



## **ESTUDO COMPARATIVO ENTRE A VELOCIDADE BÁSICA DO VENTO ESTABELECIDO NA NBR. 6123 E A OBTIDA DE ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS NA PARAÍBA – IMPACTOS NOS ÂMBITOS DO PROJETO ESTRUTURAL, DO MEIO AMBIENTE E DOS CUSTOS**

**Enildo Tales Ferreira (1); Francisco de A. Gonçalves da Silva (2)**

(1) Professor do Dep. de Tecnologia da Construção Civil – CT-UFPB, e-mail: [enildo@terra.com.br](mailto:enildo@terra.com.br)

(2) Professor do Dep. de Arquitetura – CT-UFPB, e-mail: [ffagos@yahoo.com.br](mailto:ffagos@yahoo.com.br)

### **RESUMO**

**Proposta:** Dadas as discrepâncias detectadas entre os valores de  $V_o$  expressos na NBR. 6123 e os medidos em estações meteorológicas do Estado da Paraíba, este trabalho verificou a possibilidade de se ajustarem às condições de ventilação existentes na Paraíba, os parâmetros de cálculo estrutural constantes da NBR. 6123, especificamente velocidade básica do vento ( $V_o$ ) e esforços por ele causados em edificações. **Método de pesquisa/Abordagem:** Séries de dados de velocidades do vento, colhidas em estações meteorológicas do estado, foram analisadas com base na função de distribuição de probabilidade de Frechet e de Gumbel. **Resultados:** Conduziram ao entendimento da necessidade de se rever tais parâmetros, considerando não só o lado financeiro mas, principalmente, a preservação do meio ambiente, a redução nos consumos de matérias primas e a economia de energia decorrentes desses ajustes. **Contribuição/Originalidade:** Gerar subsídios para revisão da NBR. 6123 no que se refere à velocidade básica do vento  $V_o$  para a região onde se encontra o Estado da Paraíba.

Palavras-chaves: vento; força; estrutura.

### **ABSTRACT**

**Propose:** Given the discrepancies detected between the  $V_o$  values expressed in NBR.6123 and those collected in meteorological stations in the state of Paraíba, this study verified the possibility of adjusting the structural calculus parameters, namely basic wind velocity ( $V_o$ ) and its effects on buildings, as specified in NBR.6123, to ventilation conditions in the state. **Methods:** wind velocity data series collected in meteorological stations of Paraíba were analysed using Frechet's and Gumbel's probability distribution functions. **Findings:** The results demonstrate the need to re-examine those parameters, taking into account not only financial issues, but mainly environmental conservation, raw material waste reduction, and the resulting energy saving. **Originality/value:** to generate data for the revision of NBR.6123 in the item related to basic wind velocity ( $V_o$ ) for the region where the state of Paraíba is located.

Key words: wind; force; structure.

### **1. INTRODUÇÃO**

Para se avaliar as ações do vento no ambiente construído quer sobre edifícios isolados quer sobre agrupamentos destes nos âmbitos do conforto devido ao vento, da segurança (aí incluídos os aspectos referentes à integridade física das pessoas, à estabilidade das construções, à dispersão de poluentes, economia de energia, entre outros) e elaborar critérios de projeto torna-se necessário o conhecimento da climatologia do vento, com ênfase nas suas características no que respeita à sua intensidade, suas frequências, suas probabilidades de ocorrência e de distribuição de velocidades. Com base nesses parâmetros pode-se tanto dimensionar, quanto implementar ações, com segurança em qualquer lugar geográfico, nos diversos campos da arquitetura e da engenharia, como elementos estruturais de uma edificação, sabendo-se que, quanto maior for a velocidade do vento, maior será o esforço de solicitação na estrutura, maiores serão as dimensões destes elementos e conseqüentemente, maior o

consumo de matérias primas.

A discrepância entre os valores da velocidade do vento para a região em que se encontra o Estado da Paraíba, registrados em séries de dados de velocidades e direções dos ventos, constantes de relatórios das estações meteorológicas da Paraíba, catalogadas no INMET (Instituto Nacional de Meteorologia, 3º DISME – Recife), nos últimos 30 anos, e os de velocidade básica do vento  $V_0$  fornecida pela NBR. 6123 conduz à necessidade de uma reflexão sobre estas condições diferenciadas. As velocidades constantes dos registros do INMET são menores do que as fornecidas pela NBR. 6123.

Assim sendo, este trabalho objetivou verificar possibilidades de se ajustar os valores da velocidade básica do vento estabelecidos pela NBR 6123, aos valores ditados pelos padrões de ventilação locais reais visando, reduções nos consumos energéticos embutidos na extração de matéria prima (cimento, pedra, areia, madeira e aço), no seu impacto ambiental contribuindo, desta forma, para um desenvolvimento sustentável, quando da execução de estruturas.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

As principais fontes de ventos superficiais são coletados nas estações meteorológicas, as quais registram velocidades de ventos atmosféricos originados de tormentas extras-tropicais; tormentas tropicais ou ciclones; tormentas elétricas ou trovoadas e tornados (PADARATZ, 1977).

