

**RELATÓRIO TÉCNICO**

**161 353-205**

Miramar Empreendimentos Imobiliários Ltda.

20 de novembro de 2020

Estudo do conforto de pedestres devido à ação mecânica do vento no empreendimento Navegantes, a ser construído em Santos - SP

**CLIENTE**

Miramar Empreendimentos Imobiliários Ltda.

**UNIDADE RESPONSÁVEL**

Área de Concentração Tecnológica em Metrologia – ACTMT  
Laboratório de Vazão

## RESUMO

A Miramar Empreendimentos Imobiliários Ltda. solicitou ao IPT o ensaio em túnel de vento para a realização de um estudo de conforto de pedestres devido à ação mecânica do vento no empreendimento Navegantes, a ser construído em Santos- SP. Para a realização do ensaio no Túnel de Vento de Camada Limite Atmosférica do IPT, foi construído um modelo reduzido do empreendimento na escala 1:200. O modelo foi instrumentado com 21 sensores de velocidade omnidirecionais. Os sensores foram distribuídos considerando as direções principais do vento, as áreas de convivência e lazer do embasamento e os resultados qualitativos de um ensaio de erosão de areia realizado previamente. Os dados meteorológicos dos últimos 4 anos da estação meteorológica automática de Bertioga foram fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e utilizados em conjunto com o critério de conforto adotado pela norma holandesa NEN 8100 (2006) para a análise dos pontos de medição. A região de convivência e de lazer da base do edifício apresentou condições boas tanto para travessia quanto para permanência. No que diz respeito ao risco de acidentes, os valores obtidos em todas as situações ficaram abaixo dos limites do critério utilizado.

Palavras-chave: ensaio em túnel de vento, modelo em escala reduzida, conforto de pedestres.

## Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Objetivos</b>	<b>1</b>
2.1	Objetivos Gerais	1
2.2	Objetivos Específicos	3
<b>3</b>	<b>Metodologia</b>	<b>3</b>
3.1	Simulação da camada limite atmosférica	3
3.2	Determinação dos fatores de amplificação	4
3.3	Dados meteorológicos	6
3.4	Critérios de conforto e segurança adotados	7
3.5	Ensaio realizados	8
3.6	Cálculo das probabilidades do vento ultrapassar os limites do critério de conforto adotado	10
<b>4</b>	<b>Resultados e comentários gerais</b>	<b>12</b>
4.1	Fatores de amplificação obtidos com o ensaio em túnel de vento	12
4.2	Velocidades limites na estação meteorológica para critérios de conforto e de perigo	14
4.3	Probabilidade de excedência das velocidades limites de conforto	17
<b>5</b>	<b>Considerações finais</b>	<b>24</b>
<b>6</b>	<b>Equipe Técnica</b>	<b>25</b>
<b>7</b>	<b>Bibliografia</b>	<b>26</b>
<b>8</b>	<b>Referências Bibliográficas</b>	<b>26</b>
	<b>ANEXO A - Velocidades medidas no túnel de vento</b>	<b>27</b>

<b>ANEXO B - Fatores de amplificação de <i>design</i> . . . . .</b>	<b>31</b>
<b>ANEXO C - Percentual de incidência de cada direção do vento e funções de distribuição empíricas . . . . .</b>	<b>36</b>

## RELATÓRIO TÉCNICO Nº 161 353-205

**TÍTULO:** Estudo do conforto de pedestres devido à ação mecânica do vento no empreendimento Navegantes, a ser construído em Santos - SP

**CLIENTE:** Miramar Empreendimentos Imobiliários Ltda.  
Av. Gal. Francisco Glicério, 206  
CEP – Santos – SP

### 1 INTRODUÇÃO

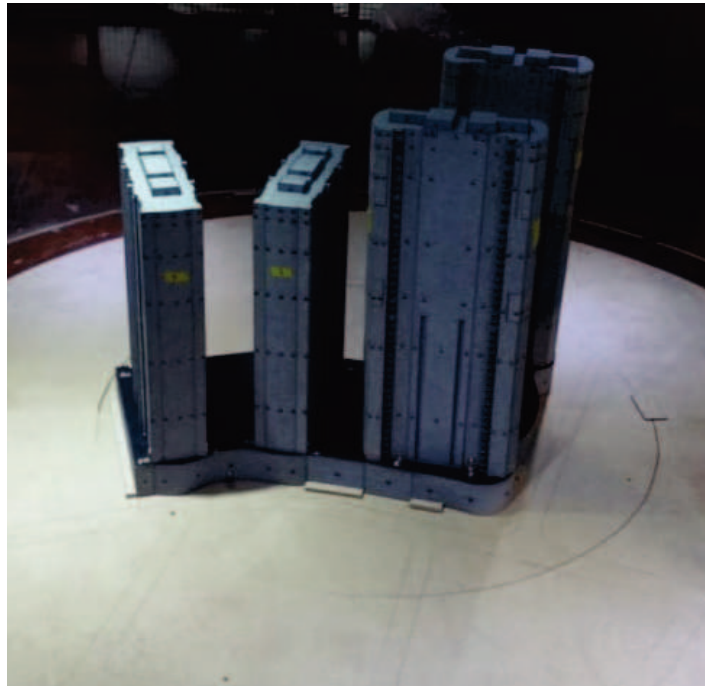
O Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. - IPT, foi contratado pela Miramar Empreendimentos Imobiliários Ltda. para realizar ensaios de conforto de pedestres no empreendimento Navegantes, a ser construído em Santos, SP. Os ensaios foram realizados no Túnel de Vento de Camada Limite Atmosférica do Laboratório de Vazão. Para tanto, foi utilizado um modelo em escala reduzida 1:200. A figura 1 mostra o modelo instalado no interior do túnel de vento de camada limite atmosférica do IPT.

O túnel de vento do IPT é de circuito aberto, mede 41 m de comprimento total, sendo 28 m de seção de testes reta, com largura de 3 m e altura de 2 m. Este túnel foi projetado para ensaios estáticos e dinâmicos de construções civis, permitindo a simulação das principais características de ventos naturais. A figura 2 mostra duas vistas do túnel de vento do IPT, uma elevação e uma perspectiva isométrica.

