máximo de carregamento, porém com aproximadamente um ano os valores das deformações são praticamente terminais. Em qualquer caso é interessante poder prever a fluência na vida útil da estrutura, seja por alguns meses ou por vários anos.

Deste modo, dois grupos de expressões matemáticas são concernidos: aquelas que tendem ao valor limite de deformação e aquelas nas quais a deformação é monotonicamente crescente. As primeiras são mais comuns, porém expressões ilimitadas são utilizadas restringindo-se seu intervalo de validade. As constantes e coeficientes destas expressões são encontrados empiricamente, por métodos teóricos- experimentais ou por métodos computacionais.

Além das equações perminentes a cada modelo reológico encontram-se na literatura equações apresentadas na tabela 2.7.

Com relação as normas internacionais, as mesmas propõem coeficientes de majoração ou minoração na rigidez ou na resistência conforme o tempo de atuação do carregamento e classes de umidade, conforme tabela 2.8.

Nome equação	Aplicabilidade	Equação	Observações
Logaritmica	Fluência primária	$C = a + b \log t$	$a, b, m, :$ constantes
Parabólica	Fluência primária e secundária	$C = C_0 + at^m$	$C_0 =$ deformação instantânea elástica
Hiperbólica	Fluência primária	$C = C_0 + t/(a + bt)$	
Seno hiperbólico	Fluência primária e secundária	$C = a + b \sinh t^m$	$m = 1/3 :$ geralmente
Polinomial	Fluência primária e secundária	$C = a_0 + a_1 t^{1/m} + \dots + a_n t^{n/m}$	
de Lacombe	Fluência primária e secundária	$C = C_0 + at + bt^m$	
Kollmann	Fluência primária e secundária	$C/C_0 = a + b \log t + g (\log t)^2 + \dots$	Termo quadrático suficiente
McVetty	Fluência primária	$dc/dt - dc_0/dt = a e^{-b t}$	
Marin-Pao	Fluência primária	$C = \sigma/E + a\sigma^m(1 - b e^{-n t}) + g \cdot \sigma \cdot t$	

Tabela 2.7- Equações propostas para análise da fluência

Normas	Classe de duração do carregamento	Coeficientes (2)	
		Valores (3) Características	Valores (4) médias
CIB/STDC (1) (redução na re- sistência e na rigidez)	longa duração	0,45/0,55	- 0,4/0,7
	média duração	0,50/0,60	- 0,7/1,0
	curta duração	0,60/0,70	- 0,7/1,0
	muito curta duração	0,75/0,90	- 0,7/1,0
	instantâneo	0,95/1,10	-
EUROCODE nº5 (1) (redução na re- sistência e ma- joração na fle- cha)	longa duração	0,65/0,80	- 1,5/3,0 (5)
	média duração	0,72/0,90	- 1,2/2,0
	curta duração	0,80/1,00	- 1,0/1,5
	instantâneo	1,00/1,20	-
BRE (6) (majoração na re- sistência)	longa duração	1,0	
	média duração	1,25	
	curta duração	1,50	
	impacto	1,75	
NDS (1) (majoração na flecha)	longa duração		
	madeira climatizada ou laminada	1,5	
	madeira não clima- tizada	2,0	
NDS (1) (majoração na resistência)	curva de coeficiente (fig 2.2) carregamento padrão (10 anos): tabelado por espécie		

Tabela 2.8 - Coeficientes das normas internacionais

Obs.:

- (1) vide item 2.2
- (2) variação conforme classes de umidade
- (3) utilizado para modificação dos valores característicos no cálculo
- (4) utilizado para redução dos valores dos módulos de elasticidade no cálculo das flechas
- (5) majoração da flecha conforme duração do carregamento
- (6) vide item 2.1, página 19, tab. 2.1

Conforme evidenciado ao longo da revisão bibliográfica no estudo da fluência em aço utiliza-se preferencialmente o ensaio de tração, o qual apresenta a vantagem da distribuição constante de tensões e deformações nas seções transversais dos corpos de prova, isto é a deformação específica (ϵ) é diretamente proporcional ao esforço atuante que a provoca: $\epsilon = \frac{1}{E} (\sigma)$, que são grandezas facilmente mensuráveis.

Porém a madeira apresenta rigidez e resistência muito baixa a esforços de compressão normal ou perpendicular às fibras, cerca de 10% da resistência à compressão paralela às fibras que dificulta o ensaio de tração, tendo em vista o esforço de compressão normal surgido nas extremidades dos corpos de prova devido às garras da máquina de ensaio.

Como através do ensaio de flexão estática são determinadas as principais características de rigidez e resistência da madeira foi este ensaio o escolhido para realização do presente estudo experimental.

Com a finalidade de estudar a fluência em peças flechadas de madeira desenvolveu-se as metodologias descritas e analisadas a seguir concluindo pela metodologia descrita em 3.3, depurada e proposta no capítulo 4.3.

3- METODOLOGIA, INSTRUMENTAÇÃO E RESULTADOS

3.1- Experiências Anteriores no LaMEM

Os experimentos a respeito da deformação lenta no LaMEM iniciaram com Mathiesen (1977) que ensaiou seis corpos de prova de Peroba Rosa de dimensões nominais de 2,0cm x 2,0cm x 60,0cm e vão livre de 58cm, carregados com duas cargas concentradas nos terços dos vãos a 21cm dos apoios (fig. 3.1). As deformações, flecha central, foram medidas por meio de um relógio comparador montado numa haste conforme fig. 3.2.

Mathiesen mediu as flechas dos corpos de prova carregados por 28 dias, e por mais dois dias após a descarga, não efetuando nenhuma análise dos resultados obtidos, os quais são apresentados na tabela 3.1 e 3.2. Numa análise posterior, utilizando equações da tabela 2.7, encontrou-se as correlações da tabela 3.3 e curvas como as figuras 3.3 e 3.4, sendo:

E_0 - módulo de elasticidade instantâneo

P_0 - carga aplicada e mantida constante todo o período carregado do ensaio.

c_0 - flecha instantânea na aplicação do carregamento

c - fluência - flecha após tempo t

c/c_0 - relação entre a flecha após o tempo t e a flecha inicial.

a, b, m, g - constantes de correlação

r_0 - recuperação instantânea na descarga

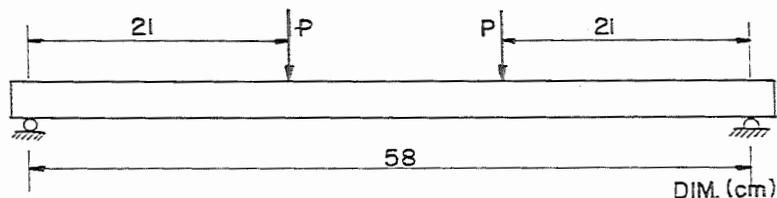


Figura 3.1- Esquema de carregamento dos corpos de prova ensaiados por José Mathiesen

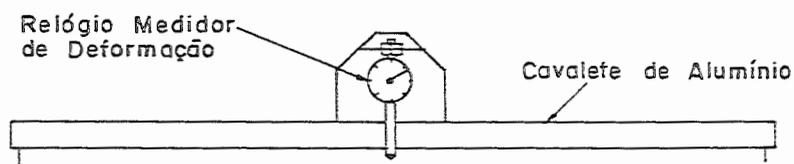


Figura 3.2- Equipamento de medida das deformações

WATANABE (1982/83) retomou o estudo da fluência ensaiando corpos de prova de 2,0cm x 3,0cm x 60,0cm carregados com uma carga concentrada no meio do vão livre de 58cm.

Para determinar as flechas no meio do vão, Watanabe utilizou o mesmo equipamento montado por Mathiesen (fig. 3.2), ensaiando Peroba Rosa, Pinho do Paraná e Eucalipto Citriodora, três corpos de prova de cada espécie.

Nos ensaios realizados por Watanabe, os corpos de prova foram carregados por 152 dias, então descarregados e as flechas na descarga ainda foram medidas por mais 106 dias, conforme resultados apresentados nas tabelas 3.4 a 3.8 e fig. 3.5 a 3.7.

Watanabe observou:

- . Aumento na taxa de deformação em dias chuvosos ou de elevada umidade relativa do ar;
- . Estabilização das deformações após o 3º mes de carregamento dos espécimes;

LITRA	TEMPO (h)	C.P. 1 (mm)	C.P. 2 (mm)	C.P. 3 (mm)	C.P. 4 (mm)	C.P. 5 (mm)	C.P. 6 (mm)
1	0.0000	1.2950	1.3300	1.4200	1.3100	1.3800	1.3000
2	0.5000	1.3350	1.3700	1.4700	1.3500	1.4300	1.3400
3	1.0000	1.3500	1.3800	1.4800	1.3600	1.4400	1.3500
4	2.0000	1.3600	1.4000	1.5000	1.3700	1.4600	1.3650
5	4.0000	1.3700	1.4200	1.5200	1.3800	1.4800	1.3800
6	6.0000	1.3800	1.4350	1.5400	1.3900	1.4900	1.3900
7	8.0000	1.4000	1.4500	1.5500	1.3900	1.5000	1.4000
8	10.0000	1.4100	1.4800	1.5700	1.3950	1.5100	1.4100
9	20.0000	1.4250	1.5360	1.6100	1.4000	1.5200	1.4200
10	32.0000	1.4600	1.5900	1.6700	1.4400	1.5600	1.4900
11	52.0000	1.4700	1.6100	1.6800	1.4500	1.5700	1.4900
12	61.0000	1.5200	1.6300	1.7300	1.5500	1.6350	1.5750
13	76.0000	1.5350	1.6000	1.7150	1.5200	1.6400	1.5300
14	85.0000	1.6000	1.6300	1.7800	1.6200	1.7000	1.6200
15	145.0000	1.6650	1.7800	1.9100	1.5800	1.7250	1.6200
16	157.0000	1.7000	1.8000	1.9400	1.6200	1.7500	1.6700
17	172.0000	1.6900	1.8000	1.9300	1.6100	1.7400	1.6400
18	181.0000	1.7100	1.8300	1.9600	1.6050	1.7500	1.6600
19	196.0000	1.7100	1.8500	1.9700	1.6100	1.7500	1.6600
20	205.0000	1.7400	1.8500	1.9900	1.6600	1.7800	1.7000
21	221.0000	1.7400	1.8200	1.9750	1.6650	1.7950	1.6800
22	239.0000	1.7800	1.8100	2.0000	1.7400	1.8300	1.7400
23	244.0000	1.7800	1.7700	1.9800	1.7100	1.8300	1.7000
24	253.0000	1.8000	1.8000	2.0100	1.7700	1.8600	1.7500
25	317.0000	1.8200	1.8400	2.0600	1.7500	1.8500	1.7500
26	326.0000	1.8400	1.8600	2.0900	1.7300	1.8500	1.7500
27	340.0000	1.8400	1.9300	2.1100	1.7100	1.8500	1.7600
28	349.0000	1.8600	1.9500	2.1300	1.7400	1.8600	1.7900
29	364.0000	1.8500	1.9800	2.1400	1.7100	1.8600	1.7800
30	373.0000	1.8600	2.0200	2.1700	1.7000	1.8600	1.7800
31	388.0000	1.8700	2.0700	2.2000	1.6900	1.8700	1.8100
32	412.0000	1.8900	2.1600	2.2600	1.6800	1.8900	1.8400
33	421.0000	1.9300	2.1700	2.2800	1.7000	1.9200	1.8800
34	485.5000	1.9300	2.1800	2.3200	1.7200	1.9500	1.8900
35	493.5000	1.9600	2.1600	2.3300	1.7700	1.9700	1.9300
36	508.0000	1.9400	2.1500	2.3200	1.7600	1.9600	1.9000
37	517.0000	1.9700	2.1400	2.3300	1.8000	1.9800	1.9300
38	532.0000	1.9500	2.1450	2.3200	1.7800	1.9700	1.9100
39	541.0000	2.0000	2.1450	2.3500	1.8400	2.0100	1.9500
40	556.0000	1.9800	2.1300	2.3300	1.8300	2.0000	1.9300
41	577.0000	2.0000	2.1300	2.3500	1.8500	2.0100	1.9400
42	669.0000	2.0600	2.2300	2.4500	1.9000	2.0700	2.0000
43	688.0000	2.0700	2.1800	2.4100	1.9300	2.0900	1.9800
44	688.5000	0.9500	0.9500	1.0500	0.6800	0.7800	0.7100
45	696.5000	0.8400	0.7900	0.9500	0.6500	0.7200	0.6600
46	729.7000	0.7700	0.6100	0.7900	0.6100	0.6400	0.5500

Tabela 3.1 - FLUENCIA EM PEROLA ROSA

CP	E_0 (MPa)	P_0 (N)	C_0 (mm)	$\frac{C}{C_0}$ (t=10hs)	$\frac{C}{C_0}$ (t=1mês)	r_0 (mm)
01	12225	42	1,29	1,09	1,60	1,12
02	15950	57	1,33	1,10	1,67	1,33
03	14600	55	1,42	1,10	1,72	1,40
04	16700	58	1,31	1,06	1,47	1,25
05	12970	46	1,38	1,09	1,50	1,31
06	13950	49	1,30	1,08	1,52	1,29

Tabela 3.2- Resultados para Peroba Rosa (Mathiesen)

C.P.	$C = A + B \log t$	$C = C_0 + A.t^m$	$C = C_0 + \frac{t}{A+Bt}$	$\frac{C}{C_0} = A + B \log t + G \cdot (\log t)^2$	$C = A e^{mt}$	$C = A + B(1 - e^{-mt}) + Gt$
01	A = 1,20 B = 0,26 r ² = 84,2%	A = 0,043 m = 0,44 r ² = 98,0%	A = 13,12 B = 3,10 r ² = 75,4%	A = 1,05 B = -0,10 G = 0,10 r ² = 98,7%	A = 1,45 m = 6,17x10 ⁻⁴ r ² = 89,9%	A = 1,39 B = 5,78 G = 0,0054 m = 6,17x10 ⁻⁴ r ² = 98,1%
02	A = 1,22 B = 0,30 r ² = 81,2%	A = 0,049 m = 0,44 r ² = 98,6%	A = 13,56 B = 2,52 r ² = 83,6%	A = 1,05 B = -0,11 G = 0,11 r ² = 94,7%	A = 1,51 m = 6,86x10 ⁻⁴ r ² = 95,8%	A = 1,45 B = 4,81 G = 0,0053 m = 6,86x10 ⁻⁴ r ² = 95,8%
03	A = 1,28 B = 0,34 r ² = 82,5%	A = 0,054 m = 0,44 r ² = 98,8%	A = 10,94 B = 2,35 r ² = 78,3%	A = 1,06 B = -0,13 G = 0,12 r ² = 97,6%	A = 1,62 m = 7,23x10 ⁻⁴ r ² = 91,4%	A = 1,54 B = 4,67 G = 0,0056 m = 7,23x10 ⁻⁴ r ² = 98,4%
04	A = 1,26 B = 0,18 r ² = 82,3%	A = 0,040 m = 0,39 r ² = 95,1%	A = 13,11 B = 3,96 r ² = 67,8%	A = 1,04 B = -0,05 G = 0,06 r ² = 93,6%	A = 1,44 B = 4,50x10 ⁻⁴ r ² = 84,1%	A = 1,41 B = 7,39 G = 0,0045 m = 4,50x10 ⁻⁴ r ² = 90,3%
05	A = 1,33 B = 0,21 r ² = 85,0%	A = 0,005 m = 0,37 r ² = 98,2%	A = 10,47 B = 3,04 r ² = 75,9%	A = 1,05 B = -0,06 G = 0,07 r ² = 96,7%	A = 1,54 m = 5,00x10 ⁻⁴ r ² = 90,0%	A = 1,50 B = 6,55 G = 0,047 m = 5,00x10 ⁻⁴ r ² = 96,4%
06	A = 1,23 B = 0,22 r ² = 83,5%	A = 0,044 m = 0,41 r ² = 98,1%	A = 13,30 B = 3,24 r ² = 77,0%	A = 1,46 B = -0,08 G = 0,09 r ² = 97,0	A = 1,45 m = 5,54x10 ⁻⁴ r ² = 90,7	A = 1,40 B = 5,32 G = 0,0044 m = 5,54x10 ⁻⁴ r ² = 96,9%

Tabela 3.3- Curvas de Correlação para Peroba Rosa - Fluência

flecha (mm)