Para um melhor entendimento sobre a avaliação destes ventos feitos pelos instrumentos próprios de medição de velocidade das estações meteorológicas, (VIEIRA FILHO, 1975), são considerados: a velocidade média do vento; rajada de vento ou turbulência; o intervalo de tempo para medir a velocidade média do vento ou o “período de base” e o fator de rajada.

Para efeitos estáticos, a velocidade de referência da norma brasileira NBR. 6123 é a velocidade básica,  $V_0$ , definida como a “velocidade de uma rajada de três segundos excedida na média uma vez em 50 anos, a dez metros acima do terreno, em campo aberto e plano” (BLESSMANN, 1988).

Existem duas correntes de pensamentos sobre a fixação da velocidade básica do vento, para a determinação da velocidade de cálculo (PADARATZ, 1977): Davenport e Newberry.

Davenport, estudando o espectro do vento natural, sugere como parâmetro útil para a base do estudo do vento, a velocidade média calculada sobre um período de 10 minutos a 1 hora.

Newberry, porém, é de opinião que interessam para o projeto estrutural de cargas do vento agindo sobre poucos segundos; a maioria das construções tem frequências naturais altas em relação às frequências predominantes do espectro do vento natural, onde o efeito dinâmico torna-se então desprezível.

São vários os fatores que influem na escolha da velocidade do vento a considerar no projeto estrutural ou na determinação das condições de conforto de usuários e transeuntes (BLESSMANN, 1988): vida útil da estrutura; duração das rajadas; variação da velocidade média do vento com a altura e topografia local.

A predição da velocidade do vento que é considerada na determinação das cargas variáveis em estruturas, normalmente é feita por meio do ajuste de uma distribuição de extremos a dados de velocidades máximas anuais absolutas, coletadas em estações meteorológicas de superfície.

Tentando-se analisar o ajuste de uma série de ventos máximos anuais depara-se com duas correntes relacionadas à utilização da função de distribuição: uma que usa a função de distribuição de FISCHER TIPPETT I, utilizada em muitos países como Canadá, Inglaterra, Austrália e Suécia e outra que usa a função de distribuição de FRECHET, utilizada na Argentina, na Rússia e nos U.S.A.

A função de distribuição de FRECHET apresenta melhor ajuste sobre as séries mais extensas de ventos máximos anuais registrados.

Por esta razão e por recomendação de VIOLAZ e de RIERA e REIMUNDÍN, o ajuste da série de ventos máximos anuais do Brasil, foi feita segundo a função de distribuição de Frechet, que se expressa da seguinte forma:

$$Fv(V) = \Pr ob[V \leq v] = \exp \left[ - \left( \frac{V}{\beta} \right)^{-\gamma} \right] \quad \text{Eq. 01}$$

e tornando-a explícita para V(velocidade básica de projeto):

$$V = \beta / (-\ln F)^{1/\gamma} \quad \text{Eq. 02}$$

A probabilidade de que v seja excedido em um ano é 1/R, assim:  $F = 1 - 1/R$ . Logo a expressão que torna possível determinar ou prever a velocidade básica do vento para qualquer período de recorrência será:

$$V = \frac{\beta}{\left[ -\ln \left( 1 - \frac{1}{R} \right) \right]^{1/\gamma}} \quad \text{Eq. 03}$$

onde os parâmetros  $\gamma$  (de forma ou de escala) e  $\beta$  (velocidade característica) devem ser estimados para cada série de registros.(VIEIRA FILHO, 1975).

Dentre os métodos existentes para estimar os parâmetros  $\beta$  e  $\gamma$ , o mais eficiente é o método da Máxima Verossimilhança, recomendado por Viollaz (in PADARATZ, 1977) para o ajuste das séries de rajadas máximas anuais. Tomando a função distribuição de probabilidade de Frechet, a correspondente função densidade de probabilidade será:

$$f(v) = F'_v(v) = \frac{\gamma}{\beta} \left( \frac{V}{\beta} \right)^{-(1-\gamma)} \exp \left[ - \left( \frac{v}{\beta} \right)^{-\gamma} \right] \quad \text{Eq. 04}$$

Seja  $V_1, V_2, \dots, V_n$  uma série de  $n$  observações independentes da variável  $V$ . A função de densidade conjunta de  $(V_1, V_2, \dots, V_n)$ , será:

$$f(V_1, V_2, \dots, V_n) = \left( \frac{\gamma}{\beta} \right)^n \exp \left[ - \sum_{i=1}^n \left( \frac{v_i}{\beta} \right)^{-\gamma} \right] \prod_i \left( \frac{v_i}{\beta} \right)^{-(1+\gamma)} \quad \text{Eq. 05}$$