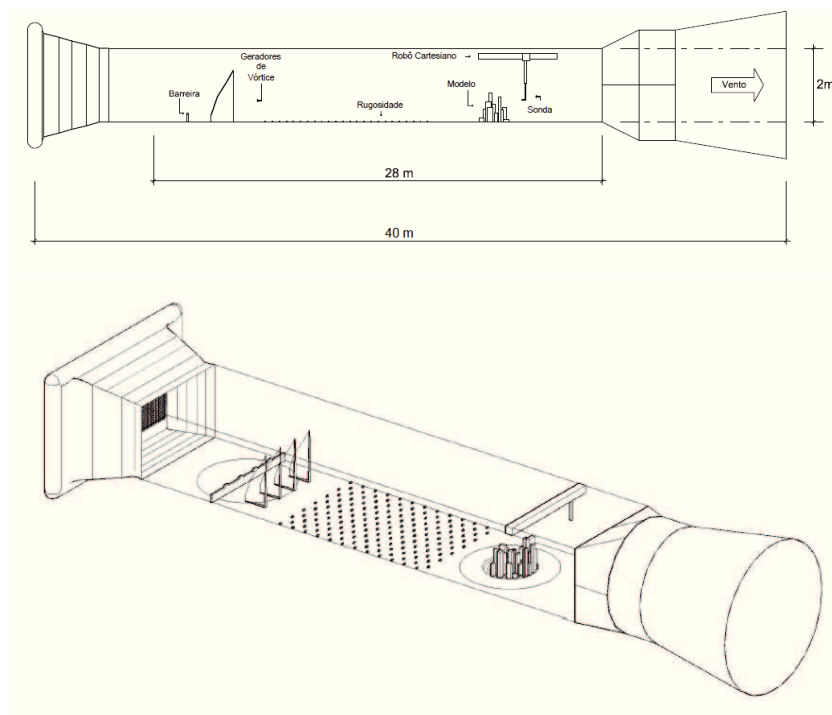
### 2 OBJETIVOS

#### 2.1 Objetivos Gerais

- Determinar a velocidade do vento na altura dos pedestres em áreas específicas do empreendimento Navegantes utilizando ensaios experimentais em túnel de vento.
- Verificar as condições de conforto de pedestres utilizando, além dos dados experimentais medidos, os dados da estação meteorológica automática de Bertioga fornecidos pelo INMET e os critérios de conforto e de perigo estabelecidos pela norma holandesa NEN 8100 (2006, *apud* WILLEMSSEN, WISSE, 2007, p.1546).



**Figura 1** – Modelo instalado no túnel de vento do IPT.



**Figura 2** – Croquis da elevação e da perspectiva isométrica do túnel de vento do IPT.

## 2.2 Objetivos Específicos

- Realizar ensaios em túnel de vento de modelo reduzido, na escala 1:200, do empreendimento Navegantes.
- Determinar o posicionamento dos sensores de velocidade a partir das direções preferenciais do vento, de detalhes do empreendimento e de ensaios qualitativos de erosão de areia.
- Medir a velocidade em regiões pré determinadas para alguns ângulos de incidência do vento utilizando sensores de velocidade omnidirecionais construídos a partir de termistores.

## 3 METODOLOGIA

Na metodologia adotada para análise do conforto devido à ação mecânica do vento (BLOCKEN, CARMELIET, 2004, BLOCKEN, ROELS, CARMELIET, 2004), foi empregado o critério de conforto utilizado pela norma holandesa NEN 8100 (2006, *apud* WILLEMSEN, WISSE, 2007, p.1546).

### 3.1 Simulação da camada limite atmosférica

O vento foi simulado de acordo com as características do terreno na região do empreendimento. Desta forma, foi modelado um terreno entre as categorias I e II pela norma brasileira NBR 6123 (1988), definido como:

- Categoria I: Superfícies lisas, de grandes dimensões, com mais de 5 km de extensão, medida na direção e sentido do vento incidente.
- Categoria II: Terrenos abertos em nível ou aproximadamente em nível, com poucos obstáculos isolados, tais como árvores e edificações baixas.

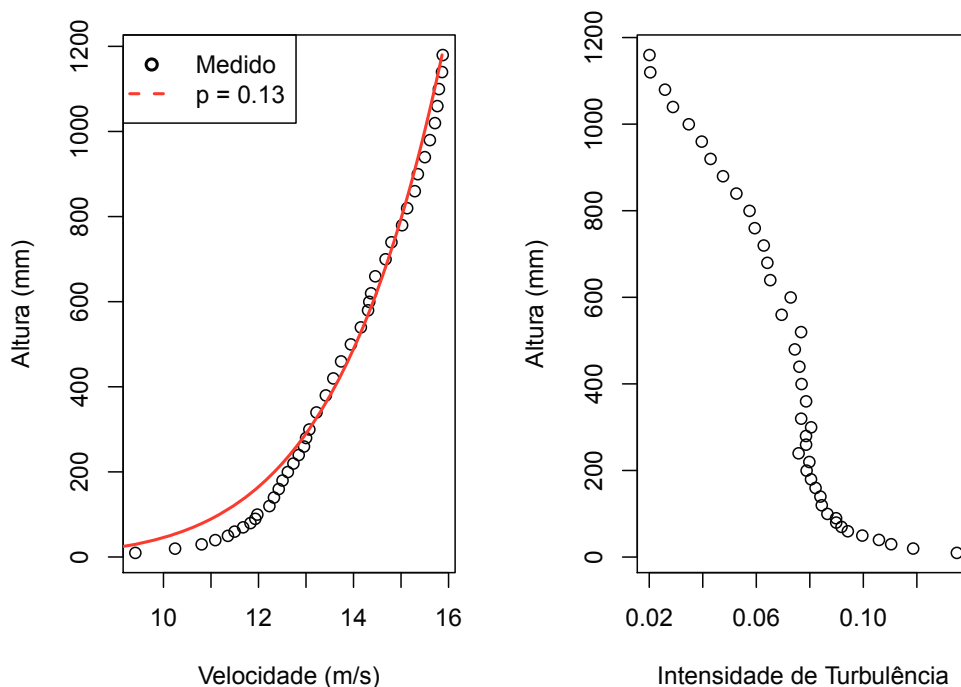
Para a simulação de uma camada limite com as características desejadas, foram utilizados geradores de vórtices e barreira castelada a montante do modelo. Não foram colocados elementos rugosos adicionais no piso do túnel de vento.

