

# Relatorio geral

Autor(en): **Correia de Araujo, F.S.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH  
Kongressbericht**

Band (Jahr): **5 (1956)**

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-5964>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# I

**Solicitações das pontes e das estruturas**  
**Solicitations des ponts et des charpentes**  
**Loading and strength of bridges and structures**  
**Beanspruchung von Brücken und Hochbauten**

## b

*Comportamento dos materiais e das obras sob cargas dinâmicas*  
*(vibrações, fadiga, choque)*

*Comportement des matériaux et des ouvrages sous les actions*  
*dynamiques (vibrations, fatigue, choc)*

*Behaviour of materials and structures under dynamical loading*  
*(vibrations, fatigue, impact)*

*Verhalten von Baustoff und Tragwerken unter dynamischer Belastung*  
*(Schwingungen, Ermüdung, Stosz)*

**Relatório Geral – Rapport Général – General Report – Generalreferat**

PROF. DR. ENG. F. S. CORREIA DE ARAÚJO

*Faculdade de Engenharia*

Porto

1. Sobre este tema, foram apresentadas sete comunicações, cuja síntese se faz em seguida.

1.1. O Eng. FERRY BORGES (Portugal) fez uma comunicação que intitulou «Statistical estimate of seism loading».

Baseando-se no princípio, estabelecido por Housner, de que, no que se refere aos seus efeitos sobre as estruturas, os movimentos dos sismos podem considerar-se como consistindo na sucessão, rígida pelas leis do acaso, de abalos ou impulsos de aceleração instantâneos, Goodman, Rosenblueth e Newmark deduziram, aplicando o cálculo das probabilidades, expressões que dão o valor esperado e o desvio padrão do deslocamento máximo de qualquer parte duma estrutura, quando ela sofre um sismo de certa intensidade, e as correcções a introduzir (pequenas, em geral) por serem realmente finitas as acelerações e as durações dos abalos.

Estas expressões constituem as bases dum método de cálculo prático das estruturas anti-sísmicas com critério de segurança uniforme (Uniform-Safety), isto é, de tal maneira que cada uma das suas partes tenha igual probabilidade de resistir às solicitações provocadas pelos sismos; e também permitem a previsão, no sentido estatístico, dos efeitos das mesmas solicitações nas estruturas existentes. Aplicam-se somente a estruturas em estado de deformação elástica ou visco-elástica, apoiadas em solos de grande rigidez, comparável à daqueles em que a satisfatória

identidade dos espectros de velocidade, obtidos a partir de acelerogramas reais e dos obtidos a partir de acelerogramas esperados, legítima a validade do princípio enunciado por Housner. Nelas intervêm dois parâmetros fundamentais: um que mede a intensidade do sismo em função do número esperado de abalos e do valor esperado da intensidade de cada abalo; e outro, só dependente das características geométricas e mecânicas da estrutura, que mede a sua reacção ou resposta (deslocamento ou tensão ou momento e respectivos desvios padrões) a um sismo de intensidade igual à unidade.

O autor, partindo destas premissas, e supondo previamente conhecidos os valores dos deslocamentos duma estrutura que não é possível exceder sem que se verifique a sua ruína, procura determinar a probabilidade de, em certo intervalo de tempo, se produzirem, por efeito de acções sísmicas, deslocamentos iguais ou superiores a esses.

Começa por supor que, na região considerada e naquele intervalo de tempo, é possível definir as probabilidades de ocorrência de sismos de várias intensidades e que essas probabilidades satisfazem à lei de distribuição de Poisson.

Resultados obtidos por Gutenberg e Richter levam-no também a admitir que, aproximadamente, o número esperado de sismos de certa intensidade é inversamente proporcional a essa intensidade, sendo o coeficiente de proporcionalidade a *sismicidade* da região que, então, se pode definir como o número esperado de sismos, de intensidade igual a um, que ali se produzem na unidade de tempo.

Tendo assim estabelecido a relação que liga o número esperado de sismos com a sua intensidade, o cálculo do número esperado de vezes em que o deslocamento máximo da estrutura excederá certo valor mostra que, com grande aproximação, esse número é directamente proporcional à sismicidade da região e inversamente proporcional ao deslocamento considerado.

Este resultado permite, através das relações estabelecidas, afirmar que, para uma dada estrutura, o número esperado de vezes, em que os deslocamentos máximos serão iguais ou maiores do que certo valor, é igual ao número esperado de sismos de intensidade igual ou superior àquela para a qual os deslocamentos máximos têm, em média, o referido valor.

