

Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP

Deptº de Engenharia de Estruturas e Fundações



ISSN 0103-9822

BT/PEF/9318

Uma Proposta de Normalização das Resistências da Madeira Estrutural

Péricles Brasiliense Fusco

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações
Boletim Técnico - Série BT/PEF

Diretor: Prof. Dr. Francisco Romeu Landi
Vice-Diretor: Prof. Dr. Antonio Marcos de Aguirra Massola

Chefe do Departamento: Prof. Dr. Péricles B. Fusco
Suplente do Chefe do Departamento: Prof. Dr. Victor M. de Souza Lima

Conselho Editorial

Dinâmica e Estabilidade das Estruturas
Engenharia de Solos
Estruturas de Concreto, Metálicas, de Madeira
Interação Solo-Estrutura
Mecânica Aplicada
Métodos Numéricos
Pontes e Grandes Estruturas
Teoria das Estruturas

Prof. Dr. C. E. N. Mazzilli
Prof. Dr. W. Hachich
Prof. Dr. P. B. Fusco
Prof. Dr. C. E. M. Maffei
Prof. Dr. P. M. Pimenta
Prof. Dr. J. C. André
Prof. Dr. D. L. de Zagottis
Prof. Dr. V. M. Souza Lima

Coordenador Técnico: Prof. Dr. L. A. C. Diogo

O Boletim Técnico é uma publicação da Escola Politécnica da USP/Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações, fruto de pesquisas realizadas por docentes e pesquisadores desta Universidade

Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP
Deptº de Engenharia de Estruturas e Fundações

ISSN 0103-9822

BT/PEF/9318

**Uma Proposta de Normalização
das Resistências da Madeira
Estrutural**

Péricles Brasiliense Fusco

São Paulo - 1993

Fusco, Péricles Brasiliense

Uma proposta de normalização das resistências da madeira estrutural / P.B. Fusco. -- São Paulo : EPUSP, 1993.

21p. -- (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações, BT/PEF/9318)

1. Estruturas de madeira. 2. Resistência dos materiais I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações II. Título III. Série

CDU 624.011.1
620.17

UMA PROPOSTA DE NORMALIZAÇÃO DAS RESISTÊNCIAS DA MADEIRA ESTRUTURAL

PÉRICLES BRASILIENSE FUSCO(*)

RESUMO

Este trabalho esclarece os conceitos relativos às resistências da madeira estrutural introduzidos na proposta de revisão da NBR 7190, apresentando-se também a calibração efetuada para a passagem do método das tensões admissíveis para o método dos estados limites referente ao projeto de estruturas de madeira

1. INTRODUÇÃO

Esta publicação apresenta a proposta de revisão da normalização referente às resistências da madeira estrutural, a serem introduzidos na Norma Brasileira NBR 7190⁽¹⁾.

A presente proposta é coerente com os conceitos adotados pela Norma Brasileira NBR 8681⁽²⁾ e com o Eurocode N° 5⁽³⁾.

Aos problemas de resistência da madeira é dado um tratamento análogo aos que se aplicam ao concreto e o aço, ganhando-se assim uma uniformidade de conceitos que trará benefícios significativos à técnica de projetar estruturas de madeira.

2. A ORGANIZAÇÃO DO CAPÍTULO 5 NBR 7190

5. PROPRIEDADES DOS MATERIAIS

5.1 Definições

5.1.1 Propriedades da madeira

5.1.2 Resistência

5.1.3 Rigidez

(*) - Prof. Titular da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Chefe do Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações

(1) - NBR 7190 - Norma Brasileira - Projeto e execução de estruturas de madeira.

(2) - NBR 8681 - Norma Brasileira - Ações e segurança nas estruturas

(3) - Eurocode N° 5 - Design of Timber Structures, 1991

- 5.1.4 Classes de umidade
- 5.1.5 Condição padrão de referência
- 5.1.6 Condições especiais de emprego
- 5.1.7 Classes de serviço
- 5.1.8 Caracterização da resistência da madeira
- 5.1.9 Caracterização simplificada
- 5.2 Valores representativos
 - 5.2.1 Valores médios
 - 5.2.2 Valores característicos
 - 5.2.3 Valores de cálculo
 - 5.2.4 Coeficientes de modificação
 - 5.2.5 Coeficientes de ponderação para estados limites últimos
 - 5.2.6 Coeficientes de ponderação para estados limites de utilização
 - 5.2.7 Estimativa da resistência característica

Na presente publicação, a numeração dos itens da NBR 7190 é indicada sempre entre parênteses.

3. VALORES REPRESENTATIVOS

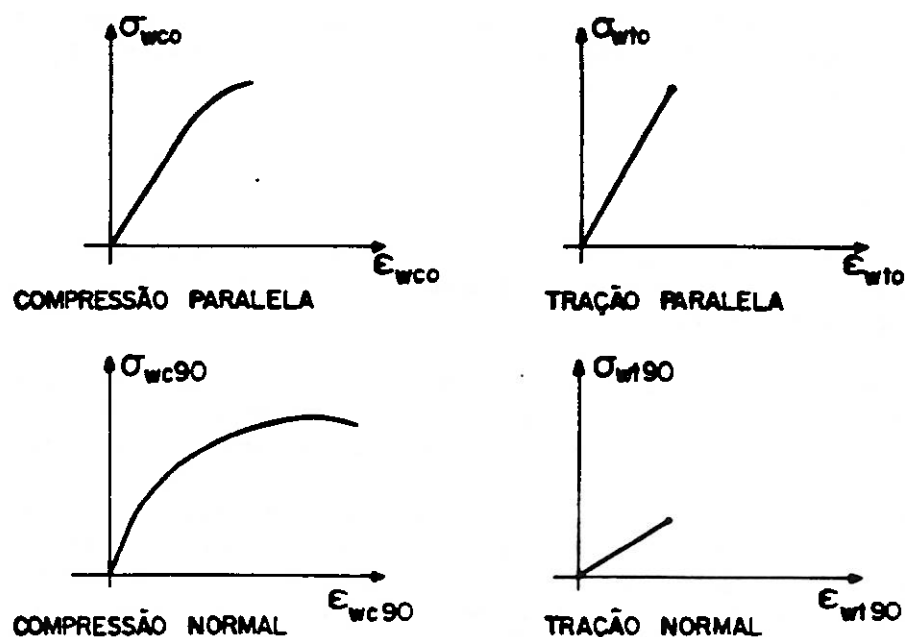
(5.1) Valores representativos

(5.1.1) Propriedades da madeira

"As propriedades da madeira são condicionadas por sua estrutura anatômica, devendo distinguir-se os valores correspondentes à tração dos correspondentes à compressão, bem como os valores correspondentes à direção paralela às fibras dos correspondentes à direção normal às fibras. Também devem distinguir-se os valores correspondentes às diferentes classes de umidade, definidas em S.I.S."

Comentário:

As figuras seguintes ilustram o comportamento típico das madeiras nas diferentes situações nelas indicadas.



Observe-se que, na compressão paralela, frequentemente a madeira é assimilada a um material elasto-frágil, embora na flexo-compressão possa ser admitida elasto-plástica, como no caso da compressão normal. Na tração, a madeira tem um comportamento nitidamente elasto-frágil, com resistência à tração normal muito menor que na tração paralela às fibras.

(5.1.2) Densidade

"Define-se o termo prático densidade básica da madeira como sendo a massa específica convencional obtida pelo quociente da massa seca pelo volume saturado.

A massa seca é determinada com corpos-de-prova mantidos em estufa a 100°C durante 48 horas. O volume saturado é determinado com corpos-de-prova submersos em água até atingirem peso constante."

O termo densidade básica é respeitado por um problema de tradição. A sua definição emprega medidas de fácil obtenção, isentas de incertezas devidas à retração ou ao fendilhamento dos corpos-de-prova.

(5.1.3) Resistência

"A resistência é a aptidão da matéria suportar tensões.

A resistência é determinada convencionalmente pela máxima tensão que pode ser aplicada a corpos-de-prova de material considerado, até o aparecimento de fenômenos particulares de comportamento, além dos quais há restrição de emprego do material em elementos estruturais. De modo geral estes fenômenos são os de ruptura ou de deformação específica excessiva.

Os efeitos da duração do carregamento e da umidade do meio ambiente são considerados por meio dos coeficientes de modificação k_{mod} adiante especificados."

Comentário:

Frequentemente a resistência de um material é associada à idéia de que sua limitação é determinada pelo fenômeno da ruptura, isto é, pela desagregação do próprio material.

Isto em geral é aceitável quando a desagregação do material ocorre com deformações específicas relativamente pequenas, como acontece com o concreto comprimido ou tracionado e, com a madeira, em ensaios de tração.

Todavia, o mesmo conceito não se aplica, por exemplo, aos aços estruturais. Neste caso, a idéia de limitação da resistência está associada ao fenômeno de escoamento, pois em geral os alongamentos que ocorrem com o escoamento dos aços não podem ser tolerados em uma utilização normal da estrutura feita com estes materiais. Fala-se então na resistência de escoamento dos aços.

O que se entende, portanto, por resistência de um material, fica determinado por fenômenos que, na estrutura, caracterizam o aparecimento de estados limites últimos, isto é, de estados que determinam a interrupção da utilização da construção. Embora estes fenômenos não impliquem necessariamente na desagregação do material, eles são tratados, de modo convencional, como se fossem fenômenos de ruptura.

Assim, nos ensaios de peças de madeira sob compressão paralela, o início da flambagem localizada das fibras de madeira caracteriza um fenômeno de esgotamento da aptidão desse material suportar tensões. Não é preciso que se chegue a uma destruição mais evidente do corpo de prova para que sua resistência tenha sido alcançada.

A eventual maior tensão que a madeira possa suportar, acima da tensão que provoca o início de flambagem das fibras longitudinais, revela tão somente a colaboração de fenômenos que ocorrem após a ruptura convencional do material.

Problema análogo ocorre com a ruptura das peças fletidas.