O perfil de velocidades da camada limite atmosférica é representado pela lei de potência dada por:

$$\frac{V}{V_{ref}} = \left( \frac{z}{z_{ref}} \right)^p \quad (1)$$

que indica as velocidades médias temporais  $V$  obtidas para cada altura  $z$ , sendo  $V_{ref}$  a velocidade medida na altura de referência,  $z_{ref}$ . Neste ensaio, o valor da potência  $p$  encontrado foi de 0,13, valor que representa terrenos entre as categorias I e II de acordo com a NBR 6123. A altura de referência adotada foi de  $z_{ref} = 152,6$  m, no protótipo, que corresponde à altura aproximada do ponto mais alto dos edifícios em relação ao nível da rua. Na escala do modelo, a velocidade e altura de referência foram:  $V_{ref} \approx 15,8$  m/s e  $z_{ref} = 763$  mm.

A figura 3 mostra os dados experimentais obtidos para o perfil de velocidades.



**Figura 3** – Perfis de velocidade e de intensidade de turbulência simulados em túnel de vento.

### 3.2 Determinação dos fatores de amplificação

Os fatores de amplificação são definidos como a razão entre a velocidade média local na altura do pedestre ( $V_{IS}$ ) e a velocidade média na estação meteorológica ( $V_{meteo}$ ) a 10 metros de altura:

$$\gamma = \frac{V_{IS}}{V_{meteo}}. \quad (2)$$



O fator de amplificação pode ser separado em duas parcelas. O primeiro termo do lado direito da equação 3 se refere à parcela relativa ao arranjo físico do local e, portanto, será denominada fator de amplificação de *design* ( $\gamma_{design}$ ). O segundo termo se refere à diferença entre o terreno observado na estação meteorológica e o terreno no local do empreendimento. Será denominado fator de amplificação de terreno ( $\gamma_{terreno}$ ).

$$\gamma = \left( \frac{V_{IS}}{V_{IS,10}} \right) \left( \frac{V_{IS,10}}{V_{meteo}} \right) \quad (3)$$

$$\gamma = \gamma_{design} \cdot \gamma_{terreno} \quad (4)$$

Os fatores de amplificação de *design*,  $\gamma_{design}$ , foram obtidos com os ensaios em túnel de vento, utilizando, para tanto, sensores de velocidade omnidirecionais (figura 4). Tais sensores, fabricados a partir de termistores, foram previamente calibrados.

Os sensores foram posicionados a aproximadamente 8 mm da superfície do modelo o que, na escala real, corresponde à altura de 1,2 m.



**Figura 4** – Sensor de velocidade fabricado a partir de termistor.

A segunda parcela do fator de amplificação,  $\gamma_{terreno}$ , se refere às diferenças de categoria de terreno entre o local do empreendimento e a estação meteorológica. O terreno do entorno da estação meteorológica foi considerado entre as categorias I e II. É necessário definir  $\gamma_{terreno}$  pois não existem dados meteorológicos específicos para o local em que será construído o empreendimento. Por meio da norma brasileira NBR 6123 (1988), chega-se que a razão entre as velocidades médias horárias a 10 metros de altura entre o local do empreendimento e a estação meteorológica pode ser dada pela razão dos parâmetros  $S_2$  nas respectivas categorias <sup>1</sup>, como mostrado abaixo na equação 5. É importante ressal-

<sup>1</sup>O fator  $S_2$  considera a influência da rugosidade do terreno, das dimensões da edificação ou parte da edificação em estudo e de sua altura sobre o terreno.

tar que os valores de  $S_2$  da norma brasileira dizem respeito a ventos extremos, mas foram utilizados por ausência de melhor aproximação. Sendo assim,  $\gamma_{terreno}$  é igual a 1.

$$\frac{V_{IS,10}}{V_{meteo}} = \frac{S_{2,IS}^{1h}}{S_{2,meteo}^{1h}} = 1 \quad (5)$$

### 3.3 Dados meteorológicos

Foram utilizados os dados meteorológicos de velocidade média e direção do vento dos últimos 4 anos da estação automática de Bertioga (código A765), fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), para a realização deste estudo.

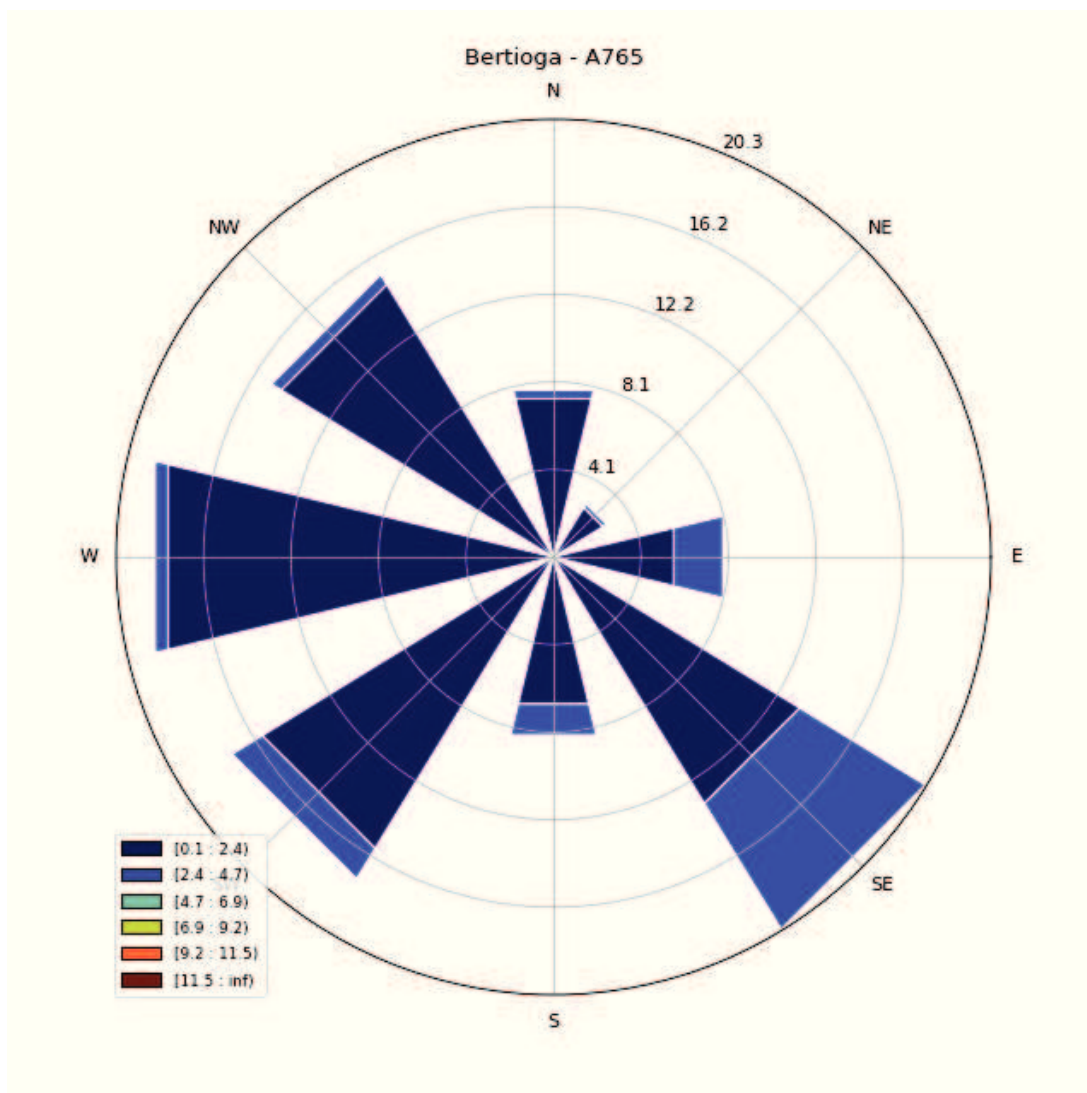
A rosa dos ventos dos dados históricos é mostrada na figura 5. É importante ressaltar que os dados médios fornecidos são para cada hora do dia e que, tanto para a confecção da rosa dos ventos, quanto para o processamento subsequente, foram empregados apenas os dados completos, ou seja, dados horários com informação de ângulo de incidência e de velocidade média do vento.