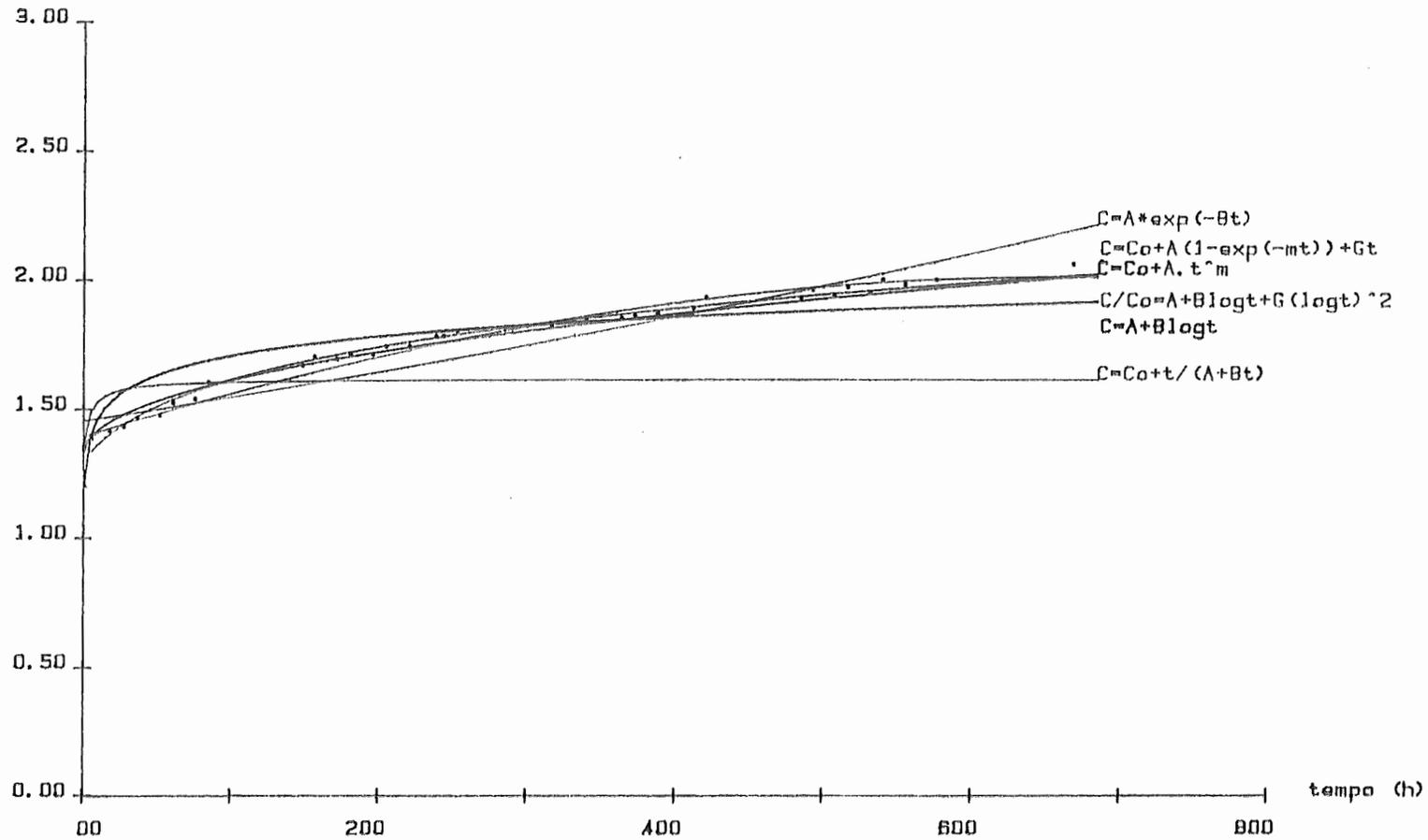


fig. 3.3 - Fluência em Peroba Rosa - C.P.1

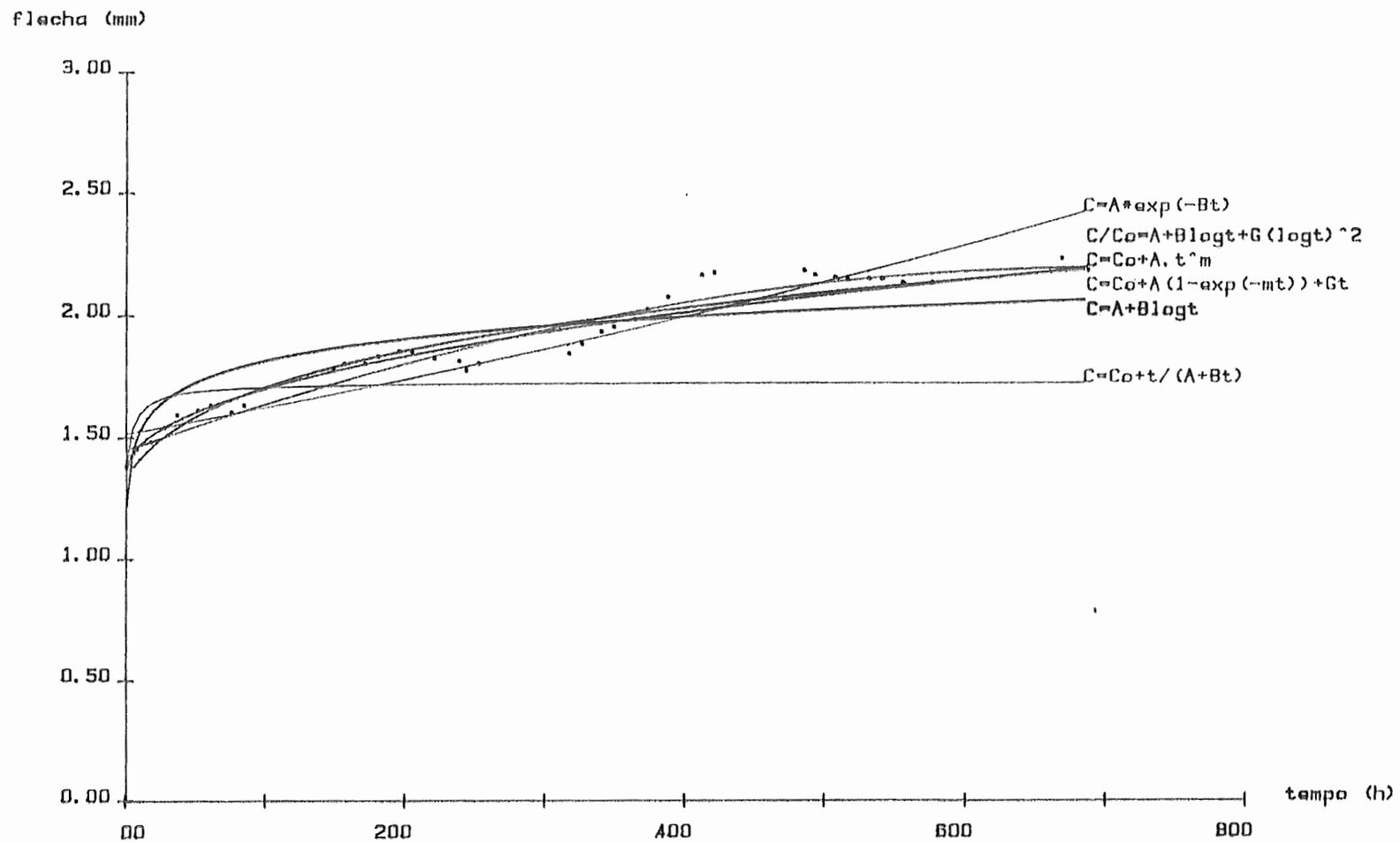


fig. 3.4 - Fluencia em Peroba Roaa - C.P.2

LINHA	TEMPO(d)	P.R.1(mm)	P.R.2(mm)	P.R.3(mm)	E.C.1(mm)	E.C.2(mm)	E.C.3(mm)	P.P.1(mm)	P.P.2(mm)	P.P.3(mm)
1	0.000	1.380	1.700	1.700	1.760	1.470	0.750	1.170	1.020	0.940
2	0.250	1.500	1.810	1.800	1.780	1.490	0.790	1.160	1.050	1.000
3	0.563	1.510	1.800	1.790	1.780	1.490	0.790	1.160	1.040	1.000
4	0.750	1.550	1.860	1.840	1.790	1.500	0.800	1.190	1.070	1.020
5	1.000	1.600	1.910	1.820	1.800	1.520	0.820	1.190	1.100	1.040
6	1.250	1.620	1.900	1.810	1.800	1.520	0.810	1.170	1.080	1.040
7	1.500	1.600	1.890	1.790	1.800	1.520	0.800	1.170	1.060	1.040
8	1.750	1.640	1.930	1.820	1.800	1.530	0.810	1.180	1.090	1.060
9	2.042	1.630	1.910	1.800	1.790	1.510	0.810	1.160	1.070	1.050
10	3.238	1.669	1.960	1.870	1.800	1.550	0.820	1.170	1.100	1.070
11	4.750	1.690	1.990	1.890	1.800	1.550	0.810	1.180	1.110	1.070
12	6.917	1.740	2.050	1.920	1.800	1.560	0.820	1.230	1.110	1.090
13	7.583	1.720	2.010	1.870	1.790	1.540	0.810	1.190	1.070	1.070
14	7.867	1.750	2.070	1.910	1.800	1.550	0.820	1.220	1.110	1.100
15	8.583	1.720	2.010	1.870	1.790	1.540	0.810	1.200	1.070	1.070
16	8.917	1.720	2.030	1.900	1.800	1.540	0.810	1.210	1.080	1.070
17	9.667	1.720	2.000	1.900	1.790	1.530	0.810	1.210	1.060	1.060
18	10.563	1.700	2.000	1.890	1.790	1.540	0.810	1.210	1.060	1.060
19	11.667	1.770	2.060	1.890	1.820	1.540	0.810	1.210	1.080	1.090
20	13.625	1.730	2.010	1.930	1.790	1.540	0.810	1.210	1.060	1.070
21	14.688	1.730	2.000	1.970	1.800	1.550	0.820	1.220	1.070	1.080
22	15.625	1.720	2.000	1.970	1.800	1.550	0.810	1.220	1.070	1.080
23	20.958	1.800	2.120	1.930	1.840	1.560	0.840	1.220	1.110	1.090
24	21.667	1.770	2.060	1.910	1.820	1.550	0.820	1.210	1.080	1.090
25	22.625	1.770	2.050	1.980	1.810	1.550	0.830	1.230	1.080	1.080
26	23.625	1.760	2.050	1.970	1.810	1.550	0.830	1.220	1.080	1.070
27	28.875	1.860	2.200	1.870	1.820	1.560	0.840	1.230	1.140	1.120
28	29.625	1.860	2.170	1.860	1.820	1.560	0.830	1.220	1.110	1.110
29	30.667	1.900	2.200	1.840	1.820	1.560	0.830	1.230	1.110	1.100
30	31.667	1.900	2.190	1.840	1.820	1.560	0.830	1.230	1.110	1.110
31	32.792	1.940	2.270	1.830	1.840	1.580	0.850	1.250	1.140	1.130
32	33.750	1.940	2.230	1.850	1.820	1.570	0.830	1.230	1.110	1.120
33	34.667	1.920	2.220	1.920	1.820	1.580	0.840	1.240	1.100	1.110
34	35.563	1.920	2.210	1.850	1.820	1.580	0.830	1.230	1.090	1.090
35	39.896	1.920	2.230	1.940	1.830	1.590	0.840	1.250	1.120	1.130
36	40.896	1.930	2.260	1.940	1.830	1.590	0.840	1.250	1.130	1.140
37	41.896	1.970	2.280	1.920	1.840	1.600	0.840	1.250	1.140	1.140
38	42.604	1.930	2.250	1.850	1.830	1.590	0.830	1.220	1.100	1.100
39	47.604	2.120	2.410	1.820	1.900	1.650	0.910	1.270	1.190	1.180
40	48.875	2.200	2.480	1.810	1.940	1.670	0.930	1.290	1.240	1.210
41	49.875	2.210	2.470	1.770	1.880	1.640	0.890	1.260	1.210	1.190
42	50.625	2.210	2.450	1.770	1.910	1.650	0.900	1.280	1.200	1.180
43	53.917	2.200	2.460	1.830	1.880	1.640	0.870	1.280	1.190	1.200
44	54.917	2.270	2.510	1.910	1.920	1.700	0.920	1.330	1.220	1.230
45	55.917	2.160	2.380	1.900	1.880	1.660	0.870	1.270	1.170	1.170
46	56.917	2.220	2.430	1.880	1.910	1.700	0.900	1.320	1.190	1.240
47	57.958	2.200	2.390	1.870	1.860	1.660	0.860	1.280	1.170	1.230
48	61.000	2.250	2.490	1.800	1.890	1.650	0.840	1.280	1.190	1.190
49	62.000	2.190	2.480	1.880	1.900	1.660	0.860	1.320	1.140	1.200
50	63.000	2.190	2.390	1.850	1.850	1.650	0.820	1.250	1.100	1.170
51	64.000	2.170	2.400	1.940	1.860	1.640	0.830	1.260	1.120	1.200
52	68.000	2.270	2.530	1.860	1.900	1.660	0.890	1.290	1.200	1.210
53	69.000	2.280	2.540	1.820	1.910	1.660	0.900	1.270	1.210	1.190

Tabela 4. - FLUENCIA EM PERoba ROSA (P.R.), EUCALIPTO CITRODORA (E.C.), PINHU DO PARANA (P.P.)

LINHA	TEMPO(d)	P.R.1(mm)	P.R.2(mm)	P.R.3(mm)	E.C.1(mm)	E.C.2(mm)	E.C.3(mm)	P.P.1(mm)	P.P.2(mm)	P.P.3(mm)
54	69.917	2.270	2.520	1.870	1.890	1.660	0.890	1.290	1.190	1.190
55	70.625	2.190	2.470	1.880	1.880	1.660	0.890	1.280	1.150	1.180
56	71.625	2.210	2.460	1.850	1.890	1.660	0.870	1.260	1.140	1.160
57	72.625	2.240	2.480	1.840	1.890	1.660	0.880	1.280	1.150	1.170
58	76.075	2.360	2.550	1.820	1.900	1.670	0.890	1.290	1.200	1.190
59	77.625	2.310	2.540	1.790	1.910	1.660	0.890	1.260	1.190	1.180
60	78.625	2.320	2.550	1.790	1.900	1.680	0.890	1.270	1.190	1.190
61	82.833	2.360	2.560	1.830	1.900	1.680	0.890	1.290	1.200	1.200
62	83.708	2.320	2.520	1.860	1.900	1.680	0.890	1.300	1.180	1.180
63	85.208	2.340	2.550	1.890	1.910	1.680	0.890	1.300	1.180	1.190
64	85.708	2.290	2.510	1.880	1.910	1.680	0.890	1.290	1.160	1.180
65	86.625	2.300	2.540	1.860	1.900	1.680	0.890	1.280	1.160	1.160
66	90.625	2.360	2.550	1.830	1.920	1.690	0.900	1.290	1.180	1.160
67	91.625	2.370	2.570	1.840	1.900	1.660	0.890	1.260	1.170	1.180
68	92.625	2.430	2.570	1.860	1.880	1.650	0.890	1.240	1.170	1.170
69	95.833	2.450	2.640	1.830	1.900	1.660	0.900	1.300	1.200	1.200
70	96.833	2.550	2.700	1.870	1.940	1.730	0.940	1.320	1.280	1.280
71	97.833	2.540	2.690	1.830	1.950	1.740	0.950	1.360	1.270	1.270
72	98.833	2.570	2.730	1.770	1.960	1.740	0.950	1.330	1.280	1.260
73	100.625	2.600	2.760	1.730	1.970	1.760	0.970	1.320	1.270	1.250
74	103.833	2.570	2.780	1.840	1.960	1.750	0.940	1.350	1.260	1.260
75	104.833	2.580	2.690	1.900	1.960	1.760	0.940	1.370	1.250	1.280
76	105.833	2.560	2.700	1.930	1.960	1.750	0.950	1.370	1.250	1.270
77	109.958	2.590	2.710	1.940	2.000	1.760	0.940	1.370	1.250	1.270
78	110.833	2.550	2.670	1.950	1.970	1.760	0.940	1.370	1.220	1.250
79	111.833	2.540	2.670	1.960	1.970	1.750	0.950	1.350	1.220	1.250
80	112.833	2.550	2.690	1.940	1.970	1.740	0.940	1.350	1.230	1.260
81	113.833	2.550	2.700	1.950	1.970	1.750	0.940	1.350	1.240	1.270
82	139.833	2.510	2.670	2.180	1.960	1.720	0.940	1.360	1.210	1.250
83	140.833	2.520	2.670	2.170	1.970	1.730	0.940	1.370	1.200	1.250
84	152.833	2.550	2.710	2.080	1.930	1.700	0.910	1.340	1.200	1.230
85	152.917	1.260	1.500	0.970	0.820	0.700	0.170	0.400	0.440	0.450
86	153.042	1.200	1.450	0.890	0.800	0.660	0.150	0.350	0.420	0.420
87	153.917	1.130	1.370	0.810	0.770	0.650	0.130	0.330	0.380	0.380
88	154.167	1.140	1.390	0.840	0.780	0.650	0.140	0.340	0.400	0.400
89	154.958	1.090	1.330	0.790	0.790	0.650	0.120	0.310	0.370	0.370
90	155.167	1.090	1.330	0.820	0.760	0.640	0.130	0.330	0.380	0.380
91	156.333	1.050	1.310	0.860	0.790	0.640	0.110	0.340	0.370	0.380
92	156.917	1.040	1.290	0.810	0.770	0.640	0.120	0.320	0.350	0.350
93	162.292	0.950	1.240	0.830	0.740	0.610	0.110	0.310	0.360	0.350
94	162.917	0.910	1.200	0.760	0.730	0.600	0.100	0.270	0.330	0.330
95	167.125	0.890	1.170	0.810	0.720	0.590	0.090	0.300	0.340	0.330
96	168.000	0.880	1.160	0.720	0.710	0.560	0.090	0.270	0.330	0.300
97	169.000	0.920	1.180	0.710	0.730	0.590	0.090	0.270	0.340	0.310
98	170.208	0.910	1.170	0.720	0.730	0.580	0.100	0.280	0.340	0.330
99	171.042	0.880	1.150	0.710	0.700	0.570	0.090	0.280	0.330	0.310
100	173.958	0.870	1.150	0.740	0.710	0.580	0.090	0.270	0.310	0.320
101	188.250	0.790	1.120	0.740	0.690	0.550	0.080	0.280	0.310	0.300
102	223.250	0.400	0.690	0.750	0.660	0.490	0.070	0.280	0.240	0.300
103	244.292	0.450	0.680	0.520	0.630	0.450	0.060	0.270	0.240	0.250
104	245.083	0.450	0.670	0.510	0.660	0.460	0.060	0.280	0.240	0.240
105	258.250	0.590	0.810	0.350	0.640	0.450	0.060	0.260	0.300	0.280
106	259.000	0.570	0.740	0.250	0.640	0.460	0.050	0.270	0.280	0.270

Tabela 3.4 - FLUENCIA EM PEROVA ROSA(P.R.), EUCALIPTO CITRIDORA(E.C.) E PINHO DO PARANA(P.P.)

CP	E_o (MPa)	P_o (N)	C_o (mm)	$\frac{C}{C_o}$ (t=10hs)	$\frac{C}{C_o}$ (t=1me ses)	$\frac{C}{C_o}$ (t=3me ses)	r_o (mm)	$\frac{C}{C_o}$ (t=5me ses)
PR.1	12650	79	1,38	1,09	1,35	1,71	1,29	1,85
PR.2	11130	64	1,70	1,06	1,28	1,50	1,21	1,59
PR.3	9170	49	1,70	1,06	1,09	1,08	1,20	1,22
EC.1	24710	128	1,76	1,01	1,03	1,09	1,15	1,10
EC.2	21140	98	1,47	1,01	1,06	1,15	1,09	1,16
EC.3	22700	79	0,75	1,05	1,11	1,20	0,77	1,21
PP.1	20270	88	1,17	1,00	1,04	1,10	0,97	1,15
PP.2	17060	69	1,02	1,03	1,09	1,16	0,80	1,18
PP.3	13630	49	0,94	1,06	1,18	1,23	0,80	1,31

Tabela 3.5- Resultados para Peroba Rosa (PR)
Eucalipto Citriodora (EC), Pinho do Paraná (PP)

C.P.	$C = A + B \log t$	$C = C_0 + At^m$	$C = C_0 + \frac{t}{A+Bt}$	$\frac{C}{C_0} = \frac{A+B \log t}{G(\log t)^2} +$	$C = A e^{tm}$	$C = A+B(1-e^{-mt}) +$ Gt
PR.1 flência	A = 1,39 B = 0,47 r ² = 77,2%	A = 0,16 m = 0,39 r ² = 92,4%	A = 2,32 B = 1,58 r ² = 68,7%	A = 1,11 B = -0,105 G = 0,214 r ² = 93,4%	A = 1,67 m = 3,92x10 ⁻³ r ² = 91,6%	A = 1,57 B = 3,82 G = 0,027 m = 3,92x10 ⁻³ r ² = 96,6%
PR.2 flência	A = 1,73 B = 0,41 r ² = 81,5%	A = 0,15 m = 0,38 r ² = 93,8%	A = 2,66 B = 1,73 r ² = 67,9%	A = 1,08 B = -0,035 G = 0,131 r ² = 94,5%	A = 1,98 m = 2,92x10 ⁻³ r ² = 89,0%	A = 1,88 B = 8,14 G = 0,035 m = 2,92x10 ⁻³ r ² = 96,7%
PR.3 fluência	A = 1,83 B = 0,03 r ² = 5,9%	A = 0,13 m = 0,06 r ² = 3,7%	A = 1,24 B = 6,57 r ² = 2,7%	A = 1,08 B = 0,025 G = -0,004 r ² = 61,6%	A = 1,85 m = 2,82x10 ⁻⁴ r ² = 8,1%	A = 1,80 B = -564,2 G = -0,161 m = 2,82x10 ⁻⁴ r ² = 32,2%
PR.1 recuperação	A = 1,14 B = 0,267 r ² = 83,1%	A = 0,13 m = 0,401 r ² = 96,1%	A = -2,51 B = -2,41 r ² = 96,5%	A = 0,91 B = -0,109 G = -0,074 r ² = 93,7%	A = 1,07 m = -8,22x10 ⁻³ r ² = 83,2%	A = -1,16 B = -4,89 G = 0,021 m = -8,22x10 ⁻³ r ² = 95,3%
PR.2 recuperação	A = 1,40 B = 0,268 r ² = 79,2	A = 2,14 m = 0,401 r ² = 97,0%	A = 1,88 B = 2,67 r ² = 95,3%	A = 0,93 B = -0,077 G = -0,074 r ² = 93,3%	A = 1,34 m = -6,58x10 ⁻³ r ² = 90,4%	A = 1,40 B = -5,14 G = 0,018 m = -6,58x10 ⁻³ r ² = 95,3%
PR.3 recuperação	A = 0,87 B = -0,155 r ² = 59,1%	A = 0,12 m = 0,296 r ² = 77,6%	A = -2,32 B = -3,55 r ² = 92,0%	A = 0,90 B = -0,062 G = -0,071 r ² = 71,3 %	A = 0,87 m = -7,51x10 ⁻³ r ² = 76,7%	A = 0,822 B = 1,429 G = -0,012 m = -7,5x10 ⁻³ r ² = 82,5%

Tabela 3.6- Curvas de Correlação para Peroba Rosa (PR)

C.P.	$C = A + B \log t$	$C = C_0 + At^m$	$C = C_0 + \frac{t}{A+Bt}$	$\frac{C}{C_0} = \frac{A+B \log t}{G(\log t)^2} +$	$C = A e^{-tm}$	$C = A+B(1-e^{-tm}) +$ Gt
EC.1 fluência	A = 1,75 B = 0,079 $r^2 = 63,3\%$	A = 0,021 m = 0,42 $r^2 = 77,7\%$	A = 13,35 B = 12,15 $r^2 = 41,7\%$	A = 1,012 B = -0,029 G = 0,036 $r^2 = 84,4\%$	A = 1,79 m = $0,78 \times 10^{-3}$ $r^2 = 86,7\%$	A = 1,78 B = 13,45 G = 0,012 m = $0,78 \times 10^{-3}$ $r^2 = 87,8\%$
EC.2 fluência	A = 1,47 B = 0,107 $r^2 = 71,6\%$	A = 0,032 m = 0,42 $r^2 = 88,6\%$	A = 14,13 B = 7,24 $r^2 = 73,8\%$	A = 1,021 B = -0,025 G = 0,047 $r^2 = 87,3\%$	A = 1,53 m = $1,15 \times 10^{-3}$ $r^2 = 87,7\%$	A = 1,51 B = 12,51 G = 0,017 m = $1,15 \times 10^{-3}$ $r^2 = 91,0\%$
EC.3 fluência	A = 0,77 B = 0,062 $r^2 = 60,5\%$	A = 0,042 m = 0,27 $r^2 = 72,7\%$	A = 5,77 B = 9,57 $r^2 = 37,1\%$	A = 1,06 B = -0,044 G = 0,061 $r^2 = 77,9\%$	A = 0,81 m = $1,30 \times 10^{-3}$ $r^2 = 81,1\%$	A = 0,80 B = 3,45 G = 0,006 m = $1,30 \times 10^{-3}$ $r^2 = 81,7\%$
EC.1 recuperação	A = 0,785 B = -0,062 $r^2 = 88,0\%$	A = -0,062 m = 0,259 $r^2 = 93,6\%$	A = -2,20 B = -8,44 $r^2 = 76,0\%$	A = 0,931 B = -0,044 G = -0,022 $r^2 = 95,7\%$	A = 1,31 m = $-1,90 \times 10^{-3}$ $r^2 = 82,1\%$	A = 0,785 B = -14,86 G = 0,024 m = $-1,90 \times 10^{-3}$ $r^2 = 91,7\%$
EC.2 recuperação	A = 0,658 B = -0,081 $r^2 = 83,9\%$	A = -0,047 m = 0,364 $r^2 = 91,8\%$	A = -7,14 B = -7,18 $r^2 = 91,5\%$	A = 0,942 B = -0,055 G = -0,045 $r^2 = 96,8\%$	A = +0,64 m = $-3,54 \times 10^{-3}$ $r^2 = 92,8\%$	A = 0,656 B = -4,5 G = 0,011 m = $-3,5 \times 10^{-3}$ $r^2 = 96,1\%$
EC.3 recuperação	A = 0,135 B = -0,036 $r^2 = 96,3\%$	A = -0,062 m = 0,191 $r^2 = 95,0\%$	A = -2,06 B = -9,89 $r^2 = 86,3\%$	A = 0,682 B = -0,15 G = -0,019 $r^2 = 97,3\%$	A = 0,12 m = $-7,97 \times 10^{-3}$ $r^2 = 82,4\%$	A = 0,135 B = -0,721 G = 0,0032 m = $-7,97 \times 10^{-3}$ $r^2 = 84,6\%$

Tabela 3.7- Curvas de Correção para Eucalipto Citriodora (EC)

C.P.	$C = A + B \log t$	$C = C_0 + At^m$	$C = C_0 + \frac{t}{A+Bt}$	$\frac{C}{C_0} = \frac{A+B \log t + G(\log t)^2}{G(\log t)^2}$	$C = A e^{-tm}$	$C = \frac{A+B(1-e^{-mt})}{Gt}$
PP.1 fluência	A = 1,15 B = 0,078 r ² = 69,7%	A = 0,019 m = 0,47 r ² = 86,3%	A = 28,43 B = 10,72 r ² = 58,9%	A = 1,016 B = -0,015 G = 0,040 r ² = 82,5%	A = 1,19 m = 1,062x10 ⁻³ r ² = 83,8%	A = 1,18 B = 5,76 G = 0,0079 m = 1,062x10 ⁻³ r ² = 84,8%
PP.2 fluência	A = 1,03 B = 0,079 r ² = 57,3 %	A = 0,035 m = 0,34 r ² = 67,8%	A = 9,34 B = 9,19 r ² = 39,0%	A = 1,039 B = -0,034 G = 0,053 r ² = 71,9%	A = 1,08 m = 1,20x10 ⁻³ r ² = 71,5%	A = 1,059 B = 10,155 G = 0,0145 m = 1,2x10 ⁻³ r ² = 75,2%
PP.3 fluência	A = 1,00 B = 0,105 r ² = 74,9%	A = 0,080 m = 0,27 r ² = 86,9%	A = 4,16 B = 4,86 r ² = 62,4%	A = 1,088 B = -0,005 G = 0,056 r ² = 84,8%	A = 1,06 m = 1,5x10 ⁻³ r ² = 81,7%	A = 1,038 B = 8,171 G = 0,0153 m = 1,5x10 ⁻³ r ² = 86,7%
PP.1 recuperação	A = 0,337 B = -0,038 r ² = 82,9%	A = -0,11 m = 0,139 r ² = 78,4%	A = -1,12 B = -6,30 r ² = 88,5%	A = 0,74 B = -0,105 G = 0,015 r ² = 85,5%	A = 0,315 m = -1,86x10 ⁻³ r ² = 36,7%	A = 0,336 B = -14,41 G = 0,024 m = -1,86x10 ⁻³ r ² = 59,8%
PP.2 recuperação	A = 0,39 B = -0,060 r ² = 86,8%	A = -0,047 m = 0,331 r ² = 88,5%	A = -7,75 B = -7,68 r ² = 94,7%	A = 0,88 B = -0,100 G = -0,024 r ² = 89,6%	A = 0,371 m = -3,85x10 ⁻³ r ² = 71,1%	A = 0,398 B = -5,06 G = 0,015 m = -3,85x10 ⁻³ r ² = 89,0%
PP.3 recuperação	A = 0,392 B = -0,061 r ² = 92,8	A = -0,054 m = 0,318 r ² = 85,0%	A = -7,32 B = -6,40 r ² = 95,5%	A = 0,86 B = -0,116 G = -0,012 r ² = 93,6%	A = 0,366 m = -3,63x10 ⁻³ r ² = 69,1%	A = 0,392 B = -5,16 G = 0,014 m = -3,63x10 ⁻³ r ² = 81,3%

Tabela 3.8- Curvas de Correlação para Pinho do Paraná (PP)