Para as vigas submetidas à flexão simples, pelo fato da determinação das tensões atuantes depender de teorias mais ou menos complexas, é preciso repensar qual o valor das tensões que efetivamente provocam o que se deve entender por ruptura da peça.

O importante é entender que a resistência não é determinada pela máxima tensão atuante no ensaio, quando esta tensão máxima ocorre com cargas significativamente maiores que as que provocam fenômenos que, na estrutura, determinam a caracterização de estados limites últimos.

(5.1.4) Rigidez

"A rigidez dos materiais é medida pelo módulo de Young, ou módulo de rigidez, determinado na fase de comportamento elástico-linear.

O módulo de rigidez E_{w0} paralela às fibras é medido no ensaio de compressão paralela às fibras e o módulo de rigidez E_{w90} normal às fibras é medido no ensaio de compressão normal às fibras.

Na falta de determinação experimental específica, permite-se adotar

$$E_{w90} = \frac{1}{10} E_{w0}$$

Os efeitos da duração do carregamento e da umidade do meio ambiente são considerados por meio dos coeficientes de modificação k_{mod} adiante especificados."

(5.1.5) Classes de umidade

"O projeto das estruturas de madeira deve ser feito admitindo-se uma das classes de umidade adiante definidas.

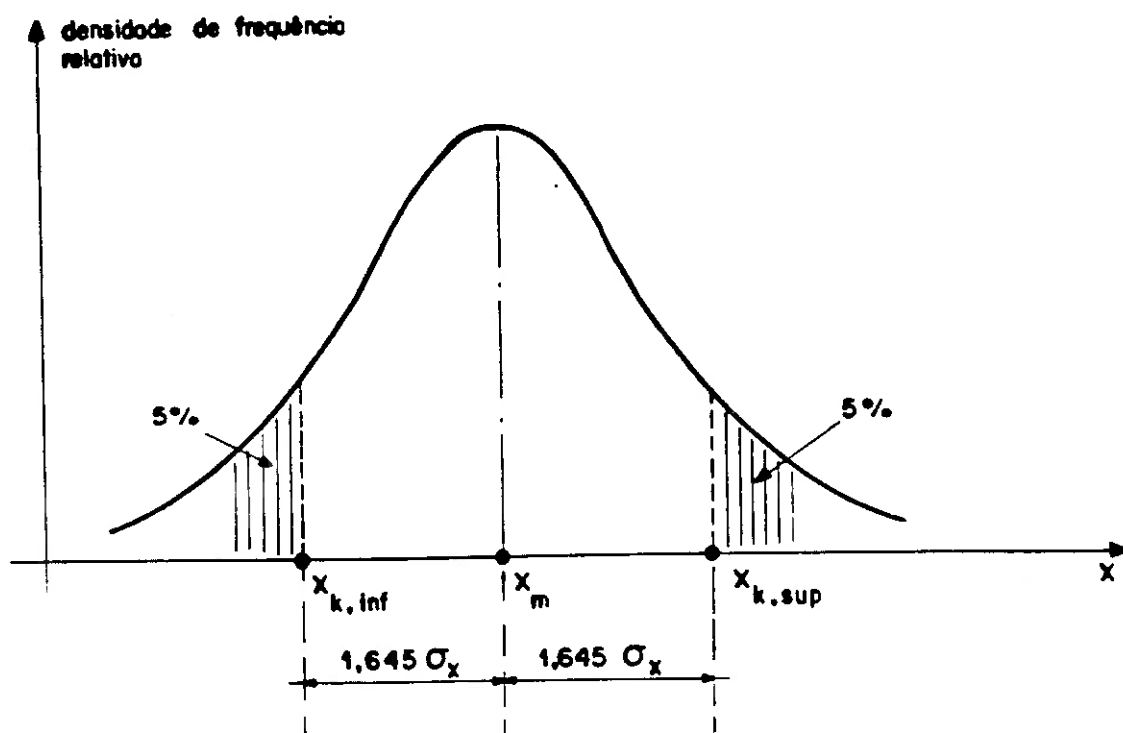
As classes de umidade têm por finalidade determinar as propriedades de resistência e de rigidez da madeira em função das condições ambientais onde permanecerão as estruturas."

CLASSES DE UMIDADE	DE UMIDADE RELATIVA DO AMBIENTE U_{amb}	UMIDADE DE EQUILÍBRIO DA MADEIRA U_{eq}
1	$\leq 65\%$	12%
2	$U_{amb} \leq 75\%$	15%
3	$U_{amb} \leq 85\%$	18%
4	$U_{amb} > 85\%$ durante longos períodos	$\geq 25\%$

Comentário:

De modo geral, admite-se que a resistência de um material qualquer tenha uma distribuição normal de frequências relativas.

A figura seguinte ilustra essa distribuição.



(5.1.6) Condição padrão de referência

"Os valores especificados nesta Norma para as propriedades de resistência e de rigidez da madeira são os correspondentes à classe 1 de umidade, que se constitui na condição padrão de referência, definida pelo teor de 12% da umidade da madeira.

Na caracterização usual das propriedades de resistência e de rigidez de um dado lote de material, os resultados de ensaios realizados com diferentes teores de umidade da madeira devem ser apresentados com os valores corrigidos para a umidade padrão de 12%, classe 1, admitindo-se como desprezível a influência da temperatura na faixa usual de utilização, de 10°C a 50°C."

Comentário:

Como as investigações já realizadas no Brasil mostraram que a temperatura ambiente na faixa usual de 10°C a 50°C pouca influência tem sobre a umidade de equilíbrio da madeira, as classes de umidade foram definidas em função exclusiva da umidade relativa do ambiente em que a estrutura ficará situada. Em cada uma das classes consideradas, admite-se que a umidade referida possa ser ultrapassada apenas umas poucas semanas por ano.

Observe-se que a condição padrão de referência admite que a umidade de equilíbrio da madeira seja de 12%. Este valor é compatível com o que se tem admitido nos últimos 50 anos nas investigações das madeiras brasileiras e respeita a tendência moderna da normalização internacional.

(5.1.7) Condições especiais de emprego

"A influência da temperatura nas propriedades de resistência e de rigidez da madeira deve ser considerada apenas quando as peças estruturais puderem estar submetidas por longos períodos de tempo a temperaturas fora da faixa usual de utilização."

(5.1.8) Classes de serviço

"As classes de serviço das estruturas de madeira são determinadas pelas classes de duração do carregamento, definidas em (4.1.5), e pelas classes de umidade, definidas em (5.1.4)."

(5.1.9) Caracterização da resistência da madeira

"Para o projeto estrutural, a caracterização das propriedades de resistência da madeira é feita por meio da determinação dos seguintes valores, que devem ser referidos à condição padrão de umidade:

a) resistência à compressão paralela às fibras ($f_{wc,0}$ ou $f_{c,0}$), a ser determinada em ensaios de compressão uniforme, com duração total entre 3 e 8 minutos, em corpos de prova com seção transversal quadrada de 5cm de lado e com comprimento de 20cm;"

Comentário:

O emprego de corpos de prova muito pequenos, com dimensões de 2x2x3 centímetros pode sofrer de uma grande influência do atrito com os pratos da prensa de ensaio, além de exigir grande precisão no corte dos exemplares.

A escolha da seção transversal de 5x5 centímetros permite a extração de corpos de prova a partir de peças usuais com seção transversal nominal de 6x16 centímetros. O comprimento de 20 centímetros garante uma razoável insensibilidade ao atrito nos topos do corpo de prova.

b) "resistência à tração paralela às fibras ($f_{wt,0}$ ou $f_{t,0}$), a ser determinada em ensaios de tração uniforme, com duração total de 3 a 8 minutos, em corpos de prova alongados, com trecho central de seção transversal uniforme de área A e comprimento não menor que $15\sqrt{A}$, com extremidades mais resistentes que o trecho central e com concordâncias que garantam a ruptura no trecho central;"

Comentário:

Um corpo de prova de fabricação bastante simples é o de seção circular, que pode ser obtido por torneamento.

As extremidades mais resistentes, de configuração geral tronco-cônica, devem ser presas à máquina de ensaio por meio de compressão transversal, evitando-se o cisalhamento das superfícies cilíndricas nos prolongamentos do corpo médio paralelo.

- c) "resistência à compressão normal às fibras ($f_{w,c,90}$ ou $f_{c,90}$), a ser determinada em um ensaio de compressão uniforme, com duração total de 3 a 8 minutos, em corpos de prova de seção quadrada de 5cm de lado e com comprimento de 10cm;"

Comentário:

Usualmente o corpo de prova pode ser obtido pela superposição de dois blocos cúbicos com 5 cm de aresta.

- d) "resistência à tração normal às fibras ($f_{w,t,90}$ ou $f_{t,90}$), nas coníferas, pode ser determinada em ensaio de flexão de faixas formadas por peças coladas, com o plano de flexão perpendicular aos planos de colagem, dando-se a ruptura por tração normal fora desses planos de colagem;

Observação: para efeito de projeto estrutural, considera-se como nula a resistência à tração normal às fibras das peças de madeira serrada."

Comentário:

A resistência à tração normal às fibras tem interesse apenas em uns poucos casos especiais, como o das placas de madeira laminada e colada formadas pela justaposição, lado a lado, de diversas ripas de madeira serrada.

Nestes casos, em virtude do comportamento frágil do material, o ensaio de flexão fornece com boa aproximação o valor procurado.

- e) "resistência ao cisalhamento paralelo às fibras ($f_{w,v,0}$ ou $f_{v,0}$), a ser determinada pelo ensaio de cisalhamento padronizado especificado pelo Método Brasileiro MB-26."

(5.1.10) Caracterização simplificada

"Permite-se a caracterização simplificada da resistência da madeira, feita apenas por meio do ensaio de compressão paralela às fibras, sempre que as outras resistências puderem ser estimadas em função deste único parâmetro."

Comentário:

Esta poderá ser uma situação bastante comum na construção de obras correntes.

Em princípio, nesta Norma, admite-se que esta caracterização possa ser suficiente quando se empregam espécies conhecidas de madeira.