Os estimadores de  $\gamma$  e  $\beta$ , designados por  $\hat{\gamma}$  e  $\hat{\beta}$ , se obtém resolvendo o seguinte sistema de equações:

$$\frac{n}{\hat{\gamma}} + n \frac{\sum_{i=1}^n \left( v_i^{-\hat{\gamma}} \ln v_i \right)}{\sum_{i=1}^n \left( v_i^{-\hat{\gamma}} \right)} - \sum_{i=1}^n \ln v_i = 0 \quad \text{Eq. 06}$$

$$\hat{\beta} = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n \left( v_i \right)^{-\hat{\gamma}}}{n} \right]^{-\frac{1}{\hat{\gamma}}} \quad \text{Eq. 07}$$

Estas equações não possuem soluções explícitas para os estimadores de  $\hat{\gamma}$  e  $\hat{\beta}$ , havendo necessidade da aplicação de um processo iterativo. Para tal utiliza-se o método iterativo de NEWTON-RAPHSON.

Existe uma grande variabilidade de estimador do fator de forma correspondente a cada estação de registros. Torna-se, portanto pouco recomendável o emprego dos valores individuais  $\gamma$  no cálculo das velocidades básicas de referência. Portanto, por enquanto, optou-se pelo critério do fator de forma comum para todo o território nacional, seguindo desta maneira o procedimento indicado no projeto de Norma de Vento do IRAM, na Argentina, e o proposto nas especificações em estudo para a Europa Ocidental (PADARATZ, 1977).

Os valores encontrados para os estimadores de  $\gamma$  resultam fortemente tendenciosos (VIEIRA FILHO 1975), e que para corrigi-los, devem ser multiplicados pelo coeficiente  $B(n)$ . O valor de  $n$ , corresponde ao numero de registro de máxima velocidade média registrada em cada estação e  $B(n)$  os valores dos coeficientes de correção.

### 3. METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido e em cinco etapas, a saber:

Etapla 01 – Pesquisa bibliográfica e levantamento de dados junto ao INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA –INMET, 3º Distrito, para colher os “Mapas de observações meteorológicas”, contendo os registros de velocidades dos ventos ocorridas durante o período de 1971 a 2000, nas estações meteorológicas do Estado da Paraíba. Etapa 02- digitação, em planilhas, das séries de dados relativas aos registros de velocidades dos ventos e processamento desses valores, objetivando-se a sistematização e a montagem da tabela das “Séries Artificiais – Velocidade Máxima Anual sobre 3s. em km/h”, e dos gráficos “frequência x velocidades máximas anuais”, utilizando o *software* – EXCEL. Etapa 03 – Tratamento estatístico usando-se o *software*, especialmente desenvolvido com a finalidade de processar e calcular os estimadores dos parâmetros de forma ( $\gamma$ ) e de escala ( $\beta$ ) da distribuição dos registros das Séries Artificiais de Velocidade Máxima Anual. Análise da variabilidade desses estimadores com o objetivo de se determinar o parâmetro de forma único –  $\gamma$  (único) nacional e calcular as velocidades básicas  $V_0$  em cada estação meteorológica considerada. Etapa 04 – Aplicação do valor determinado nesta pesquisa e do definido pela NBR. 6123 para o  $V_0$  da região estudada, no cálculo estrutural de dois edifícios com alturas e formas diferentes, situados na cidade de João Pessoa, através do *software* para projeto estrutural de concreto armado – AltoQi “EBERICK V5”. Etapa 05 – avaliação e discussão dos resultados obtidos nas etapas anteriores e, finalmente as conclusões.

### 4. UNIVERSO DE ANÁLISE

O estado da Paraíba foi escolhido como o universo de trabalho, em razão do conhecimento prévio de discrepância entre os valores da velocidade básica do vento  $V_0$ , fornecida pela NBR. 6123, (isopletas da velocidade básica) para a região na qual se insere o estado referido, e os valores obtidos de informações através de séries de dados de velocidade, constantes de relatórios das estações meteorológicas existentes neste estado e do “Atlas Climatológico do Estado da Paraíba” – Universidade Federal da Paraíba – Núcleo de Meteorologia Aplicada – Campina Grande – (1987).

Situado na porção oriental do Nordeste do Brasil, entre os meridianos de 34°45’54’’ e 38°45’54’’ de longitude oeste e entre os paralelos de 6°02’12’’ e 8°19’18’’ de latitude sul, a Paraíba possui uma dimensão linear de 253 km na direção norte-sul e de 443 km no sentido leste-oeste, limita-se ao norte com o estado do Rio Grande do Norte; ao sul com o de Pernambuco; a leste com o oceano Atlântico e, a oeste, com o estado do Ceará.