E conclui-se, então, que a probabilidade de ruína de uma estrutura, por acções sísmicas, é igual à probabilidade de ocorrência de sismos com intensidade não inferior àquela que, em média, provoca na estrutura os deslocamentos máximos que ela é capaz de suportar.

1.2. O Dr.-Eng. BRÜCKMAN (Alemanha) apresenta uma memória intitulada «Brückenschwingungen unter Verkehrslasten», na qual expõe o problema geral das vibrações das pontes e apresenta um método aproximado para cálculo dos coeficientes de vibração (coeficientes dinâmicos), números que, multiplicados pelos efeitos estáticos das sobrecargas, permitem obter os efeitos dinâmicos.

Estuda o autor as pontes como sistemas mecânicos oscilantes, caracterizados por certa rigidez à flexão (Federkonstante) e pelas sua frequência própria e massa, estas últimas características dependentes das condições de solicitação.

Dá relação das causas que, pela sua repetição em intervalos regulares, podem constituir excitações periódicas das pontes e originar, por isso, oscilações forçadas, indicando as frequências de oscilação correspondentes.

Em seguida, faz o estudo dos fenómenos que se produzem num sistema oscilante constante, com excitação periódica. A oscilação resultante pode considerar-se como a soma de duas oscilações: a correspondente ao fenómeno transitório (que se amortece com o tempo) e a correspondente ao estado permanente causado pela excitação.

No caso das pontes, os fenómenos transitórios podem conduzir, em virtude do pequeno número possível de períodos de excitação, a oscilações cuja importância seja maior do que a das correspondentes ao estado permanente. Daqui a necessidade do seu estudo.

Mas sendo as pontes sistemas oscilantes de frequência própria e massa variáveis (por estas características dependerem da solicitação, como atrás se disse), o problema torna-se particularmente complicado, se se pretende resolvê-lo a partir das fórmulas anteriormente deduzidas.

Por isso o autor apresenta um método aproximado, que consiste em considerar constantes todas as grandezas características da oscilação, em intervalos de tempo ou degraus, que toma iguais aos períodos de excitação.

Para determinar as constantes de integração, admite que, no 1.º degrau, o sistema parte da imobilidade e encontra as condições finais desse degrau, que considera como iniciais para o degrau seguinte e assim sucessivamente.

Nas equações adoptadas, toma como referência o módulo da oscilação em estado permanente de excitação, que está relacionado com a deformação estática. Determina a oscilação máxima que se pode produzir em cada degrau e isso permite-lhe traçar a envolvente das máximas oscilações nos diferentes degraus.

Adoptando, por razões de segurança, a máxima das máximas oscilações, define o coeficiente dinâmico como sendo o quociente desse valor pelo deslocamento correspondente na solicitação estática.

Entre as conclusões deste estudo, registam-se as seguintes:

— as vibrações forçadas das pontes, provocadas pelas sobrecargas, decorrem com sintonias variáveis e, em virtude do reduzido número de excitações, podem considerar-se como fenómenos transitórios;

— as maiores amplitudes de vibração, correspondentes à variação de frequência própria como consequência do movimento das sobrecargas, verificam-se quando a frequência de excitação coincide com a frequência própria mais pequena possível;

— a cargas estáticas grandes correspondem pequenos coeficientes dinâmicos;

— o comprimento  $L_T = v:f$ , que resulta da velocidade  $v$  e da frequência  $f$  de excitação, dá a medida do número de períodos de excitação ( $n = L:L_T$ , sendo  $L$  o comprimento da ponte) e da velocidade crítica ( $v_c = L_T \cdot f_{min}$ , sendo  $f_{min}$  a frequência própria mínima);

— pontes com frequências próprias baixas têm amplitudes de excitação pequenas;

— as vigas principais flexíveis (de pequena rigidez à flexão) são cinemáticamente favoráveis.

1.3. O Eng. M. DAVIN (França) apresentou uma memória sob o título «Essais de fatigue sur mortier», em que descreve ensaios de provetas de argamassa de cimento à flexão simples repetida, com carga progressiva, efectuados no Laboratório Central das Pontes e Calçadas de Paris, comunica os respectivos resultados e faz a sua interpretação.

A máquina em que os ensaios foram efectuados foi concebida por M. MARCEL PROT, director do Laboratório, e permite, conforme os dispositivos de fixação das provetas e a sua forma, realizar, sob carga constante ou progressiva, todos os tipos de ensaios de fadiga (por esforços alternados, repetidos ou ondulados), qualquer que seja a natureza da solicitação (tração ou compressão simples, flexão, torsão, etc.).

