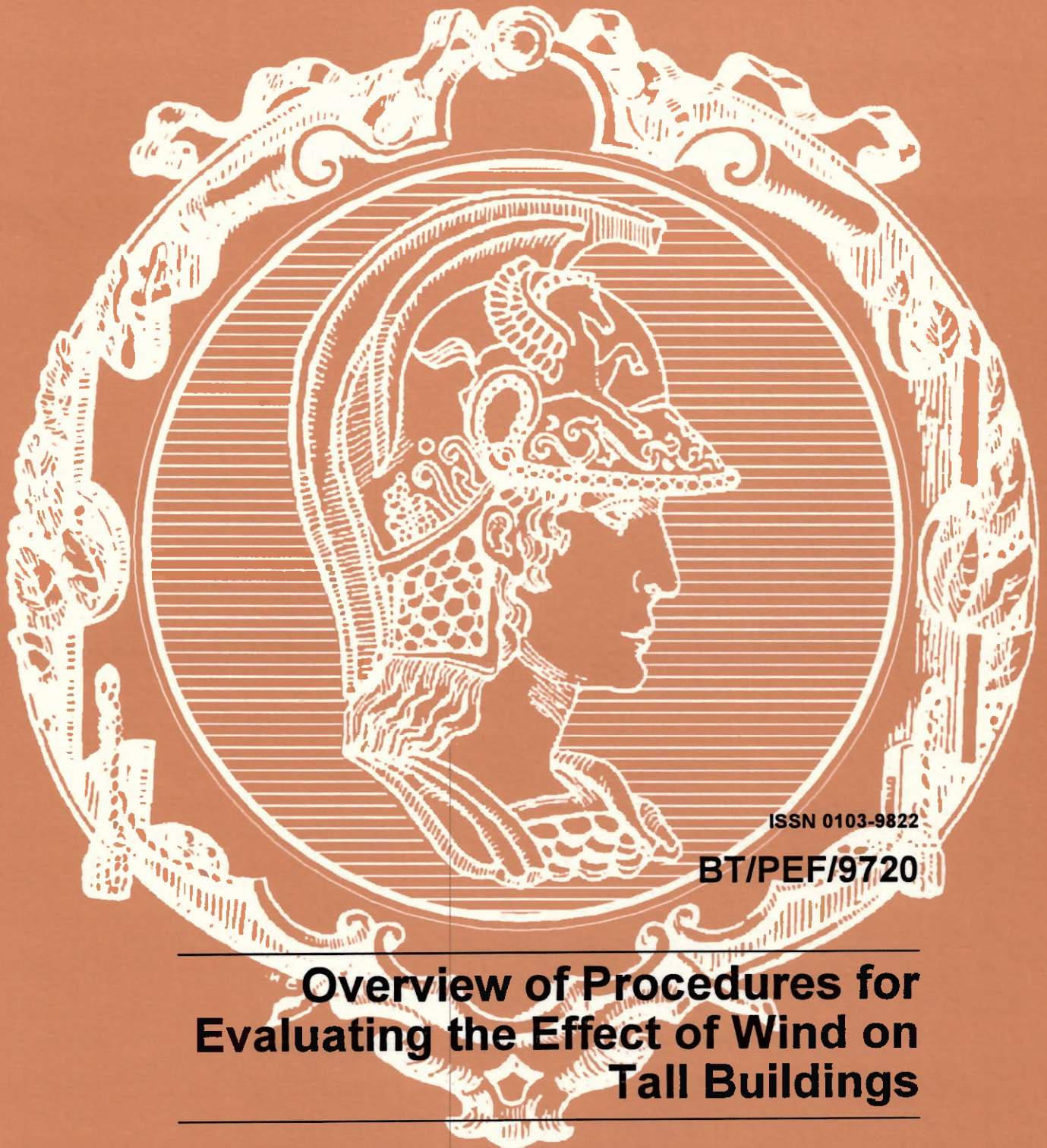


Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP

Deptº de Engenharia de Estruturas e Fundações



ISSN 0103-9822

BT/PEF/9720

**Overview of Procedures for
Evaluating the Effect of Wind on
Tall Buildings**

**M. Franco
N. Isyumov**

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

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações

Diretor: Prof. Dr. Célio Taniguchi
Vice-Diretor: Prof. Dr. Eduardo Camilher Damasceno

Chefe do Departamento: Prof. Dr. Carlos Eduardo Nigro Mazzilli
Suplente do Chefe do Departamento: Prof. Dr. Paulo de Mattos Pimenta

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

Esta 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/9720

**Overview of Procedures for
Evaluating the Effect of Wind on
Tall Buildings**

**M. Franco
N. Isyumov**

São Paulo - 1997

Franco, M.

Overview of procedures for evaluating the effect of wind on tall buildings / M. Franco, N. Isyumov.
-- São Paulo : EPUSP, 1997.

10 p. -- (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações, BT/PEF/9720)

1. Estruturas - Pressão do vento 2. Edifícios altos I. Isyumov, N. II. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações III. Título IV. Série

ISSN 0103-9822

CDU 624.042.41
69.032.22

Overview of Procedures for Evaluating the Effect of Wind on Tall Buildings

M. Franco⁺

N. Isyumov^{*}

Wind-building interaction is governed by a number of factors^{1,2}, some of which are related to the nature of wind, and others by geometrical, structural and dynamical parameters of the building. A case-study is presented in which wind action upon a 155 m tall concrete building is analyzed using several approaches :

- two simplified code-based random analyses in which only the fundamental mode of vibration is considered;*
- a deterministic analysis in the time domain, in which 20 synthetic wind excitation functions are applied to a complete mathematical model of the structure;*
- an experimental wind-tunnel study on a stiff 1:400 physical model, followed by an analysis on two mathematical structural models*

The results of these analyses are compared.

The experimental information obtained is also briefly discussed in terms of:

- local wind pressures and suctions, useful for the design of cladding and fenestration;*
- wind conditions at ground level, needed to assess the suitability of the outdoor areas.*

1. Introduction.

The process of wind-building interaction is a classical problem of random vibrations. Wind velocities at points on the surface of the structure vary with time, fluctuating around mean values; they are defined by a number of parameters:

- geographical and topographical situation;
- ground roughness;
- power spectrum of the wind;
- spatial correlation of gusts;
- probabilistic distribution of velocities .

The power spectrum $S(n)$ defines the power of gusts as a function of their frequency n and of the mean velocity $\bar{V}_{10}$ at 10 m height on open terrain; it can be represented by universal functions whose shapes vary slightly from author to author; one of the best known is Davenport's expression:

$$\frac{n \cdot S(n)}{K \bar{V}_{10}^2} = 4 \frac{x^2}{(1+x^2)^{4/3}}, \text{ with } x = \frac{1200 n}{\bar{V}_{10}}$$

The spatial correlation of velocity fluctuations (gusts) at two points on the surface of the building is best represented by a coherence function which varies from +1 to -1. Perfect correlation corresponds to the value +1, random correlation to zero

⁺ Director, Escritório Técnico Julio Kasoy e Mario Franco Eng.Civ. Ltda./ Professor, Escola Politécnica, University of S. Paulo, São Paulo, Brasil.

^{*} Research Director and Professor, Boundary Layer Wind Tunnel Laboratory, University of Western Ontario, Faculty of Engineering Science, London, Ontario, Canada.

and antiphasal correlation to -1. Coherence is given as a function of the frequency n of the particular gust considered and of the distance Δr between the two points by:

$$\sqrt{\text{Coh}(n, \Delta z)} = \exp\left(-C \frac{n \Delta r}{V_{10}}\right),$$

where C is an experimental coefficient. For vertical correlation, $C \cong 7$.

The probabilistic distribution of velocities is **gaussian**:

$$P(V) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{(V - \bar{V})^2}{2\sigma^2}\right) dV$$

where $\bar{V}$ is the mean velocity and σ is the standard deviation of the velocity V . It can be shown that:

$$\sigma^2 = \int_0^{\infty} S(n) \cdot dn$$

Wind pressures p , on the other hand, depend on air density ρ , on wind velocity V and on the shape of the building, the latter being represented by an aerodynamical coefficient C_e :

$$p = \frac{1}{2} \rho V^2 \cdot C_e.$$

The coefficient C_e is determined experimentally by means of wind tunnel tests on a reduced model; codes provide values of C_e for a number of simple building shapes.

The response of the building depends on its **mass distribution**, **vibration modes** (the first or fundamental mode being strongly dominant) and **damping**.

Once all the wind parameters, as well as the structural and dynamical ones, are known, a random analysis can be performed. The maximum response, in terms either of displacements, accelerations or member forces, will be of the type:

$$\bar{\mu} = \mu + k_p \cdot \sigma,$$

where $\bar{\mu}$ is the maximum probable value of the response of interest, μ is its mean value, k_p is a peak coefficient (of the order of 3.5) and σ is the standard deviation of the response. The above equation can be written:

$$\bar{\mu} = \mu \cdot C_g,$$

where C_g is called the **gust factor**. Once the mean response is determined using a static analysis of the structure submitted to mean pressures, approximate peak values can be found by multiplying mean values by C_g . The gust factor is usually determined for the amplitude of oscillation of the top of the building, and is thereafter applied to all the other values of displacements and member forces. This is in fact an approximation because C_g may vary along the structure and is not necessarily the same for all member forces. However, for practical engineering purposes, using a single overall value of C_g , determined as above, provides in most cases a sufficiently good approximation.

2. Simplified random analysis.

Assuming a shape for the power spectrum and values for the spatial correlation constants (both vertical, horizontal and along-wind), it is possible to perform a simplified random analysis of a building of uniform geometry and mass distribution in which only the first mode of vibration of the structure is considered. The National Building Code of Canada³ provides graphs (and the corresponding analytical functions) that enable to find the gust factor C_g as a function of the fundamental period T_1 and of the structural damping ξ (% of critical). A totally analytical alternative method proposed by Solari⁴, in which also the total uniformly distributed mass of the building is taken into account, leads to the determination of C_g and of the maximum acceleration $\ddot{a}$ of the top of the building. Both methods can be easily programmed for use on a small pocket calculator, such as an HP-42/S.

3. Deterministic analysis in the time domain. "Synthetic wind",

It has been shown⁵ that a "synthetic wind" can be created in the time domain, starting from an assumed function of the wind power spectrum and from experimental values of the spatial distribution coefficients. The pressure at each point of the structure will then be the sum of a constant (mean) one with 48% of the total peak value, plus a fluctuating one. The latter is supposed to be formed by 11 harmonic functions, one of which resonant, whose amplitudes are consistent with the power spectrum. The spatial distribution of the fluctuating pressures is simplified through the use of the concept of "gust size". The phase angles of the 11 harmonics are defined by random numbers; for each set of these phase angles a particular "synthetic wind" is defined. Usually 20 different sets are considered, and a statistical analysis of the results is then performed. The duration of the wind is of about 60 min.

The structure can be defined quite realistically; it can be computer-modeled by frame elements as well as by shell and solid ones; elastic foundations can be introduced; as many modes as deemed necessary can be used, as well as modal damping; second order effects can be considered; for each "synthetic wind" a time history for every joint displacement and acceleration (linear or angular in both cases), and for every member force, is produced. Gust factors C_g are found to vary from member to member, in some cases substantially.

4. Wind tunnel model analysis.

The wind response of a building can be determined experimentally by tunnel tests in a turbulent boundary layer flow simulating natural wind acting on a scale model in which the shape and the approximate dynamical properties are represented⁶; in this case the model is an aeroelastic one. Usually only the first mode of vibration is modeled, concentrating the elasticity and damping at the base of the structure. More refined results can be achieved in special cases by modeling more than one degree of freedom; the Sears Tower, for instance, was modeled with 21 d.o.f. at the Boundary Layer Wind Tunnel Laboratory of the University of Western Ontario (Canada).

Aeroelastic models, however, are quite expensive and therefore wind tunnel tests are usually performed on a stiff (aerodynamical) model, in which a great number of pressure taps is installed. The model is mounted on a circular basis corresponding

to a ~ 500 m radius on which the surrounding landscape is modeled with precision; the far-off upwind terrain is modeled for each particular wind direction according to its actual roughness. Tests are performed for all wind azimuths, with angle increments of 10° as follows:

4.1. At each tap and for every wind direction the time history of the pressure during about 60 min is recorded. Integration of the simultaneous pressures upon the surface of the building provides the time histories of wind forces, including torsion.

4.2. These forces are then applied to a mathematical model derived from the following data:

4.2.1. The first 9 vibration modes (eigenvectors) and the corresponding periods (eigenvalues); these are computed using a complete model of the building (SAP-90, STRAP or other programs are used); second order effects should be taken into account.