Embora quanto à dimensão territorial a Paraíba não esteja incluída entre os maiores estados da federação detém, em termos de paisagem natural, grande diversidade: áreas úmidas que se contrapõem a outras semi-áridas; rios que secam durante os períodos de seca prolongada; rios que se mantêm durante todo o ano; vegetação que varia desde as formações florestais até a caatinga herbácea e relevo marcado pela presença de planícies, planaltos, serras e vales.

Sobre a superfície deste estado, encontram-se distribuídas as seis Estações Meteorológicas, monitoradas e avaliadas freqüentemente pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), 3º Distrito. Estas estações estão situadas em cidades do estado pertencente a regiões de climas, relevos e altitudes diferentes, proporcionando resultados interessantes nos valores dos registros das velocidades dos ventos. Analisando-se estes dados, pôde-se ter um perfil da circulação dos ventos na Paraíba e conseqüentemente fazer uma comparação com os resultados expressos pela NBR. 6123-(Isopletas)

### 5. ANÁLISE DE RESULTADOS

Através das informações contidas nos “Mapas de observações meteorológicas” montou-se a tabela 1, onde estão condensadas informações sobre as coordenadas geográficas, altitude e o horário de

funcionamento das estações.

**Tabela 1** – Localização e altitude das estações do Estado da Paraíba – Fonte: INMET

Nº	ESTAÇÃO	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE(m)	FUNCION.
1	João Pessoa	07°06' N/S	34°52' W	7	H24
2	Campina Grande	07°13' N/S	35°53' W	547	H24
3	Areia	06°58' N/S	35°41' W	574	H24
4	Patos	07°01' N/S	37°16' W	249	H24
5	São Gonçalo	06°45' N/S	38°13' W	233	H24
6	Monteiro	07°53' N/S	37°04' W	603	H24

Após o processamento dos dados de registros de velocidades dos ventos, organizou-se a tabela 2, onde constam as Series Artificiais: Velocidade Máxima Anual sobre 3s. (em m/s) por estação.

**Tabela 2** – Séries de velocidade máxima anual medidas sobre 3s. (em m/s) – Paraíba.

Estação	João Pessoa	Campina Grande	Areia	Patos	Monteiro	São Gonçalo
Ano						
1971	7.0	12.0	11.0	-	17.0	8.1
1972	9.0	6.7	9.0	-	12.0	7.6
1973	7.0	9.3	10.5	-	7.0	7.1
1974	8.1	10.9	9.0	-	10.0	8.3
1975	7.0	9.4	9.0	10.0	9.0	9.0
1976	12.0	12.3	9.0	10.3	16.0	8.6
1977	9.0	9.5	9.0	10.5	9.1	9.1
1978	9.0	8.0	10.0	11.6	8.3	9.6
1979	15.0	9.6	15.0	9.3	8.8	7.1
1980	7.5	9.3	10.0	11.8	8.3	8.0
1981	8.3	9.3	11.0	10.0	8.3	7.3
1982	8.3	8.8	10.0	9.8	7.5	6.6
1983	7.5	8.1	10.0	10.5	8.3	8.3
1984	9.1	8.1	11.0	10.0	8.3	7.5
1985	6.6	9.8	10.0	10.0	8.1	7.3
1986	6.6	8.1	11.0	9.6	6.8	10.0
1987	5.8	8.0	10.0	10.3	7.3	7.5
1988	7.8	7.8	11.0	9.5	5.3	8.3
1989	6.6	9.0	-	11.6	6.6	7.5
1990	7.1	9.8	-	11.1	-	7.6
1991	7.5	9.0	-	10.1	8.0	8.0
1992	7.8	7.8	-	10.5	9.3	8.3
1993	8.6	8.3	7.5	11.3	8.0	8.3
1994	7.5	8.3	7.0	10.3	8.3	6.0
1995	6.6	7.8	9.3	9.1	7.3	9.0
1996	9.1	7.7	8.6	10.5	7.3	9.6
1997	6.6	6.5	9.6	9.8	8.0	9.5
1998	7.6	7.8	9.1	15.3	7.6	9.6
1999	6.3	7.8	10.0	8.5	8.3	9.6
2000	6.6	8.0	8.3	8.5	8.0	7.5

Para o tratamento estatístico dos valores das Series Artificiais, utilizaram-se dos modelos de Distribuição de Frechet com os parâmetros estimados pelo Método da Máxima Verossimilhança e de Gumbel com os parâmetros estimados pelo Método dos Mínimos Quadrados. Na tabela 3, encontram-se os resultados desses estimadores para cada estação.

**Tabela 3** – Valores dos estimadores  $\hat{\gamma}$  e  $\hat{\beta}$

ESTAÇÕES DA PARAÍBA	FRECHET		GUMBEL	
	$\hat{\gamma}$	$\hat{\beta}$	$\hat{\gamma}$	$\hat{\beta}$
João Pessoa	7,5140	25,8937	6,6337	25,6090
Campina Grande	7,6211	29,0628	8,8212	29,0565
Areia	6,9604	32,5136	8,7246	32,5798
Patos	11,1555	35,3736	11,1434	35,2069
São Gonçalo	8,2601	27,6017	10,5923	27,7253
Monteiro	5,3116	27,4372	5,5353	27,2144

Devido a grande variabilidade encontrada nos valores dos estimadores do fator de forma da distribuição de Frechet, nas estações meteorológicas da Paraíba, foi adotado o critério de cálculo do fator de forma único considerando o valor médio ponderado, com os pesos representados pelo número de anos de registros, resultando em um valor único representado na tabela 4.