(5.2) Valores representativos

(5.2.1) Valores médios

"O valor médio X_m de uma propriedade da madeira é determinado pela média aritmética dos valores correspondentes aos elementos que compõem o lote de material considerado."

(5.2.2) Valores característicos

"O valor característico inferior $X_{k,inf}$, menor que o valor médio, é o valor que tem apenas 5% de probabilidade de não ser atingido em um dado lote de material.

O valor característico superior, $X_{k,sup}$, maior que o valor médio, é o valor que tem apenas 5% de probabilidade de ser ultrapassado em um dado lote de material.

De modo geral, salvo especificação em contrário, entende-se que o valor característico X_k seja o valor característico inferior $X_{k,inf}$."

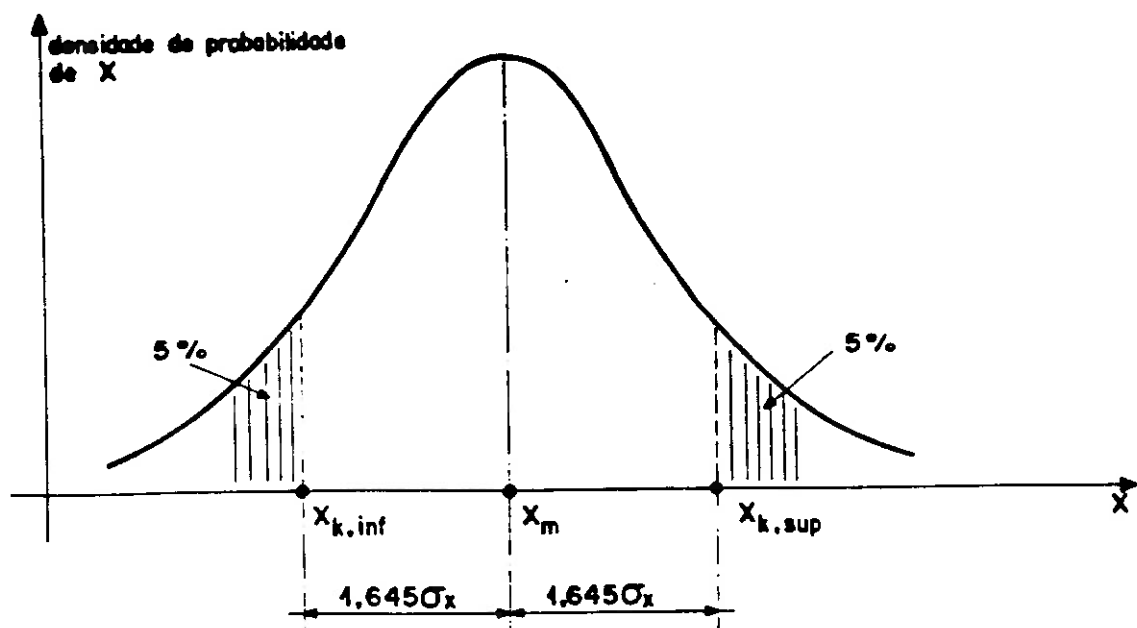
Comentário:

De modo geral admite-se que as propriedades dos materiais tenham distribuições normais de probabilidades.

Admitindo que a população tenha a média X_m e o devido padrão σ_x , como se mostra na figura seguinte, tem-se

$$X_k = X_{k,inf} = X_m - 1,645 \sigma_x$$

Os valores característicos superiores $X_{k,sup}$ têm interesse apenas em situações particulares, como por exemplo na verificação da segurança em relação ao estado limite último de ressonância, em que não basta determinar as frequências naturais de vibração considerando apenas o valor característico inferior do módulo de rigidez, sendo também necessário admitir a ocorrência do valor característico superior.



(5.2.3) Valores de cálculo

"O valor de cálculo X_d de uma propriedade da madeira é obtido a partir do valor característico X_k , pela expressão

$$X_d = k_{mod} \frac{X_k}{\gamma_w}$$

onde γ_w é o coeficiente de minoração das propriedades da madeira e k_{mod} é o coeficiente de modificação, que leva em conta influências não consideradas por γ_w ."

Comentário:

Em termos aproximados, pode-se imaginar que, para a segurança das estruturas da Engenharia Civil, a probabilidade de ruína deva estar compreendida entre 10^{-5} a 10^{-6} , para um período de vida de 50 anos.

Imaginando que os valores característicos das resistências e das ações correspondam a valores com 5% de probabilidade de serem ultrapassados no sentido desfavorável, esses valores $R_{k,inf}$ das resistências e valores $S_{k,sup}$ das solicitações atuantes não podem servir de base direta para a verificação da segurança em relação a estados limites últimos, pois nesse caso a probabilidade de ruína

$$P(\text{ruína}) = P(R_{k,inf}) \cdot P(S_{k,sup})$$

seria da ordem de

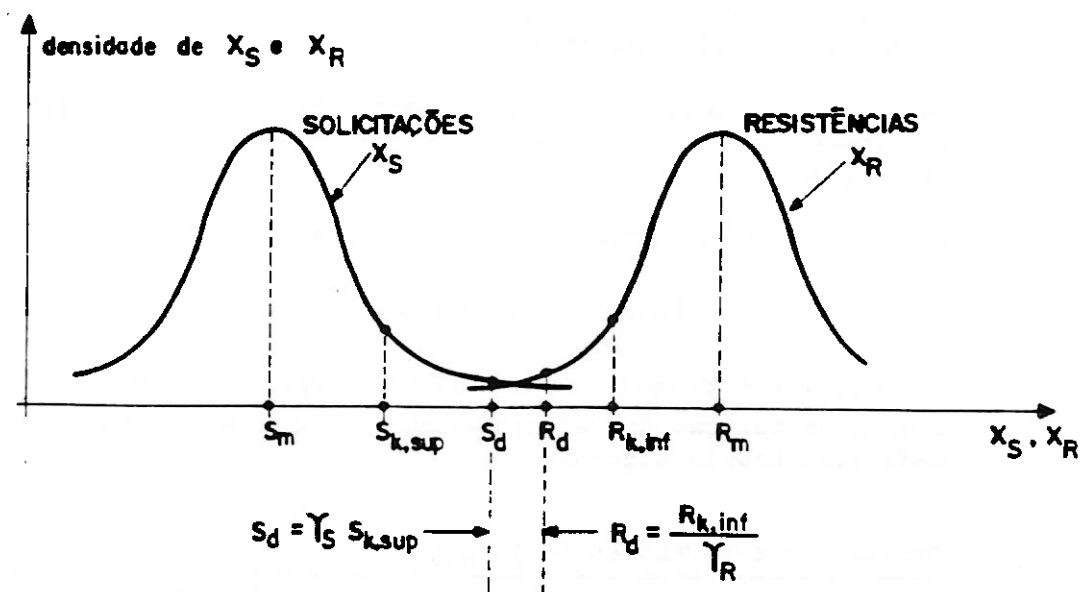
$$P(\text{ruína}) = P(5 \times 10^{-2}) \cdot (5 \times 10^{-2}) \cong 10^{-3}$$

Por esta razão, neste tipo de verificação, admitem-se valores R_d e S_d com probabilidades da ordem de 10^{-3} de serem ultrapassados no sentido desfavorável.

Assim, então, resultariam probabilidades de ruína

$$P(\text{ruína}) = P(R_d) \cdot P(S_d) \cong 10^{-5} \text{ a } 10^{-6}$$

Para esta finalidade, foram definidos os valores de cálculo das ações e das resistências. Imaginou-se, de início, ser possível considerar todos elementos de incerteza da resistência no coeficiente de ponderação γ_R , como se mostra na figura seguinte.



$$S_d \leq R_d \text{ (Condição de segurança)}$$

Todavia, a transposição das resistências dos materiais, medidas em corpos de prova de pequenas dimensões, ensaiados em condições de laboratório, em ensaios rápidos padronizados, para as peças estruturais das estruturas reais, nas condições que elas encontrarão ao longo de sua vida útil, levou à necessidade de introdução dos coeficientes de modificação, adotando-se a expressão geral

$$R_d = k_{mod} \frac{R_k}{\gamma_R}$$

Este é por exemplo o significado do coeficiente 0,85 adotado pela NBR 6118 no projeto de estruturas de concreto.

Na verificação da segurança em relação aos modos de ruptura do concreto por compressão, em lugar do valor

$$\sigma_{ccu} = f_{ck} / \gamma_c$$

adota-se o valor

$$\sigma_{ccu} = 0,85 f_{ck} / \gamma_c$$

Este 0,85 é um coeficiente de modificação.

(5.2.4) Coeficientes de modificação

"Os coeficientes de modificação k_{mod} afetam os valores de cálculo das propriedades da madeira em função da classe de serviço da estrutura, levando em conta simultaneamente a classe de umidade, a classe de duração do carregamento da estrutura e o eventual emprego de madeira de 1ª qualidade.

Em cada combinação de ações, o coeficiente de modificação deve ser escolhido em função exclusiva da natureza da ação variável principal.

O coeficiente de modificação k_{mod} é formado pelo produto

$$k_{mod} = k_{1,mod} \cdot k_{2,mod} \cdot k_{3,mod}$$

O coeficiente parcial de modificação $k_{1,mod}$, que leva em conta a classe de duração do carregamento e o tipo de material empregado, é dado pela tabela seguinte:

Tabela 5.2.4-A VALORES DE $k_{1,mod}$

CLASSES DE DURAÇÃO DO CARREGAMENTO	TIPOS DE MADEIRA	MADEIRA
	MADEIRA SERRADA MADEIRA LAMINADA E COLADA MADEIRA COMPENSADA	MADEIRA RECOMPOSTA
Permanente	0,60	0,30
Longa duração	0,70	0,45
Média duração	0,80	0,65
Curta duração	0,90	0,90
Instantânea	1,10	1,10

O coeficiente parcial de modificação $k_{2,mod}$, que leva em conta a classe de umidade e o tipo de material empregado, é dado pela tabela seguinte:

Tabela 5.2.4-B VALORES DE $k_{2,mod}$

CLASSES DE UMIDADE	MADEIRA SERRADA MADEIRA LAMINADA E COLADA MADEIRA COMPENSADA	MADEIRA RECOMPOSTA
(1) e (2)	1,0	1,0
(3) e (4)	0,8	0,9

No caso particular de madeira serrada permanentemente submersa admite-se o valor $k_{2,mod}=0,65$.