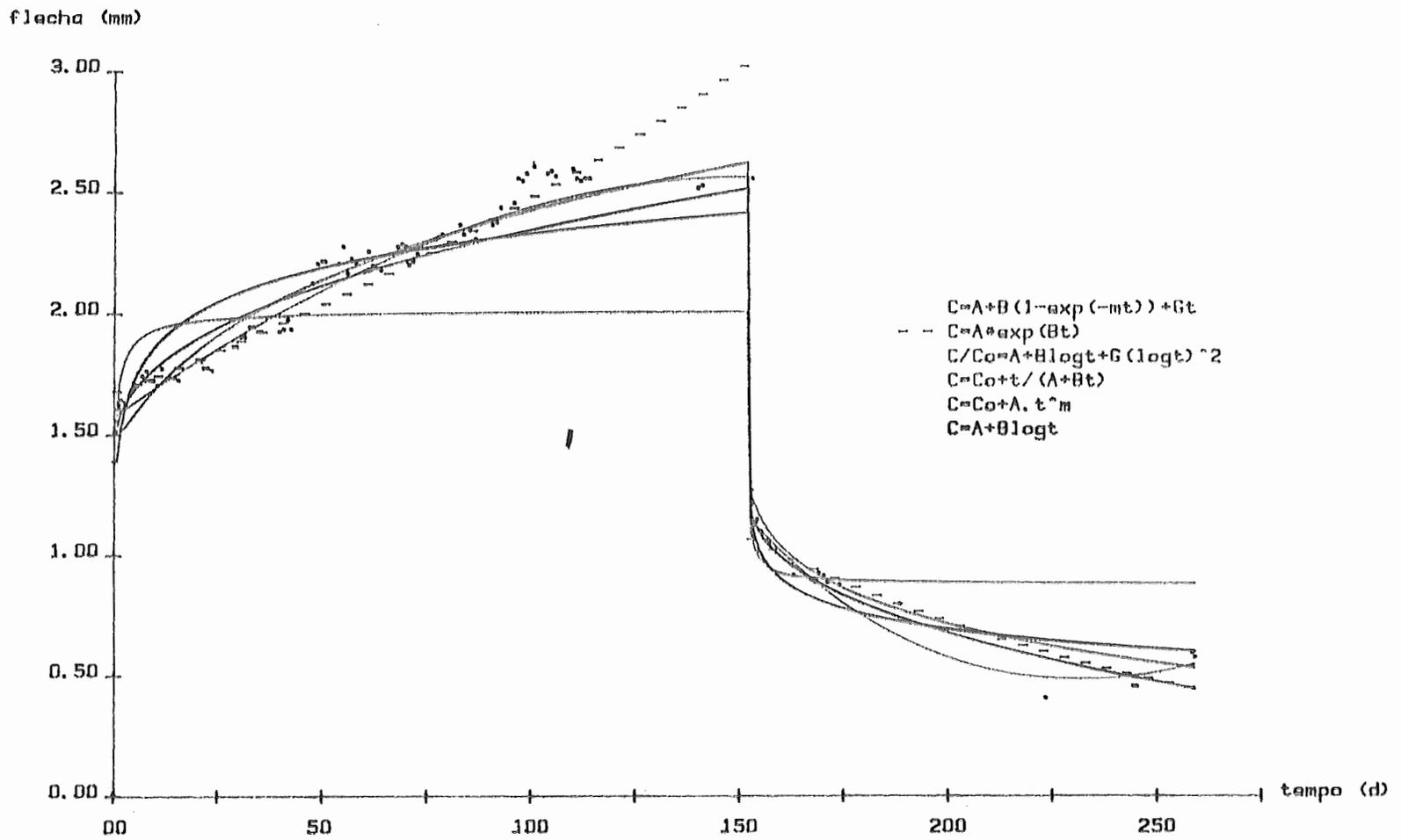


fig 3.5- Fluência em Paroba Roca -P.R. 1

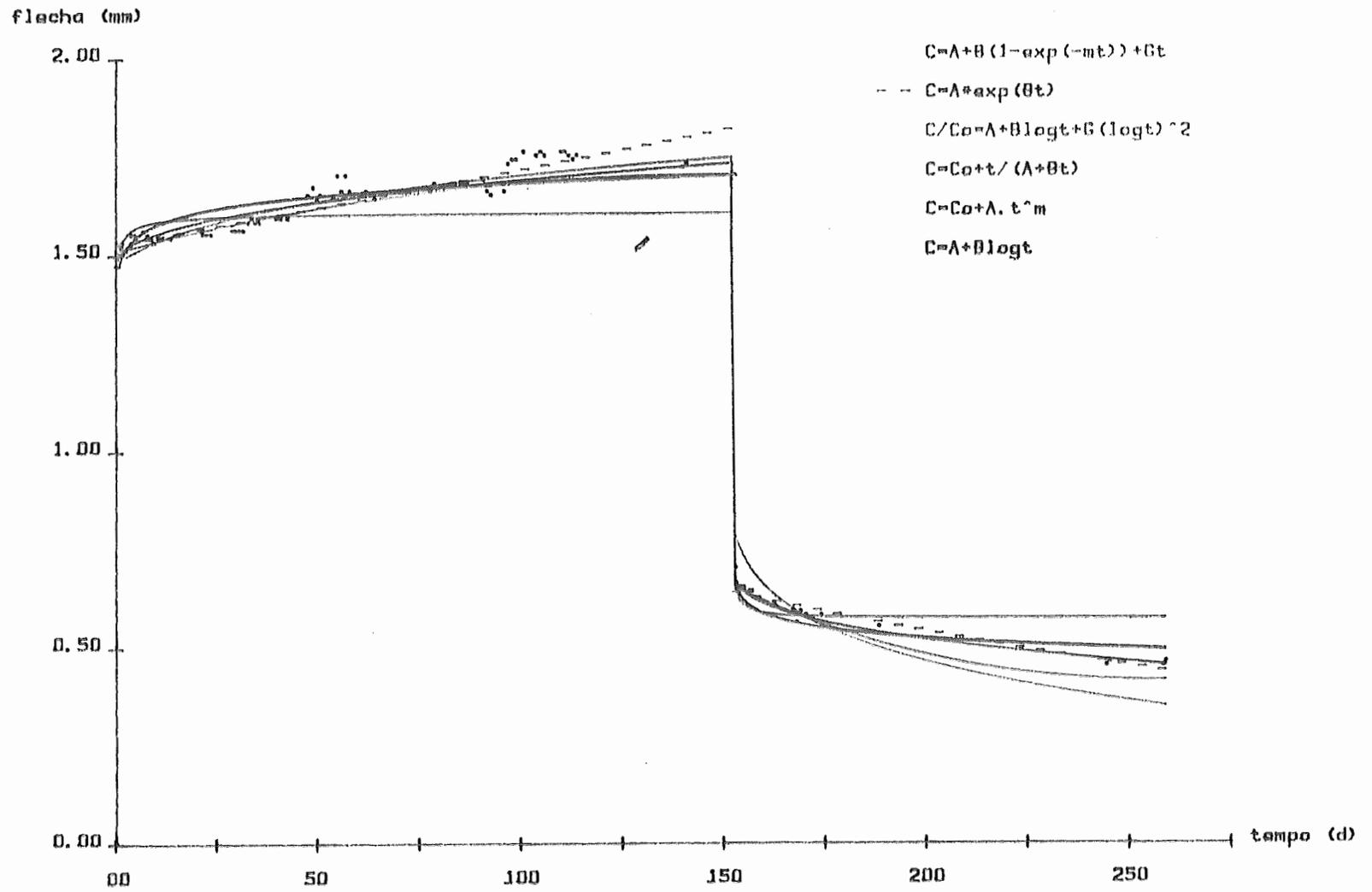


fig 3.6 - Fluencia em Eucalipto Citriodora - E.C.2

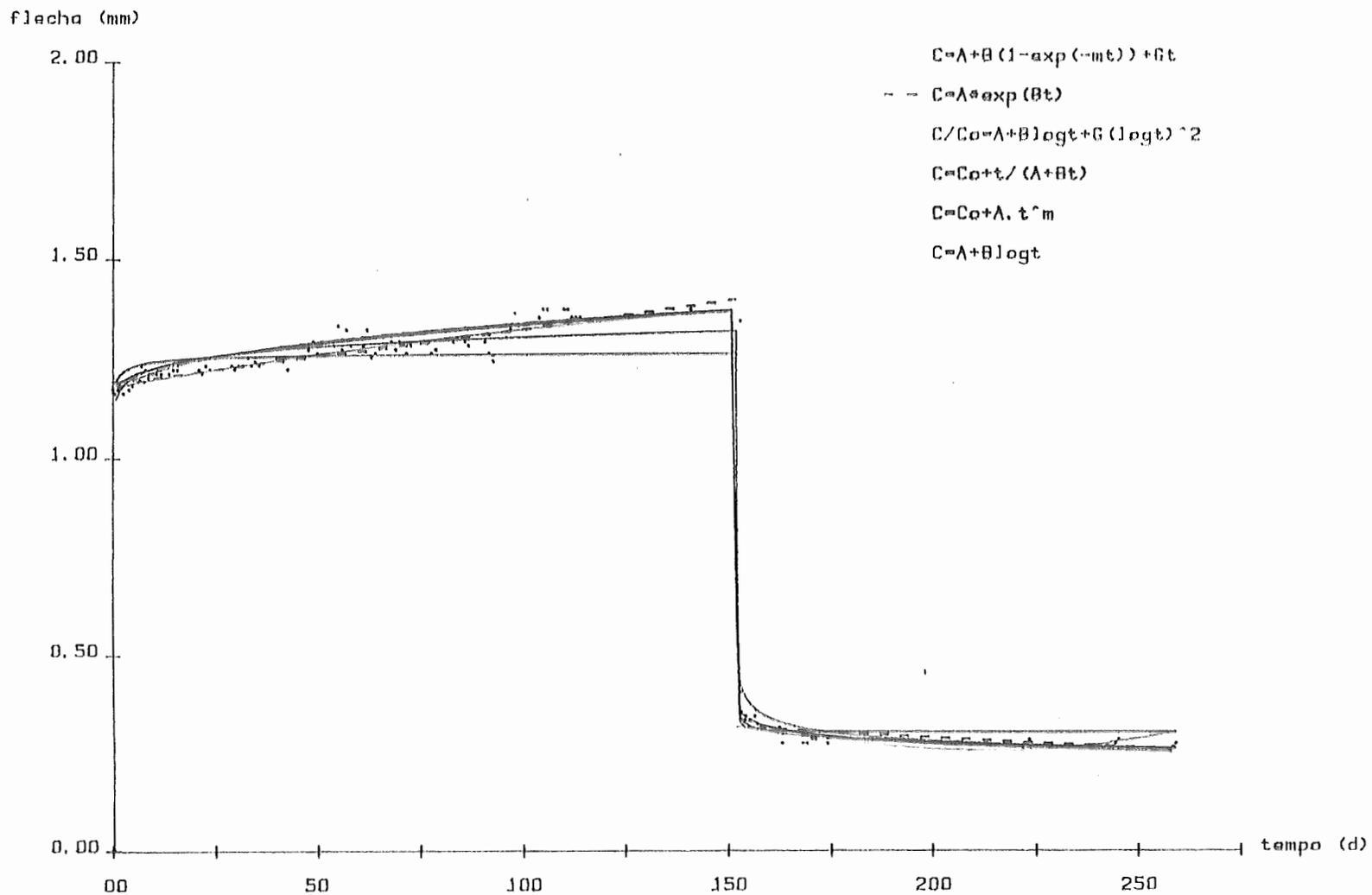


fig 3.7 - Fluência em Pinho do Paraná - P.P. 1

3.2. Ensaio em Corpos de Prova de Dimensões Estruturais

Baseado nos experimentos anteriores realizados, referências bibliográficas e esquemas de ensaios de fluência realizados em laboratórios nacionais e internacionais, construiu-se uma estrutura para suporte das peças a serem estudadas (fig. 3.3), com respectivos sistemas de carregamento e de medida de deformações.

Foram ensaiados 21 corpos de prova de Jatobá (*Hymenaea* sp) de dimensões estruturais, 4,0cm x 4,0cm x 120cm e vão livre de 110cm, carregados por meio de alavancas, as quais permitiriam aplicar esforços concentrados no meio do vão livre dos espécimes (fig. 3.9 a 3.13), correspondentes a 60% da tensão de ruptura estimada em 6 corpos de prova, 25% da tensão de ruptura, tensão admissível pela NB 11/51, em 10 espécimes e finalmente a 10% da tensão de ruptura, flecha admissível pela NB 11/51, nos corpos de prova restantes, porém estas tensões não foram efetivas como será discutido posteriormente.

As leituras das flechas foram realizadas utilizando-se transdutores de deslocamento HP-24 DCDT-500 através de caixas de comutação manuais e voltímetro digital HP-3480A, correspondente em milímetros para posterior análise matemática.

A aplicação da carga por meio de alavancas permitiu reduzir a carga total necessária para o ensaio de 80KN (8150Kgf) para 4,5KN (460Kgf), porém as deformações ocorridas nas alavancas e nos corpos de prova por compressão normal às fibras nos pontos de apoios e de aplicação da carga e o custo necessário para a montagem de uma estrutura especial para este ensaio inviabilizaram a utilização desta metodologia para testes finais.

As tabelas 3.9 a 3.11 apresentam os dados obtidos e análise de regressão dos vários ensaios.

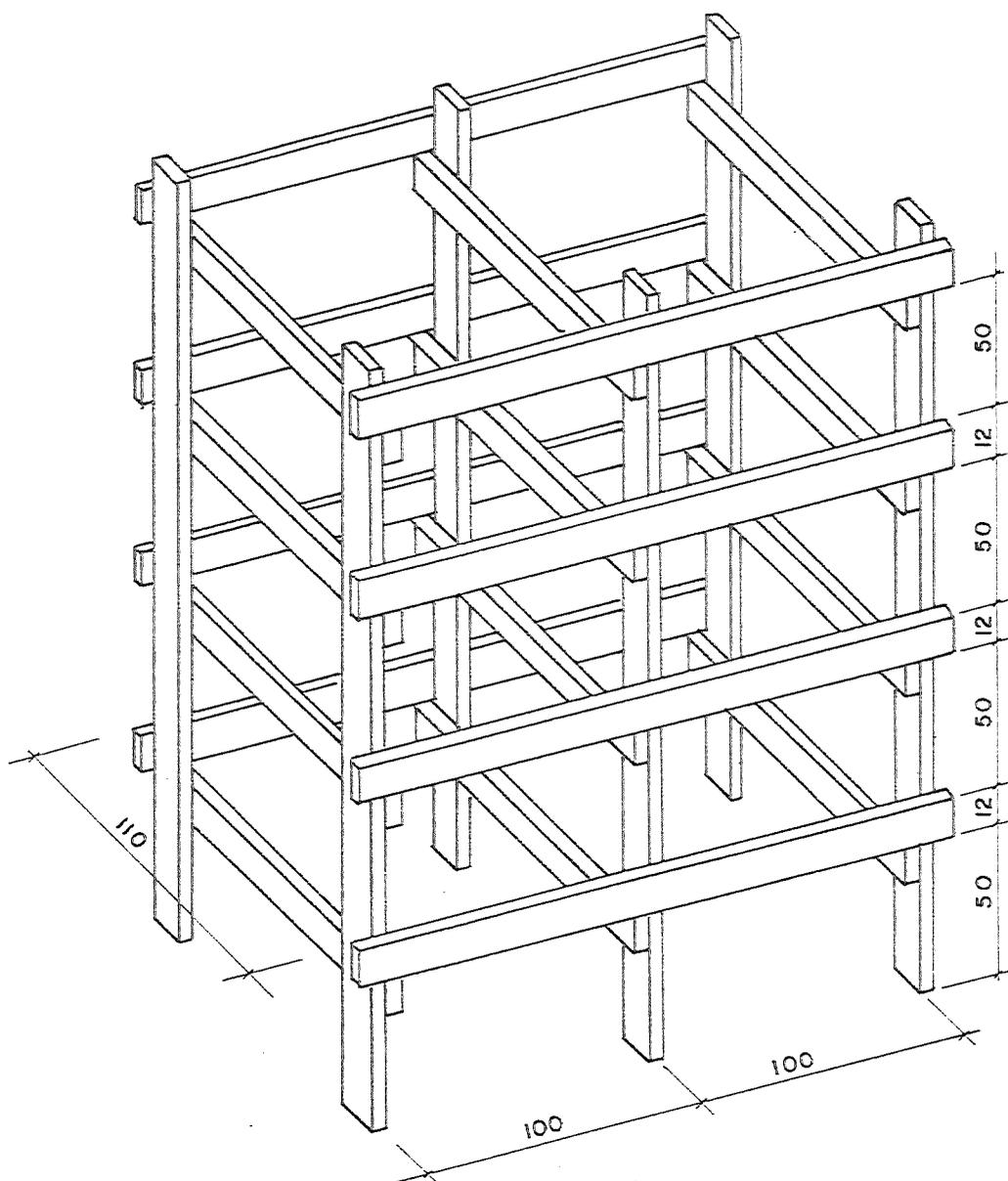


Figura 3. 8- Estrutura para Ensaio dos Corpos de prova de Dimensões Estruturais

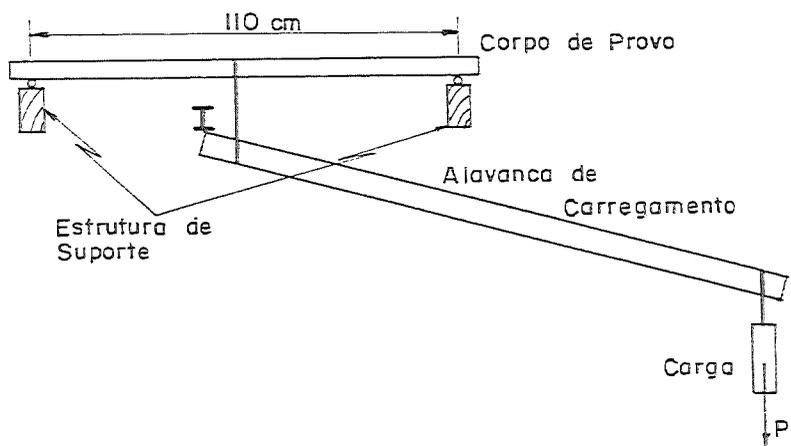


Figura 3. 9- Esquema de Carregamento dos Corpos de Prova, o qual permite elevados valores de tensões com carga relativamente baixa.



Figura 3.10- Foto da Estrutura de Suporte com os Corpos de Prova e Caixas de Comutação de Leituras



Figura 3.11- Estruturas de Suporte, Carregamento e Transdutores Indutivos de Deslocamento

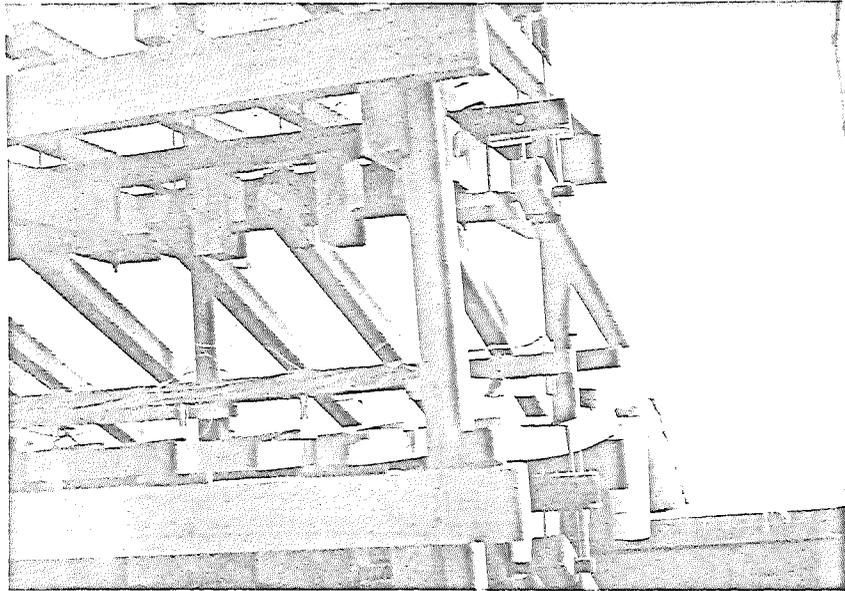


Figura 3.12- Estruturas de Suporte - Detalhe da Alavanca

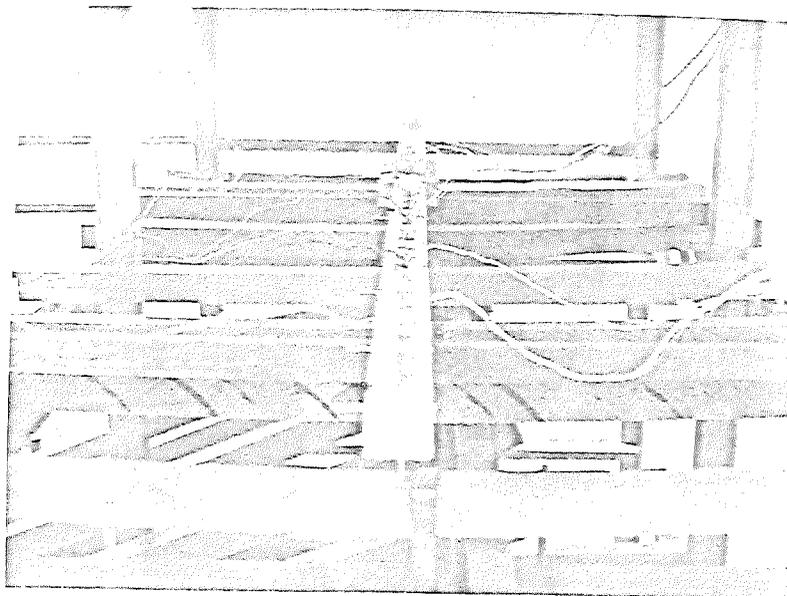


Figura 3.13- Estruturas de Suporte - Detalhe dos Transdutores Indutivos de Deslocamento

	tempo (d')	C.P.1.1 (mm)	C.P.1.2. (mm)	C.P.1.3. (mm)	C.P.1.4. (mm)	C.P.1.5. (mm)	C.P.3.2. (mm)
1	0.001	7.610	11.309	14.670	11.170	11.949	12.307
2	0.021	7.614	11.438	15.474	11.989	14.710	12.754
3	0.042	7.619	11.444	15.674	11.851	14.736	12.904
4	0.090	7.608	11.907	15.753	12.156	14.825	13.091
5	0.132	7.602	11.894	15.708	12.286	14.849	13.153
6	0.206	7.589	11.869	15.657	12.322	14.875	13.204
7	0.292	7.584	11.859	15.640	12.359	14.913	13.222
8	0.458	7.582	11.851	15.631	12.380	14.973	13.234
9	0.625	7.606	11.855	15.628	12.434	15.010	13.256
10	0.958	7.600	11.906	15.635	12.669	15.193	13.276
11	1.285	7.608	11.932	15.650	12.713	15.330	13.600
12	1.875	7.698	11.997	15.678	12.833	15.339	13.622
13	2.875	7.718	12.025	15.688	13.009	15.552	13.634
14	3.878	7.697	12.020	15.719	13.164	15.730	13.889
15	5.875	7.685	11.965	15.715	13.364	15.582	14.035
16	7.876	7.854	12.015	15.723	13.536	15.496	14.256
17	8.961	7.830	11.981	15.702	13.500	15.480	14.259
18	9.981	7.976	12.109	15.751	13.683	15.482	14.335
19	10.883	7.940	12.109	15.750	13.692	15.434	14.351
20	14.672	8.066	12.165	15.781	13.819	15.481	14.406
21	14.885	8.110	12.180	15.798	13.830	15.495	14.409
22	16.875	8.035	12.232	15.831	13.935	15.379	14.431
23	17.880	7.992	12.175	15.783	13.977	15.289	14.420
24	20.876	7.977	12.068	15.713	14.166	15.074	14.669
25	22.878	8.059	12.074	15.765	14.358	14.950	14.991
26	22.961	8.050	12.052	15.753	14.352	14.934	14.986
27	24.980	8.146	12.100	15.774	14.455	14.917	15.057
28	26.878	8.337	12.240	15.853	14.572	15.044	15.067
29	26.961	8.345	12.253	15.857	14.599	15.028	15.083
30	27.891	8.375	12.345	15.907	14.655	15.046	15.096
31	28.882	8.347	12.342	15.900	14.637	15.046	15.087
32	29.878	8.316	12.325	15.891	14.619	15.014	15.139
33	31.907	8.246	12.262	15.868	14.624	14.943	15.529
34	33.879	8.166	12.113	15.806	14.714	14.793	15.529
35	35.876	8.370	12.353	16.117	15.112	14.528	15.617
36	36.628	8.424	12.433	16.081	15.174	14.452	15.588
37	36.747			5.826	15.288	14.927	6.260
38	36.758			5.608	5.479	5.186	5.860
39	36.774			5.470	5.123	4.936	5.771
40	36.784			5.198	5.074	4.450	5.736
41	36.799			4.985	4.946	4.304	5.622
42	36.813			4.956	4.611	4.276	5.593
43	36.836			4.875	4.510	4.241	5.410
44	36.854			4.831	4.457	4.187	5.395
45	36.875	8.658	12.415	4.791	4.414	4.123	5.358
46	36.917			4.716	4.326	4.190	5.288
47	36.960			4.646	4.250	4.144	5.321
48	37.000			4.581	4.184	4.041	5.211
49	37.035			4.531	4.134	3.964	5.141
50	37.128			4.431	4.023	3.911	5.075

Tabela 3.9 FLUÊNCIA EM CATOBA - corpos de prova de dimensões estruturais

	tempo (s)	C.P.1.1 (mm)	C.P.1.2 (mm)	C.P.1.3. (mm)	C.P.1.4. (mm)	C.P.1.5. (mm)	C.P.3.2. (mm)
51	37.208			4.395	3.976	3.879	4.972
52	37.318			4.381	3.946	3.848	4.807
53	37.397			4.366	3.917	3.840	4.789
54	37.547			4.352	3.876	3.845	4.758
55	37.709	8.652	12.497	4.340	3.836	3.681	4.721
56	37.958			4.292	3.821	3.610	4.640
57	38.212			4.161	3.694	3.640	4.542
58	38.469			4.143	3.651	3.652	4.521
59	38.750			4.138	3.574	3.539	4.491
60	39.011	8.631	12.555	4.115	3.640	3.427	4.498
61	40.035	8.630	12.607	4.021	3.537	3.385	4.419
62	40.969	8.666	12.678	3.962	3.471	3.334	4.327
63	41.958	8.694	12.710	3.913	3.426	3.237	4.269
64	42.958	8.775	12.933	3.861	3.223	3.137	4.182
65	43.960	8.707	12.907	3.841	3.208	3.160	4.058
66	44.970	8.805	13.036	3.766	3.093	3.144	3.986
67	45.961	8.826	13.078	3.771	3.110	3.115	3.927
68	47.064	8.772	13.042	3.745	3.110	3.084	3.984
69	47.964	8.795	13.035	3.721	3.074	3.037	3.974
70	49.961	8.769	13.013	3.685	3.034	2.945	4.023
71	51.993	8.880	13.107	3.695	2.972	2.943	3.943
72	53.792	8.939	13.136	3.650	2.893	3.020	3.884
73	55.958	8.902	13.360	3.649	2.926	3.029	3.934
74	57.972	8.493	13.437	3.682	2.947	2.965	3.895
75	61.278	8.472	13.467	3.674	2.914		3.981

