



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA**

ENILDO TALES FERREIRA

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

**JOÃO PESSOA - PB
2005**

ENILDO TALES FERREIRA

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

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal da Paraíba como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre

Orientador: profº Dr. Francisco A. Gonçalves da Silva

João Pessoa - PB
2005

F 383V

Ferreira, Enildo Tales.

Estudo comparativo entre a velocidade básica do vento estabelecida 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._ João Pessoa, 2005.

130p.

Orientador: Francisco A . Gonçalves da Silva

Dissertação (Mestrado) CT/UFPB

1. Engenharia urbana. 2. Vento - Velocidade. 3. Estrutura de concreto. 4. Vento - Força.

UFPB/BC.

CDU62:711(043)

ENILDO TALES FERREIRA

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

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal da Paraíba como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre

Aprovado em: 30/09/2005

BANCA EXAMINADORA

Profº Dr. Francisco A. Gonçalves da Silva
Orientador – UFPB

Profº Dr. Edson Leite Ribeiro

Profº Dr. Rômulo de Freitas Paixão

Profº Dr. Gibson Rocha Meira

Ao meu pai, Sebastião (in memoriam), a minha mãe Lúcia, a minha esposa Walkiria e as minhas filhas Isabela e Luciana.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela saúde, pela tranqüilidade e todos os momentos vividos;

Ao Prof. Dr. **Francisco A. Gonçalves da Silva**, pelo apoio, estímulo e pela orientação dada ao desenvolvimento deste trabalho;

Em especial, ao Prof. **José Marcílio Filgueiras Cruz** e ao seu filho Lucas, pela importante colaboração dada a este trabalho, contribuindo de forma decisiva para seu aperfeiçoamento;

Ao **INMET, 3º DISME** – RECIFE, principalmente aos Chefes **Raimundo Jaildo dos Anjos, Milton José da Silva** e a estagiária **Alissandra**, pelo apoio fundamental na concessão de todos os dados relativos a velocidades de vento do estado da Paraíba, sem os quais seria impossível realizar esta pesquisa;

Ao Engenheiro **Carlos Vamberto de Araújo Martins** pela montagem do programa estatístico, tornando as soluções das equações mais rápidas e precisas;

A todos os docentes do curso de pós-graduação de engenharia urbana, pela transmissão dos conhecimentos e aos **professores** do centro de tecnologia da UFPB pelo apoio e incentivo;

A todos os **colegas** de curso, pela amizade e convívio;

Enfim, a todos que contribuíram direta ou indiretamente na realização deste trabalho, em especial a **Jackson Jenner**.

Estamos convencidos do inestimável valor das nossas respectivas tradições e daquilo que elas podem oferecer no sentido de restabelecer a harmonia ecológica, mas, ao mesmo tempo, somos suficientemente humildes para desejar aprender uns dos outros. A própria riqueza da nossa diversidade dá força à nossa compartilhada preocupação e responsabilidade pelo nosso Planeta Terra.

Padre Lanfranco Serrini

RESUMO

Este trabalho verificou a possibilidade de se ajustarem às condições de ventilação existentes no estado da Paraíba os parâmetros de cálculo estrutural constantes da NBR. 6123, especificamente velocidade básica do vento (V_o) e esforços por ele causados em edificações. 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. Os 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 decorrente desses ajustes.

Palavras-chave: Vento. Força. Estrutura.

ABSTRACT

This study verified the possibility of adjusting the structural calculus parameters, namely basic wind velocity (V_0) and its effects on buildings, as specified in NBR 6.123, to ventilation conditions in the state of Paraíba. Wind velocity data series collected in meteorological stations of Paraíba were analysed using Frechet's and Gumbel's probability distribution functions. 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.

Keys words: Wind. Force. Structure

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Mapa mundi (distribuição geral dos ventos)	23
FIGURA 2	Massa tropical e equatorial atlântica	25
FIGURA 3	Isopletas da velocidade básica do vento V_o (m/s)	36
FIGURA 4	Localização das estações meteorológicas da Paraíba	41
FIGURA 5	Curvas representativas do intervalo de confiabilidade dos fatores de forma (MMV)	69
FIGURA 6	Curvas representativas do intervalo de confiabilidade dos fatores de forma (MMQ)	70
FIGURA 7	Fachada principal do edifício A	80
FIGURA 8	Corte longitudinal do edifício A	80
FIGURA 9	Planta baixa do pavimento tipo do edifício A	81
FIGURA 10	Planta de forma do pavimento tipo do edifício A	81
FIGURA 11	Pórtico 3D e corte da estrutura do edifício A	82
FIGURA 12	Planta de forma do pavimento tipo do edifício B	86
FIGURA 13	Fachada, pórtico 3D e corte da estrutura do edifício B	87

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1	Freqüência x rajadas máximas anuais – Estação de João Pessoa	58
GRÁFICO 2	Freqüência x rajadas máximas anuais – Estação de Campina grande	58
GRÁFICO 3	Freqüência x rajadas máximas anuais – Estação de Areia	59
GRÁFICO 4	Freqüência x rajadas máximas anuais – Estação de Patos	59
GRÁFICO 5	Freqüência x rajadas máximas anuais – Estação de São Gonçalo	60
GRÁFICO 6	Freqüência x rajadas máximas anuais – Estação de Monteiro	60
GRÁFICO 7	Redução de velocidade do vento x forças do vento (%)	96

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1	Valores do fator de correção B(n)	35
QUADRO 2	Localização e altitude das estações do estado da Paraíba	47
QUADRO 3	Velocidade máxima anual da estação de João Pessoa	50
QUADRO 4	Velocidade máxima anual da estação de Campina Grande	51
QUADRO 5	Velocidade máxima anual da estação de Areia	52
QUADRO 6	Velocidade máxima anual da estação de Patos	53
QUADRO 7	Velocidade máxima anual da estação de Monteiro	54
QUADRO 8	Velocidade máxima anual da estação de São Gonçalo	55
QUADRO 9	Séries de velocidade máxima anual medidas sobre 3 seg. (em m/s) – Paraíba	56
QUADRO 10	Séries de velocidade máxima anual medidas sobre 3 seg. (em Km/h) – Paraíba	57
QUADRO 11	Valores dos estimadores $\hat{\gamma}$ e $\hat{\beta}$	63
QUADRO 12	Valores dos estimadores $\hat{\gamma}_0$ - Frechet	64
QUADRO 13	Valores dos estimadores $\hat{\gamma}_0$ - Gumbel	64
QUADRO 14	Parâmetros da distribuição de Frechet Máxima Verossimilhança	65/66
QUADRO 15	Parâmetros da distribuição de Gumbel – Mínimos Quadrados	67/68

QUADRO 16	Pontos das curvas de máximo e mínimo Frechet (M.M.V)	71
QUADRO 17	Pontos das curvas de máximo e mínimo Gumbel (M.M.Q)	71
QUADRO 18	A determinação do fator de forma único - γ (único)	73
QUADRO 19	Resumo dos valores de V_o – Paraíba	77
QUADRO 20	Resumo de materiais do edifício A com $V_o = 18$ m/s	82
QUADRO 21	Forças F_x e F_y do edifício A com $V_o = 18$ m/s	83
QUADRO 22	Resumo de materiais do edifício A com $V_o = 30$ m/s	83
QUADRO 23	Forças F_x e F_y do edifício A com $V_o = 30$ m/s	84
QUADRO 24	Variação em % das forças F_x e F_y do edifício A	84
QUADRO 25	Resumo de materiais do edifício B com $V_o = 18$ m/s	87
QUADRO 26	Forças F_x e F_y do edifício B com $V_o = 18$ m/s	88
QUADRO 27	Resumo de materiais do edifício B com $V_o = 30$ m/s	89
QUADRO 28	Forças F_x e F_y do edifício B com $V_o = 30$ m/s	89
QUADRO 29	Variação em % das forças F_x e F_y do edifício B	90
QUADRO 30	Comparativo dos quantitativos do edifício A	91
QUADRO 31	Traço do concreto estrutural utilizado no edifício A por m^3	91
QUADRO 32	Comparativo dos quantitativos do edifício B	92
QUADRO 33	Traço do concreto estrutural utilizado no edifício B por m^3	92
QUADRO 34	Resumo da variação dos quantitativos de materiais do edifício A e B	93
QUADRO 35	Escala Beaufort • Coluna acrescida pelo autor	95
QUADRO 36	Resumo da economia de energia, redução de resíduo e calcário decorrente da variação de V_o nos quantitativos de materiais dos edifícios A e B	98

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
UTC	Coordenada de Tempo Universal
DNOCS	Departamento Nacional de Obras Contra a Seca
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPS	Extended Mature Pressure Systems
FAB	Força Aérea Brasileira
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IBS	Instituto Brasileiro de Siderurgias
LAC	Laboratório de Aerodinâmica das Construções
MMQ	Método dos mínimos quadrados
MMV	Método da máxima verossimilhança
NBR	Norma Brasileira Revisada
SNIC	Sindicato Nacional da Indústria de Cimento

LISTA DE SÍMBOLOS

$f(V)$	Função densidade de probabilidade
$F_V(V)$	Probabilidade de que a velocidade máxima anual V seja inferior a um valor fixado
β, γ	Parâmetros da distribuição de Frechet e de Gumbel
$\hat{\beta}, \hat{\gamma}$	Estimadores dos parâmetros β (velocidade característica) e γ (fator de forma)
$V(R)$	Velocidade do vento para um período de recorrência R
R	Período de recorrência
B(n)	Fator de correção por tendência
n	Número de registros de uma série
V_i	Elementos de uma série de velocidades
\hat{p}	Fator de forma corrigido pelo fator de correção
V_o	Velocidade básica do vento
Z_o	Altura de referência do terreno
S_1, S_2 e S_3	Fatores de correção da velocidade V_o (fator topográfico, Rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno, e o fator estatístico)

V_K	Velocidade característica do vento
F_x, F_y	Componentes da força global do vento atuantes na direção x e y da estrutura
C_a	Coeficiente de arrasto
$\hat{\beta}_0$ (único)	Fator de forma corrigido único de todas as estações do Brasil
γ (único)	Fator de forma único corrigido único somente das estações selecionadas (sem anomalias) do Brasil
η	Produto entre o nº de registros da estação e o fator de forma corrigido
F_{ck}	Resistência à compressão do concreto
h	Unidade de medida de tempo - Hora
s	Unidade de medida de tempo – Segundo
m	Unidade de medida de comprimento – metro
cm	Unidade de medida de comprimento – centímetro
m^2	Unidade de medida de área – metro quadrado
m^3	Unidade de medida de volume – metro cúbico
m / s	Unidade de medida de velocidade - Metros por segundo
Km / h	Unidade de medida de velocidade - Quilômetros por hora
kN	Unidade de medida de força – QuiloNewton (100Kg)
Kg	Unidade de medida de massa – Quilograma
t	Unidade de medida de massa – tonelada
Kg / m^3	Unidade de medida de massa específica – Quilograma por metro cúbico
KWh	Unidade de medida de consumo de energia por hora – Quilo Watts por hora

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
2	CIRCULAÇÃO ATMOSFÉRICA	21
3	ESTATÍSTICA DO VENTO	27
4	ESTUDOS ANTECEDENTES	29
5	METODOLOGIA	39
6	UNIVERSO DE ANÁLISE	40
6.1	DELIMITAÇÃO	40
6.2	AS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS E OS REGISTROS DE VELOCIDADE DO VENTO NA PARAÍBA	41
6.3	CARACTERIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES CONSIDERADAS	42
7	SISTEMATIZAÇÃO E TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS REGISTROS COLETADOS DE VELOCIDADE DO VENTO NA PARAÍBA	49
7.1	SISTEMATIZAÇÃO DOS REGISTROS DE VELOCIDADE DO VENTO	49
7.2	TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS REGISTROS DE VELOCIDADE DO VENTO COLHIDOS NAS ESTAÇÕES DO ESTADO DA PARAÍBA	61
7.2.1	Os Estimadores $\hat{\gamma}$ e $\hat{\beta}$	62
7.2.2	Variabilidade dos estimadores e fator de forma único	64
7.2.3	O valor do V_o para as regiões estudadas da Paraíba e a NBR 6123	72
8	O VALOR DO V_o AJUSTADO PARA A PARAÍBA E SUA APLICAÇÃO NO CÁLCULO ESTRUTURAL DE DOIS EDIFÍCIOS SITUADOS EM JOÃO PESSOA – PB	78
8.1	PROJETO ESTRUTURAL DO EDIFÍCIO A E DO EDIFÍCIO B	79
8.1.1	O Programa Computacional – “Eberick V5” (ALTOQI)	79
8.1.2	Edifício A	79
8.1.3	Edifício B	85
8.2	RESULTADOS DECORRENTES DA APLICAÇÃO DO V_o COM VALOR AJUSTADO	91

9	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	94
9.1	SOBRE O VALOR DO V_0 AJUSTADO	94
9.2	ECONOMIA OBTIDA COM A APLICAÇÃO DO V_0 AJUSTADO	96
10	CONCLUSÕES E SUGESTÕES	99
REFERÊNCIAS		101
ANEXOS		104
ANEXO A	QUADROS DE REGISTROS DE VELOCIDADE MÁXIMA DO VENTO NO BRASIL, LOCALIZAÇÕES DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS E INTERVALO DE CONFIABILIDADE	
A1	Localização e altitude das estações do Brasil	
A2	Máxima velocidade média registrada em km/h (média sobre 30 segundos)	
A3	Continuação do quadro	
A4	Máxima velocidade média registrada em km/h (média sobre 3 segundos, rajadas)	
A5	Continuação do quadro	
A6	Séries artificiais: velocidade máxima anual sobre 3 segundos (km/h)	
A7	Continuação do quadro	
A8	Estações do Brasil empregadas para o cálculo do γ médio ponderado	
A9	Intervalo de confiabilidade dos fatores de forma	
ANEXO B	NBR 6118: 2003, NBR 6123	
B1	Coeficiente de arrasto C_a	
ANEXO C	SOFTWARE – ESTIMATIVA DOS PARÂMETROS DAS DISTRIBUIÇÕES DE FRECHET E GUMBEL	
C1	Demonstrativo da tela do programa	
ANEXO D	FICHAS, CARTAS E FOTOS	
D1	Carta de determinação da visibilidade horizontal	
D2	Mapa de observações meteorológicas	
D3	Ficha de inspeção da estação de João Pessoa	
D4	Continuação da ficha	
D5	Foto do anemômetro totalizador da estação de Areia	
D6	Foto da anemógrafo universal (FUESS) da estação de Areia	
D7	Foto ampliada do anemógrafo da estação de Areia	

1 INTRODUÇÃO

Nos primórdios da civilização, o homem sentiu a necessidade de se abrigar das intempéries da natureza, procurando refúgio nas cavernas. Usando a inteligência que lhe é peculiar para buscar a sobrevivência, a segurança e o conforto, deu início a um processo de intervenção no meio ambiente, extraíndo as matérias-primas encontradas próximo às áreas de sua habitação para auxiliar na construção de moradias e atender às suas exigências nos âmbitos da habitabilidade, da integridade física e do conforto.

Inicialmente, não existia a preocupação com a destruição dos ecossistemas, pois havia uma população pequena, em relação à grandiosidade dos recursos naturais existentes. Com o passar dos anos, tal relação tendeu a inverter-se, conduzindo à extinção de várias espécies pelo dano causado à natureza.

O processo de exploração das matérias-primas acelerou-se a partir da revolução industrial e da crescente urbanização nos grandes centros, em virtude da explosão demográfica e do êxodo campo/cidade.

A natureza começa, então, a dar sinais de cansaço, previsões catastróficas começam a surgir. É hora de revisar os conceitos e os processos de uso e de transformação dos materiais naturais, tornando-os mais racionais e menos agressivos ao planeta terra.

O homem, atualmente, tem despertado para a necessidade de se desenvolver de forma sustentável, em harmonia com as limitações de recomposição ecológica do planeta, sem destruir o ambiente, com isso, podendo garantir às futuras gerações a chance de existirem e do bem-viver.

A tecnologia atual de projetos e construções de edificações adapta-se, a cada dia, para atender às exigências das grandes cidades com intensa densidade populacional. Nesse sentido, os edifícios se apresentam como uma boa solução, por acomodarem mais famílias e

escritórios em áreas menores, embora contribuam para um acréscimo no sistema viário, com suas implicações locais, para uma maior demanda de abastecimento e tratamento de água, de geração de energia, de tratamento de resíduos, visando à não contaminação do solo, da água e do ar.

Sendo, em geral, os lotes urbanos de formatos retangulares e de áreas reduzidas, induzem a projetos arquitetônicos com grande susceptibilidade às ações horizontais. Por essa razão, as soluções estruturais a serem adotadas tendem a apresentar forma esbelta e leve, garantida pela alta resistência dos materiais, nas quais, o efeito do vento exerce grande influência.

Desse modo, no dimensionamento das estruturas, o estudo das forças do vento se reveste de grande importância por ser uma das principais solicitações consideradas. Para se avaliar o efeito dessas forças nas construções e elaborar critérios de projeto, torna-se necessário o conhecimento do regime dos ventos da região, com ênfase nas características referentes à sua intensidade, freqüência, probabilidade de ocorrência e distribuição de velocidade.

Com base nesses parâmetros, podem-se dimensionar com segurança, em qualquer região, os elementos estruturais das edificações, verificando-se que, para maiores velocidades do vento, maiores serão os esforços solicitantes nas estruturas e maiores as dimensões desses elementos, resultando em maior consumo de matérias-primas.

A discrepância entre os valores médios das velocidades máximas anuais, constantes de medições em estações meteorológicas do estado da Paraíba e os respectivos valores das velocidades básicas recomendadas pela NBR. 6123 sugere que o valor indicado para esse estado está superestimado. Tendo em vista a já referida importância da ação do vento nas estruturas, essa reflexão conduz à necessidade de estudos mais aprofundados sobre a definição do vento básico a ser adotado na Paraíba.

Como decorrência desse questionamento, procurou-se, neste trabalho, estudar as características do vento na região, tendo como objetivo sugerir ajustes nos parâmetros de cálculo estrutural, relacionados ao efeito do vento para o estado da Paraíba.

Somou-se a isso, a não menos importante necessidade de se reduzirem racionalmente as quantidades de matérias-primas (cimento, pedra, areia, madeira e aço) e energia consumida na execução das estruturas, visando a diminuição do impacto ambiental, das práticas construtivas.

2 CIRCULAÇÃO ATMOSFÉRICA

Como ação accidental, o efeito do vento é de suma importância, tanto nas estruturas rígidas como nas estruturas flexíveis. Para avaliação desses efeitos nas edificações e para bem elaborar critérios de projeto, Padaratz (1977a, p. 1) afirma ser necessário o conhecimento da climatologia do vento, como particular importância das características referentes à sua intensidade, freqüência, probabilidade de ocorrência e distribuição de velocidades segundo sua direção.

Conforme explica Vieira Filho (1975a, p. 4), a energia solar penetra na camada superior da atmosfera, atravessa-a e incide sobre a superfície terrestre. A maior parte dessa energia se transforma em energia calorífica, que produz a circulação das massas de ar e mantém a temperatura da atmosfera.

Para maiores esclarecimentos sobre a formação da circulação atmosférica, Silva (1999a, p. 145) afirma que das massas de ar que escoam (*velocidades*) orientadas (*direções*) dos centros de altas (*anticiclones*) para os de baixas pressões (*ciclones*), seu movimento resulta:

- Das diferentes densidades assumidas pelas massas de ar devido ao seu aquecimento heterogêneo pelo contato com grandes superfícies da face da terra e em função das características térmicas dessas frentes à variação da distribuição da radiação solar consoante cada latitude geográfica (*gradiente de pressão*);

- Do movimento de rotação da Terra, cujo efeito defletor provoca uma deriva na direção do vento, imprimindo-lhe redirecionamentos para a direita e para a esquerda nos hemisférios Norte e Sul, respectivamente (*força de Coriolis*);
- Da *força centrífuga* que, por sua vez, força o ar movimentando-se curvilinicamente, sob o efeito de Coriolis, a deslocar-se para fora do centro da curvatura (é principalmente esta pequena diferença que leva a esvaziar, com um movimento em espiral, os centros de alta pressão e a encher os de baixa).

A denominação, *circulação atmosférica*, segundo Silva (1999b, p. 147), advém do fluxo de energia associado ao transporte horizontal (advecção) das zonas quentes para as zonas frias, ou seja, à camada de ar quente contígua ao limite superior do volume considerado, corresponderá, sempre, numa camada a ela inferior, uma corrente convectiva no sentido inverso de modo a que seja reposta a massa de ar removida nas zonas de menor latitude, implicando a deposição de ar frio à superfície terrestre.

Em termos globais, a energia incidente é máxima, nos trópicos, e mínima nos pólos. Esse aquecimento desigual ocasiona a circulação geral do ar, podendo-se distinguir três grandes cinturões de vento:

- Os ventos alísios, que sopram de Nordeste, no Hemisfério Norte, e de Sudeste, no Hemisfério Sul;
- Os ventos predominantes do Oeste, soprando em latitudes médias;
- Os ventos polares de Leste, soprando em altas latitudes, junto aos Pólos.

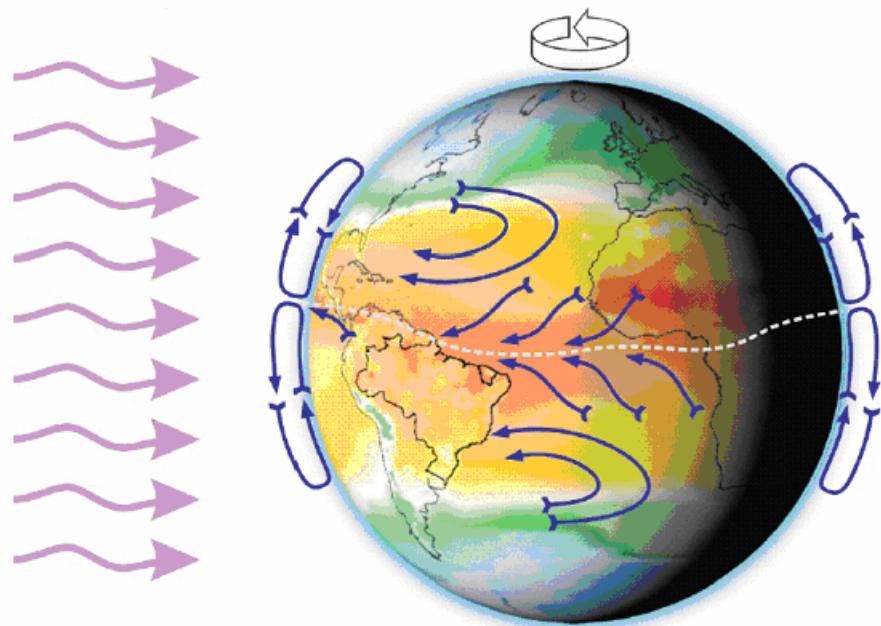


Figura 1 – Mapa Mundi (distribuição geral dos ventos)
Fonte: Ministério de Minas e Energia

O Brasil, por sua dimensão continental, é atingido direta ou indiretamente por todas as massas de ar responsáveis pelas condições climáticas na América do Sul. Essas massas de ar originam-se de fenômenos dinâmicos como os centros de alta e de baixa pressão, as frentes, os ciclones, os anticiclones móveis e outros. Todo esse sistema de pressões e de massas de ar se fortalece ou enfraquece e desloca-se, segundo os paralelos e meridianos terrestres, acompanhando o movimento aparente do sol no decorrer do ano (PADARATZ, 1977b, p. 3-4).

Periodicamente, a circulação geral é perturbada pelo aparecimento de frentes, ciclones, anticiclones móveis e outros fenômenos que são, aliás, necessários à manutenção da movimentação das massas de ar.

Na linha de choque entre duas massas de ar de temperaturas diferentes forma-se uma superfície de descontinuidade térmica e barométrica denominada Frente. Uma frente ao longo da qual o ar frio substitui o ar quente, chama-se Frente Fria, e aquela, ao longo da qual o ar frio é substituído por ar quente, chama-se Frente Quente.

As frentes frias do hemisfério sul geralmente se estendem na direção NW-SE. Ao longo delas, formam-se ciclones que se deslocam segundo a mesma direção, no seio dos quais existem acentuadas mudanças do vento, nuvens baixas e escuras, chuva forte, visibilidade reduzida, forte turbulência e possibilidade de formação de granizo e trovoadas. São seguidas por chuvas finas e contínuas para, finalmente, o céu se tornar limpo, com declínio acentuado da temperatura (PADARATZ, 1977c, p. 5-6).

As estações meteorológicas registram as velocidades dos ventos atmosféricos originados de fontes naturais de ventos superficiais, tais como:

- a) Tormentas extratropicais: representadas pelas tormentas EPS (*extended mature pressure systems*). Elas se formam geralmente ao longo de frentes polares decorrentes do encontro de massas polares com outras massas de temperatura bastante diferentes. Como o Brasil compreende a região do Equador e o cinturão de altas pressões, registra-se freqüentemente a ocorrência de tormentas (EPS), principalmente na Região Sul;
- b) Tormentas tropicais ou ciclones (*tropical storms*): originam-se em regiões tropicais dos oceanos, mais precisamente ao norte da zona das calmarias ou de convergência intertropical. São tormentas de movimento rotativo, que recebem a denominação de furacões quando os ventos periféricos excedem os 100 km/h. Esses fenômenos são de ocorrência rara no Brasil e, geralmente, deslocam-se para o Hemisfério Norte;
- c) Tormentas elétricas ou trovoadas (*thunderstorms*): caracterizadas por uma instabilidade vertical da atmosfera.

O aquecimento do ar próximo à superfície, como o que ocorre sobre áreas continentais, no verão, pode provocar uma grande diferença de temperatura entre o ar das camadas inferiores e superiores. Certas circunstâncias poderão favorecer o desenvolvimento de uma trovoada típica. A água acumulada em excesso começa a precipitar, transformando

por fricção a corrente ascendente do ar em uma corrente descendente. A chegada desta ao solo é geralmente brusca, caracterizada por violentas rajadas;

d) Tornados: são vórtices de 10 a 200m de diâmetro em sua parte inferior, com gradiente de pressão acentuado. É possível a formação de tornados em território brasileiro durante a ocorrência de trovoadas, comuns aqui;

e) Outros tipos, especialmente ventos originados devido a condições e topografia locais, como exemplo, o vento “Minuano”, no Rio Grande do Sul (PADARATZ, 1977d, p. 10-11).

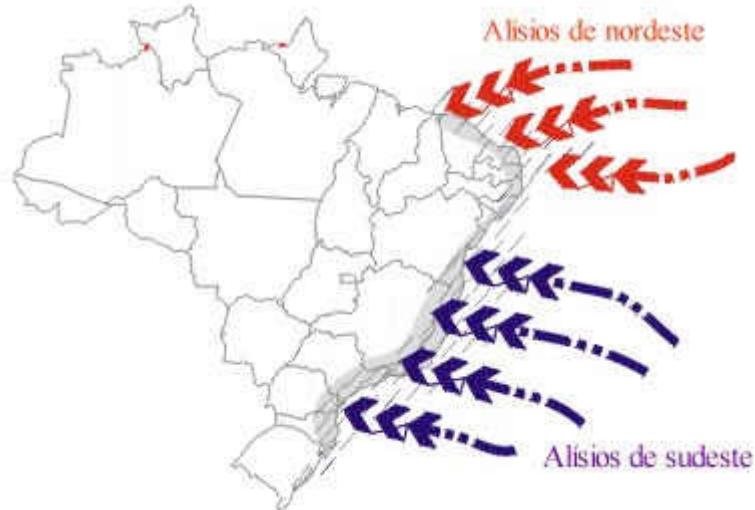


Figura 2 – Massa tropical e equatorial atlântica

Fonte: Disponível em <<http://www.climabrasileiro.hpg.ig.com.br>>
Acesso em: 2 set.2005

Especificamente no nordeste, o clima é bem diversificado, devido a sua localização que recebe influência desde a Amazônia até da Europa. A “ponta” do nordeste, onde se localiza o Rio Grande do Norte, Ceará e Paraíba, está próxima a zona de convergência intertropical que recebe os ventos alísios. Estes ventos fazem parte de um grande sistema de corrente de ar no globo. Os ventos alísios vêm do hemisfério norte para o equador influenciando o nordeste brasileiro. Tanto a brisa marítima como os ventos alísios trazem muita umidade para o continente, mas esta umidade não consegue ultrapassar o

planalto da Borborema, por isso há muita seca no sertão nordestino e em certos meses muita chuva no litoral e zona da mata.

Os fatores climáticos locais são também determinantes, dando origem ao microclima, ou seja, ao clima que está presente num ponto restrito, tais como a topografia, a vegetação e a superfície do solo natural ou construído.

A força, a direção e o conteúdo da umidade dos fluxos de ar são bastante influenciados pela topografia. Os fluxos de ar podem ser desviados ou encaminhados pelas ondulações da superfície terrestre. Também devem ser consideradas na topografia, a declividade, a orientação, a exposição e a elevação das ondulações da superfície da terra.

(Disponível em: <<http://www.climabrasileiro.hpg.ig.com.br>> Acesso em 2 set.2005).

3 ESTATÍSTICA DO VENTO

Entende-se por velocidade média do vento a distância percorrida por uma partícula de ar durante a unidade de tempo. Como na prática não se pode acompanhar uma partícula de ar para medir seu deslocamento, observa-se, então, por meio de instrumento (anemômetro ou anemógrafo), a velocidade média de escoamento de ar durante um determinado tempo (m/s ou km/h). Considerando os aparelhos atualmente usados na maioria das estações meteorológicas brasileiras, pode-se dizer que o intervalo de tempo mínimo que se deve considerar na prática é igual a três segundos.