Todos os dados foram divididos em oito incidências do vento diferentes: norte (N), nordeste (NE), leste (E), sudeste (SE), sul (S), sudoeste (SW), oeste (W) e noroeste (NW). Para cada ângulo de incidência do vento foi estimada a função de distribuição empírica (FDE). Para a estimativa, foi utilizada a função *ecdf* do pacote *StatsBase* da linguagem Julia.

Foi realizada uma análise da sazonalidade. Os dados foram divididos por trimestre do ano como mostra a tabela 1.

**Tabela 1** – Divisão dos trimestres do ano.

<b>Trimestre</b>	<b>Meses</b>
1	janeiro, fevereiro, março
2	abril, maio, junho
3	julho, agosto, setembro
4	outubro, novembro, dezembro



**Figura 5** – Rosa dos ventos dos dados meteorológicos dos últimos 4 anos da estação automática de Bertioga.

### 3.4 Critérios de conforto e segurança adotados

Neste relatório adotou-se o critério de conforto exposto na norma holandesa NEN 8100 (2006, *apud* WILLEMSSEN, WISSE, 2007, p.1546) mostrada no quadro 1. O critério de conforto baseia-se na velocidade média horária. O trabalho de Bottema (1993) apresenta uma revisão de diversos critérios de conforto pensando apenas na ação mecânica do vento. Neste trabalho fica claro que não existe consenso sobre a adoção de um critério único. Contudo, após várias considerações, Bottema (1993) utiliza um critério que, acrescidas algumas outras hipóteses, é o empregado na norma holandesa NEN 8100 (2006), utilizado como referência neste trabalho.

**Quadro 1** – Critério de conforto da norma holandesa NEN 8100 (2006, *apud* WILLEMSEN, WISSE, 2007, p.1546).

Criteria for wind comfort and danger				
Wind comfort				
$P(V_{IS} > 5 \text{ m/s})$ (in % hours per year)	Grade	Activity area		
		Traversing	Strolling	Sitting
<2.5	A	Good	Good	Good
2.5–5.0	B	Good	Good	Moderate
5.0–10	C	Good	Moderate	Poor
10–20	D	Moderate	Poor	Poor
> 20	E	Poor	Poor	Poor
Wind danger				
$P(V_{IS} > 15 \text{ m/s})$ in % hours per year		Limited risk	0.05–0.3% hours per year	
		Dangerous	>0.3% hour per year	

### 3.5 Ensaios realizados

Os ensaios foram realizados para diversas incidências do vento, seguindo a orientação mostrada na figura 6. O pior caso em cada faixa considerada foi utilizado para os cálculos subsequentes. As faixas de cada direção do vento são mostradas na tabela 2, em que os ângulos considerados seguem a nomenclatura do INMET, ou seja, 0° corresponde ao norte, 90° ao leste e assim sucessivamente.

Para a medição da velocidade à altura dos pedestres foram utilizados sensores de velocidade omnidirecionais construídos a partir de termistores e desenvolvidos especificamente para o estudo da velocidade próxima à superfície do modelo (JABARDO, MARTINS, NADER, 2019). Ao todo, 21 sensores foram posicionados em áreas de convivência do empreendimento, como mostrado na figura 7. Nas tabelas mostradas nos resultados, a numeração dos sensores apresenta o prefixo "U".

Os pontos de medição com os sensores omnidirecionais foram definidos a partir de um estudo qualitativo anterior. Foi utilizada a técnica de erosão de areia. Tal técnica consiste em depositar na região de interesse do modelo uma fina camada de areia de mesma granulometria, aumentar a velocidade do vento de forma incremental e comparar os padrões de erosão formados. Regiões de maiores velocidades tendem a ser as primeiras erodidas, como representado na figura 8. A técnica de erosão é explicada por Martins et al (2018).