O coeficiente parcial de modificação $k_{3,mod}$, que leva em conta o eventual emprego de madeira de 1ª qualidade, vale $k_{3,mod}=1,4$.

Comentário:

Os valores dos coeficientes de modificação k_{mod} e dos coeficientes de minoração das resistências γ_w precisam ser calibrados em conjunto para que a nova NBR 7190 possa ser posta em prática.

Esta calibração foi feita como adiante se explica.

Os coeficientes de modificação estão apresentados na Tabelas (5.2.4-A) e (5.2.4-B) e foram tomados com praticamente os mesmos valores sugeridos pelo Eurocode N°5, embora com uma apresentação mais simétrica, que nos parece ser de aplicação mais simples e com menor possibilidade de gerar confusão.

No caso particular correspondente à madeira permanentemente submersa, o valor $k_{2,mod}=0,65$ respeita a redução a 80% dos valores básicos especificada pela NBR 7190/82 em seu item 63.

É importante assinalar que, na consideração de estados limites devidos a diferentes combinações de ações, deve ser tomado o valor de k_{mod} correspondente à ação variável admitida como principal na combinação considerada.

Com esta recomendação, fica assegurada a validade dos itens (4.5.4), (4.5.5), (4.5.6), (4.5.7) e (4.5.8) que permitem uma redução de 50% dos esforços solicitantes nas peças de madeira devidos a cargas de curta duração.

De acordo com a Tabela (5.2.4-A), a razão α entre as resistências sob carga de longa e de curta duração é dada pela relação entre os valores de $k_{1,mod}$, valendo

$$\alpha = \frac{0,70}{0,90}$$

Por outro lado, para as cargas de curta duração, que são de fato cargas de acompanhamento, deveria ser empregado o coeficiente ψ_0 apresentado no item (4.4.6). Este coeficiente ψ_0 tem o valor 0,5 para a pressão dinâmica do vento e valores de 0,4 a 0,8 para as cargas móveis e seus efeitos dinâmicos nas pontes.

Deste modo, por simplicidade, as cargas especificadas nos itens (4.5.4), (4.5.5), (4.5.6), (4.5.7) e (4.5.8) foram consideradas como participantes da categoria de ações principais da combinação e, em lugar de a eles ser aplicado o coeficiente ψ_0 , e às resistências o coeficiente α , considerou-se como se todas as ações fossem principais e de longa duração, reduzindo os esforços solicitantes delas decorrentes na razão $\beta = \alpha \psi_0$, que para pontes ferroviárias vale

$$\beta = \alpha \cdot \psi_0 = \frac{0,70}{0,90} \times 0,80 \cong 0,5$$

Este valor está embutido, a favor da segurança, nos itens citados, referentes aos carregamentos de curta duração.

O coeficiente de modificação $k_{3,mod}$ respeita o acréscimo de 40% que pode ser dado às propriedades das peças de 1ª qualidade, conforme o item 49 da NBR 7190/82.

(5.2.5) Coeficiente de ponderação para estados limites últimos

"O coeficiente de ponderação para estados limites últimos tem o valor básico $\gamma_w = 1,75$."

Comentário:

Em princípio, os coeficientes de minoração das resistências dos materiais podem ser considerados como decorrentes do produto de outros três coeficientes parciais. No caso geral de qualquer material, tem-se

$$\gamma_m = \gamma_{m1} \cdot \gamma_{m2} \cdot \gamma_{m3}$$

O coeficiente γ_{m1} tem por finalidade levar em conta a verdadeira variabilidade da resistência existente dentro de um dado lote de material.

O coeficiente γ_{m2} considera o fato de que o corpo de prova é sempre constituído por uma parcela de material tratada ou fabricada com um cuidado especial, típico de operações de laboratório, que não existe na fabricação da totalidade da própria estrutura.

O coeficiente γ_{m3} em princípio considera a influência sobre a segurança de elementos não considerados pelos outros dois coeficientes como, por

exemplo, defeitos localizados e consequências de hipóteses simplificadoras adotadas no método de cálculo de avaliação da resistência da estrutura.

No caso da madeira, pode-se escrever

$$\gamma_w = \gamma_{w1} \cdot \gamma_{w2} \cdot \gamma_{w3}$$

O valor global $\gamma_w=1,75$ adotado procura garantir a calibração desta Norma à experiência do meio técnico nacional.

É da boa técnica de elaboração de normas que quando uma delas sofre uma alteração profunda, a nova versão, num primeiro estágio, deve conduzir a resultados práticos semelhantes aos que decorriam da versão anterior.

Apenas quando o emprego da nova versão estiver consolidado, aí então seus coeficientes poderão ser ajustados, em face de investigações experimentais objetivamente conduzidas para essa finalidade.

No caso presente, o ponto central de calibração foi adotado em função do item 51 da NBR 7190/82, que especifica a tensão admissível na compressão paralela às fibras de peças curtas com o valor

$$\overline{\sigma_c} = 0,20 \sigma_c \quad (\text{notação NBR 7190/82})$$

onde σ_c é o "limite de resistência da madeira verde na compressão paralela às fibras".

Este "limite de resistência", de acordo com o item 48 da NBR 7190/82, deve ser obtido de acordo com os métodos do MB-26, ensaiando "pequenos corpos de prova isentos de defeitos".

De acordo com o item 7 do MB-26, estes corpos de prova têm dimensões de 2x2x3 centímetros.

Ainda de acordo com o item 49 da NBR 7190/82, as tensões admissíveis $\overline{\sigma_c}$ são baseadas nos "resultados médios obtidos em pequenos corpos de prova de madeira verde isentos de defeitos".

Deste modo, para efeito de calibração dos coeficientes de segurança a adotar no método de estados limites, considerando que o ponto de referência é a tensão admissível $\overline{\sigma_c}$ adotada pela NBR 7190/82 para a compressão paralela às fibras, definida pelo item 51 dessa versão da Norma, tem-se

$$\overline{\sigma_c} = 0,20 \sigma_c \quad (\text{notação da NBR 7190/82})$$

onde σ_c é o "limite de resistência da madeira verde na compressão paralela às fibras", ou seja,

$$\sigma_c = f_{cm,sat}$$

logo

$$\bar{\sigma}_c = \sigma_{c,adm} = 0,20 f_{cm,sat}$$

De acordo com o método dos estados limites, a condição de segurança é expressa por

$$S_d \leq R_d$$

Admitindo em primeira aproximação o comportamento linear das variáveis de solicitação e de resistência, no caso da madeira esta expressão de segurança pode ser posta sob a forma

$$\sigma_d \leq f_d$$

ou seja

$$\gamma_f \sigma_k \leq \frac{f_k}{\gamma_w} k_{mod}$$

ou seja

$$\sigma_k \leq \frac{f_k}{\gamma_f \gamma_w} k_{mod}$$

As tensões atuantes características σ_k ocorrem sob a atuação das ações características F_k , que são as mesmas ações atuantes consideradas pelo método das tensões admissíveis.

Deste modo, interpretando as tensões características σ_k como as máximas tensões σ_{max} em serviço, elas valem

$$\sigma_{max} = \sigma_k = \frac{f_k}{\gamma_f \gamma_w} k_{mod}$$

De acordo com a experiência nacional de caracterização das propriedades das madeiras (4), a favor da segurança, é possível admitir $\delta_c = 18\%$, resultando

$$f_{wck} = f_{wcm} (1 - 1,645 \times 0,18)$$

ou seja

$$f_{wck} = 0,70 f_{wcm}$$

As máximas tensões de compressão paralela atuantes em serviço tomam então o valor

(4)- FREITAS, A. R. - Probabilistic Approach in the design of wood structures in Brazil based on the variability of 23 species. Publicação IPT Nº 1198. São Paulo, 1978.

$$\sigma_{\max} = \frac{f_{wck}}{\gamma_f \gamma_w} k_{\text{mod}}$$

isto é,

$$\sigma_{ck} = 0,70 \frac{f_{wcm}}{\gamma_f \gamma_w} k_{\text{mod}}$$

Considerando que pelo item (5.1.6) da presente Norma as resistências de madeira são referidas à umidade padrão de equilíbrio de 12%, a expressão anterior da máxima tensão atuante deve ser entendida como valendo

$$\sigma_{\max} = 0,70 \frac{f_{wcm,12}}{\gamma_f \gamma_w} k_{\text{mod}}$$

Para poder ser feita a comparação com as exigências da NBR 7190/82, que referia a resistência a corpos de prova de madeira verde, é preciso considerar a máxima tensão atuante referida ao valor de $f_{wcm,sat}$. Desta forma, na expressão

$$\sigma_{\max} = 0,70 \frac{f_{wcm,12}}{\gamma_f \gamma_w} k_{1,\text{mod}} \cdot k_{2,\text{mod}}$$

pode-se substituir $f_{wcm,12} \cdot k_{2,\text{mod}}$ por $f_{wcm,sat}$.

Note-se que neste raciocínio considerou-se $k_{3,\text{mod}} = 1$ pois ambas as versões da Norma admitem o emprego de madeira de segunda categoria.

Desta forma, considerando que $k_{2,\text{mod}}$ leva em conta o efeito da umidade da madeira sobre a resistência, para efeito de comparação deve admitir-se para as máximas tensões em serviço o valor

$$\sigma_{\max} = 0,70 \frac{f_{wcm,sat}}{\gamma_f \gamma_w} k_{1,\text{mod}}$$

Note-se que a NBR 7190/82 não discutia a duração do carregamento, ou seja, as tensões admissíveis então especificadas já eram válidas para cargas de longa duração.