Tabela 3.9 FLUENCIA EM JATUBA - corpos de prova de dimensões estruturais (continuação)

	tempo (s) (s)	C.P.2.2. (mm)	C.P.2.4. (mm)	C.P.4.1. (mm)	C.P.4.2. (mm)	C.P.4.4. (mm)
1	0.001	9.053	5.123	5.689	14.085	5.702
2	0.021	9.048	5.212	5.791	14.356	6.157
3	0.042	9.102	5.231	5.704	14.612	6.215
4	0.090	9.540	5.255	5.710	15.560	6.247
5	0.132	9.693	5.258	5.708	15.600	6.261
6	0.208	9.658	5.250	5.707	15.608	6.262
7	0.292	9.632	5.243	5.705	15.607	6.266
8	0.458	9.610	5.243	5.696	15.612	6.269
9	0.625	9.583	5.258	5.681	15.610	6.278
10	0.958	9.627	5.318	5.736	15.664	6.389
11	1.285	9.559	5.316	5.670	15.634	6.372
12	1.875	9.582	5.382	5.675	15.664	6.456
13	2.875	9.596	5.414	5.681	15.697	6.532
14	3.878	9.592	5.458	5.701	15.735	6.604
15	5.875	9.606	5.434	5.735	15.843	6.607
16	7.876	9.567	5.480	5.737	16.013	6.749
17	8.961	9.568	5.476	5.771	16.038	6.754
18	9.981	9.590	5.570	5.714	16.060	6.848
19	10.883	9.608	5.610	5.739	16.108	6.895
20	14.672	9.521	5.560	5.728	16.164	6.878
21	14.885	9.503	5.559	5.727	16.151	6.870
22	16.875	9.589	5.648	5.707	16.143	6.966
23	17.880	9.593	5.635	5.747	16.196	7.002
24	20.876	9.658	5.672	5.869	16.477	7.052
25	22.878	9.743	5.725	6.014	16.786	7.142
26	22.961	9.762	5.734	6.057	16.824	7.160
27	24.980	9.869	5.776	6.068	16.898	7.212
28	26.878	9.806	5.798	6.020	16.896	7.240
29	26.961	9.821	5.825	6.027	16.900	7.264
30	27.891	9.841	5.862	6.014	16.899	7.303
31	28.882	9.841	5.866	6.005	16.896	7.309
32	29.878	9.841	5.895	6.022	16.907	7.328
33	31.997	9.862	5.819	6.018	16.910	7.362
34	33.879	9.903	5.892	6.213	17.113	7.400
35	35.876	10.340	6.105	6.424	17.733	7.677
36	36.628	10.484	6.110	6.842	18.176	7.691
37	36.917	10.825	6.223	7.076	18.240	7.915
38	37.958	10.909	6.223	7.068	18.278	7.941
39	39.011	10.978	6.304	7.101	18.377	7.978
40	40.035	11.011	6.339	7.228	18.558	8.015
41	40.969	11.013	6.361	7.227	18.587	8.038
42	41.958	11.030	6.366	7.229	18.635	8.058
43	42.958	11.024	6.388	7.234	18.679	8.088
44	43.960	10.981	6.300	7.224	18.701	8.066
45	44.970	10.991	6.338	7.234	18.749	8.096
46	45.961	11.000	6.361	7.233	18.769	8.121
47	47.004	11.064	6.395	7.267	18.819	8.171
48	47.964	11.073	6.406	7.273	18.863	8.192
49	49.961	11.230	6.431	7.281	19.178	8.152
50	51.993	11.218	6.491	7.338	19.201	8.204
51	53.792	11.280	6.471	7.384	19.294	8.202
52	55.958	11.589	6.582	8.398	19.374	8.465
53	57.972	11.603	6.688	8.404	19.398	8.538
54	61.278	11.661	6.738	8.445	19.455	8.577
55	61.900	11.681	6.755	8.488	19.508	8.572

Tabela 3 - FLUXOIA E- 04-189 - dados de prova de dimensões estruturais (continuado)

	tempo(d) (d)	C.P.1.6. (mm)	C.P.1.7. (mm)	C.P.2.1. (mm)	C.P.3.1. (mm)	C.P.3.4. (mm)
1	0.001	5.907	6.000	6.037	6.513	5.133
2	0.021	6.553	6.478	6.037	6.512	5.328
3	0.042	6.576	6.500	6.054	6.515	5.428
4	0.090	6.587	6.526	6.046	6.512	5.459
5	0.132	6.589	6.535	6.038	6.500	5.456
6	0.208	6.586	6.536	6.020	6.482	5.452
7	0.292	6.589	6.540	6.010	6.470	5.454
8	0.458	6.592	6.543	5.993	6.443	5.458
9	0.625	6.606	6.556	5.993	6.432	5.477
10	0.958	6.655	6.626	5.938	6.488	5.556
11	1.285	6.657	6.621	5.985	6.405	5.591
12	1.875	6.728	6.692	6.049	6.456	5.663
13	2.875	6.756	6.738	6.070	6.455	5.724
14	3.878	6.792	6.787	6.067	6.439	5.766
15	5.875	6.722	6.765	6.078	6.475	5.831
16	7.876	6.731	6.801	6.170	6.478	5.899
17	8.961	6.726	6.803	6.239	6.492	5.877
18	9.981	6.782	6.893	6.213	6.461	5.986
19	10.883	6.826	6.944	6.289	6.433	5.974
20	14.672	6.832	6.928	6.329	6.461	5.966
21	14.885	6.839	6.929	6.236	6.478	5.969
22	16.875	6.893	7.005	6.227	6.432	6.079
23	17.880	6.932	7.051	6.292	6.413	6.061
24	20.876	6.840	7.013	6.446	6.450	6.116
25	22.876	6.817	7.041	6.465	6.448	6.183
26	22.961	6.825	7.058	6.465	6.475	6.173
27	24.980	6.854	7.097	6.544	6.499	6.235
28	26.878	6.913	7.128	6.638	6.518	6.288
29	26.961	6.936	7.155	6.649	6.525	6.295
30	27.891	6.987	7.201	6.635	6.511	6.336
31	28.882	6.987	7.206	6.606	6.493	6.336
32	29.878	7.303	7.241	6.594	6.471	6.319
33	31.997	7.021	7.261	6.558	6.459	6.325
34	33.879	6.931	7.228	6.683	6.579	6.305
35	35.876	7.076	7.385	7.058	6.956	6.435
36	36.628	7.117	7.387	7.173	6.992	6.436
37	36.917	7.377	7.614	7.385	7.320	6.638
38	37.958	7.418	7.638	7.361	7.289	6.680
39	39.011	7.436	7.657	7.246	7.286	6.707
40	40.035	7.453	7.675	7.376	7.277	6.752
41	40.969	7.474	7.684	7.416	7.272	6.801
42	41.958	7.472	7.679	7.468	7.286	6.853
43	42.958	7.489	7.683	7.585	7.325	6.916
44	43.960	7.419	7.629	7.526	7.269	6.841
45	44.970	7.459	7.553	7.692	7.324	6.887
46	45.961	7.486	7.581	7.609	7.328	6.923
47	47.004	7.516	7.631	7.579	7.335	6.873
48	47.964	7.512	7.631	7.667	7.370	6.920
49	49.961	7.509	7.654	7.719	7.399	6.969
50	51.993	7.585	7.715	7.851	7.452	7.089
51	53.792	7.584	7.710	7.899	7.467	7.080
52	55.958	7.669	7.826	8.009	7.522	7.264
53	57.972	7.785	7.924	8.164	7.579	7.341
54	61.278	7.839	7.990	8.169	7.582	7.287
55	61.900	7.859	8.007	8.293	7.651	7.340

Tabela 3 - F. FLUXOIA - Em PATOIA - dados de teste de dimensões estruturais identificadas

	TEMPO (s)	D.P.3.3. (mm)	D.P.4.3. (mm)	C.P.5.1. (mm)	D.P.5.2. (mm)	D.P.2.3. (mm)
1	0.001	10.098	10.685	11.344	9.264	8.710
2	0.021	11.750	11.247	11.962	10.500	9.862
3	0.042	11.991	11.410	12.599	10.686	9.999
4	0.090	12.063	11.583	12.776	11.009	9.988
5	0.132	12.157	11.531	12.898	11.112	9.900
6	0.208	12.176	11.501	13.006	11.161	9.896
7	0.292	12.189	11.463	13.020	11.192	9.870
8	0.458	12.202	11.438	13.022	11.208	9.854
9	0.625	12.217	11.416	12.996	11.214	9.851
10	0.958	12.507	11.524	13.265	11.384	9.911
11	1.285	12.479	11.522	13.183	11.362	9.875
12	1.875	12.570	11.456	13.236	11.419	9.939
13	2.875	12.737	11.498	13.331	11.532	10.004
14	3.878	12.905	11.505	13.427	11.624	10.048
15	5.875	13.156	11.488	13.522	11.526	10.120
16	7.876	13.312	11.461	13.673	11.437	10.180
17	8.961	13.314	11.463	13.693	11.426	10.164
18	9.981	13.404	11.437	13.680	11.403	10.212
19	10.883	13.450	11.473	13.721	11.402	10.232
20	14.673	13.482	11.358	13.613	11.337	10.214
21	14.883	13.453	11.330	13.590	11.311	10.187
22	16.875	13.567	11.440	13.746	11.379	10.275
23	17.880	13.623	11.452	13.748	11.339	10.297
24	20.876	13.975	11.497	13.976	11.227	10.310
25	22.878	14.252	11.446	14.166	11.137	10.339
26	22.961	14.282	11.453	14.187	11.142	10.363
27	24.980	14.377	11.403	14.306	11.103	10.378
28	26.878	14.332	11.321	14.180	11.072	10.372
29	26.961	14.353	11.348	14.197	11.091	10.403
30	27.891	14.362	11.388	14.237	11.127	10.413
31	28.882	14.356	11.393	14.290	11.181	10.398
32	29.878	14.366	11.392	14.277	11.112	10.389
33	31.907	14.427	11.421	14.329	11.139	10.434
34	33.879	14.707	11.353	14.458	11.089	10.475
35	35.876	15.332	11.138	14.670	10.827	10.663
36	36.628	15.220	5.533	7.600	10.710	10.564
37	36.747	15.330	4.559	5.808	5.233	11.043
38	36.758	6.900	4.367	5.769	4.839	3.410
39	36.774	6.343	4.307	5.757	4.793	3.338
40	36.784	0.000	4.149	5.749	0.000	3.197
41	36.799	6.255	3.656	5.570	4.724	3.113
42	36.813	6.186	3.593	5.394	4.705	3.047
43	36.836	6.137	3.557	5.341	4.689	2.993
44	36.854	0.000	3.527	5.314	0.000	2.942
45	36.875	6.039	3.459	5.290	4.679	2.910
46	36.917	5.967	3.408	5.231	4.654	2.834
47	36.960	5.909	3.358	5.181	4.619	2.787
48	37.000		3.319	5.135	4.594	2.759
49	37.035	5.858		5.100		2.738
50	37.128	5.787	3.254	5.025	4.516	2.713

	tempo (d)	C.P.3.3. (mm)	C.P.4.3. (mm)	C.P.5.1. (mm)	C.P.5.2. (mm)	C.P.2.3. (mm)
51	37.208	5.749	3.220	4.985	4.419	2.681
52	37.318	5.727	3.203	4.964	4.359	2.623
53	37.397	5.707	3.182	4.928	4.320	2.548
54	37.547	5.674	3.155	4.885	4.277	2.519
55	37.709	5.627	3.111	4.833	4.262	2.477
56	37.958	5.507	3.040	4.827	4.396	2.491
57	38.212	5.457	2.973	4.754	4.244	2.411
58	38.469	5.439	2.953	4.701	4.141	2.339
59	38.750	5.361	2.866	4.603	4.155	2.308
60	39.011	5.360	2.891	4.693	4.289	2.226
61	40.035	5.281	2.801	4.612	4.230	2.262
62	40.969	5.208	2.729	4.543	4.148	2.153
63	41.958	5.163	2.680	4.502	4.118	2.150
64	42.958	5.079	2.569	4.375	4.013	2.186
65	43.960	5.131	2.629	4.443	4.013	2.161
66	44.970	5.017	2.504	4.316	3.870	2.170
67	45.961	4.989	2.483	4.301	3.896	2.071
68	47.004	5.049	2.530	4.360	3.944	2.076
69	47.964	5.028	2.507	4.337	3.926	2.031
70	49.961	5.052	2.520	4.375	3.949	2.048
71	51.993	4.944	2.414	4.281	3.866	2.091
72	53.792	4.967	2.391	4.175	3.708	2.351
73	55.958	4.943	2.377	4.232	3.789	
74	57.972	4.906	2.343	4.195	3.829	
75	61.278	4.971	2.402	4.258	3.906	

Tabela 3.9 FLUENCIA EM JATOBÁ - corpos de prova de dimensões estruturais (continuação)

CP	σ (MPa)	E_O (MPa)	C_O (mm)	$\frac{C}{C_O}$ (t = 10 hs)	$\frac{C}{C_O}$ (t = 1 mês)	$\frac{C}{C_O}$ (t = 2 meses)	r_O (mm)
1.1	50	19750	7,61	1,00	1,09	1,11	-
1.4	50	19750	11,17	1,11	1,31	-	9,81
1.5	50	19750	11,95	1,25	1,26	-	9,74
2.1	50	19150	6,04	1,00	1,09	1,35	-
2.3	50	19150	8,71	1,13	1,19	-	7,63
3.1	50	15540	6,51	1,00	1,00	1,16	-
3.3	50	15540	10,10	1,21	1,42	-	8,43
4,1	50	16150	5,69	1,00	1,06	1,49	-
4.3	50	16150	10,68	1,07	1,07	-	5,61
5.2	50	20900	9,26	1,20	1,20	-	5,48
1.6	20	19750	5,91	1,11	1,24	1,33	-
1.7	20	19750	6,00	1,09	1,21	1,33	-

Tabela 3.10- Resultados para Jatobá - Corpos de Prova de Dimensões Estruturais

CP	σ (MPa)	E_O (MPa)	C_O (mm)	$\frac{C}{C_O}$ (t = 10 hs)	$\frac{C}{C_O}$ (t = 1 mês)	$\frac{C}{C_O}$ (t = 2 meses)	r_O (mm)
2.4	20	19150	5,12	1,02	1,15	1,31	-
3.4	20	15540	5,13	1,06	1,23	1,43	-
4.4	20	16150	5,70	1,10	1,29	1,50	-
1.2	100	19750	11,31	1,05	1,09	1,19	-
1.3	100	19750	14,67	1,06	1,08	-	10,26
2.2	100	19130	9,05	1,06	1,09	1,29	-
3.2	100	15540	12,31	1,08	1,23	-	9,33
4.2	100	16150	14,08	1,11	1,20	1,38	-
5.1	100	20900	11,34	1,15	1,26	-	7,27

Tabela 3.10- Resultados para Jatobá - Corpos de Prova de Dimensões Estruturais

C.P.	$C = A + B \log t$	$C = C_0 + At^m$	$C = C_0 + \frac{t}{A+Bt}$	$\frac{C}{C_0} = \frac{A+B \log t + G}{(\log t)^2}$	$C = A e^{tm}$	$C = A+B(1-e^{-mt}) + Gt$
1.1	A = 7,796 B = 0,409 r ² = 67,3%	A = 0,061 m = 0,713 r ² = 81,6%	A = 1,03 B = 20,81 r ² = 1,0%	A = 0,989 B = 0,030 G = 0,035 r ² = 88,0%	A = 7,645 m = 2,75x10 ⁻³ r ² = 91,3%	A = 7,577 m = 47,760 G = 0,164 m = 2,75x10 ⁻³ r ² = 92,8%
1.2	A = 11,950 B = 0,407 r ² = 55,4%	A = 0,541 m = 0,231 r ² = 73,8%	A = 0,163 B = 1,006 r ² = 83,9%	A = 1,034 B = 0,022 G = 0,020 r ² = 68,0%	A = 11,763 m = 1,94x10 ⁻³ r ² = 87,5%	A = 11,867 B = -188,61 G = -0,361 m = 1,94x10 ⁻³ r ² = 92,3%
1.3	A = 15,699 B = 0,095 r ² = 51,9%	A = 1,023 m = 0,038 r ² = 56,2%	A = 0,0067 B = 0,907 r ² = 34,3%	A = 1,067 B = 0,0052 G = 0,0033 r ² = 60,9%	A = 15,643 m = 0,53x10 ⁻³ r ² = 72,0%	A = 15,660 B = -1131,76 G = -0,597 m = 0,53x10 ⁻⁴ r ² = 74,1%
1.4	A = 13,23 B = 0,719 r ² = 45,4%	A = 17,91 m = 0,166 r ² = 61,3%	A = 0,015 B = 0,439 r ² = 29,4%	A = 1,125 B = 0,043 G = 0,056 r ² = 68,6%	A = 12,78 m = 4,80x10 ⁻³ r ² = 66,7%	A = 12,725 B = 54,364 G = 0,347 m = 4,80x10 ⁻³ r ² = 66,3%
2.3	A = 10,043 B = 0,210 r ² = 74,8%	A = 1,32 m = 0,064 r ² = 77,0%	A = 0,0052 B = 0,681 r ² = 17,7%	A = 1,137 B = 0,018 G = 0,015 r ² = 94,1%	A = 9,934 m = 1,72x10 ⁻³ r ² = 92,5%	A = 9,912 B = 154,70 G = 0,291 m = 1,72x10 ⁻³ r ³ = 94,1%
2.4	A = 5,443 B = 0,424 r ² = 65,4%	A = 0,228 m = 0,389 r ² = 90,3%	A = 0,255 B = 2,134 r ² = 48,4%	A = 1,001 B = 0,044 G = 0,055 r ² = 86,8%	A = 5,27 m = 4,06x10 ⁻³ r ² = 97,9%	A = 5,273 B = -5,924 G = -0,0029 m = 4,06x10 ⁻³ r ² = 97,9%

Tabela 3.11- Curvas de correlação para fluência em Jatobá
corpos de prova de dimensões estruturais

C.P.	$C = A + B \log t$	$C = C_0 + At^m$	$C = C_0 + \frac{t}{A+Bt}$	$\frac{C}{C_0} = \frac{A+B \log t + G}{(\log t)^2}$	$C = A e^{tm}$	$C = A+B(1-e^{mt}) + Gt$
1.5	A = 15,072 B = 0,061 r ² = 3,4%	A = 3,108 m = 0,0083 r ² = 3,2%	A = 0,0013 B = 0,315 r ² = 13,2%	A = 1,286 B = 0,014 G = -0,023 r ² = 48,8%	A = 15,226 m = -0,57x10 ⁻³ r ² = 11,6%	A = 15,042 B = 12082,64 G = -6,781 m = -0,57x10 ⁻³ r ² = 59,1%
3.1	A = 6,532 B = 0,277 r ² = 32,1%	A = 0,077 m = 0,362 r ² = 27,4%	A = -0,11 B = 14,66 r ² = 0,1%	A = 0,966 B = 0,0089 G = 0,049 r ² = 61,9%	A = 6,309 m = 2,88x10 ⁻³ r ² = 78,2%	A = 6,434 B = -88,99 G = -0,258 m = 2,88x10 ⁻³ r ² = 86,9%
1.6	A = 6,732 B = 0,328 r ² = 57,0%	A = 0,801 m = 0,134 r ² = 67,8%	A = 0,020 B = 0,926 r ² = 21,3%	A = 1,096 B = 0,028 G = 0,039 r ² = 78,1%	A = 6,580 m = 2,71x10 ⁻³ r ² = 93,2%	A = 6,619 B = -39,394 G = -0,096 m = 2,71x10 ⁻³ r ² = 94,4%
1.7	A = 6,746 B = 0,428 r ² = 70,8%	A = 0,694 m = 0,191 r ² = 84,4%	A = 0,036 B = 0,944 r ² = 31,8%	A = 1,077 B = 0,041 G = 0,043 r ² = 89,3%	A = 6,593 m = 3,22x10 ⁻³ r ² = 96,7%	A = 6,569 B = 7,226 G = 0,048 m = 3,22x10 ⁻³ r ² = 96,9%
2.1	A = 6,210 B = 0,577 r ² = 51,1%	A = 0,150 m = 0,511 r ² = 69,4%	A = 0,17 B = 5,58 r ² = 0,5%	A = 0,953 B = 0,037 G = 0,085 r ² = 79,3%	A = 5,900 m = 5,25x10 ⁻³ r ² = 95,5%	A = 5,986 B = -23,326 G = -0,105 m = 5,25x10 ⁻³ r ² = 97,3%
2.2	A = 9,635 B = 0,560 r ² = 44,0%	A = 0,356 m = 0,374 r ² = 58,6%	A = 3,325 B = -1,381 r ² = 80,8%	A = 1,011 B = 0,028 G = 0,048 r ² = 63,6%	A = 9,300 m = 3,48x10 ⁻³ r ² = 85,9%	A = 9,467 B = -86,308 G = -0,294 m = 3,48x10 ⁻³ r ² = 91,6%

Tabela 3.11- Curvas de correlação para fluência em Jatobá
corpos de prova de diemensões estruturais

C.P.	$C = A + B \log t$	$C = C_0 + At^m$	$C = C_0 + \frac{t}{A+Bt}$	$\frac{C}{C_0} = \frac{A+B \log t + G}{(\log t)^2}$	$C = A e^{tm}$	$C = A+B(1-e^{-mt}) + Gt$
3.3	A = 12,763 B = 0,968 r ² = 83,3%	A = 2,537 m = 0,142 r ² = 91,6%	A = 0,0082 B = 0,310 r ² = 42,5%	A = 1,219 B = 0,080 G = 0,042 r ² = 94,2%	A = 12,330 m = 5,76x10 ⁻³ r ² = 93,8%	A = 12,232 B = 44,642 G = 0,360 m = 5,76x10 ⁻³ r ² = 95,5%
4.3	A = 11,49 B = 0,028 r ² = 0,3%	A = 0,773 m = -0,0034 r ² = 0,1%	A = 0,006 B = 1,32 r ² = 3,9%	A = 1,08 B = 0,005 G = -0,0065 r ² = 1,3%	A = 11,54 m = -0,22x10 ⁻³ r ² = 0,5%	A = 11,42 B = 50973,09 G = -11,31 m = -0,22x10 ⁻³ r ² = 8,1%
3.4	A = 5,728 B = 0,549 r ² = 71,7%	A = 0,491 m = 0,294 r ² = 91,8%	A = 0,102 B = 1,085 r ² = 55,2%	A = 1,047 B = 0,063 G = 0,062 r ² = 89,2%	A = 5,540 m = 4,72x10 ⁻³ r ² = 97,5%	A = 5,525 B = -1,033 G = 0,024 m = 4,72x10 ⁻³ r ² = 97,8%
4.1	A = 5,848 B = 0,579 r ² = 37,46	A = 0,063 m = 0,621 r ² = 54,7%	A = 0,156 B = 14,718 r ² = 0,1%	A = 0,915 B = 0,028 G = 0,105 r ² = 66,1%	A = 5,463 m = 6,03x10 ⁻³ r ² = 86,5%	A = 5,681 B = -39,004 G = -0,237 m = 6,03x10 ⁻³ r ² = 94,7%
4.2	A = 15,842 B = 1,284 r ² = 63,8%	A = 1,464 m = 0,255 r ² = 79,4%	A = 0,068 B = 0,342 r ² = 91,6%	A = 1,065 B = 0,053 G = 0,054 r ² = 80,0%	A = 15,333 m = 4,21x10 ⁻³ r ² = 94,8%	A = 15,352 B = -22,677 G = -0,035 m = 4,21x10 ⁻³ r ² = 95,2%
4.4	A = 6,593 B = 0,702 r ² = 70,5%	A = 0,783 m = 0,249 r ² = 87,3%	A = 0,043 B = 0,753 r ² = 37,4%	A = 1,072 B = 0,070 G = 0,076 r ² = 89,9%	A = 6,347 m = 5,25x10 ⁻³ r ² = 97,8%	A = 6,301 B = 3,074 G = 0,057 m = 5,25x10 ⁻³ r ² = 98,1%

Tabela 3.11- Curvas de correlação para fluência em Jatobá
corpos de prova de dimensões estruturais

C.P.	$C = A + B \log t$	$C = C_0 + At^m$	$C = C_0 + \frac{t}{A+Bt}$	$\frac{C}{C_0} = \frac{A+B \log t + G}{(\log t)^2}$	$C = A e^{tm}$	$C = A+B(1-e^{-mt}) + Gt$
3.2	A = 13,709 B = 0,860 r ² = 87,3%	A = 1,20 m = 0,245 r ² = 97,0%	A = 0,042 B = 0,548 r ² = 72,0%	A = 1,086 B = 0,060 G = 0,027 r ² = 95,9%	A = 13,343 m = 4,66x10 ⁻³ r ² = 91,7%	A = 13,227 B = 98,19 G = 0,56 m = 4,66x10 ⁻³ r ² = 95,1%
5.1	A = 13,237 B = 0,638 r ² = 86,8%	A = 1,77 m = 0,145 r ² = 87,3%	A = 0,024 B = 0,412 r ² = 87,7%	A = 1,155 B = 0,052 G = 0,011 r ² = 89,0%	A = 12,988 m = 3,48x10 ⁻³ r ² = 83,8%	A = 12,941 B = 77,85 G = 0,334 m = 3,48x10 ⁻³ r ² = 86,2%
5.2	A = 11,155 B = 0,067 r ² = 6,8%	A = 1,87 m = 0,018 r ² = 8,7%	A = 0,0066 B = 0,506 r ² = 55,4%	A = 1,235 B = 0,018 G = -0,029 r ² = 81,2%	A = 11,268 m = -0,46x10 ⁻³ r ² = 7,1%	A = 11,156 B = 11068,59 G = -5,11 m = -0,46x10 ⁻³ r ² = 38,3%

Tabela 3.11- Curvas de correlação para fluência em Jatobá
corpos de prova de dimensões estruturais

3.3- Ensaio em Pequenos Corpos de Prova

Os problemas surgidos nestes ensaios preliminares levaram a utilização de corpos de prova de menor seção e conseqüentemente menores cargas para se obter tensões nos níveis desejados, sendo ensaiados 18 corpos de prova de dimensões nominais de 2cm x 2cm x 60cm, simplesmente apoiados sobre uma bancada com vão livre de 58 cm e carregados com uma carga pontual centrada provocando flecha inicial da ordem de 1/350 e 1/250 do vão livre, 1,7mm e 2,3mm respectivamente (Fig. 3.14 e 3.15). Ensaíram-se corpos de prova de Jatobá (Hymenaea sp).