Silva (1999c, p. 164) explicita que é corrente a caracterização do vento em termos estatísticos simples baseados na análise de séries temporais expressas em percentagens de ocorrências de classes de velocidades, formadas a partir de medições discretas em horários padrão 12, 18 e 24 UTC, utilizados pela maioria das estações meteorológicas, obtendo-se, desta forma as séries de dados referentes a um dia, um mês, um ano ou meses e/ou anos.

Rajada de vento ou turbulência é a flutuação aleatória em torno da velocidade média. Para a Força Aérea Brasileira (FAB), só há rajadas quando a velocidade média, em um intervalo de tempo de 3 segundos (sensibilidade aproximada de seus anemômetros), ultrapassa no mínimo, em 10 nós (ou seja, 18,52 km/h), a velocidade média medida sobre 30 segundos.

Fator de Rajada é definido como a relação entre a velocidade média medida sobre curtos intervalos de tempo (1, 2, 3s, etc) e a velocidade média medida sobre intervalos de tempo maiores, como 30 segundos. Esse fator é usado quando se faz necessário, por exemplo, transformar a velocidade média medida sobre 30s em uma velocidade média medida sobre 3s, bastando multiplicar pelo fator de rajada $C1 = 1,16$. Os valores desses fatores de transformação citados por Vieira Filho (1975, p. 19) são aqui reapresentados: $V3s$

= 1,16 V30s onde C1 = 1, 16, V5s = 0,95 V3s onde C2 = 0, 95, V15s = 0,90 V3s onde C3 = 0,90 (VIEIRA FILHO, 1975b, p. 13).

Nos registros das velocidades do vento, o intervalo de tempo para medir a velocidade média do vento, o “período de base”, é fator preponderante no estudo do perfil vertical da velocidade do vento, pois, ao serem analisadas construções ou parte delas, é necessário relacionar a velocidade média medida sobre uma base de 30s ou de 3s, com a correspondente a um intervalo de tempo compatível com as dimensões da obra (VIEIRA FILHO, 1975c, p. 18).

Existem duas correntes importantes que diferem quanto ao tempo de medição da velocidade do vento.

Davenport apud (PADARATZ, 1977e, p. 18) 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. Ele se baseia no fato de que a média sobre poucos segundos não leva em conta a influência das seqüências de rajadas, que produzem efeitos dinâmicos numa estrutura.

Newberry apud (PADARATZ, 1977f, p. 18), porém, é de opinião de que isso interessa para o projeto estrutural de cargas do vento, agindo sobre poucos segundos, pois a maioria das construções tem freqüências naturais altas em relação às freqüências predominantes do espectro do vento natural, em que o efeito dinâmico torna-se então desprezível. Assim sendo, de acordo com o critério adotado na Norma Britânica, a análise é baseada no valor máximo provável da velocidade “instantânea”, a qual se admite originar uma solicitação estática (PADARATZ, 1977g, p. 18).

4 ESTUDOS ANTECEDENTES

A constituição, em maio de 1976, da Comissão de Estudo de Revisão da NB-5 “Cargas para o Cálculo de Estruturas de Edifícios,” da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), provocou uma intensificação de pesquisas no Laboratório de Aerodinâmica das Construções (LAC) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, referente ao clima de ventos extremos no Brasil.

Em um trabalho voltado para a revisão dessa norma brasileira – cujo projeto segue o enfoque adotado pela Norma Britânica similar - vê-se que a compilação dos dados de velocidades do vento para aplicações em Engenharia Estrutural foi iniciada em 1973 no citado laboratório¹.

As estações meteorológicas de superfície da Força Aérea Brasileira e do Ministério da Agricultura foram as principais fontes pesquisadas para a obtenção dos dados compilados.

As estações da FAB, localizadas em terreno plano e aberto dos aeroportos e equipadas com anemômetros do tipo “*Aerovane*”, de marca *Bendix-Friez*, instalados a uma altura de 10 metros, registram máximas velocidades médias do vento medidas sobre 30 segundos, além das velocidades de rajadas. Essas velocidades são avaliadas através da corrente elétrica gerada pela rotação da hélice do anemômetro. As medições são feitas de hora em hora, ou quando se observa uma variação acentuada na leitura desses equipamentos. Essas estações contribuíram para o levantamento dos registros de velocidades até 1974, com o máximo de 25 anos.

¹ RIERA, J. D. ; PADARATZ, I. J. **Velocidade básica do vento para o projeto de estruturas no Brasil, antecedentes para revisão da NB-5.** Rio Grande do Sul: [s.n.], 1977.

As estações meteorológicas do Ministério da Agricultura têm registrado máximas médias mensais, utilizando anemômetro do tipo “4 conchas”, de marca Robinson, instalados a uma altura média de 7 metros. Esse tipo de equipamento provoca uma dispersão considerável no valor da velocidade (PADARATZ, 1977h, p. 12).

A predição da velocidade do vento, a ser considerada na determinação das ações variáveis em estruturas, é obtida através do ajuste de uma distribuição de probabilidade de valores extremos aplicados a registros de velocidades máximas anuais absolutas, coletadas em estações meteorológicas de superfície.

Segundo Santos (1989a, p.1) diferentes distribuições de probabilidade são utilizadas com esse fim, não sendo possível, devido à quantidade relativamente pequena de dados, determinar aquela que apresente o melhor ajuste por meio de critérios puramente estatísticos.

Para esses estudos climatológicos dos ventos extremos, utilizaram-se apenas os dados coletados nas estações da FAB. As demais tiveram finalidades complementares, principalmente em regiões do território brasileiro que apresentam baixa densidade de estações (como a Amazônia), carentes, portanto, de elementos para as análises estatísticas (PADARATZ, 1977i, p. 12).

Vieira Filho (1975d, p. 26) e Padaratz (1977j, p. 22) explicam que, como técnica de predição de ventos extremos, utilizam-se as distribuições de Frechet ou de Gumbel, com parâmetros estimados pelos métodos da Máxima Verossimilhança e Mínimos Quadrados.

Enquanto a função de Gumbel ou Fischer Tippet I foi utilizada em países como Canadá, Inglaterra, Austrália e Suécia, nos Estados Unidos (EUA), na Rússia e na Argentina, utilizou-se a função de distribuição de probabilidade de Frechet ou Fischer Tippet II, para ajustar as séries de ventos máximos anuais.

Entre as duas, a função de distribuição de FRECHET apresenta melhor ajuste sobre as séries mais extensas de ventos máximos anuais registrados. Por essa razão, o ajuste da série de ventos máximos anuais do Brasil foi feito segundo a função de distribuição de Frechet , que se expressa da seguinte forma:

$$F_V(V) = \Pr[V \leq v] = \exp\left[-\left(\frac{V}{\beta}\right)^{-\gamma}\right] \quad (01)$$

em que os parâmetros γ (de forma ou de escala) e β (velocidade característica) devem ser estimados para cada série de registros.

Ainda segundo Vieira Filho, o método da Máxima Verossimilhança é o mais eficiente para a estimação dos parâmetros β e γ . Tomando a função distribuição de probabilidade de Frechet, a correspondente função densidade será:

$$f(V) = F'_V(V) = \frac{\gamma}{\beta} \left(\frac{V}{\beta}\right)^{-(1-\gamma)} \exp\left[-\left(\frac{V}{\beta}\right)^{-\gamma}\right] \quad (02)$$

Sendo 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:

$$f(V_1, V_2, \dots, V_n) = \left(\frac{\gamma}{\beta}\right)^n \exp\left[-\sum_{i=1}^n \left(\frac{V_i}{\beta}\right)^{-\gamma}\right] \prod_i \left(\frac{V_i}{\beta}\right)^{-(1+\gamma)} \quad (03)$$

Os estimadores de γ e β , designados por $\hat{\gamma}$ e $\hat{\beta}$, são obtidos resolvendo-se o seguinte sistema de equações :

$$\frac{\partial}{\partial \hat{\gamma}} f(v_1, v_2, \dots, v_n) = 0 \quad (04)$$

$$\frac{\partial}{\partial \hat{\beta}} f(v_1, v_2, \dots, v_n) = 0 \quad (04)$$

$$\frac{n}{\hat{\gamma}} + n \frac{\sum_{i=1}^n \left(v_i^{-\hat{\gamma}} \ln v_i \right)}{\sum_{i=1}^n \left(v_i^{-\hat{\gamma}} \right)} - \sum_{i=1}^n \ln v_i = 0 \quad (05)$$

$$\hat{\beta} = \left(\frac{\sum_{i=1}^n v_i^{-\hat{\gamma}}}{n} \right)^{-\frac{1}{\hat{\gamma}}} \quad (06)$$

Como as equações 5 e 6 não possuem soluções explícitas para os estimadores de $\hat{\gamma}$ e $\hat{\beta}$, há necessidade da aplicação de um processo iterativo, por exemplo, o de NEWTON-RAPHSON (PADARATZ, 19771, p. 23-24).

Os estimadores dos parâmetros das distribuições de valores extremos apresentam grande variabilidade, principalmente o parâmetro de forma γ , quando o número de anos de registro é reduzido, razão pela qual não devem ser consideradas as estações com menos de cinco anos de registros (RIERA; PADARATZ, 1977a, p. 14).

Ainda de acordo com Riera; Padaratz (1977b, p. 14), a obtenção de parâmetros com valores significativamente diferentes, quando da aplicação de vários métodos de estimação a uma mesma série de registros, pode ser consequência de irregularidades nas séries de dados disponíveis. Nesse caso, os registros das estações possivelmente apresentam anomalias, as quais podem manifestar-se em:

- a) Registros anteriores a um determinado ano, sistematicamente inferiores ou superiores ao resto, também “tendência” contínua dos dados;
- b) Registros interrompidos durante um período de anos;
- c) Histogramas com dois picos separados.

Diversas causas podem gerar tais anomalias: mau funcionamento do anemômetro, mudança de localização dos aparelhos dentro da estação, retirada dos mesmos para consertos, mudanças no tipo de exposição devido a novas construções, florestamento etc. Assim sendo, estações que apresentassem problemas dessa natureza seriam descartadas.

Além disso, Riera observa que a distribuição de Frechet se ajusta bem à série mista para períodos de recorrência R menores que 10 anos, havendo gradativa dispersão para valores maiores de R . Para um período de recorrência $R = 50$ anos, a velocidade é sub-estimada, sendo o erro de ordem de 15%. Observa-se que o erro aumenta para períodos maiores. Na prática, porém, para projetos estruturais, são geralmente utilizados períodos de recorrência iguais a 50 anos, de maneira que o erro não é considerável. Entretanto, essa sub-estimação ou erro por defeito é compensada parcialmente por outros erros, por excesso, tal como o devido à heterogeneidade da rugosidade da superfície.

Segundo Vieira Filho (1975e, p. 29), obtém-se da função de distribuição de Frechet, explicitada para v , num período de recorrência R , a equação abaixo:

$$V(R) = \frac{\beta}{[-\ln(Fv(R))^{1/\gamma}]} \quad (07)$$

Onde $V(R)$ é a velocidade com a probabilidade de ser excedida uma vez em R anos. Então $Fv(R)$ é a função de distribuição para um período de recorrência R igual a:

$$Fv(R) = 1 - \frac{1}{R} \quad (08)$$

Portanto, a expressão que torna possível determinar ou prever a velocidade para qualquer período de recorrência, elemento importante para a Engenharia Estrutural, será dada por:

$$V(R) = \frac{\beta}{\left[-\ln\left(1 - \frac{1}{R}\right) \right]^{\gamma}} \quad (09)$$

Tanto Vieira Filho (1975f)² como Padaratz (1977m)³ consideraram um período de recorrência igual a cinqüenta anos ($R = 50$ anos), nas pesquisas que serviram de base para a elaboração das recomendações do projeto da antiga norma NB-5, que resultou na NB-599, antecessora da NBR.6123.

De qualquer modo, a definição do tempo desse “período de recorrência”, para os casos de interesse direcionados aos projetos de estruturas de concreto, deve obedecer especialmente às determinações dos itens 6.2.1 e 6.2.2 do parágrafo 6.2, artigo 6 da ABNT NBR. 6118:2003.

6.2 - Vida útil de projeto

6.2.1 - Por vida útil de projeto, entende-se o período de tempo durante o qual se mantêm as características das estruturas de concreto, desde que atendidos os requisitos de uso e manutenção prescritos pelo projetista e pelo construtor, conforme 7.8 e 25.4, bem como de execução dos reparos necessários decorrentes de danos acidentais.

6.2.2 - O conceito de vida útil aplica-se à estrutura como um todo ou às suas partes. Dessa forma, determinadas partes das estruturas podem merecer consideração especial com valor de vida útil diferente do todo.

Já de acordo com Padaratz (1977n, p. 24), os valores dos estimadores de γ devem ser corrigidos por se apresentarem fortemente tendenciosos. A correção pode ser feita multiplicando-os por um coeficiente que é função do número de registros existentes. Foram utilizados os valores de $B(n)$ citados por Riera; Viollaz e Reimundin (1977a, p. 277) e apresentados na quadro 1.

² “Velocidade Máxima do Vento no Brasil”

³ “Velocidade Básica do Vento no Brasil”

n	5	6	7	8	9	10	11	12
$B(n)$	0,669	0,752	0,792	0,820	0,842	0,859	0,872	0,883
n	13	14	15	16	17	18	19	20
$B(n)$	0,893	0,901	0,908	0,914	0,918	0,923	0,927	0,931
n	21	22	23	24	25	26	27	28
$B(n)$	0,934	0,937	0,940	0,943	0,945	0,947	0,949	0,951
n	29	30						
$B(n)$	0,953	0,955						

Quadro 1 – Valores do fator de correção $B(n)$

Fonte: Riera; Viollaz; Reimundin (1977)

Devido à necessidade de se utilizarem dados de várias estações, cada uma contribuindo com uma série de registros de ventos máximos e, consequentemente, com um fator de forma γ (estimado por $\hat{\gamma}$, corrigido pelo fator $B(n)$ e representado por $\hat{\beta}$), torna-se pouco recomendável o emprego dos valores individuais $\hat{\beta}$ no cálculo das velocidades básicas de referência. Portanto, usa-se um fator de forma comum (único) para todo o território nacional (PADARATZ, 1977o, p. 65).

No ajuste das séries de ventos máximos anuais correspondentes a cada estação, além do emprego da distribuição de Frechet com parâmetros estimados pelo método de “Máxima Verossimilhança”, foi usada também a distribuição de Gumbel com o ajuste da reta resultante mediante “Mínimos Quadrados”. A comparação dos resultados permitiu detectar algumas anomalias nas séries originais. Os resultados finais, - velocidade básica - porém, estão baseados nos estimadores dos parâmetros γ e β obtidos mediante a Máxima Verossimilhança (PADARATZ, 1977p, p. 23).

Riera; Padaratz (1977c, p. 20) afirma que, uma vez adotado um fator de forma único, e com o auxílio dos estimadores das velocidades características $\hat{\beta}_i$, pode-se construir o “gráfico das isopletas correspondentes às velocidades básicas do vento” (indicadas na figura 3) para um período de recorrência, que, de acordo com a NBR.6123, é $R=50$ anos e a

velocidade representada por V_o , que serão empregados para a avaliação das velocidades de projeto.

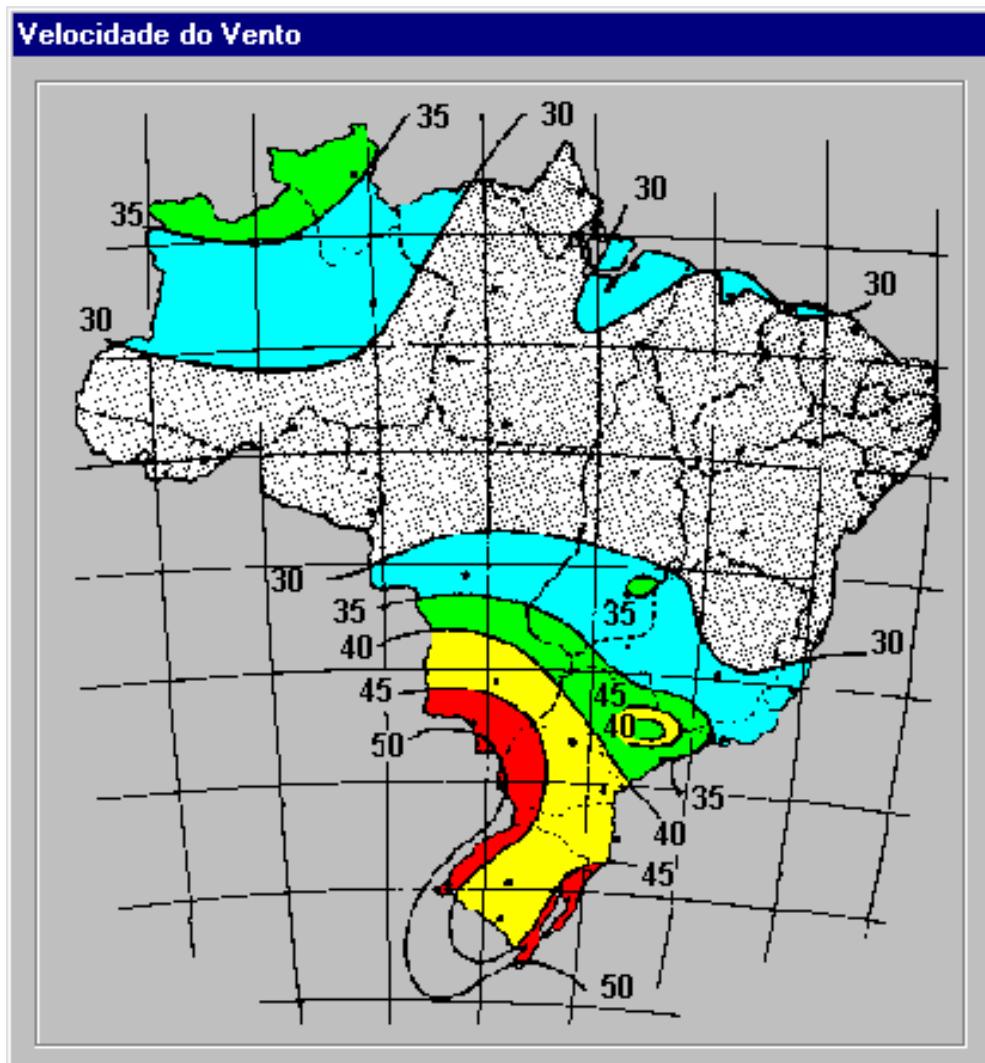


Figura 3 - Isópletas da velocidade básica V_o (m/s).

Fonte: Programa AltoQi

Essas velocidades são correspondentes ao tipo de exposição com terreno aberto e plano, à altura de referência $Z_o = 10m$. Para outros tipos de exposição ou outras alturas sobre o terreno, a velocidade básica deve ser afetada por fatores de correção.

A possibilidade de ocorrência de acidente com prejuízos materiais e de vidas humanas, devido à interpretação inadequada dos esforços provocados pela ação do vento nas

estruturas, agravada pelo alto grau de incerteza envolvido na quantificação desse fenômeno climatológico, bem justifica o complexo tratamento estatístico aplicado.

A ação do vento pode causar muitos estragos para a cidade, com danos irreparáveis para seus moradores. Ventos fortes podem danificar redes de energia elétrica, interromper o trânsito nas pontes, fechar aeroportos e provocar queda de estruturas mal projetadas.

Nas estruturas de edifícios altos e esbeltos, a ação do vento pode favorecer o aparecimento de deslocamentos horizontais significativos e, em consequência, momentos fletores de segunda ordem. Dessa maneira, as edificações devem ser suficientemente rígidas para resistir aos esforços atuantes, oriundos de análise da estabilidade local, e também garantir a estabilidade global da estrutura.

Blessmann (1988a, p. 13-14) assevera que a primeira pergunta que surge, ao se procurar determinar a ação do vento sobre uma edificação, é: Qual a máxima velocidade do vento que solicitará a edificação durante sua vida útil? A resposta tem um alto grau de incerteza, por se tratar de uma questão aleatória e, às vezes, por deficiência dos dados meteorológicos disponíveis.

São vários os fatores que influem na escolha da velocidade do vento a considerar no projeto estrutural ou na determinação das condições de conforto do usuário e transeuntes, a saber:

- Vida útil da estrutura;
- Duração das rajadas;
- Variação da velocidade média do vento com a altura;
- Topografia local;
- Risco de vida e danos materiais.

As influências dos dois primeiros fatores já foram incluídas nas definições utilizadas para a determinação do vento básico V_o . Os demais serão levados em conta na quantificação dos esforços do vento sobre as estruturas, através dos fatores S_1 , S_2 e S_3 , recomendados pela norma brasileira pertinente.

Ainda de acordo com Blessmann (1988b, p. 47):

- Para efeitos estáticos, a velocidade de referência da norma brasileira NBR. 6123 é a velocidade básica, V_o :
- Para efeitos dinâmicos, essa norma toma como velocidade de referência a velocidade correspondente a um intervalo de tempo de dez minutos.

Do Anexo B constam trechos das normas NBR 6118 e NBR 6123 da ABNT, de maior relevância na discussão levada a efeito no decorrer do trabalho.

5 METODOLOGIA

Este trabalho foi desenvolvido em cinco etapas, a saber:

Etapa 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 3 seg. em Km/h”, e dos gráficos “freqüência x velocidades máximas anuais”, utilizando o *software* – EXCEL.

Etapa 03 – Tratamento estatístico usando-se software, especialmente desenvolvido com a finalidade de processar e calcular os estimadores dos parâmetros de forma (γ) e de escala (β) 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_o em cada estação meteorológica considerada.

Etapa 04 – Aplicação do valor determinado nesta pesquisa e do definido pela NBR. 6123 para o V_o 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.

6 UNIVERSO DE ANÁLISE

6.1 DELIMITAÇÃO

Situada 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 (cuja capital é João Pessoa) possui uma dimensão linear de 253 km no sentido 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 a Paraíba não esteja incluída entre os maiores estados da federação, detém, em termos de paisagem natural, grande diversidade geográfica: 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.

A sua proximidade do Equador faz com que os efeitos da inclinação do eixo da Terra praticamente não se deixem sentir, impedindo-lhe de viver variações significativas de tempo ao longo do ano. Assim sendo, permanece sempre dentro da faixa correspondente aos ventos alísios de Sudeste, os quais, integrando o sistema de circulação atmosférica global, sopram, caracteristicamente, nos meses menos quentes com maior freqüência e velocidade e que, somente com a chegada dos meses mais quentes, têm sua freqüência alterada através dos ventos de Leste e de Nordeste, vindo das áreas equatoriais na corrente de deslocamento, em direção Sul da Zona de Convergência Tropical Interna. (SILVA 1999d, p. 29).

Sobre a superfície desse estado, encontram-se distribuídas sete Estações Meteorológicas que, por estarem situadas em cidades pertencentes a regiões de climas, relevos e altitudes diferentes, propiciaram registros de velocidades dos ventos, cuja avaliação resultou em importantes conclusões.

Por motivos operacionais e vivenciais, este trabalho limitou-se ao estado da Paraíba.

6.2 AS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS E OS REGISTROS DE VELOCIDADE DO VENTO NA PARAÍBA

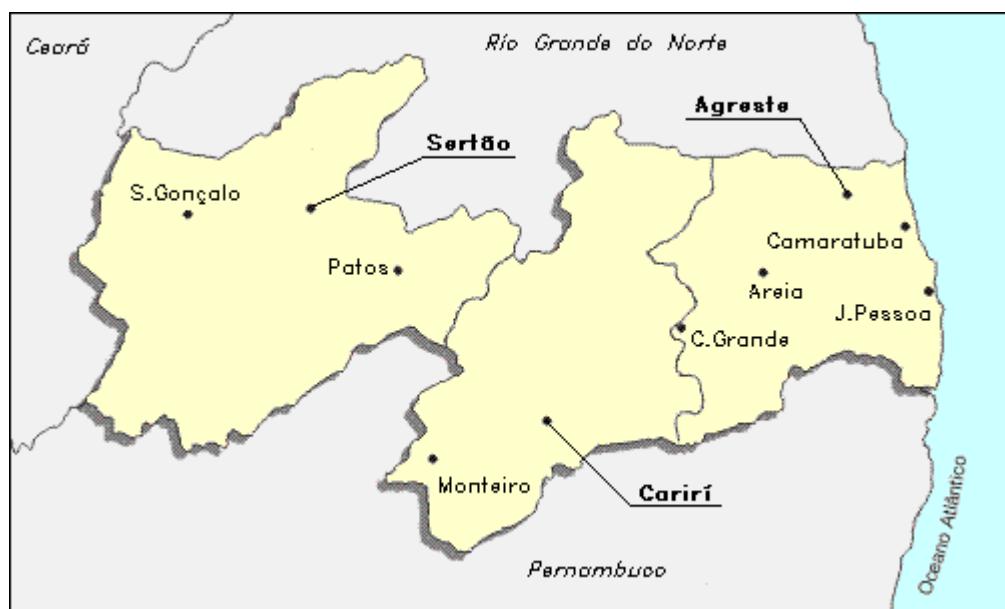


Figura 4 – Localização das estações meteorológicas da Paraíba
Fonte: INMET

As estações meteorológicas estão distribuídas nas três regiões climáticas indicadas no mapa da Figura 4: quatro no Agreste/Litoral, uma no Cariri/Curimataú, e as duas restantes no Sertão.

Todas essas estações estão sob a responsabilidade do INMET – 3º Distrito, órgão do governo federal que, através de parcerias com a coordenação do programa de pós-graduação do curso de Engenharia Urbana do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, cedeu todas as informações necessárias à realização deste trabalho.

Os dados coletados incluem, além de medições de temperatura e umidade do ar, direção e velocidade do vento, organizados nos chamados “Mapas de Observações Meteorológicas”. (Ilustrações no Anexo D2).

6.3 CARACTERIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES CONSIDERADAS

ESTAÇÃO N° 1 - JOÃO PESSOA

De acordo com a ficha de inspeção nº 002/02 do INMET- 3º Distrito, a estação é registrada sob o nº 82798, localizada na BR 230 Km 14, Estrada João Pessoa – Cabedelo, no município de João Pessoa, região do litoral paraibano, e se encontra na latitude 07°06'S N/S, longitude 34°52'W com 7 metros de altitude. A data da sua instalação é 01/01/1912, tendo sido reinstalada em 04/1962. Entre outros equipamentos, destacam-se os referentes à medição de velocidade do vento, como: o Anemômetro Totalizador – Belfort, instalado em 01/01/1976, e o Anemógrafo Mecânico Universal – Fuess, em 11/07/1977, à cota altimétrica de 10 metros, sendo realizadas observações nos horários de 12h, 18h, e 24h, UTC, (correspondendo a 9, 15, e 21 hs).

Através da Carta de Determinação da Visibilidade Horizontal de nº 82798, verificou-se que não existiam obstáculos próximos a interferir nos resultados das medições até 25/07/2000. É importante ressaltar que, nessa estação, foram colhidos, através dos “mapas de observações”, todos os registros de velocidade do vento, em m/s, medidos sobre uma base de tempo de 3 segundos, referente ao período de 1971 a 2000, correspondendo a um total aproximado de 3 (medições) x 30 (dias do mês) x 12 (meses do ano) x 30 (anos de medições) igual a 32.400 registros.

ESTAÇÃO N° 2 – CAMPINA GRANDE

De acordo com a ficha de inspeção nº 001/02 do INMET – 3º Distrito, a estação é registrada sob o nº 82795, localizada na Rua Osvaldo Cruz 1143 – EMBRAPA (Centenário), no município de Campina Grande, região do agreste Paraibano; encontra-se na latitude 07°13'S N/S, longitude 35°53' W a 547 metros de altitude. A data da sua instalação é 01/01/1911. Entre outros equipamentos, destacam-se os referentes à medição de velocidade do vento, como: Anemógrafo Mecânico Universal – Fuess, instalado em 19/06/1976, a 10 metros do nível do solo sendo realizadas observações correspondentes aos horários de 12h, 18h, e 24h. (UTC).

Através da Carta de Determinação da Visibilidade Horizontal de nº 82795, verificou-se que não existiam obstáculos próximos a interferir nos resultados das medições até 27/07/2000. É importante ressaltar que, nessa estação, foram colhidos, através dos “mapas de observações”, todos os registros de velocidade do vento em m/s, medidos sobre uma base de tempo de 3 segundos, referentes ao período de 1971 a 2000, correspondendo a um total aproximado de 3 x 30 x 12 x 30 igual a 32.400 registros.

ESTAÇÃO N° 3 - AREIA

De acordo com a ficha de inspeção nº 008/02 do INMET- 3º Distrito, a estação é registrada sob o nº 82696, localizada no Campus da UFPB - Campus III – Areia, no município de Areia, região do agreste Paraibano; encontra-se na latitude 06°58' N/S, longitude 34°41'W, a 574 metros de altitude; a data da sua instalação é de 01/01/1929, e a reinstalação, de 19/02/1992. Entre outros equipamentos, destacam-se os referentes à medição de velocidade do vento, como: Anemógrafo Mecânico Universal – Fuess, instalado em 19/02/1992, a 10 metros do nível do solo sendo realizadas observações correspondentes aos horários de 12h, 18h, e 24h. (UTC).