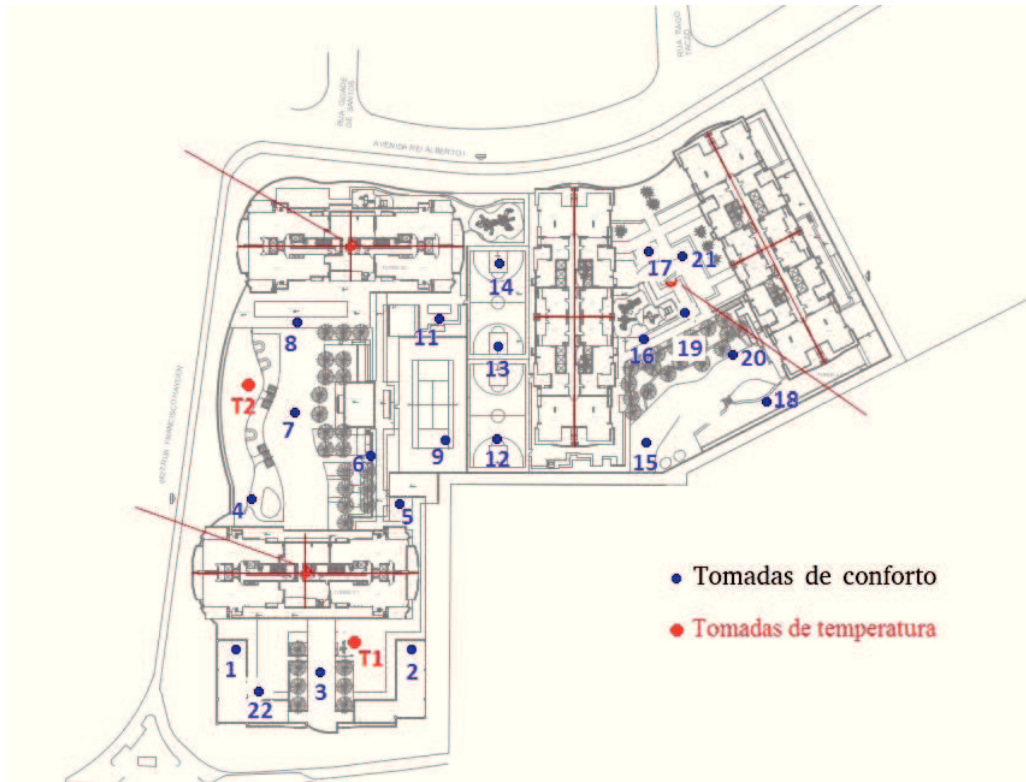


**Figura 6** – Planta do empreendimento com indicação do norte.

**Tabela 2** – Faixas das direções do vento considerando nomenclatura do INMET.

Direção do vento	Ângulos considerados ( $\theta$ )
<b>N</b>	$0^\circ \leq \theta \leq 22,5^\circ$ e $337,5^\circ < \theta \leq 360^\circ$
<b>NE</b>	$22,5^\circ < \theta \leq 67,5^\circ$
<b>E</b>	$67,5^\circ < \theta \leq 112,5^\circ$
<b>SE</b>	$112,5^\circ < \theta \leq 157,5^\circ$
<b>S</b>	$157,5^\circ < \theta \leq 202,5^\circ$
<b>SW</b>	$202,5^\circ < \theta \leq 247,5^\circ$
<b>W</b>	$247,5^\circ < \theta \leq 292,5^\circ$
<b>NW</b>	$292,5^\circ < \theta \leq 337,5^\circ$





**Figura 7** – Identificação dos termistores instalados no modelo para determinação da velocidade, em escala reduzida, no nível do pedestre.



**Figura 8** – Erosão observada para ensaio com vento sudeste. As figuras, da esquerda à direita, representam os padrões observados com o aumento da velocidade no túnel de vento.

### 3.6 Cálculo das probabilidades do vento ultrapassar os limites do critério de conforto adotado

A partir dos fatores de amplificação, obtidos com os ensaios em túnel de vento, e das funções de distribuição empíricas estimadas dos dados meteorológicos, é possível, para

cada ângulo de incidência do vento, determinar a probabilidade da velocidade ultrapassar um certo valor limite ( $V_{lim}$ ), como segue.

$$P(\theta) = P_{\theta}(V > V_{lim}) = 100 \cdot A(\theta) [1 - FDE_{\theta}(V_{lim})] \quad (6)$$

Na equação acima,  $A(\theta)$  é o percentual do tempo (valor entre 0 e 1) em que o vento encontra-se em determinada direção  $\theta$ , ou seja, o número de eventos para determinada direção, dividido pelo número total de eventos.  $FDE_{\theta}$ , conforme já mencionado, é a função de distribuição empírica para cada ângulo de incidência do vento. O anexo C deste relatório técnico apresenta os valores de  $A(\theta)$  obtidos dos dados históricos da estação meteorológica bem como figuras indicando as funções de distribuição empíricas. O termo  $V_{lim}(\theta)$ , por sua vez, é a velocidade limiar, razão entre  $V_{IS}$  e os fatores de amplificação, como mostrado abaixo.

$$V_{lim}(\theta) = \frac{V_{IS}}{\gamma(\theta)} \quad (7)$$

Calculando as probabilidades da velocidade exceder a velocidade limiar para cada ângulo de incidência, pode-se determinar a probabilidade total e comparar com os critérios da NEN 8100 (2006, *apud* WILLEMSSEN, WISSE, 2007, p.1546).

## 4 RESULTADOS E COMENTÁRIOS GERAIS

### 4.1 Fatores de amplificação obtidos com o ensaio em túnel de vento

Foram medidas as velocidades em pontos específicos do modelo, apresentados na figura 7, para diferentes ângulos de incidência do túnel de vento. Todos os valores de velocidade média medidos são apresentados no anexo A deste relatório técnico.

Seguindo o que foi exposto na seção 3.2, obteve-se os piores valores de  $\gamma_{design}$  médios para cada sensor e ângulo de incidência do vento. O anexo B traz todos os valores de  $\gamma_{design}$  médios medidos para cada ângulo de incidência do vento medido.

Conforme mencionado anteriormente, foi considerado que o terreno do local da construção é de mesma categoria do terreno da estação meteorológica, ou seja,  $\gamma_{terreno}$  igual a 1,0. Deste modo, os valores de  $\gamma$  médio para cada sensor e ângulo de incidência do vento são idênticos aos valores de  $\gamma_{design}$  dados no anexo B. Os piores casos de  $\gamma$  médio, separados em oito direções do vento distintas (norte, nordeste, leste, sudeste, sul, sudoeste, oeste e noroeste), são mostrados na tabela 3.



**Tabela 3** – Piores fatores de amplificação ( $\gamma$ ) médios por ângulo de incidência do vento.

sensor	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
U1	0,213	0,227	0,459	1,07	0,985	0,647	1,454	1,197
U2	0,419	0,357	1,263	1,287	0,82	0,943	0,964	0,437
U3	0,279	0,245	0,922	0,965	0,416	0,458	0,977	0,563
U4	0,624	0,628	0,503	0,403	0,473	0,556	0,949	0,479
U5	0,965	0,642	1,234	1,37	1,41	0,53	0,863	1,017
U6	0,947	0,381	0,871	1,102	1,021	0,564	0,925	0,834
U7	0,939	0,546	0,966	1,413	1,266	0,938	0,94	1,025
U8	0,474	0,56	0,623	1,27	1,316	1,137	1,326	1,256
U9	0,773	0,689	0,873	1,217	1,142	0,84	0,778	0,758
U11	0,697	0,329	0,396	0,55	0,774	1,078	0,669	0,691
U12	1,031	0,879	0,92	1,184	1,379	1,392	1,153	1,176
U13	0,94	0,952	0,775	0,325	0,797	1,09	0,76	0,748
U14	1,689	1,708	1,381	0,479	0,953	1,382	1,516	1,264
U15	0,369	0,591	0,706	0,561	0,844	1,208	0,265	0,337
U16	0,494	1,11	1,424	1,159	0,642	0,627	0,288	0,314
U17	0,635	1,247	1,273	1,328	0,897	0,732	0,301	0,379
U18	1,296	0,548	1,285	1,569	0,517	0,521	0,305	1,401
U19	1,241	1,21	1,167	1,197	0,794	1,141	0,267	0,804
U20	1,457	0,519	0,418	1,067	0,723	1,056	0,309	1,492
U21	1,134	0,511	0,698	0,808	0,997	1,225	0,293	1,142
U22	0,492	0,284	1,198	1,314	0,838	0,467	1,334	1,559