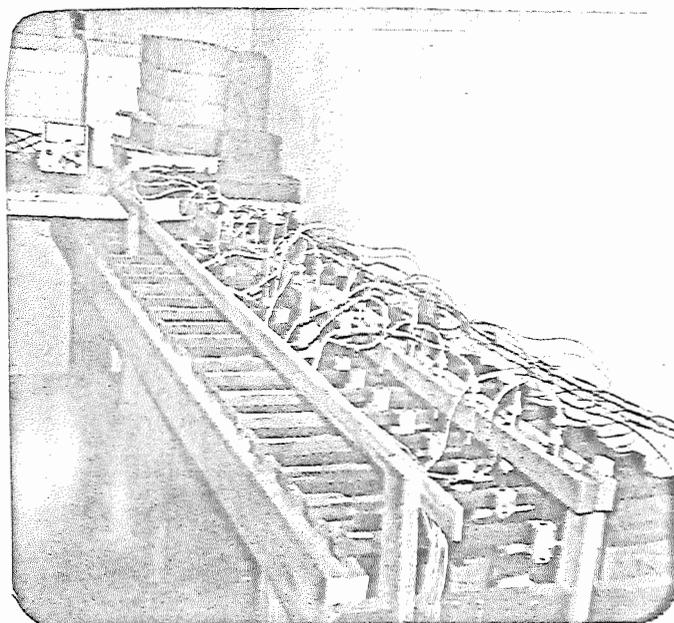


Figura 3.14- Bancada com Corpos de Prova e DCDT's para Determinação da Fluência - Vista Lateral.



Figura 3.15- Bancada com Corpos de Prova e DCDT's para Determinação da Fluência - Vista Frontal

Mediram-se as flechas utilizando transdutores indutivos de deslocamento - HP-24 DCST-500 conectados ao equipamento de aquisição de dados Data Acquisition Control Unit HP 3497A e microcomputador HP 9825T (fig. 3.16). Considerando que todos os corpos de prova reajam igualmente à variação da umidade e temperatura para minimizar este efeito na determinação da flecha foi instalado um DCDT compensador em um corpo de prova sem carregamento. A flecha de cada corpo de prova é obtida pela deflexão medida respectivo DCDT menos a do compensador.

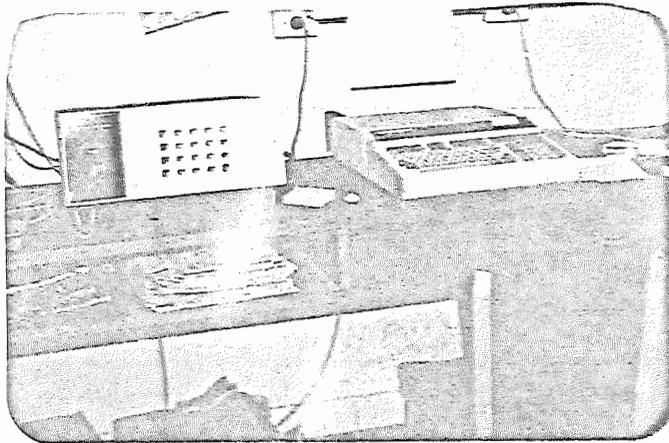


Fig. 3.16- Equipamento de Aquisição de Dados

A aquisição dos dados obedeceu a seguinte sequência:

- . Primeiros dias - aquisição com temporizador
- . Tempo de ensaio: carga 145 dias
descarga 109 dias
- . Esquema de leituras:
 - leitura antes da carga - taragem - 1 leitura
 - primeiro dia:
 - primeira meia hora de 5 em 5 minutos - 5 leituras
 - 1 a 4 horas de 15 em 15 minutos - 13 leituras
 - 4 a 24 horas horário - - 20 leituras
 - segundo e terceiro dias a cada 2 horas - 15 leituras
 - 4º dia a cada 8 horas - 3 leituras
 - após o 4º dia - leituras diárias - 17 leituras
 - após o 25º dia leitura a cada dois ou três dias - 38 leituras
 - leitura na descarga:
 - primeiro dia:
 - primeiras horas a cada 30 minutos - 23 leituras

após a 10ª hora leituras horárias - 10 leituras
segundo ao quarto dia a cada 3 a 12 horas - 10 leituras
após o 6º dia leituras diárias - 21 leituras

Após o quarto dia tanto no carregamento quanto na descarga, a leitura pode ser realizada sem o uso do temporizador, tomando-se a precaução de ligar todo o equipamento pelo menos duas horas antes da leitura.

O programa de aquisição de dados permite a leitura automática utilizando temporizador quando as leituras ocorrem em intervalos constantes de tempo, ou semi-automático quando a leitura se realiza a partir de um comando no teclado. Em ambos os casos a escala de tempo refere-se ao início do ensaio, carregamento do corpo de prova. Os valores das flechas arquivadas já levam em consideração o DCDT compensador.

Os resultados da fluência em cada corpo de prova com os respectivos módulos de elasticidade e cargas aplicadas são fornecidos nas tabelas 3.12 a 3.14.

Os gráficos das figuras 3.17 a 3.19, são alguns exemplos da fluência em Jatobá.

LINHA	TEMPO (d)	C.P. 1 (MM)	C.P. 2 (MM)	C.P. 3 (MM)	C.P. 4 (MM)	C.P. 5 (MM)	C.P. 6 (MM)	C.P. 7 (MM)	C.P. 8 (MM)	C.P. 9 (MM)
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.005	1.796	2.644	2.594	2.012	2.128	2.658	2.843	2.238	2.618
3	0.007	1.800	2.662	2.597	2.031	2.136	2.667	2.856	2.238	2.619
4	0.009	1.803	2.675	2.603	2.037	2.143	2.672	2.864	2.241	2.625
5	0.010	1.808	2.684	2.612	2.042	2.149	2.678	2.868	2.244	2.631
6	0.021	1.824	2.712	2.633	2.060	2.167	2.698	2.883	2.258	2.653
7	0.031	1.837	2.733	2.647	2.073	2.183	2.715	2.897	2.271	2.673
8	0.042	1.838	2.734	2.647	2.072	2.183	2.715	2.898	2.272	2.673
9	0.052	1.839	2.741	2.651	2.075	2.185	2.720	2.903	2.273	2.677
10	0.063	1.849	2.751	2.660	2.083	2.194	2.730	2.910	2.281	2.688
11	0.073	1.857	2.760	2.666	2.089	2.203	2.737	2.917	2.286	2.698
12	0.083	1.868	2.774	2.681	2.102	2.217	2.753	2.931	2.301	2.712
13	0.094	1.872	2.783	2.687	2.107	2.222	2.759	2.936	2.306	2.722
14	0.115	1.881	2.792	2.697	2.114	2.233	2.770	2.946	2.315	2.734
15	0.121	1.884	2.796	2.700	2.116	2.239	2.774	2.950	2.318	2.738
16	0.131	1.882	2.797	2.700	2.117	2.237	2.775	2.951	2.318	2.739
17	0.142	1.885	2.799	2.702	2.117	2.238	2.779	2.953	2.320	2.741
18	0.152	1.888	2.803	2.705	2.121	2.240	2.781	2.954	2.321	2.745
19	0.163	1.890	2.806	2.707	2.120	2.243	2.784	2.957	2.323	2.750
20	0.173	1.891	2.808	2.711	2.123	2.245	2.786	2.959	2.324	2.752
21	0.183	1.895	2.810	2.712	2.124	2.247	2.789	2.962	2.325	2.755
22	0.194	1.896	2.814	2.715	2.128	2.249	2.790	2.965	2.326	2.758
23	0.204	1.898	2.816	2.719	2.127	2.251	2.791	2.966	2.327	2.761
24	0.207	1.900	2.818	2.720	2.129	2.252	2.793	2.968	2.328	2.763
25	0.219	1.899	2.816	2.719	2.128	2.251	2.792	2.967	2.327	2.762
26	0.240	1.901	2.820	2.720	2.130	2.253	2.794	2.970	2.328	2.766
27	0.281	1.905	2.823	2.726	2.133	2.257	2.798	2.973	2.331	2.772
28	0.323	1.912	2.832	2.733	2.140	2.265	2.806	2.984	2.336	2.785
29	0.365	1.918	2.839	2.739	2.145	2.272	2.814	2.991	2.342	2.794
30	0.406	1.916	2.841	2.744	2.148	2.270	2.819	2.997	2.345	2.802
31	0.448	1.917	2.848	2.751	2.156	2.284	2.829	3.005	2.352	2.813
32	0.490	1.919	2.849	2.757	2.162	2.291	2.837	3.014	2.359	2.823
33	0.531	1.917	2.849	2.754	2.158	2.291	2.839	3.017	2.361	2.832
34	0.573	1.919	2.853	2.754	2.158	2.292	2.841	3.022	2.365	2.840
35	0.615	1.918	2.853	2.753	2.157	2.289	2.842	3.023	2.366	2.844
36	0.656	1.917	2.854	2.759	2.158	2.294	2.845	3.026	2.370	2.851
37	0.698	1.920	2.857	2.759	2.161	2.293	2.848	3.029	2.370	2.853
38	0.740	1.913	2.853	2.758	2.158	2.291	2.846	3.027	2.368	2.855
39	0.993	1.923	2.859	2.763	2.164	2.293	2.850	3.031	2.369	2.858
40	1.076	1.978	2.905	2.803	2.192	2.327	2.873	3.051	2.377	2.888
41	1.156	1.990	2.925	2.819	2.203	2.340	2.886	3.062	2.386	2.907
42	1.741	2.002	2.940	2.833	2.215	2.357	2.902	3.078	2.399	2.926
43	1.630	1.988	2.927	2.831	2.207	2.343	2.897	3.083	2.389	2.942
44	1.990	1.996	2.921	2.827	2.204	2.328	2.880	3.070	2.368	2.924
45	2.074	2.004	2.920	2.825	2.200	2.314	2.865	3.053	2.341	2.897
46	2.156	2.002	2.915	2.822	2.198	2.309	2.864	3.052	2.339	2.898
47	2.240	1.993	2.915	2.820	2.195	2.306	2.862	3.051	2.337	2.893
48	2.323	1.987	2.911	2.819	2.197	2.307	2.865	3.051	2.337	2.894
49	2.406	1.984	2.911	2.819	2.195	2.306	2.866	3.055	2.340	2.896
50	2.490	1.981	2.907	2.813	2.192	2.304	2.869	3.057	2.343	2.899
51	2.573	1.972	2.901	2.808	2.188	2.300	2.868	3.058	2.342	2.899
52	2.656	1.971	2.900	2.805	2.184	2.295	2.863	3.054	2.337	2.896
53	2.740	1.968	2.890	2.795	2.174	2.283	2.854	3.044	2.326	2.886
54	2.990	1.954	2.873	2.778	2.158	2.260	2.831	3.028	2.303	2.863
55	3.344	1.976	2.875	2.779	2.159	2.239	2.811	3.013	2.268	2.839
56	3.656	1.969	2.866	2.760	2.136	2.209	2.799	3.001	2.246	2.823
57	4.000	1.966	2.865	2.761	2.137	2.209	2.798	2.999	2.246	2.825
58	6.069	1.943	2.854	2.744	2.118	2.176	2.795	2.990	2.239	2.824
59	7.007	1.909	2.809	2.798	2.164	2.279	2.881	3.067	2.332	2.934
60	7.993	2.014	2.971	2.873	2.210	2.348	2.943	3.132	2.394	3.033
61	8.993	2.045	2.997	2.921	2.263	2.404	3.002	3.191	2.449	3.102
62	9.990	2.104	3.042	2.956	2.315	2.464	3.095	3.266	2.514	3.197
63	10.990	2.154	3.087	3.002	2.365	2.523	3.188	3.345	2.586	3.294
64	11.990	2.210	3.149	3.023	2.414	2.584	3.281	3.424	2.658	3.391
65	12.990	2.260	3.239	3.088	2.464	2.644	3.374	3.503	2.730	3.488
66	13.990	2.359	3.316	3.190	2.515	2.704	3.467	3.582	2.801	3.585
67	14.990	2.378	3.326	3.204	2.515	2.704	3.467	3.582	2.801	3.585
68	15.990	2.395	3.333	3.207	2.516	2.705	3.468	3.583	2.802	3.586
69	16.990	2.401	3.335	3.227	2.516	2.705	3.468	3.583	2.802	3.586
70	20.059	2.373	3.315	3.182	2.495	2.681	3.427	3.544	2.759	3.548

Tabela 3.2 - FLUXÃO EM JATLLA - corpos de prova pequenos

LINHA	TEMPO (d)	C.P. 1 (MM)	C.P. 2 (MM)	C.P. 3 (MM)	C.P. 4 (MM)	C.P. 5 (MM)	L.P. 6 (MM)	C.P. 7 (MM)	C.P. 8 (MM)	C.P. 9 (MM)
71	20.990	2.368	3.306	3.174	2.447	2.587	0.117	3.298	2.539	3.304
72	21.990	2.447	3.393	3.246	2.490	2.647	0.172	3.344	2.588	3.385
73	22.993	2.464	3.407	3.245	2.490	2.642	0.161	3.336	2.591	3.353
74	22.990	2.464	3.414	3.258	2.510	2.668	0.182	3.355	2.605	3.387
75	25.993	2.454	3.395	3.230	2.486	2.627	0.153	3.325	2.583	3.329
76	27.990	2.403	3.363	3.171	2.440	2.553	0.088	3.266	2.508	3.231
77	29.990	2.344	3.290	3.120	2.392	2.514	0.077	3.256	2.493	3.225
78	32.028	2.387	3.320	3.124	2.386	2.500	0.060	3.214	2.473	3.155
79	34.990	2.445	3.384	3.178	2.421	2.557	0.103	3.257	2.533	3.215
80	35.990	2.431	3.362	3.136	2.387	2.503	0.054	3.200	2.483	3.149
81	36.670	2.597	3.570	3.317	2.527	2.721	0.234	3.388	2.719	3.434
82	36.990	2.731	3.700	3.453	2.651	2.889	0.344	3.521	2.844	3.622
83	37.990	2.733	3.680	3.419	2.612	2.811	0.245	3.443	2.730	3.507
84	41.229	2.754	3.686	3.429	2.629	2.812	0.245	3.428	2.703	3.471
85	43.990	2.742	3.666	3.400	2.604	2.774	0.209	3.376	2.663	3.395
86	47.000	2.875	3.824	3.501	2.678	2.883	0.298	3.456	2.794	3.510
87	49.991	2.831	3.785	3.519	2.723	2.912	0.334	3.506	2.789	3.571
88	55.990	2.789	3.729	3.448	2.661	2.816	0.256	3.435	2.711	3.444
89	58.990	2.643	3.568	3.241	2.479	2.577	0.108	3.239	2.503	3.105
90	61.021	2.621	3.553	3.210	2.443	2.552	0.089	3.215	2.501	3.069
91	63.076	2.566	3.493	3.140	2.374	2.470	0.022	3.147	2.434	2.983
92	63.990	2.615	3.541	3.213	2.442	2.562	0.107	3.233	2.474	3.102
93	66.124	2.534	3.438	3.076	2.318	2.391	0.299	3.078	2.335	2.864
94	68.087	2.498	3.404	3.032	2.274	2.370	0.080	3.023	2.323	2.678
95	69.990	2.578	3.502	3.140	2.366	2.427	0.050	3.156	2.418	2.994
96	72.031	2.586	3.494	3.138	2.368	2.458	0.026	3.164	2.394	2.955
97	73.990	2.547	3.458	3.098	2.308	2.422	0.005	3.116	2.370	2.920
98	76.990	2.565	3.474	3.113	2.349	2.443	0.024	3.128	2.377	2.945
99	79.990	2.539	3.444	3.078	2.316	2.398	0.295	3.044	2.347	2.897
100	84.024	2.550	3.451	3.075	2.315	2.398	0.293	3.086	2.339	2.886
101	88.015	2.537	3.429	3.042	2.292	2.365	0.265	3.066	2.331	2.831
102	94.010	2.491	3.370	2.977	2.229	2.286	0.218	2.998	2.244	2.742
103	100.990	2.637	3.540	3.141	2.370	2.483	0.075	3.156	2.428	2.969
104	104.990	2.706	3.600	3.187	2.423	2.522	0.091	3.181	2.461	2.996
105	109.115	2.628	3.524	3.107	2.351	2.452	0.039	3.126	2.395	2.922
106	113.990	2.608	3.487	3.073	2.331	2.407	0.296	3.093	2.359	2.864
107	118.990	2.595	3.474	3.054	2.304	2.391	0.283	3.073	2.324	2.848
108	123.201	2.594	3.476	3.056	2.305	2.391	0.286	3.076	2.325	2.849
109	125.990	2.507	3.372	2.920	2.164	2.250	0.883	2.955	2.226	2.669
110	130.031	2.484	3.332	2.883	2.156	2.206	0.858	2.927	2.166	2.627
111	145.292	2.812	3.680	3.198	2.434	2.566	0.104	3.184	2.471	2.991
112	145.328	2.799	3.671	3.194	2.427	2.551	0.102	3.186	2.469	2.998
113	145.333	1.853	1.155	0.777	0.576	0.641	0.700	0.604	0.544	0.629
114	145.344	1.041	1.131	0.757	0.583	0.624	0.680	0.589	0.533	0.616
115	145.365	1.119	1.119	0.758	0.581	0.624	0.669	0.582	0.527	0.610
116	145.385	1.016	1.100	0.739	0.567	0.609	0.653	0.569	0.514	0.595
117	145.406	1.009	1.091	0.734	0.564	0.606	0.647	0.564	0.511	0.593
118	145.427	1.002	1.082	0.731	0.559	0.605	0.644	0.560	0.508	0.596
119	145.448	0.996	1.075	0.724	0.556	0.599	0.637	0.555	0.501	0.593
120	145.469	0.989	1.067	0.723	0.555	0.601	0.636	0.554	0.503	0.596
121	145.490	0.980	1.057	0.711	0.542	0.591	0.625	0.545	0.493	0.585
122	145.510	0.976	1.053	0.706	0.542	0.589	0.624	0.545	0.492	0.585
123	145.531	0.971	1.047	0.707	0.539	0.588	0.622	0.545	0.492	0.586
124	145.552	0.968	1.042	0.707	0.536	0.590	0.620	0.546	0.490	0.586
125	145.573	0.963	1.037	0.701	0.535	0.584	0.618	0.544	0.487	0.581
126	145.594	0.957	1.029	0.695	0.532	0.583	0.613	0.544	0.487	0.582
127	145.615	0.953	1.024	0.691	0.527	0.578	0.611	0.538	0.480	0.574
128	145.635	0.951	1.021	0.689	0.527	0.579	0.609	0.540	0.479	0.577
129	145.656	0.950	1.016	0.686	0.524	0.576	0.606	0.539	0.479	0.580
130	145.677	0.958	1.019	0.684	0.524	0.575	0.604	0.541	0.477	0.580
131	145.698	0.955	1.013	0.683	0.521	0.573	0.602	0.541	0.474	0.578
132	145.719	0.955	1.011	0.683	0.524	0.573	0.604	0.542	0.474	0.575
133	145.740	0.949	1.004	0.676	0.516	0.564	0.595	0.538	0.468	0.569
134	145.760	0.935	0.997	0.669	0.514	0.552	0.589	0.531	0.461	0.554
135	145.781	0.936	0.997	0.676	0.521	0.563	0.597	0.541	0.466	0.564
136	145.823	0.942	1.002	0.687	0.532	0.577	0.603	0.547	0.471	0.577
137	145.865	0.955	1.012	0.701	0.544	0.589	0.613	0.556	0.476	0.590
138	145.906	0.963	1.019	0.709	0.550	0.594	0.616	0.562	0.478	0.599
139	145.948	0.960	1.018	0.718	0.557	0.603	0.621	0.565	0.481	0.606
140	145.990	0.964	1.021	0.720	0.561	0.608	0.621	0.568	0.481	0.607