Em outra consideração, (excluindo as estações que apresentaram distorções nos valores de  $\hat{\rho}$ , inclusive algumas da Paraíba) para o cálculo do fator de forma único nacional das estações, foi adotado o mesmo critério do valor médio ponderado, sendo que agora, foram consideradas também, as estações que fizeram parte da composição do  $V_0$ , explícito na NBR. 6123. Ver tabela 4

**Tabela 4 – A determinação do fator de forma único -  $\gamma$  (único)**

Nº	Estação	Anos de Reg.= n	$\hat{\beta}$	$\hat{\gamma}$	B(n)	$\hat{\rho}$	(Anos x $\hat{\rho}$ ) = $\eta$
1	AMAPÁ	24	52.58	5.790	0.943	5.460	131.04
2	BELÉM	25	61.58	5.334	0.945	5.041	126.02
3	B.HORIZONTE	25	56.36	6.540	0.945	6.180	154.50
4	BAGÉ	14	76.86	6.015	0.901	5.420	75.880
5	BOA VISTA	9	68.94	9.168	0.842	7.719	69.470
6	CARAVELAS	24	51.68	8.991	0.943	8.479	203.50
7	CUIBA	12	62.20	6.720	0.883	5.934	71.200
8	CURITIBA	25	79.31	4.935	0.945	4.664	116.60
9	CAMPOGRANDE	25	85.69	5.298	0.945	5.007	125.17
10	CAROLINA	8	47.71	11.983	0.820	9.826	78.610
11	FORTALEZA	25	56.11	6.081	0.945	5.747	143.67
12	FLORIANÓPOLIS	25	85.38	5.990	0.945	5.661	141.53
13	F.DE NORONHA	24	58.87	8.601	0.943	8.111	194.66
14	MACEIO	25	47.96	6.825	0.945	6.451	161.28
15	PONTA PORÃ	18	61.78	9.065	0.923	8.367	150.61
16	PIRASSUNUNGA	15	68.70	5.105	0.908	4.635	69.530
17	RECIFE	24	54.12	9.367	0.943	8.833	211.99
18	SANTAREM	21	46.89	5.765	0.934	5.385	113.09
19	SALVADOR	25	59.09	7.867	0.945	7.434	185.85
20	SANTA CRUZ	20	84.13	5.702	0.931	5.309	106.18
$\Sigma$ n =		413	$\Sigma$ $\eta$ =				2630.38
21	JOÃO PESSOA	30	25.89	7.514	0.955	7.175	215.25
22	CAMPINA GRANDE	30	29.06	7.621	0.955	7.278	218.34
23	MONTEIRO	29	27.43	5.311	0.953	5.061	146.76
$\Sigma$ n =		502	$\Sigma$ $\eta$ =				3.210,73
$\gamma$ (único) =							$\frac{\Sigma \eta}{\Sigma n} = 6.395$

No processo de determinação dos valores da velocidade básica do vento  $V_0$  nas estações meteorológicas do estado da Paraíba, foi usado o mesmo procedimento de cálculo adotado para a determinação dos valores de  $V_0$  nas estações meteorológicas do Brasil, e que contribuíram para a formação do mapa das isopletras especificadas na NBR. 6123.

É conveniente ressaltar que o valor do  $\gamma$  (único) calculado com a inclusão das informações obtidas nas estações meteorológicas da Paraíba é um pouco maior (cerca de 0,4%) que o utilizado para a determinação das isopletras constantes da NBR. 6123.

O significado prático dessa observação repousa no fato de que as diferenças entre as velocidades básicas calculadas com os dois valores do  $\gamma$  (único), são muito pequenas, podendo ser desprezadas. Sendo as velocidades obtidas com o  $\gamma$  (único) = 6,369 (adotada na NBR. 6123), apenas pouco maiores que as obtidas com o  $\gamma$  (único) (calculada nesse trabalho), optando-se pela continuidade daquele  $\gamma$  (único) em detrimento deste, as velocidades básicas utilizadas foram favoráveis à segurança, ficando justificada a manutenção dos valores de  $V_0$  das isopletras, cujo uso já está consagrado. Assim sendo, no cálculo das velocidades  $V_0$  para as estações da Paraíba, foi utilizado  $\gamma$  (único) = 6,369.