## 4.2 Velocidades limites na estação meteorológica para critérios de conforto e de perigo

A partir dos fatores  $\gamma$ , pôde-se calcular as velocidades limites na estação meteorológica (média horária e anemômetros a 10 metros de altura). Estas velocidades limites correspondem a duas situações distintas. A primeira trata do caso de conforto, em que o limiar, na altura do pedestre no local de estudo, vale 5 m/s, ou seja, as velocidades limites na estação meteorológica correspondem aos valores de velocidade que devem ser atingidos na estação meteorológica para que a velocidade no local do empreendimento (medido em túnel de vento) seja 5 m/s. Já a segunda, trata do caso de perigo, como indicado no quadro 1, em que a velocidade na altura do pedestre vale 15 m/s.

A tabela 4 mostra as velocidades limites para a condição de conforto, já a tabela 5 mostra as velocidades limites para a condição de perigo. Os menores valores nestas tabelas correspondem a regiões em que os limites de 5 m/s e 15 m/s (dependendo se a condição é de conforto ou de perigo) são atingidos com velocidades mais baixas na estação meteorológica.

**Tabela 4** – Velocidades limites na estação meteorológica, em m/s, para que o limiar de 5 m/s seja atingido no local do sensor indicado na primeira coluna.

sensor	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
U1	23,51	22,07	10,9	4,67	5,08	7,72	3,44	4,18
U2	11,95	14,02	3,96	3,88	6,1	5,3	5,19	11,45
U3	17,95	20,4	5,42	5,18	12,02	10,91	5,12	8,89
U4	8,01	7,96	9,94	12,41	10,58	8,99	5,27	10,44
U5	5,18	7,79	4,05	3,65	3,55	9,43	5,79	4,92
U6	5,28	13,12	5,74	4,54	4,9	8,86	5,4	5,99
U7	5,32	9,16	5,18	3,54	3,95	5,33	5,32	4,88
U8	10,55	8,93	8,02	3,94	3,8	4,4	3,77	3,98
U9	6,47	7,25	5,73	4,11	4,38	5,95	6,42	6,6
U11	7,17	15,19	12,63	9,1	6,46	4,64	7,48	7,24
U12	4,85	5,69	5,43	4,22	3,63	3,59	4,34	4,25
U13	5,32	5,25	6,46	15,37	6,28	4,59	6,57	6,68
U14	2,96	2,93	3,62	10,45	5,25	3,62	3,3	3,96
U15	13,53	8,47	7,08	8,91	5,92	4,14	18,84	14,83
U16	10,12	4,5	3,51	4,31	7,78	7,98	17,34	15,9
U17	7,87	4,01	3,93	3,77	5,57	6,83	16,6	13,19
U18	3,86	9,12	3,89	3,19	9,68	9,6	16,37	3,57
U19	4,03	4,13	4,28	4,18	6,3	4,38	18,7	6,22
U20	3,43	9,64	11,96	4,69	6,91	4,73	16,17	3,35
U21	4,41	9,79	7,16	6,19	5,02	4,08	17,04	4,38
U22	10,15	17,62	4,17	3,81	5,97	10,71	3,75	3,21

**Tabela 5** – Velocidades limites na estação meteorológica, em m/s, para que o limiar de 15 m/s seja atingido no local do sensor indicado na primeira coluna.

sensor	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
U1	70,54	66,2	32,71	14,02	15,23	23,17	10,32	12,54
U2	35,84	42,06	11,88	11,65	18,29	15,91	15,56	34,34
U3	53,84	61,19	16,27	15,55	36,05	32,74	15,35	26,66
U4	24,02	23,88	29,83	37,22	31,73	26,97	15,8	31,32
U5	15,55	23,37	12,15	10,95	10,64	28,28	17,38	14,75
U6	15,84	39,36	17,22	13,61	14,7	26,59	16,21	17,98
U7	15,97	27,49	15,53	10,61	11,85	15,99	15,95	14,63
U8	31,65	26,8	24,07	11,81	11,4	13,19	11,31	11,94
U9	19,41	21,76	17,18	12,33	13,13	17,85	19,27	19,8
U11	21,51	45,57	37,9	27,29	19,38	13,92	22,43	21,71
U12	14,54	17,07	16,3	12,67	10,88	10,78	13,01	12,75
U13	15,96	15,76	19,37	46,12	18,83	13,76	19,72	20,05
U14	8,88	8,78	10,86	31,34	15,74	10,86	9,89	11,87
U15	40,6	25,4	21,24	26,72	17,77	12,42	56,51	44,48
U16	30,36	13,51	10,53	12,94	23,35	23,94	52,02	47,7
U17	23,61	12,03	11,78	11,3	16,72	20,48	49,79	39,57
U18	11,57	27,37	11,67	9,56	29,04	28,79	49,12	10,71
U19	12,08	12,4	12,85	12,53	18,89	13,15	56,1	18,66
U20	10,29	28,91	35,89	14,06	20,74	14,2	48,5	10,06
U21	13,22	29,37	21,49	18,56	15,05	12,25	51,12	13,13
U22	30,46	52,86	12,52	11,42	17,9	32,12	11,25	9,62

### **4.3 Probabilidade de excedência das velocidades limites de conforto**

As condições de conforto e de perigo do quadro 1 não são determinadas apenas por velocidades limites, mas também pela frequência com a qual tais eventos ocorrem. Deste modo, a partir dos dados das tabelas 4 e 5, e dos dados históricos fornecidos pelo INMET, pode-se calcular a probabilidade de ocorrência das velocidades limites.