Tabela 3 12 (cont.) - FLUENCIA Em 34 UBA - corpos de prova de pequenas dimensoes

LINHA	TEMPO (d)	C.P. 1 (mm)	C.P. 2 (mm)	C.P. 3 (mm)	C.P. 4 (mm)	C.P. 5 (mm)	C.P. 6 (mm)	C.P. 7 (mm)	C.P. 8 (mm)	C.P. 9 (mm)
141	146.031	0.964	1.017	0.718	0.557	0.603	0.617	0.560	0.473	0.603
142	146.115	0.966	1.021	0.726	0.565	0.612	0.619	0.568	0.475	0.610
143	146.198	0.947	0.991	0.691	0.530	0.573	0.585	0.538	0.442	0.563
144	146.240	0.943	0.983	0.688	0.534	0.572	0.585	0.540	0.441	0.569
145	146.365	0.924	0.957	0.672	0.525	0.556	0.573	0.535	0.428	0.555
146	146.490	0.900	0.926	0.646	0.497	0.526	0.545	0.511	0.401	0.521
147	146.615	0.882	0.905	0.622	0.483	0.509	0.532	0.501	0.389	0.511
148	146.740	0.877	0.895	0.615	0.478	0.506	0.525	0.501	0.380	0.505
149	146.865	0.875	0.902	0.631	0.493	0.520	0.536	0.503	0.383	0.518
150	146.990	0.901	0.934	0.656	0.512	0.547	0.562	0.515	0.402	0.551
151	147.323	0.904	0.939	0.670	0.520	0.560	0.567	0.528	0.409	0.567
152	147.656	0.864	0.890	0.631	0.487	0.515	0.532	0.498	0.373	0.527
153	147.990	0.893	0.933	0.668	0.516	0.561	0.566	0.520	0.401	0.579
154	148.490	0.877	0.912	0.653	0.496	0.545	0.545	0.497	0.386	0.561
155	148.990	0.862	0.910	0.636	0.473	0.537	0.532	0.463	0.387	0.564
156	149.990	0.879	0.906	0.671	0.508	0.552	0.538	0.492	0.387	0.567
157	150.969	0.814	0.824	0.607	0.458	0.477	0.482	0.449	0.312	0.492
158	151.990	0.714	0.742	0.531	0.389	0.402	0.428	0.402	0.259	0.431
159	155.118	0.640	0.662	0.465	0.312	0.319	0.358	0.329	0.171	0.348
160	158.003	0.535	0.535	0.354	0.211	0.205	0.263	0.246	0.075	0.239
161	161.000	0.501	0.505	0.339	0.197	0.196	0.256	0.236	0.067	0.234
162	163.802	0.399	0.371	0.209	0.079	0.061	0.135	0.138	0.042	0.103
163	164.323	0.423	0.405	0.256	0.120	0.100	0.171	0.159	0.020	0.138
164	165.088	0.436	0.431	0.282	0.140	0.129	0.198	0.174	0.002	0.163
165	170.990	0.596	0.599	0.396	0.227	0.260	0.280	0.214	0.166	0.259
166	177.990	0.463	0.447	0.233	0.111	0.091	0.175	0.101	0.049	0.002
167	184.990	0.560	0.544	0.325	0.204	0.210	0.241	0.175	0.152	0.109
168	186.097	0.585	0.566	0.377	0.247	0.271	0.275	0.220	0.152	0.217
169	198.979	0.614	0.586	0.361	0.257	0.266	0.254	0.207	0.207	0.172
170	205.962	0.544	0.529	0.287	0.206	0.197	0.192	0.162	0.142	0.089
171	213.008	0.609	0.607	0.345	0.241	0.257	0.239	0.178	0.218	0.190
172	234.019	0.788	0.652	0.384	0.263	0.288	0.217	0.175	0.250	0.232
173	240.990	0.725	0.610	0.341	0.260	0.263	0.203	0.174	0.219	0.188
174	247.994	0.801	0.691	0.418	0.313	0.346	0.252	0.199	0.308	0.292
175	254.001	0.707	0.585	0.316	0.239	0.248	0.177	0.146	0.206	0.187
176	254.001	0.762	0.650	0.371	0.262	0.293	0.204	0.226	0.228	0.244

Tabela 3.12 (cont.) - FLUENCIA Em JATOBA - corpos de prova de pequenas dimensoes

LINHA	TEMPO (d)	C.P. 10 (mm)	C.P. 11 (mm)	C.P. 12 (mm)	C.P. 13 (mm)	C.P. 14 (mm)	C.P. 15 (mm)	C.P. 16 (mm)	C.P. 17 (mm)	C.P. 18 (mm)
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.005	0.053	0.220	0.666	0.150	0.057	1.572	0.314	0.456	1.760
3	0.007	0.052	0.226	0.675	0.152	0.100	1.575	0.313	0.454	1.768
4	0.009	0.056	0.230	0.678	0.155	0.105	1.578	0.318	0.457	1.770
5	0.010	0.060	0.235	0.683	0.159	0.108	1.580	0.321	0.460	1.772
6	0.021	0.078	0.253	0.703	0.174	0.126	1.589	0.335	0.474	1.787
7	0.031	0.092	0.270	0.718	0.186	0.136	1.597	0.341	0.484	1.797
8	0.042	0.093	0.270	0.718	0.187	0.137	1.597	0.342	0.485	1.797
9	0.052	0.095	0.273	0.722	0.189	0.142	1.599	0.345	0.487	1.801
10	0.063	0.103	0.283	0.733	0.196	0.150	1.604	0.351	0.493	1.805
11	0.073	0.112	0.292	0.740	0.202	0.157	1.610	0.358	0.501	1.811
12	0.083	0.128	0.309	0.757	0.213	0.169	1.613	0.362	0.508	1.817
13	0.094	0.134	0.316	0.762	0.217	0.173	1.616	0.363	0.510	1.819
14	0.115	0.144	0.327	0.772	0.224	0.182	1.621	0.370	0.519	1.832
15	0.121	0.148	0.331	0.776	0.227	0.187	1.622	0.371	0.521	1.830
16	0.131	0.148	0.331	0.776	0.228	0.186	1.620	0.370	0.521	1.830
17	0.142	0.152	0.335	0.782	0.228	0.187	1.622	0.375	0.522	1.830
18	0.152	0.155	0.336	0.782	0.229	0.189	1.621	0.372	0.521	1.828
19	0.163	0.157	0.337	0.784	0.231	0.191	1.621	0.371	0.523	1.830
20	0.173	0.160	0.339	0.786	0.232	0.193	1.622	0.374	0.524	1.829
21	0.183	0.161	0.340	0.788	0.234	0.195	1.623	0.375	0.526	1.831
22	0.194	0.163	0.343	0.790	0.236	0.197	1.623	0.376	0.528	1.832
23	0.204	0.166	0.345	0.792	0.237	0.199	1.625	0.376	0.529	1.835
24	0.207	0.167	0.345	0.795	0.239	0.201	1.624	0.378	0.530	1.837
25	0.219	0.167	0.344	0.793	0.237	0.201	1.624	0.377	0.531	1.837
26	0.240	0.169	0.346	0.796	0.239	0.202	1.625	0.377	0.532	1.834
27	0.281	0.172	0.350	0.799	0.242	0.205	1.624	0.378	0.532	1.834
28	0.323	0.182	0.357	0.808	0.249	0.212	1.624	0.378	0.536	1.835
29	0.365	0.189	0.362	0.815	0.254	0.217	1.620	0.375	0.542	1.836
30	0.406	0.193	0.365	0.817	0.254	0.220	1.613	0.364	0.538	1.833
31	0.448	0.201	0.372	0.824	0.257	0.224	1.612	0.365	0.542	1.831
32	0.490	0.207	0.376	0.828	0.260	0.228	1.606	0.359	0.541	1.831
33	0.531	0.210	0.380	0.831	0.262	0.230	1.598	0.350	0.539	1.826
34	0.573	0.216	0.384	0.833	0.262	0.231	1.593	0.343	0.539	1.821
35	0.615	0.217	0.384	0.833	0.263	0.232	1.588	0.348	0.537	1.819
36	0.656	0.222	0.388	0.837	0.266	0.234	1.582	0.351	0.537	1.818
37	0.698	0.219	0.383	0.832	0.261	0.230	1.574	0.323	0.534	1.810
38	0.740	0.219	0.384	0.832	0.259	0.230	1.571	0.318	0.533	1.808
39	0.993	0.218	0.382	0.834	0.261	0.230	1.571	0.319	0.537	1.811
40	1.076	0.247	0.416	0.867	0.268	0.239	1.628	0.399	0.570	1.855
41	1.156	0.262	0.433	0.883	0.300	0.274	1.645	0.423	0.582	1.874
42	1.1741	0.281	0.448	0.897	0.310	0.286	1.650	0.425	0.593	1.880
43	1.1830	0.273	0.431	0.881	0.296	0.272	1.589	0.357	0.575	1.840
44	1.1990	0.260	0.415	0.871	0.278	0.268	1.600	0.360	0.580	1.841
45	1.2074	0.236	0.384	0.857	0.268	0.257	1.610	0.398	0.576	1.844
46	1.156	0.234	0.386	0.858	0.268	0.255	1.611	0.395	0.576	1.843
47	1.240	0.227	0.374	0.852	0.263	0.247	1.603	0.386	0.570	1.839
48	1.323	0.222	0.369	0.848	0.266	0.242	1.586	0.372	0.562	1.830
49	1.406	0.218	0.365	0.845	0.272	0.236	1.572	0.358	0.553	1.816
50	1.490	0.217	0.365	0.847	0.269	0.234	1.562	0.348	0.551	1.813
51	1.573	0.217	0.364	0.844	0.268	0.233	1.555	0.342	0.548	1.809
52	1.656	0.214	0.362	0.842	0.268	0.230	1.550	0.339	0.545	1.804
53	1.740	0.202	0.348	0.830	0.261	0.225	1.546	0.334	0.540	1.797
54	1.990	0.182	0.322	0.817	0.248	0.205	1.530	0.321	0.525	1.778
55	1.344	0.170	0.315	0.820	0.260	0.211	1.585	0.396	0.556	1.811
56	1.656	0.139	0.299	0.810	0.246	0.198	1.582	0.406	0.542	1.805
57	1.000	0.138	0.299	0.808	0.247	0.198	1.582	0.406	0.542	1.805
58	1.859	0.117	0.282	0.794	0.223	0.177	1.533	0.356	0.511	1.774
59	1.007	0.214	0.389	0.865	0.271	0.248	1.563	0.378	0.562	1.828
60	1.993	0.306	0.466	0.930	0.306	0.266	1.583	0.398	0.620	1.867
61	1.893	0.374	0.524	0.980	0.340	0.340	1.581	0.385	0.659	1.889
62	1.990	0.384	0.516	0.914	0.400	0.359	1.659	0.484	0.700	1.938
63	10.990	0.421	0.556	0.939	0.424	0.397	1.696	0.531	0.730	1.979
64	11.990	0.434	0.572	0.960	0.459	0.423	1.729	0.566	0.771	2.017
65	12.990	0.562	0.672	1.152	0.546	0.505	1.763	0.600	0.839	2.066
66	13.990	0.646	0.728	1.246	0.590	0.550	1.767	0.626	0.867	2.072
67	14.990	0.628	0.691	1.232	0.563	0.530	1.755	0.616	0.859	2.050
68	15.990	0.609	0.642	1.193	0.533	0.503	1.773	0.648	0.863	2.056
69	16.990	0.642	0.700	1.250	0.599	0.554	1.744	0.607	0.865	2.049
70	17.959	0.654	0.729	1.285	0.619	0.559	1.745	0.626	0.837	2.025

Tabela 3.12 (cont.) - FLUENCIA Em JA-08A - corpos de prova de pequenas dimensões

LINHA	TEMPO (d)	C.P. 10 (mm)	C.P. 11 (mm)	C.P. 12 (mm)	C.P. 13 (mm)	C.P. 14 (mm)	C.P. 15 (mm)	C.P. 16 (mm)	C.P. 17 (mm)	C.P. 18 (mm)
71	20.990	2.549	2.620	3.191	2.557	2.505	1.753	2.641	2.835	2.030
72	21.990	2.624	2.692	3.243	2.610	2.572	1.813	2.716	2.897	2.097
73	22.993	2.615	2.681	3.238	2.627	2.582	1.834	2.735	2.917	2.108
74	23.990	2.632	2.667	3.250	2.628	2.582	1.811	2.711	2.906	2.088
75	25.993	2.600	2.663	3.215	2.626	2.567	1.798	2.689	2.898	2.073
76	27.990	2.505	2.567	3.159	2.572	2.504	1.753	2.650	2.851	2.023
77	29.990	2.492	2.572	3.140	2.548	2.482	1.717	2.623	2.811	1.989
78	32.028	2.458	2.556	3.136	2.562	2.492	1.817	2.747	2.854	2.059
79	34.990	2.533	2.607	3.186	2.604	2.541	1.839	2.763	2.893	2.082
80	35.990	2.458	2.554	3.140	2.576	2.502	1.840	2.776	2.866	2.058
81	36.670	2.748	2.799	3.350	2.753	2.687	1.922	2.853	3.003	2.173
82	36.990	2.936	2.927	3.482	2.878	2.793	1.950	2.868	3.076	2.218
83	37.990	2.814	2.762	3.377	2.795	2.693	1.877	2.828	3.015	2.124
84	41.229	2.792	2.758	3.382	2.801	2.700	1.958	2.925	3.041	2.176
85	43.990	2.742	2.714	3.325	2.773	2.665	1.947	2.919	3.016	2.165
86	47.000	2.883	2.851	3.462	2.901	2.793	2.064	3.052	3.135	2.287
87	49.991	2.883	2.837	3.458	2.862	2.767	1.971	2.943	3.082	2.211
88	55.990	2.784	2.729	3.386	2.840	2.707	1.928	2.902	3.047	2.158
89	58.990	2.496	2.545	3.243	2.716	2.576	1.991	2.839	2.970	2.149
90	61.021	2.488	2.517	3.222	2.690	2.538	1.956	2.807	2.935	2.101
91	63.076	2.407	2.440	3.168	2.637	2.488	1.943	2.816	2.889	2.063
92	63.990	2.491	2.537	3.234	2.677	2.544	1.965	2.831	2.911	2.099
93	66.124	2.314	2.375	3.122	2.606	2.447	1.973	2.859	2.870	2.064
94	68.087	2.305	2.363	3.115	2.590	2.432	1.928	2.815	2.842	2.031
95	69.990	2.415	2.476	3.193	2.652	2.503	1.966	2.846	2.896	2.084
96	72.031	2.393	2.437	3.180	2.640	2.476	1.959	2.840	2.881	2.061
97	73.990	2.361	2.408	3.152	2.617	2.453	1.944	2.827	2.856	2.036
98	76.990	2.372	2.434	3.162	2.629	2.469	1.961	2.846	2.863	2.058
99	79.990	2.343	2.390	3.135	2.618	2.438	1.934	2.816	2.843	2.028
100	84.024	2.338	2.402	3.150	2.621	2.450	1.990	2.888	2.861	2.062
101	88.015	2.291	2.345	3.113	2.587	2.400	1.907	2.987	2.812	1.994
102	94.010	2.212	2.298	3.089	2.563	2.380	1.997	3.129	2.813	2.030
103	100.990	2.421	2.480	3.217	2.659	2.485	1.965	3.054	2.870	2.062
104	104.990	2.454	2.502	3.237	2.701	2.519	1.978	3.055	2.897	2.075
105	109.115	2.373	2.440	3.193	2.652	2.472	1.975	3.071	2.850	2.046
106	113.990	2.340	2.381	3.160	2.640	2.438	1.946	3.031	2.825	2.009
107	118.990	2.315	2.381	3.169	2.630	2.432	1.991	3.113	2.826	2.033
108	123.201	2.316	2.383	3.169	2.630	2.432	1.991	3.114	2.825	2.036
109	125.990	2.171	2.252	3.068	2.553	2.362	1.947	3.083	2.749	1.964
110	130.031	2.118	2.225	3.071	2.546	2.334	2.005	3.169	2.754	1.992
111	145.292	2.482	2.522	3.290	2.739	2.543	2.038	3.147	2.883	2.083
112	145.328	2.481	2.518	3.287	2.734	2.541	2.026	3.134	2.880	2.080
113	145.333	0.728	0.567	0.907	0.867	0.684	0.384	0.688	0.569	0.407
114	145.344	0.719	0.554	0.886	0.850	0.666	0.377	0.673	0.554	0.396
115	145.365	0.712	0.546	0.872	0.838	0.653	0.364	0.654	0.540	0.385
116	145.385	0.693	0.525	0.848	0.814	0.630	0.331	0.611	0.515	0.360
117	145.406	0.690	0.520	0.840	0.806	0.620	0.319	0.797	0.506	0.348
118	145.427	0.692	0.524	0.844	0.810	0.628	0.335	0.809	0.511	0.360
119	145.448	0.686	0.516	0.834	0.799	0.620	0.323	0.797	0.503	0.352
120	145.469	0.690	0.522	0.839	0.803	0.625	0.329	0.798	0.506	0.357
121	145.490	0.674	0.502	0.817	0.782	0.602	0.293	0.760	0.483	0.331
122	145.510	0.675	0.501	0.816	0.780	0.601	0.285	0.751	0.480	0.325
123	145.531	0.676	0.502	0.812	0.780	0.601	0.288	0.752	0.482	0.329
124	145.552	0.675	0.503	0.814	0.782	0.603	0.292	0.752	0.483	0.331
125	145.573	0.671	0.495	0.807	0.774	0.594	0.279	0.739	0.473	0.323
126	145.594	0.672	0.497	0.805	0.775	0.597	0.280	0.737	0.478	0.324
127	145.615	0.663	0.487	0.794	0.763	0.584	0.259	0.716	0.461	0.310
128	145.635	0.665	0.489	0.797	0.767	0.590	0.270	0.723	0.470	0.314
129	145.656	0.665	0.491	0.799	0.767	0.592	0.283	0.737	0.474	0.320
130	145.677	0.670	0.469	0.796	0.764	0.589	0.283	0.736	0.473	0.324
131	145.698	0.667	0.486	0.794	0.763	0.586	0.282	0.740	0.472	0.320
132	145.719	0.665	0.465	0.795	0.766	0.588	0.282	0.738	0.473	0.323
133	145.740	0.662	0.479	0.790	0.761	0.583	0.280	0.736	0.471	0.318
134	145.760	0.651	0.467	0.781	0.757	0.577	0.274	0.730	0.466	0.316
135	145.781	0.659	0.474	0.788	0.763	0.583	0.275	0.727	0.468	0.316
136	145.823	0.674	0.487	0.802	0.776	0.594	0.293	0.746	0.482	0.330
137	145.865	0.677	0.497	0.812	0.783	0.603	0.302	0.758	0.490	0.341
138	145.906	0.683	0.504	0.819	0.789	0.609	0.311	0.769	0.497	0.351
139	145.948	0.692	0.518	0.826	0.795	0.617	0.324	0.782	0.506	0.359
140	145.990	0.696	0.523	0.830	0.798	0.621	0.334	0.793	0.509	0.369

Tabela 3.12 (cont.) - FLUÊNCIA em JAUBA - corpos de prova de pequenas dimensões

LJNHA	TEMPO (d)	C.P. 10 (mm)	C.P. 11 (mm)	C.P. 12 (mm)	C.P. 13 (mm)	C.P. 14 (mm)	C.P. 15 (mm)	C.P. 16 (mm)	C.P. 17 (mm)	C.P. 18 (mm)
141	146.031	0.690	0.519	0.828	0.791	0.619	0.339	0.801	0.508	0.369
142	146.115	0.700	0.528	0.834	0.797	0.625	0.348	0.812	0.515	0.379
143	146.198	0.653	0.463	0.762	0.738	0.566	0.268	0.724	0.454	0.310
144	146.240	0.662	0.469	0.771	0.747	0.573	0.280	0.734	0.465	0.321
145	146.365	0.645	0.446	0.756	0.737	0.562	0.257	0.700	0.454	0.289
146	146.490	0.605	0.404	0.721	0.707	0.527	0.197	0.633	0.416	0.256
147	146.615	0.590	0.392	0.735	0.694	0.524	0.212	0.651	0.423	0.263
148	146.740	0.581	0.381	0.734	0.686	0.516	0.220	0.667	0.415	0.263
149	146.865	0.599	0.407	0.751	0.712	0.538	0.250	0.702	0.436	0.261
150	146.990	0.626	0.447	0.791	0.728	0.565	0.278	0.732	0.453	0.283
151	147.323	0.644	0.451	0.774	0.719	0.556	0.255	0.705	0.447	0.314
152	147.656	0.590	0.393	0.717	0.674	0.510	0.184	0.627	0.399	0.254
153	147.990	0.646	0.461	0.788	0.723	0.570	0.285	0.737	0.464	0.345
154	148.490	0.624	0.427	0.741	0.680	0.534	0.219	0.660	0.423	0.300
155	148.990	0.634	0.453	0.732	0.686	0.554	0.274	0.715	0.446	0.350
156	149.990	0.652	0.437	0.730	0.703	0.546	0.257	0.691	0.466	0.352
157	150.969	0.559	0.358	0.677	0.654	0.502	0.220	0.674	0.435	0.314
158	151.990	0.481	0.290	0.623	0.599	0.464	0.176	0.628	0.392	0.276
159	155.118	0.393	0.220	0.561	0.544	0.429	0.219	0.700	0.380	0.286
160	158.003	0.280	0.172	0.489	0.470	0.359	0.182	0.658	0.325	0.240
161	161.000	0.277	0.127	0.481	0.465	0.350	0.166	0.632	0.319	0.235
162	163.802	0.144	0.038	0.350	0.306	0.248	0.116	0.588	0.232	0.159
163	164.323	0.184	0.040	0.403	0.410	0.295	0.170	0.638	0.284	0.215
164	165.088	0.207	0.080	0.418	0.430	0.323	0.214	0.686	0.313	0.245
165	170.990	0.350	0.191	0.454	0.497	0.352	0.190	0.594	0.355	0.278
166	177.990	0.145	0.027	0.370	0.423	0.270	0.224	0.649	0.283	0.235
167	184.990	0.270	0.124	0.429	0.484	0.326	0.216	0.605	0.308	0.246
168	186.097	0.336	0.174	0.467	0.493	0.360	0.224	0.615	0.321	0.258
169	198.979	0.337	0.164	0.450	0.525	0.348	0.203	0.571	0.315	0.238
170	205.962	0.249	0.081	0.396	0.481	0.300	0.174	0.545	0.265	0.196
171	213.008	0.355	0.180	0.435	0.515	0.355	0.200	0.543	0.300	0.236
172	234.019	0.449	0.241	0.053	0.574	0.307	0.278	0.657	0.341	0.277
173	240.990	0.374	0.209	0.066	0.569	0.299	0.259	0.631	0.316	0.261
174	247.994	0.522	0.325	0.043	0.638	0.368	0.306	0.621	0.367	0.320
175	254.001	0.372	0.169	0.113	0.526	0.260	0.180	0.546	0.281	0.216
176	254.001	0.451	0.226	0.060	0.554	0.286	0.221	0.587	0.304	0.256

Tabela 3.12 (cont.) - FLUENCIA EM JATOBA - corpos de prova de pequenas dimensoes

C.P.	E_O (MPa)	P_O (N)	C_O (mm)	C/C_O (t = 10 horas)	C/C_O (t = 1 mês)	C/C_O (t = 3 meses)	C/C_O (t = 5 meses)	r_O (mm)
01	22870	137	1,80	1,07	1,30	1,47	1,57	1,76
02	19440	170	2,64	1,08	1,24	1,35	1,39	2,53
03	21120	160	2,59	1,06	1,20	1,25	1,23	2,42
04	19730	125	2,01	1,07	1,19	1,23	1,21	1,84
05	16800	98	2,13	1,07	1,18	1,21	1,20	1,92
06	18400	154	2,66	1,06	1,16	1,17	1,17	2,40
07	19960	188	2,84	1,06	1,15	1,14	1,12	2,58
08	18300	141	2,24	1,05	1,12	1,12	1,11	1,93
09	16700	153	2,62	1,07	1,23	1,32	1,15	2,37
10	15770	2 x (62)	2,05	1,07	1,22	1,21	1,21	1,75
11	14100	108	2,23	1,07	1,16	1,14	1,13	1,95

Tabela 3.13- Resultados para Jatobá - Corpos de Prova de pequenas dimensões

C.P.	E_0 (MPa)	P_0 (N)	C_0 (mm)	C/C_0 (t = 10 horas)	C/C_0 (t = 1 mês)	C/C_0 (t = 2 meses)	C/C_0 (t = 5 meses)	r_0 (mm)
12	17200	164	2,67	1,06	1,18	1,22	1,23	2,38
13	15450	114	2,15	1,05	1,19	1,26	1,27	1,87
14	15800	2 x (66)	2,10	1,06	1,18	1,23	1,21	1,86
15	23260	131	1,57	1,03	1,09	1,27	1,30	1,65
16	21350	185	2,31	1,02	1,13	1,31	1,35	2,25
17	19530	170	2,46	1,03	1,14	1,21	1,17	2,31
18	19430	122	1,76	1,04	1,15	1,22	1,18	1,68