Na tabela 5, tem-se, resumidamente os valores das velocidades básico do vento em cada estação do

estado da Paraíba (m/s), encontrados através da equação,

$$V_o = \hat{\beta} / \left[ -\ln\left(1 - \frac{1}{R}\right) \right]^{1/\gamma} \quad \text{Eq. 08}$$

adotando-se valores próprios  $\hat{\beta}$  de cada estação (tabela 3), o período de recorrência de  $R = 50$  anos e valores particularizados de  $\gamma_{(\text{único})} = 6,395$  (encontrado na pesquisa) e  $\gamma_{(\text{único})} = 6,369$ . (adotada na NBR. 6123).

**Tabela 5 – Resumo dos valores de  $V_o$  – Paraíba.**

Nº	Estações da Paraíba	Com $\gamma_{(\text{único})} = 6,369$		Com $\gamma_{(\text{único})} = 6,395$		$\Delta V_o(\text{m/s})$
		$V_o(\text{km/h})$	$V_o(\text{m/s})$	$V_o(\text{km/h})$	$V_o(\text{m/s})$	
01	João Pessoa	47,78	13,27	47,64	13,23	0,04
02	Campina Grande	53,63	14,89	53,48	14,85	0,04
03	Areia	59,99	16,66	59,83	16,62	0,04
04	Patos	65,27	18,13	65,09	18,08	0,05
05	São Gonçalo	50,93	14,14	50,79	14,10	0,04
06	Monteiro	50,63	14,06	50,49	14,02	0,04

## 6. APLICAÇÃO DO VALOR $V_o$ (PARAÍBA) NO CÁLCULO ESTRUTURAL

### 1. Descrição do projeto arquitetônico do Edifício A

Este edifício foi projetado para ser construído próximo a orla da cidade de João Pessoa – Pb, em um terreno de 25x 40m, formato retangular com algumas saliências curvas, possui piso de garagem no térreo, mezanino, onze pavimentos tipo e uma cobertura. A maior dimensão em planta da estrutura do pavimento tipo é de 29,36 m e sua altura total de 42.00 m.

### 2. Descrição do Programa Computacional usado para o cálculo estrutural:

O programa utilizado “EBERICK V5” da ALTOQI, é apropriado para esta finalidade e atende as normas específicas vigentes no país, para projetos de estruturas de concreto armado, tais como NBR. 6118/2003 a NBR. 6120 e a NBR. 6123.

### 3. Descrição geral da Configuração do programa “EBERICK V5”, para o cálculo de estrutura:

1ª SOLUÇÃO – Edf.A –(13 pav.) Calculado usando-se  $V_o = 18$  m/s (valor encontrado na pesquisa).

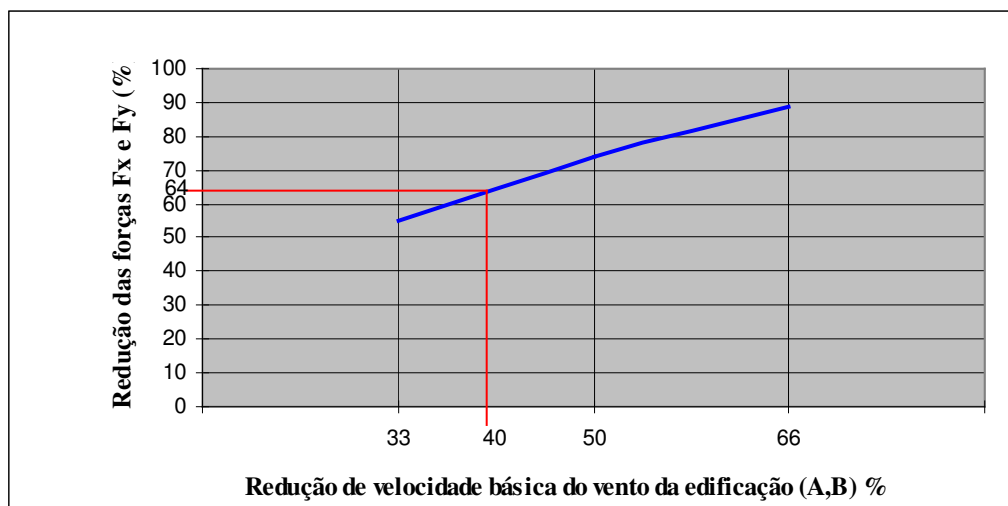
2ª SOLUÇÃO – Edf. A –(13 pav.) Calculado usando-se  $V_o = 30$  m/s (valor definido pela NBR. 6123).

Para as duas opções, o programa solicita de forma geral os seguintes requisitos: os dados referentes ao projeto arquitetônico; os dados referentes ao projeto estrutural, de acordo com as normas vigentes, sendo que a única variável diferente entre as duas opções do Edf. A, é o valor de  $V_o$ , o mesmo para o Edf. B de 33 pavimentos.