4.2.2. Mass distribution (including torsional) along the height of the building.

4.3. A statistical treatment of the output is then performed and the following results are obtained:

4.3.1. Standard deviation of the linear accelerations $\sigma_{\ddot{a}_X}$, $\sigma_{\ddot{a}_Y}$ in the principal directions as well as of the torsional acceleration $\sigma_{\ddot{a}_{ZZ}}$.

4.3.2. Assuming a peak factor $k_p = 3.8$ maximum accelerations are then obtained for each wind direction: $\ddot{a}_X$, $\ddot{a}_Y$, $\ddot{a}_{ZZ}$. The acceleration at the outmost corner $\ddot{a}_{\text{Corn.}}$ is also evaluated. All accelerations are computed for the uppermost occupied floor and are significant for the assessment of comfort at that level.

4.3.3. Mean deflections and the corresponding standard deviation for both the X and Y directions and for torque are obtained. Maximum and minimum values are then computed assuming a peak factor 3.8.

4.3.4. Maximum and minimum base moments M_X and M_Y , and torque moment M_{ZZ} are likewise computed for each wind direction, starting from mean values, standard deviation and peak factor 3.8.

4.3.5. Equivalent static wind forces f_X and f_Y distributed along the height of the building as well as distributed torque moments m_{ZZ} are statistically computed, in such a way that with a small number of weighted combinations of these values all worst cases are safely covered⁷.

It is common practice in engineering to base the design of a tall building on the independent action of wind loads estimated along particular directions of the building. Unfortunately, this convenient assumption is an oversimplification as for any particular wind direction the building is expected to experience simultaneously acting forces in the along and across-wind directions, as well as a torsional moment.

For members governed only by wind induced forces in one particular direction, extreme member forces or load effects can be obtained using the respective independently acting x and y lateral forces and the torque about the vertical axis. Generally, however, the wind induced stresses or load effects for a particular member result from a combination of the wind forces in the two

sway directions and the wind induced torque. Typically the maximum load effect for member i can be expressed as:

$$F_{i_{\max}} = (C_{y_i} M_y + C_{x_i} M_x + C_{T_i} M_T)_{\max}$$

where $F_{i_{\max}}$ = the maximum load effect or stress for member i due to wind action.

M_x, M_y, M_T = the wind induced moments due to x, y and T forces.

$C_{x_i}, C_{y_i}, C_{T_i}$ = the influence coefficients which relate the stress or force effect for member i to the wind induced moments M_x, M_y and M_T respectively.

Using available test data it is still convenient to evaluate $F_{i_{\max}}$ from the maximum values of the independent acting wind forces. The peak value of the stress or load effect in such a case can be expressed as:

$$F_{i_{\max}} = \phi [C_{y_i} \hat{M}_y + C_{x_i} \hat{M}_x + C_{T_i} \hat{M}_T]$$

where ϕ is a load combination or "joint action factor" which allows for the reduced likelihood of the simultaneous occurrence of maximum x, y and torsional effects. The magnitude of this joint action factor can be estimated from the available test data using the following expression:

$$\phi = \frac{\hat{F}_i(R)}{|C_{y_i}| |\hat{M}_y(R)| + |C_{x_i}| |\hat{M}_x(R)| + |C_{T_i}| |\hat{M}_T(R)|}$$

where $\hat{F}_i(R)$ is the actual member force or stress for member i for return period R and where the denominator is the value of F_i estimated from the combination of the independently acting maximum values of $\hat{M}_y, \hat{M}_x$ and $\hat{M}_T$ for the same return period.

The introduction of the load combination factor ϕ results in significant simplifications in the load cases which must be considered for design. Typically, the design would be based on the independent action of effective static wind loads acting in particular directions of the building. In view of the importance of the dynamic response these directions are taken to coincide with the orthogonal principal axes of the building. A combined load case with an appropriately selected joint action factor would be examined. Based on existing information, joint action factors of about .80 to .85 and about .70 to .75 would be appropriate for load cases involving the action of two or three independent wind loads respectively, as follows:

<u>Load Cases</u>	<u>"Load</u>	<u>Combination"</u>	<u>Factors</u>
	<u>X Force</u>	<u>Y Force</u>	<u>Torsion</u>
X Loads	1	0	0
Y Loads	0	1	0
Torsion	0	0	1
X + Y Loads	0.85	0.85	0
X + Torsion	0.85	0	0.85
Y + Torsion	0	0.85	0.85
X + Y + Torsion	0.75	0.75	0.75

4.4. Finally, the above load combinations are statically applied to the complete mathematical model (SAP, STRAP, TQS or other), in which the entire structure is modeled as precisely as possible; the analysis will be performed taking into account physical and geometrical nonlinearities. All worst-case member forces will then be available for design purposes. The program may be one that automatically performs reinforcement calculations and outputs constructional drawings for the entire structure.

5. A case-study: the North Tower of the Centro Empresarial Nações Unidas (S.Paulo).^{}**

We will now analyze the North Tower of CENU using the different approaches described above.

5.1. The structure. This reinforced concrete tower (fig.1, 2 and 3) is 154.30 m tall above ground and has a total height, measured from the top of the foundations, of 174.05 m. It consists of a central core and a peripheral "tube" formed by stiff façade columns (1.24 m x 1.24 m from the foundation to the first floor and 1.24 m x 0.90 m above the first floor) braced by 0.60 m wide x 0.80 m high beams (in the lower floors the height is limited to 0.60 m for architectural reasons). Lateral forces are efficiently resisted by the combined effect of the core plus the "tube". The foundation consists of a great central raft supporting the core, plus isolated direct foundations for the peripheral columns. The soil is a stiff clay with an allowable compression stress of 100 kN/m² for gravity loads, which can be increased (according to the Brazilian Foundations Code) to 130 kN/m² for the combined effect of gravity loads + wind loads. An important setback exists in the façade from the 28th. floor up.

Initially the structure was modeled and processed using the SAP-90 PLUS⁸ program both for gravity and for lateral wind loads as per the Brazilian Wind Code NB-599⁹. A dynamic analysis considering P-Δ effects determined the following first, second and third natural periods:

Direction YY (along the simmetry axis): $T_1 = 6.45 \text{ s}$

Direction XX (perpendicular to dir. YY): $T_2 = 6.34 \text{ s}$

Direction ZZ (torsion along vertical axis): $T_3 = 4.10 \text{ s}$

These periods varied slightly in later analyses, owing to small modifications introduced in the structural design.

The top displacements due to mean code wind ($\bar{V}_{10} = 25 \text{ m/s}$) were found to be:

wind dir. XX: $f_{XX, \text{mean}} = 7.64 \text{ cm}$

wind dir YY: $f_{YY, \text{mean}} = 9.61 \text{ cm}$

^{**} Centro Empresarial Nações Unidas - North Tower.

Developer:	Tishman Speyer-Método-Funcel
Architect:	Botti/Rubin
Structural design:	J. Kassoy & M. Franco
Foundations:	Consultrix
IIEVAC:	MHA
Contractor:	AKYO

5.2. Simplified random analyses.

5.2.1. National Building Code of Canada method.

- total height: $H = 174.05 \text{ m}$
- a) - direction XX calculations
 - width (assumed constant), dir. XX wind: $W = 54.31 \text{ m}$
 - period: $T_1 = 6.34 \text{ s}$
 - damping: $\xi = 2\%$
 - basic mean wind velocity: $\bar{V}_{10} = 25 \text{ m/s}$
 - terrain roughness type: B
 - computed gust factor: $C_g = 2.20$
 - computed dynamic displacement: $f_{XX,din} = 7.64 \times 2.20 = 16.8 \text{ cm}$
- b) - direction YY calculations
 - width (assumed constant), dir. YY wind: $W = 64.91 \text{ m}$
 - period: $T_1 = 6.45 \text{ s}$
 - computed gust factor: $C_g = 2.15$
 - computed dynamic displacement: $f_{YY,din} = 9.61 \times 2.15 = 20.7 \text{ cm}$
- 5.2.2. Solari's method.
 - total mass of the building: $M = 98.5 \times 10^6 \text{ kg}$
 - a) - direction XX calculations
 - computed gust factor: $C_g = 2.05$
 - computed dynamic displacement: $f_{XX,din} = 7.64 \times 2.05 = 15.7 \text{ cm}$
 - b) - direction YY calculations
 - computed gust factor: $C_g = 2.04$
 - computed dynamic displacement: $f_{YY,din} = 9.61 \times 2.04 = 19.6 \text{ cm}$

5.3. "Synthetic wind" analysis.

- a) direction XX calculations
 - computed gust factor: $C_g = 2.09$
 - computed dynamic displacement: $f_{XX,din} = 7.64 \times 2.09 = 16.0 \text{ cm}$
- b) direction YY calculations
 - computed gust factor: $C_g = 2.11$
 - computed dynamic displacement: $f_{YY,din} = 9.61 \times 2.11 = 20.3 \text{ cm}$

5.4. Wind tunnel model analysis.

The wind study of CENU'S North Tower was made by the Boundary Layer Wind Tunnel Laboratory of the University of Western Ontario, Canada,¹⁰. The methodology was the one described in § 4. The model was built of plexiglass and 473 pressure taps were installed. Fig. 4 shows the model and in fig 5. the immediate environment can be seen, mounted on a circular basis corresponding to a 500 m radius. Figs. 6, 7 and 8 show the model in the tunnel; upstream terrain roughness corresponds respectively to open country (exposure A, fig.6), suburban area (exposure B, fig.7) and urban (exposure C, fig.8). The purpose of the study is mainly to determine, for several return periods:

a) local pressures and suctions on exterior surfaces; these findings are being used in the design of the façades' cladding and fenestration (see fig.9, in which worst-case suctions in kPa are shown for the west façade).

b) wind velocities at ground floor level around the building in order to assess comfort conditions (see fig.10, in which week exceedances at 16 hot-wire anemometers located at the ground floor are shown and compared to comfort criteria; probes 2 and 6 show conditions roughly corresponding to open country).

c) maximum corner acceleration at the uppermost floor. It was found to be of 16 millig for a return period of 50 years, which is quite acceptable in terms of motion perception.

d) overall structure loads and responses; this part of the study is the one that will be discussed in some detail, as follows.

5.4.1. Pressure coefficients. Maximum, minimum and mean pressure coefficients were determined for all azimuths at each of the 473 pressure taps. Fig.11 shows the results for taps 1 to 48.

5.4.2. Forces in the X, Y and torsional directions were determined by integrating the simultaneously acting pressures at all locations.

5.4.3. Dynamic properties of the structure were determined using the SAP-90 PLUS program. Fig.12 shows the structural SAP model used. The following data were computed:

- mass distribution (including torsional)
- the first 9 natural vibration modes (modes 1, 4 and 7 correspond to YY direction; modes 2, 5 and 8, to XX direction; modes 3, 6 and 9 are torsional.
- the 9 corresponding natural periods.

5.4.4. Base moments and torque (see results for dir.YY in fig.13) are then calculated using the forces of §5.4.2. in conjunction with the dynamic properties of §5.4.3

5.4.5. Effective statically acting X, Y and Ø (torsional) wind loads (see results for dir YY in fig.14) are estimated for a return period of 50 years assuming a 2% damping.

5.4.6. Final static analyses. The static equivalent forces X, Y and Ø of §5.4.5. are applied to two structural models:

a) SAP model (fig.12) with the 7 load combinations of §4.3.5.

b) TQS model (fig.15) with the same 7 load combinations, but considering + or - signs, which amounts to a total of 20 cases.

TQS¹¹ is an integrated program which, after computing worst-case member forces for all the load combinations defined, automatically calculates and details member reinforcement and produces constructional drawings for the entire structure. The results of models a) and b) are quite similar; small differences are due to the fact that the TQS model incorporates some minor design adjustments due to architectural changes.

Displacements of the top, computed with the TQS program are:

$$f_{XX,din} = 12.4 \text{ cm}$$

$$f_{YY,din} = 16.0 \text{ cm}$$

6. Conclusions.

It was shown that wind tunnel testing provides rich and important information which is useful in a number of aspects of tall building design.

6.1. Local pressures and suctions. This information is of great importance for the design of cladding and fenestration, which otherwise would be dimensioned using code coefficients which are generally conservative (and therefore against economy) but which do not cover local "hot spots" where particularly intense pressures or suctions may occur.

6.2. Wind conditions at ground level. It is a known fact that in the proximity of a tall building great wind velocities may occur, resulting in discomfort or even, in extreme cases, danger to pedestrians. The assessment of wind conditions at ground level is therefore important to verify the suitability for the proposed uses of various outdoor areas.

6.3. Maximum acceleration at the uppermost occupied floor. It is needed to assess occupant comfort.

6.4. Structural design. This is the most important application of wind tunnel testing; an accurate and safe structural dynamic analysis can be performed by integrating simultaneous pressures at a great number of points on the surface of the building and by defining a set of equivalent static forces whose combinations cover all the worst-case situations. Important steel savings can be achieved, as compared with the results obtained by simplified procedures. The example of CENU illustrates well this fact.