Para efeito de comparação, é preciso então admitir $k_{1,\text{mod}} = 0,7$, resultado para a máxima tensão em serviço o valor

$$\sigma_{\max} = 0,70 \frac{f_{wcm,sat}}{\gamma_f \gamma_w} \cdot 0,70$$

ou seja

$$\sigma_{\max} = 0,49 \frac{f_{wcm,sat}}{\gamma_f \gamma_w}$$

e considerando o valor usual de $\gamma_f = 1,4$ especificado pela NBR 8681, resulta

$$\sigma_{\max} = \frac{0,49}{1,4} \frac{f_{wcm,sat}}{\gamma_w}$$

ou seja

$$\sigma_{\max} = 0,35 \frac{f_{wcm,sat}}{\gamma_w}$$

Desta forma, igualando-se os valores da tensão admissível $\overline{\sigma_c}$ usada no método das tensões admissíveis com a tensão $\sigma_{\max}$ decorrente da aplicação do método dos estados limites, obtém-se

$$0,20 f_{cm,sat} = \frac{0,35}{\gamma_w} f_{cm,sat}$$

resultando então

$$\gamma_w \cong \frac{0,35}{0,20} = 1,75$$

Para que os dois métodos conduzam ao mesmo resultado, deve-se portanto adotar $\gamma_w = 1,75$ no método dos estados limites.

Considerando o coeficiente $\gamma_w = 1,75$ pode-se estimar o valor dos coeficientes parciais γ_{w1} , γ_{w2} e γ_{w3} da forma adiante exposta.

Admitindo que as resistências características correspondam ao quantil de 5% e a resistência de cálculo ao quantil de 5%, tem-se

$$\gamma_{w1} = \frac{f_{wk}}{f_{wd}} = \frac{f_m [1 - U(0,05) \delta_w]}{f_w [1 - U(0,005) \delta_w]}$$

onde $U(P\%)$ é o valor da variável normal reduzida correspondente às probabilidades consideradas.

Admitindo para a variabilidade intrínseca da resistência da madeira um coeficiente de variação $\delta_w = 15\%$, tem-se

$$\gamma_{w1} = \frac{1 - 1,645 \times 0,15}{1 - 2,575 \times 0,15} = \frac{0,7533}{0,6138} = 1,23$$

daí resultando

$$\gamma_{w2} \cdot \gamma_{w3} = \frac{\gamma_w}{\gamma_{w1}} = \frac{1,75}{1,23} = 1,42$$

Em primeira aproximação pode-se então imaginar $\gamma_{w2} = \gamma_{w3} = 1,2$, que levariam a $\gamma_{w1} = \gamma_{w2} = \gamma_{w3} = 1,2$

(5.2.6) Estimativa da resistência característica

"Para as espécies já investigadas por laboratórios idôneos, que tenham apresentado os valores das resistências médias f_{wm} correspondentes aos teores de umidade de 12% e de saturação, admite-se como valor de referência a resistência média $f_{wm,12}$ correspondente a 12% de umidade.

Nestes casos, na falta de investigação direta do lote considerado de madeira, pode admitir-se

$$f_{wk} = 0,70 f_{wm,12}$$

correspondente a um coeficiente de variação da resistência de 18% .

Para a investigação direta da resistência característica de lotes homogêneos de madeira, cada lote não deve ter volume superior a $15m^3$.

Para a caracterização simplificada prevista em (5.1.10), deve-se extrair uma amostra composta por pelo menos 6 exemplares, retirados de modo distribuído do lote, que serão ensaiados à compressão paralela às fibras.

A resistência característica será tomada como 0,75 do valor médio das resistências obtidas nos ensaios, corrigidas para o teor de umidade de 12% pelo gráfico do Anexo desta Norma, não se tomando porém para f_{wk} valor inferior à do corpo de prova menos resistente."

Comentário:

O valor da resistência característica inferior é definido por

$$f_{wk} = f_{wm}(1 - 1,645\delta_w)$$

onde f_{wm} é a resistência média e δ_w o coeficiente de variação, dado pela razão $\delta_w = \sigma_w / f_{wm}$ entre o desvio padrão σ_w da resistência e o valor f_{wm} da resistência média.

Deste modo, o valor $f_{wk} = 0,70 f_{wm}$ decorre de admitir-se um coeficiente de variação $\delta = 18\%$.

O valor 0,18 para o coeficiente de variação da resistência da madeira pode ser considerado como razoavelmente a favor da segurança. Embora haja resultados que apontem para coeficientes de variação maiores, de até 0,20, é preciso considerar que em geral essas investigações não controlavam a homogeneidade dos lotes estudados. Com isto, a mistura de exemplares de diferentes populações levam a variabilidades aparentes exageradas.

De modo geral, a determinação direta do desvio padrão σ_x de uma grandeza X com distribuição normal de frequências não pode ser feita com amostras de pequeno tamanho⁽⁵⁾ .

Por esta razão, foram estudadas funções que permitem a estimativa direta do quantil característico X_k sem que seja necessário estimar isoladamente o desvio padrão σ_x .

Para o concreto armado, a NB 6118⁽⁶⁾ emprega amostras com um mínimo de 6 exemplares. Com isto, de uma amostra de $n = 2m$ exemplares, admite-se o valor estimado.

$$f_{k,est} = 2 \frac{f_1 + f_2 + \dots + f_{m-1}}{m-1} - f_m$$

onde $f_1 \leq f_2 \leq \dots \leq f_{m-1} \leq f_m$

Observe-se que este tipo de estimador emprega a metade inferior dos resultados obtidos. Com esta precaução, se o lote de material em exame for composto pela mistura de exemplares de duas populações de resistências diferentes, a estimativa será feita apenas com os exemplares da fração menos resistente, evitando-se a falsa variabilidade que decorreria da mistura de todos os exemplares. Esta falsa variabilidade, se não for evitada, pode conduzir indevidamente a estimativas muito baixas do valor característico.

No caso de se empregarem amostras com apenas 6 exemplares, será

$$f_{k,est} = 2 \left(\frac{f_1 + f_2}{2} \right) - f_3$$

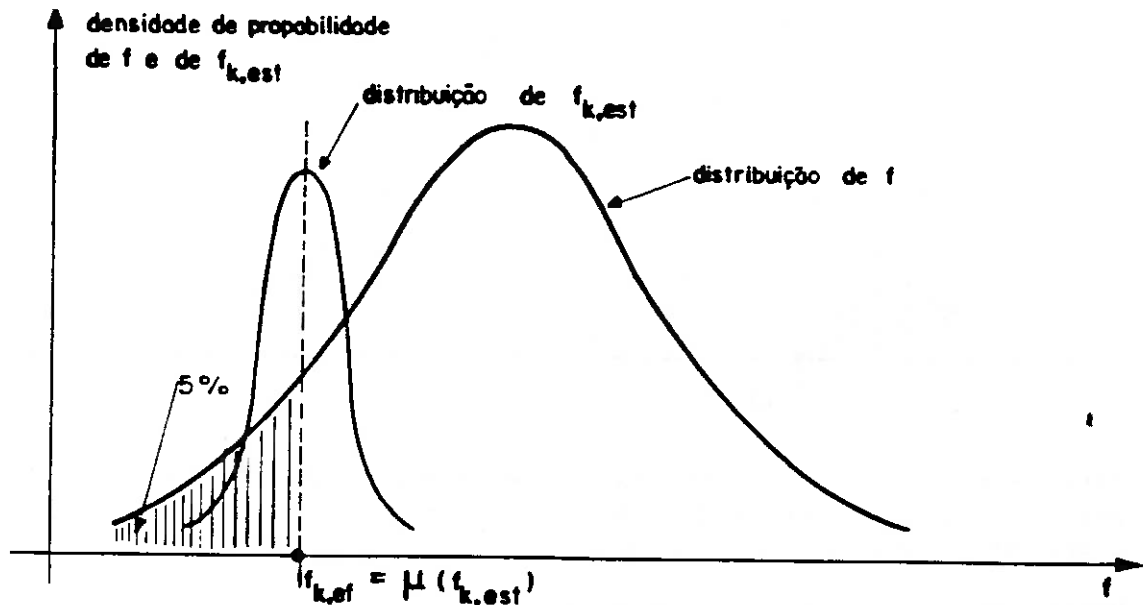
ou seja

(4) - FUSCO, P. B. - Fundamentos estatísticos da segurança das estruturas. McGraw-Hill do Brasil e Ed. da USP. São Paulo, 1976

(6) - NBR-6118 - Norma Brasileira - Projeto de estruturas de concreto armado

$$f_{k,est} = f_1 + f_2 - f_3$$

A idéia em que se baseiam as funções de estimação está mostrada na figura seguinte.



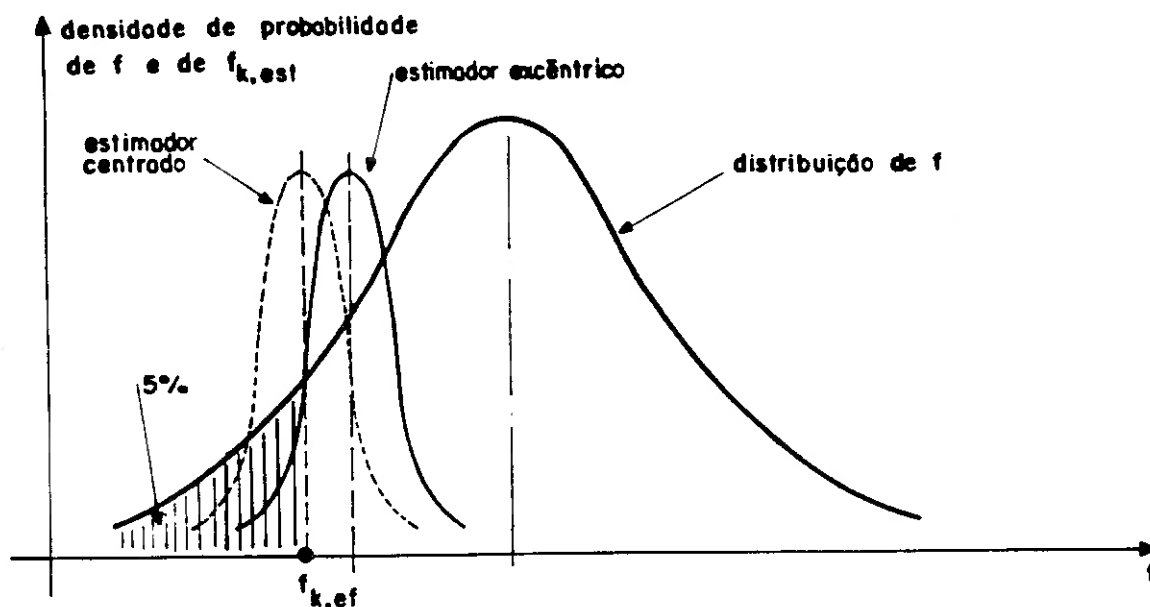
A média da distribuição da variável $f_{k,est}$ coincide com o valor característico efetivo $f_{k,ef}$ da variável original f . Por esta razão, diz-se que esta função define um estimador centrado.