A tabela 6 fornece as probabilidades calculadas (em %) para o caso de conforto (velocidade limite de 5 m/s) por sensor e ângulo de incidência do vento, além de fornecer a probabilidade total considerando todas as direções. Os valores desta tabela consideram todos os dados meteorológicos fornecidos pelo INMET. Além disso, foi feita uma análise sazonal, separando os dados da estação meteorológica por trimestre. Os resultados encontrados são mostrados nas tabelas 7, 8, 9 e 10.

**Tabela 6** – Probabilidades (em %) da velocidade no local do empreendimento ultrapassar o limite de 5 m/s de acordo com o critério de conforto adotado e considerando todos os dados da estação do INMET.

sensor	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	TOTAL
U1	0,0	0,0	0,0	0,07	0,01	0,0	0,32	0,19	0,59
U2	0,0	0,0	0,16	0,34	0,0	0,01	0,08	0,0	0,59
U3	0,0	0,0	0,0	0,02	0,0	0,0	0,08	0,01	0,12
U4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,07	0,01	0,08
U5	0,04	0,0	0,12	0,52	0,11	0,0	0,05	0,09	0,92
U6	0,03	0,0	0,0	0,1	0,02	0,0	0,06	0,03	0,24
U7	0,03	0,0	0,01	0,63	0,04	0,01	0,07	0,09	0,88
U8	0,0	0,0	0,0	0,28	0,05	0,1	0,24	0,21	0,88
U9	0,01	0,0	0,0	0,18	0,03	0,01	0,02	0,03	0,27
U11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,07	0,01	0,01	0,09
U12	0,07	0,0	0,0	0,15	0,08	0,31	0,17	0,17	0,95
U13	0,03	0,0	0,0	0,0	0,0	0,07	0,01	0,02	0,14
U14	0,31	0,09	0,28	0,0	0,0	0,25	0,38	0,21	1,51
U15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,11	0,0	0,0	0,11
U16	0,0	0,01	0,31	0,12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,45
U17	0,0	0,02	0,16	0,41	0,0	0,01	0,0	0,0	0,6
U18	0,15	0,0	0,21	1,49	0,0	0,0	0,0	0,28	2,14
U19	0,13	0,02	0,08	0,18	0,0	0,1	0,0	0,03	0,52
U20	0,2	0,0	0,0	0,07	0,0	0,07	0,0	0,33	0,68
U21	0,1	0,0	0,0	0,0	0,01	0,14	0,0	0,15	0,4
U22	0,0	0,0	0,1	0,34	0,0	0,0	0,24	0,35	1,03

**Tabela 7** – Probabilidades (em %) da velocidade no local do empreendimento ultrapassar o limite de 5 m/s de acordo com o critério de conforto adotado e considerando os dados do primeiro trimestre.

sensor	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	TOTAL
U1	0,0	0,0	0,0	0,05	0,0	0,0	0,23	0,16	0,44
U2	0,0	0,0	0,04	0,23	0,0	0,0	0,11	0,0	0,37
U3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,11	0,0	0,11
U4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,11	0,0	0,11
U5	0,04	0,0	0,04	0,39	0,11	0,0	0,07	0,02	0,66
U6	0,04	0,0	0,0	0,05	0,0	0,0	0,09	0,0	0,18
U7	0,04	0,0	0,0	0,44	0,04	0,0	0,09	0,02	0,62
U8	0,0	0,0	0,0	0,16	0,05	0,02	0,21	0,16	0,6
U9	0,0	0,0	0,0	0,11	0,0	0,0	0,04	0,0	0,14
U11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,02	0,02	0,0	0,04
U12	0,05	0,0	0,0	0,09	0,05	0,09	0,16	0,14	0,58
U13	0,04	0,0	0,0	0,0	0,0	0,02	0,04	0,0	0,09
U14	0,28	0,09	0,09	0,0	0,0	0,05	0,27	0,16	0,94
U15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,02	0,0	0,0	0,02
U16	0,0	0,0	0,09	0,09	0,0	0,0	0,0	0,0	0,18
U17	0,0	0,0	0,04	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,34
U18	0,18	0,0	0,04	1,51	0,0	0,0	0,0	0,27	1,98
U19	0,18	0,0	0,02	0,11	0,0	0,02	0,0	0,0	0,32
U20	0,18	0,0	0,0	0,05	0,0	0,02	0,0	0,3	0,55
U21	0,09	0,0	0,0	0,0	0,0	0,04	0,0	0,09	0,21
U22	0,0	0,0	0,04	0,23	0,0	0,0	0,21	0,32	0,8

**Tabela 8** – Probabilidades (em %) da velocidade no local do empreendimento ultrapassar o limite de 5 m/s de acordo com o critério de conforto adotado e considerando os dados do segundo trimestre.

sensor	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	TOTAL
U1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,27	0,23	0,5
U2	0,0	0,0	0,07	0,23	0,0	0,03	0,06	0,01	0,4
U3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,06	0,03	0,09
U4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,06	0,03	0,09
U5	0,01	0,0	0,06	0,28	0,03	0,0	0,04	0,11	0,54
U6	0,01	0,0	0,0	0,03	0,0	0,0	0,04	0,06	0,14
U7	0,01	0,0	0,0	0,3	0,0	0,03	0,06	0,13	0,53
U8	0,0	0,0	0,0	0,16	0,0	0,07	0,2	0,27	0,7
U9	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,01	0,01	0,06	0,18
U11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,07	0,0	0,03	0,1
U12	0,01	0,0	0,0	0,07	0,01	0,21	0,14	0,23	0,68
U13	0,01	0,0	0,0	0,0	0,0	0,07	0,0	0,06	0,14
U14	0,36	0,06	0,16	0,0	0,0	0,17	0,34	0,27	1,35
U15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1
U16	0,0	0,0	0,17	0,06	0,0	0,0	0,0	0,0	0,23
U17	0,0	0,0	0,07	0,27	0,0	0,01	0,0	0,0	0,36
U18	0,13	0,0	0,11	0,6	0,0	0,0	0,0	0,37	1,21
U19	0,09	0,0	0,04	0,1	0,0	0,07	0,0	0,06	0,36
U20	0,23	0,0	0,0	0,0	0,0	0,07	0,0	0,4	0,7
U21	0,07	0,0	0,0	0,0	0,0	0,11	0,0	0,2	0,38
U22	0,0	0,0	0,06	0,23	0,0	0,0	0,2	0,41	0,89



**Tabela 9** – Probabilidades (em %) da velocidade no local do empreendimento ultrapassar o limite de 5 m/s de acordo com o critério de conforto adotado e considerando os dados do terceiro trimestre.