The horizontal displacements in cm, in the XX and YY directions, computed by the methods discussed above are respectively:

Direction	Mean wind	Random NBCC	Analysis SOLARI	"Synthetic wind"	Experim. SAP-90	Anal. TQS
XX	7.64	16.8	15.7	16.0	12.5	12.4
YY	9.61	20.7	19.6	20.3	15.6	16.0

The simplified random analyses following the NBCC and the Solari methods combined with the Brazilian Code mean wind yield quite similar results, with differences of about 7%.

The "synthetic wind" approach, although based on a totally different methodology, also starting from the Brazilian Code mean wind, arrives at approximately the same results as the previous ones, within a 5% margin.

The experimental model analysis approach, which takes into account the actual terrain roughness and the real spatial correlation of gustiness, is of course the most precise one. Displacement values computed by this method are about 12 % smaller than those obtained by the "synthetic wind" approach, and about 23 % smaller than those calculated by the National Building Code of Canada. Similar reductions occur in computed member forces. Significant reinforcement savings, in the order of up to 7% in some floors, were obtained using this refined approach.

7. Bibliography.

1. Davenport, A. G., "The Treatment of Wind Loading on Tall Buildings", in *Tall Buildings - Proceedings of a Symposium held at the University of Southampton, Apr. 1966*, Oxford, / London, 1967.
2. Simiu, E. and Scanlan, R. H., "Wind Effects on Structures", Second Edition, New York, 1986.
3. National Research Council Canada, "User's Guide-NBC 1995-Structural Commentaries (Part 4)", Ottawa, 1996.
4. Solari, G., "Along Wind Response Estimation: Closed Form Solution", *J. Struc. Div.*, ASCE, 108, N° STI, Jan. 1982
5. Franco, M., "Direct Along Wind Dynamic Analysis of Tall Structures", in *International Conference on Tall Buildings, Proceedings*, Rio de Janeiro, 1993.
6. The University of Western Ontario, Faculty of Engineering Science, "Wind Tunnel Testing - A General Outline", Nov. 1994.
7. Isyumov, N., "The Aeroelastic Modeling of Tall Buildings", in *"Wind Tunnel Modeling for Civil Engineering Applications - Proceedings of the International Workshop on Wind Tunnel Modeling Criteria and Techniques in Civil Engineering Applications"*, Gaithersburg, Maryland, USA, 1982.
8. Wilson E. L., "SAP - A General Structural Analysis Program", *Structural Engineering Laboratory Report N° UC SESM 70-20*, University of California, Berkeley, California, Sep. 1970.
9. NB-599 (NBR-6123), "Forças devidas ao Vento nas Edificações", ABNT, São Paulo, 1977.
10. Isyumov, N. et al., "A study of wind effects for the Centro Empresarial Nações Unidas (CENU), São Paulo, Brazil - Final Report", May 1997.
11. Covas, N., Belk, A., "Computação Gráfica Aplicada ao Projeto Estrutural - Sistemas Integrados CAD-TQS", São Paulo, 1996

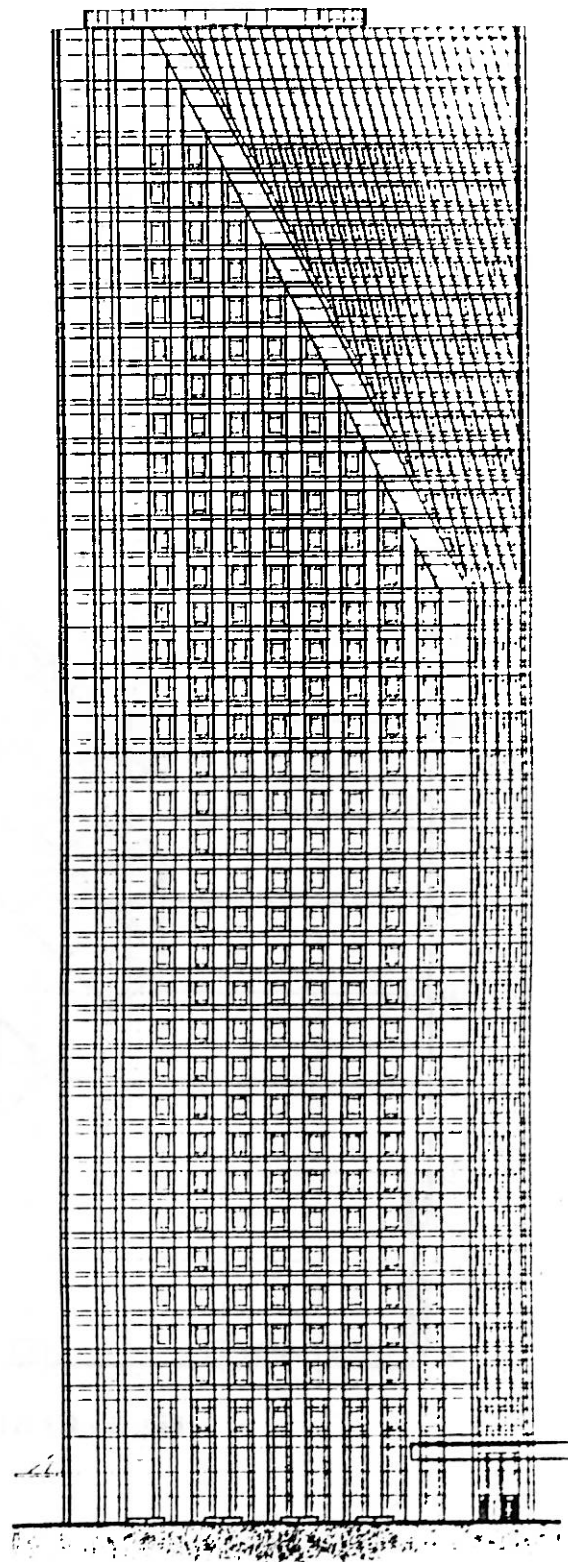
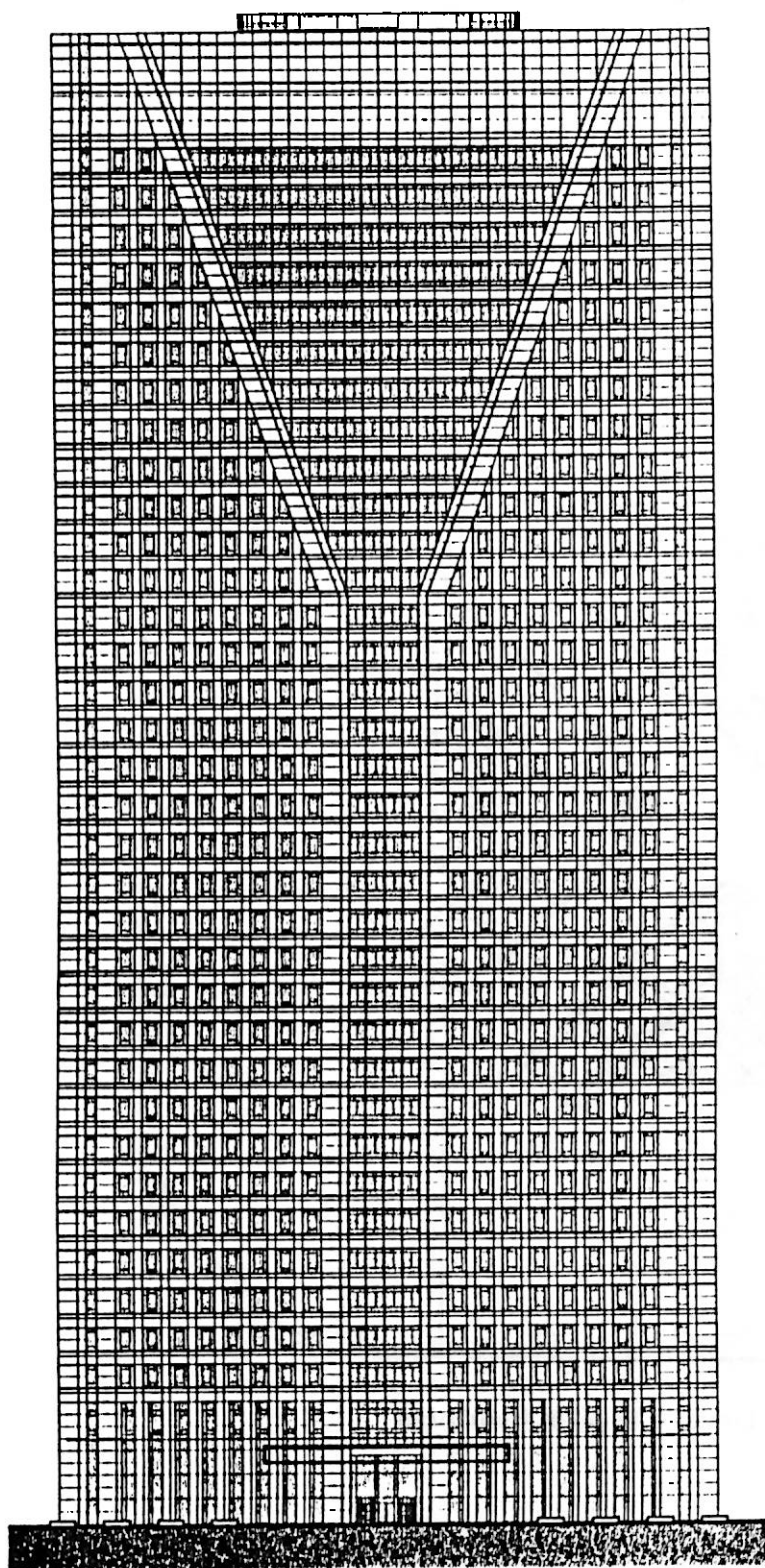