O autor começa por descrever os engenhosos dispositivos mecânicos adoptados e as precauções a tomar e os ajustamentos prévios a fazer para que os resultados obtidos sejam afectados de erros inferiores aos que é legítimo aceitar em ensaios desta natureza.

Interessa registar que a máquina realiza 500 ciclos por minuto e permite acréscimos lineares de carga, por emissão de esferas de aço em intervalos de tempos reguláveis por uma caixa de velocidades especial, com 15 velocidades possíveis, em que as extremas estão entre si como 1 para 630. Cada velocidade corresponde ao lançamento de 2 esferas, isto é, ao aumento de  $2 \times 10$  g da carga actuante e é definida por um parâmetro, designado por *coeficiente de Prot*, que é o acréscimo da tensão, por ciclo, verificado na proveta.

Nos ensaios descritos, as provetas eram prismáticas, de 10 cm de comprimento e base quadrada com a área de 10 cm<sup>2</sup>. Estas provetas eram colocadas na máquina de maneira a ficarem apoiadas em dois rolos afastados de 7 cm e a receberem duas cargas iguais, em secções simetricamente dispostas e distantes de 3 cm, o que, teoricamente, criava, flexão circular no intervalo das cargas. Estas, em cada ciclo, variavam desde zero a um valor uniformemente variável para cada valor do coeficiente de Prot, realizando assim o tipo de solicitação de fadiga designado por solicitação repetida de flexão simples, com carga progressiva, que tem a evidente vantagem de sempre culminar com a rotura da proveta, o que não se passa forçosamente sob a carga constante.

Ensaaiaram-se várias séries de provetas, todas feitas de argamassa de cimento Portland e areia fina com a mesma composição, reservando-se sempre algumas provetas de cada série para, como controle da uniformidade de fabrico, se determinar, em ensaios clássicos de flexão, a resistência estática média da argamassa e a correspondente dispersão dos resultados.

Dá o autor indicações pormenorizadas da granulometria da argamassa, da confecção e acabamento das provetas, das diversas fases dos ensaios e do critério adoptado na colheita e aproveitamento dos resultados, que mostram terem-se tomado todas as precauções desejáveis e possíveis para se eliminarem anormalidades que dificultem a interpretação dos ensaios.

Apesar da notável dispersão verificada (que não é surpreendente em material cuja resistência estática se mede também com grandes dispersões), pôde o autor traçar uma curva média que define, com alguma probabilidade, a variação da resistência da argamassa à fadiga, em função da velocidade de acréscimo da carga.

Essa curva permite tirar algumas conclusões interessantes, que têm certa analogia (evidentemente só qualitativa) com as deduzidas, para o aço, de ensaios semelhantes feitos anteriormente no Laboratório, com menores dispersões:

— a resistência da argamssa à fadiga tem o seu valor mínimo quando o acréscimo da tensão é da ordem de  $0,01 \text{ kg/cm}^2$  por quilociclo (coeficiente de Prot de cerca de  $10^{-3}$ ) e aumenta quer para maiores quer para menores velocidades de variação da carga;

— do lado das grandes velocidades (ensaios rápidos) a curva sobe regularmente e, não obstante os ensaios não terem revelado, em média, resistências superiores a 80 % da resistência estática, parece admitir uma assíntota que situa a resistência limite em cerca de 20 a 30 % acima da resistência estática;

— do lado das pequenas velocidades (ensaios lentos) a curva sobe muito mais rapidamente, tendo-se determinado resistências que, além de maiores do que as máximas correspondentes aos ensaios rápidos, excedem em cerca de 10 % a resistência estática;

— a idade das provetas não revelou influência significativa nos resultados dos ensaios de fadiga.

O autor julga que o aumento de resistência à fadiga, nos ensaios lentos, é fenómeno semelhante ao da sub-tensão de fadiga dos aços («understressing» ou elevação do limite de fadiga por efeito de numerosos ciclos de esforços ligeiramente inferiores a esse limite) e que se pode explicar não só pelo amortecimento das tensões intrínsecas, consideráveis na argamassa por via das retracções diferenciais nela existentes, como também pela auto-reparação das microfissuras de fadiga, provocadas pelas reacções químicas da presa.

1.4. O Prof. A. HIRAI (Japão) faz uma comunicação sob o título «Aerodynamic stability of suspension bridges under wind action».