Como se observa na figura anterior, o emprego de estimadores centrados leva à rejeição, com 50% da probabilidade, de um material que tenha a resistência característica efetiva $f_{ck,ef}$ igual à resistência característica especificada.

Esta situação é pouco razoável para o sistema produtivo de um país. Deste modo, como é socialmente mais adequado permitir que os consumidores aceitem, como satisfatórios, materiais que de fato sejam ligeiramente deficientes, do que obrigar os fornecedores a sofrer a rejeição de materiais estritamente conformes ou até ligeiramente melhores, admite-se que a função de estimação seja tomada com a expressão

$$f_{k,est} = 1,1 \left[2 \frac{f_1 + f_2 + \dots + f_{m-1}}{m-1} - f_m \right]$$

que corresponde ao estimador excêntrico mostrado na figura seguinte



Esta mesma idéia está embutida na recomendação de que não se deve tomar para $f_{k,est}$ valor menor que de f_1 , isto é, menor que a resistência do corpo de prova menos resistente.

Neste caso, a função de estimação é

$$f_{k,est} = \psi \cdot f_1$$

na qual, para amostras de 6 exemplares, pode adotar-se

$$\psi = 0,89$$

correspondente a um coeficiente de variação de 20% .

Neste caso, o estimador excêntrico será

$$f_{k,est} = 1,1 \times 0,89 f_1 \cong f_1$$

BOLETINS PUBLICADOS

- 8501 - "Métodos Variacionais Aplicados à Estabilidade dos Taludes e Fundações" - JOSÉ CARLOS DE FIGUEIREDO FERRAZ
- 8502 - "O Processo de Cross Derivado do Método dos Deslocamentos" - JOÃO CYRO ANDRÉ
- 8503 - "Fundações por Bloco" - JOSÉ CARLOS DE FIGUEIREDO FERRAZ
- 8504 - "Investigação Experimental sobre o Valor Limite Wu das Tensões de Cisalhamento no Concreto Estrutural" - PÉRICLES BRASILIENSE FUSCO
- 8505 - "Investigação Experimental sobre o Cisalhamento em Lajes de Concreto Armado" - PÉRICLES BRASILIENSE FUSCO
- 8506 - "Cálculo das Alterações de Tensão, ao Longo do Tempo, nas Peças de Concreto Protendido: Procedimentos Diretos, Simples, Alternativos ao do CIB" - JOSÉ CARLOS DE FIGUEIREDO FERRAZ
- 8507 - "Elementos de Cálculo Variacional e suas Aplicações nas Estruturas" - JOSÉ CARLOS DE FIGUEIREDO FERRAZ
- 8508 - "Spline Cúbico e suas Aplicações" - CARLOS ALBERTO SOARES
- 8509 - "Correlação Paramétrica Deformatória Flexão Composta, Concreto Armado" - PIETRO CANDREVA
- 8510 - "Lugares Geométricos Notáveis na Flexão Composta - Concreto Armado" - PIETRO CANDREVA
- 8511 - "Regiões Deformatórias Notáveis Flexão Composta - Concreto Armado" - PIETRO CANDREVA
- 8512 - "Diagramas Momentos-Curvaturas Flexão Composta Normal - Seções Retangulares Armadura Qualquer nas Barras" - PIETRO CANDREVA
- 8601 - "Alterações, ao Longo do Tempo, dos Estados de Tensão nas Seções de Concreto, Armadas para Diferentes Etapas de Carregamento" - JOSÉ CARLOS DE FIGUEIREDO FERRAZ
- 8602 - "Peças de Concreto Armadas com Barras Protendidas" - JOSÉ CARLOS DE FIGUEIREDO FERRAZ
- 8603 - "A Relaxação do Concreto e a Redistribuição das Tensões nas Peças Armadas" - JOSÉ CARLOS DE FIGUEIREDO FERRAZ
- 8604 - "Análise Não Linear de Treliças Especiais" - PAULO DE MATTOS PIMENTA
- 8605 - "Variação, no Tempo, do Estado de Tensão nas Seções de Concreto Armado" - JOSÉ CARLOS DE FIGUEIREDO FERRAZ
- 8606 - "Evolução ao Longo do Tempo, das Tensões de Cisalhamento nas Vigas de Concreto Protendido" - JOSÉ CARLOS DE FIGUEIREDO
- 8607 - "Cômputo de Fluência por Problemas de Estabilidade" - JOSÉ CARLOS DE FIGUEIREDO FERRAZ
- 8608 - "Erros Usuais Cometidos nas Determinações das Tensões de Cisalhamento nas Peças de Altura Variável" - JOSÉ CARLOS DE FIGUEIREDO FERRAZ
- 8609 - "Contribuição da Fluência do Aço, da Fluência e Retração do Concreto nos Deslocamentos Devidos à Flexão, nas Peças de Concreto Protendido" - JOSÉ CARLOS DE FIGUEIREDO FERRAZ
- 8610 - "Sistema VX-IQB para Processamento de Textos Científicos" - IVAN DE QUEIROZ BARROS
- 8611 - "Análise Não Linear de Pórticos Planos" - PAULO DE MATTOS PIMENTA
- 8612 - "Erros a Serem Evitados no Cálculo de Pórticos, em Particular no dos Edifícios" - JOSÉ CARLOS DE FIGUEIREDO FERRAZ
- 8613 - "Minima Correctio Methodi Inveniendi Lineas Curvas Elastici" - PAULO DE MATTOS PIMENTA, CARLOS EDUARDO NIGRO MAZZILLI
- 8614 - "Nova Técnica para Codificações de Procedimentos Envolvendo Matrizes - Avaliação de Desempenho" - IVAN DE QUEIROZ BARROS
- 8615 - "Casos Especiais de Flambagem de Pórticos de Edifícios Altos" - JOSÉ CARLOS DE FIGUEIREDO FERRAZ
- 8616 - "Vigas Protendidas: Alterações das Tensões, das Deformações e dos Deslocamentos ao Longo do Tempo" - JOSÉ CARLOS DE FIGUEIREDO FERRAZ

- 8701 - "Consideração sobre Não-Linearidade Geométrica em Estruturas Reticuladas Planas" - CARLOS EDUARDO NIGRO MAZZILLI
- 8702 - "Consideração da Não-Linearidade Geométrica em Estruturas Laminas Planas" - Parte I - LUIZ ANTONIO CORTESE DIOGO
- 8703 - "Consideração da Não-Linearidade Geométrica em Estruturas Laminas Planas" - Parte II - LUIZ ANTONIO CORTESE DIOGO
- 8704 - "Estado Plano de Tensão (Método dos Resíduos Ponderados e Método dos Elementos Finitos)" - VICTOR M. DE SOUZA LIMA
- 8705 - "Aplicação das Equações de Diferenças a um Caso Particular de Estrutura" - JOSÉ CARLOS DE FIGUEIREDO FERRAZ
- 8706 - "Verificação da Estabilidade dos Pilares de Pontes" - JOSÉ CARLOS DE FIGUEIREDO FERRAZ
- 8707 - "Aplicação do Método Variacional ao Cálculo do Empuxo sobre as Paredes de Arrimo" - JOSÉ CARLOS DE FIGUEIREDO FERRAZ
- 8708 - "Análise das Chapas em Regime Elasto-Plástico pelo Método dos Elementos Finitos" - LUIZ ANTONIO CORTESE DIOGO
- 8709 - "Análise das Placas em Regime Elasto-Plástico pelo Método dos Elementos Finitos" - LUIZ ANTONIO CORTESE DIOGO
- 8710 - "A Flambagem de Euler e a "Elástica" Revisitadas: Uma Formulação Unificada para os Cinco Casos Clássicos" - CARLOS EDUARDO NIGRO MAZZILLI
- 8711 - "Laje Protendida e Perdas de Protensão Resultantes da Retração, Fluência do Concreto e do Aço" - JOSÉ CARLOS DE FIGUEIREDO FERRAZ
- 8712 - "O Método dos Elementos Finitos na Solução de Placa, Solicitadas no seu Plano ou Fletidas. Vinculação com o Método de Ritz" - JOSÉ CARLOS DE FIGUEIREDO FERRAZ
- 8713 - "Sobre o Conceito de Corpo Material Linearmente Elástico" - PAULO BOULOS
- 8714 - "Rotações Finitas" - PAULO DE MATTOS PIMENTA
- 8715 - "Efeitos Estruturais de Segunda Ordem nas Trelças" - HENRIQUE DE BRITTO COSTA, YZUMI TAGUTI
- 8716 - "Estudo das Placas: Resíduos Ponderados e Elementos Finitos" - HENRIQUE DE BRITTO COSTA, VICTOR M. DE SOUZA LIMA
- 8717 - "Estacas com Diversos Vínculos de Extremidades Modelo de Winkler. Coeficiente de Reação Lateral do Solo com Distribuição Uniforme" - CARLOS ALBERTO SOARES
- 8718 - "Estacas com Diversos Vínculos de Extremidades - Modelo de Winkler. Coeficiente de Reação Lateral do Solo com Distribuição Triangular" - CARLOS ALBERTO SOARES
- 8719 - "Estacas com Diversos Vínculos de Extremidades - Modelo de Winkler. Coeficiente de Reação Lateral do Solo com Distribuição Trapezoidal" - CARLOS ALBERTO SOARES
- 8720 - "Sobre a Matriz de Rigidez Tangente das Barras de Trelças Planas Sujeitas a Rotações Grandes" - LUIZ ANTONIO CORTESE DIOGO
- 8721 - "Um Método Geral para a Redução da Matriz de Rigidez Tangente de Elementos Finitos" - PAULO DE MATTOS PIMENTA
- 8722 - "A Matriz de Rigidez Tangente do Elemento de Pórtico Plano - Teoria de Timoshenko" - PAULO DE MATTOS PIMENTA
- 8801 - "Distribuição Transversal de Carga nas Pontes de Vigas Justapostas" - JOSÉ CARLOS DE FIGUEIREDO FERRAZ
- 8802 - "O Método de Galerkin no Problema das Placas Fletidas - Teoria de Reissner" - HENRIQUE DE BRITTO COSTA
- 8803 - "Um Algoritmo para o Cálculo do Tensor Rotação e do Tensor das Deformações Logarítmicas em Problemas Incrementais" - PAULO DE MATTOS PIMENTA
- 8804 - "Um Algoritmo para a Integração das Tensões na Plasticidade Perfeita" - PAULO DE MATTOS PIMENTA
- 8805 - "Análise das Cascas Cilíndricas em Regime Elasto Plástico pelo Método dos Elementos Finitos" - LUIZ ANTONIO CORTESE DIOGO