Através da Carta de Determinação da Visibilidade Horizontal de nº 82696, verificou-se que não existiam obstáculos próximos a interferir nos resultados das medições até 28/07/2000. É importante ressaltar que, nessa estação, foram colhidos, através dos “mapas de observações”, todos os registros de velocidade do vento em m/s, medidos sobre uma base de tempo de 3 segundos, referentes ao período de 1971 a 2000, correspondendo a um total aproximado de 3 x 30 x 12 x 26 igual a 28.080 registros.

ESTAÇÃO Nº 4 - PATOS

De acordo com a ficha de inspeção nº 013/02 do INMET- 3º Distrito, a estação é registrada sob o nº 82791, localizada na Rua Manoel Reinaldo S/N - Jatobá, no município de Patos, região do sertão Paraibano, e encontra-se na latitude 07°01' N/S, longitude 37°16'W, a 249 metros de altitude. A data da sua instalação é de 17/10/1975. Entre outros equipamentos, destacam-se os referentes à medição de velocidade do vento, como: o Anemômetro Totalizador – Belfort, instalado em 10/06/1992, e o Anemógrafo Mecânico Universal – Fuess, em 17/07/1975, a 10 metros, do nível do solo sendo realizadas observações correspondentes aos horários de 12h, 18h, e 24h. (UTC).

Através da Carta de Determinação da Visibilidade Horizontal de nº 82791, verificou-se que não existiam obstáculos próximos a interferir nos resultados das medições até 30/07/2000. Nessa estação, foram colhidos, através dos “mapas de observações”, todos os registros de velocidade do vento em m/s, medidos sobre uma base de tempo de 3 segundos, referentes ao período de 1971 a 2000, correspondendo a um total aproximado de 3 x 30 x 12 x 26 igual a 28.080 registros.

ESTAÇÃO Nº 5 - SÃO GONÇALO

Na ficha de inspeção nº 012/02 do INMET- 3º Distrito, a estação é registrada sob o nº 82689, localizada no Campus Experimental do DNOCS (Estação Meteorológica), no município de São Gonçalo, região do sertão Paraibano, e encontra-se na latitude 06°45' N/S, longitude 38°13'W, a 233 metros de altitude; foi instalada em 08/10/1938. Entre outros equipamentos, destacam-se os referentes à medição de velocidade do vento, como: Anemógrafo Mecânico Universal – Fuess, instalado em 01/11/1972, a 10 metros do nível do solo, sendo realizadas observações correspondentes aos horários de 12h, 18h, e 24h. (UTC).

Através da Carta de Determinação da Visibilidade Horizontal de nº 82689, verificou-se que não existiam obstáculos próximos a interferir nos resultados das medições até 01/08/2000. Nessa estação, foram colhidos, através dos “mapas de observações”, todos os registros de velocidade do vento em m/s, medidos sobre uma base de tempo de 3 segundos, referentes ao período de 1971 a 2000, correspondendo a um total aproximado de 3 x 30 x 12 x 30 igual a 32.400 registros.

ESTAÇÃO Nº 6 - MONTEIRO

Na ficha de inspeção nº 015/02 do INMET- 3º Distrito, consta que a estação é registrada sob o nº 82792, localizada na Rua Paulo Nunes Souza S/N, no município de Monteiro, região do cariri Paraibano, com latitude 07°53' N/S e longitude 37°04'W, a 603 metros de altitude, tendo sido instalada em 14/01/1940. Entre outros equipamentos, destacam-se os referentes à medição de velocidade do vento: o Anemômetro Totalizador – IH, instalado em 07/10/1972, e o Anemógrafo Mecânico Universal – Fuess, em 07/12/1972, a 10 metros do nível do solo, sendo realizadas observações correspondentes aos horários de 12h, 18h, e 24h. (UTC).

A Carta de Determinação da Visibilidade Horizontal de nº 82792 mostrou que não existiam obstáculos próximos a interferir nos resultados das medições até 04/08/2000, tendo sido colhidos, através dos “mapas de observações”, todos os registros de velocidade do vento em m/s, medidos sobre uma base de tempo de 3 segundos, referentes ao período de 1971 a 2000, o que corresponde a um total aproximado de 3 x 30 x 12 x 29 igual a 31.320 registros.

ESTAÇÃO Nº 7 - CAMARATUBA

A ficha de inspeção nº 020/03 do INMET- 3º Distrito demonstra que a estação é registrada sob o nº 82695, localizada na ESPLAN – BR 101 Norte, Km 7, no município de Mataraca, região do litoral Paraibano e encontra-se na latitude 06°33' N/S e longitude 35°08'W, a 136 metros de altitude; sua instalação data de 16/11/1998, e as observações correspondentes aos horários de 12h, 18h, e 24h. (UTC).

Através da Carta de Determinação da Visibilidade Horizontal de nº 82695, verificou-se que não haviam obstáculos próximos a interferir nos resultados das medições até 07/06/2001. Os dados sobre a velocidade dos ventos fornecidos por essa estação foram, de acordo com recomendações de Riera; Padaratz (1977d, p.14), desprezados devido ao curto espaço de tempo do seu funcionamento, de 1999 a 2000.

No quadro 2, estão condensadas as informações sobre coordenadas geográficas, altitude e o horário de funcionamento das estações da Paraíba.

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
7	Camaratuba	06°33' N/S	35°08' W	136	H24

Quadro 2 – Localização e altitude das estações do estado da Paraíba

Fonte: INMET

Do acima exposto, destacam-se as datas de instalação de equipamentos de maior precisão para a medição de velocidade do vento - como por exemplo, o Anemógrafo Universal (Fuess) - instalado em São Gonçalo e Monteiro a partir do ano de 1972, nas estações de Patos, Campina Grande e João Pessoa, nos anos seguintes, respectivamente, 1975, 1976 e 1977. Esse tipo de equipamento registra 24 horas por dia, de forma contínua, a velocidade de vento instantânea, ou seja, a velocidade média (em m/s) em intervalos de tempo de 3 segundos, dos ventos captados em uma altura de 10 metros sobre o nível de um terreno plano e aberto. Isso demonstra que, dentro do intervalo de tempo da série de velocidade do vento pesquisado na Paraíba, 1971 – 2000, a maior parte dos registros foi obtida através de instrumentos de alta precisão.

Os equipamentos de medição das estações são inspecionados periodicamente para possibilitar a correção de problemas que porventura apareçam, objetivando minimizar erros de gravação dos dados por falhas técnicas, decorrentes do mau funcionamento dos anemômetros e da interrupção do uso do aparelho para manutenção.

Outros cuidados são tomados ainda para evitar erros de medição devidos às mudanças de localização dos aparelhos dentro da mesma estação e as mudanças no tipo de exposição devido ao desenvolvimento urbano, com surgimento de novos obstáculos, conforme descrito na “carta de determinação da visibilidade horizontal” de cada estação.

Evitar esses problemas se faz necessário, pois eles podem ocasionar anomalias nas séries artificiais de registros das velocidades do vento, tais como:

- Registros anteriores a um determinado ano sistematicamente inferiores aos demais;
- Tendência contínua apresentada nos valores dos registros;
- Registros interrompidos durante alguns anos.

Os “Mapas de Observações Meteorológicas” são montados por estações, um para cada mês do ano, o que corresponde a 12 mapas por ano/estação, sendo realizadas três leituras de medições de velocidade do vento ao dia (12h, 18h, e 24h). Então, no intervalo de um mês, obtém-se, em média, 90 (3 leituras x 30 dias) registros.

No caso da Paraíba, para as seis estações (excluída a de Camaratuba), foram gerados, nos trinta anos relativos ao período de 1971 a 2000, um total de 2.160 (6 x 12 x 30) mapas, perfazendo, assim, aproximadamente 194.400 registros.

7 SISTEMATIZAÇÃO E TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS REGISTROS COLETADOS DE VELOCIDADE DO VENTO NA PARAÍBA

7.1 SISTEMATIZAÇÃO DOS REGISTROS DE VELOCIDADE DO VENTO

Os 194.400 registros, foram digitados em 513 planilhas através do “EXCEL”, 90 deles com dados da estação de João Pessoa, 90 com dados da estação de Campina Grande, 78, de Areia, 78, de Patos, 90, de São Gonçalo e, com os dados da estação de Monteiro, 87.

Cada uma das planilhas contém registros de velocidade de uma mesma estação, num mesmo horário de medição (12h, 18h ou 24h), para o período de um ano.

A partir desse conjunto, seis tabelas foram elaboradas, uma para cada estação, constando, para cada ano, os valores das velocidades máximas medidas nos horários mencionados, destacando-se, na última coluna de cada linha, a máxima velocidade anual. São os quadros de nºs 3, 4, 5, 6, 7 e 8.

ESTAÇÃO – JOÃO PESSOA				
ANOS	VELOCIDADES MÁXIMAS MEDIDAS EM M/S			MAX. ANUAL
	12 H	18 H	24 H	
1971	7,0	7,0	7,0	7,0
1972	9,0	7,0	5,0	9,0
1973	7,0	7,0	5,0	7,0
1974	8,1	7,1	7,0	8,1
1975	7,0	7,0	5,0	7,0
1976	9,0	12,0	7,0	12,0
1977	9,0	7,3	9,0	9,0
1978	7,1	7,0	9,0	9,0
1979	11	15,0	8,3	15,0
1980	7,5	7,5	6,6	7,5
1981	8,3	8,3	6,6	8,3
1982	8,3	6,6	5,8	8,3
1983	7,5	6,6	6,6	7,5
1984	9,1	9,0	8,8	9,1
1985	5,8	6,6	5,5	6,6
1986	5,8	6,6	5,0	6,6
1987	5,0	5,8	5,0	5,8
1988	5,8	6,6	7,8	7,8
1989	5,0	6,6	5,0	6,6
1990	6,6	6,6	7,1	7,1
1991	6,1	7,5	5,8	7,5
1992	6,6	7,8	6,3	7,8
1993	5,8	8,6	5,5	8,6
1994	7,1	7,5	5,0	7,5
1995	6,6	5,8	5,0	6,6
1996	5,0	9,1	5,3	9,1
1997	5,8	6,6	6,6	6,6
1998	5,8	7,6	5,0	7,6
1999	6,0	6,3	5,0	6,3
2000	6,3	6,6	6,6	6,6

Quadro 3 - Velocidade máxima anual da estação de João Pessoa

Fonte: Dados da pesquisa

ANOS	VELOCIDADES MÁXIMAS MEDIDAS EM M/S			MAX. ANUAL
	12 H	18 H	24 H	
1971	12,0	12,0	12,0	12,0
1972	6,7	6,7	6,7	6,7
1973	6,7	9,3	4,4	9,3
1974	6,7	4,4	10,9	10,9
1975	4,4	9,4	4,4	9,4
1976	8,1	12,3	7,3	12,3
1977	9,5	8,3	9,0	9,5
1978	8,0	7,6	7,1	8,0
1979	8,0	9,6	7,3	9,6
1980	7,5	8,3	9,3	9,3
1981	9,3	8,1	7,8	9,3
1982	8,3	8,8	7,5	8,8
1983	8,0	8,0	8,1	8,1
1984	8,0	8,1	7,5	8,1
1985	9,8	8,3	7,0	9,8
1986	8,1	8,0	8,1	8,1
1987	7,6	8,0	8,0	8,0
1988	7,5	7,8	6,6	7,8
1989	8,1	9,0	7,8	9,0
1990	8,3	9,8	8,1	9,8
1991	8,1	9,0	6,6	9,0
1992	7,8	7,8	6,5	7,8
1993	7,1	8,3	7,6	8,3
1994	6,6	8,3	8,2	8,3
1995	6,6	7,8	6,3	7,8
1996	7,0	7,6	7,7	7,7
1997	6,3	6,5	6,3	6,5
1998	7,0	7,8	7,1	7,8
1999	7,5	7,6	7,8	7,8
2000	6,5	8,0	6,1	8,0

Quadro 4 - Velocidade máxima anual da estação de Campina Grande

Fonte: Dados da pesquisa

ANOS	VELOCIDADES MÁXIMAS MEDIDAS EM M/S			MAX. ANUAL
	12 H	18 H	24 H	
1971	8,0	11,0	7,5	11,0
1972	8,0	9,0	7,0	9,0
1973	6,5	10,5	6,5	10,5
1974	9,0	9,0	8,0	9,0
1975	8,5	9,0	7,0	9,0
1976	8,0	9,0	7,5	9,0
1977	8,5	9,0	6,0	9,0
1978	8,0	10,0	7,0	10,0
1979	15,0	15,0	10,0	15,0
1980	10,0	10,0	8,0	10,0
1981	11,0	10,0	10,0	11,0
1982	9,0	10,0	10,0	10,0
1983	10,0	10,0	10,0	10,0
1984	11,0	9,0	10,0	11,0
1985	10,0	10,0	10,0	10,0
1986	11,0	11,0	9,0	11,0
1987	10,0	10,0	8,0	10,0
1988	11,0	9,0	8,0	11,0
1989	-	-	-	-
1990	-	-	-	-
1991	-	-	-	-
1992	-	-	-	-
1993	7,5	6,6	6,0	7,5
1994	7,0	7,0	6,0	7,0
1995	7,5	9,3	6,6	9,3
1996	8,6	6,8	7,8	8,6
1997	9,6	9,3	9,6	9,6
1998	8,3	9,1	8,3	9,1
1999	10,0	9,1	7,5	10,0
2000	8,3	8,3	8,3	8,3

Quadro 5 - Velocidade máxima anual da estação de Areia

Fonte: Dados da pesquisa

ANOS	VELOCIDADES MÁXIMAS MEDIDAS EM M/S			MAX. ANUAL
	12 H	18 H	24 H	
	-	-	-	-
1971	-	-	-	-
1972	-	-	-	-
1973	-	-	-	-
1974	-	-	-	-
1975	10,0	9,1	9,6	10,0
1976	10,3	7,6	10,1	10,3
1977	9,1	10,5	10,3	10,5
1978	10,5	11,6	10,6	11,6
1979	9,3	8,1	9,1	9,3
1980	10,0	11,8	10,5	11,8
1981	9,6	8,3	10,0	10,0
1982	9,0	9,5	9,8	9,8
1983	8,1	8,3	10,5	10,5
1984	9,3	9,3	10,0	10,0
1985	8,3	9,1	10,0	10,0
1986	7,6	9,5	9,6	9,6
1987	8,0	8,3	10,3	10,3
1988	7,8	8,8	9,5	9,5
1989	8,3	11,6	8,3	11,6
1990	8,8	9,1	11,1	11,1
1991	8,1	7,6	10,1	10,1
1992	9,5	9,3	10,5	10,5
1993	9,8	9,0	11,3	11,3
1994	9,1	8,5	10,3	10,3
1995	7,5	7,6	9,1	9,1
1996	10,5	9,8	9,8	10,5
1997	9,0	9,1	9,8	9,8
1998	15,3	8,3	11,5	15,3
1999	8,0	8,0	8,5	8,5
2000	8,5	7,8	7,8	8,5

Quadro 6 - Velocidade máxima anual da estação de Patos

Fonte: Dados da pesquisa

ESTAÇÃO - MONTEIRO				
ANOS	VELOCIDADES MÁXIMAS MEDIDAS EM M/S			MAX. ANUAL
	12 H	18 H	24 H	
1971	12	17	17,0	17,0
1972	12	12	12,0	12,0
1973	7,0	7,0	7,0	7,0
1974	9,0	10,0	10,0	10,0
1975	9,0	9,0	7,0	9,0
1976	7,0	16,0	7,0	16,0
1977	8,3	7,0	9,1	9,1
1978	7,8	8,3	8,3	8,3
1979	7,1	8,8	8,0	8,8
1980	6,6	8,3	7,6	8,3
1981	7,5	8,3	8,0	8,3
1982	6,6	7,0	7,5	7,5
1983	7,6	7,3	8,3	8,3
1984	6,8	6,5	8,3	8,3
1985	8,1	8,1	8,0	8,1
1986	6,6	6,6	6,8	6,8
1987	6,6	6,6	7,3	7,3
1988	4,0	5,3	3,5	5,3
1989	5,0	5,0	6,6	6,6
1990	-	-	-	-
1991	6,3	5,6	8,0	8,0
1992	7,6	6,3	9,3	9,3
1993	8,0	7,3	8,0	8,0
1994	6,1	8,3	8,1	8,3
1995	5,8	6,3	7,3	7,3
1996	5,8	6,3	7,3	7,3
1997	6,6	5,0	8,0	8,0
1998	7,6	5,0	7,3	7,6
1999	6,6	6,5	8,3	8,3
2000	8,0	6,6	6,6	8,0

Quadro 7 - Velocidade máxima anual da estação de Monteiro

Fonte: Dados da pesquisa

ANOS	VELOCIDADES MÁXIMAS MEDIDAS EM M/S			MAX. ANUAL
	12 H	18 H	24 H	
1971	8,1	7,2	8,1	8,1
1972	7,2	7,2	7,6	7,6
1973	7,1	6,3	7,0	7,1
1974	6,6	7,1	8,3	8,3
1975	6,3	6,6	9,0	9,0
1976	6,6	7,5	8,6	8,6
1977	7,1	6,0	9,1	9,1
1978	9,6	6,6	8,3	9,6
1979	7,1	6,6	6,3	7,1
1980	8,0	6,0	7,5	8,0
1981	7,3	6,6	7,3	7,3
1982	6,6	5,8	6,6	6,6
1983	7,0	6,6	8,3	8,3
1984	6,6	6,6	7,5	7,5
1985	6,3	5,0	7,3	7,3
1986	10,0	10,0	6,0	10,0
1987	7,1	5,0	7,5	7,5
1988	6,6	6,5	8,3	8,3
1989	6,6	5,6	7,5	7,5
1990	6,3	7,5	7,6	7,6
1991	6,6	5,8	8,0	8,0
1992	6,8	8,3	7,5	8,3
1993	7,5	6,6	8,3	8,3
1994	5,0	5,1	6,0	6,0
1995	9,0	8,0	7,0	9,0
1996	9,6	7,6	8,3	9,6
1997	9,5	9,0	8,0	9,5
1998	9,6	9,5	6,6	9,6
1999	7,5	9,6	7,6	9,6
2000	6,6	6,6	7,5	7,5

Quadro 8 - Velocidade máxima anual da estação de São Gonçalo

Fonte: Dados da pesquisa

Da última coluna dos seis quadros apresentadas, obteve-se o quadro 9, referente às Séries de Velocidade Máxima Anual, medidas sobre 3 segundos na unidade de m/s, que, no quadro 10, é expressa em Km/h.

Observou-se, nessas séries de velocidade máxima (quadros 9 e 10), que a maior

verificada na Paraíba, durante os 30 anos pesquisados, foi de 17 m/s (61 Km/h), ocorrida na estação de Monteiro em 1971.

ANOS \ ESTAÇÕES	JOÃO PESSOA	CAMPINA GRANDE	AREIA	PATOS	MONTEIRO	SÃO GONÇALO
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

Quadro 9 - Séries de velocidade máxima anual medidas sobre 3 seg. (em m/s) – Paraíba
Fonte: Dados da pesquisa

ESTAÇÕES ANOS \	JOÃO PESSOA	CAMPINA GRANDE	AREIA	PATOS	MONTEIRO	SÃO GONÇALO
1971	25	43	40	-	61	29
1972	32	24	32	-	43	27
1973	25	33	38	-	25	26
1974	29	39	32	-	36	30
1975	25	34	32	36	32	32
1976	43	44	32	37	58	31
1977	32	34	32	38	33	33
1978	32	29	36	42	30	35
1979	54	35	54	34	32	26
1980	27	33	36	42	30	29
1981	30	33	40	36	30	26
1982	30	32	36	35	27	24
1983	27	29	36	38	30	30
1984	33	29	40	36	30	27
1985	24	35	36	36	29	26
1986	24	29	40	35	24	36
1987	21	29	36	37	26	27
1988	27	28	40	34	19	30
1989	24	32	-	42	24	27
1990	26	35	-	40	-	27
1991	27	32	-	36	29	29
1992	28	28	-	38	33	30
1993	31	30	27	41	29	30
1994	27	30	25	37	30	22
1995	24	28	33	33	26	32
1996	33	28	31	38	26	35
1997	24	23	35	35	29	34
1998	27	28	33	55	27	35
1999	23	28	36	31	30	35
2000	24	29	30	31	29	27

Quadro 10 – Séries de velocidade máxima anual medidas sobre 3 seg. (em Km/h) – Paraíba

Fonte: Dados da pesquisa

As informações constantes do quadro 9 originaram os histogramas de “freqüência de rajadas máximas anuais”, apresentados adiante. Esses histogramas possibilitaram analisar o comportamento da distribuição dos valores dos dados de velocidade máxima, com o objetivo de identificar possíveis anomalias que porventura possam ter ocorrido com as medições desses registros de velocidade.

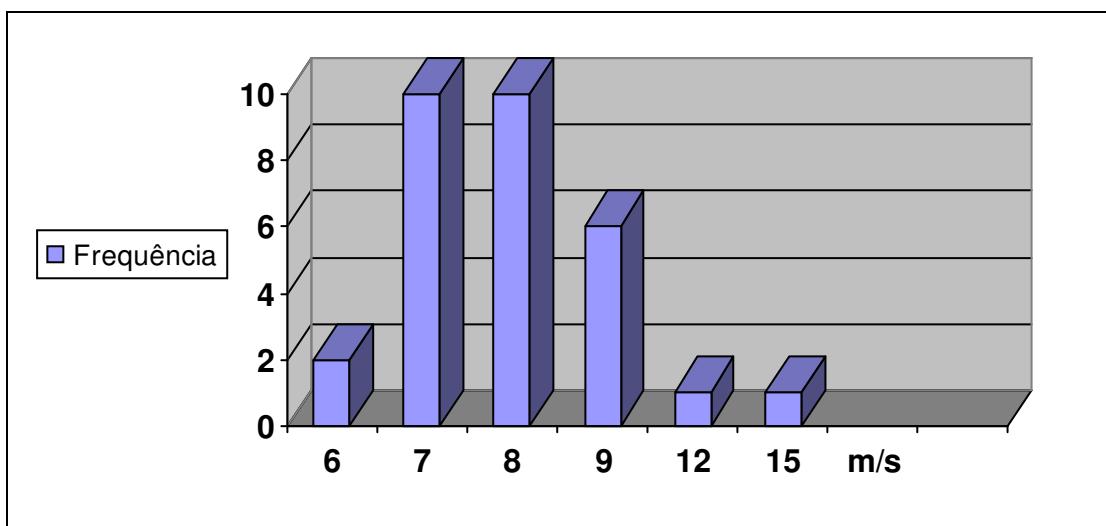


Gráfico 1- Freqüência x rajadas máximas anuais – Estação de João Pessoa

Fonte: Dados da pesquisa

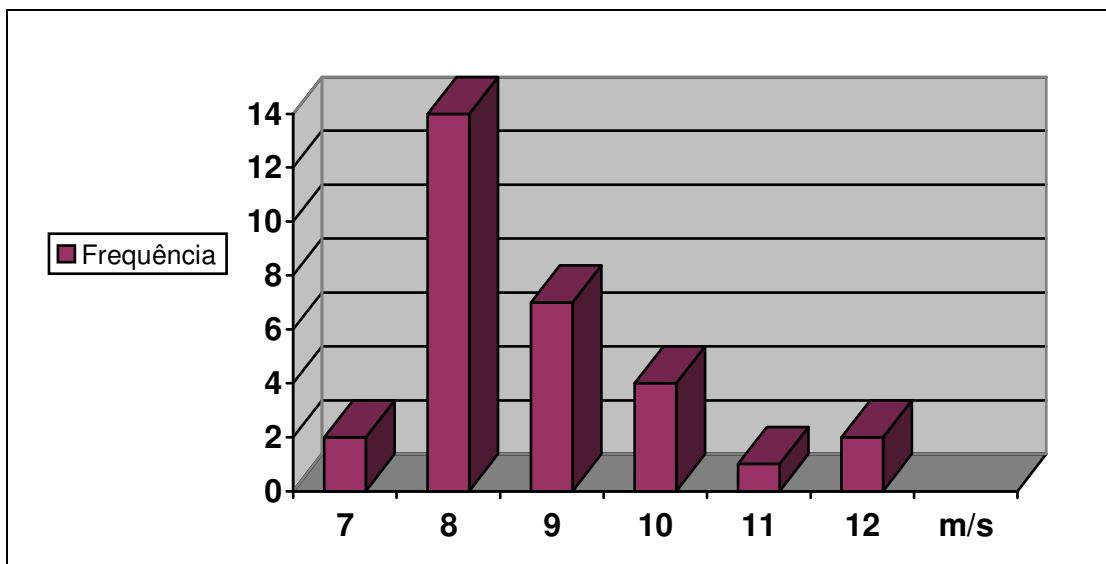


Gráfico 2 - Freqüência x rajadas máximas anuais – Estação de Campina Grande

Fonte: Dados da pesquisa

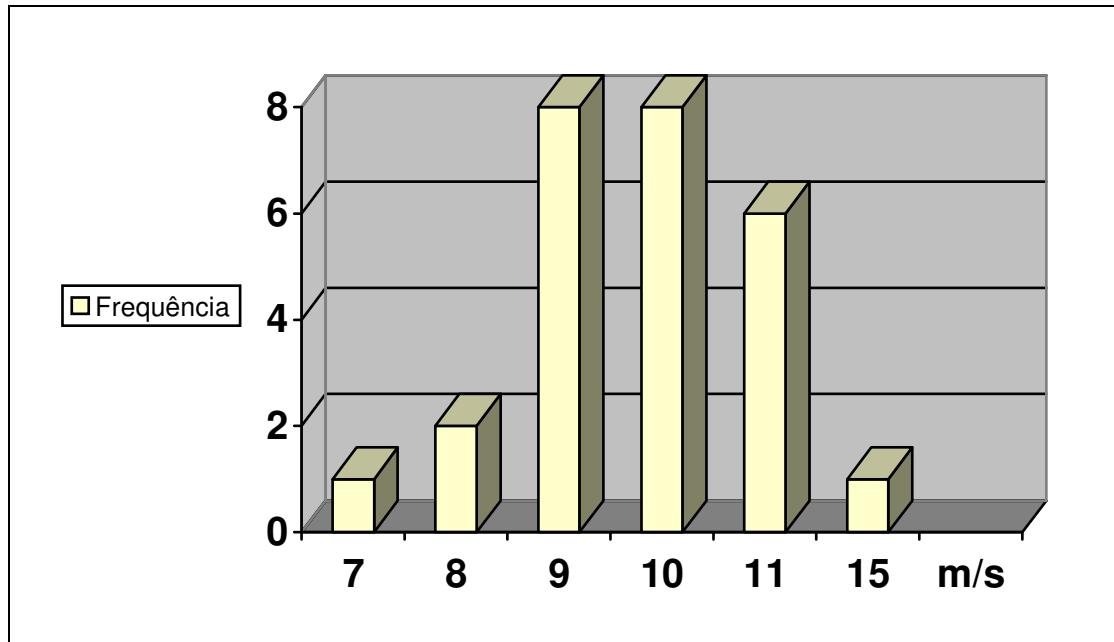


Gráfico 3 - Freqüência x rajadas máximas anuais – Estação de Areia
Fonte: Dados da pesquisa

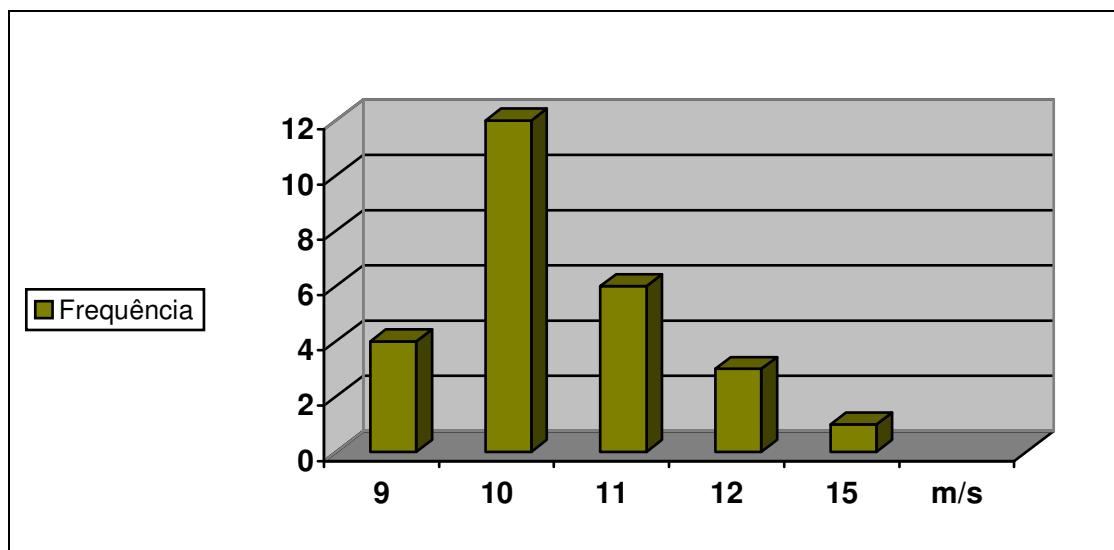


Gráfico 4 - Freqüência x rajadas máximas anuais – Estação de Patos
Fonte: Dados da pesquisa

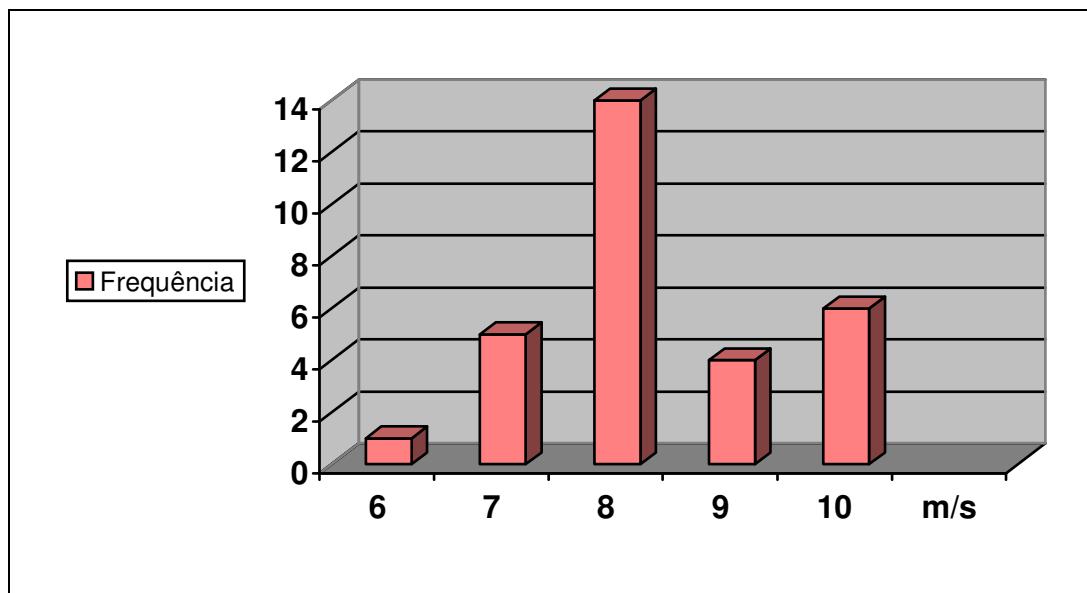


Gráfico 5 -Frequência x rajadas máximas anuais – Estação de São Gonçalo

Fonte: Dados da pesquisa

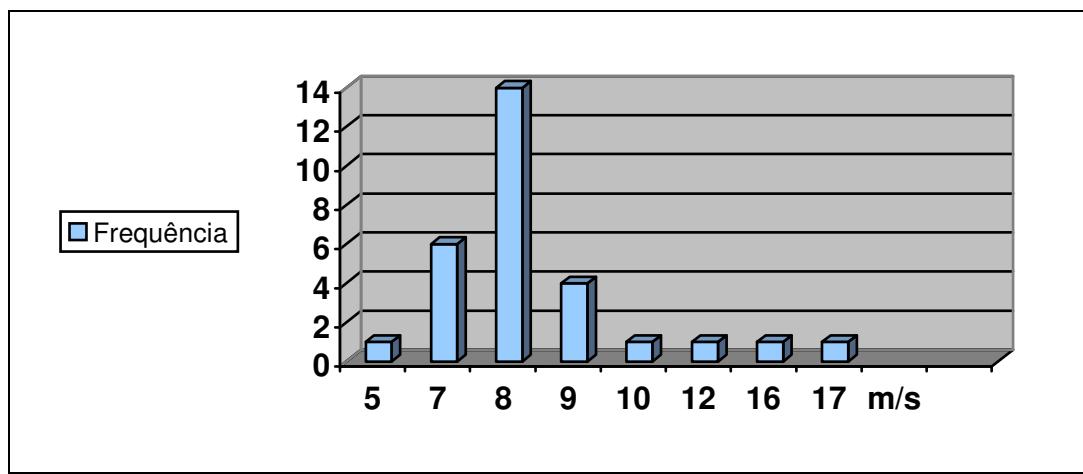


Gráfico 6 - Freqüência x rajadas máximas anuais – Estação de Monteiro

Fonte: Dados da pesquisa

7.2 TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS REGISTROS DE VELOCIDADE DO VENTO COLHIDOS NAS ESTAÇÕES DO ESTADO DA PARAÍBA

O objetivo imediato a ser alcançado neste trabalho, foi a determinação do V_o (vento básico) para o estado da Paraíba, a partir das séries de ventos máximos constantes do quadro 10, cujo valor deve ser comparado com aquele apresentado na NBR.6123. Para tanto, fez-se mister impor às séries paraibanas o mesmo tratamento estatístico aplicado às séries artificiais utilizadas nos cálculos que resultaram no traçado das isopletas do vento básico do território brasileiro.