Tabela 3.13- Resultados para Jatobá - Corpos de Prova de pequenas dimensões

C.P.	$C = A + B \log t$	$C = C_0 + \lambda t^m$	$C = C_0 + \frac{t}{\lambda + Bt}$	$\frac{C}{C_0} = \frac{A + B \log t + G}{(\log t)^2}$	$C = A e^{-tm}$	$C = \lambda + R(1 - e^{-mt}) / Gt$
CP.1 fluência	A = 2,057 B = 0,253 r ² = 80,8%	A = 0,15 m = 0,406 r ² = 92,8%	A = 1,32 B = 2,05 r ² = 90,0%	A = 1,088 B = 0,111 G = 0,044 r ² = 89,8%	A = 2,00 m = 3,04x10 ⁻³ r ² = 65,7%	A = 1,933 B = 17,405 G = 0,07 m = 3,04x10 ⁻³ r ² = 85,6%
CP.1 recuperação	A = 0,873 B = -0,141 r ² = 68,5%	A = 0,941 m = -0,061 r ² = 68,5%	A = -0,0031 B = 1,282 r ² = 4,0%	A = 0,502 B = -0,077 G = -0,0056 r ² = 68,9%	A = 0,87 m = -0,0039 r ² = 20,4%	A = 0,940 B = -26,458 G = 0,083 m = -0,0039 r ² = 75,5%
CP.2 fluência	A = 2,975 B = 0,256 r ² = 81,5%	A = 0,23 m = 0,309 r ² = 92,6%	A = 0,31 B = 2,62 r ² = 92,1%	A = 1,093 B = 0,080 G = 0,025 r ² = 87,7%	A = 2,94 m = 2,080x10 ⁻³ r ² = 60,3%	A = 2,852 B = 43,34 G = 0,108 m = 2,08x10 ⁻³ r ² = 83,1%
CP.2 recuperação	A = 0,912 B = -0,188 r ² = 81,4%	A = -0,883 m = -0,105 r ² = 72,6%	A = 0,0037 B = 1,273 r ² = 4,5%	A = 0,369 B = -0,070 G = -0,0083 r ² = 82,8%	A = 0,919 m = -0,006 r ² = 35,8%	A = 1,005 B = -12,71 G = -0,0054 m = -0,006 r ² = 78,4%
CP.3 fluência	A = 2,842 B = 0,174 r ² = 71,0%	A = 0,16 m = 0,325 r ² = 82,6%	A = 1,387 B = 1,035 r ² = 76,0%	A = 0,516 B = 0,0030 G = 0,062 r ² = 94,8%	A = 2,84 m = 1,20x10 ⁻³ r ² = 33,9%	A = 2,77 B = 123,04 G = 0,162 m = 1,20x10 ⁻³ r ² = 67,0%
CP.3 recuperação	A = 0,618 B = -0,142 r ² = 79,11%	A = 0,593 m = -0,124 r ² = 71,2%	A = -0,0063 B = 1,961 r ² = 3,5%	A = 0,268 B = -0,052 G = -0,012 r ² = 84,0%	A = 0,631 m = -0,0081 r ² = 46,04%	A = 0,694 B = -5,474 G = 0,027 m = -0,0081 r ² = 83,7%

Tabela 3.14- Curvas de Correlação para Jatobá

C.P.	$C = A + B \log t$	$C = C_0 + \lambda t^m$	$C = C_0 + \frac{t}{A+Bt}$	$\frac{C}{C_0} = \frac{A+B \log t + G}{(\log t)^2}$	$C = A e^{-tm}$	$C = A+B(1-e^{-mt}) + \frac{G}{t}$
CP.4 fluência	A = 2,270 B = 0,110 r ² = 60,2%	A = 0,15 m = 0,236 r ² = 78,2%	A = 0,31 B = 4,60 r ² = 89,2%	A = 0,468 B = 0,014 G = 0,068 r ² = 96,0%	A = 2,21 m = 0,88x10 ⁻³ r ² = 23,0%	A = 2,16 B = 163,42 G = 0,153 m = 0,88x10 ⁻³ r ² = 56,8%
CP.4 recuperação	A = 0,466 B = -0,122 r ² = 74,1%	A = 0,43 m = -0,153 r ² = 59,6%	A = -0,012 B = 2,931 r ² = 2,2%	A = 0,267 B = -0,059 G = -0,214 r ² = 78,5%	A = 0,463 m = -0,0091 r ² = 31,6%	A = 0,533 B = -4,362 G = 0,024 m = -0,0091 r ² = 81,3%
CP.5 fluência	A = 2,329 B = 0,110 r ² = 48,6%	A = 0,15 m = 0,242 r ² = 64,7%	A = 0,57 B = 4,23 r ² = 94,0%	A = 0,324 B = 0,0026 G = 0,083 r ² = 96,9%	A = 2,34 m = 0,73x10 ⁻³ r ² = 14,6%	A = 2,285 B = 258,17 G = 0,198 m = 0,73x10 ⁻³ r ² = 46,8%
CP.5 recuperação	A = 0,501 B = -0,137 r ² = 72,9%	A = 0,462 m = -0,165 r ² = 55,2%	A = -0,013 B = 2,927 r ² = 1,6%	A = 0,276 B = -0,063 G = -0,015 r ² = 77,2%	A = 0,492 m = -0,0095 r ² = 27,6%	A = 0,577 B = -4,613 G = -0,026 m = -0,0095 r ² = 80,5%
CP.6 fluência	A = 2,88 B = 0,115 r ² = 65,8%	A = 0,16 m = 0,252 r ² = 76,1%	A = 0,647 B = 3,247 r ² = 95,0%	A = 0,626 B = 0,014 G = 0,049 r ² = 98,6%	A = 2,88 m = 0,69 x 10 ⁻³ r ² = 23,2%	A = 2,833 B = 258,01 G = 0,186 m = 0,69x10 ⁻³ r ² = 54,5%
CP.6 recuperação	A = 0,524 B = 0,154 r ² = 85,2%	A = 0,488 m = -0,162 r ² = 77,4%	A = -0,011 B = 2,589 r ² = 3,4%	A = 0,232 B = -0,056 G = -0,014 r ² = 92,8%	A = 0,541 m = -0,012 r ² = 59,3%	A = 0,604 B = -2,748 G = 0,016 m = -0,012 r ² = 86,8%

C.P.	$C = A + B \log t$	$C = C_0 + \Lambda t^m$	$C = C_0 + \frac{t}{\Lambda + Bt}$	$\frac{C}{C_0} = \frac{\Lambda + B \log t + G}{(\log t)^2}$	$C = \Lambda e^{tm}$	$C = \Lambda + B(1 - e^{-mt}) + Gt$
CP.7 fluência	A = 3,05 B = 0,095 r ² = 49,33%	A = 0,16 m = 0,219 r ² = 64,9%	A = 0,42 B = 4,27 r ² = 94,9%	A = 0,563 B = 0,0011 G = 0,055 r ² = 100%	A = 3,07 m = 0,37x10 ⁻³ r ² = 8,43%	A = 3,019 B = 893,13 G = 0,343 m = 0,37x10 ⁻³ r ² = 43,4%
CP.7 recuperação	A = 0,468 B = -0,139 r ² = 81,1%	A = 0,433 m = -0,180 r ² = 74,3%	A = -0,013 B = 2,99 r ² = 2,9%	A = 0,196 B = -0,045 G = -0,015 r ² = 89,7%	A = -0,484 m = -0,013 r ² = 59,3%	A = 0,456 B = -2,414 G = 0,014 m = -0,013 r ² = 90,9%
CP.8 fluência	A = 2,37 B = 0,067 r ² = 32,9%	A = 0,10 m = 0,201 r ² = 35,9%	A = 0,72 B = 8,70 r ² = 51,1%	A = 0,396 B = -0,015 G = 0,072 r ² = 97,3%	A = 2,38 m = 0,37x10 ⁻³ r ² = 6,0%	A = 2,35 B = 714,83 G = 0,267 m = 0,37x10 ⁻³ r ² = 31,7%
CP.8 recuperação	A = 0,393 B = -0,129 r ² = 71,8%	A = 0,332 m = -0,23 r ² = 35,7%	A = 0,072 B = -5,17 r ² = 0,1%	A = 0,209 B = -0,063 G = -0,0058 r ² = 72,6%	A = 0,34 m = -0,0099 r ² = 9,9%	A = 0,459 B = -4,359 G = -0,025 m = -0,0099 r ² = 72,7%
CP.9 fluência	A = 2,89 B = 0,129 r ² = 37,7%	A = 0,17 m = 0,254 r ² = 43,2%	A = 2,87 B = -2,29 r ² = 61,0%	A = 0,158 B = -0,011 G = 0,101 r ² = 99,1%	A = 2,92 m = 0,33x10 ⁻³ r ² = 2,6%	A = 2,85 B = 1770,87 G = 0,605 m = 0,33x10 ⁻³ r ² = 38,8%
CP.9 recuperação	A = 0,495 B = -0,150 r ² = 74,4%	A = 0,433 m = -0,221 r ² = 38,8%	A = -0,094 B = 11,034 r ² = 0,1%	A = 0,227 B = -0,053 G = -0,018 r ² = 82,7%	A = 0,482 m = -0,014 r ² = 24,1%	A = 0,585 B = -2,69 G = 0,017 m = -0,014 r ² = 90,0%

C.P.	$C = A + B \log t$	$C = C_0 + At^m$	$C = C_0 + \frac{L}{A+Bt}$	$\frac{C}{C_0} = \frac{A+B \log t + G}{(\log t)^2}$	$C = A e^{-tm}$	$C = A+B(1-e^{-mt}) + GE$
CP.10 fluência	A = 2,26 B = 0,123 r ² = 47,5%	A = 0,13 m = 0,292 r ² = 62,8%	A = 2,65 B = -1,242 r ² = 68,4%	A = 1,131 B = 0,060 G = -0,0047 r ² = 47,7%	A = 2,27 m = 0,79x10 ⁻³ r ² = 12,8%	A = 2,21 B = 250,52 G = 0,21 m = 0,79x10 ⁻³ r ² = 45,9%
CP.10 recuperação	A = 0,59 B = -0,133 r ² = 67,6%	A = 0,56 m = -0,127 r ² = 54,6%	A = -0,0075 B = 2,160 r ² = 2,3%	A = 0,350 B = -0,068 G = -0,013 r ² = 70,4%	A = 0,582 m = -0,0068 r ² = 23,5%	A = 0,665 B = -8,877 G = 0,042 m = -0,0068 r ² = 79,8%
CP.11 fluência	A = 2,40 B = 0,077 r ² = 33,43%	A = 0,13 m = 0,192 r ² = 34,5%	A = 0,85 B = 6,06 r ² = 48,1%	A = 1,163 B = 0,050 G = -0,013 r ² = 36,0%	A = 2,42 m = 0,29x10 ⁻³ r ² = 3,3%	A = 2,375 B = 1374,48 G = 0,408 m = 0,29x10 ⁻³ r ² = 34,4%
CP.11 recuperação	A = 0,413 B = -0,134 r ² = 74,4%	A = 0,355 m = -0,225 r ² = 44,6%	A = -0,0015 B = 1,995 r ² = 2,7%	A = 0,222 B = -0,063 G = -0,010 r ² = 76,7%	A = 0,38 m = -0,012 r ² = 18,1%	A = 0,486 B = -0,428 G = 0,021 m = -0,012 r ² = 80,60%
CP.12 fluência	A = 2,90 B = 0,16 r ² = 76,9%	A = 0,16 m = 0,308 r ² = 86,57%	A = 0,70 B = 3,17 r ² = 97,3%	A = 0,992 B = 0,043 G = 0,015 r ² = 79,3%	A = 2,89 m = 1,23x10 ⁻³ r ² = 44,6%	A = 2,83 B = 94,12 G = 0,128 m = 1,23x10 ⁻³ r ² = 70,9%
CP.12 recuperação	A = 0,70 B = -0,213 r ² = 75,0%	A = 0,64 m = -0,216 r ² = 54,3%	A = 0,0036 B = 0,792 r ² = 0,03%	A = 0,327 B = -0,070 G = -0,033 r ² = 89,0%	A = -0,808 m = -0,022 r ² = 88,3	A = 0,800 B = -0,540 G = -0,0030 m = -0,022 r ² = 90,7%

C.P.	$C = A + B \log t$	$C = C_0 + At^m$	$C = C_0 + \frac{t}{A+Bt}$	$\frac{C}{C_0} = \frac{A+B \log t + G}{(\log t)^2}$	$C = A e^{-tm}$	$C = A+B(1-e^{-mt})/Gt$
CP.13 fluência	A = 2,34 B = 0,16 r ² = 77,2%	A = 0,11 m = 0,369 r ² = 86,0%	A = 2,40 B = 0,47 r ² = 76,5%	A = 0,894 B = 0,038 G = 0,031 r ² = 84,3%	A = 2,31 m = 1,62x10 ⁻³ r ² = 54,2%	A = 2,26 B = 50,16 G = 0,093 m = 1,62x10 ⁻³ r ² = 79,3%
CP.13 recuperação	A = 0,709 B = -0,11 r ² = 77,5%	A = 0,70 m = -0,075 r ² = 71,0%	A = -0,0035 B = 1,550 r ² = 5,6%	A = 0,387 B = -0,0560 G = 0,0044 r ² = 78,1%	A = 0,71 m = -0,0040 r ² = 30,5%	A = 0,762 B = -16,21 G = 0,052 m = -0,0040 r ² = 74,8%
CP.14 fluência	A = 2,282 B = 0,124 r ² = 67,8%	A = 0,12 m = 0,309 r ² = 79,7%	A = 1,48 B = 2,40 r ² = 85,1%	A = 1,018 B = 0,046 G = 0,11 r ² = 69,2%	A = 2,28 m = 1,08x10 ⁻³ r ² = 32,7%	A = 2,23 B = 110,88 G = 0,13 m = 1,08x10 ⁻³ r ² = 64,8%
CP.14 recuperação	A = 0,536 B = -0,112 r ² = 85,8%	A = 0,52 m = -0,108 r ² = 80,9%	A = -0,0063 B = 2,16 r ² = 5,0%	A = 0,299 B = -0,054 G = -0,011 r ² = 90,1%	A = 0,55 m = -0,0016 r ² = 60,9%	A = 0,59 B = -3,92 G = 0,018 m = -0,0076 r ² = 83,1%
CP.15 fluência	A = 1,67 B = 0,115 r ² = 67,1%	A = 0,10 m = 0,252 r ² = 49,5%	A = 0,06 B = 11,92 r ² = 0,30%	A = 0,658 B = -0,0055 G = 0,070 r ² = 97,4%	A = 1,63 m = 2,10x10 ⁻³ r ² = 77,4%	A = 1,60 B = 16,15 G = 0,042 m = 2,10x10 ⁻³ r ² = 91,7%
CP.15 recuperação	A = 0,271 B = -0,041 r ² = 55,1%	A = 0,26 m = -0,070 r ² = 50,1%	A = -0,013 B = 4,10 r ² = 8,6%	A = 0,158 B = -0,029 G = 0,0066 r ² = 60,5%	A = 0,27 m = -0,0027 r ² = 11,3%	A = 0,286 B = -11,50 G = 0,027 m = -0,0027 r ² = 36,2%

C.P.	$C = A + B \log t$	$C = C_0 + At^m$	$C = C_0 + \frac{t}{A+Bt}$	$\frac{C}{C_0} = \frac{A+B \log t + G}{(\log t)^2}$	$C = A e^{-kt}$	$C = A+B(1-e^{-mt}) + Gt$
CP.16 fluência	A = 2,48 B = 0,216 r ² = 73,2%	A = 0,094 m = 0,404 r ² = 79,0%	A = 0,45 B = 9,32 r ² = 43,5%	A = 0,592 B = 0,0033 G = 0,078 r ² = 99,9%	A = 2,41 m = 2,59x10 ⁻³ r ² = 84,4%	A = 2,36 B = 16,88 G = 0,058 m = 2,59x10 ⁻³ r ² = 97,1%
CP.16 recuperação	A = 0,72 B = -0,069 r ² = 80,7%	A = 0,72 m = -0,043 r ² = 80,0%	A = -0,0026 B = 1,451 r ² = 14,5%	A = 0,319 B = -0,032 G = 0,0015 r ² = 80,9%	A = 0,73 m = -0,0027 r ² = 46,7%	A = 0,749 B = -13,22 G = 0,030 m = -0,0027 r ² = 60,2%
CP.17 fluência	A = 2,617 B = 0,137 r ² = 74,3%	A = 0,10 m = 0,353 r ² = 86,7%	A = 1,40 B = 4,12 r ² = 90,8%	A = 0,945 B = 0,033 G = 0,020 r ² = 79,10%	A = 2,60 m = 1,17x10 ⁻³ r ² = 44,3%	A = 2,55 B = 101,16 G = 0,129 m = 1,17x10 ⁻³ r ² = 77,4%
CP.17 recuperação	A = 0,444 B = -0,073 r ² = 83,7%	A = 0,44 m = -0,079 r ² = 79,3%	A = 0,0062 B = 2,48 r ² = 7,1%	A = 0,195 B = -0,030 G = -0,003 r ² = 84,8%	A = 0,45 m = -0,005 r ² = 48,9%	A = 0,478 B = -5,597 G = 0,021 m = -0,005 r ² = 76,5%
CP.18 fluência	A = 1,882 B = 0,094 r ² = 68,3%	A = 0,081 m = 0,302 r ² = 72,5%	A = 0,79 B = 8,96 r ² = 74,1%	A = 0,916 B = 0,025 G = 0,025 r ² = 75,9%	A = 1,87 m = 1,15x10 ⁻³ r ² = 43,5%	A = 1,83 B = 71,93 G = 0,091 m = 1,15x10 ⁻³ r ² = 74,4%
CP.18 recuperação	A = 0,313 B = -0,039 r ² = 60,7%	A = 0,31 m = -0,058 r ² = 57,3%	A = -0,008 B = 3,44 r ² = 8,4%	A = 0,185 B = -0,024 G = 0,0014 r ² = 61,0%	A = 0,315 m = -0,0032 r ² = 25,7%	A = 0,33 B = -7,631 G = 0,020 m = -0,0032 r ² = 50,1%