Fig. 1 - CENU - North Tower - Elevations

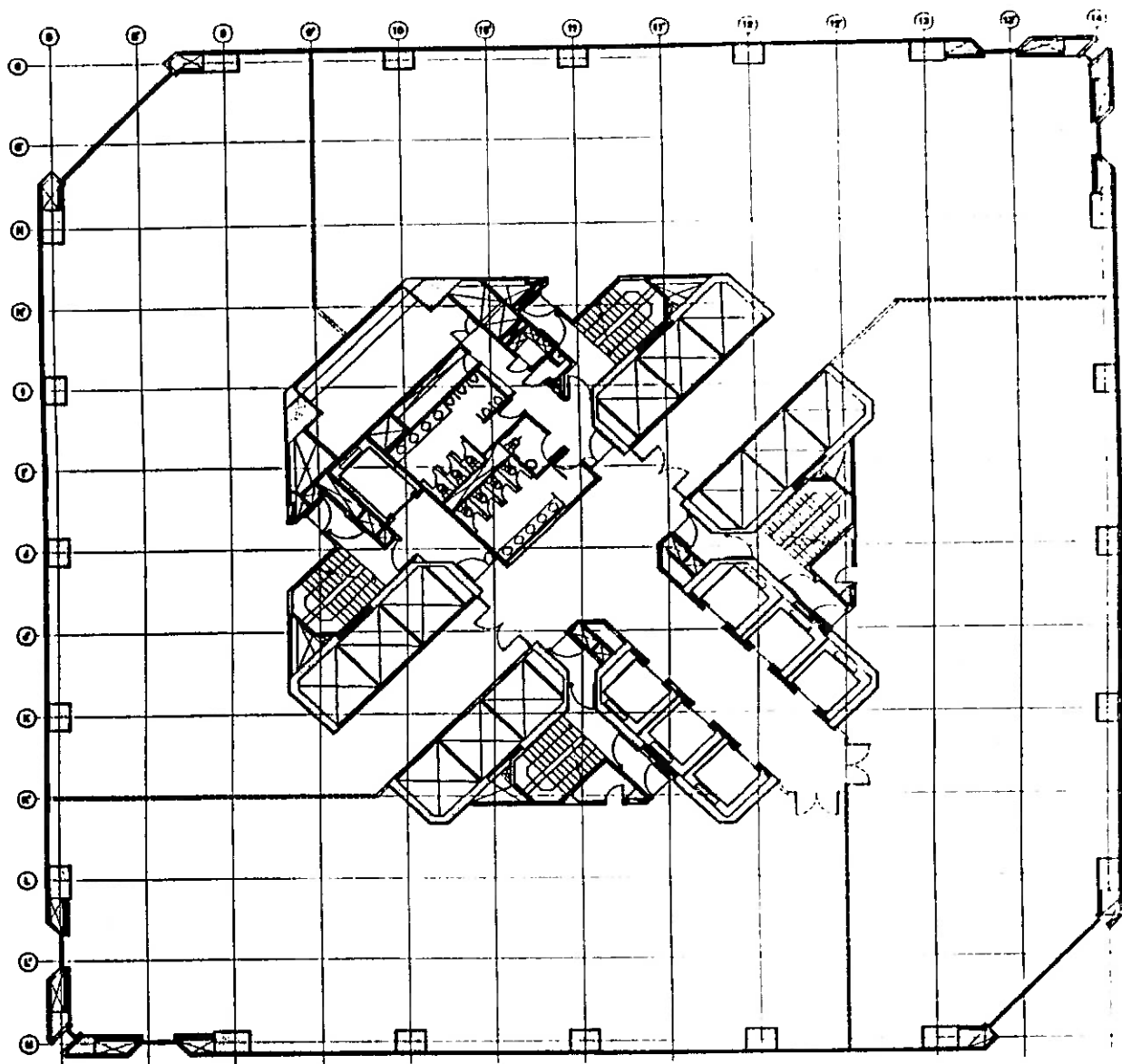


Fig. 2 - CENU - North Tower - Typical floor plan

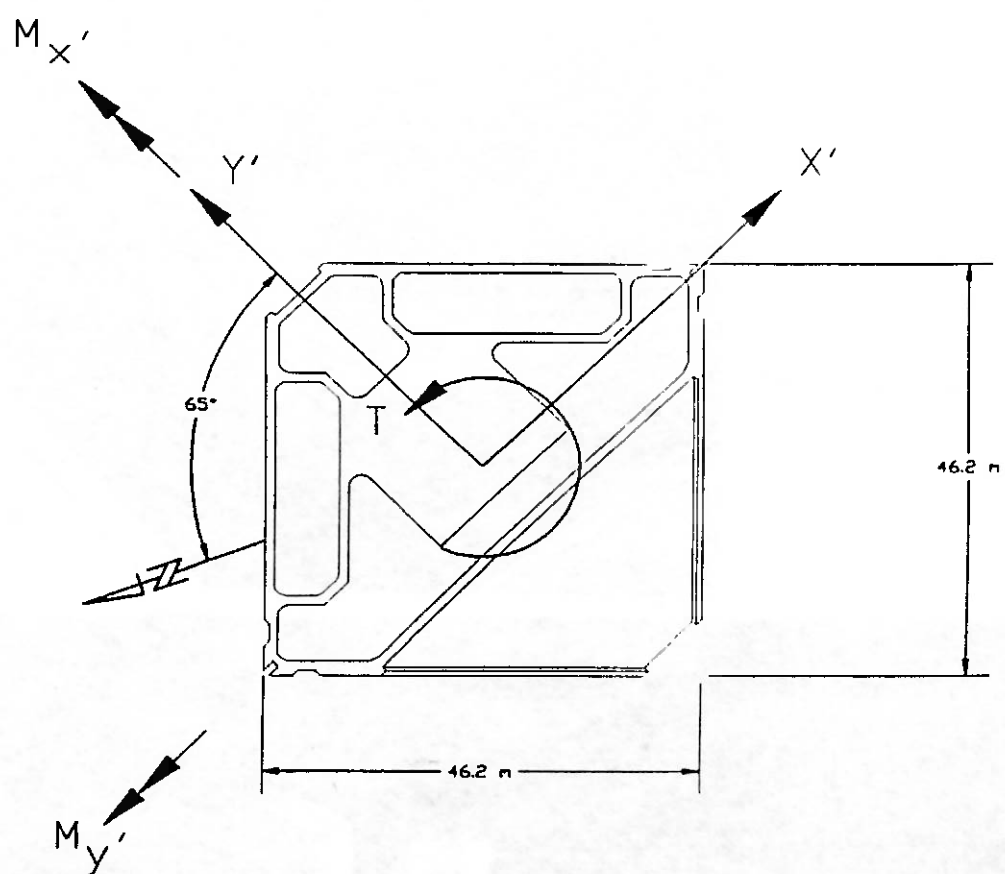


Fig. 3 - Sign convention used in the study of instantaneous structural wind loads