4. Na tabela 6, tem-se o quadro comparativo dos valores das forças devidas ao vento, atuantes na edificação A – 13 pav. em decorrência da variação da velocidade do vento (30 m/s para 18 m/s) e no gráfico 1, indicativo do percentual de redução das forças, para uma variação percentual de 40% no valor da velocidade do vento (30 m/s para 18 m/s).

**Tabela 6 – Forças Fx e Fy no Edf.A, para V<sub>o</sub> de 18 e 30 m/s – variações em %**

Velocidades	30 m/s		18 m/s		30 para 18	30 para 18
	Fx (kN)	Fy (kN)	Fx (kN)	Fy (kN)	Fx	Fy
Reservatório	4.60	5.30	1.70	1.90	63.04 %	64.10 %
Coberta	20.2	44.8	7.30	16.1	63.86 %	64.06 %
Cobertura	30.8	79.3	11.1	28.5	63.96 %	64.06 %
Teto - 11	29.8	79.3	10.7	28.6	64.09 %	63.93 %
Teto - 10	28.8	78.1	10.4	28.1	63.88 %	64.02 %
Teto - 9	28.3	76.7	10.2	27.6	63.95 %	64.01 %
Teto - 8	27.8	75.2	10.0	27.1	64.02 %	63.96 %
Teto - 7	27.2	73.6	9.80	26.5	63.97 %	63.99 %
Teto - 6	26.5	71.7	9.50	25.8	64.15 %	64.01 %
Teto - 5	25.7	69.6	9.30	25.1	63.81 %	63.93 %
Teto - 4	24.8	67.2	8.90	24.2	64.11 %	63.98 %
Teto - 3	23.8	64.3	8.60	23.2	63.86 %	63.92 %
Teto - 2	22.4	60.7	8.10	21.8	63.83 %	64.08 %
Teto - 1	20.5	55.5	7.40	20.0	63.90 %	63.96 %
Mezanino	23.0	52.2	8.30	18.8	63.91 %	63.98 %
Baldrames	1.00	2.10	0.40	0.80	60.00 %	61.90 %



**Gráfico 1 – Redução de velocidade do vento x forças do vento (%)**

5. Resumo de Materiais: Edf. A – (13 pav.) V<sub>o</sub> = 18 m/s.

**Tabela 7 – Resumo de materiais do edifício A com V<sub>o</sub> = 18 m/s**

Peso total + 10% (Kg)	Aço	Vigas	Pilares	Lajes	Total
	CA50	34.249,7	15.542,4	23.033,2	72.825,3
	CA60	6.185,7	7.295,6	5.334,6	18.815,9
	Total	40.435,4	22.838,1	28.367,8	91.641,3
Volume de concreto (m3)		537,2	281,7	467,0	1.285,9
Área de forma (m2)		6.888,4	2.824,7	4.879,6	14.592,7
Consumo de aço (kg/m3)		75,3	81,1	60,7	71,26

6. Resumo de Materiais: Edf. A – (13 pav.) V<sub>o</sub> = 30 m/s.

**Tabela 8 - Resumo de materiais do edifício A com V<sub>o</sub> = 30 m/s**

Peso total + 10% (Kg)	Aço	Vigas	Pilares	Lajes	Total
	CA50	39.598,0	16.975,5	22.823,8	79.397,3
	CA60	6.478,7	7.307,5	5.506,1	19.292,3
	Total	46.076,7	24.283,0	28.329,9	98.689,6
Volume de concreto (m3)		559,7	281,8	464,4	1.305,9
Área de forma (m2)		6.930,5	2.824,8	4.850,9	14.606,2
Consumo de aço (kg/m3)		82,3	86,2	61,0	75,57



Comparando-se os resultados dos valores da tabela 7 com a tabela 8 e considerando-se um concreto estrutural C-25 observam-se: Redução do volume de concreto em 1.53% ou seja, 20 m<sup>3</sup> (147 sacos de cimento de 50 kg, 3 caminhões de 6 m<sup>3</sup> de areia média e 3 caminhões de 6 m<sup>3</sup> de brita ) e redução no total de aço em 7.14% ou seja, 7048 kg.

7. Resumo de Materiais: Edf. B – (33 pavimentos)  $V_o = 18$  m/s. Por falta de espaço apresentam-se apenas os resultados do cálculo estrutural.