Considerando a delimitação geográfica da área territorial e a proximidade dos seis valores (um de cada estação) máximos das velocidades registradas, optou-se por adotar para o estado da Paraíba o maior valor de V_o , dentre os seis que foram obtidos com os registros das estações consideradas.

Assim é que, para o ajuste da distribuição de probabilidade dos valores das séries de velocidades máximas do vento de cada estação utilizaram-se a função de distribuição de Frechet e a função distribuição de Gumbel.

Os parâmetros β e γ , respectivamente, fator de escala ou velocidade característica e de forma, foram substituídos por estimadores calculados pelo método da Máxima Verossimilhança para a função de Frechet e pelo método dos Mínimos Quadrados, para a função de Gumbel.

O cálculo desses parâmetros, utilizando-se funções e métodos diferentes, é justificado, principalmente, pela necessidade de identificação das séries que apresentem anomalias ou dispersões nos seus registros. De qualquer modo, foram mais utilizados os estimadores $\hat{\beta}$ e $\hat{\gamma}$ calculados através da função de Frechet.

7.2.1 Os estimadores $\hat{\gamma}$ e $\hat{\beta}$

Com a finalidade de agilizar e conferir maior segurança aos resultados, optou-se por automatizar os cálculos envolvidos nos procedimentos matemáticos. Assim, foi desenvolvido um programa computacional, chamado “Estimativa dos Parâmetros da Distribuição de Frechet e de Gumbel”. Com esse software, calcularam-se estimadores de β e de γ tanto para a Função de Frechet quanto para a de Gumbel, para cada estação meteorológica da Paraíba.

No que diz respeito à Função de Frechet, o referido software foi estruturado a partir das equações abaixo relacionadas:

$$\frac{n}{\hat{\gamma}} + n \frac{\sum_{i=1}^n \left(v_i^{-\hat{\gamma}} \ln v_i \right)}{\sum_{i=1}^n \left(v_i^{-\hat{\gamma}} \right)} - \sum_{i=1}^n \ln v_i = 0 \quad (05)$$

e

$$\hat{\beta} = \left(\frac{\sum_{i=1}^n v_i^{-\hat{\gamma}}}{n} \right)^{-\frac{1}{\hat{\gamma}}} \quad (06)$$

Sendo dados os valores V_i , em ordem crescente, com i pertencente aos naturais, excluído o zero e n representando o número de registros.

De maneira análoga, partindo da Função de Gumbel e utilizando expressões próprias da teoria dos Mínimos Quadrados, abaixo indicadas, foram calculados os estimadores $\hat{\gamma}$ e $\hat{\beta}$ dos seus parâmetros γ e β .

$$F(v) = \exp \left[-\exp \left(-\frac{v - \beta}{\gamma} \right) \right] \quad \text{da qual obtém-se:} \quad (10)$$

$$\frac{v - \beta}{\gamma} = -\ln \left[\ln \left(\frac{1}{F(v)} \right) \right] \quad \text{onde:}$$

$$v = -\gamma \left[\ln \left(\ln \frac{1}{Fv} \right) \right] + \beta$$

Com os coeficientes da reta $Y = Ax + B$ de regressão dados por:

$$A = \frac{N \sum_{i=1}^N (Xi Yi) - \left(\sum_{i=1}^N Xi \right) \left(\sum_{i=1}^N Yi \right)}{N \sum_{i=1}^N (Xi^2) - \left(\sum_{i=1}^N Xi \right)^2} \quad (11)$$

$$B = \frac{\left(\sum_{i=1}^N Yi \right) \left(\sum_{i=1}^N Xi^2 \right) - \left(\sum_{i=1}^N Xi \right) \left(\sum_{i=1}^N Xi \cdot Yi \right)}{N \sum_{i=1}^N (Xi^2) - \left(\sum_{i=1}^N Xi \right)^2} \quad (12)$$

No quadro 11, encontram-se os valores dos estimadores calculados para as Funções de Frechet e de Gumbel, aplicados às séries de cada estação.

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

Quadro 11- Valores dos estimadores $\hat{\gamma}$ e $\hat{\beta}$

Fonte: Dados da pesquisa

Corrigindo o erro por tendência dos resultados obtidos para os estimadores $\hat{\gamma}$, dos parâmetros das funções de Frechet e de Gumbel, utilizaram-se os coeficientes $B(n)$, conforme apresentado nos quadros 12 e 13.

Nº	Estações da Paraíba	Anos de Reg.	$\hat{\gamma}$ - Frechet	$B(N)$	$B(N) \cdot \hat{\gamma} = \hat{\beta}_0$
01	João Pessoa	30	7,5140	0,955	7,175
02	Campina Grande	30	7,6211	0,955	7,278
03	Areia	26	6,9604	0,947	6,591
04	Patos	26	11,1555	0,947	10,564
05	São Gonçalo	30	8,2601	0,955	7,888
06	Monteiro	29	5,3116	0,953	5,061

Quadro 12 - Valores dos estimadores $\hat{\beta}_0$ - Frechet

Fonte: Dados da pesquisa

Nº	Estações da Paraíba	Anos de Reg.	$\hat{\gamma}$ - Gumbel	$B(N)$	$B(N) \cdot \hat{\gamma} = \hat{\beta}_0$
01	João Pessoa	30	6,6337	0,955	6,335
02	Campina Grande	30	8,8212	0,955	8,424
03	Areia	26	8,7246	0,947	8,262
04	Patos	26	11,1434	0,947	10,552
05	São Gonçalo	30	10,5923	0,955	10,115
06	Monteiro	29	5,5353	0,953	5,275

Quadro 13 - Valores dos estimadores $\hat{\beta}_0$ - Gumbel

Fonte: Dados da pesquisa

7.2.2 Variabilidade dos estimadores e fator de forma único

Devido à grande variabilidade do estimador do fator de forma calculado com os registros de cada estação, adotou-se um fator único, representado por $\hat{\beta}_0$ (único), e obtido através da média dos fatores $\hat{\beta}_0 i$ ponderada pela quantidade de registros da estação respectiva.

$$\hat{\beta}_0 \text{ (único)} = \frac{\sum_{i=1}^n \hat{\beta}_0 i \cdot (\text{anos.reg})_i}{\sum_{i=1}^n (\text{anos.reg})_i} = \frac{\sum_{i=1}^{54} \eta_i}{\sum_{i=1}^{54} n_i}, \text{ onde:} \quad (13)$$

$n = 54$, representa a quantidade de estações.

Assim como os $\hat{\beta}_0 i$ foram calculados através de Frechet e de Gumbel, calcularam-se dois valores para o $\hat{\beta}_0$ (único). Um com os $\hat{\beta}_0 i$ obtidos por Frechet, e outro com os valores de $\hat{\beta}_0 i$ por Gumbel. Para fins de cálculo do fator de único, todos esses valores estão indicados nos quadros 14 e 15, não só os correspondentes às séries das 49 estações (do Brasil), citadas pela NBR.6123 e explicitadas no anexo A, como também os correspondentes às seis estações da Paraíba (quadros 12 e 13), perfazendo um total de 56 estações.

Nº	Estações do Brasil	Anos.Reg = n	$\hat{\beta}$ (km/h)	$\hat{\gamma}$	$B(n)$	$\hat{\beta}$	(Anos x $\hat{\beta}$) = η
01	Afonso	15	77,92	4,760	0,908	4,322	64,830
02	Anápolis	2	67,92	10,185	-	-	-
03	Amapá *	24	52,58	5,790	0,943	5,460	131,040
04	Belém *	25	61,58	5,334	0,945	5,041	126,025
05	Belo Horizonte *	25	56,36	6,540	0,945	6,180	154,500
06	Brasília	15	68,31	4,62	0,908	4,195	62,925
07	Bagé *	14	76,86	6,015	0,901	5,420	75,880
08	Boa vista *	9	68,94	9,168	0,842	7,719	69,471
09	Caravelas *	24	51,68	8,991	0,943	8,479	203,496
10	Cachimbo	16	57,62	3,582	0,914	3,274	52,384
11	Cuiabá *	12	62,20	6,720	0,883	5,934	71,208
12	Campinas	25	89,93	5,868	0,945	5,545	138,625
13	Curitiba *	25	79,31	4,935	0,945	4,664	116,600
14	Campo Grande *	25	85,69	5,298	0,945	5,007	125,175
15	Carolina *	8	47,71	11,983	0,820	9,826	78,608
16	Cumbica	25	80,52	5,570	0,945	5,264	131,600
17	Fortaleza *	25	56,11	6,081	0,945	5,747	143,675
18	Florianópolis *	25	85,38	5,990	0,945	5,661	141,525
19	Foz do Iguaçu	21	63,00	4,023	0,934	3,757	78,897
20	F. de Noronha *	24	58,87	8,601	0,943	8,111	194,664
21	Goiânia	22	61,09	5,366	0,937	5,028	110,616
22	Jacareacanga	15	40,33	4,552	0,908	4,133	61,995
23	Londrina	13	69,83	4,037	0,893	3,605	46,865
24	Lapa	8	50,70	6,865	0,820	5,629	45,032
25	Manaus	17	63,37	4,729	0,918	4,341	73,797
26	Maceió *	25	47,96	6,825	0,945	6,451	161,275
27	Natal	25	50,37	10,567	0,945	9,986	249,650
28	Ponta Porã *	18	61,78	9,065	0,923	8,367	150,606
29	Parnaíba	14	61,61	4,332	0,901	3,903	54,642
30	Petrolina	9	40,57	6,519	0,842	5,489	49,401
31	Pirassununga *	15	68,70	5,105	0,908	4,635	69,525
32	Porto Alegre	25	91,10	7,858	0,945	7,426	185,650
33	Porto Nacional	9	47,61	14,343	0,842	12,077	108,693
34	Porto Velho	6	57,72	3,417	0,752	2,570	15,420
35	Recife *	24	54,12	9,367	0,943	8,833	211,992
36	Rio Branco	4	55,23	4,976	-	-	-
37	Rio de Janeiro	25	65,84	4,361	0,945	4,121	103,025
38	Santarém *	21	46,89	5,765	0,934	5,385	113,085
39	São Luiz	25	52,53	5,378	0,945	5,082	127,050
40	Salvador *	25	59,09	7,867	0,945	7,434	185,850
41	Santa Cruz *	20	84,13	5,702	0,931	5,309	106,180
42	São Paulo	20	73,02	5,626	0,931	5,238	104,760
43	Santos	25	62,92	5,276	0,945	4,986	124,650
44	Santa Maria	22	79,91	4,455	0,937	4,174	91,828
45	Teresina	20	40,68	4,791	0,931	4,460	89,200
46	Uberlândia	16	56,47	5,349	0,914	4,889	78,224
47	Uruguaiana	25	92,43	4,634	0,945	4,379	109,475
48	Vitória	25	65,95	6,844	0,945	6,472	161,800
49	Vilhena	8	54,22	4,900	0,820	4,018	32,144
Sub-total (1) $\sum n =$		904					$\sum \eta = 5.183,558$

Nº	Estação da Paraíba	Anos Reg.= n	$\hat{\beta}$ (km/h)	$\hat{\gamma}$	$B(n)$	$\hat{\eta}$	$(\text{Anos} \times \hat{\eta}) = \eta$
50	J.Pessoa +	30	25,893	7,5140	0,955	7,175	215,250
51	C.Grande +	30	29,0628	7,6211	0,955	7,278	218,340
52	Areia	26	32,5136	6,9604	0,947	6,591	171,366
53	Patos	26	35,373	11,1555	0,947	10,564	274,664
54	S.Gonçalo	30	27,601	8,2601	0,955	7,888	236,640
56	Monteiro +	29	27,4372	5,3116	0,953	5,061	146,769
Sub-Total (2) $\sum n =$		171				$\sum \eta =$	1263,029
Total $\sum n = 904 + 171 =$		1.075				$\sum \eta = 5.183,558 + 1.263,029 =$	6.446,587
							$\hat{\eta}_{\text{(único)}} = \frac{\sum \eta}{\sum n} = 5,996$

Quadro 14 – Parâmetros da distribuição de Frechet – Máxima Verossimilhança

Fonte: Dados da pesquisa

Nº	Estações do Brasil	Anos.Reg = n	$\hat{\beta}$ (km/h)	$\hat{\gamma}$	B(n)	$\hat{\nu}$	(Anos x $\hat{\nu}$) = η
01	Afonso	15	76,45	4,036	0,908	3,665	54,975
02	Anápolis	2	71,88	23,639	-	-	-
03	Amapá *	24	52,89	6,506	0,943	6,135	147,240
04	Belém *	25	61,75	5,238	0,945	4,950	123,750
05	Belo Horizonte *	25	56,74	7,244	0,945	6,846	171,150
06	Brasília	15	69,30	6,068	0,908	5,510	82,650
07	Bagé *	14	76,86	6,156	0,901	5,547	77,658
08	Boa vista *	9	69,24	10,293	0,843	8,667	78,003
09	Caravelas *	24	51,58	8,001	0,943	7,545	181,080
10	Cachimbo	16	58,50	3,665	0,914	3,350	53,60
11	Cuiabá *	12	62,65	7,237	0,883	6,390	76,680
12	Campinas	25	90,15	6,906	0,945	6,526	163,150
13	Curitiba *	25	80,26	5,638	0,945	5,328	133,200
14	Campo Grande *	25	85,95	5,320	0,945	5,027	125,675
15	Carolina *	8	49,31	13,121	0,820	10,759	86,072
16	Cumbica	25	81,04	6,623	0,945	6,259	156,475
17	Fortaleza *	25	56,43	5,959	0,945	5,631	140,775
18	Florianópolis *	25	85,62	5,883	0,945	5,559	138,975
19	Foz do Iguaçu	21	63,07	4,480	0,934	4,184	87,864
20	F. de Noronha *	24	58,57	8,908	0,943	8,400	201,600
21	Goiânia	22	61,92	6,588	0,937	6,173	135,806
22	Jacareacanga	15	40,74	5,996	0,908	5,444	81,660
23	Londrina	13	70,61	3,955	0,893	3,532	45,916
24	Lapa	8	47,97	4,447	0,820	3,647	29,176
25	Manaus	17	62,78	4,289	0,918	3,937	66,929
26	Maceió *	25	48,19	6,439	0,945	6,085	152,125
27	Natal	25	48,62	6,360	0,945	6,010	150,250
28	Ponta Porã *	18	61,36	10,604	0,923	9,787	176,166
29	Parnaíba	14	72,97	13,467	0,901	5,045	70,630
30	Petrolina	9	39,53	5,298	0,842	4,461	40,149
31	Pirassununga *	15	68,28	4,833	0,908	4,388	65,820
32	Porto Alegre	25	90,46	9,560	0,945	9,034	225,850
33	Porto Nacional	9	46,46	9,710	0,842	8,176	73,584
34	Porto Velho	6	57,79	3,281	0,752	2,467	14,802
35	Recife *	24	54,17	9,450	0,943	8,911	213,864
36	Rio Branco	4	56,04	5,209	-	-	-
37	Rio de Janeiro	25	65,77	4,485	0,945	4,238	105,950
38	Santarém *	21	46,60	6,270	0,934	5,856	122,976
39	São Luiz	25	51,39	6,746	0,945	6,375	159,375
40	Salvador *	25	59,01	8,174	0,945	7,724	193,100
41	Santa Cruz *	20	84,26	5,210	0,931	4,851	97,020
42	São Paulo	20	74,29	7,607	0,931	7,082	141,640
43	Santos	25	62,03	6,155	0,945	5,816	145,400
44	Santa Maria	22	81,19	5,291	0,937	4,958	109,076
45	Teresina	20	40,40	4,348	0,931	4,048	80,960
46	Uberlândia	16	55,45	3,716	0,914	3,396	54,336
47	Uruguaiana	25	92,71	5,149	0,945	4,866	121,660
48	Vitória	25	65,30	8,860	0,945	8,373	209,325
49	Vilhena	8	54,19	4,712	0,820	3,864	30,912
Sub-total (1) $\sum n =$		904			$\sum \eta =$		5.395,03

Nº	Estação da Paraíba	Anos. Reg.= n	$\hat{\beta}$ (km/h)	$\hat{\gamma}$	$B(n)$	$\hat{\eta}$	(Anos x $\hat{\eta}$) = η
50	J.Pessoa +	30	25,609	6,633	0,955	6,335	190,050
51	C.Grande +	30	29,056	8,821	0,955	8,424	252,720
52	Areia	26	32,579	8,724	0,947	8,261	214,786
53	Patos	26	35,206	11,143	0,947	10,552	274,352
54	S.Gonçalo	30	27,725	10,592	0,955	10,115	303,450
56	Monteiro +	29	27,214	5,535	0,953	5,274	152,946
Sub-Total (2) $\Sigma n =$		171	$\Sigma \eta =$			1.388,304	
Total $\Sigma n = 904 + 171 =$		1.075	$\Sigma \eta = 5.395,03 + 1.388,304 =$			6.783,334	
				$\hat{\eta}_{(único)} = \frac{\Sigma \eta}{\Sigma n} = 6,310$			

Quadro 15 – Parâmetros da distribuição de Gumbel – Mínimos Quadrados

Fonte: Dados da pesquisa

A partir dos intervalos de confiança que relacionam $\hat{\eta}_i$ com $\hat{\eta}_{(único)}$ cuja probabilidade de ocorrência de 90%, apresentados por Riera; Viollaz e Reimundin (1977b, p.277), e transcritos no anexo A9, foram obtidos os intervalos para $\hat{\eta}_i$, tanto para os valores $\hat{\eta}_i$ com $\hat{\eta}_{(único)}$ calculado por Frechet como por Gumbel.

Os intervalos acima mencionados estão apresentados em dois grupos: o primeiro, associado aos valores de $\hat{\eta}_i$ com $\hat{\eta}_{(único)} = 5,996$, obtidos através de Frechet (Método da Máxima Verossimilhança), e o segundo, associado aos valores de $\hat{\eta}_i$ com $\hat{\eta}_{(único)} = 6,310$ obtidos através de Gumbel (Método dos Mínimos Quadrados). Os intervalos referidos estão apresentados a seguir:

1º Grupo (Frechet – Máxima Verossimilhança):

$$n = 5 \quad P [4,07 \leq \hat{\eta} \leq 16,66] = 0,90$$

$$n = 10 \quad P [4,43 \leq \hat{\eta} \leq 10,85] = 0,90$$

$$n = 20 \quad P [4,73 \leq \hat{\eta} \leq 8,69] = 0,90$$

$$n = 30 \quad P [4,91 \leq \hat{\eta} \leq 7,97] = 0,90$$

2º Grupo (Gumbel – Mínimos Quadrados):

$$n = 5 \quad P [4,29 \leq \hat{\gamma}_0 \leq 17,54] = 0,90$$

$$n = 10 \quad P [4,67 \leq \hat{\gamma}_0 \leq 11,42] = 0,90$$

$$n = 20 \quad P [4,98 \leq \hat{\gamma}_0 \leq 9,15] = 0,90$$

$$n = 30 \quad P [5,17 \leq \hat{\gamma}_0 \leq 8,39] = 0,90$$

Desses intervalos calculados para números de registros n iguais a: 5, 10, 20 e 30, foram feitas interpolações gráficas (figuras 5 e 6) para tornar possível a verificação do enquadramento dos $\hat{\beta}_0 i$ obtidos a partir de séries de registros, correspondentes as 54 estações.

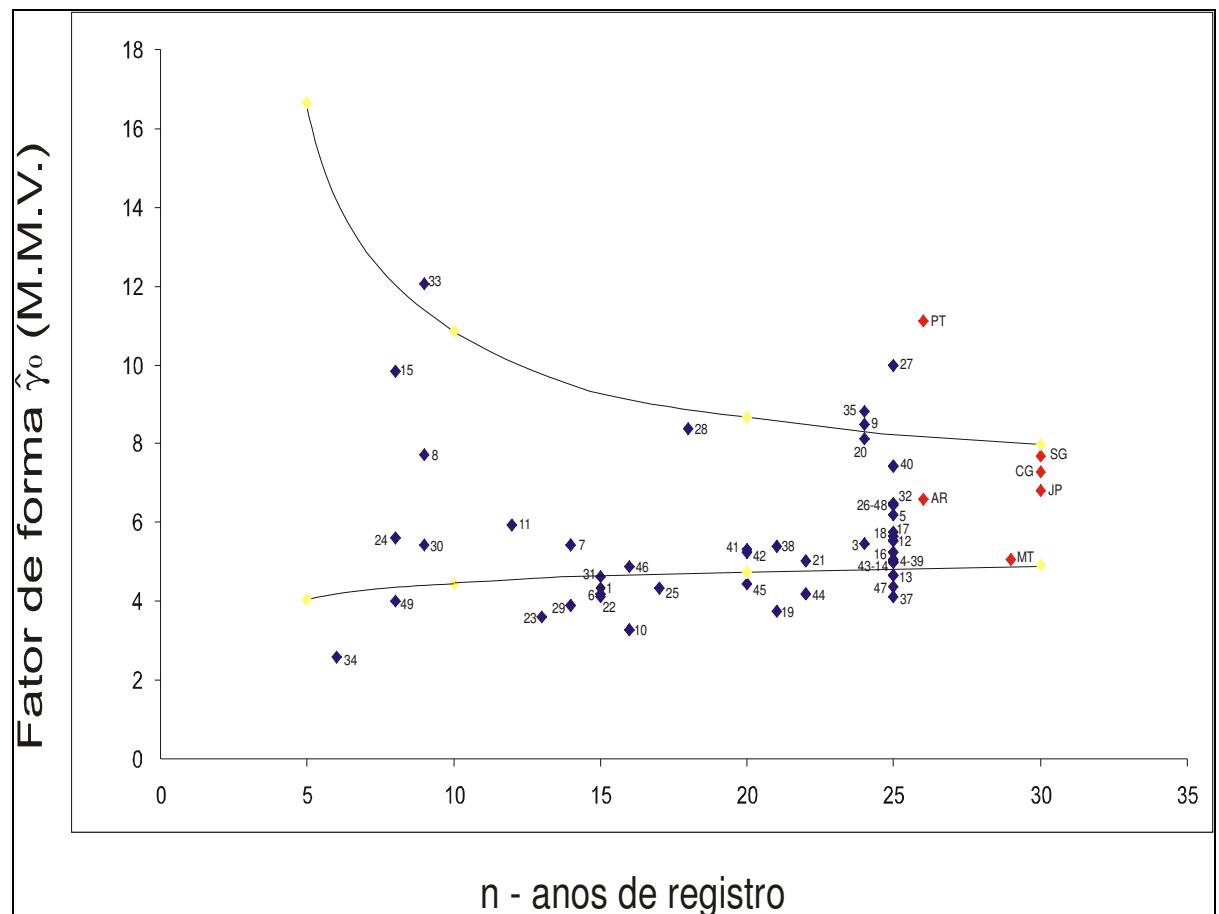


Figura 5 -Curvas representativas do intervalo de confiabilidade dos fatores de forma (MMV)
Fonte: Dados da pesquisa

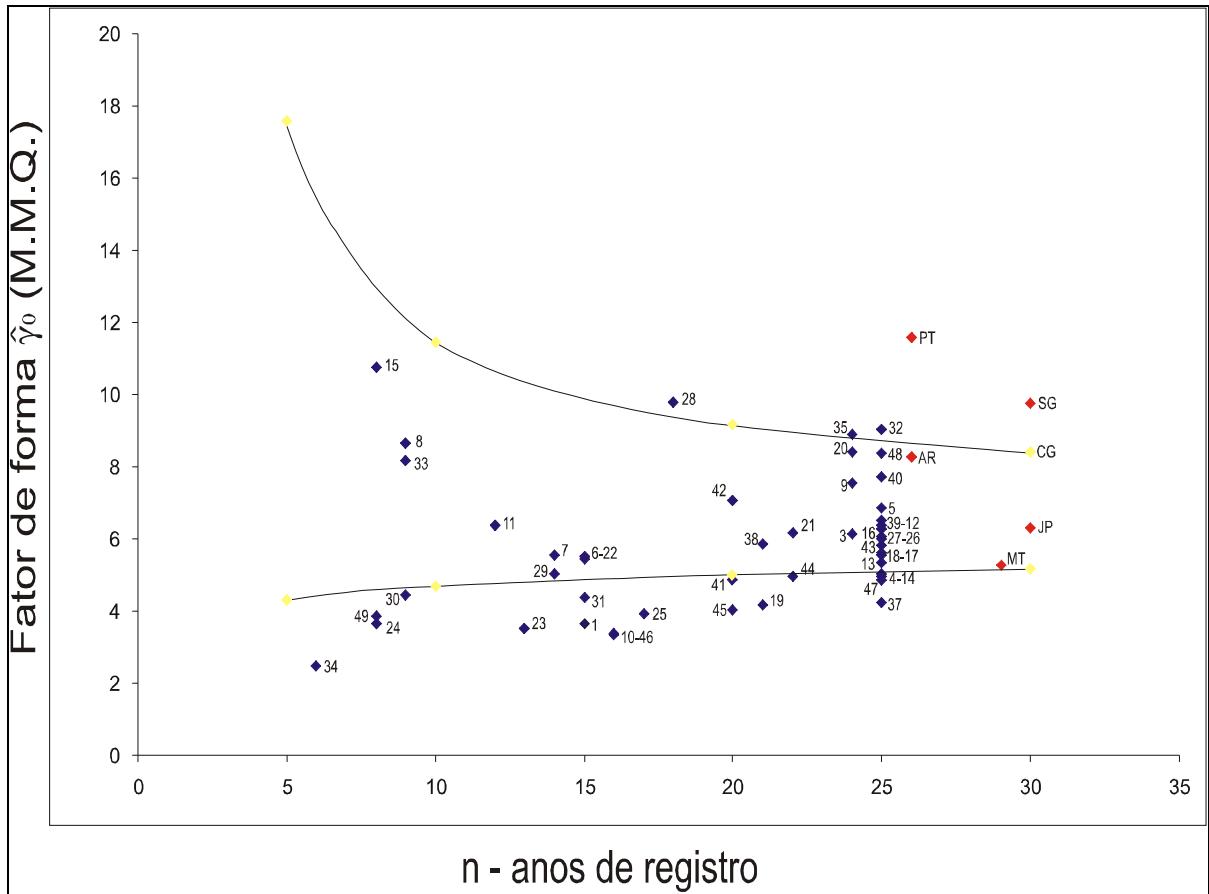


Figura 6 – Curvas representativas do intervalo de confiabilidade dos fatores de forma (MMQ)
Fonte: Dados da pesquisa

As figuras 5 e 6, cada uma das quais composta por duas curvas, que indicam os limites inferior e superior do intervalo adotado para o $\hat{\gamma}_0 i$, foram construídas a partir da ordenação dos valores que indicam os números de anos de registros no eixo horizontal e os valores limites dos $\hat{\gamma}_0 i$ segundo o eixo vertical. Nesses gráficos, os valores dos $\hat{\gamma}_0 i$ são representados através de pontos aos quais estão agregados números que representam o número de ordem da estação, cujos valores são oriundos dos quadros 14 e 15.