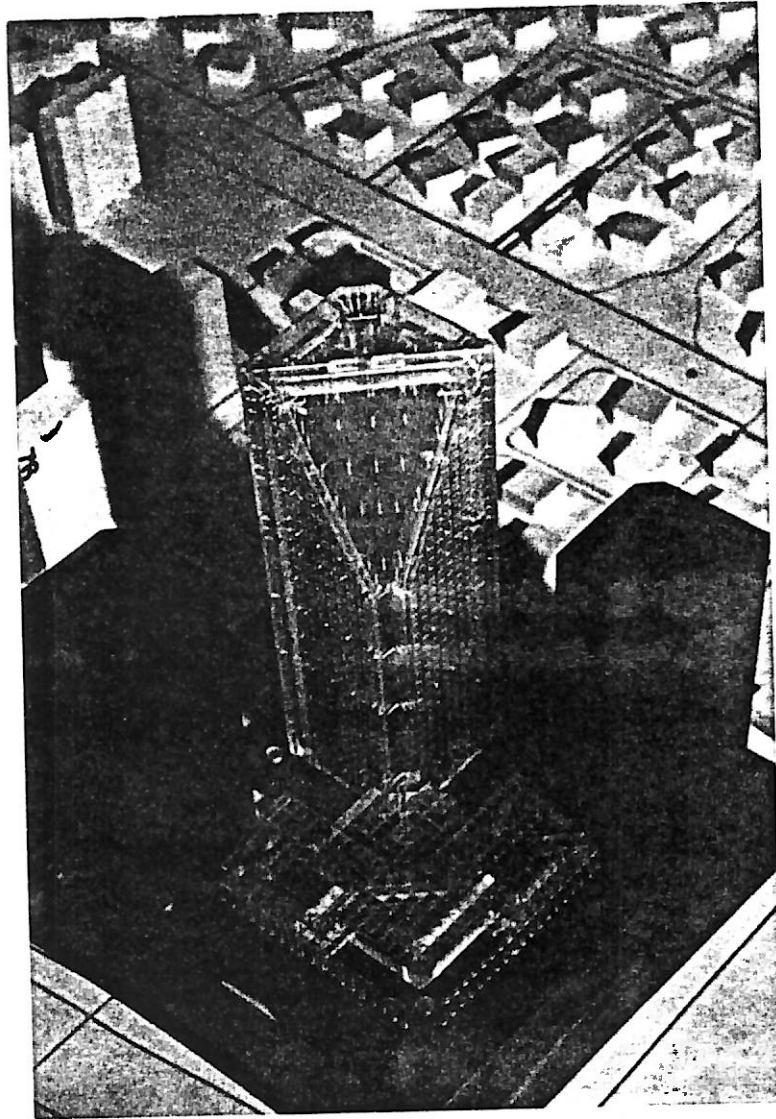


Fig. 4 - View of pressure model

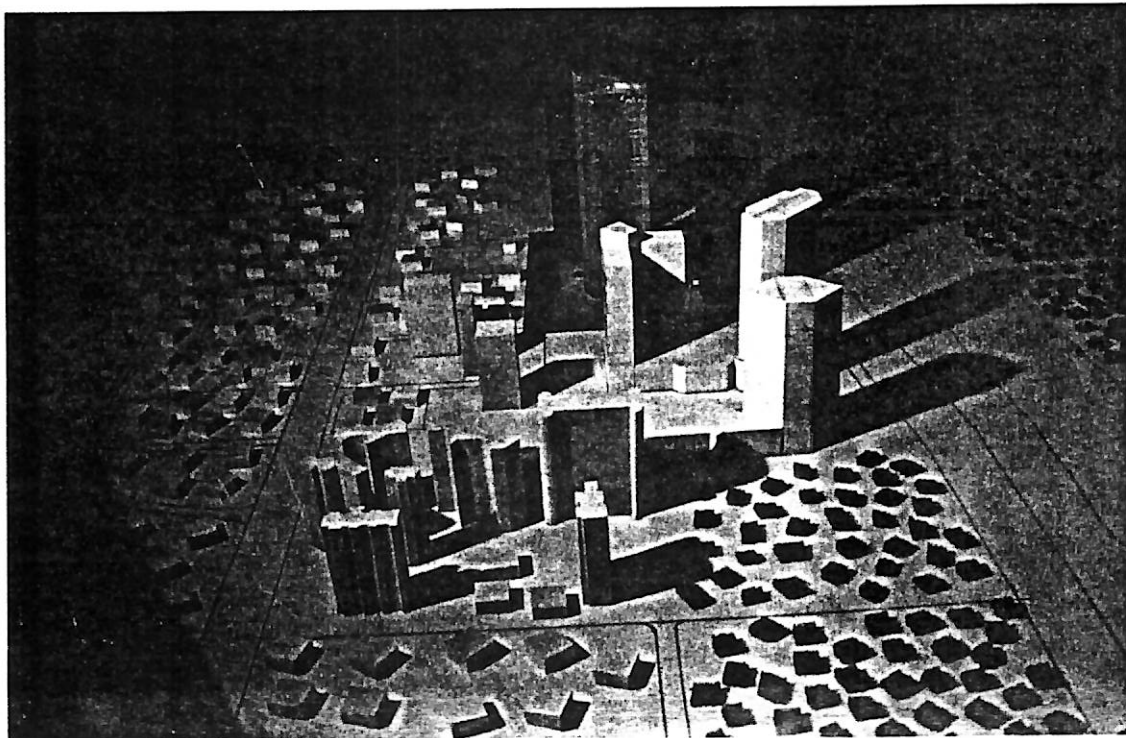


Fig. 5 - View of pressure model and proximity

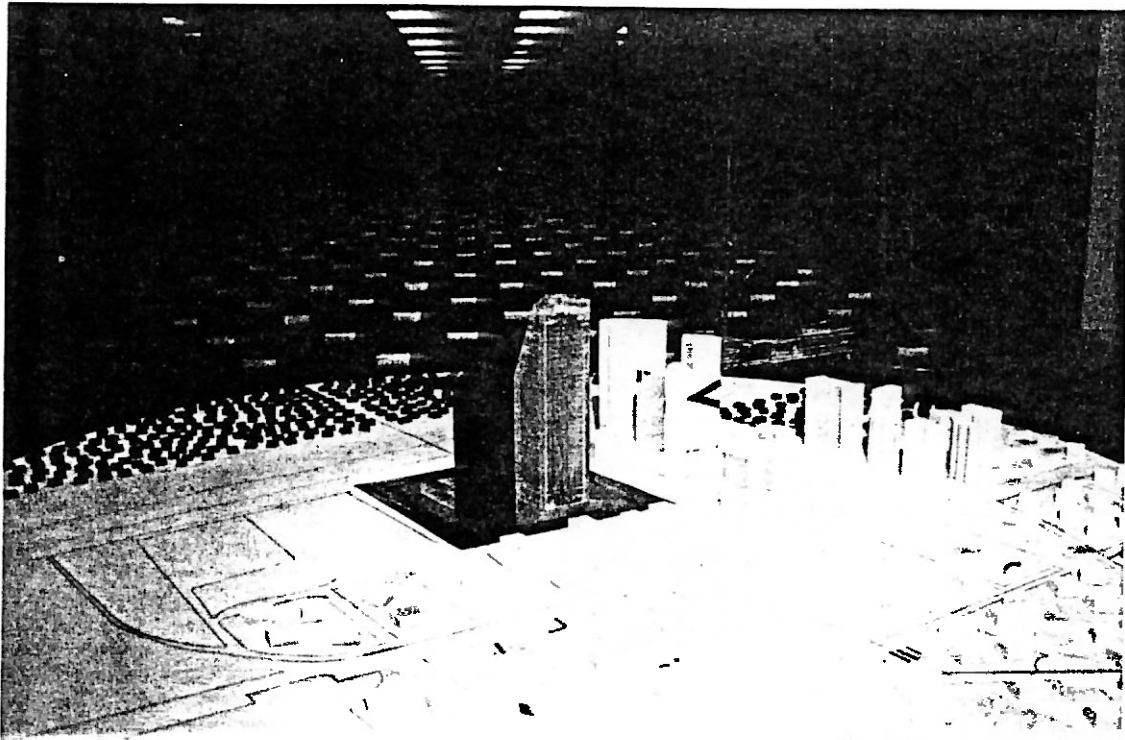


Fig. 6 - View of pressure model with exposure A

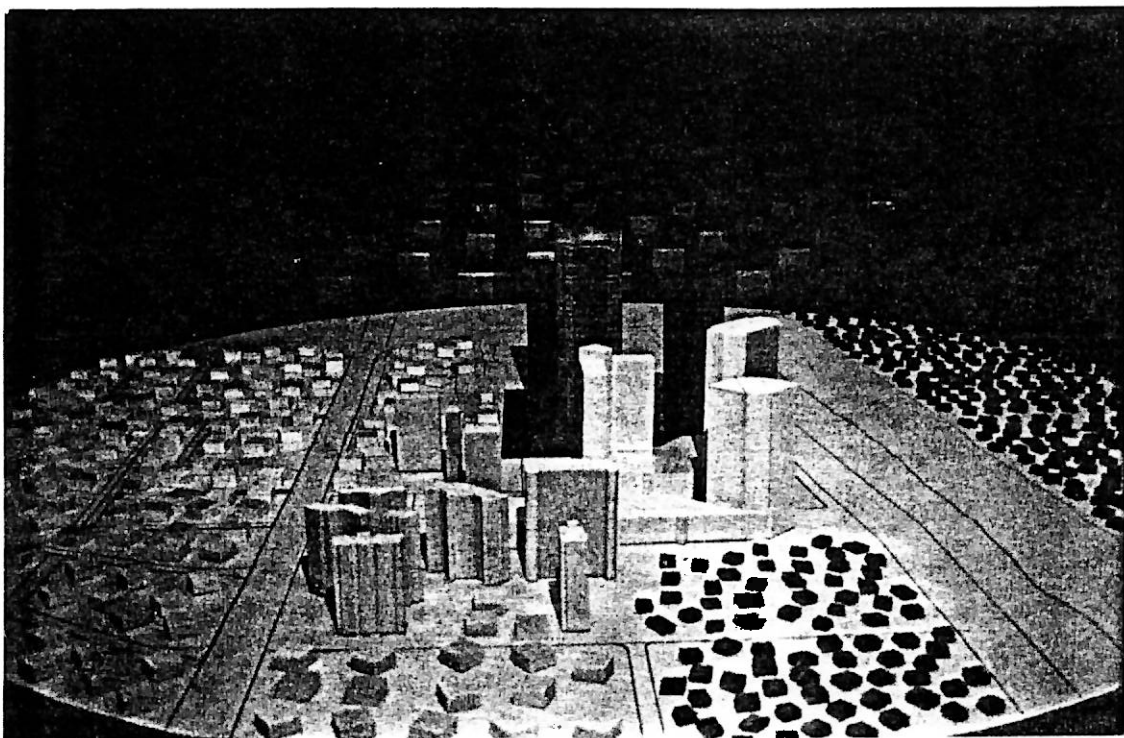


Fig. 7 - View of pressure model with exposure B

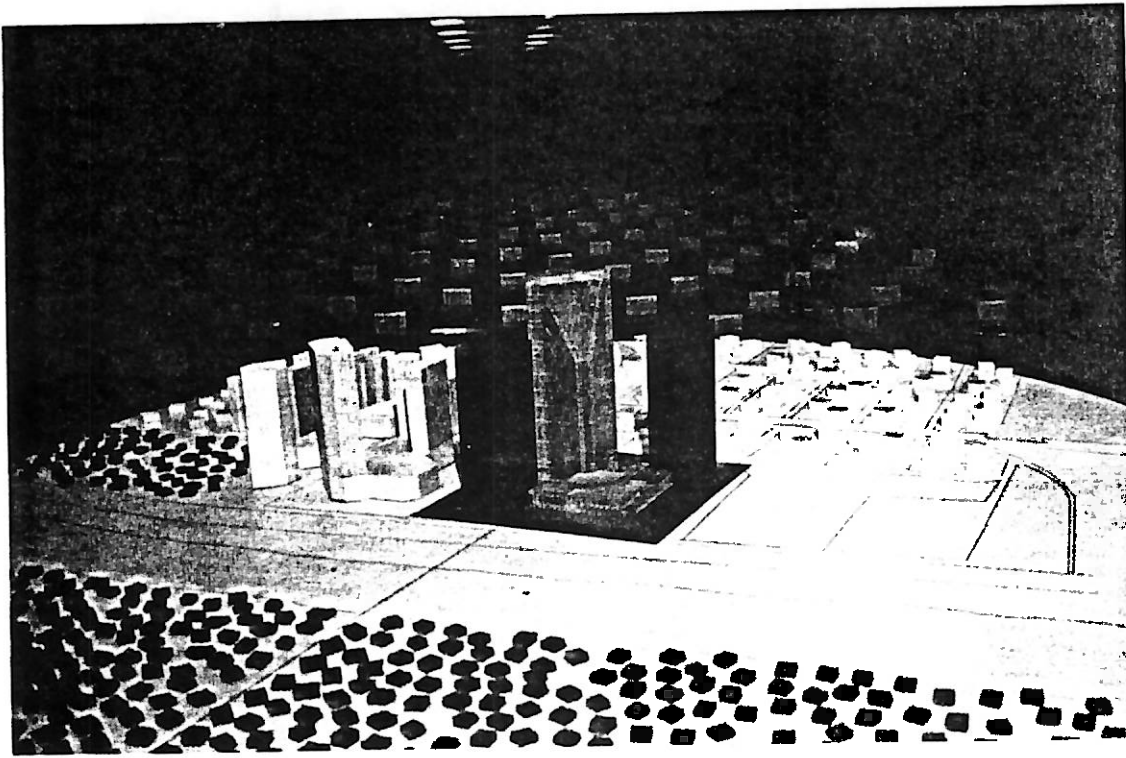
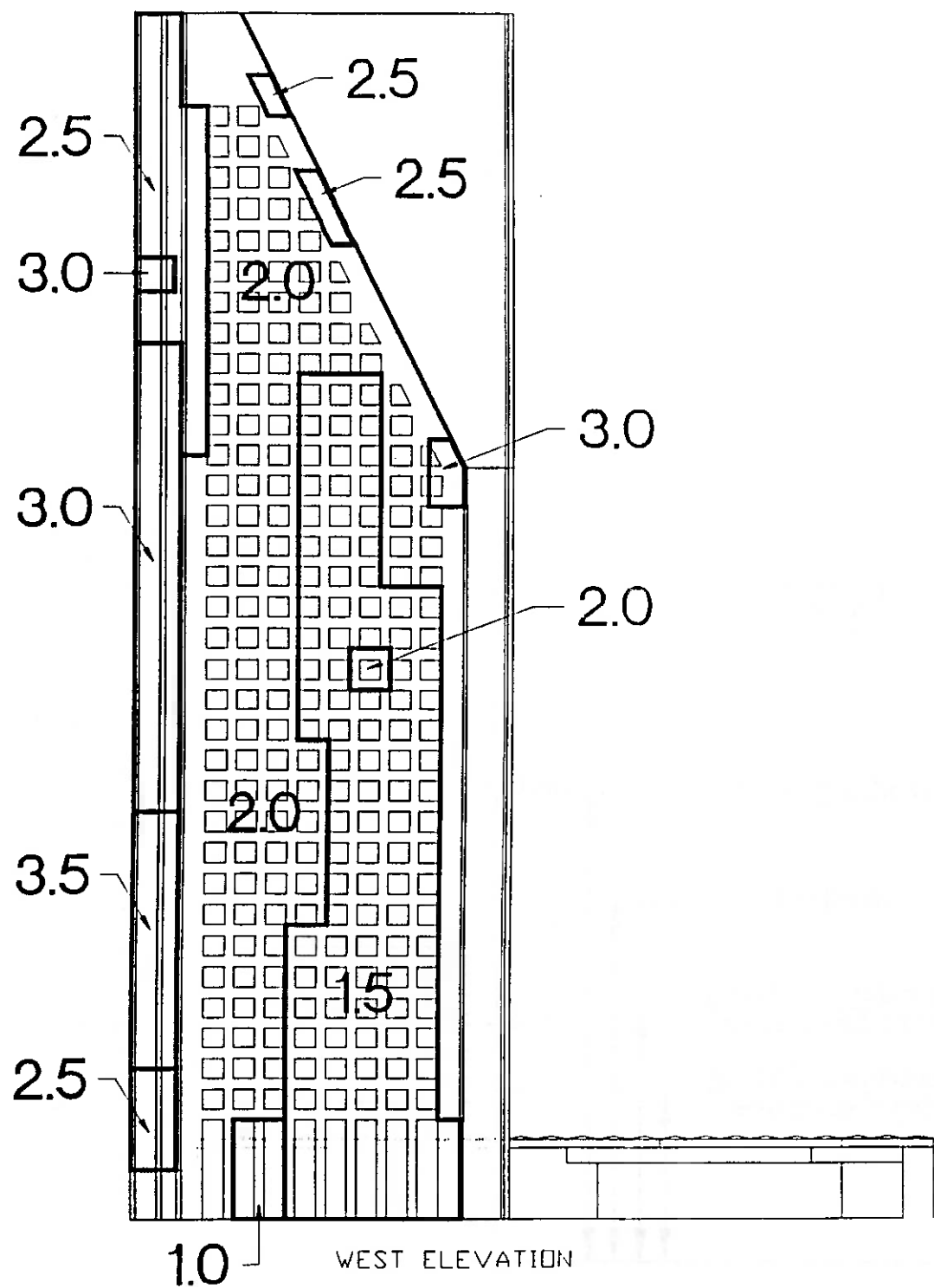


Fig. 8 - View of pressure model with exposure C



BLOCK ZONE DIAGRAMS [kPa] - WORST CASE SUCTIONS
50 YEAR RETURN PERIOD

Fig. 9

c51 – Sao Paulo, Brazil – Plaza tests

WEEKLY EXCEEDANCES

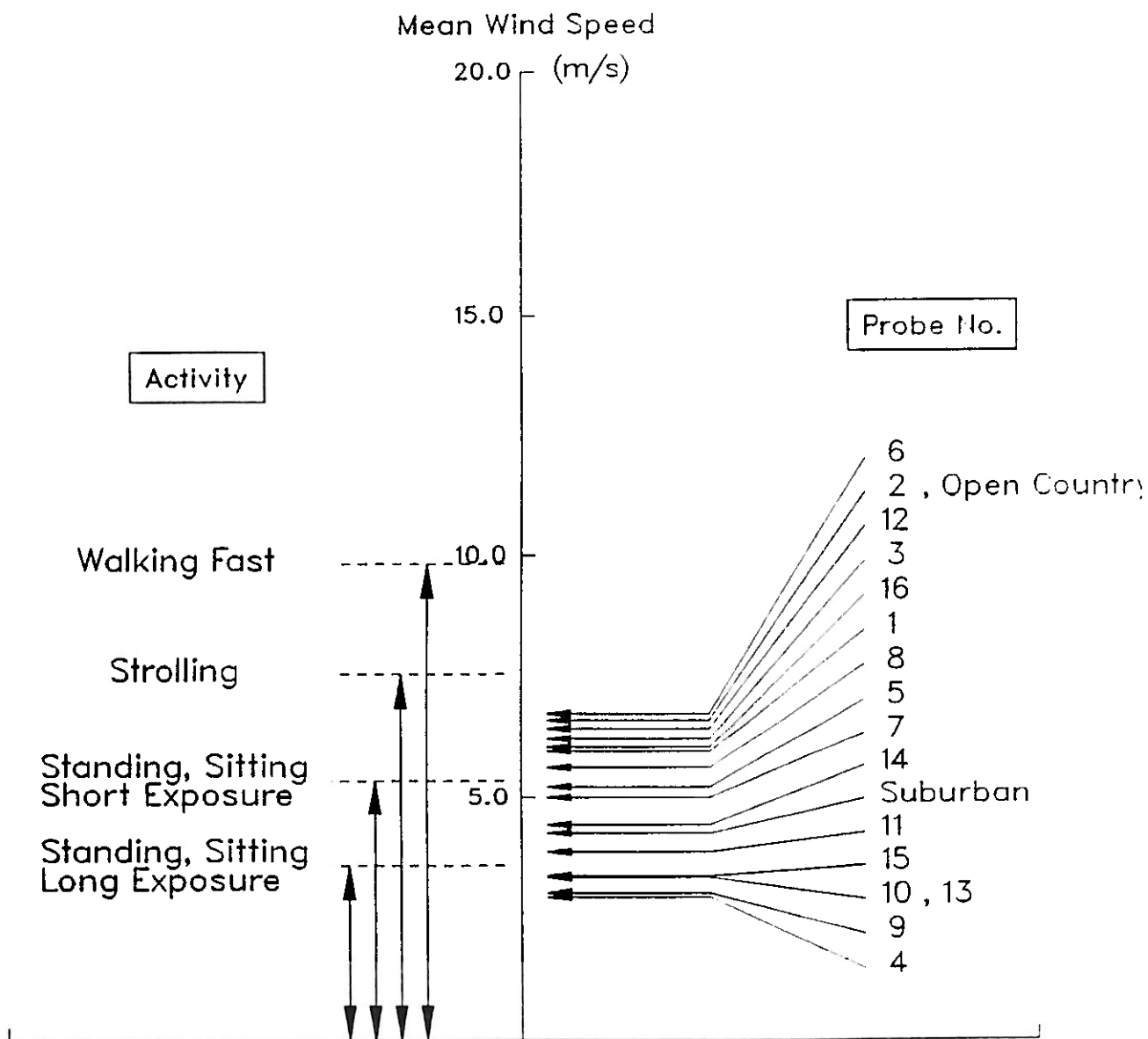


Fig. 10 - Mean hourly wind speeds at pedestrian height exceeded on average once per week and suggested acceptance criterion