**Tabela 9 - Resumo de materiais do edifício B com  $V_o = 18$  m**

Peso total + 10% (Kg)	Aço	Vigas	Pilares	Lajes	Total
	CA50	80.857,0	53.769,3	33.300,9	167.927,2
	CA60	11.844,0	16.637,8	8.226,3	36.708,2
	Total	92.701,0	70.407,1	41.527,3	204.635,4
Volume de concreto (m3)		940,5	1.138,9	687,2	2.766,6
Área de forma (m2)		10.988,8	6.360,1	7.164,1	24.513,0
Consumo de aço (kg/m3)		98,6	61,8	60,4	74,0

8. Resumo de Materiais: Edf. B – (33 pavimentos)  $V_o = 30$  m/s.

**Tabela 10 - Resumo de materiais do edifício B com  $V_o = 30$  m/s**

Peso total + 10% (Kg)	Aço	Vigas	Pilares	Lajes	Total
	CA50	118.284,7	87.215,4	33.196,3	238.696,4
	CA60	11.364,1	21.359,8	8.189,8	40.913,7
	Total	129.648,9	108.575,1	41.386,2	279.610,2
Volume de concreto (m3)		999,6	1.840,4	682,0	3.512,9
Área de forma (m2)		11.056,5	7.459,7	7.107,5	25.623,7
Consumo de aço (kg/m3)		129,7	59	60,7	79,4

Comparando-se os resultados dos valores da tabela 9 com a tabela 10 e considerando-se um concreto estrutural C-35 observam-se: Redução do volume de concreto em 21.24% ou seja, 746,3 m<sup>3</sup> (7.027 sacos de cimento de 50 kg, 92 caminhões de 6 m<sup>3</sup> de areia média e 104 caminhões de 6 m<sup>3</sup> de brita ) e redução no total de aço 26.8% ou seja, 74.974 kg.

## 7. CONCLUSÕES

Dos resultados obtidos pode-se constatar que:

- a velocidade básica do vento ( $V_o$ ) encontrada na Paraíba é da ordem de 18 m/s, bem abaixo da constante da NBR 6123;
- os resultados obtidos de cálculos efetuados considerando uma variação de  $V_o$  de 40% ( 30 m/s para 18 m/s) resultaram em reduções de forças devidas ao vento na ordem de 64%;
- reduções do volume de concreto em 1,53% que equivale a 20 m<sup>3</sup> e de aço em 7,14% que equivale a 7.048 kg para o edifício A de 13 pavimentos; reduções do volume de concreto em 21,24 % que equivale a 746.3 m<sup>3</sup> e de aço em 26,8 % que equivale a 74.974 kg para o edifício B de 33 pavimentos;

permitindo concluir que se faz necessária, uma revisão nos valores de velocidade básica do vento, explícitas na NBR. 6123, para a região da Paraíba e reflexão na legislação relativa aos dispositivos de ordenamento urbano, ocupação do solo urbano. Tenha-se em conta que a verticalização sem critérios, além de não contribuir para um desenvolvimento sustentável, pelo menos no aspecto estudado, implica alterações climáticas irreversíveis.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NB-599: forças devidas ao vento em edificações**. Rio de Janeiro: 1978.

\_\_\_\_\_. NBR. 6118. **Projeto de Estruturas de Concreto**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004.

\_\_\_\_\_. NBR.6123. **Forças devidas ao vento em edificações**. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1988.

ALTOQi. **AltoQi Eberick tutorial: projeto estrutural de edificações em concreto armado**. Florianópolis: AltoQi, 2002.

BLESSMANN, J. **Intervalo de Tempo para Cálculo da Velocidade Básica do Vento**. 3.ed ampl. – Porto Alegre: Universidade/UFRGS; MEC/SESu/PROEDI, 1988

\_\_\_\_\_. **Aerodinâmica das Construções**. Porto Alegre: UFRGS, 1983.

CRUZ, José Márcilio Filgueiras. **Estabilidade Global dos Edifícios**. João Pessoa. Editora Universitária UFPB, 2005.

FRITZ, Leonhard. **Construções de Concreto: princípios básicos sobre a armação de concreto armado**. Local: Interciência, 1978 (Vol. I, II, III).

**INMET-INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA**. Disponível em:

<<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em: 12 jul. 2005

MOORE, David S. **Instroductioin to the Praticce of Statistics**. [S.I.]: W.H.Freeman and Company, 1989.

PADARATZ, I. J. **Velocidade básica do vento no Brasil**. Porto Alegre, CPGEC, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1977. 88p.

RIERA, J. D.; VIOLLAZ, A. J. & REIMUNDIN. J. C. **Some recent results on probabilistic models of extreme wind speeds**. Journal of Industrial Aerodynamics, Amsterdam, Elsevier, 2:271-87. 1977.

RIERA, JD., DAVENPORT, AG. **Wind Effects on Building and Strutures**. Rotterdam: A.A. Balkema, 1998.

SANTOS, M. L. W. **Regionalização das Velocidades Extremas e Temperaturas do Vento no Centro-Sul do Brasil**. Porto Alegre: CPGEC, 1989.

SILVA, Francisco de Assis Gonçalves da. **O vento como ferramenta no desenho do ambiente construído: uma aplicação ao Nordeste do Brasil**. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) FAU – USP. São Paulo: USP, 1999.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA. **Atlas Climatológico do Estado da Paraíba**. Núcleo de Meteorologia Aplicada. Campina Grande: Universitária, 1987.

VIEIRA FILHO, J. M. S. **Velocidades máximas do vento no Brasil**. Porto Alegre: CPGEC, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1975.