As curvas constantes da figura 5 (de limite mínimo e de limite máximo) foram construídas, ligando-se os pontos correspondentes aos valores dos limites inferiores para a curva de limite mínimo e dos limites superiores para a curva de limite máximo do intervalo de confiança para o estimador $\hat{\gamma}_0$ das séries de 5, 10, 20 e 30 anos de registros, constantes do grupo 1 (Frechet) e indicadas no quadro 16:

COORDENADAS DOS PONTOS DAS CURVAS		
Anos de Registros	Curva de limite mínimo	Curva de limite máximo
5	4,07	16,66
10	4,43	10,85
20	4,73	8,69
30	4,91	7,97

Quadro 16 – Pontos das curvas de máximo e mínimo – Frechet (M.M.V)

Fonte: Dados da pesquisa

Analogamente, construíram-se as curvas da figura 6, considerando valores constantes do grupo 2 (Gumbel), cujos limites estão indicados no quadro 17:

COORDENADAS DOS PONTOS DAS CURVAS		
Anos de Registros	Curva de limite mínimo	Curva de limite máximo
5	4,29	17,54
10	4,67	11,42
20	4,98	9,15
30	5,17	8,39

Quadro 17 – Pontos das curvas de máximo e mínimo – Gumbel (M.M.Q)

Fonte: Dados da pesquisa

O enquadramento do $\hat{\rho}_i$ dos registros de uma estação em pelo menos uma das curvas do intervalos de confiabilidade (sejam os calculados segundo Frechet ou os segundo Gumbel) se constituiu numa das três exigências adotadas para que a série de registros dessa estação fosse considerada sem anomalia.

Todas as 49 estações que contribuíram para a definição da composição do valor V_o , estabelecido na NBR.6123, estão presentes nos gráficos, ou entre as curvas de máximo e mínimo ou extrapolando esses limites, com exceção das estações de números 2 e 36, Anápolis e Rio Branco, respectivamente, pelo fato de terem sido excluídas por possuírem menos de cinco anos de registros. Por essa mesma razão, como anteriormente dito, foi

excluída a estação de Camaratuba. As demais, do estado da Paraíba, também fazem parte dos gráficos, sendo representadas pelas iniciais do nome da estação.

A comparação dos resultados, através dos dois processos de ajuste de distribuição de séries de velocidade, permitiu identificar com maior grau de precisão as estações que apresentavam anomalias e dispersões nas suas séries de dados sendo, portanto, excluídas. Cada série, cujos valores de $\hat{\gamma}_0$ (o $\hat{\gamma}_0$ "de Frechet" e o $\hat{\gamma}_0$ "de Gumbel") diferira em mais de 20% do maior deles, foi excluída. Essa foi a terceira exigência adotada para selecionar as séries que participaram do cálculo do $\gamma_{(único)}$ utilizado na determinação das velocidades básicas V_0 .

Do exposto, pôde-se concluir que, para uma série de registro de uma estação ser considerada confiável, isto é, sem anomalias, é necessário que ela contenha:

1. Registros de velocidade do vento com mais de cinco anos;
2. Pontos representativos dos $\hat{\gamma}_0$ das estações contidos entre as curvas de máximo e de mínimo de, pelo menos, um dos gráficos das figuras 5 e 6;
3. Diferença entre os estimadores $\hat{\gamma}$, obtidos mediante os métodos da Máxima Verossimilhança (Frechet) e os Mínimos Quadrados (Gumbel), igual ou menor a 20% do maior deles.

Com base nessas considerações, foram excluídas 29 das 49 estações inicialmente utilizadas. As demais contribuíram com seus registros para a composição do mapa das isopletas do Brasil, segundo a NBR.6123, estando assinaladas nos quadros 14 e 15 com o sinal de "asterisco", e as estações da Paraíba, com o sinal de "cruz".

7.2.3 O valor do V_0 para as regiões estudadas da Paraíba e a NBR 6123

Excluídas do cálculo do $\hat{\gamma}_0$ (único) as séries das estações que apresentaram alguma anomalia, determinou-se o que se convencionou chamar de γ (único). As estações utilizadas, assim como os elementos necessários para o cálculo do γ (único), além dos valores do $\hat{\beta}$, estão no quadro 18. Através da expressão: γ (único) = $\sum_{i=1}^{23} \eta_i / \sum_{i=1}^{23} n_i$, obteve-se o valor γ (único) = 6,395. É importante observar que os valores de $\hat{\gamma}_0 i$ utilizados na média ponderada são aqueles provenientes da função de Frechet; os $\hat{\gamma}_0 i$ calculados através de Gumbel não são aqui utilizados.

O valor do V_o foi obtido para cada estação em km/h pela aplicação da equação 09:

$$V_o = \frac{\hat{\beta}}{-\ln\left(1 - \frac{1}{50}\right)^{\frac{1}{\gamma_{\text{único}}}}}$$

Nº	Estação	Anos de Reg.= n	$\hat{\beta}$	$\hat{\gamma}_0$	(Anos x $\hat{\gamma}_0$) = η
1	AMAPÁ	24	52,58	5,460	131,04
2	BELÉM	25	61,58	5,041	126,02
3	B.HORIZONTE	25	56,36	6,180	154,50
4	BAGÉ	14	76,86	5,420	75,880
5	BOA VISTA	9	68,94	7,719	69,470
6	CARAVELAS	24	51,68	8,479	203,50
7	CUIBÁ	12	62,20	5,934	71,200
8	CURITIBA	25	79,31	4,664	116,60
9	CAMPO GRANDE	25	85,69	5,007	125,17
10	CAROLINA	8	47,71	9,826	78,610
11	FORTALEZA	25	56,11	5,747	143,67
12	FLORIANÓPOLIS	25	85,38	5,661	141,53
13	F.DE NORONHA	24	58,87	8,111	194,66
14	MACEIÓ	25	47,96	6,451	161,28
15	PONTA PORÃ	18	61,78	8,367	150,61
16	PIRASSUNUNGA	15	68,70	4,635	69,530
17	RECIFE	24	54,12	8,833	211,99
18	SANTARÉM	21	46,89	5,385	113,09
19	SALVADOR	25	59,09	7,434	185,85
20	SANTA CRUZ	20	84,13	5,309	106,18
$\Sigma n =$		413		$\Sigma \eta =$	2630,38
21	JOÃO PESSOA	30	25,89	7,175	215,25
22	CAMPINA GRANDE	30	29,06	7,278	218,34
23	MONTEIRO	29	27,43	5,061	146,76
$\Sigma n =$		502		$\Sigma \eta =$	3.210,73
					γ (único) = $\frac{\Sigma \eta}{\Sigma n} = 6.395$

Quadro 18 – A determinação do fator de forma único - γ (único)

Fonte: Dados da pesquisa

É conveniente ressaltar que o valor do $\gamma_{(\text{único})}$ 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 isopletas 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 $\gamma_{(\text{único})}$, são muito pequenas, podendo ser desprezadas. Sendo as velocidades obtidas com o $\gamma_{(\text{único})} = 6,369$ (adotada na NBR.6123), apenas pouco maiores que as obtidas com o $\gamma_{(\text{único})}$ (calculado nesse trabalho), optando-se pela continuidade daquele $\gamma_{(\text{único})}$ em detrimento deste, as velocidades básicas utilizadas foram favoráveis à segurança, ficando justificada a manutenção dos valores de V_o das isopletas, cujo uso já está consagrado. Assim sendo, no cálculo das velocidades V_o para as estações da Paraíba, será utilizado $\gamma_{(\text{único})} = 6,369$.

De qualquer modo, calculam-se, a seguir, as velocidades V_o para as estações paraibanas, com os dois valores do $\gamma_{(\text{único})}$. Esses resultados estão organizados no quadro 19, não só em km/h, mas também em m/s. Na última coluna dessa tabela, lêem-se as diferenças em percentual entre as velocidades básicas de uma mesma estação, calculadas com os valores dos $\gamma_{(\text{único})}$ acima referidos.

1. Estação de João Pessoa:

a) V_o com $\gamma_{(\text{único})} = 6,369$

$$V_o = \frac{\hat{\beta}}{\left[-\ln\left(1 - \frac{1}{50}\right)^{\frac{1}{6,369}} \right]} \times 3,60^{-1} = \frac{25.893}{0.5419} \times 3,60^{-1} = 13,27 \text{ m/s}$$

b) V_o com $\gamma_{(\text{único})} = 6,395$

$$V_o = \frac{\hat{\beta}}{\left[-\ln\left(1 - \frac{1}{50}\right)^{\frac{1}{6.395}} \right]} \times 3,60^{-1} = \frac{25.893}{0.5434} \times 3,6^{-1} = 13,24 \text{ m/s}$$

2. Estação de Campina Grande:

a) V_o com $\gamma_{(\text{único})} = 6,369$

$$V_o = \frac{\hat{\beta}}{\left[-\ln\left(1 - \frac{1}{50}\right)^{\frac{1}{6.369}} \right]} \times 3,60^{-1} = \frac{29.0628}{0.5419} \times 3,60^{-1} = 14,89 \text{ m/s}$$

b) V_o com $\gamma_{(\text{único})} = 6,395$

$$V_o = \frac{\hat{\beta}}{\left[-\ln\left(1 - \frac{1}{50}\right)^{\frac{1}{6.395}} \right]} \times 3,60^{-1} = \frac{29.0628}{0.5434} \times 3,6^{-1} = 14,85 \text{ m/s}$$

3. Estação de Areia:

a) V_o com $\gamma_{(\text{único})} = 6,369$

$$V_o = \frac{\hat{\beta}}{\left[-\ln\left(1 - \frac{1}{50}\right)^{\frac{1}{6.369}} \right]} \times 3,60^{-1} = \frac{32.5136}{0.5419} \times 3,60^{-1} = 16,66 \text{ m/s}$$

b) V_o com $\gamma_{(\text{único})} = 6,395$

$$V_o = \frac{\hat{\beta}}{\left[-\ln\left(1 - \frac{1}{50}\right)^{\frac{1}{6.395}} \right]} \times 3,60^{-1} = \frac{32.5136}{0.5434} \times 3,6^{-1} = 16,62 \text{ m/s}$$

4. Estação de Patos:

a) V_o com $\gamma_{(\text{único})} = 6,369$

$$V_o = \frac{\hat{\beta}}{\left[-\ln\left(1 - \frac{1}{50}\right)^{\frac{1}{6,369}} \right]} \times 3,60^{-1} = \frac{35.373}{0.5419} \times 3,60^{-1} = 18,13 \text{ m/s}$$

b) V_o com $\gamma_{(\text{único})} = 6,395$

$$V_o = \frac{\hat{\beta}}{\left[-\ln\left(1 - \frac{1}{50}\right)^{\frac{1}{6,395}} \right]} \times 3,60^{-1} = \frac{35.373}{0.5434} \times 3,6^{-1} = 18,08 \text{ m/s}$$

5. Estação de São Gonçalo:

a) V_o com $\gamma_{(\text{único})} = 6,369$

$$V_o = \frac{\hat{\beta}}{\left[-\ln\left(1 - \frac{1}{50}\right)^{\frac{1}{6,369}} \right]} \times 3,60^{-1} = \frac{27.601}{0.5419} \times 3,60^{-1} = 14,14 \text{ m/s}$$

b) V_o com $\gamma_{(\text{único})} = 6,395$

$$V_o = \frac{\hat{\beta}}{\left[-\ln\left(1 - \frac{1}{50}\right)^{\frac{1}{6,395}} \right]} \times 3,60^{-1} = \frac{27.601}{0.5434} \times 3,6^{-1} = 14,10 \text{ m/s}$$

6. Estação de Monteiro:

a) V_o com $\gamma_{(\text{único})} = 6,369$

$$V_o = \frac{\hat{\beta}}{\left[-\ln\left(1 - \frac{1}{50}\right)^{\frac{1}{6,369}} \right]} \times 3,60^{-1} = \frac{27.4372}{0.5419} \times 3,60^{-1} = 14,06 \text{ m/s}$$

b) V_o com $\gamma_{(\text{único})} = 6,395$

$$V_o = \frac{\hat{\beta}}{\left[-\ln\left(1 - \frac{1}{50}\right)^{1/6,395} \right]} \times 3,60^{-1} = \frac{27.4372}{0.5434} \times 3,6^{-1} = 14,02 \text{ m/s}$$

Nº	Estações da Paraíba	Com $\gamma_{(\text{único})} = 6,369$		Com $\gamma_{(\text{único})} = 6,395$		$\Delta V_o (\%)$
		V_o (km/h)	V_o (m/s)	V_o (km/h)	V_o (m/s)	
01	João Pessoa	47,78	13,27	47,64	13,23	0,30
02	Campina Grande	53,63	14,89	53,48	14,85	0,27
03	Areia	59,99	16,66	59,83	16,62	0,25
04	Patos	65,27	18,13	65,09	18,08	0,27
05	São Gonçalo	50,93	14,14	50,79	14,10	0,28
06	Monteiro	50,63	14,06	50,49	14,02	0,28

Quadro 19 – Resumo dos valores de V_o - Paraíba

Fonte: Dados da pesquisa

8 O VALOR DO V_o AJUSTADO PARA A PARAÍBA E SUA APLICAÇÃO NO CÁLCULO ESTRUTURAL DE DOIS EDIFÍCIOS SITUADOS EM JOÃO PESSOA – PB

Um dos objetivos específicos deste trabalho foi estudar a possibilidade da redução do valor do V_o recomendado pela norma específica para a região brasileira na qual se insere o estado da Paraíba.

De acordo com os resultados mostrados no quadro 19, conclui-se ser perfeitamente razoável a adoção do valor $V_o = 18$ m/s como velocidade básica do vento para a região estudada, uma vez que ele corresponde ao maior dos V_o calculados a partir das séries de velocidade máxima anual das estações paraibanas, submetidas ao mesmo tratamento utilizado quando da definição dos V_o para o território brasileiro. Na realidade, o valor a que se faz referência é $V_o = 18,13$ m/s, obtido com a utilização do $\gamma_{(único)} = 6,369$, sendo esse V_o igual a

18,08 m/s, quando calculado com $\gamma_{(único)} = 6,395$, valor a que se chegou no decorrer do presente trabalho.

O outro objetivo específico foi avaliar a redução do consumo de materiais utilizados nas estruturas das edificações a serem executadas na Paraíba e, consequentemente, da redução dos custos dessas obras, decorrentes da adoção do valor do V_o ajustado em substituição ao $V_o = 30$ m/s.

A avaliação da redução do volume de materiais com consequente redução de custos, e impactos favoráveis na preservação do meio ambiente, acima referida, foi efetivada através de comparação das estruturas dimensionadas com a aplicação de $V_o = 18$ m/s, que foi o valor ajustado, e $V_o = 30$ m/s, valor recomendado pela NBR 6123.

Para esse fim, foram utilizados dois edifícios: um, com 13, e o outro, com 33 pavimentos, doravante designados, respectivamente, como edifício A e edifício B.

Assim procedendo, procurou-se incluir, na avaliação pretendida da redução de materiais variáveis com grande capacidade de influenciar os resultados, a relação h / b - altura sobre uma das dimensões da seção transversal da edificação - o valor do F_{ck} – resistência à compressão do concreto, a ser utilizado na execução da estrutura, que são algumas dessas variáveis.

8.1 PROJETO ESTRUTURAL DO EDIFÍCIO A E DO EDIFÍCIO B

8.1.1 O Programa Computacional – “Eberick V5” (ALTOQI)

O programa “EBERICK V5”, utilizado no cálculo estrutural desses dois edifícios, é apropriado para essa finalidade e atende às normas específicas vigentes no país para projetos de estruturas de concreto armado, tais como a NBR.6118, a NBR.6120 e a NBR.6123.

8.1.2 Edifício A

Esse edifício foi projetado para ser construído próximo à orla marítima de João Pessoa – Pb, em terreno de 25 x 40m, com projeção horizontal inserida num retângulo de 29,36 x 13,40m e fachadas com saliências curvas. Seus 13 pavimentos são assim distribuídos: garagem (térreo), mezanino e cobertura, além dos 11 pavimentos tipo. Sua altura é de 42,00m, e a relação h / b é igual a 3,3.



Figura 7 - Fachada principal do edifício A

Fonte: Dados da pesquisa

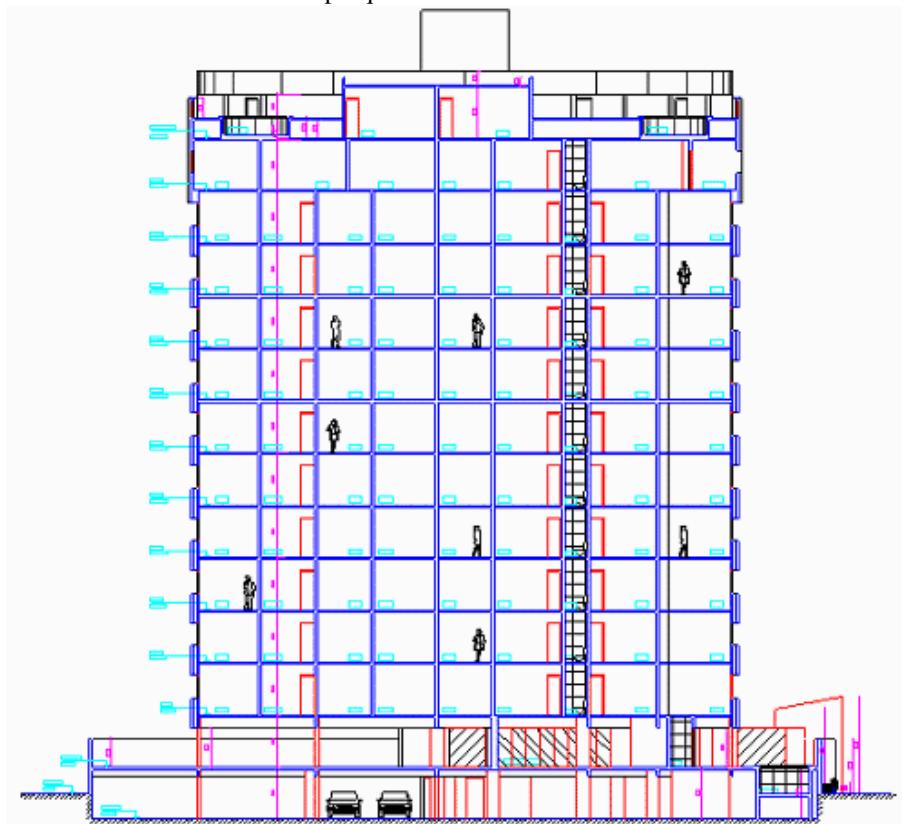


Figura 8 - Corte longitudinal do edifício A

Fonte: Dados da pesquisa



Figura 9 - Planta baixa do pavimento tipo do edifício A
Fonte: Dados da pesquisa

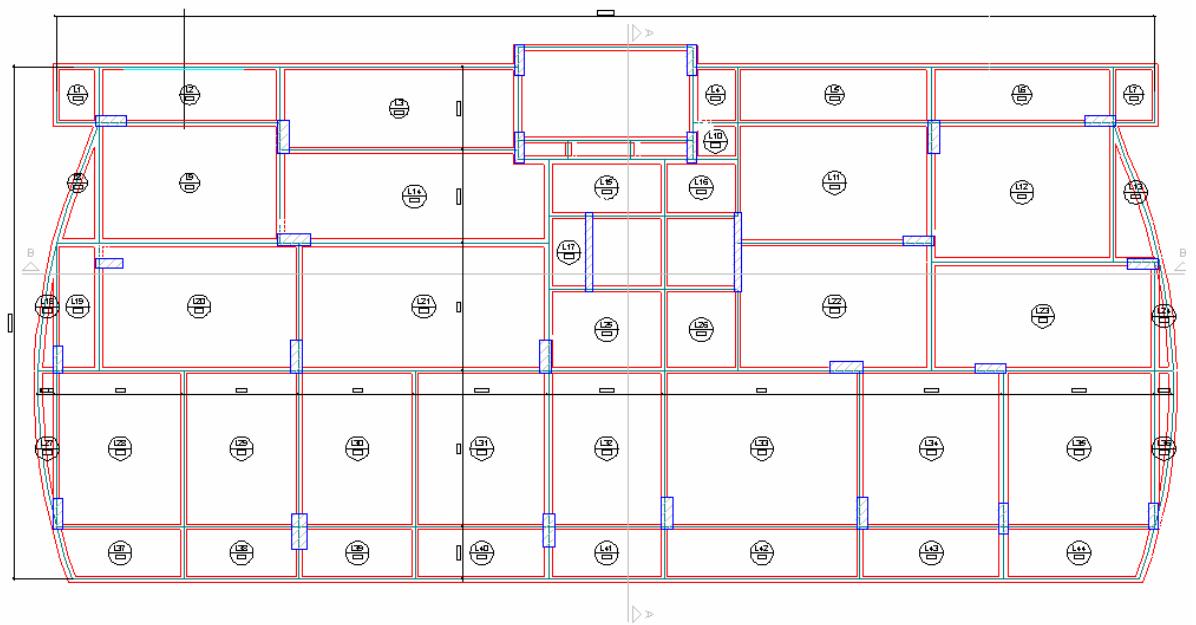


Figura 10– Planta de forma do pavimento tipo do edifício A
Fonte: Dados da pesquisa

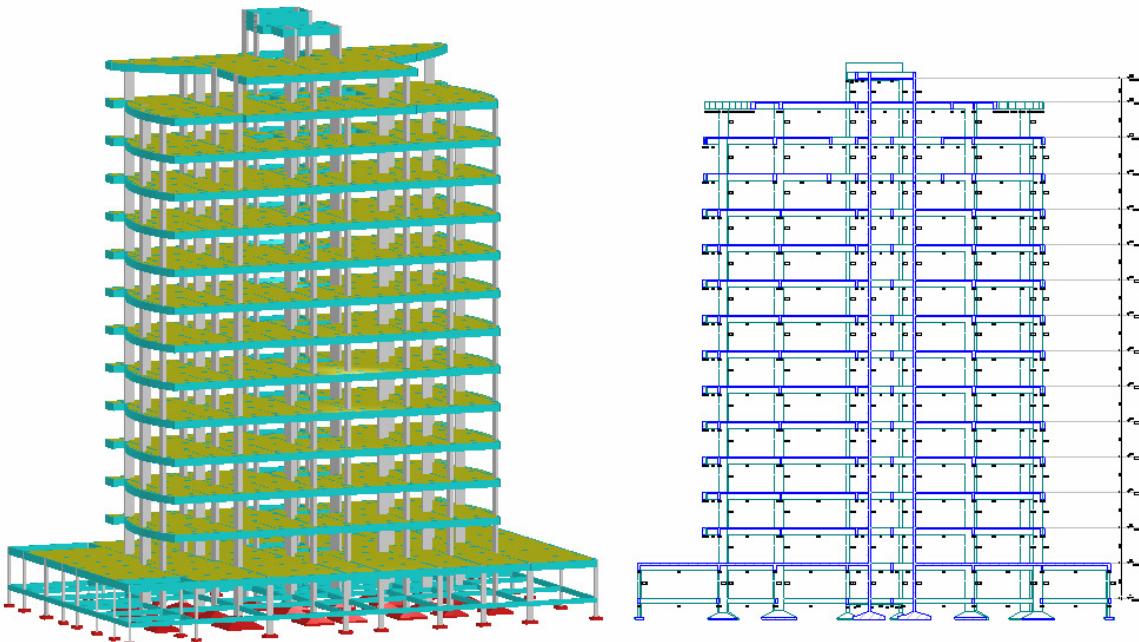


Figura 11 – Pórtico 3D e corte da estrutura do edifício A
Fonte: Dados da pesquisa

PRIMEIRA SOLUÇÃO:

Nesse caso, obteve-se a estrutura do edifício A, submetida à ação de forças horizontais calculadas com base no $V_o = 18 \text{ m/s}$.

Por não ser oportuno apresentar a estrutura calculada, indicam-se, outrossim, no quadro 20, os quantitativos em peso, em volume e em área dos materiais necessários a sua execução.

As forças F_x e F_y provenientes da ação do vento, tanto na direção x quanto na y, consideradas no cálculo da estrutura, estão mostradas no quadro 21.

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 (m ³)	537,2	281,7	467,0	1.285,9	
Área de Forma (m ²)	6.888,4	2.824,7	4.879,6	14.592,7	
Consumo de aço (kg/m ³)	75,3	81,1	60,7	71,26	

Quadro 20 - Resumo de materiais do edifício A com $V_o = 18 \text{ m/s}$
Fonte: Dados da pesquisa

Pavimentos	$V_o = 18 \text{ m/s}$	
	$F_x \text{ (kN)}$	$F_y \text{ (kN)}$
Reservatório	1,70	1,90
Coberta	7,30	16,1
Cobertura	11,1	28,5
Teto – 11	10,7	28,6
Teto – 10	10,4	28,1
Teto – 9	10,2	27,6
Teto – 8	10,0	27,1
Teto – 7	9,80	26,5
Teto – 6	9,50	25,8
Teto – 5	9,30	25,1
Teto – 4	8,90	24,2
Teto – 3	8,60	23,2
Teto – 2	8,10	21,8
Teto – 1	7,40	20,0
Mezanino	8,30	18,8
Baldrames	0,40	0,80

Quadro 21 - Forças F_x e F_y do edifício A com $V_o = 18 \text{ m/s}$

Fonte: Dados da pesquisa

SEGUNDA SOLUÇÃO:

Aqui, obteve-se a estrutura do edifício A, submetida à ação de forças horizontais calculadas com base no $V_o = 30 \text{ m/s}$.

Analogamente à primeira solução, indicam-se os quantitativos no quadro 22 e as forças F_x e F_y provenientes da ação do vento, tanto na direção x quanto na y, consideradas no cálculo da estrutura, no quadro 23.

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 (m ³)		559,7	281,8	464,4	1.305,9
Área de Forma (m ²)		6.930,5	2.824,8	4.850,9	14.606,2
Consumo de aço (kg/m ³)		82,3	86,2	61,0	75,57

Quadro 22 - Resumo de materiais do edifício A com $V_o = 30 \text{ m/s}$

Fonte: Dados da pesquisa

Pavimentos	$V_o = 30 \text{ m/s}$	
	$F_x \text{ (kN)}$	$F_y \text{ (kN)}$
Reservatório	4,60	5,30
Coberta	20,2	44,8
Cobertura	30,8	79,3
Teto – 11	29,8	79,3
Teto – 10	28,8	78,1
Teto – 9	28,3	76,7
Teto – 8	27,8	75,2
Teto – 7	27,2	73,6
Teto – 6	26,5	71,7
Teto – 5	25,7	69,6
Teto – 4	24,8	67,2
Teto – 3	23,8	64,3
Teto – 2	22,4	60,7
Teto – 1	20,5	55,5
Mezanino	23,0	52,2
Baldrames	1,00	2,10

Quadro 23 - Forças F_x e F_y do edifício A com $V_o = 30 \text{ m/s}$

Fonte: Dados da pesquisa

No quadro abaixo, lê-se o percentual de redução das forças do vento calculadas para os vários níveis do edifício A, tanto na direção x (longitudinal) quanto na direção y da sua projeção horizontal, cujos valores correspondem à redução de 40% na velocidade do vento.