Nesta comunicação o autor trata o problema das vibrações forçadas das pontes suspensas, sob a acção dinâmica do vento, tanto das vibrações simples de torsão como das vibrações compostas de torsão e flexão.

Na análise que faz, tem em consideração os acréscimos do momento de torsão das vigas de rigidez que resultam da acção da força de arrastamento do vento sobre o tabuleiro flectido, o que se crê ser feito pela primeira vez. Tais acréscimos provêm do facto de, quando a normal a uma secção transversal do tabuleiro deixa de ser horizontal devido à flexão, o momento resultante da acção horizontal da força de arrastamento do vento ter uma componente dirigida na direcção da referida normal, que produz torsão. É um efeito bem conhecido no estudo dos arcos.

Mostra-se que a acção da força de arrastamento, que não é muito importante para pequenas velocidades do vento, tem grandeza apreciável em regimes de altas velocidades. Como consequência desta acção, a frequência das vibrações aerodinâmicas de torsão é diferente da frequência natural de vibração da ponte.

Começa o autor por fazer a teoria geral das vibrações de torsão, considerando a acção da referida força de arrastamento do vento. Deduz a equação diferencial do movimento e faz a sua integração, admitindo que o ângulo de rotação varia, ao longo da ponte, com lei sinusoidal.

Na parte final da análise, considera o fenómeno vibratório só em duas semi-ondas, com um nodo no meio do vão, tipo de vibração que, como se sabe, é o mais perigoso para as pontes suspensas.

Entre os resultados obtidos, cita-se uma fórmula aproximada, a que o autor dá especial relevo no resumo da comunicação, para previsão da velocidade crítica correspondente à vibração de torsão em duas semi-ondas. Esta fórmula pode servir para o cálculo das vigas de rigidez do tabuleiro, por substituição da velocidade crítica pela velocidade máxima previsível para o vento.

Em seguida refere o autor os resultados de uma série de ensaios sobre modelo completo, efectuados no túnel aerodinâmico da Universidade de Osaka, em colaboração com o Prof. M. YASUMI, para o efeito de controlar a teoria apresentada. Incidiram os ensaios em quatro modelos, observando-se apreciável concordância dos resultados neles obtidos com os calculados. Em particular, os valores da velocidade crítica, determinados pela fórmula aproximada a que se fez referência, diferem dos obtidos nos ensaios de 2,5 %, 2,7 %, 1,9 % e 0,9 %, respectivamente para cada um dos quatro modelos.

Faz ainda o autor a extensão da sua teoria às vibrações compostas de torsão e flexão. E, finalmente, refere os resultados de ensaios de secções isoladas do tabuleiro, de óbvio interesse, dado o custo elevado dos ensaios em modelo completo. A comparação das equações que regem o movimento das secções isoladas e da ponte completa mostra que é desnecessário utilizar modelos completos, desde que não seja importante a acção da força de arrastamento do vento, o que acontece para velocidades moderadas. A velocidades elevadas, no entanto, os dois ensaios não são equivalentes.

1.5. O Prof. Dr.-Eng. E. RAUSCH (Alemanha) apresenta uma memória a que deu o título «Berücksichtigung der Baustoff-Ermüdung bei dynamisch beanspruchten Baukonstruktionen», em que trata o problema da fixação das tensões de segurança a usar na cálculo das construções simultaneamente submetidas a esforços estáticos e dinâmicos (por choques ou forças oscilantes).

Sendo, em construções destas, a tensão uma soma de duas parcelas, a tensão estática e a tensão dinâmica, e sendo diferente o comportamento dos materiais perante uma e outra, procura o autor definir a tensão limite a adoptar de modo a que a segurança seja a mesma para todos os valores relativos das tensões componentes.

Começa por descrever o conhecido diagrama que relaciona, na resistência à rotura por fadiga, a amplitude da variação da tensão com o valor da tensão média. Visto que qualquer caso de esforços oscilantes pode ser interpretado como a sobreposição dum esforço estático com esforços ondulados, o mesmo diagrama pode traduzir a rotura, no problema que interessa, representando a semi-amplitude da variação da tensão a tensão dinâmica.

Como a tensão máxima depende da relação entre a tensão estática e a própria tensão máxima, o conhecimento da tensão de segurança a adoptar exigiria o traçado doutro diagrama, a partir do anterior, definindo aquela dependência: a esse diagrama — o diagrama das tensões totais de rotura — seria então aplicado o coeficiente de segurança.