- 8806 - "Consideração do Efeito de Membrana nas Placas pelo Método dos Elementos Finitos" - LUIZ ANTONIO CORTESE DIOGO
- 8807 - "Alteração do Estado de Tensão nas Estruturas Hiperestáticas Devida à Fluência do Aço, do Concreto e Retração" - JOSÉ CARLOS DE FIGUEIREDO FERRAZ
- 8808 - "O Método dos Mínimos Quadrados no Exame de alguns Casos de Instabilidade, Computada à Fluência do Material" - JOSÉ CARLOS DE FIGUEIREDO FERRAZ
- 8809 - "A Matriz de Rigidez Tangente do Elemento de Pórtico Espacial" - PAULO DE MATTOS PIMENTA
- 8810 - "Consideração da Fluência do Material da Determinação da Carga Crítica das Barras Mergulhadas em Meio Elástico" - JOSÉ CARLOS DE FIGUEIREDO FERRAZ
- 8811 - "Um Programa para Solução do Problema Generalizado de Autovalores e Autovetores para Matrizes Reais Densas" - PRISCILA GOLDENBERG, REYOLANDO M.L.R.F. BRASIL, MÁRCIA CIMERMANN
- 8812 - "Pilar de Pontes: Riscos dos Cálculos Correntes" - JOSÉ CARLOS DE FIGUEIREDO FERRAZ
- 8813 - "Sugestões à Norma, em Discussão, sobre "Projeto de Estrutura de Concreto Protendido" - JOSÉ CARLOS DE FIGUEIREDO FERRAZ
- 8814 - "Esforços Resistentes do Concreto" - LAURO MODESTO DOS SANTOS
- 8815 - "Tabelas Momento-Curvatura" - LAURO MODESTO DOS SANTOS
- 8816 - "Análise Não-Linear de Arcos" - PAULO DE MATTOS PIMENTA
- 8817 - "Estados Limites das Uniões Pregadas de Madeira" - PÉRICLES BRASILIENSE FUSCO, PEDRO AFONSO DE OLIVEIRA ALMEIDA
- 8818 - "O Emprego da Técnica de Aceleração da Convergência para a Resolução de Problemas Estruturais Através do Método dos Elementos Finitos por Algoritmo do Tipo Resíduo das Tensões" - FRANCISCO BRASILIENSE FUSCO JR., RUBENS AKEL
- 8819 - "Um Critério para o Estabelecimento dos Estimadores de Erro para os Elementos Finitos Adaptativos na Modalidade P" - FRANCISCO BRASILIENSE FUSCO JR., JARBAS a. GUEDES
- 8820 - "Non-Linear Finite-Element Formulation in Dynamic" - CARLOS EDUARDO NIGRO MAZZILLI
- 8821 - "Philosophiae Naturalis Principia Mathematica" de Newton: 300 Anos - JOSÉ CARLOS DE FIGUEIREDO FERRAZ
- 8822 - "A Estabilidade das Fundações Arenosas Estratificadas, Segundo V. V. Sokolovisky" - JOSÉ CARLOS DE FIGUEIREDO FERRAZ
- 8823 - "Flambagem de Estacas Totalmente Enterradas. Solo com Coeficiente de Reação Variável" - CARLOS ALBERTO SOARES
- 8824 - "As Equações de Vlasov e a Estabilidade Espacial das Barras de Seção Delgada" - JOSÉ CARLOS DE FIGUEIREDO FERRAZ
- 8825 - "Um Programa para Solução de Sistemas Lineares de Grande Porte - Aplicação à Engenharia de Estruturas" - PRISCILA GOLDENBERG, REYOLANDO M.L.R.F. BRASIL
- 8826 - "Sobre a Aceleração do Centro Instantâneo de Rotação" - NELSON ACHCAR, PAULO BOULOS
- 8827 - "Esforços Resistentes do Concreto" - LAURO MODESTO DOS SANTOS
- 8828 - "Tabelas Momento-Curvatura" - LAURO MODESTO DOS SANTOS
- 8901 - "A Estimativa da Coesão para o Cálculo da Estabilidade de Aterros e Fundações sobre Argilas Moles" - CARLOS DE SOUSA PINTO
- 8902 - "Trelças Espaciais de Madeira em Regime Viscoelástico sob Não-Linearidade Geométrica" - PAULO DE MATTOS PIMENTA, TAKASHI YOJO
- 8903 - "O Método dos Prismas Equivalentes Aplicado ao Cálculo das Variações de Tensão, ao Longo do Tempo, nas Seções de Concreto" - JOSÉ CARLOS DE FIGUEIREDO FERRAZ
- 8904 - "Efeitos de Laje Concretada Posteriormente sobre Viga Protendida" - JOSÉ CARLOS DE FIGUEIREDO FERRAZ, JOSÉ LOURENÇO BRAGA DE ALMEIDA CASTANHO

- 8905 - "O Cálculo das Grelhas de Pontes pelo Método de Courbon: Uma Hipótese por Demonstrar" - JOSÉ CARLOS DE FIGUEIREDO FERRAZ
- 8906 - "Erosão - Erosão em Área Urbana - Erosão Associada à Construção de Estradas Vicinais" - VERA MARY NINETA COZZOLINO
- 8907 - "Solos Tropicais - Proposta de Classificação Baseada nas Características de Compactação" - VERA MARY NINETA COZZOLINO
- 8908 - "Método Variacional de Cálculo de Construções Estaiadas sob Cargas Dinâmicas" - JOSÉ CARLOS DE FIGUEIREDO FERRAZ
- 8909 - "Métodos Aproximados de Determinação de Frequência de Vibração" - JOSÉ CARLOS DE FIGUEIREDO FERRAZ
- 8910 - "Non-Linear Analysis of Plane Framer I. Quasi-Static Analysis of Plane Framer with Initially Curved Members" - PAULO DE MATTOS PIMENTA
- 8911 - "Non-Linear Analysis of Plane Framer II. Dynamic Analysis of Plane Framer with Initially Curved Members" - PAULO DE MATTOS PIMENTA
- 8912 - "Derivation of Tangent Stiffness Matrices of Simple Finite Elements I. Straight Bar Elements" - PAULO DE MATTOS PIMENTA
- 8913 - "A Stress Integration Algorithm for the Analysis of Elastic-Plastic Solids by the Finite Element Method I. Small Deformation Analysis" - PAULO DE MATTOS PIMENTA
- 8914 - "A Stress Integration Algorithm For the Analysis of Elastic-Plastic Solids by the Finite Elements Method II. Large Deformation Analysis" - PAULO DE MATTOS PIMENTA
- 8915 - "Flambagem de Estacas Parcialmente Enterradas Solo com Coeficiente de Recalque Constante" - CARLOS ALBERTO SOARES
- 8916 - "Caracterização da Deformabilidade na Elasticidade Linear" - PÉRICLES BRASILIENSE FUSCO
- 8917 - "Um Pacote de Subrotinas Matemáticas para o LMC" - PAULO DE MATTOS PIMENTA, PRISCILA GOLDENBERG
- 8918 - "Relatório de Subrotinas Matemáticas (I)" - PRISCILA GOLDENBERG, PAULO DE MATTOS PIMENTA
- 8919 - "Relatório de Subrotinas Matemáticas (II)" - PAULO DE MATTOS PIMENTA, PRISCILA GOLDENBERG
- 8920 - "Viga Contínua Mista Aço-Concreto, Conectada Elasticamente, sob a Ação da Fluência e Retração" - JOSÉ CARLOS DE FIGUEIREDO FERRAZ
- 8921 - "Relatórios de Subrotinas Matemáticas (III)" - PAULO DE MATTOS PIMENTA, PRISCILA GOLDENBERG
- 8922 - "O Problema da Flexão Plana na Teoria da Elasticidade dos Corpos Não Homogêneos" - JOSÉ CARLOS DE FIGUEIREDO FERRAZ
- 8923 - "Alterações das Tensões de Cisalhamento nas Peças de Concreto Protendido, devidas à Fluência e Retração" - JOSÉ CARLOS DE FIGUEIREDO FERRAZ
- 9001 - "Os Deslocamentos Devidos à Flexão das Vigas Protendidas" - JOSÉ CARLOS DE FIGUEIREDO FERRAZ
- 9002 - "Dinâmica das Estruturas Aporticadas Planas e Comportamento Geometricamente Não Linear" - REYOLANDO M.L.R.F. BRASIL, CARLOS e.N. MAZZILLI
- 9003 - "Teoria de Segunda Ordem das Placas - Estudo da Rigidez Secante" - HENRIQUE DE BRITTO COSTA, VICTOR M. DE SOUZA LIMA
- 9004 - "Influência das Tensões de Cisalhamento na Deformação da Viga sob o Regime Elasto-Plástico" - JOSÉ CARLOS DE FIGUEIREDO FERRAZ
- 9005 - "Ainda a Estabilidade dos Sistemas Elásticos. Aceno Histórico, o Erro de Euler" - JOSE CARLOS DE FIGUEIREDO FERRAZ
- 9006 - "A Origem das Funções de Bessel com algumas Aplicações em Problemas Estruturais" - AUGUSTO CARLOS DE VASCONCELOS
- 9007 - "Considerações sobre o Emprego do Teorema dos Trabalhos Virtuais na Resolução de Estruturas Hiperestáticas" - HENRIQUE DE BRITTO COSTA, LUIZ ANTONIO CORTESE DIOGO
- 9008 - "Non-linear Finite-element Formulation in Dynamics II" - CARLOS EDUARDO NIGRO MAZZILLI