Pavimentos	Percentual da variação	
	F_x	F_y
Reservatório Superior	63,04 %	64,10 %
Coberta	63,86 %	64,06 %
Cobertura	63,96 %	64,06 %
Teto – 11	64,09 %	63,93 %
Teto – 10	63,88 %	64,02 %
Teto – 9	63,95 %	64,01 %
Teto – 8	64,02 %	63,96 %
Teto – 7	63,97 %	63,99 %
Teto – 6	64,15 %	64,01 %
Teto – 5	63,81 %	63,93 %
Teto – 4	64,11 %	63,98 %
Teto – 3	63,86 %	63,92 %
Teto – 2	63,83 %	64,08 %
Teto – 1	63,90 %	63,96 %
Mezanino	63,91 %	63,98 %
Baldrames	60,00 %	61,90 %

Quadro 24 - Variação em % das forças F_x e F_y do edifício A

Fonte: Dados da pesquisa

8.1.3 Edifício B

Esse edifício foi projetado para ser construído próximo à orla marítima de João Pessoa – Pb, em um terreno de 28x 30m, com projeção trapezoidal e fachadas planas. Seus 33 pavimentos são assim distribuídos: dois pisos de garagens, mezanino, vinte e oito pavimentos-tipo, uma cobertura inferior e outra superior. A maior dimensão em planta do pavimento-tipo é de 23,45m, a menor 15,54m, a altura total do edifício é 96,00m, e a relação h / b é igual a 6,2.

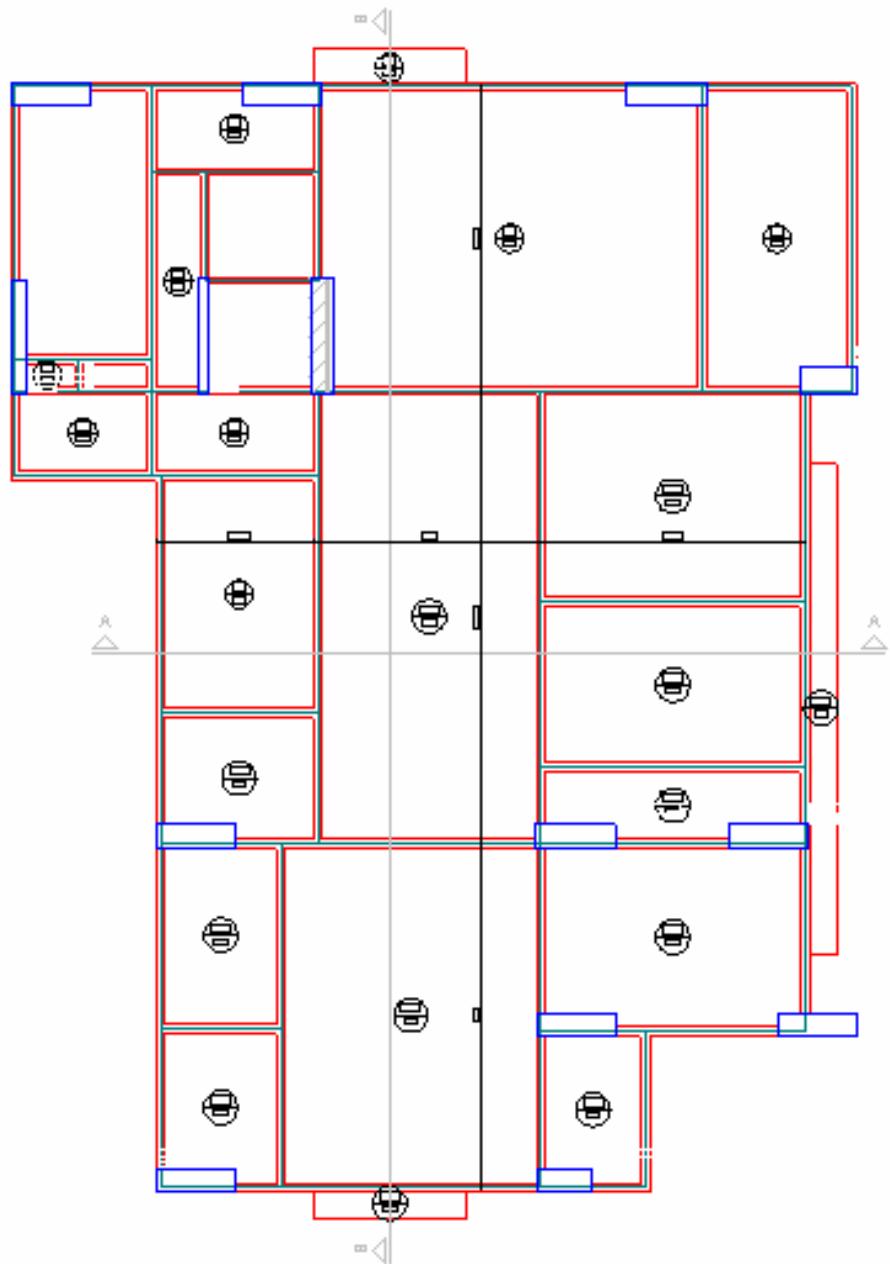


Figura 12 - Planta de forma do pavimento tipo do edifício B
Fonte: Dados da pesquisa



Figura 13 - Fachada, pórtico 3D e corte da estrutura do edifício B
Fonte: Dados da pesquisa

PRIMEIRA SOLUÇÃO:

Nesse processo, obteve-se a estrutura do edifício B, submetida à ação de forças horizontais calculadas com base no $V_o = 18 \text{ m/s}$.

Analogamente às soluções do edifício A, indicam-se os quantitativos no quadro 25 e as forças F_x e F_y provenientes da ação do vento, tanto na direção x quanto na y, consideradas no cálculo da estrutura, no quadro 26.

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 (m ³)	940,5	1.138,9	687,2	2.766,6	
Área de Forma (m ²)	10.988,8	6.360,1	7.164,1	24.513,0	
Consumo de aço (kg/m ³)	98,6	61,8	60,4	74,0	

Quadro 25- Resumo de materiais do edifício B com $V_o = 18 \text{ m/s}$
Fonte: Dados da pesquisa

Pavimentos	$V_o = 18 \text{ m/s}$	
	$F_x \text{ (kN)}$	$F_y \text{ (kN)}$
Casa de máquina	3,10	3,30
Coberta superior	6,90	6,60
Coberta inferior	12,5	10,6
Teto – 28	21,7	16,7
Teto – 27	26,1	18,6
Teto – 26	25,9	18,4
Teto – 25	25,7	18,3
Teto – 24	25,5	18,2
Teto – 23	25,3	18,0
Teto – 22	25,1	17,9
Teto – 21	24,9	17,7
Teto – 20	24,7	17,5
Teto – 19	24,4	17,4
Teto – 18	24,2	17,2
Teto – 17	24,0	17,0
Teto – 16	23,7	16,8
Teto – 15	23,4	16,6
Teto – 14	23,1	16,4
Teto – 13	22,8	16,2
Teto – 12	22,5	16,0
Teto – 11	22,2	15,8
Teto – 10	20,5	15,2
Teto – 9	18,9	14,6
Teto – 8	18,5	14,3
Teto – 7	18,1	14,0
Teto – 6	17,7	13,6
Teto – 5	17,2	13,3
Teto – 4	16,6	12,8
Teto – 3	16,0	12,3
Teto – 2	15,2	11,8
Teto – 1	14,3	11,0
Mezanino	15,4	12,9
Térreo	15,4	13,4
Baldrames	0,60	0,50

Quadro 26 - Forças F_x e F_y do edifício B com $V_o = 18 \text{ m/s}$

Fonte: Dados da pesquisa

SEGUNDA SOLUÇÃO:

Nesse caso, obteve-se a estrutura do edifício B, submetida à ação de forças horizontais calculadas com base no $V_o = 30 \text{ m/s}$.

Analogamente à primeira solução do edifício B, indicam-se os quantitativos no quadro 27 e as forças F_x e F_y provenientes da ação do vento, tanto na direção x quanto na y, consideradas no cálculo da estrutura, no quadro 28.

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 (m ³)	999,6	1.840,4	682,0	3.512,9	
Área de Forma (m ²)	11.056,5	7.459,7	7.107,5	25.623,7	
Consumo de aço (kg/m ³)	129,7	59	60,7	79,4	

Quadro 27- Resumo de materiais do edifício B com V_o=30m/s

Fonte: Dados da pesquisa

Pavimentos	V _o =30m/s	
	Fx (kN)	Fy (kN)
Casa de máquina	8,50	9,20
Coberta superior	19,3	18,2
Coberta inferior	34,8	29,6
Teto - 28	60,4	46,3
Teto - 27	72,5	51,5
Teto - 26	72,0	51,2
Teto - 25	71,5	50,8
Teto - 24	70,9	50,4
Teto - 23	70,4	50,0
Teto - 22	69,8	49,6
Teto - 21	69,2	49,2
Teto - 20	68,5	48,7
Teto - 19	67,9	48,3
Teto - 18	67,2	47,8
Teto - 17	66,5	47,3
Teto - 16	65,8	46,8
Teto - 15	65,0	46,2
Teto - 14	64,2	45,7
Teto - 13	63,4	45,1
Teto - 12	62,5	44,4
Teto - 11	61,6	43,8
Teto - 10	57,0	42,1
Teto - 9	52,4	40,5
Teto - 8	51,4	39,7
Teto - 7	50,3	38,8
Teto - 6	49,0	37,9
Teto - 5	47,7	36,8
Teto - 4	46,1	35,7
Teto - 3	44,4	34,3
Teto - 2	42,3	32,6
Teto - 1	39,6	30,6
Mezanino	42,8	35,8
Térreo	42,7	37,2
Baldrames	1,60	1,40

Quadro 28 - Forças Fx e Fy do edifício B com V_o=30m/s

Fonte: Dados da pesquisa

Na figura abaixo, lê-se os percentuais de redução das forças do vento calculados para os vários níveis do edifício B, tanto na direção x (longitudinal) quanto na direção y da projeção horizontal, cujos valores correspondem à redução de 40% na velocidade do vento.

Pavimentos	Percentual da variação	
	Fx (%)	Fy (%)
Casa de máquina	63,52	64,13
Cobertura superior	64,24	63,74
Cobertura inferior	64,08	64,18
Teto – 28	64,07	63,93
Teto – 27	64,00	63,88
Teto – 26	64,02	64,06
Teto – 25	64,05	63,97
Teto – 24	64,03	63,88
Teto – 23	64,06	64,00
Teto – 22	64,04	63,91
Teto – 21	64,01	64,02
Teto – 20	63,94	64,06
Teto – 19	64,06	63,97
Teto – 18	63,98	64,01
Teto – 17	63,91	64,05
Teto – 16	63,98	64,10
Teto – 15	64,00	64,06
Teto – 14	64,01	64,11
Teto – 13	64,03	64,07
Teto – 12	64,00	63,96
Teto – 11	63,96	63,92
Teto – 10	64,03	63,89
Teto – 9	63,93	63,95
Teto – 8	64,00	63,97
Teto – 7	64,01	63,92
Teto – 6	63,87	64,11
Teto – 5	63,94	63,85
Teto – 4	63,99	64,14
Teto – 3	63,96	64,13
Teto – 2	64,06	63,80
Teto – 1	63,88	64,05
Mezanino	64,01	63,96
Térreo	63,93	63,97
Baldrames	62,50	64,28

Quadro 29 - Variação em % das forças Fx e Fy do edifício B

Fonte: Dados da pesquisa

8.2 RESULTADOS DECORRENTES DA APLICAÇÃO DO V_0 COM VALOR AJUSTADO

Dos quantitativos dos materiais necessários para a execução da estrutura do edifício A (considerados apenas, lajes, vigas e pilares), com as duas condições de velocidade básica do vento, $V_0 = 18$ m/s e 30 m/s, mostradas nos quadros 20 e 22, observam-se as reduções no quadro 30.

EDIFÍCIO A	$V_0 = 18$ m/s	$V_0 = 30$ m/s	VARIAÇÃO	
Total em aço - Kg	91.641,3	98.689,6	7.048,3 kg	7,1%
Vol. de concreto - m^3	1.285,9	1.305,9	20 m^3	1,5%
Área de forma - m^2	14.592,7	14.606,2	13,5 m^2	0,09%

Quadro 30 - Comparativo dos quantitativos do edifício A

Fonte: Dados da pesquisa

Como, por exemplo, para a construção dos elementos estruturais do edifício A, foi utilizado um concreto estrutural C-25, de consistência normal, de acordo com os materiais e quantitativos estabelecidos no traço, conforme mostrado no quadro 31. Determinou-se o total de cada material componente, correspondente ao percentual economizado, devido à redução da velocidade V_0 , de 30 para 18 m/s.

COMPONENTE	CONSUMO	UNIDADE
Cimento (349 + 5%)	367	kg
Areia média	0,828	m^3
Brita 1	0,836	m^3
Aço	73,4	kg/ m^3

Quadro 31 - Traço do concreto estrutural utilizado no edifício A por m^3

Fonte: Dados da pesquisa

MATERIAIS COMPONENTES DO CONCRETO ARMADO ECONOMIZADOS:

- Cimento: $(367 \text{ kg}/m^3 \times 20 \text{ m}^3) = 7.340 \text{ kg.} \approx 7,3 \text{ t}$ ou 147 sacos de cimento de 50 kg.
- Areia média: $(0,828 \times 20 \text{ m}^3) = 16,5 \text{ m}^3$ ou 3 caminhões de $6m^3$ de areia.

- c) Brita 1: $(0,836 \times 20 \text{ m}^3) = 16,7 \text{ m}^3$ ou 3 caminhões de 6m^3 de brita.
 d) Aço: $7.048,3 \text{ kg} = 7,0 \text{ t}$

Dos quantitativos dos materiais necessários para a execução da estrutura do edifício B (considerados apenas, lajes, vigas e pilares), com as duas condições de velocidade básica do vento, $V_0 = 18 \text{ m/s}$ e 30 m/s , mostradas nos quadros 25 e 27, observam-se as reduções no quadro 32.

EDIFÍCIO B	$V_0 = 18 \text{ m/s}$	$V_0 = 30 \text{ m/s}$	VARIAÇÃO	
Total em aço - Kg	204.635,4	279.610,2	74.974,8 kg	26,8%
Vol. de concreto - m^3	2.766,6	3.512,9	746,3 m^3	21,2%
Área de forma - m^2	24.513,0	25.623,7	1.111 m^2	4,3%

Quadro 32 - Comparativo dos quantitativos do edifício B
 Fonte: Dados da pesquisa

Considerando-se, por exemplo, que para a construção dos elementos estruturais do edifício B, foi utilizado um concreto estrutural C-35, de consistência normal, de acordo com os materiais e quantitativos estabelecidos no traço mostrado no quadro 33 determinou-se o total de cada material componente e o correspondente ao percentual economizado devido à redução da velocidade V_0 , de 30 para 18 m/s.

COMPONENTE	CONSUMO	UNIDADE
Cimento (448 + 5%)	471	kg
Areia média	0,7438	m^3
Brita 1	0,8360	m^3
Aço	76,7	kg/m^3

Quadro 33 - Traço do concreto estrutural utilizado no edifício B por m^3
 Fonte: Dados da pesquisa

MATERIAIS COMPONENTES DO CONCRETO ARMADO ECONOMIZADOS:

- a) Cimento: $(471 \text{ kg}/\text{m}^3 \times 746 \text{ m}^3) = 351.366 \text{ kg} \approx 351,3\text{t}$ ou 7.027 sacos de cimento de 50 kg.
 b) Areia média: $(0,7438 \times 746 \text{ m}^3) = 554,8 \text{ m}^3$ ou 92 caminhões de 6m^3 de areia.
 c) Brita 1: $(0,836 \times 746 \text{ m}^3) = 623,6 \text{ m}^3$ ou 104 caminhões de 6m^3 de brita.
 d) Aço: $74.974,8 \text{ kg} = 74,9 \text{ t}$.

Edifício (Com variação de V_o de 30 m/s para 18 m/s)	A		B	
	Unidade especificada	Em %	Unidade especificada	Em %
Economia em Aço – Kg	7.048,3	7,1	74.974,8	26,8
Economia em concreto – m^3 ou seja:	20	1,5	746	21,2
1. Economia em cimento – sacos de 50 kg	147		7.027	
2. Economia em areia média - caminhão de 6 m^3	3		92	
3. Economia em brita 1 - caminhão de 6 m^3	3		104	
Economia em forma – m^2	13,5	0,09	1.111	4,3

Quadro 34 - Resumo da variação dos quantitativos de materiais do edifício A e B

Fonte: Dados da pesquisa

Chama-se a atenção para o percentual dos materiais economizados, no estudo do edifício A, apresentados no quadro acima, que por não serem significativos, não aparecerão na discussão dos resultados, embora esteja, a título de curiosidade, no quadro 36.

9 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Este capítulo foi dividido, em duas partes. Na primeira, foram apresentadas discussões a respeito do valor de V_0 , obtido para a Paraíba, enfocando as implicações nos projetos das estruturas de edifícios. Na segunda parte, discutiu-se a economia de materiais decorrentes da diminuição do V_0 , no dimensionamento das estruturas mencionadas, enfocando, além das vantagens financeiras, a importância da contribuição para a preservação do meio ambiente.

9.1 SOBRE O VALOR DO V_0 AJUSTADO

Con quanto no projeto da NB-5 (precursora da NBR.6123) não tenham sido permitidas velocidades básicas menores que 30 m/s, isopletas de V_0 com valores iguais e até menores que 25 m/s foram traçadas a partir de estudos realizados por Vieira Filho (1975g, p. 42) e por Padaratz (1977q, p. 69).

Tudo leva a crer que os valores de V_0 (e suas isopletas) menores que 30 m/s, verificados nas regiões Norte e Nordeste do país, foram desprezados devido à escassez de estações e de registros. Diante da nova realidade, com o aumento do número dessas estações equipadas com anemômetros de elevada precisão e o reaparelhamento das já existentes, conta-se, hoje, com maior quantidade de registros mais confiáveis, coletados em estações distribuídas de modo a melhor cobrir a região.

Assim sendo, considera-se relevante o valor de $V_0 = 18$ m/s (para o estado da Paraíba) a que se chegou neste trabalho.

É curioso observar que, historicamente, não existem registros ou mesmo comentários da ocorrência de fortes ventanias ou vendavais no estado. Sentindo-se, sim,

embora raramente, a ação de ventos muito fortes aos quais a escala Beaufort associa velocidades em torno de 18 m/s. A escala mencionada é mostrada no quadro 35, abaixo.

Classificação – Intensidade do Vento	Intervalo – Velocidade do Vento (km/h)	Intervalo – Velocidade do Vento (m/s) •	Influência em terra
1 – Aragem	2 a 6 km/h	0,6 a 1,7 m/s	A direção da aragem é indicada pela fumaça, mas a grimpá ainda não reage.
2 – Brisa leve	7 a 12 km/h	1,8 a 3,3 m/s	Sente-se o vento no rosto, movem-se as folhas das árvores, e a grimpá começa a funcionar.
3 – Brisa fraca	13 a 18 km/h	3,4 a 5,2 m/s	As folhas das árvores se agitam e as bandeiras se desfraldam.
4 – Brisa moderada	19 a 26 km/h	5,3 a 7,4 m/s	Poeira e pequenos papéis soltos são levantados. Movem-se os galhos das árvores.
5 – Brisa forte	27 a 35 km/h	7,5 a 9,8 m/s	Movem-se as pequenas árvores.
6 – Vento fresco	36 a 44 km/h	9,9 a 12,4 m/s	Assobios na fiação aérea. Movem-se os maiores galhos das árvores.
7 – Vento forte	45 a 55 km/h	12,5 a 15,2 m/s	Movem-se as grandes árvores. É difícil andar contra o vento.
8 – Ventania	55 a 65 km/h	15,3 a 18,2 m/s	Quebram-se os galhos das árvores. É difícil andar contra o vento.
9 – Ventania forte	67 a 77 km/h	18,3 a 21,5 m/s	Danos nas partes salientes das árvores. Impossível andar contra o vento.
10 – Tempestade	78 a 90 km/h	21,6 a 25,1 m/s	Arranca árvores e causa danos na estrutura dos prédios.
11 – Tempestade violenta	91 a 104 km/h	26,2 a 29 m/s	Muito raramente observado em terra.
12 - Furacão	≥ 105	≥ 30	Grandes estragos.

Quadro 35 - Escala Beaufort • Coluna acrescida pelo autor

Fonte: Disponível em <http://www.lamma.ufrj.br/spo/aprenda_mais/escala_beaufort.htm> Acesso em: 20 jul.2005

No que diz respeito ao cálculo e dimensionamento das estruturas de edifícios, a utilização desse valor de V_0 implicará numa razoável diminuição dos esforços horizontais a serem adotadas, trazendo como consequência redução na intensidade das solicitações internas da estrutura e dos deslocamentos nela verificados. Tais reduções conduzirão a soluções estruturais mais esbeltas e mais econômicas.

No gráfico 7, apresenta-se a redução das forças do vento em função da redução da velocidade básica adotada.

Se for utilizado $V_0 = 18$ m/s, e não, $V_0 = 30$ m/s, a redução calculada será de 40%. Entrando com esse valor no eixo das reduções de V_0 (eixo horizontal), chega-se no eixo vertical (das reduções de forças de vento), ao valor 64. Obtendo-se, assim, o percentual de 64% de redução das forças decorrentes da ação do vento, que incidem na edificação, tanto na direção x como na direção y da projeção horizontal dessa edificação.

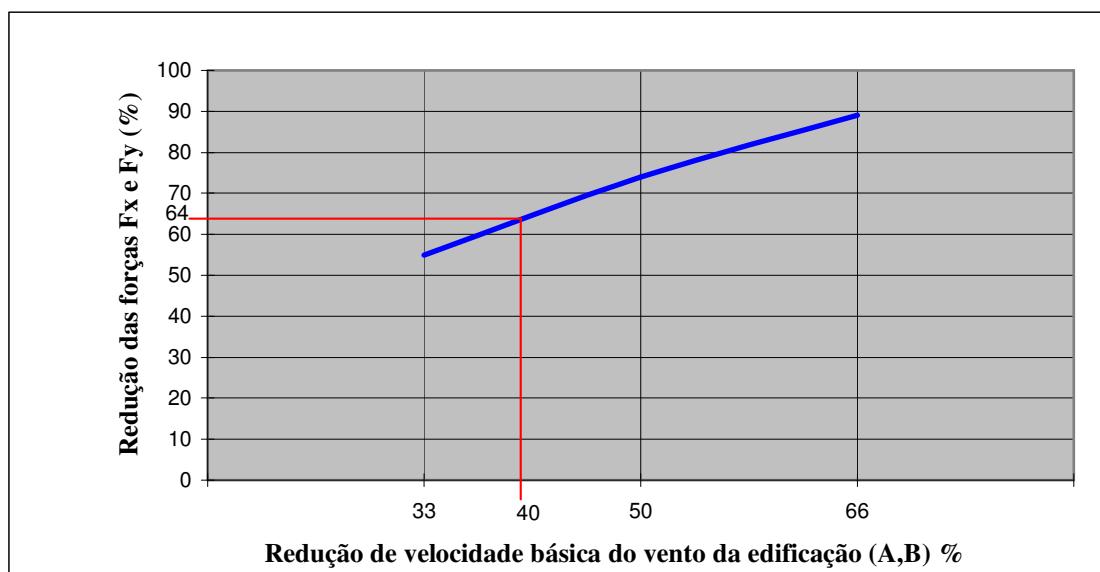


Gráfico 7- Redução de velocidade do vento x forças do vento (%)

Fonte: Dados da pesquisa

9.2 ECONOMIA OBTIDA COM A APLICAÇÃO DO V_0 AJUSTADO

Evidenciando a redução no consumo de materiais com a aplicação do $V_0 = 18$ m/s em substituição ao $V_0 = 30$ m/s, constante do quadro 34, apresentam-se os seguintes comentários:

1. Sendo a energia envolvida na produção de um único vergalhão de aço com diâmetro de 12.5 mm da ordem de 80 KWh, e considerando-se que um desses vergalhões

com 12 metros pesa aproximadamente 12 kg, então a redução de 74.974,8 kg de aço resulta na economia de 499.832 KWh, considerando apenas o aspecto energético.

Se o consumo de energia, em uma edificação unifamiliar com quatro pessoas da classe média, é de 200 KWh/mês, então os 499.832 KWh economizados serão suficientes para prover de energia 2500 casas, por um período de um mês, ou de uma casa, por um período de 2500 meses, o equivalente a 208 anos.

2. A obtenção de um saco de cimento de 50 Kgf consome aproximadamente 55 KWh de energia. Então, os 7.027 sacos economizados, propiciam uma economia energética de 386.485 KWh, na fabricação de cimento utilizado na construção do já citado edifício B. Essa economia permitiria prover de energia 1932 casas do tipo já referido, por um período de um mês ou, de uma dessas casas, por um período de 1932 meses, ou seja, 161 anos.

Com referência à preservação do meio ambiente, via economia de materiais é relevante destacar:

1 . No Brasil, de acordo com Instituto Brasileiro de Siderurgia (IBS) para cada tonelada de aço produzida em 2003, foram gerados 435 quilos de resíduos, incluindo escórias de alto forno, resíduos graxos, óleos, soluções ácidas, resíduos de carboquímica, além dos gases poluentes. Então, na construção do edifício B, com a redução da velocidade do vento básico de 30 m/s para 18 m/s, proporcionaria uma redução de 32.581 kg de resíduo, em decorrência da economia de 74,9 toneladas de aço, mantendo-se a mesma taxa calculada para 2003.

2. Considerando-se que a produção de uma tonelada de cimento conforme dados do Sindicato Nacional da Indústria de Cimento (SNIC), consome 1,3 toneladas de calcário, infere-se que a redução de 351,3 toneladas de cimento, levaria a uma redução de consumo de calcário, na jazida, de aproximadamente 456,7 toneladas.

Destaque-se, ainda, a considerável economia dos dispêndios de energia para a extração, transporte e processamento de matérias primas, com a consequente redução do impacto sobre o meio ambiente.

No quadro 36 apresenta-se um resumo do que acima se comentou.

Edifício (Com variação de V_o de 30 m/s para 18 m/s)	A	B
Economia em energia p/ fabricação do aço – kWh	46.988	499.832
Economia em energia p/ fabricação do cimento – kWh	8.085	386.485
Prover de energia p/mês casa de consumo médio =200 kWh	235 + 40	2.500 + 1932
Redução de resíduo na fabricação do aço - kg	3.066	32.581
Redução de consumo de calcário na fabricação do cimento-t	94,9	456,7

Quadro 36 - Resumo da economia de energia, redução de resíduo e calcário decorrente da variação de V_o nos quantitativos de materiais dos edifícios A e B

Fonte: Dados da pesquisa

10 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Dos resultados obtidos e das discussões levadas a efeito, destacam-se as conclusões:

- Os resultados obtidos de cálculos efetuados, considerando-se a variação de 40% no valor de V_0 , decorrentes da utilização do valor de 18 m/s (ajustado), e não, 30 m/s (constante da NBR. 6123) indicam reduções nas forças devidas ao vento da ordem de 64%, o que representa, em última análise, para a maioria das edificações, considerável economia de materiais.
- A redução de volume de concreto, de 21,24%, equivalente a 746,3 m³ desse material, e, de aço, de 26,8%, equivalente a 74.974 kg, constatado no dimensionamento do edifício B com $V_0 = 18$ m/s, reveste-se de grande importância emergindo como fator de barateamento do custo de moradias, redução do consumo de recursos naturais e de danos ao meio ambiente. Isso, sem considerar que a redução de 1.111 m² de área de forma da estrutura (quadro 34) proporcionará (adotando-se um índice de aproveitamento igual a 5) uma economia de 6 m³ de madeira, correspondentes a 240 m² de tábuas, com espessura de 2,5 cm, o que equivale a 25 árvores, com diâmetro de 35 cm, e caule com 5m, que deixam de ser derrubadas.
- A validade habilitação do valor de $V_0 = 18$ m/s é declaradamente importante diante dos impactos que causará nos âmbitos: do projeto estrutural, do meio ambiente, da economia de energia e dos custos.

E as sugestões:

- Para consolidação dos resultados obtidos (V_0 nas regiões paraibanas), considera-se imprescindível o estudo da velocidade do vento nos demais

estados do Norte e do Nordeste, com o objetivo da determinação do V_0 e do traçado de novas isopletas para essa região brasileira.

- Os resultados encontrados permitem, concluir que é a urgente a necessidade de se proceder à revisão dos valores de velocidade básica do vento, recomendadas pela NBR.6123, para a região da Paraíba e, quiçá, do Brasil.

REFERÊNCIAS

AESA – AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA. Disponível em: <<http://www.paraiba.pb.gov.br>>. Acesso em: 25 jul. 2005.

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

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

_____.**NBR. 6118:** projeto de estruturas **de concreto.** Rio de Janeiro: 2003.

_____.**NBR. 6120:** cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro: . Ano 1980

_____. **NBR.6123:** forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro: 1988.

ATLAS CLIMATOLÓGICO DO ESTADO DA PARAÍBA. Campina Grande: UFPB, 1987.

BLESSMANN, Joaquim. **Aerodinâmica das Construções.** Porto Alegre: UFRGS, 1983.

_____. O vento na Engenharia Estrutural – Primeira Parte. **Caderno de Engenharia CE – 10.** CPGEC, 1986.

_____. **Intervalo de Tempo para Cálculo da Velocidade Básica do Vento.** 3. ed ampl. Porto Alegre: UFRGS, 1988.

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

ESCALA BEAUFORT. Disponível em: <<http://www.boatnet.coppe.ufrj.br>>. Acesso em: 16 jul. 2005.

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

GUERRIN, A **Tratado de Concreto Armado.** São Paulo: Hemus, . (Vol. I, II, III, IV, V, VI)

INFRAERO. Disponível em: <<http://www.infraero.com.br>>. Acesso em: 25 jul. 2005.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Disponível em: <<http://www.nmet.gov.br>>. Acesso em: 12 jul. 2005.