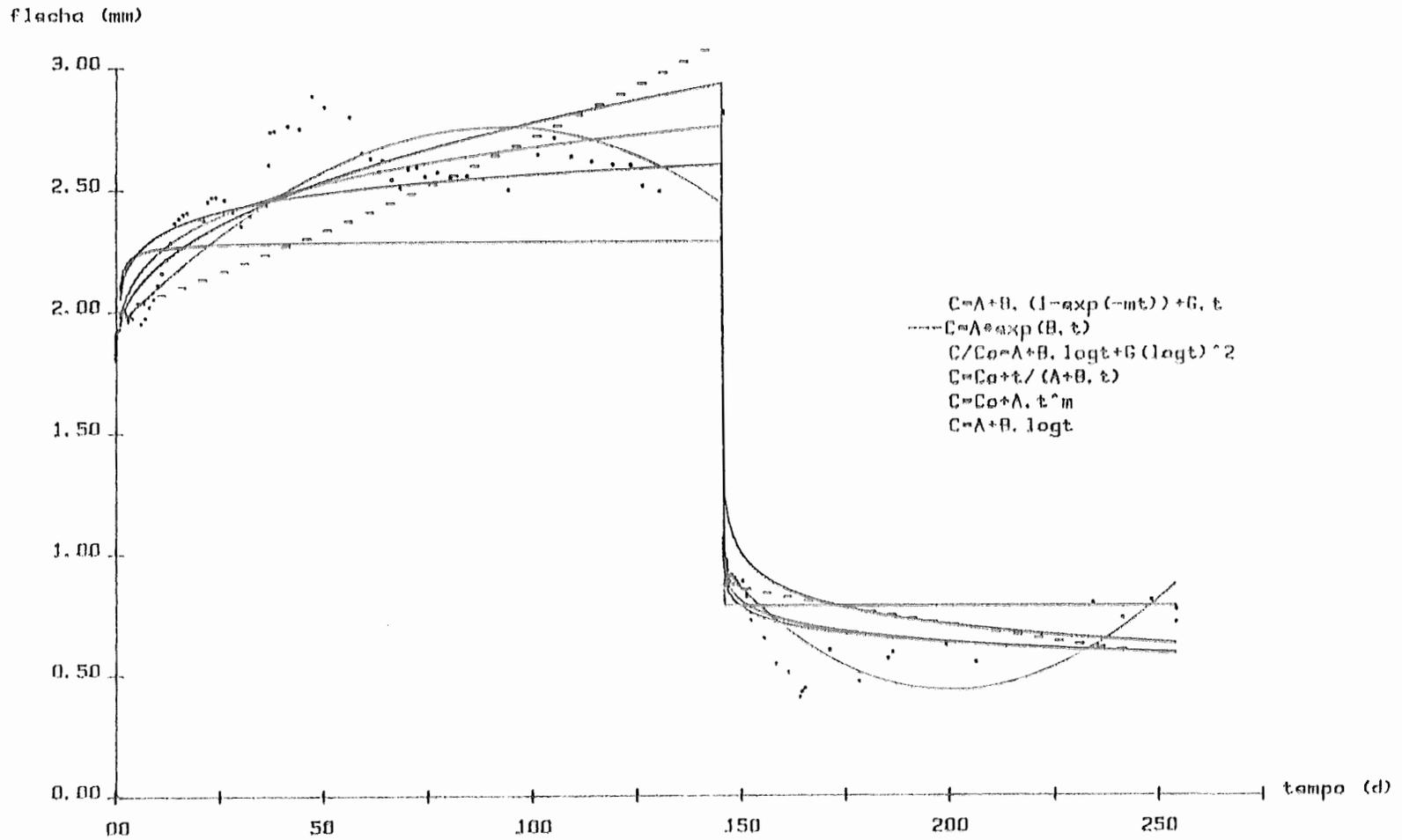


fig. 3.17- Fluência em Jatoba - C.P.1

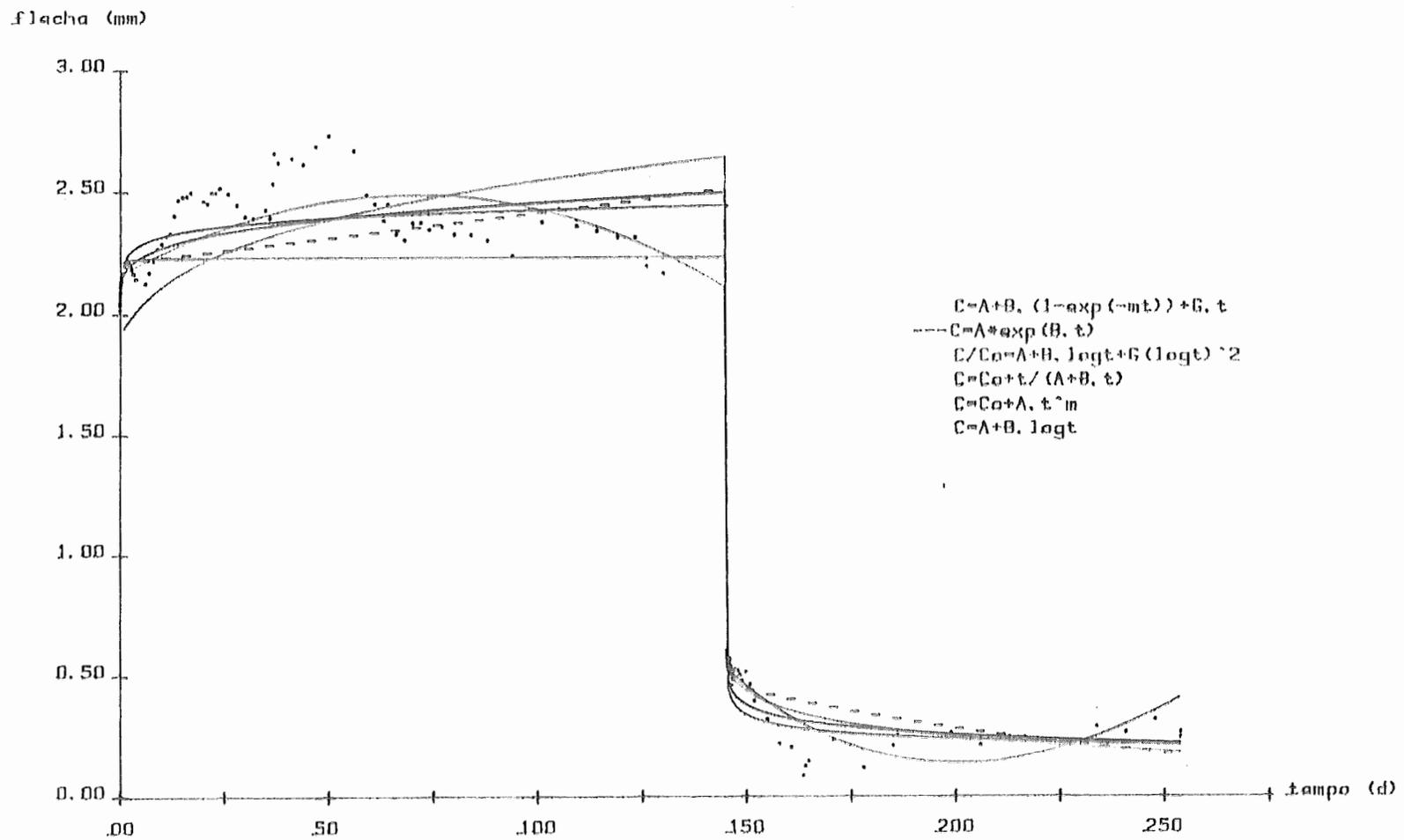


Fig. 3.18- Fluencia em Jatoba - C.P. 4

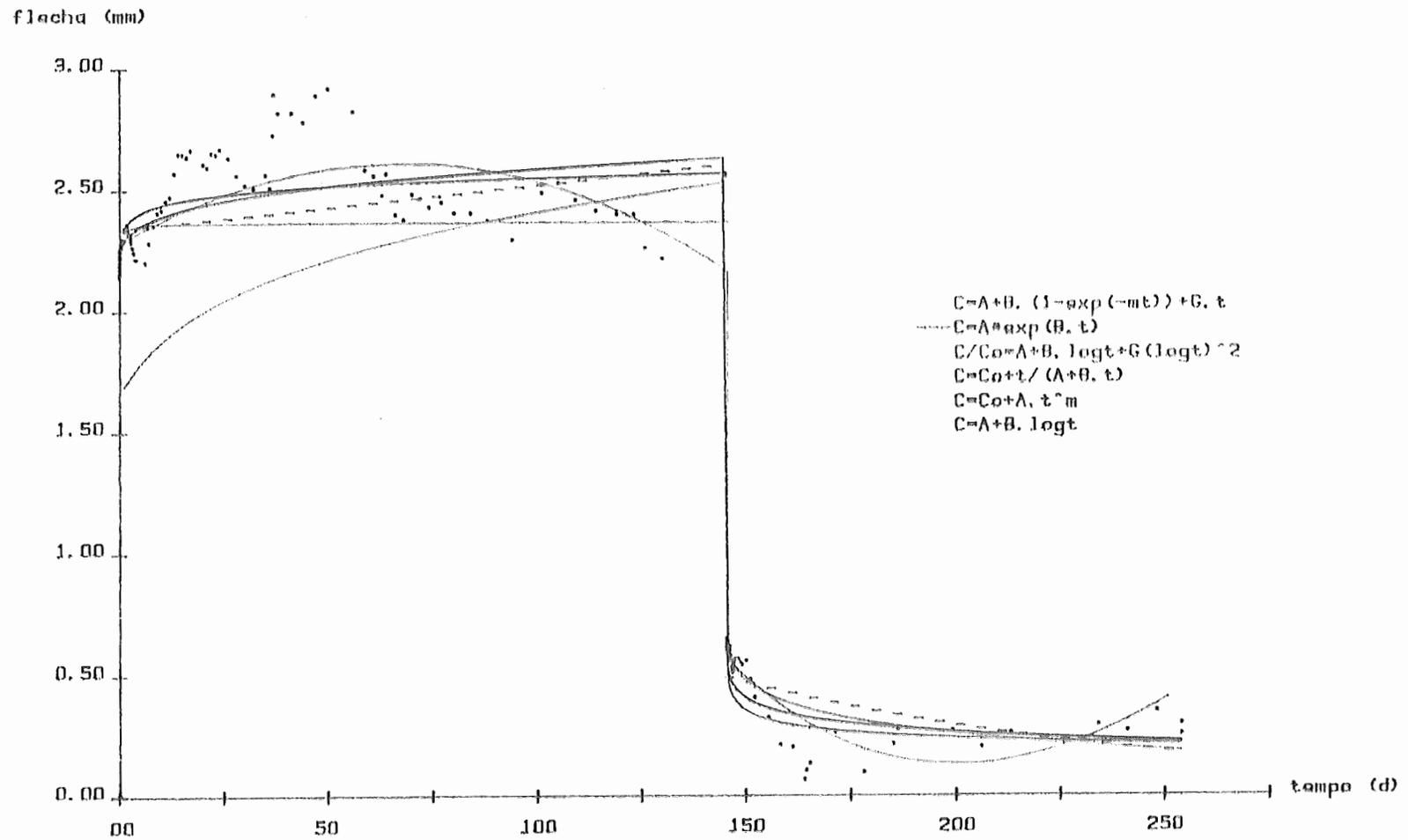


fig. 3.19 - Fluência em Jatoba - C.P.5

4- CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

4.1- Análise de Resultados

Dos gráficos e curvas de correlação obtidos na análise estatística observa-se uma tendência de estabilidade na fluência após 60 a 90 dias de carregamento, quando os corpos de prova estão submetidos a baixos níveis de tensão.

Na tabela 4.1 são mostrados os valores médios e desvio padrão da relação c/c_0 para vários períodos de carregamento, conforme classificação de CIB (1980) vide item 2.2, página 25.

ESPÉCIES DE MADEIRA	PERÍODOS DE CARREGAMENTO			
	Muito Curta Duração ≤ 10 horas	Curta Duração $\leq 10^3$ horas 1 mês	Média Duração $\geq 10^3$ horas	
			3 meses	5 meses
Peroba Rosa ⁽¹⁾	1,08 \pm 0,02	1,47 \pm 0,20	1,43 \pm 0,32 ⁽²⁾	1,55 \pm 0,32 ⁽²⁾
Eucalipto Citriodora ⁽²⁾	1,02 \pm 0,02	1,07 \pm 0,04	1,15 \pm 0,05	1,17 \pm 0,03
Pinho Paraná ⁽²⁾	1,03 \pm 0,03	1,10 \pm 0,07	1,16 \pm 0,07	1,21 \pm 0,03
Jatobá ⁽³⁾	1,09 \pm 0,07	1,18 \pm 0,10	1,32 \pm 0,12 ⁽⁴⁾	-
Jatobá ⁽⁵⁾	1,06 \pm 0,02	1,18 \pm 0,05	1,24 \pm 0,08	1,23 \pm 0,11

Tabela 4.1- Valores Médios de c/c_0 para Vários Períodos de Carregamento

- (1) Média de 9 corpos de prova
- (2) Média de 3 corpos de prova
- (3) Média de 21 corpos de prova de dimensões estruturais
- (4) Média de 12 corpos de prova de dimensões estruturais
- (5) Média de 18 corpos de prova

Os corpos de prova de dimensões estruturais foram carregados em três diferentes níveis de tensão porém apresentaram relação c/c_0 iguais em média, mesmo em diferentes períodos de carregamento, porém os níveis de tensão aplicados não podem ser garantidos como constantes por problemas nos sistemas de carregamento que serão discutidos posteriormente (item 4.2).

Os valores de fluência para Peroba Rosa ($c/c_0 = 1,47$) para carregamento de curta duração obtidos nos ensaios de Mathiesen são elevados e destoantes das médias ocorridas com outras madeiras, porém não existem dados relativos ao teor de umidade dos corpos de prova e

da umidade relativa do ar na época dos ensaios sendo o período de realização do mesmo relativamente curto (30 dias), não se permitindo confirmar a tendência das deformações por período mais longo, ficando difícil uma análise conclusiva a respeito destes dados.

Nos ensaios realizados por Watanabe existe uma tendência à estabilização da fluência após o 2º mês de ensaio, tendência também notada nos ensaios com Jatobá.

Em média a relação c/c_0 varia de 1,1 a 1,2 para curta duração de carregamento e de 1,2 a 1,5 para média duração do carregamento nos ensaios realizados.

O EUROCODE (1988) nº 5, por exemplo, recomenda os coeficientes de majoração da flecha da tabela 2.5, ou seja, 1,1 e 1,5 para carregamento de curta duração e de 1,3 e 2,0 para carregamento de média duração, respectivamente para classes de umidade 2 e 3. O NDS recomenda majoração de 50% na flecha em madeira climatizada e da 100% em madeira não climatizada para carregamento de longa duração. No STDC-CIB (1980) e recomenda a redução de 20% a 30% no módulo de elasticidade de que resultaria na majoração de 25% a 40% na flecha para carregamentos de curta e média duração para classes de umidade 2 e 3 respectivamente.

A comparação com valores de classe de umidade 2 e 3 é devido ainda não existir no LaMEM condições de se manter climatizado o ambiente de ensaio, conseqüentemente os corpos de prova e instrumentação ficaram expostos às variações de temperatura e umidade relativa do ar de São Carlos-SP cujo clima pode ser classificado como classe 2 no período de inverno e classe 2 a 3 no verão.

Comparando os valores de c/c_0 obtidos nos ensaios de corpos de prova de dimensões estruturais com os ensaios em corpos de prova de pequenas dimensões realizados com Jatobá, para um grau de confiabilidade de 95%, pode-se assumir a igualdade entre as médias, ou seja:

- . tempo de aplicação do carregamento = 10 horas (muito curta duração)
- . corpos de prova estruturais: Média = 1,0876
Desvio = 0,0701
21 corpos de prova
- . corpos de prova pequenos : Média = 1,0567
Desvio = 0,0163
18 corpos de prova

$$t = \frac{|\bar{x} - \bar{y}|}{S \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \leq t (P\%)$$

$$s^2 = \frac{Sx^2 (n_1 - 1) + Sy^2 (n_2 - 1)}{n_1 + n_2 - 2}$$

$$t = \frac{|1,0567 - 1,0876|}{0,0528 \sqrt{\frac{1}{21} + \frac{1}{18}}} = 1,8245 < 2,025 = t_{95\%}$$

. Para tempo de aplicação do carregamento $t = 1$ mês (curta duração)

. corpos de prova estruturais: Média : 1,17905
Desvio : 0,1030

. corpos de prova pequenos: Média : 1,1783
Desvio : 0,0494

$$t = \frac{|1,17905 - 1,17830|}{0,0827 \sqrt{\frac{1}{21} + \frac{1}{18}}} = 0,0282 < 2,025 = t_{95\%}$$

Os ensaios realizados com corpos de prova pequenos, os quais são mais simples, fornecem uma estimativa confiável do comportamento da madeira na fluência, sendo preferíveis aos ensaios com corpos de prova estruturais.

Dentre as várias curvas analisadas para equacionar a fluência as de melhores ajustes foram as logarítmica ($c = A + B \log t$), de Kollmann ($c/c_0 = a + b \log t + g \log^2 t$) tanto para o período de carregamento como durante a recuperação e as curvas parabólica ($C = C_0 + At^m$) e do módulo de Burger $C = A + B(1 + e^{mt}) + GT$ para o período de carregamento as outras curvas analisadas não apresentaram bom ajuste ou análise de variância e de resíduos.

Pela análise dos resultados e por extrapolação das curvas de ajuste recomenda-se os seguintes coeficientes de fluência conforme o período de carregamento para madeira não climatizada.

Majoração na flecha:

- . 50% - carregamento média duração - estruturas provisórias, formas para concreto, cimbramento, etc.
- . 100% - carregamento de longa duração ou permanente.

4.2- Dificuldades Encontradas na Experimentação

O alto custo dos ensaios, o limitado espaço físico disponível no LaMEM para realização dos ensaios de fluência os quais necessitam um espaço reservado, sala climatizada e o longo tempo dos ensaios foram as principais dificuldades encontradas para realização deste trabalho.

Quanto aos corpos de prova de dimensões estruturais seriam necessárias cargas totais de 80KN que além de representar custos excessivos, apresentariam a dificuldade do manuseio das cargas na aplicação e retirada do carregamento. Como solução inicial foi montada a estrutura descrita em 3.2 para aplicação da carga por meio de alavancas, porém as deformações ocorridas na estrutura e nos sistemas de aplicação de carga determinaram a descarga prematura dos corpos de prova mais carregados demonstrando a pouca praticidade do sistema utilizado. Outro problema surgido neste sistema de aplicação de carga foi a não correspondência entre o peso colocado e a carga efetivamente aplicada aos corpos de prova, demonstrando a pouca eficiência na transmissão de esforços proporcionado pelo sistema.

Optou-se então pela utilização de corpos de prova de pequenas dimensões.

Quanto às leituras das deformações, inicialmente utilizaram relógios comparadores num sistema semelhante ao da fig. 3.2 porém os erros de leitura eram constantes, comprometendo a validade do próprio ensaio. Com a utilização de transdutores indutivos de deslocamento (HP-24DCDT) foi possível a realização das leituras em tempo reduzido, primeiro através do voltímetro digital e posteriormente através do sistema de aquisição de dados HP-3497A, mantendo-se cada corpo de prova com um DCDT posicionado para leitura.

Outras dificuldades ocorreram na definição e utilização dos modelos de tratamento matemático e estatístico dos resultados obtidos não sendo conclusiva a definição de uma equação de fluência para flexão.

Não foram executados novos ensaios por não existir ainda no LaMEM local reservado e climatizado para realização dos mesmos.

4.3- Metodologia Proposta

Após análise da literatura e experimentos realizados propõe-se uma metodologia para realização de novos ensaios de fluência e definição dos parâmetros que influem na deformação lenta:

- Ensaio realizado com corpos de prova de pequenas dimensões: 2,0cm x 2,0cm x 62cm, os quais seriam retirados aos pares das peças a serem ensaiadas, climatizados ao ambiente de ensaios, medidos, pesados e retiradas amostras de 2,0cm x 2,0cm x 2,0cm para determinação da umidade de início de ensaio.

- Determinar os módulos de elasticidade de cada corpos de prova individualmente, tomando-se o cuidado de não exceder a flecha inicial a ser aplicada no ensaio de fluência ou 50% da tensão limite

de proporcionalidade. Recomenda-se não exceder a flecha de $1/250$ do vão livre = 2,3mm.

- Executar de preferência, outros ensaios na mesma viga, tais como flexão estática, tração, compressão paralela às fibras e compressão normal às fibras e também determinar o módulo de elasticidade da viga antes do desdobro em corpos de prova. Valores que permitiriam determinar parâmetros de comparação entre a fluência e outros ensaios.

- Realizar ensaios de fluência na flexão em corpos de prova de 2cm x 2cm x 60cm simplesmente apoiados com vão livre de 58cm e carregados com carga pontual centrada.

- Determinar todas dimensões dos corpos de prova com precisão de 0,1mm no início e final de cada ensaio.

- Determinar massa dos corpos de prova com precisão de 0,1g no início e final de cada ensaio.

- O carregamento aplicado por 60 a 90 dias enquanto o período de recuperação deve ser maior, na ordem de 150 a 180 dias, para determinação da flecha residual, com leituras de deformações conforme o esquema seguinte:

Primeiras 4 (quatro) horas tanto no carregamento como na descarga: leitura a cada 30 minutos.

. Da 4ª a 48 horas - leitura horária

. Após o 2º dia - leituras diárias

. Após o 20º dia - leituras a cada dois ou três dias

Terminado o ensaio executar ensaios de flexão estática, determinar peso específico e umidade de cada corpo de prova e comparar com valores iniciais determinados.

- Devem ser mantidas constantes as condições climáticas do local de ensaio.

No fim de cada ensaio deve-se obter, também, o módulo de elasticidade, peso específico, umidade no início e final do ensaio a tensão de ruptura e a de proporcionalidade à flexão após o término do ensaio e realizar ensaio de compressão paralela às fibras em corpos de prova 2 x 2 x 8cm retirados dos corpos de prova de flexão após a ruptura.

Dos resultados comparar e relacionar a fluência às deformações na ruptura à flexão e à compressão paralela, e aos outros parâmetros de determinação de características físicas e mecânicas da madeira.

4.4- Propostas para Novos Estudos

Além do prosseguimento dos ensaios de fluência em peças fletidas, melhorando a análise matemática iniciada e definindo melhores modelos reológicos para a sua representação propõe-se o estudo da fluência em outras solicitações como na compressão paralela ou normal às fibras e na tração paralela às fibras, que sendo solicitações puras facilitam a análise matemática e definição de parâmetros.

Para ensaio de compressão poder-se-ia utilizar a metodologia semelhante a proposta por SENFT e SUDDARTH (1971) capítulo 2, página 11 e 12. E para ensaios de tração a metodologia utilizada para o aço com as adaptações necessárias para a madeira, haja vista a existência de todo um aparato já desenvolvido para o estudo da fluência em aço e determinação de pequenas deformações.

Propõe-se também o estudo e experimentação em vários níveis de tensão para determinação do comportamento da fluência em função do carregamento aplicado.

5- BIBLIOGRAFIA

- AMARAL Fã, E.M. - Deformação Lenta. In: Colóquio sobre Retração e Deformação Lenta do Concreto. São Paulo, IBRACON, Maio de 1978.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - Cálculo e Execução de Estruturas de Madeira - NBR 7190. Rio de Janeiro, ABNT, 1982. 32p.
- _____ - Método de Ensaio para Determinação das Características Físicas e Mecânicas das Madeiras - MB 26. Rio de Janeiro, ABNT, 1962. 16p.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - 1981 Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, Pa., ASTM, 1981. Part 22: Wood; Adhesives.
- BARBOZA CARNEIRO, F.L.L. - Considerações sobre influência da retração e da fluência do concreto no cálculo das estruturas. In: Colóquio sobre Retração e Deformação Lenta do Concreto. São Paulo, IBRACON, Maio de 1978.
- BODIG, J. & JAYNE B.A. - Mechanics of Wood and Wood Composites. N.York Van Nostrand Reinhold, 1982
- BOX, G.E.P.; HUNTER, W.G.; HUNTER, J.S. - Statistics for Experimenters. N.York, John Wiley & Sons, 1978. 653p.
- CAMARGO, W.M. - Anotações a respeito da retração e da fluência do concreto, tendo em vista sua heterogeneidade e conteúdo de vazios. In: Colóquio sobre Retração e Deformação Lenta do Concreto. São Paulo, IBRACON, Maio de 1978.
- CLOUSER, W.S. - Creeps of small wood beams under constant bending load. Mad., Wis., USDA-FS-FPL. (2150), sept. 1959
- COMITE EURO-INTERNACIONAL DU BETON (CEB) - Structural effects of time dependent behavior of concrete. Suíça, 1984. 279p. (CEB Design Manual)

COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES (CEC) - Eurocode nº 5 : Common unified rules for timber structures. Brussels, Luxemburgo, 1988. 138p.

CONSEIL INTERNATIONAL DU BÂTIMENT (CIB) - Structural timber design code. 5.ed. Paris, 1980.

CURRY, W.T. & TORY, J.R. - The relation between the modulus of rupture (ultimate bending stress) and modulus of elasticity of timber. Building Research Establishment, Princes Risborough Laboratory, 1976.

FUSCO; P.B. - Estruturas de Concreto: Fundamentos Estatísticos da Segurança das Estruturas. São Paulo, McGraw Hill do Brasil, EDUSP, s.ã.

FOREST PRODUCTS LABORATORY (FPL) - Wood Handbook: Wood as an engineering material. Washington, USDA-FS-FPL, 1974. (Agric. Handbook nº 72).

GERHARDS, C.C. et alii - Proposed studies of time-related load effects on wood materials. Forest Products Journal, 26 (12), Dec. 1976.

GERHARDS, C.C. - Effects of duration and rate of loading on strength of wood and wood-based materials. Mad., Wis., USDA-FS-FPL, 1977. (Research Paper, FPL 283).

_____ - Time-related effects of load on strength of wood. In: Conference on Environmental Degradation of Engineering Materials. Proceedings, Blacksburg, VA., Oct 1977.

_____ - Time-related effects of loading on wood strength: a linear cumulative theory. Wood Science, 11 (3), Jan. 1978.

HETÉNYI, M. - Handbook of experimental stress analysis. New York, 1966.

HEHL, M.E. - FORTRAN: técnicas práticas e eficientes de programação. São Carlos, ICMSC-USP, 1974. 132p.

_____ - Sistema de programação FORTRAN IV - G/H. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 1972. 233p.

- HISADA, T. - Creep and behavior of wood related to kiln drying: effect of temperature on the creep of wood during drying. Ibaraki, Japão, 1981.
- HIRAI, N. et alii - Creep of wood: effect of temperature on the bending creep of wood. Un. Shizuoka, Japão, 1981.
- HOSSDORF, H. - Modelos Reducidos: método de calculo. ET S. Madrid, 1972. p.137-143.
- HULT, J.A.H. - Creep in engineering structures. Suecia, 1966. 115p.
- HUNT, M.O.; FERGUS, D.A.; SUDDARTH, S.K. - Improved graphic presentation of duration of load effect for wood. West Lafayette, Purdue University, Aug. 1973.
- KARLSEN, G.G. - Wood structures. Moscou, Ed. Mir Publishers, 1967. 638p.
- KANVIK, K.J.; McNATT, J.D.; SUPERFESKY, M.J. - Stacking method for long-term concentrated load testing of floor panels. Forest Products Journal, 30 (9), 1980.
- KEITH, C.T. - The anatomy of compression failure in relation to creep inducing stresses. Wood Science, 4 (2), Oct. 1971.
- KOLLMANN, F. - Tecnologie de la madeira y sus aplicaciones. Madrid, Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias y Servicio de la Madera, 1959. 675p. v.I.
- KOLLMANN, F. & COTÉ JR. W.A., - Principles of wood science and technology. Heildelberg, Germany, Spring - Verlag, 1968. 559p. v.I - Solid Wood.
- LAHR, F.A.R. - Sobre a determinação das propriedades de elasticidade da madeira. São Carlos, EESC-USF, 1983. Tese (Doutor Engenheiro).
- LEVI, F. & PIZZETTI, G. - Fluage, Plasticité, Precontrainte. Paris, DUNOD, 1951. 101p.

- MACIEL, J.N.D. - Redistribuição de esforços em estruturas provocada pela fluência do concreto. In: Jornadas Sul Americanas de Engenharia Estrutural, 18, Salvador- BA, Dez. 1976.
- MADSEN, B. - Duration of load for wood in tension perpendicular to grain. Vancouver, Nov. 1972. (Structural Research Series - Rep. 7).
- MANSUER, W.J. - Efeitos da fluência linear em peças de concreto com ar madura dupla, sujeitas a flexão normal composta. In: Jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estrutural, 18, Salvador-BA, Dez. 1976.
- MATEUS, T.J.E. - Bases para dimensionamento de estruturas de madeira. Lisboa, LNEC, 1962.
- McNATT, J.D. - Design stresses for hardboard - effect of rate duration and repeated loading. Forest Products Journal, 20 (1), Jan. 1970.
- _____ - Effect of rate of loading and duration of load on properties of particleboard. Mađ., Wis., USDA-FS, 1974. (Res. Paper-FPL 270).
- MILLER, D.G. & GEORGE, P. - A method of measuring creep and recovery due to flexural load of short duration. Wood Science, 7(2), Mar. 1974.
- MORETTI FO, J. - Redação de Dissertações e Teses. Piracicaba-SP, ESALQ-USP, 1982. 67p.
- MORI, M; FUSHITANI, M.; SATOH, M. - Analysis of bending creep fracture of wood in the radial section loading by the theory of stochastic process. Tokyo, Japão, 1981.
- NATIONAL FOREST PRODUCTS ASSOCIATION (NFPA) - National design specification for wood construction. Washington, DC., NFPA, 1977. 78p.
- NEVILLE, A.M. - Creep of concrete: plain, reinforced and prestressed. New York, 1970. 621p.
- _____ - Fluência do concreto. In: _____ Propriedades do concreto. São Paulo, PINI, 1982.

- OZELTON, E.C. & BAIRD, J.A. - Timber designer's manual. London, Crosby Lockwood Staples, 1976. 517p.
- PARADINE, C.G. & PIVETTI, B.H.P. - Métodos estatísticos para tecnólogos. São Paulo, Polígono, EDUSP, 1974. 350p.
- EARSON, R.G. - The effect of duration of load on the bending strength of wood. Holzforsch, 26(4), 1972.
- RABOTNOV, Y.N. - Creep problems in structural members. Amsterdam, North Holland Publising, 1969. 822p.
- RUDIO, F.V. - Introdução ao projeto de pesquisa científica. Petrópolis, Vozes, 1979. 124p.
- SENFT, J.F. & SUDDARTH, S.K. - An analysis of creep inducing stress in Sitka Spruce. Wood and Fiber, 2(4), 1971.
- SNEDECOR, G.W. & CICHAN, W.G. - Métodos Estatísticos. México, Companhia Editorial Continental, 1977. 703p.
- TRAJTENBROT, B.A. - Los algoritmos y la resolucion automatica de problemas. Moscou, Ed. MIR, 1977. 109p.
- VAN VLACK, L.H. - Princípios da Ciência dos Materiais. São Paulo, Edgard Blucher, Brasília, INL, 1973.
- WATANABE, D.H. - Deformação Lenta em Peças Estruturais de Madeira. São Carlos, LaMEM-EEESC-USP, 1982/1983. (Relatórios de Iniciação Científica n°s 1 e 2).
- WOOD, L.W. - Behavior of wood under continued loading. Eng. News Record, 1947.
- _____ - Relation of strength of wood to duration of load. Mad., Wis., USDA-FS-FPL, 1951.