O problema pode ser simplificado, sacrificando-se um pouco o rigor mas sem risco para a estabilidade (a segurança fica ligeiramente acrescida), substituindo-se o ramo superior do primeiro diagrama, no primeiro quadrante, por uma recta: o seu traçado exigirá, assim, apenas o conhecimento da tensão de rotura estática e da tensão de rotura por esforços alternados, que se tomam como tensões de base.

Uma relação de geometria elementar permite, neste novo diagrama, exprimir a diferença entre a tensão de rotura estática e a tensão média correspondente à rotura por esforços ondulados, em função das duas tensões de base.

E é então fácil de concluir, nestas condições, que a definição de segurança pode ser dada, de maneira uniforme em todos os casos, a partir duma tensão estática fictícia, que é a soma da tensão estática verdadeira com o produto da tensão dinâmica pela relação entre as tensões de segurança aos esforços estáticos e aos esforços alternados: essa tensão fictícia não deve exceder a tensão estática de segurança.

Via mais simples e equivalente consiste em multiplicar as solicitações que produzem as tensões dinâmicas por aquela relação (que assim desempenha funções semelhantes às do coeficiente dinâmico) e tratar o conjunto de todas as solicitações como se fossem estáticas.

1.6. O Eng. A. RINKERT (Suécia) apresentou uma memória sob o título «Ability of bridge parapets to withstand impact of vehicles».

É disposição comum das normas regulamentares para o cálculo das pontes, que os parapeitos devem poder resistir a certa pressão horizontal, que se supõe transmitida pelas pessoas que neles se apoiam e que, na Suécia, era fixada em 100 kg/m. No entanto, as autoridades do porto de Estocolmo, sob cuja dependência se encontram as numerosas pontes da cidade, decidiram que, para essas pontes, a pressão a considerar no cálculo fosse aumentada, primeiro para 250 kg/m e depois para 350 kg/m.

A experiência mostrou que os parapeitos, de perfilados de aço, calculados para este último valor da solicitação, podiam resistir ao impacto de automóveis ligeiros despistados, mas um grave acidente ocorrido em 1948, também mostrou que não constituem obstáculo suficiente para resistir ao choque dos autocarros de passageiros que circulam em Estocolmo.

Tratando-se dum problema de segurança pública incompatível com medidas aleatórias, decidiram as mesmas autoridades determinar experimentalmente as secções resistentes dos parapeitos, com vista a tornar praticamente impossível o seu galgamento ou a sua destruição, ao sofrerem o choque dum autocarro com a lotação completa, à velocidade máxima permitida na cidade pelo regulamento do trânsito. Isto fixava as premissas do problema: os parapeitos deviam obstar à queda, da ponte, de veículos de 15 t, à velocidade de 50 km/h.

Fizeram-se primeiro ensaios em modelos reduzidos à escala de 1:10 e deles se concluiu, como resultado útil, que tem grande importância, a capacidade de resistência do corrimão a esforços de tracção simples, o que, desde logo, implica a necessidade de dispor as juntas de dilatação por forma a assegurar-se a transmissão de esforços dessa natureza. Os ensaios não foram, porém, considerados inteiramente elucidativos e julgou-se indispensável efectuá-los à escala natural.



Para isso, construídos parapeitos de perfilados de aço, em verdadeira grandeza e com várias disposições e secções resistentes, lançaram-se de encontro a eles, provindos duma rampa destinada a criar-lhes velocidade e com incidências de 90° e 45°, autocarros abatidos ao serviço, carregados com o equivalente à lotação completa dos veículos actuais.

As velocidades dos veículos, antes e após a colisão (medidas por meio de cronómetros eléctricos e máquinas de filmar ultra-rápidas), permitiam determinar as correspondentes energias cinéticas e, por diferença destas, a energia dissipada no choque, da qual se deduzia a velocidade necessária para se produzir a rotura do parapeito ou o seu galgamento, conforme o resultado do ensaio considerado.

Realizaram-se 13 ensaios e deles foi possível concluir que dando ao corrimão maior secção resistente do que anteriormente mas diminuindo-lhe a rigidez à flexão (isto é, tornando-o capaz de resistir melhor a esforços de tracção pura), com aumento de comprimento útil (para se aumentar a capacidade de deformação do parapeito, a energia dissipada era consideravelmente maior: com acréscimo de peso de apenas 17 %, podia absorver-se seis vezes mais energia.

Assim se definiram os princípios em que haviam de basear-se as normas hoje em vigor para, sem considerável aumento de despesa, se construírem parapeitos capazes de suportar a colisão dos autocarros que utilizam as pontes de Estocolmo, nas mais desfavoráveis condições permitidas, ou para se reforçarem os existentes.