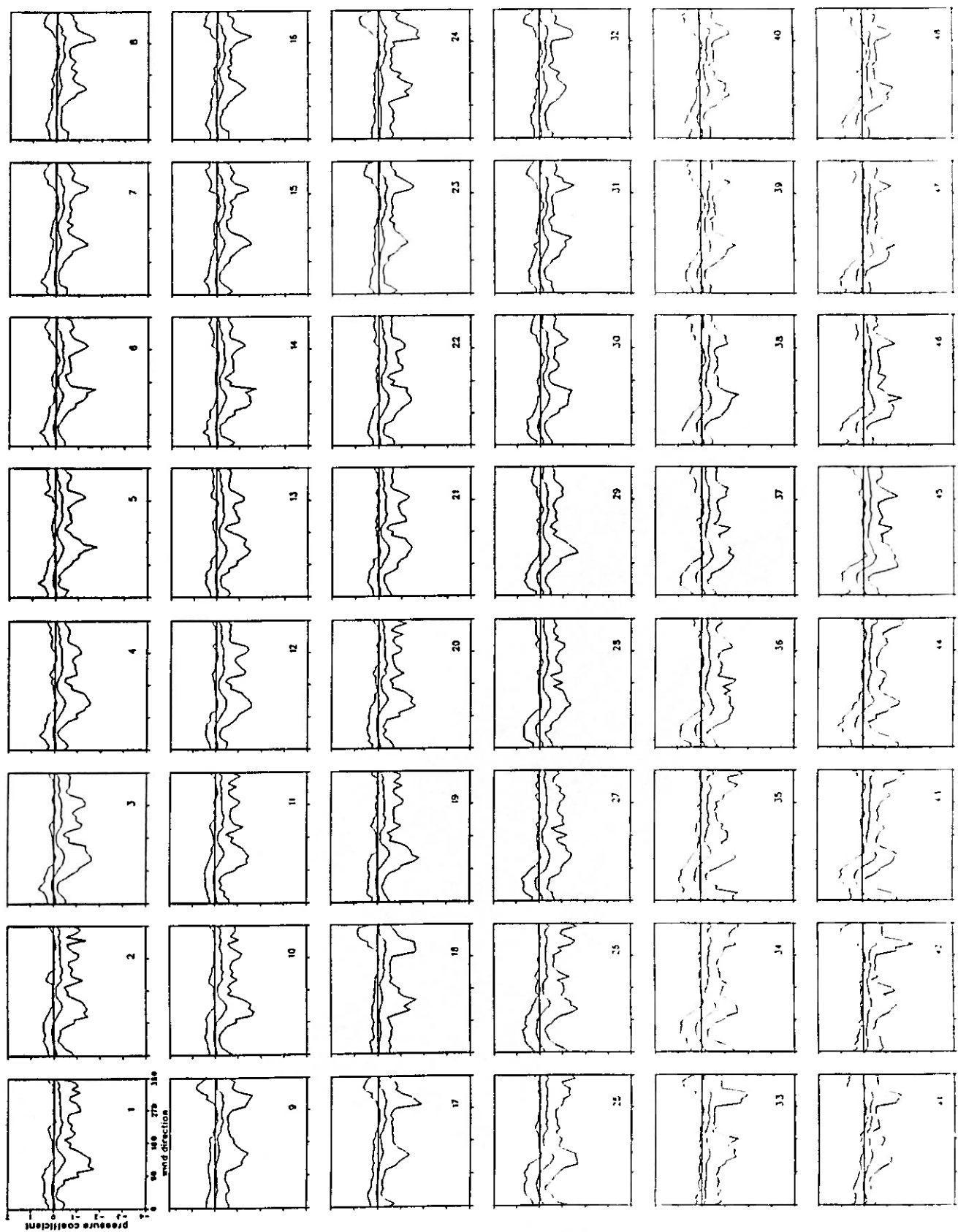
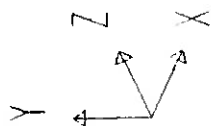


Fig. 11



1900VENT
UNDEFORMED
SHAPE

1900VENT
DEFORMED
SHAPE

064HS
SAP90

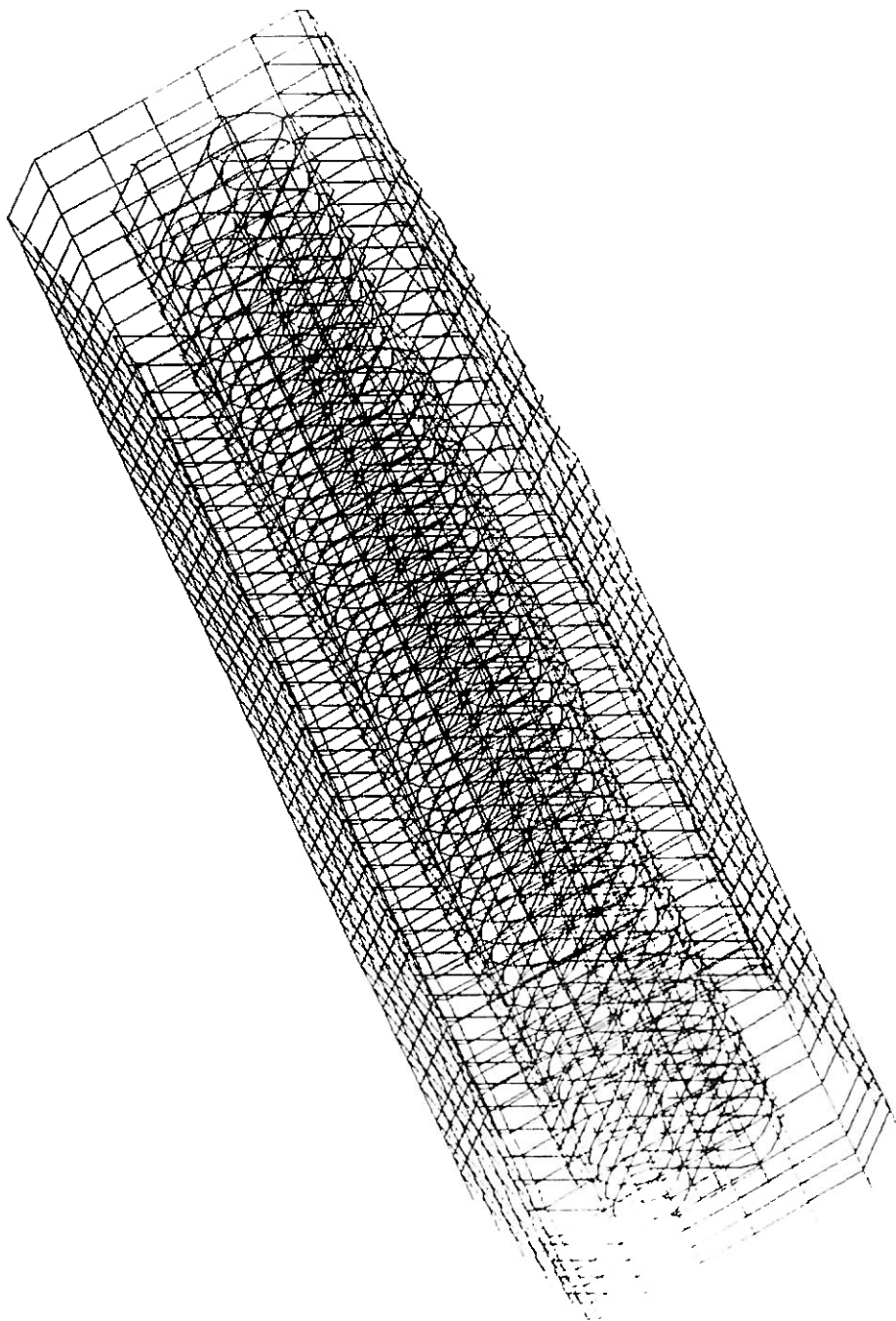
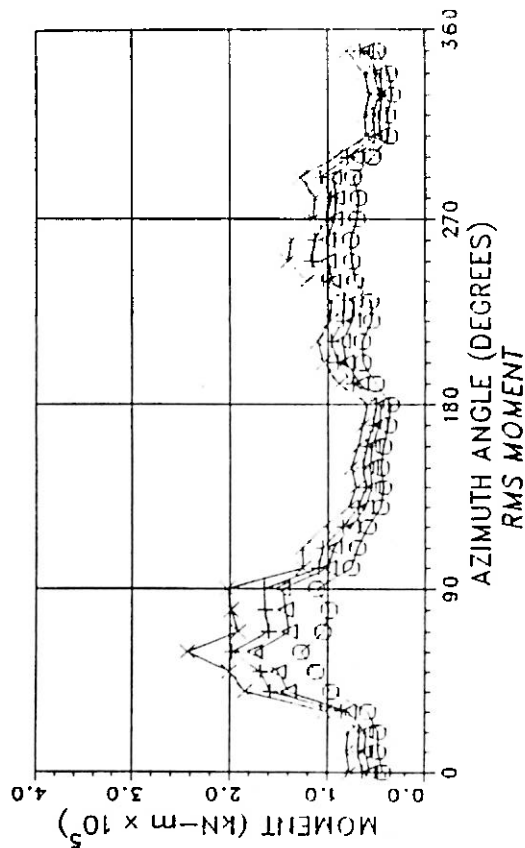
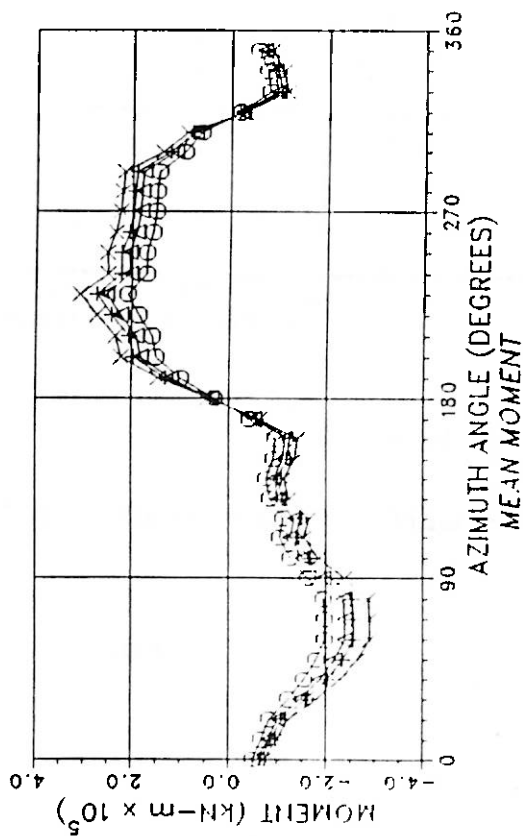
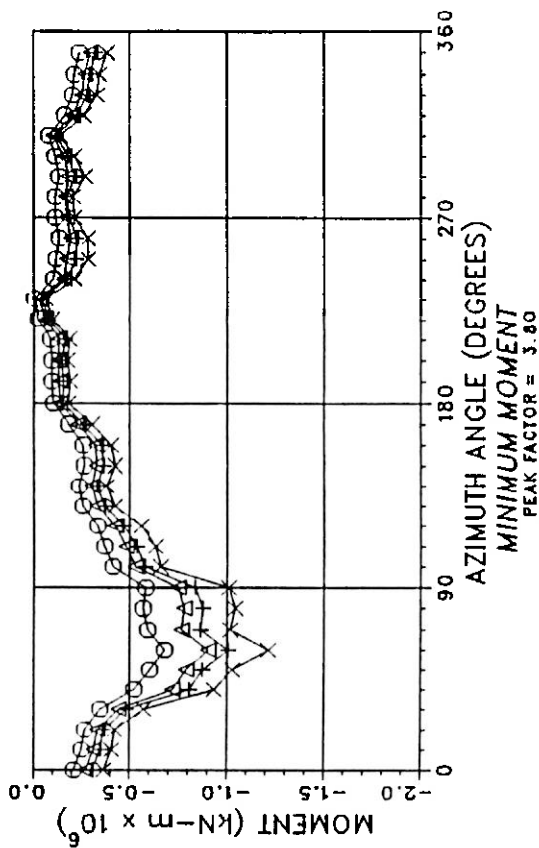
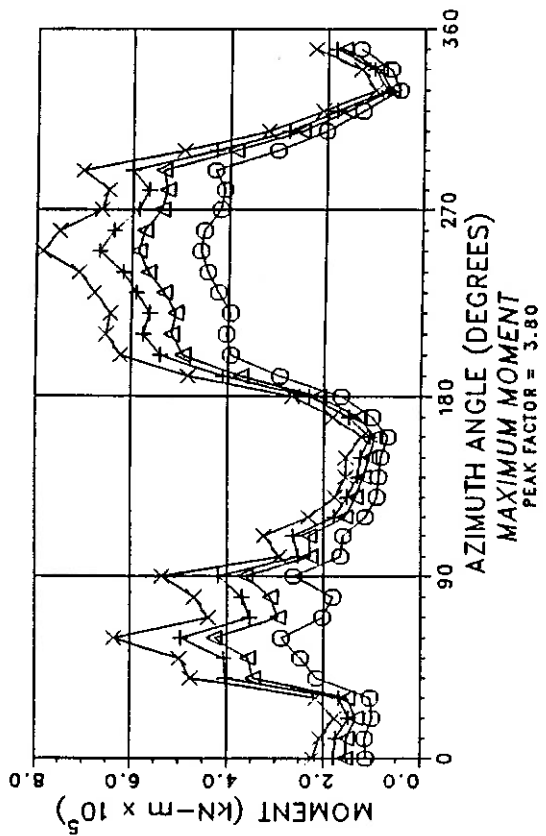