IBS. Instituto Brasileiro de Siderurgias. Disponível em: <<http://www.ibs.org.br>> Acesso em 10 out. 2005.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br>> Acesso em 2 set. 2005.

IBGE. Instituto Brasileira de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso em 2 set.2005

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Metodologia do trabalho científico:** procedimentos básicos, pesquisas bibliográficas, projeto e relatório, publicações e trabalhos científicos. 6 ed. São Paulo: Atlas, 2001.

LAMMA – UFRJ. Laboratório de modelagem de processos marinhos e atmosféricos. Disponível em: <<http://www.Lamma.ufrj.br>> Acesso em 20 jul.2005

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Disponível em:<<http://www.mme.gov.br>>.

MOORE, David S. **Introduction to the Practice of Statistics.** [S. l.]: W.H.Freeman and Company, 1989.

Nordeste Brasileiro. Disponível em: <<http://www.climabrasileiro.hpg.ig.com.br>> Acesso em 2 set.2005

PADARATZ, I. J. **Velocidade básica do vento no Brasil** Porto Alegre: CPGEc, 1977.

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, J.D., DAVENPORT, A.G. **Wind Effects on Buildings and Structures**. Rotterdam: A.A.Balkema, 1998.

RIERA, J.D., PADARATZ, I.J. **Velocidade Básica do Vento para o Projeto de Estruturas no Brasil, Antecedentes para Revisão da NB**. Rio Grande do Sul: UFRGS, 1976.

ROCHA, Aderson Moreira da. **Novo Curso Prático de Concreto Armado**. Rio de Janeiro: Cientifica, (Vol. I, II, III), 1977

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

SEMC - SECRETARIA DE ENERGIA, MINAS E COMUNICAÇÃO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. Disponível em:
<<http://www.semc.rs.gov.br/atlas/vmax.htm>>. Acesso em: 13 jul. 2005.

SILVA, F. A. G. da. **O vento como ferramenta no desenho do ambiente construído: uma aplicação ao nordeste do Brasil**. 1999, 234f. Tese (Doutorado em Arquitetura). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo de São Paulo. São Paulo, 1999.

SNIC. Sindicato Nacional da Indústria de Cimento. Disponível em:
<<http://www.snic.com.br>>. Acesso em 5 out. 2005.

TCPO 10 - Tabelas de composições de preços para orçamentos. 1. ed. São Paulo: Pini, 1996. Disponível em: <<http://www.pini.com.br>>. Acesso em: 20 jun. 2005.

VIEIRA FILHO, J. M. S. Velocidades máximas do vento no Brasil. Porto Alegre: CPGEc, 1975.

ANEXOS

ANEXO A

**QUADRO DE REGISTROS DE VELOCIDADE MÁXIMAS DO VENTO NO BRASIL,
LOCALIZAÇÕES DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS E INTERVALO DE
CONFIABILIDADE**

Nº	ESTAÇÃO	LATITUDE	LONGITUDE	Alt. (m)	Funcion.
1	AFONSOS	22°52'S	43°22'W	31	H14
2	ANÁPOLIS	16°22'S	48°57'W	1097	H14
3	AMAPÁ	02°04'N	50°32'W	10	H14
4	BELEM	01°23'S	48°29'W	16	H24
5	B. HORIZONTE	19°51'S	43°57'W	789	H24
6	BRASÍLIA	15°52'S	47°55'W	1061	H24
7	BAGE	31°23'S	54°07'W	180	H14
8	BOA VISTA	02°50'N	60°42'W	140	H14
9	CARAVELAS	17°38'S	39°15'W	4	H24
10	CACHIMBO	09°22'S	54°54'W	432	H14
11	CUIBÁ	15°39'S	56°06'W	182	H14
12	CAMPINAS	23°00'S	47°08'W	648	H24
13	CURITIBA	25°31'S	49°11'W	910	H24
14	C. GRANDE	20°28'S	54°40'W	552	H24
15	CAROLINA	07°20'S	47°26'W	181	H14
16	CUMBICA	23°26'S	46°28'W	763	H24
17	FORTALEZA	03°47'S	38°32'W	25	H24
18	FLORIANÓPOLIS	27°40'S	48°33'W	5	H24
19	F. DO IGUAÇU	25°31'S	54°35'W	180	H14
20	F. DE NORONHA	03°51'S	32°25'W	45	H24
21	GOIÂNIA	16°38'S	49°13'W	747	H24
22	JACAREACANGA	06°16'S	57°44'W	110	H14
23	LONDRINA	23°20'S	51°08'W	570	H14
24	LAPA	13°16'S	43°25'W	439	H14
25	MANAUS	03°09'S	59°59'W	84	H24
26	MACEIÓ	09°31'S	35°47'W	115	H24
27	NATAL	05°55'S	35°15'W	49	H24
28	PONTA PORÃ	22°33'S	55°42'W	660	H14
29	PARNAÍBA	02°54'S	41°45'W	5	H24
30	PETROLINA	09°24'S	40°30'W	376	H14
31	PIRASSUNUNGA	21°59'S	47°21'W	598	H18
32	PORTO ALEGRE	30°00'S	51°10'W	4	H24
33	PORTO NACIONAL	10°42'S	48°25'W	290	H14
34	PORTO VELHHO	08°46'S	63°54'W	125	H14
35	RECIFE	08°08'S	34°55'W	11	H24
36	RIO BRANCO	09°58'S	67°47'W	136	H14
37	RIO DE JANEIRO (S.D.)	22°54'S	43°10'W	5	H24
38	SANTARÉM	02°26'S	54°43'W	12	H14
39	SÃO LUIZ	02°35'S	44°14'W	54	H24
40	SALVADOR	12°54'S	38°20'W	13	H24
41	SANTA CRUZ	22°56'S	43°43'W	4	H24
42	SÃO PAULO (CONG.)	23°37'S	46°39'W	802	H24
43	SANTOS	23°56'S	46°18'W	3	H18
44	SANTA MARIA	29°43'S	53°42'W	85	H14
45	TERESINA	05°05'S	42°49'W	69	H14
46	UBERLÂNDIA	18°55'S	48°14'W	923	H24
47	URUGUAIANA	29°47'S	57°02'W	74	H14
48	VITÓRIA	20°16'S	40°17'W	4	H24
49	VILHENA	12°44'S	60°08'W	652	H14

Anexo A1 - Localização e altitude das estações do Brasil – Fonte: NBR.6123

Estação	Nº	1950	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	Anos de Registro	
Afonsons	1											50	44	50	60	70	60	86	76	50	80	70	60	50	40	14		
Anápolis	2																								70	44	2	
Amapá	3	50	64	54	50	70	56	44	48	54	48	50	48	50	24	60	50	40	40	44	36	36	40	40	50	48	25	
Belém	4	50	90	64	60	60	100	64	56	60	70	50	80	60	50	44	50	50	40	50	48	60	60	50	48	25		
B.Horizonte	5	50	44	40	60	44	50	60	44	40	44	60	44	50	50	50	36	40	40	60	36	40	52	60	50	40	25	
Brasília	6											60	40	60	60	90	80	36	80	52	52	40	60	70	60	80	15	
Bagé	7												72	80	64	50	44	80	60	60	60	70	50	60	60	60	14	
Boa Vista	8																		60	64	56	64	72	70	60	76	52	9
Caravelas	9	50	50	42	40	56	44	56	70	88	40	40	46	42	40	40	40	48	42	44	40	40	60	40	50	52	25	
Cachimbo	10										40	70	70	90	60	80	60	44	34	44	60	80	16	48	44	60	48	17
Cuiabá	11														52	40	50	60	56	44	60	60	50	72	80	56	12	
Campinas	12	90	70	64	80	70	110	90	76	100	80	90	90	80	90	90	80	70	72	60	96	40	92	76	64	60	25	
Curitiba	13	80	104	100	92	84	92	76	60	60	108	60	70	50	60	70	60	80	120	80	60	56	80	60	50	76	25	
C.Grande	14	60	80	110	100	120	84	60	80	60	80	60	60	60	80	50	52	80	68	56	60	120	80	100	110	80	25	
Carolina	15																		50	36	40	40	40	40	40	50	8	
Cumbica	16	56	70	74	60	100	80	60	76	70	60	60	60	60	60	70	46	60	88	100	84	64	64	80	60	72	25	
Fortaleza	17	44	52	44	52	44	40	44	44	48	36	50	36	40	52	50	50	60	60	60	50	50	60	50	52	50	25	
Florianópolis	18	92	76	100	90	140	104	80	60	72	64	54	54	60	50	80	62	90	70	70	80	84	100	90	76	80	25	
F.do Iguaçu	19				76	100	80	44	52	50	60	80	50	44	60	50	46	60	46	60	40	28	60	50	40	60	22	
F.de Noronha	20	38	40	32	32	40	38	34	40	46	50	38	36	60	40	40	40	40	44	36	40	54	60	56	60	60	25	
Goiânia	21			32	40	44	50	40	54	44	44	40	60	44	50	70	40	60	50	70	60	72	76	80	60	44	23	
Jacareacanga	22									24	24	48	30	36	40	44	50	32	36	48	100	12	34	40	40	36	17	
Londrina	23														90	80	60	76	50	60	60	80	52	56	44	48	50	13
Lapa	24																		48	50	80	56	40	40	44	8		
Manaus	25									60	52	44	50	56	44	50	60	60	60	44	60	60	100	100	80	56	17	
Maceió	26	56	52	50	48	50	50	40	40	40	40	40	40	36	32	44	40	40	36	36	40	46	60	46	40	38	25	

Anexo A2 – Máxima velocidade média registrada em Km/h (média sobre 30 segundos) – Fonte: Padaratz, I. J.

Estação	Nº	1950	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	Anos de Registro	
Natal	27	48	40	44	40	50	40	36	40	40	40	70	50	44	40	56	40	34	44	44	44	50	40	40	40	44	25	
Ponta Porã	28								64	60	50	50	50	50	60	60	50	46	54	44	56	60	48	64	52	18		
Parnaíba	29											70	64	60	70	68	60	68	76	60	60	60	44	40	40	40	14	
Petrolina	30																40	40	40	32	32	32	32	52		8		
Pirassununga	31										64	100	50	100	70	64	60	72	50	64	64	56	50	44	60	15		
Porto Alegre	32	88	90	92	70	66	64	76	80	64	80	80	60	50	100	70	60	70	44	80	98	68	60	56	80	80	25	
P.Nacional	33																	40	40	40	40	50	40	40	46	40	9	
Porto Velho	34																				60	50	50	60	40	40	6	
Recife	35	40	40	46	44	50	44	44	52	120	50	40	44	44	44	40	50	40	40	36	40	40	52	56	56	60	25	
Rio Branco	36																						50	40	52	82	4	
R. de Janeiro	37	80	50	38	80	44	50	60	76	50	50	80	60	64	64	60	80	60	60	40	60	44	60	60	60	40	25	
Santarém	38					50	38	40	40	40	32	36	40	40	60	50	36	40	60	50	44	32	60	40	48	40	21	
São Luiz	39	32	60	52	44	50	36	60	60	32	36	32	50	50	60	44	50	60	50	50	52	44	52	56	60	44	25	
Salvador	40	64	44	56	50	54	60	56	60	48	50	64	50	54	46	60	44	44	44	70	44	50	48	56	50	52	25	
Santa Cruz	41						80	92	100	64	80	60	80	80	66	80	100	70	80	64	120	120	70	80	70	60	20	
S.Paulo (Cong)	42						76	70	86	60	60	50	50	60	50	46	50	60	66	60	66	80	60	60	40	48	20	
Santos	43	40	64	44	80	50	50	60	72	40	68	40	60	50	60	40	60	30	50	36	50	70	80	60	40	60	25	
Santa Maria	44					44	56	74	60	60	60	90	36	54	98	60	92	70	44	44	60	46	70	48	80	70	50	22
Teresina	45						52	50	44	50	60	30	30	32	30	30	40	28	30	46	40	40	40	40	80	36	20	
Uberlândia	46											38	54	40	36	30	34	32	36	32	44	40	44	48	60	40	40	16
Uruguaiana	47	50	120	60	80	86	68	64	102	108	70	50	42	80	70	60	50	80	44	44	104	50	110	80	60	70	25	
Vitória	48	70	50	50	54	60	80	54	60	64	60	60	64	60	70	76	70	60	64	50	44	54	76	64	70	70	25	
Vilhena	49																		60	44	80	60	40	40	46	44	8	

Anexo A3 – Continuação – Fonte: Padaratz, I. J.

Estação	Nº	1950	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	
Afonsons	1											120	80	60	80	60	140	80	160	90	80	100	70	90	80	62	
Anápolis	2																									- 64	
Amapá	3	60	64	50	44	80	70	80	-	44	76	60	-	-	-	-	-	-	44	-	44	-	-	44	-		
Belém	4	50	80	68	70	90	80	100	-	-	50	50	-	-	70	-	-	40	-	-	-	-	-	-	-		
B.Horizonte	5	60	-	60	40	44	-	44	-	50	-	50	60	56	70	70	70	70	50	80	44	60	80	80	-	60	
Brasília	6											70	100	78	80	90	90	70	72	-	-	48	48	-	-	-	
Bagé	7												120	64	50	80	60	100	80	84	80	120	70	70	90	80	
B.Vista	8																	70	-	-	52	80	-	-	56	-	
Caravelas	9	54	60	50	50	68	60	50	80	50	60	44	60	50	50	50	48	48	50	40	50	-	-	-	-	60	
Cachimbo	10											-	100	80	70	60	120	40	50	-	-	80	-	-	40	-	60
Cuiabá	11																-	50	70	66	60	60	80	-	-	40	40
Campinas	12	90	80	70	120	86	74	-	-	-	-	90	70	80	140	120	80	90	-	70	-	120	-	-	-	120	
Curitiba	13	90	100	60	102	86	80	64	44	-	96	80	100	70	70	90	84	96	50	100	80	-	48	50	-	60	
C.Grande	14	70	52	92	100	90	76	80	48	-	50	50	80	80	100	90	120	80	120	70	80	-	60	70	-	-	
Carolina	15																		50	60	44	-	-	-	-	40	
Cumbica	16	70	100	80	100	80	100	60	70	-	100	80	100	64	80	-	60	70	70	130	80	-	120	80	90	100	
Fortaleza	17	56	60	56	64	60	56	60	-	50	-	-	48	70	70	50	60	-	44	100	-	-	100	60	-	-	
Florianópolis	18	100	80	100	120	120	72	64	-	-	76	70	76	80	70	100	92	98	90	90	80	-	-	60	-	-	
F.do Iguaçu	19				72	108	120	50	60	96	100	80	80	70	60	76	-	60	-	-	-	68	80	40	-		
F.de Noronha	20	60	60	52	60	80	60	60	48	40	52	60	60	70	60	80	80	60	120	60	60	-	-	-	-	-	
Goiânia	21			-	64	90	52	60	40	36	40	50	80	50	60	-	80	80	70	60	-	44	-	76	-	-	
Jacareacanga	22									-	40	40	-	60	-	-	-	-	50	44	-	-	-	-	50		
Londrina	23													120	120	100	80	60	100	90	120	-	-	60	-	60	
Lapa	24																		-	-	-	-	40	-	-	-	
Manaus	25								-	50	44	64	-	50	-	-	60	-	-	80	72	100	-	-	120		
Maceió	26	60	72	60	60	72	66	56	50	44	60	50	50	44	40	40	-	44	40	-	40	-	-	-	-	-	

Anexo A4 – Máxima velocidade média registrada em Km/h (média sobre 3 segundos, rajadas) – Fonte: Padaratz, I. J.

Estação	Nº	1950	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	
Natal	27	60	54	54	48	48	52	52	44	-	50	90	50	50	50	72	60	48	48	54	50	-	-	48	-	-	
Ponta Porã	28								-	52	70	-	70	-	80	64	66	64	64	52	56	50	-	-	-	-	
Parnaíba	29											86	80	76	80	52	50	-	-	70	52	-	-	-	-	-	
Petrolina	30															50	60	52	-	-	-	40	-				
Pirassununga	31										64	130	70	60	72	80	44	80	86	60	-	-	-	-	-	44	
Porto Alegre	32	-	64	90	90	108	90	98	86	72	100	88	80	76	100	92	120	110	90	90	98	108	100	108	92	84	
Porto Nacional	33																	50	60	-	-	40	-	-	-	-	-
Porto Velho	34																				120	100	60	-	-	-	-
Recife	35	50	50	44	52	52	54	60	-	-	56	50	56	64	60	60	60	80	40	50	50	60	-	-	-	-	-
Rio Branco	36																						50	-	-	-	-
Rio de Janeiro	37	80	60	70	100	40	70	120	120	-	70	80	66	80	86	70	80	80	106	50	70	50	-	80	60	50	
Santarém	38					-	64	-	-	-	-	-	-	-	-	40	40	56	50	60	40	56	-	60	-	-	40
São Luiz	39	50	62	60	60	46	50	60	52	-	-	50	-	44	70	-	-	70	40	52	60	-	60	-	-	-	
Salvador	40	60	58	-	60	70	-	54	44	-	64	60	54	56	50	72	-	50	50	90	60	-	-	-	80	72	
Santa Cruz	41						90	102	-	-	60	70	84	70	72	80	70	80	120	44	70	160	70	80	74	-	-
São Paulo	42						96	90	-	-	80	60	80	86	60	60	80	100	90	80	90	80	80	70	60	106	-
Santos	43	80	80	50	90	60	60	80	-	-	76	80	60	70	-	60	70	50	44	60	70	80	80	50	80	-	-
Santa Maria	44					54	80	96	70	-	-	100	80	142	70	76	76	100	98	100	90	70	70	86	90	140	110
Teresina	45							-	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	60	-
Uberlândia	46										50	108	80	56	50	52	52	50	48	60	60	100	60	120	60	64	-
Uruguaiana	47	100	150	70	90	98	70	108	48	-	100	100	150	70	120	80	64	88	130	108	86	90	120	100	92	130	
Vitória	48	-	-	60	60	60	60	-	-	60	60	60	64	64	64	64	-	64	-	-	-	80	-	70	70	70	
Vilhena	49																		52	48	46	-	-	40	82	-	-

Anexo A5 – Continuação – Fonte: Padaratz, I. J.

Estação	Nº	1950	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	AR			
Afonsons	1											120	80	60	80	69	140	80	160	90	80	100	81	90	80	62	15			
Anápolis	2																									81	64	2		
Amapá	3	60	74	62	58	81	70	80	55	62	76	60	55	58	28	69	58	46	46	51	41	44	46	46	58	55	25			
Belém	4	58	104	74	70	90	115	100	64	69	81	58	92	69	70	51	58	58	46	58	55	69	69	69	58	85	25			
B.Horizonte	5	60	51	60	69	51	58	69	51	50	51	69	60	58	70	70	70	50	80	44	60	80	80	80	58	60	25			
Brasília	6											70	100	78	80	104	92	70	92	60	60	48	69	81	69	92	15			
Bagé	7												120	92	74	80	60	100	80	84	80	120	70	70	90	80	14			
B. Vista	8																	70	74	64	74	83	81	69	87	60	9			
Caravelas	9	58	60	50	50	68	60	64	81	101	60	46	60	50	50	50	48	55	50	51	50	46	69	46	58	60	25			
Cachimbo	10											46	100	81	104	69	120	69	51	39	51	80	92	18	75	51	69	55	17	
Cuiabá	11																60	50	70	69	64	60	80	69	58	83	92	69	12	
Campinas	12	104	81	74	120	86	127	104	87	115	92	104	104	92	140	120	92	90	83	70	110	130	106	87	74	120	25			
Curitiba	13	92	120	115	106	97	106	87	69	69	129	80	100	70	70	90	84	96	138	100	80	64	92	69	58	87	25			
C. Grande	14	70	92	127	115	138	97	80	92	69	92	69	80	80	100	90	120	92	120	70	80	138	92	115	127	92	25			
Carolina	15																				58	60	46	46	46	46	58	8		
Cumbica	16	70	100	85	100	115	100	69	87	81	100	80	100	69	80	81	60	70	101	130	97	79	120	92	90	100	25			
Fortaleza	17	56	60	56	64	60	56	60	51	55	41	58	48	70	70	58	60	69	69	100	58	58	100	60	60	58	25			
Florianópolis	18	106	87	115	120	165	120	92	69	83	76	70	76	80	70	100	92	104	90	90	92	97	115	105	87	92	25			
F.do Iguaçu	19					87	115	120	51	60	96	100	92	80	70	69	76	53	69	55	69	46	32	69	80	46	69	22		
F.de Noronha	20	60	60	52	60	80	60	60	48	53	58	60	60	69	60	80	80	60	120	60	60	62	69	69	69	69	25			
Goiânia	21			37	64	90	58	60	62	51	51	50	80	51	60	81	80	80	70	81	69	83	87	92	69	51	23			
Jacareacanga	22											28	40	55	35	60	46	51	58	37	41	55	115	14	39	96	46	50	17	
Londrina	23																120	120	100	87	60	100	90	120	60	64	60	55	60	13
Lapa	24																				55	58	92	64	46	46	51	8		
Manaus	25											69	60	51	64	64	51	58	69	69	69	51	80	72	115	115	92	120	17	
Maceió	26	64	72	60	60	72	66	56	50	46	60	50	50	44	40	51	46	46	41	41	46	53	69	53	46	44	25			

Anexo A6 – Sériess Artificiais: Velocidade máxima anual sobre 3 segundos (em Km/h) – Fonte: Padaratz, I. J.

Estação	Nº	1950	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	AR	
Natal	27	60	54	54	48	58	52	52	46	46	50	90	58	51	50	72	60	48	51	54	51	58	46	48	46	51	25	
Ponta Porã	28								74	69	70	58	70	58	80	69	69	64	64	64	52	64	69	55	74	60	18	
Parnaíba	29												86	80	76	81	78	69	78	87	70	69	69	51	46	46	14	
Petrolina	30																50	60	52	37	37	37	40	37	60	9		
Pirassununga	31										74	130	70	115	81	80	69	53	86	79	74	64	58	81	69	15		
Porto Alegre	32	101	104	106	90	108	90	98	92	74	100	92	80	76	115	92	120	110	90	92	113	108	100	108	92	92	25	
P.Nacional	33																	50	60	46	46	58	46	46	55	46	9	
Porto Velho	34																				120	100	60	69	46	46	6	
Recife	35	50	50	53	52	58	54	60	60	138	58	50	56	64	60	60	60	80	46	50	50	60	60	64	64	69	25	
Rio Branco	36																						58	46	60	94	4	
R.de Janeiro	37	92	60	70	100	51	70	120	120	58	70	92	67	80	86	70	92	80	106	50	70	51	69	80	69	50	25	
Santarém	38					58	64	46	46	46	37	41	46	46	69	58	56	50	69	58	56	37	69	46	55	46	21	
São Luiz	39	50	69	60	60	58	50	69	69	37	41	50	58	58	70	51	58	70	58	58	60	51	60	64	69	51	25	
Salvador	40	74	58	69	60	70	69	64	69	55	64	74	58	62	55	72	51	51	51	90	60	58	55	69	80	72	25	
Santa Cruz	41							92	106	115	74	92	70	92	92	76	92	115	81	127	74	138	160	81	92	81	69	20
S.Paulo(Cong)	42							96	90	99	69	80	60	80	86	60	60	80	100	90	80	90	92	80	70	60	106	20
Santos	43	80	80	51	92	60	60	80	83	46	78	80	69	70	69	60	70	50	58	60	70	81	92	69	80	69	25	
Santa Maria	44				54	80	96	70	69	69	104	80	142	113	76	106	100	98	100	90	70	81	86	92	140	110	22	
Teresina	45						60	58	51	58	69	35	35	37	35	35	46	32	35	53	46	46	46	92	41	20		
Uberlândia	46										50	108	80	56	50	52	52	50	48	60	60	100	60	120	60	64	16	
Uruguaiana	47	100	150	70	92	99	78	108	117	124	100	100	150	92	120	80	64	92	130	108	120	90	127	100	92	130	25	
Vitória	48	81	58	60	62	69	92	62	69	74	69	69	74	69	81	87	81	69	74	58	51	62	87	74	81	81	25	
Vilhena	49																		69	51	92	69	46	46	82	51	8	

Anexo A7 – Continuação – Fonte: Padaratz, I. J.

Nº	Estação	Anos de Reg	$\hat{\beta}$ (km/h)	$\hat{\gamma}$	B(N)	$\hat{\gamma}_o$
1	Afonso	15	77,92	4,760	0,908	4,322
2	Anápolis	2	67,92	10,185	-	-
3	Amapá	24	52,58	5,790	0,943	5,460
4	Belém	25	61,58	5,334	0,945	5,041
5	Belo Horizonte	25	56,36	6,540	0,945	6,180
6	Brasília	15	68,31	4,620	0,908	4,195
7	Bagé	14	76,86	6,015	0,901	5,420
8	Boa Vista	9	68,94	9,168	0,842	7,719
9	Caravelas	24	51,68	8,991	0,943	8,479
10	Cachimbo	16	57,62	3,582	0,914	3,274
11	Cuiabá	12	62,20	6,720	0,883	5,934
12	Campinas	25	89,93	5,868	0,945	5,545
13	Curitiba	25	79,31	4,935	0,945	4,664
14	Campo Grande	25	85,69	5,298	0,945	5,007
15	Carolina	8	47,71	11,983	0,820	9,826
16	Cumbica	25	80,52	5,570	0,945	5,264
17	Fortaleza	25	56,11	6,081	0,945	5,747
18	Florianópolis	25	85,38	5,990	0,945	5,661
19	Foz do Iguaçu	21	63,00	4,023	0,934	3,757
20	F. de Noronha	24	58,87	8,601	0,943	8,111
21	Goiânia	22	61,09	5,366	0,937	5,028
22	Jacareacanga	15	40,33	4,552	0,908	4,133
23	Londrina	13	69,83	4,037	0,893	3,605
24	Lapa	8	50,70	6,865	0,820	5,629
25	Manaus	17	63,37	4,729	0,918	4,341
26	Maceió	25	47,96	6,825	0,945	6,451
27	Natal	25	50,37	10,567	0,945	9,986
28	Ponta Porã	18	61,78	9,065	0,923	8,367
29	Parnaíba	14	61,61	4,332	0,901	3,903
30	Petrolina	9	40,57	6,519	0,842	5,489
31	Pirassununga	15	68,70	5,105	0,908	4,635
32	Porto Alegre	25	91,10	7,858	0,945	7,426
33	Porto Nacional	9	47,61	14,343	0,842	12,077
34	Porto Velho	6	57,72	3,417	0,752	2,570
35	Recife	24	54,12	9,367	0,943	8,833
36	Rio Branco	4	55,23	4,976	-	-
37	Rio de Janeiro (S. D.)	25	65,84	4,361	0,945	4,121
38	Santarém	21	46,89	5,765	0,934	5,385
39	São Luiz	25	52,53	5,378	0,945	5,082
40	Salvador	25	59,09	7,867	0,945	7,434
41	Santa Cruz	20	84,13	5,702	0,931	5,309
42	São Paulo (Cong.).	20	73,02	5,626	0,931	5,238
43	Santos	25	62,92	5,276	0,945	4,986
44	Santa Maria	22	79,91	4,455	0,937	4,174
45	Teresina	20	40,68	4,791	0,931	4,460
46	Uberlândia	16	56,47	5,349	0,914	4,889
47	Uruguaiana	25	92,43	4,634	0,945	4,379
48	Vitória	25	65,95	6,844	0,945	6,472
49	Vilhena	8	54,22	4,900	0,820	4,018

Anexo A8 - * Estações do Brasil empregadas para o cálculo do γ médio ponderado

Fonte: Padaratz, I. J.

Intervalo de Confiabilidade dos Fatores de Forma
$n = 5 \quad P \left[0,68 \leq \frac{\hat{\gamma}_0}{\gamma} \leq 2,78 \right] = 0,90$
$n = 10 \quad P \left[0,74 \leq \frac{\hat{\gamma}_0}{\gamma} \leq 1,81 \right] = 0,90$
$n = 20 \quad P \left[0,79 \leq \frac{\hat{\gamma}_0}{\gamma} \leq 1,45 \right] = 0,90$
$n = 30 \quad P \left[0,82 \leq \frac{\hat{\gamma}_0}{\gamma} \leq 1,33 \right] = 0,90$

Anexo A9 – Intervalo de confiabilidade dos fatores de forma

Fonte: Riera, J. D., Viollaz, A. J. & Reimundin, J. C.

ANEXO B

NBR 6118: 2003 E NBR 6123

Normas específica: ABNT NBR 6118 :2003 (Projeto de estruturas de concreto)

11.4.1.2 Ação do vento

Os esforços devidos à ação do vento devem ser considerados e recomenda-se que sejam determinados de acordo com o prescrito pela ABNT NBR. 6123, permitindo-se o emprego de regras simplificadas previstas em normas brasileiras específicas. (NBR.6118: 2003,p.56)

Normas específicas: - NBR 6123 (Forças devidas ao vento em edificações)

1. Objetivos

1.1 Esta norma fixa as condições exigíveis na consideração das forças devidas à ação estática e dinâmica do vento, para efeito de cálculo de edificações. (NBR.6123,1988,p.1).

4. Procedimentos para o cálculo das forças estáticas devidas ao vento nas edificações

As forças devidas ao vento sobre uma edificação devem ser calculadas separadamente para:

- a - elementos de vedação e suas fixações (telhas, vidros, esquadrias, painéis de vedação etc.);
- b - partes da estrutura (telhado, paredes, etc.);
- c - a estrutura como um todo (NBR.6123,1988, p. 2).