Os ensaios também permitiram avaliar as condições de segurança das peças das estruturas das pontes em que se fixam os parapeitos e das guardas que agora é obrigatório dispor entre as faixas de rolagem e as pistas para ciclistas ou passeios para peões.

1.7. Os Eng. J. BELLIER e G. JACUBOWITZ, da Sociedade TÉLÉMAC (França), fizeram uma comunicação sob o título «*Mesure des contraintes sur les ouvrages d'art à l'aide des cordes vibrantes*», na qual descrevem um processo de medida das deformações elásticas duma estrutura (e, portanto, das tensões a que a mesma estrutura está sujeita), no caso geral dessa estrutura estar submetida a solicitações dinâmicas.

O processo de medida é essencialmente uma generalização do método empregado no caso de solicitações estáticas. Porque, no entanto, as grandezas a medir, quando se trata de solicitações dinâmicas, variam apreciavelmente no tempo (por vezes em fracções de segundo), há que abandonar o método de comparação e lançar mão do registo oscilográfico.

Para as aplicações correntes, de medidas em estruturas sujeitas à passagem de comboios de cargas com as velocidades actualmente praticadas, os autores consideram possível a análise das oscilações por meio dum registo oscilográfico directo, com velocidade de avanço da película de 1 m/s. O registo directo, contudo, torna «difícil, demorada e fastidiosa» a interpretação do oscilograma, além de implicar elevado consumo de película. Por esse motivo, preferem efectuar o registo de uma nova oscilação, transformada da primeira por modulação com outra conhecida.

No ponto da estrutura cuja tensão se pretende medir e orientada na direcção dessa tensão, liga-se rigidamente uma corda vibrante com dada tensão inicial. Desde que, por efeito de solicitações exteriores, se produzem tensões naquele ponto, à tensão inicial da corda vibrante somar-

-se-á a tensão correspondente à deformação ali provocada por essas solicitações. Por outro lado, tendo a corda vibrante uma frequência própria de vibração que (para dada natureza da corda e suas características geométricas) é função da tensão a que se encontra submetida, essa frequência variará com o estado de tensão da estrutura. Poderá, pois, medir-se a tensão num ponto da estrutura desde que se conheça a frequência da corda vibrante que lhe está ligada e a lei de variação de uma com a outra grandeza.

É este o princípio dos extensómetros de corda vibrante, comum às medidas de tensões estáticas e de tensões dinâmicas. A diferenciação faz-se apenas na maneira de medir as frequências da corda vibrante.

Ainda em qualquer dos dois casos se faz uma primeira transformação da vibração mecânica em vibração eléctrica.

Na medida de tensões estáticas, a vibração eléctrica do extensómetro é comparada com outra proveniente de uma corda vibrante de comparação, cuja frequência o operador faz variar até obter a sua igualdade com a primeira (o que se verifica por meios ópticos ou acústicos); na medida de tensões dinâmicas, a oscilação eléctrica do extensómetro é adicionada à vibração eléctrica (constante em frequência e igual à anterior em amplitude) da corda vibrante de comparação, sendo registada no oscilógrafo a vibração resultante que é, afinal, o batimento das duas.

O registo oscilográfico detecta a semi-onda da frequência que se deseja medir e da de comparação e bem assim a frequência de batimento, que é a sua semi-diferença. A primeira oscilação aparece como um sombreado ou lapizado do registo e a segunda como envolvente daquela. É a segunda oscilação que é utilizada, pelos autores, para medida da frequência. De facto, a distância entre dois nódulos do registo mede o semi-período de batimento, cujo inverso é a diferença entre a frequência a medir e a frequência padrão.

Se a frequência de batimento é variável, a sua medida não é tão fácil: obter-se-ão, a partir dos semi-períodos, valores médios nesses intervalos; e se se desejarem valores instantâneos, ter-se-á de recorrer aos valores da derivada (tangente trigonométrica da curva de batimento) nos zeros da curva e procurar, por interpolação, os valores nos restantes pontos, sabido que os pontos estacionários correspondem a derivada nula.

Os autores atribuem a este processo de medida grande sensibilidade, precisão, comodidade de emprego e fidelidade, qualidades, todas, de grande interesse (principalmente a última) no estudo das obras-de-arte.

Referem ainda as condições a que a aparelhagem deve satisfazer. nomeadamente ao modo de manter as oscilações das cordas vibrantes a amplitude constante, mas não dão qualquer indicação do modo por que o obtêm.