Fig. 12

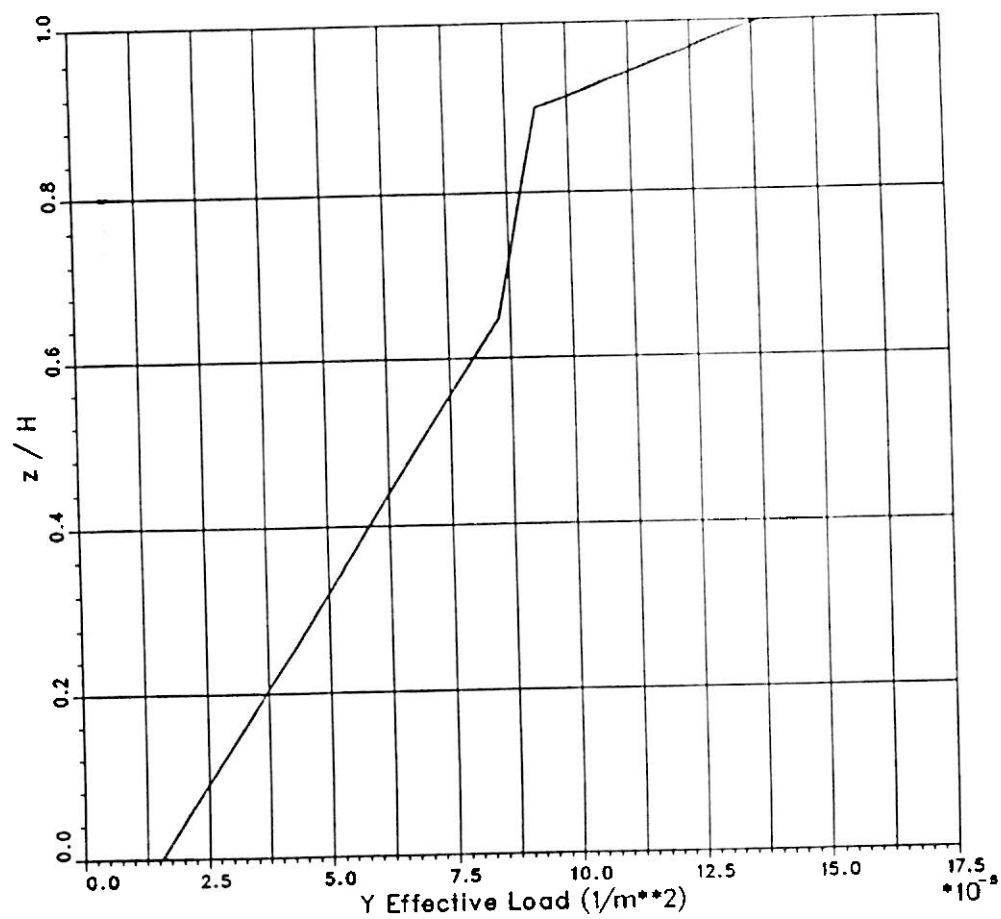


LEGEND: REFERENCE WIND SPEED (m/s)

$\circ = 35.$ $\Delta = 38.$ $+$ $= 40.$ $\times = 43.$

1) BENDING MOMENT
CS1 - São-Paulo, Brazil

Fig. 13



$H = 155.30 \text{ m}$

c51 - CENU - Sao-Paulo, Brazil

Fig. 14

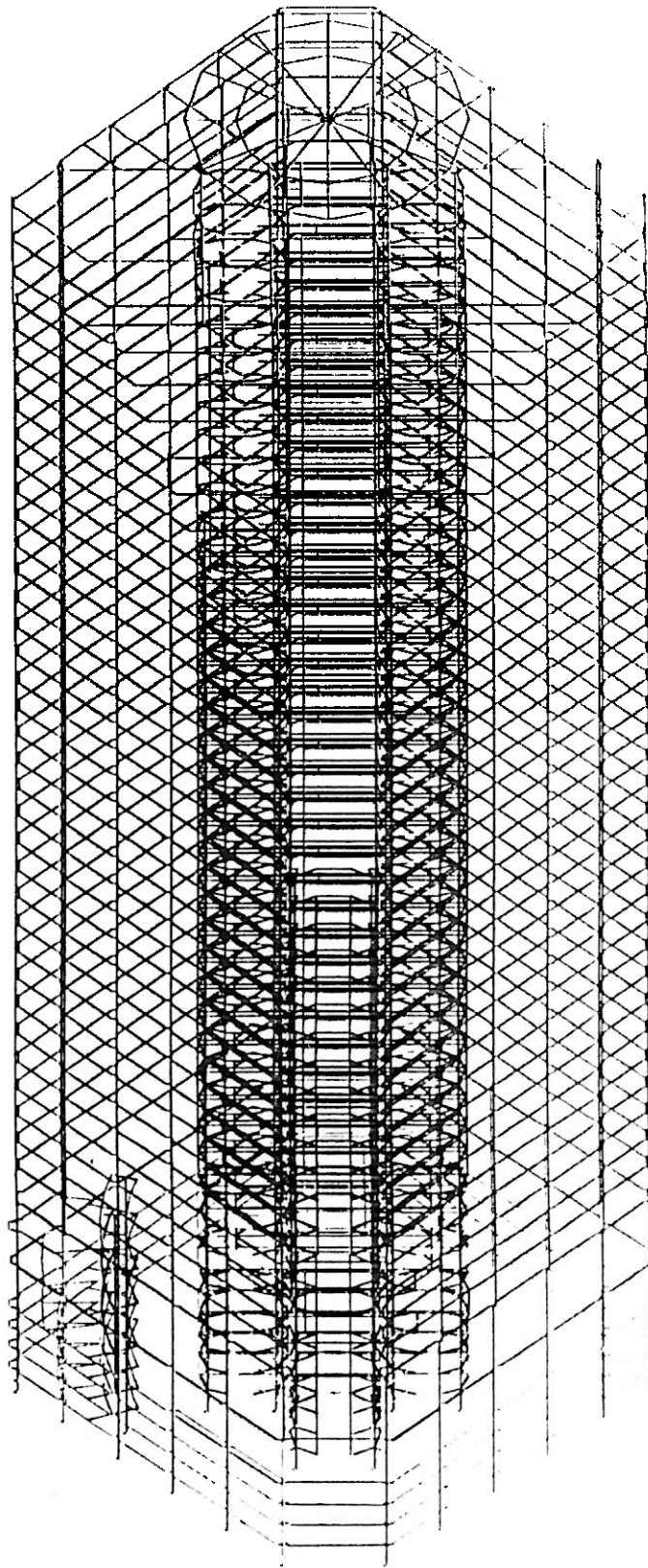


Fig. 15

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 W_u das Tensões de Cisalhamento no Concreto Estrutural" - PÉRICLES BRASILIENSE FUSCO
- 8505 - "Investigação Experimental sobre o Cisalhamento em Lajes de Concreto Armado" - PERICLES 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 CANDREA
- 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 FERRAZ
- 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 - "Mínima 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 Laminadas 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 Treliças" - 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 Treliças 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 Tensão Rotação e do Tensão 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

Boletins Técnicos – Títulos Publicados

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, MARCIA CIMERMAN

8812 - "Pilar de Pontes: Riscos dos Cálculos Correntes" - JOSÉ CARLOS DE FIGUEIREDO FERRAZ

8813 - "Sugestes 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 Unies Pregadas de Madeira" - PERICLES 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 - "Treliças 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 1. 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 Aço 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 a 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" - JOSÉ 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 No 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 1" - 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 Seções Normais Permanecem Planas" - NELSON ACHCAR
- 9111 - "Dinâmica das Placas: Elementos Finitos via Resíduos Ponderados" - HENRIQUE DE BRITTO COSTA, FLAVIO JOSÉ 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" - HELOISA HELENA SILVA GONÇALVES
- 9115 - "Teoria de Vlasov 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 Disposição 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" - MARIO 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 Ciam-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 - "Ensaio 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
- 9318 - "Uma Proposta de Normalização das Resistências da Madeira Estrutural" - PÉRICLES BRASILIENSE FUSCO
- 9319 - "Resistência dos Materiais Anisotrópicos" - PÉRICLES BRASILIENSE FUSCO
- 9401 - "Soluções Analíticas para a Deformação do Material Elasto - Plástico Cam - Clay úteis na interpretação de Ensaio Triaxiais com Diferentes Trajetórias de Tensão" - JOSÉ JORGE NADER
- 9402 - "Introdução à Fotoelasticidade por Reflexão" - PEDRO AFONSO DE OLIVEIRA ALMEIDA, FRANCISCO ROURE FERNANDEZ, FREDERIC MARINON CARVAJAL
- 9403 - "Numerical Conditioning in Structural Solutions: a Proposal for a new Condition Number" - HENRIQUE LINDENBERG NETO
- 9404 - "A Esbelteza Estrutural e sua Influência nas Frequências de Vibrações" - JOSÉ CARLOS DE FIGUEIREDO FERRAZ
- 9405 - "Determinação do Momento Crítico à Flambagem Lateral de Viabilizadas de Aço" - VALDIR PIGNATTA E SILVA, LUIZ ANTONIO CORTESE DIOGO
- 9406 - "Uma Análise dos Parâmetros de Ensaio Utilizados para Cálculo de Recalques por Adensamento" - HELOISA HELENA SILVA GONÇALVES
- 9407 - "Programação Matemática Aplicada à Análise Limite de Estruturas I" - PAULO DE MATTOS PIMENTA, PRISCILA GOLDENBERG, ERNESTO COUTINHO COLLA
- 9408 - "Programação Matemática Aplicada à Análise Limite de Estruturas II" - PAULO DE MATTOS PIMENTA, PRISCILA GOLDENBERG, ERNESTO COUTINHO COLLA
- 9409 - "Formulação de um Elemento Finito de Cabo Incorporando o Efeito do Atrito" - RUY M. PAULETTI, PAULO M. PIMENTA
- 9410 - "A Descrição do Domínio para o Projeto por Elementos Finitos" - JOSÉ ANTONIO LEROSA SIQUEIRA, JOÃO CYRO ANDRÉ
- 9411 - "O Método dos Elementos Finitos Aplicado a uma Formulação Mista da Teoria das Placas" - MYRIAM RENATA DIAS FERREIRA, HENRIQUE DE BRITTO COSTA
- 9412 - "Problemas Envolvendo Ponto, Reta e Plano, Tratados Vetorialmente" - JOSÉ CARLOS DE FIGUEIREDO FERRAZ
- 9413 - "Auto - Sincronização de Motores Não - Ideais Apoiados em Estruturas Elásticas" - PETRUS GORGONIO BULHES DA NOBREGA, CARLOS EDUARDO NIGRO MAZZILLI
- 9501 - "Global and Local Instability of Concrete Tall Buildings" - M. FRANCO
- 9502 - "Um Elemento Finito Giroscópio" - MARCELO GONZALES BERGWELER, CARLOS EDUARDO NIGRO MAZZILLI