- 9009 - "Fatores de Forma e Fatores de Carga Generalizados" - JOSÉ CARLOS DE FIGUEIREDO FERRAZ
- 9010 - "Corpos Hiperelásticos Homogêneos Transversalmente Isotrópicos Não Ortotrópicos" - NELSON ACHCAR
- 9011 - "Análise das Cascas de Revolução em Regime Elasto Plástico pelo Método dos Elementos Finitos" - JOSÉ MARQUES FILHO, LUIZ ANTONIO CORTESE DIOGO
- 9012 - "O Algoritmo de Mínimo Grau para Reordenação e Solução de Sistemas Lineares Esparsos" - PRISCILA GOLDENBERG, REYOLANDO M.L.R.F. BRASIL, SÉRGIO PINHEIRO
- 9101 - "Consideração da Não-Linearidade Física e da Não-Linearidade Geométrica na Análise das Placas pelo Método dos Elementos Finitos - Parte I" - LUIZ ANTONIO CORTESE DIOGO
- 9102 - "Introdução ao Estudo dos Pórticos Esbeltos - Matriz de Rigidez Secante" - HENRIQUE DE BRITTO COSTA, ALFONSO PAPPALARDO JR.
- 9103 - "Cálculo de Estruturas Sujeitas a Terremotos" - HENRIQUE DE BRITTO COSTA, SELMA H. SHIMURA
- 9104 - "Análise Não-Linear de Pórticos Espaciais - Parte I: Teoria e Método dos Elementos Finitos" - PAULO M. PIMENTA, TAKASHI YOJO
- 9105 - "Flambagem de Edifícios Altos" - JOSÉ CARLOS DE FIGUEIREDO FERRAZ
- 9106 - "Programas de Microcomputador para Análise Dinâmica de Estruturas nos Domínios do Tempo e da Frequência" - REYOLANDO M.L.R. DA F. BRASIL
- 9107 - "Variação nas Peças Protendidas" - JOSÉ CARLOS DE FIGUEIREDO FERRAZ
- 9108 - "Análise das Placas Sujeitas a Grandes Rotações Mediante o Uso do Método dos Elementos Finitos" - LUIZ ANTONIO CORTESE DIOGO
- 9109 - "Consideração Tópica sobre o Código Modelo 1990 do CEB-FIP" - JOSÉ CARLOS DE FIGUEIREDO FERRAZ
- 9110 - "Materiais Compatíveis com as Barras Cujas Secções Normais Permanecem Planas" - NELSON ACHCAR
- 9111 - "Dinâmica das Placas: Elementos Finitos via Resíduos Ponderados" - HENRIQUE DE BRITTO COSTA, FLÁVIO JOSCE GARZERI, REYOLANDO M.L.R. FONSECA BRASIL
- 9112 - "Estabilidade do Equilíbrio dos Sistemas no Campo Conservativo de Forças" - JOSÉ CARLOS DE FIGUEIREDO FERRAZ
- 9113 - "Sobre a Estabilidade Elástica de Arcos Abatidos" - REYOLANDO M.L.R. FONSECA BRASIL, VICTOR M. DE SOUZA LIMA
- 9114 - "Considerações Teóricas sobre o Adensamento Secundário" - HELOÍSA HELENA SILVA GONÇALVES
- 9115 - "Teoria de Vlassov sobre Barras, Placas e Cascas, de Parede Fina, Protendidas" - JOSÉ CARLOS DE FIGUEIREDO FERRAZ
- 9201 - "Consideração da Não-Linearidade Física e da Não-Linearidade Geométrica na Análise das Placas pelo Método dos Elementos Finitos - Parte II" - LUIZ ANTONIO CORTESE DIOGO
- 9202 - "Sobre a Interpretação de Provas de Carga em Estacas Considerando as Cargas Residuais de Ponta e a Reversão do Atrito Lateral" - FAIÇAL MASSAD
- 9203 - "Um Programa para Análise Limite de Pórticos Planos em Regime Elasto-Plástico" - REYOLANDO M.L.R. DA FONSECA BRASIL
- 9204 - "Equação Constitutiva das Barras Hiperelásticas Transversalmente Isotrópicas" - NELSON ACHCAR
- 9205 - "Análise Não-Linear de Pórticos Espaciais de Madeira" - PAULO DE MATTOS PIMENTA, TAKASHI YOJO
- 9206 - "Perda de Estabilidade à Tração" - JOSÉ CARLOS DE FIGUEIREDO FERRAZ
- 9207 - "Teoria de Segunda Ordem das Placas - Estudo da Rigidez Tangente" - HENRIQUE DE BRITTO COSTA, VICTOR M. DE SOUZA LIMA
- 9208 - "Vibrações Não-Lineares de Placas" - HENRIQUE DE BRITTO COSTA, REYOLANDO M.L.R. DA FONSECA BRASIL, PAULO SHIGUEME IDE
- 9209 - "Variedades Vinculadas Reduzidas" - PAULO BOULOS, NELSON ACHCAR

- 9210 - "Estudo da Perda de Estabilidade. Segundo Critérios Dinâmicos" - JOSÉ CARLOS DE FIGUEIREDO FERRAZ
- 9211 - "Programas de Microcomputador para Análise Dinâmica de Estruturas - Parte II - Vários Graus de Liberdade" - REYOLANDO M.L.R. DA FONSECA BRASIL
- 9212 - "Otimização da Deposição de Rejeitos" - LUIZ GUILHERME F.S. DE MELLO
- 9213 - "Andros - a Finite Element Program From Nonlinear Dynamics" - CARLOS EDUARDO NIGRO MAZZILLI , REYOLANDO M.L.R.DA FONSECA BRASIL
- 9214 - "Considerações sobre o Cálculo Dinâmico de Estruturas Usando Transformadas de Fourier" - ALFREDO PINTO DA CONCEIÇÃO NETO, VICTOR M. DE SOUZA LIMA
- 9215 - "Placas Delgadas" - ALFONSO PAPPALARDO JUNIOR, HENRIQUE DE BRITTO COSTA
- 9216 - "Excitação Paramétrica em Sistemas com um Grau de Liberdade" - MÁRIO EDUARDO SENATORE SOARES, CARLOS EDUARDO NIGRO MAZZILLI
- 9301 - "PEFMAT - Relatórios de Subrotinas Matemáticas - Parte IV" - PRISCILA GOLDENBERG, PAULO DE MATTOS PIMENTA, MARCIA CIMERMAN
- 9302 - "Vibrações de Pórticos com Vigas de Rigidez Infinita" - JOSÉ CARLOS DE FIGUEIREDO FERRAZ
- 9303 - "Direct Along-Wind Dynamic Analysis of Tall Structures" - MARIO FRANCO
- 9304 - Comportamento Pós-Crítico de Barra Delgada Protendida - JOSÉ CARLOS DE FIGUEIREDO FERRAZ
- 9305 - Os Polinômios Trigonométricos na Solução de Problemas de Vibração Mecânica - JOSÉ CARLOS DE FIGUEIREDO FERRAZ
- 9306 - Linhas de Influência Dinâmicas para Deslocamentos, Momentos Fletores e Forças Cortantes nas Vigas Simples - JOSÉ CARLOS DE FIGUEIREDO FERRAZ
- 9307 - O Modelo Clam-Clay Revisto - JOSÉ JORGE NADER
- 9308 - Patologia da Concepção Estrutural: Danos por Efeitos de Segunda Ordem em Edifícios Altos, um Exemplo - PÉRICLES BRASILIENSE FUSCO
- 9309 - Vibração de Sistemas Não Lineares: Método de Aproximações Sucessivas - JOSÉ CARLOS DE FIGUEIREDO FERRAZ
- 9310 - Normalização dos Símbolos Gráficos para Projetos de Estruturas de Madeira - PÉRICLES BRASILIENSE FUSCO
- 9311 - Ensaios de Adensamento - HELOISA HELENA SILVA GONÇALVES
- 9312 - Comentários sobre a Normalização das Ações e Segurança nas Estruturas - PÉRICLES BRASILIENSE FUSCO
- 9313 - Introdução à Análise Dinâmica de Estruturas por Meio de Elementos Finitos - Parte I - Galerkin e Elementos Finitos - HENRIQUE DE BRITTO COSTA, SELMA HISSAE SHIMURA
- 9314 - Vibrações Aleatórias na Dinâmica de Estruturas - REYOLANDO M. L. R. F. BRASIL
- 9315 - Determinação da Equação para Cálculo do Momento Crítico à Flambagem Lateral - VALDIR PIGNATTA E SILVA, LUIZ ANTONIO CORTESE DIOGO
- 9316 - Efeito dos Sismos nas Estruturas Aporticadas - JOSÉ CARLOS DE FIGUEIREDO FERRAZ
- 9317 - As Estruturas Aporticadas com Vigas de Rigidez Infinita, Submetidas ao Sismo - JOSÉ CARLOS DE FIGUEIREDO FERRAZ