O método permite que o avanço da película fotográfica do oscilógrafo seja da ordem das dezenas de milímetro por segundo (no registo apresentado é de 75 mm/s), contra a velocidade de 1 m/s exigida no registo directo, como atrás se referiu.

No mesmo registo oscilográfico poderá inscrever-se uma oscilação constante, para definição da escala dos tempos, e também uma oscilação que registe o avanço das cargas sobre a estrutura.

2. É curioso e elucidativo verificar que sempre os Congressos da A. I. P. E. incluíram entre os seus temas, com maior ou menor generalidade, o estudo de problemas ligados com as solicitações dinâmicas das estruturas. E como no Congresso de Viena (a A. I. P. E. ainda não existia) o assunto fora também tratado e continuou a sê-lo em quase todos os 15 volumes de Memórias, publicados, pode dizer-se que ele tem constituído preocupação constante da Associação, mesmo, se é permitido o paradoxo, antes da sua fundação.

Isto é sério indício de que os problemas dinâmicos das estruturas estão longe das soluções definitivas e de que os engenheiros que projectam e aqueles que constroem ainda esperam o estabelecimento de normas ou até só de princípios que garantam, suficiente e simultaneamente, a segurança, a economia e a comodidade de utilização das construções sujeitas a solicitações não essencialmente estáticas.

Não se pode daqui inferir que não se tenham registado progressos neste domínio ou que a evolução tenha aqui sido extraordinariamente mais lenta, mais pobre de resultados úteis, do que em outros aspectos da teoria e da prática das construções. A verdade é que o atraso — se atraso existe — deriva da excepcional complexidade e da multiplicidade dos problemas em causa.

Não parece fácil estabelecer uma classificação única que abranja logicamente todos esses problemas, tantos são os critérios interessantes para os agrupar. Mas, em vez de simplesmente os enunciar, um a um, mais vale reuni-los em duas grandes categorias, embora não rigorosamente distintas e independentes: a relativa às questões postas pelas solicitações exteriores de actuação dinâmica; e a que considera a resposta ou reacção das estruturas a essas solicitações.

Na primeira categoria incluem-se os problemas relativos à natureza e previsão das solicitações, sua frequência ou probabilidade de ocorrência e tempo de actuação, sua intensidade e maneira de actuar, etc.; à segunda pertencem os problemas postos pela natureza das estruturas e respectivas fundações, suas características geométricas e mecânicas (estáticas e dinâmicas), no todo ou em relação aos seus elementos constituintes, etc.

Todos estes problemas têm de se resolver por via teórica e experimental e, dos trabalhos conhecidos, é forçoso concluir que se é difícil estabelecer esquemas estruturais que permitam abordar o seu estudo analítico pelos métodos clássicos da Resistência dos Materiais e da Teoria da Elasticidade ou pelos modernos do Cálculo das Probabilidades e da Reologia, não é mais fácil formular leis que sintetizem o comportamento real dos materiais e das estruturas, por forma a tornar possível e eficiente a utilização daqueles métodos.

Em Congressos anteriores concluiu-se que a evolução da Dinâmica das Estruturas chegara a um patamar que, representando embora grande acumulação de conhecimentos, marcava pronunciada estabilização do progresso desses conhecimentos. E emitiram-se votos, não só para o estudo de alguns problemas particulares (como a investigação estatística dos efeitos do vento), mas também no sentido de se estimular a colaboração internacional nesta matéria, meio considerado fundamental para se obterem progressos substanciais.

As comunicações feitas ao actual Congresso referem-se a problemas das duas categorias anteriormente referidas e, se não correspondem aos

votos emitidos, constituem contribuições muito valiosas para o esclarecimento das questões tratadas e para o progresso, em geral, dos estudos dinâmicos das estruturas. Verifica-se, por elas, que aumentaram os meios de determinar experimentalmente o comportamento dinâmico dos materiais e das construções, que se vai conhecendo melhor a resposta que alguns desses materiais e dessas construções dão a certos tipos de solicitações dinâmicas e que a análise matemática dos problemas dinâmicos (infelizmente ainda quase sempre demasiado complicada para as aplicações práticas) vai abrangendo, cada vez mais, fenómenos não anteriormente considerados, de efeitos não desprezáveis.