- 9503 - "Teoria da Segunda Ordem das Placas - Uma Formulação Mista" - SELMA HISSAE SHIMURA, HENRIQUE DE BRITTO COSTA
- 9504 - "Modelagem de Corpos Sólidos: Topologia e Operadores de Euler" - BENEDITO ROQUE DE GUIMARÃES ARANTES JUNIOR, JOÃO CYRO ANDRÉ, JOSÉ ANTONIO LEROSA DE SIQUEIRA
- 9505 - "Investigação Experimental em Laje de Concreto Armado Apoiada em Vigas Flexíveis" - ANTONIO RUBENS PORTUGAL MAZZILLI
- 9506 - "Influência da Flexibilidade das Vigas e das Lajes nos Esforços das Estruturas de Concreto Armado" - ANTONIO RUBENS PORTUGAL MAZZILLI
- 9507 - "A Calibração da Segurança na Nova Norma de Projeto de Estruturas de Madeira" - PÉRICLES BRASILIENSE FUSCO
- 9508 - "Método de Ensaio de Punção Excêntrica em Placa de Concreto" - FÁBIO ARMANDO BOTELHO CORDOVI, PÉRICLES BRASILIENSE FUSCO
- 9509 - "Ensaio de Placas de Concreto Armado - Punção Excêntrica" - FÁBIO ARMANDO BOTELHO CORDOVI, PÉRICLES BRASILIENSE FUSCO
- 9510 - "Armadura de Cisalhamento para Punção em Placas de Concreto" - FÁBIO ARMANDO BOTELHO CORDOVI, PÉRICLES BRASILIENSE FUSCO
- 9511 - "Aspectos Normativos sobre Punção em Placas de Concreto Armado" - FÁBIO ARMANDO BOTELHO CORDOVI, PÉRICLES BRASILIENSE FUSCO
- 9512 - "Alternativas de Representação da Protensão, no Projeto de Estruturas de Concreto" - KALIL J. SKAF, FERNADO R. STUCCHI
- 9513 - "Aplicações do Lagrangeano Aumentado em Otimização Estrutural" - PAULO DE MATTOS PIMENTA, PRISCILA GOLDENBERG, REYOLANDO BRASIL
- 9514 - "Análise Linear da Estabilidade de Treliças Utilizando o Método de Lanczos" - CÉLIA REGINA MORETTI MEIRELLES, PAULO DE MATTOS PIMENTA
- 9515 - "Análise Dinâmica de Pórticos Planos sob Ação de Carregamentos Transientes Considerando Formação de Rótulas Plásticas" - REYOLANDO M. L. R. F. BRASIL, CESAR FERNANDES JUNIOR
- 9516 - "A Engenharia da Fusão Termonuclear Controlada. Sua História e seu Futuro" - RUY MARCELO DE OLIVEIRA PAULETTI, VÍCTOR MANOEL DE SOUZA LIMA
- 9517 - "Considerações sobre o Emprego do Teorema dos Trabalhos Virtuais na Resolução de Estruturas Hiperestáticas: - Pórticos" - HENRIQUE DE BRITTO COSTA, LUIZ ANTONIO CORTESE DIOGO
- 9518 - "Flambagem Lateral de Vigas de Madeira" - VALDIR PIGNATTA E SILVA
- 9519 - "Diagramas Tensão-Deformação dos Aços Estruturais Submetidos a Altas Temperaturas" - VALDIR PIGNATTA E SILVA, PAULO DE MATTOS PIMENTA
- 9520 - "Uma Aplicação da Teoria Constitutiva dos Materiais Elásticos-Lineares Sujeitos a Vínculos Internos: Dedução Exata da Equação de Lagrange para Placas Finas" - JOÃO MAURÍCIO SAPIENZA, NELSON ACHCAR
- 9521 - "Conceitos Básicos sobre Geração Automática de Malha" - JOSÉ FERNANDO MANTOVANI MICALI, JOÃO CYRO ANDRÉ
- 9522 - "Equações Constitutivas do Concreto Baseadas na Mecânica do Dano Contínuo" - FLÁVIO LUIZ DE S. BUSSAMRA, PAULO DE M. PIMENTA
- 9601 - "Engineering Design of the Central Core of the TBR-E Small Aspect Ratio Tokamak" - R. M. O. PAULETTI, R. M. O. GALVÃO, G. O. LUDWIG, F. T. DEGASPERI, I. C. NASCIMENTO
- 9602 - "Norma de Projeto de Estruturas de Madeira" - PÉRICLES BRASILIENSE FUSCO, CARLITO CALIL JÚNIOR, PEDRO AFONSO DE OLIVEIRA ALMEIDA
- 9603 - "Desenho de Estruturas de Madeira" - CARLITO CALIL JÚNIOR, PÉRICLES BRASILIENSE FUSCO, PEDRO AFONSO DE OLIVEIRA ALMEIDA
- 9604 - "Determinação das Propriedades das Madeiras para Projeto de Estruturas" - PEDRO AFONSO DE OLIVEIRA ALMEIDA, CARLITO CALIL JÚNIOR, PÉRICLES BRASILIENSE FUSCO
- 9605 - "Determinação de Resistências das Ligações Mecânicas das Estruturas de Madeira" - PEDRO AFONSO DE OLIVEIRA ALMEIDA, PÉRICLES BRASILIENSE FUSCO, CARLITO CALIL JÚNIOR
- 9606 - "Recomendações Sobre a Durabilidade das Madeiras" - CARLITO CALIL JÚNIOR, PÉRICLES BRASILIENSE FUSCO, PEDRO AFONSO DE OLIVEIRA ALMEIDA

- 9607 - "Valores Médios Usuais de Resistência e Rigidez de Algumas Madeiras Nativas e de Florestamento" - CARLITO CALIL JÚNIOR, ALMIR SALES, PÉRICLES BRASILIENSE FUSCO
- 9608 - "Isotropia e Ortotropia em Lajes de Concreto Armado, Chameiras Plásticas - Apoios Rígidos" - ANTONIO RUBENS PORTUGAL MAZZILLI
- 9609 - "Considerações sobre a Resistência da Madeira Serrada Brasileira" - PEDRO AFONSO DE OLIVEIRA ALMEIDA
- 9610 - "LAOS - Um Pacote Computacional Orientado para Objetos para Manipulação de Matrizes e Vetores" - I. Q. BARROS, T. N. BITTENCOURT, C. WAKAMATSU
- 9611 - "Computer Simulation of Arbitrary, Cohesive Crack Propagation in Concrete" - T. N. BITTENCOURT, A. R. INGRAFFEA, J. LLORCA
- 9612 - "Métodos Numéricos para Análise Dinâmica de Estruturas Duplamente Calçadas" - LAU KWAN FU, CARLOS EDUARDO NIGRO MAZZILLI
- 9613 - "Análise Não-Linear de Treliças Espaciais: Teoria Exata vs. Teoria de Segunda Ordem" - PAULO M. PIMENTA
- 9614 - "Gradientes Conjugados Pré-Condicionados: Aplicação em Problemas Estruturais" - MARCIA CIMERMAN, PRISCILA GOLDENBERG, PAULO M. PIMENTA
- 9615 - "Sugestões para um Curso Intuitivo de Teoria das Estruturas" - MARTIN PAUL SCHWARK
- 9616 - "A Investigação Experimental de Estruturas" - PÉRICLES BRASILIENSE FUSCO
- 9617 - "Chameiras Plásticas - Considerações Iniciais Lajes de Concreto Armado Apoios Rígidos - Carga Concentrada" - ANTONIO RUBENS PORTUGAL MAZZILLI
- 9618 - "Análise Não-Linear de Pórticos Planos: Teoria Exata vs. Teoria de Segunda Ordem" - PAULO M. PIMENTA
- 9619 - "Dinâmica dos Sólidos Rígidos: Uma Formulação Lagrangiana" - PAULO DE MATTOS PIMENTA
- 9620 - "Demonstração do Pacote LAOS na Programação de um Problema de Elementos Finitos" - IVAN DE QUEIROZ BARROS
- 9621 - "O Túnel de Vento de Camada Limite do Laboratório de Estruturas e Materiais Estruturais" - CÉLIO FONTÃO CARRIL JÚNIOR
- 9622 - "Dimensionamento de Elementos de Fôrmas de Madeira para o Concreto Armado em Edifícios de Andares Múltiplos" - JOSÉ EDWARD RODRIGUES CRISTIANI, PEDRO AFONSO DE OLIVEIRA ALMEIDA
- 9623 - "Curvas Temperatura-Tempo de um Incêndio" - VALDIR PIGNATTA E SILVA, PAULO DE MATTOS PIMENTA
- 9624 - "Determinação da Curva Temperatura-Tempo de um Incêndio Natural Compartimentado" - VALDIR PIGNATTA E SILVA, PAULO DE MATTOS PIMENTA
- 9625 - "Estabilidade Elástica de Treliças Espaciais Simples" - GRACIA MENEZES VIANNA DE ASSIS, CARLOS EDUARDO NIGRO MAZZILLI, ODULPHO BARACHO NETO
- 9626 - "A Estabilidade no Método de Newmark" - GENY PAULA SLUYTMAN RODRIGUEZ, PAULO DE MATTOS PIMENTA
- 9627 - "Configuração Básica de Chameiras em Lajes de Concreto Armado Carga Concentrada Apoios Rígidos Contorno Convexo Simplesmente Apoiado" - ANTONIO RUBENS PORTUGAL MAZZILLI
- 9701 - "Integração Explícita Aplicada à Análise Dinâmica de Treliças Espaciais de Comportamento Elasto-Plástico" - REYOLANDO M. L. R. F. BRASIL, ALEXANDRE F. BARTOLOMUCCI
- 9702 - "Estudo da Estabilidade de uma Estrutura Simples sob Carregamento Dinâmico de Impacto" - FLÁVIO JOSÉ GARZERI, REYOLANDO M. L. R. F. BRASIL
- 9703 - "Um Elemento Finito Triangular de Casca de Sete Nós Baseado no Conceito de Degeneração e na Interpolação Mista" - DANIEL LEPIKSON C. DE OLIVEIRA, MIGUEL L. BUCALEM
- 9704 - "Alvenaria Estrutural sob Ações de Longa Duração" - PÉRICLES BRASILIENSE FUSCO, JEFFERSON SIDNEY CAMACHO
- 9705 - "Alvenaria Estrutural: Aplicação da Técnica de Modelagem Física Reduzida" - PÉRICLES BRASILIENSE FUSCO, JEFFERSON SIDNEY CAMACHO
- 9706 - "Cohesive-Crack Modeling for Fiber-Reinforced Ceramic Composites" - TÚLIO NOGUEIRA BITTENCOURT, JOSÉ LUIZ ANTUNES DE OLIVEIRA SOUZA
- 9707 - "Crack Evlution in Residual Stress-Strain Fields Driven by Contact Loads" - TÚLIO NOGUEIRA BITTENCOURT
- 9708 - "A Programação Orientada para Objetos: Conceitos Fundamentais e Introdução à Linguagem de Programação C++" - GILSON FUJII, TÚLIO NOGUEIRA BITTENCOURT

Boletins Técnicos -- Títulos Publicados

9709 - "Aspectos Gerais da Computação Paralela e do Sistema PVM" - CÉLIO ODA MORETTI, TÚLIO NOGUEIRA BITTENCOURT

9710 - "Análise Limite de Estruturas Reticuladas" - LILIAN TERESA B. GOLDNER, PAULO DE MATTOS PIMENTA, PRISCILA GOLDENBERG

9711 - "Discrete Approaches to Cohesive-Crack Modeling through the Finite Element Method" - TÚLIO NOGUEIRA BITTENCOURT

9712 - "Aspectos de Monitoração de Estádios de Futebol - Caso Particular de Estudo - Morumbi" - PEDRO AFONSO DE O. ALMEIDA

9713 - "Proposta para Método de Monitoração de Edificações Sujeitas a Vibrações Induzidas por Pessoas" - PEDRO AFONSO DE OLIVEIRA ALMEIDA, PÉRICLES BRASILIENSE FUSCO

9714 - "Efeitos das Vibrações Sobre os Seres Humanos" - PÉRICLES BRASILIENSE FUSCO, PEDRO AFONSO DE OLIVEIRA ALMEIDA

9715 - "Uma Introdução à Análise de Problemas de Contato" - ALEX ALVES BANDEIRA, PAULO DE MATTOS PIMENTA, PRISCILA GOLDENBERG

9716 - "Determinação da Resistência do Perfil Sigma enrijecido empregado em "Porta-Pallets" - CÉLIO FONTÃO CARRIL JR., PEDRO AFONSO DE OLIVEIRA ALMEIDA, PÉRICLES BRASILIENSE FUSCO

9717 - "Análise Computacional de Estruturas por meio da Programação Orientada para Objetos" - FUJII, G.; MARTHA, L. F.; BITTENCOURT, T. N.

9718 - "Critérios de Projeto das Ligações com Chapas de Dentes Estampados" - PEDRO AFONSO DE OLIVEIRA ALMEIDA

9719 - "Estudos das Oscilações não Lineares em Cordas" - FÁBIO MÓDOLO SIQUEIRA, CHRISTIAN BOTELHO BORGES, RUY MARCELO DE OLIVEIRA PAULETTI, HUGO FRANCO