4.2 Determinação das forças estáticas devidas ao vento

As forças estáticas devidas ao vento são determinadas do seguinte modo:

- a) a velocidade básica do vento V_o , adequada ao local onde a estrutura será construída, é determinada de acordo com o disposto em 5.1;
- b) a velocidade básica do vento é multiplicada pelos fatores S_1 , S_2 , e S_3 para ser obtida a velocidade característica do vento V_K para a parte da edificação em consideração, de acordo com 5.2 a 5.5;

$$V_K = V_o S_1 S_2 S_3$$

- c) a velocidade característica do vento permite determinar a pressão dinâmica pela expressão:

$$q = 0,613 V_K^2$$

sendo (unidades SI): q em N/m^2 e V_K em m/s (NBR.6123,1988, p.4).

4.2.3 Coeficientes de força

A força global do vento sobre uma edificação ou parte dela, F_a , é obtida pela soma vetorial das forças do vento que atuam.

A componente da força global na direção do vento, força de arrasto F_a , é obtida por:

$$F_a = C_a q A_e$$

Onde:

C_a = coeficiente de arrasto

A_e = área frontal efetiva: área da projeção ortogonal da edificação, estrutura ou elemento estrutural sobre um plano perpendicular à direção do vento (área de sombra)
De um modo geral, uma componente qualquer da força global é obtida por:

$$F = C_1 q A$$

Onde:

C_1 = coeficiente de força, especificado em cada caso: C_x , C_y , etc

A = área de referência, especificada em cada caso (NBR.6123,1988, p.5).

5. Velocidade característica do vento

5.1 Velocidade básica do vento, V_0

A velocidade básica do vento, V_0 , é a velocidade de uma rajada de 3s, excedida em média uma vez, em 50 anos, a 10m acima do terreno, em campo aberto e plano.

5.1.1 Como regra geral, é admitido que o vento básico pode soprar de qualquer direção horizontal.

5.2 Fator topográfico, S_1

O fator topográfico S_1 leva em consideração as variações do relevo do terreno e é determinado do seguinte modo:

- a) terreno plano ou fracamente acidentado: $S_1 = 1,0$ (NBR.6123, 1988, p.5)
- b) taludes e morros: $S_1 = 1,0$
- c) vales profundos, protegidos de ventos de qualquer direção: $S_1 = 0,9$

5.3 Rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno: Fator S_2

O fator S_2 considera o efeito combinado da rugosidade do terreno, da variação da velocidade do vento com a altura acima do terreno e das dimensões da edificação ou parte da edificação em consideração (NBR 6123,1988, p. 8).

5.3.1 Rugosidade do terreno

Categoria II: Terrenos abertos em nível ou aproximadamente em nível, com poucos obstáculos isolados, tais como árvores e edificações baixas. Exemplos:

- zonas costeiras planas;
- pântanos com vegetação rala;
- campos de aviação;
- pradarias e charnecas;
- fazendas sem sebes ou muros.

A cota média de topo dos obstáculos é considerada inferior ou igual a 1,0m.

5.3.2 Dimensões da edificação

A velocidade do vento varia continuamente, e seu valor médio pode ser calculado sobre qualquer intervalo de tempo. Foi verificado que o intervalo mais curto das medidas usuais (3s) corresponde a rajadas cujas dimensões envolvem convenientemente obstáculos de até 20m na direção do vento médio (NBR 6123, 1988, p. 8).

Foram escolhidas as seguintes classes de edificações, partes de edificações e seus elementos, com intervalos de tempo para cálculo da velocidade média de, respectivamente, 3s, 5s, e 10s:

Classe A: Todas as unidades de vedação, seus elementos de fixação e peças individuais de estruturas sem vedação. Toda edificação na qual a maior dimensão horizontal ou vertical não excede 20m.

Classe B: Toda edificação ou parte de edificação para a qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal esteja entre 20m e 50m.

Classe C: Toda edificação ou parte de edificação para a qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal excede 50m.

Os valores de S_2 para as diversas Categorias de rugosidade do terreno e Classes de dimensões das edificações definidas nesta Norma são dados na tabela 2. (NBR 6123,1988,p.9)

5.4 Fator estatístico S_3

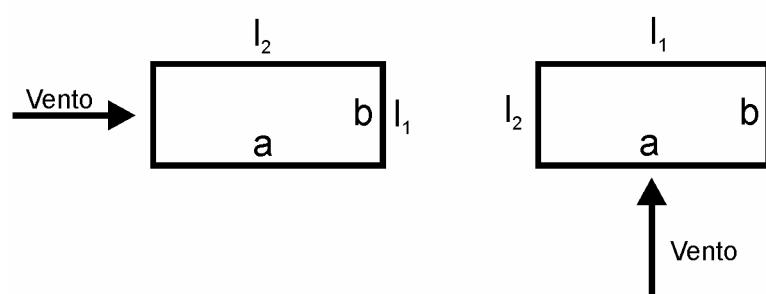
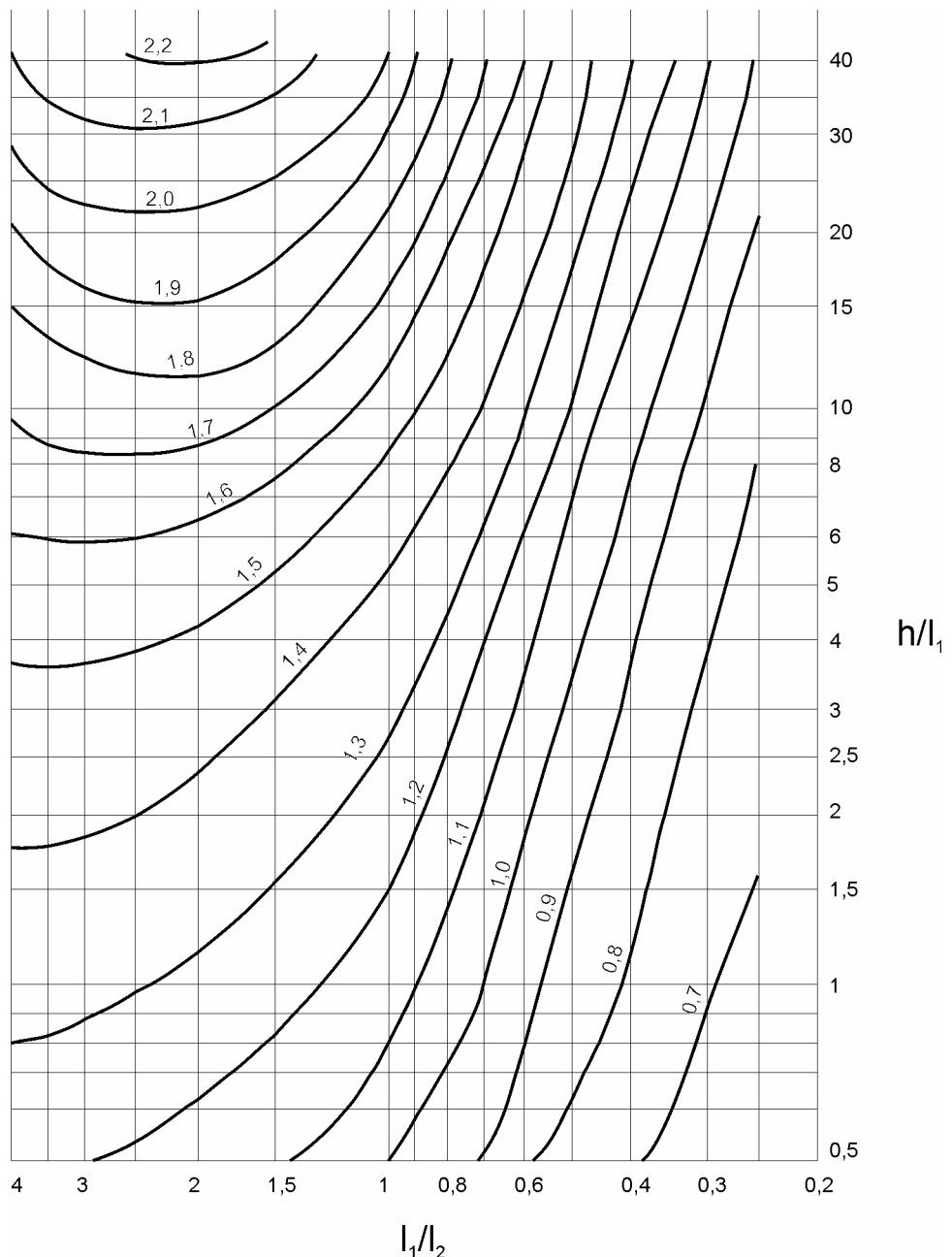
O fator estatístico S_3 é baseado em conceitos estatísticos, e considera o grau de segurança requerido e a vida útil da edificação. Segundo a definição de 5.1, a velocidade básica V_o é a velocidade do vento que apresenta um período de recorrência médio de 50 anos. A probabilidade de que a velocidade V_o seja igualada ou excedida nesse período é de 63%.

O nível de probabilidade (0,63) e a vida útil (50 anos) adotados são considerados adequados para edificações normais destinadas a moradias, hotéis, escritórios, etc. (Grupo 2). Na falta de uma norma específica sobre segurança nas edificações, ou de indicações correspondentes na norma estrutural, os valores mínimos do fator S_3 são os indicados na Tabela 3 (NBR 6123,1988,p.10).

6.3 Coeficiente de arrasto

Os coeficientes de arrasto indicados neste item são aplicáveis a corpos de secção constante ou fracamente variável.

6.3.1 Para vento incidindo perpendicularmente a cada uma das fachadas de uma edificação retangular em planta e assente no terreno, deve ser usado o gráfico da Figura 4 ou, para o caso excepcional de vento de alta turbulência (satisfazendo as exigências de 6.5.3), o gráfico da Figura 5. Os coeficientes de arrasto são dados, nessas figuras, em função das relações h/l_1 e l_1/l_2 . (NBR 6123,1988, p.20)



Anexo B1 - Coeficiente de arrasto C_a para edificações paralelepípedicas em vento de baixa turbulência
Fonte: NBR 6123

ANEXO C

SOFTWARE – “ESTIMATIVA DOS PARÂMETROS DAS DISTRIBUIÇÕES DE
FRECHET E GUMBEL”

Apresentação do cálculo do $\hat{\gamma}$ e do $\hat{\beta}$ para a estação de João Pessoa, através do software especialmente desenvolvido pelo engenheiro Carlos Vamberto de Araújo Martins, a partir da formulação que lhe foi apresentada para utilização neste trabalho.

Considerando a série de velocidade máxima anual (1971 a 2000) da estação de João Pessoa, extraída do quadro 10, inicia-se a utilização do programa.

Ano	1971	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85
Vmax. (km/h)	25	32	25	29	25	43	32	32	54	27	30	30	27	33	24

Ano	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	2000
Vmax. (km/h)	24	21	27	24	26	27	28	31	27	24	33	24	27	23	24

A interface que o programa “Estimativa dos Parâmetros da Distribuição de Frechet e de Gumbel” oferece ao usuário é simples e funcional, proporcionando rapidez nas entradas de dados e objetividade nas respostas. Nele, uma sub-rotina coloca os valores de V_i na ordem crescente.

Entrada de Dados:

1. Gama Inicial:

Como o valor de partida adotado deve ser menor ou igual ao valor a ser calculado, então, de acordo com Ivo José Padaratz (Velocidade Básica do Vento no Brasil), conclui-se que os valores de $\gamma_{(único)}$ para as séries de vento máximo no território brasileiro são maiores que 3. Adotou-se, neste trabalho, $\gamma_{(inicial)} = 3$.

2. Delta Gama:

Por se tratar de cálculo iterativo, faz-se necessário definir o valor para os acréscimos a serem efetuados ao valor do $\gamma_{(inicial)}$, até a última iteração. O valor considerado foi de 0,00005.

3. Número de Velocidades:

Esse número depende das ocorrências de velocidades máximas registradas durante o tempo definido para estudo. No caso da estação de João Pessoa, o número de velocidades corresponde a $n = 30$.

4. Resíduo:

O valor adotado de 0,00001, para o campo chamado de “resíduo,” foi considerado como satisfatório pelo fato de ser muito próximo a zero.

Saída dos resultados:

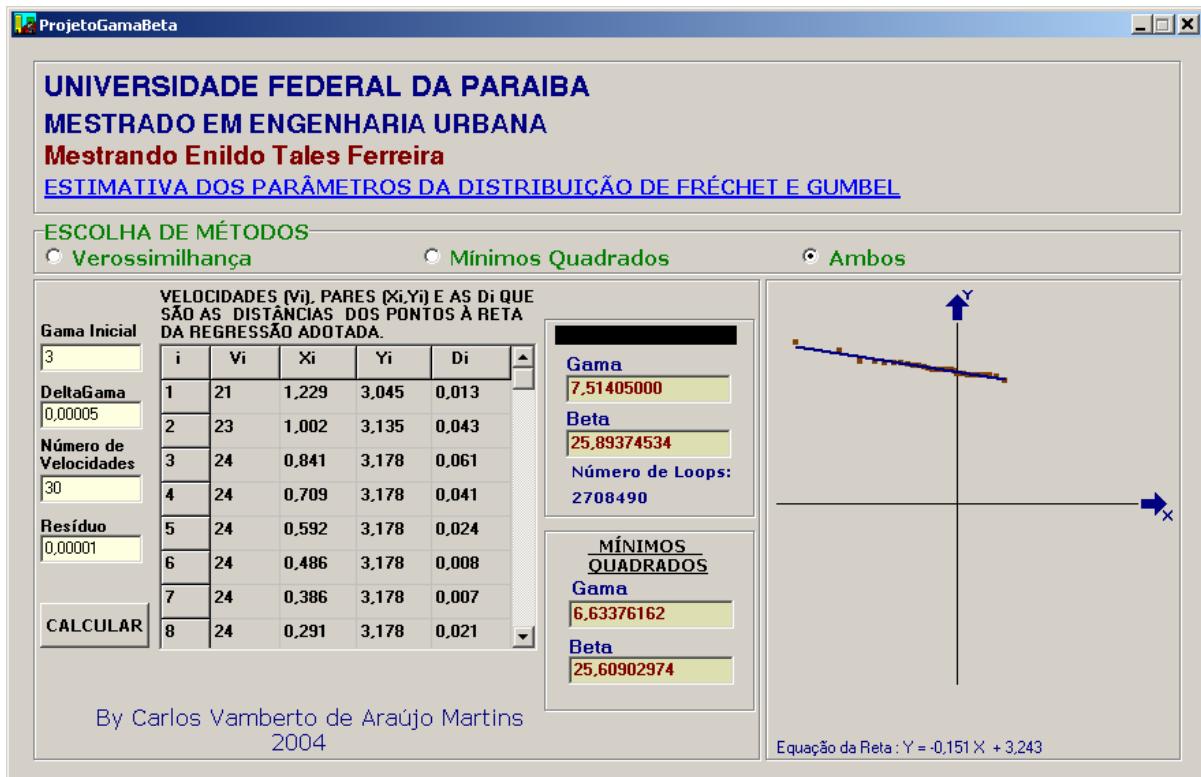
1. O programa fornece as opções de cálculo para a escolha dos métodos a serem utilizados: *Verossimilhança – Mínimos Quadrados – Ambos*. Escolhida a opção “ambos,” os resultados, foram: *Gama* ($\hat{\gamma}$) = 7,5140 e *Beta* ($\hat{\beta}$) = 25,8937, *Gama* ($\hat{\gamma}$) = 6,6337 e *Beta* ($\hat{\beta}$) = 25,6090. No primeiro par ($\hat{\gamma}, \hat{\beta}$), tem-se os estimadores dos parâmetros da função de Frechet, e no outro, os estimadores da função de Gumbel para a série de V_i da estação de João Pessoa.

2. Número de Loops:

O programa fornece também o número de Loops realizados, ou seja, o número de iterações necessárias. No caso da estação de João Pessoa, o programa realizou 2.708.490 iterações.

3. O programa calcula e apresenta na tela os valores dos pares ordenados, correspondentes às velocidades máximas de cada ano, bem como o valor da distância desses pontos à reta da regressão adotada pelo método dos Mínimos Quadrados. No caso das estações da Paraíba, todos os pontos estavam próximos à reta, não sendo necessário ser descartado nenhum deles, como ocorreu com valores de outras estações do Brasil.

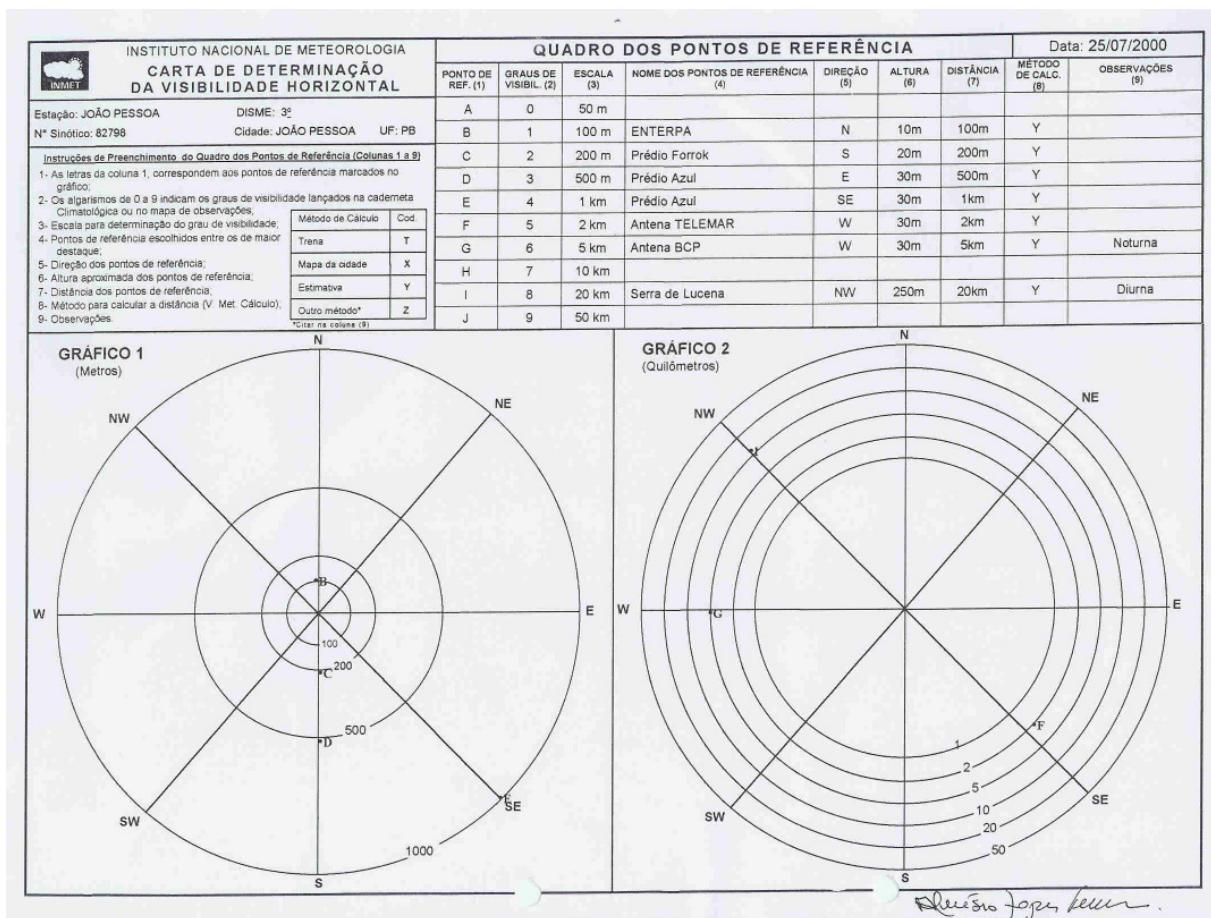
Sempre com os mesmos valores de entrada para *Gama Inicial*, *Delta Gama*, *Resíduo*, e com as velocidades máximas anuais respectivas de cada estação, obtiveram-se os valores para ($\hat{\gamma}$, $\hat{\beta}$), explicitados no quadro 11.



Anexo C1 Demonstrativo da tela do programa – Estimativa dos Parâmetros da Distribuição de Frechet e Gumbel
Fonte: Dados da pesquisa

ANEXO D

FICHAS, CARTAS E FOTOS



Anexo D1 – Carta de determinação da visibilidade horizontal da estação de João Pessoa
Fonte - INMET



ESTAÇÃO _____

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA

ESTADO _____

MAPA DE OBSERVAÇÕES METEOROLÓGICAS

LAT. _____ Hp _____ m

LONG. _____ Hz _____ m Mês _____ Ano _____

DIAS	(1) PRESSÃO (mb)			TEMPERATURA (°C)						(6) Umid. Rel. (%)	(7) Vento (Dir e Vel.)	(8) Precip. (mm)	(9) Evap.	(10) Insol.	(11) Nebulosidade (0/10)			(12) Visibilidade			(13) Precipitação (mm)					
	(2) Ar			(3) Búlbo úmido			Extrema								12h 18h 24h			12h 18h 24h			12h 18h 24h					
	12h	18h	24h	12h	18h	24h	12h	18h	24h	(6) Tx	(5) Tn	12h	18h	24h	12h	18h	24h	Total	(mm)	Hora	12h	18h	24h	12h	18h	24h
1																										
2																										
3																										
4																										
5																										
6																										
7																										
8																										
9																										
10																										
1º período																										
11																										
12																										
13																										
14																										
15																										
16																										
17																										
18																										
19																										
20																										
2º período																										
21																										
23																										
24																										
25																										
26																										
27																										
28																										
29																										
30																										
31																										
3º período																										
SOMA																										
MÉDIA																										
Extremos	Max.																									
	Min.																									

Pressão Média 12h _____
 Pressão Média 18h _____
 Pressão Média 24h _____
 Soma _____
 P Média (Soma ÷ 3) _____

I

Temp. Média 12h _____
 2 x (Temp. Média 24h) _____
 Temp. Máx. Média 24h _____
 Temp. Min. Média 24h _____
 Soma _____
 T. Média (Soma ÷ 5) _____

II

Umid. Média 12h _____
 Umid. Média 18h _____
 2 x (Umid. Média 24h) _____
 U. Média (Soma ÷ 4) _____

III

VENTO

Dir	C	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
12									
18									
24									
Total									

IV

Veloc. Média 12h _____
 Veloc. Média 18h _____
 Veloc. Média 24h _____
 Soma _____
 V. Média (Soma ÷ 3) _____
 Direção predominante 1º, 2º _____

V

Neb. Média 12h _____
 Neb. Média 18h _____
 Neb. Média 24h _____
 Soma _____
 N. Média (Soma ÷ 3) _____

VI

Visib. Média 12h _____
 Visib. Média 18h _____
 Visib. Média 24h _____
 Soma _____
 Vis. Média (Soma ÷ 3) _____

VII

CGD-RE-1010-A

Anexo D2 – Mapa de observações meteorológicas - Fonte INMET



INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA
3º DISTRITO DE METEOROLOGIA

FICHA DE INSPEÇÃO Nº: 002/02

1 - OBJETIVO DA INSPEÇÃO:

Calibração Manutenção Preventiva Manutenção Corretiva Instalação Mudança de local

2 - DADOS DA ESTAÇÃO

IDENTIFICAÇÃO DA ESTAÇÃO

DISME	ESTAÇÃO				NÚMERO	UF
3º	JOÃO PESSOA				82798	PB
LATITUDE	LONGITUDE	Hp (m)	Hz (m)	DECLIN. MAG.	CLASSE	
07°06' S	N/S	34°52' W	7,43	7,73	-22,12	
Orgão: INMET		Data da Fundação: 01/01/1912		Data da Reinstalação: 04/1962		
Correção de Gravidade = -2,5		Hora Local Correspondente a 12 h TMG = 09:00				
Endereço: DFA – BR 230, Km 14 Estrada João Pessoa - Cabedelo						
INDIQUE O(S) MEIO(S) DE COMUNICAÇÃO COM A ESTAÇÃO						
<input checked="" type="checkbox"/> Telefone da Estação ou do Observador <input type="checkbox"/> SSB			<input type="checkbox"/> Telefone Público <input checked="" type="checkbox"/> Correio			
PRINCIPAL VIA DE ACESSO A ESTAÇÃO						
<input checked="" type="checkbox"/> Rodovia		<input type="checkbox"/> Ferrovia		<input type="checkbox"/> Via Fluvial		

3 - EQUIPAMENTOS DA ESTAÇÃO

INSTRUMENTO	FABRICANTE	NÚMERO	REGISTRO PATRIMONIAL	DATA DA INSTALAÇÃO	ALT. ACIMA DO SOLO (m)
Barômetro	Fuess	6352	-	07/07/1995	0,82
Barógrafo	-	-	-	/ /	-
Microbarógrafo	Fuess	7249	-	25/11/1992	0,82
Termômetro Seco	Fuess	7031	-	25/11/1992	1,36
Termômetro Úmido	Fuess	86913	-	07/07/1976	1,36
Termômetro de Máxima	Fuess	7143	-	25/11/1992	1,65
Termômetro de Mínima	Fuess	4393	-	18/01/2002	1,60
Termôm. de Máx. (tanque)	-	-	-	/ /	-
Termôm. de Mín. (tanque)	-	-	-	/ /	-
Termôm. de Mín. (relva)	-	-	-	/ /	-
Termômetro de Solo (2cm)	-	-	-	/ /	
Termômetro de Solo (5cm)	-	-	-	/ /	

Anexo D3 – Ficha de inspeção da estação de João Pessoa – Fonte INMET
Fonte - INMET

Termômetro de Solo (10cm)	-	-	-	/ /	
Termômetro de Solo (20cm)	-	-	-	/ /	
Termômetro de Solo (30cm)	-	-	-	/ /	
Termógrafo	-	-	-	/ /	-
Termohigrógrafo	Fuess	0296	-	22/02/1992	1,25
Higrógrafo	-	-	-	/ /	-
Catavento	-	-	-	/ /	-
Anemômetro de Contato	-	-	-	/ /	-
Anemômetro Totalizador	Belfort	1188	-	01/01/1976	0,60
Anemógrafo Universal	Fuess	517	-	11/07/1977	10,00
Pluviômetro	IH	S/N	3302	19/04/2002	1,50
Pluviógrafo	Fuess	2433	-	21/02/1992	1,50
Evaporímetro Tipo Piche	Hermex	S/N	-	07/07/1995	1,90
Tanque de Evaporação	IH	S/N	-	28/02/1975	0,50
Anem. de Contato (tanque)	-	-	-	/ /	-
Anemômetro (2m do solo)	-	-	-	/ /	-
Heliógrafo	Fuess	9494	-	28/12/75	1,70
Piranógrafo	-	-	-	/ /	-
Actinógrafo	-	-	-	/ /	-
Piranômetro	-	-	-	/ /	-
Integrador Totalizador	-	-	-	/ /	-
	-	-	-	/ /	-
Observações:					


 Wilibaldo Lopes de Mendonça
 Meteorologista, CREA-PI N.º 5.010
 Chefe da SEOMA

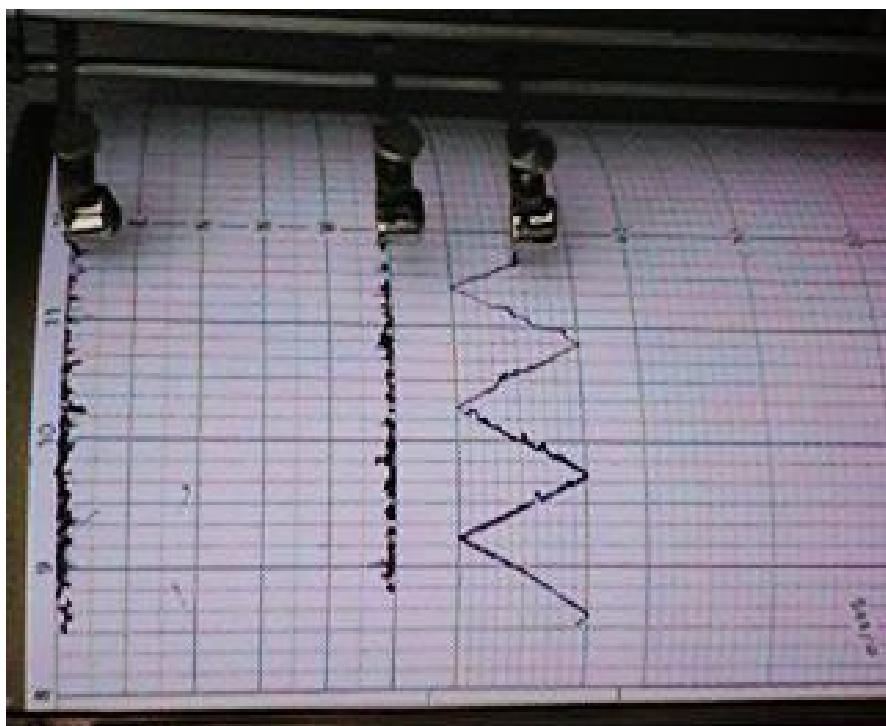
Anexo D4 – Continuação da ficha de inspeção da estação de João Pessoa – Fonte INMET
 Fonte - INMET



Anexo D5 – Foto do anemômetro totalizador da estação de Areia
Fonte: Dados da pesquisa



Anexo D6 – Foto do anemógrafo universal (Fuess) da estação de Areia
Fonte: Dados da pesquisa



Anexo D7 – Foto ampliada do anemógrafo universal (Fuess) da estação de Areia
Fonte: Dados da pesquisa