Mas continua a não haver coordenação internacional da investigação, particularmente da experimental, e não pode, por isso, dizer-se que se haja iniciado nova fase da evolução destes estudos, fora já do patamar a que atrás se fez referência. Há que reiterar voto nesse sentido, de modo a, sem prejuízo de sempre frutuosa diversidade de técnicas e de concepções, poderem firmar-se em resultados suficientemente numerosos, de estudos conduzidos sob orientação uniforme, os modernos conceitos da segurança, relativamente às construções sujeitas a acções dinâmicas.

#### R É S U M É

Les problèmes posés par les sollicitations dynamiques des structures sont si nombreux et si variés, qu'il n'est pas facile de les grouper logiquement, dans une seule classification.

On peut cependant distinguer fondamentalement deux grandes catégories, qui ne sont pas d'ailleurs rigoureusement indépendantes: l'une relative aux questions posées par les sollicitations extérieures d'action dynamique, l'autre relative à la réponse des structures à ces sollicitations.

Les communications présentées à ce Congrès ont trait aux problèmes des deux catégories et montrent que les moyens de déterminer expérimentalement le comportement dynamique des matériaux et des constructions ont augmenté en nombre et en qualité, que l'on connaît de mieux en mieux la réponse de certains matériaux et de certaines structures à des types particuliers de sollicitations dynamiques et que la complexe analyse mathématique des problèmes dynamiques s'étend chaque jour d'avantage à des phénomènes autrefois méconnus bien que d'effets non négligeables.

Mais — et c'était déjà la conclusion de Congrès précédents — ce n'est que par la coordination internationale des recherches, et plus particulièrement des recherches expérimentales, que l'on pourra obtenir des progrès substantiels en cette matière.

Cette coordination devrait avoir comme objectif la selection des problèmes, la délimitation des buts à atteindre et la communication des résultats obtenus, sans porter pour autant atteinte à l'indispensable liberté de conception et à la liberté de choix des techniques à adopter.

#### S U M M A R Y

The problems brought forth by the dynamic loading of structures are so varied and so numerous that it is difficult to devise one single logical criterion of classification capable of including all of them. Basi-

cally, these problems can, nevertheless, be divided into two main classes that are not altogether independent: one deals with those brought forth by the external dynamical loading and the other deals with the response of the structures to that loading.

The papers presented at this Congress deal with both types of problems and show that the means to determine experimentally the dynamic behaviour of materials and structures have increased and that the response of some of these materials and structures to certain types of dynamical loading are getting to be better known. They also show that the complex mathematical analysis of dynamic problems progressively covers phenomena that were not considered before but the effects of which are not negligible.

However, as it has already been concluded at previous Congresses it is only through international coordination of investigation, and particularly experimental investigation, that substantial progress will be attained in this matter. This coordination would aim at selecting the problems, at determining the objectives to pursue and at the communication of the obtained results, without, nevertheless interfering, with the indispensable liberty of conception and choice of the adopted techniques.

#### ZUSAMMENFASSUNG

Die Probleme in Verbindung mit der dynamischen Einwirkungen auf Konstruktionen sind so zahlreich und verschiedenartig, dass es gar nicht einfach ist, eine logische, allumfassende Einteilung derselben vorzunehmen. Im Grunde können diese Probleme doch in zwei grossen Gruppen, die doch nicht streng abgegrenzt sind, eingeteilt werden und zwar: eine betreffend die dynamischen Einwirkungen von aussen auf die Konstruktionen, und eine betreffend die von diesen Einflüssen her-rührende Reaktion.

Die Nachrichten, die auf diesem Kongress hervorgekommen sind, fassen Probleme der beiden Gruppen um und zeigen, dass die Methoden zur experimentellen Feststellung des dynamischen Benehmens der Materialien und Konstruktionen erweitert sind, dass man die Reaktion, die einige dieser Materialien und Konstruktionen auf entschiedene Arten von dynamischen Einwirkungen geben, besser kennen lernen wird und, dass die komplizierte, mathematische Analyse der dynamischen Probleme immer mehr Phänomene, die vorher nicht mitgerechnet wurden, mit unvermeidlichen Resultaten in Betracht nehmen werden.

Wie es aber von früheren Kongressen festgestellt worden ist, kann man in dieser Materie nur bei internationaler Koordinierung der Untersuchungen, besonders auf dem Versuchsgebiet, substantielle Fortschritte machen.

Diese Koordinierung hatte vor Augen die Auswahl der Probleme, die Bestimmung der Objekte zu verfolgen und die Auswechslung der erreichten Resultate, ohne Vorurteil der unentbehrlichen Freiheit zur Annahme und Wahl der Technik zu annehmen.