sensor	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	TOTAL
U1	0,0	0,0	0,0	0,01	0,0	0,0	0,45	0,24	0,71
U2	0,0	0,0	0,26	0,1	0,0	0,0	0,09	0,0	0,44
U3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,09	0,0	0,09
U4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,07	0,0	0,07
U5	0,06	0,0	0,18	0,24	0,09	0,0	0,04	0,16	0,77
U6	0,04	0,0	0,0	0,03	0,0	0,0	0,06	0,04	0,17
U7	0,03	0,0	0,01	0,37	0,03	0,0	0,06	0,16	0,65
U8	0,0	0,0	0,0	0,1	0,04	0,18	0,35	0,26	0,94
U9	0,0	0,0	0,0	0,04	0,01	0,0	0,01	0,03	0,1
U11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1
U12	0,16	0,0	0,0	0,04	0,09	0,6	0,2	0,21	1,29
U13	0,03	0,0	0,0	0,0	0,0	0,11	0,0	0,01	0,16
U14	0,41	0,07	0,35	0,0	0,0	0,48	0,57	0,26	2,14
U15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,21	0,0	0,0	0,21
U16	0,0	0,01	0,43	0,03	0,0	0,0	0,0	0,0	0,47
U17	0,0	0,01	0,26	0,11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,38
U18	0,23	0,0	0,31	0,96	0,0	0,0	0,0	0,33	1,83
U19	0,21	0,01	0,1	0,04	0,0	0,18	0,0	0,03	0,58
U20	0,28	0,0	0,0	0,01	0,0	0,1	0,0	0,43	0,82
U21	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,28	0,0	0,2	0,68
U22	0,0	0,0	0,13	0,1	0,0	0,0	0,35	0,44	1,02

**Tabela 10** – Probabilidades (em %) da velocidade no local do empreendimento ultrapassar o limite de 5 m/s de acordo com o critério de conforto adotado e considerando os dados do quarto trimestre.

sensor	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	TOTAL
U1	0,0	0,0	0,0	0,24	0,03	0,0	0,3	0,11	0,68
U2	0,0	0,0	0,27	0,83	0,0	0,02	0,06	0,0	1,18
U3	0,0	0,0	0,02	0,1	0,0	0,0	0,06	0,02	0,19
U4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,06	0,0	0,06
U5	0,05	0,0	0,19	1,21	0,24	0,0	0,03	0,05	1,76
U6	0,05	0,0	0,0	0,29	0,06	0,0	0,05	0,03	0,48
U7	0,05	0,0	0,02	1,48	0,1	0,02	0,06	0,05	1,76
U8	0,0	0,0	0,0	0,73	0,13	0,1	0,19	0,13	1,27
U9	0,03	0,0	0,0	0,48	0,1	0,02	0,02	0,02	0,65
U11	0,02	0,0	0,0	0,0	0,0	0,08	0,02	0,02	0,13
U12	0,05	0,0	0,02	0,4	0,19	0,29	0,16	0,1	1,19
U13	0,05	0,02	0,0	0,0	0,0	0,08	0,02	0,02	0,17
U14	0,16	0,14	0,49	0,0	0,02	0,25	0,32	0,13	1,51
U15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1
U16	0,0	0,02	0,56	0,33	0,0	0,0	0,0	0,0	0,91
U17	0,0	0,05	0,27	1,0	0,0	0,02	0,0	0,0	1,34
U18	0,06	0,0	0,37	3,07	0,0	0,0	0,0	0,16	3,66
U19	0,05	0,05	0,14	0,48	0,0	0,1	0,0	0,02	0,83
U20	0,11	0,0	0,0	0,24	0,0	0,06	0,0	0,19	0,6
U21	0,05	0,0	0,0	0,0	0,03	0,11	0,0	0,08	0,27
U22	0,0	0,0	0,17	0,83	0,0	0,0	0,19	0,21	1,4

Com esses valores pôde-se classificar cada ponto de medição de acordo com os critérios mostrados no quadro 1. Tal classificação pode ser feita considerando o ano todo ou cada trimestre separadamente e é mostrada na tabela 11.

Os resultados mostram que, no geral, região do embasamento é boa para a travessia e para a permanência (classificação A pela NEN 8100). A região correspondente ao sensor 18 foi a que apresentou maior probabilidade de atingir a velocidade limite de conforto e pode apresentar condição moderada para permanência.

**Tabela 11** – Classificação dos pontos medidos, de acordo com a NEN 8100.

sensor	trim1	trim2	trim3	trim4	ano
U1	A	A	A	A	A
U2	A	A	A	A	A
U3	A	A	A	A	A
U4	A	A	A	A	A
U5	A	A	A	A	A
U6	A	A	A	A	A
U7	A	A	A	A	A
U8	A	A	A	A	A
U9	A	A	A	A	A
U11	A	A	A	A	A
U12	A	A	A	A	A
U13	A	A	A	A	A
U14	A	A	A	A	A
U15	A	A	A	A	A
U16	A	A	A	A	A
U17	A	A	A	A	A
U18	A	A	A	B	A
U19	A	A	A	A	A
U20	A	A	A	A	A
U21	A	A	A	A	A
U22	A	A	A	A	A

Com relação ao perigo devido à ação mecânica do vento, os resultados mostraram probabilidades abaixo dos limites considerados pela NEN 8100. Sendo assim, as regiões medidas não representam perigo aos pedestres. Vale lembrar que eventos extremos, mesmo que raros, podem ocorrer e levar as velocidades no entorno do edifício em estudo a níveis perigosos para travessia, sobretudo para pessoas com dificuldade de locomoção. Este estudo mostra apenas que a probabilidade da velocidade atingir níveis perigosos nos pontos estudados é bastante baixa, menor do que os limites admitidos pela NEN 8100.

É importante ressaltar que as classificações obtidas consideram apenas os dados meteorológicos da estação automática de Bertioga, estação automática do INMET mais próxima do empreendimento, que foi inaugurada apenas em 2017. Para análises com outros dados meteorológicos, as únicas tabelas válidas são as correspondentes às velocidades medidas no túnel de vento as correspondentes ao  $\gamma_{design}$ , fornecidas nos anexos A e B deste relatório técnico.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- As classificações desse relatório técnico levam em consideração os critérios expostos na norma holandesa NEN 8100 (2006, *apud* WILLEMSEN, WISSE, 2007, p.1546) bem como os dados meteorológicos da estação automática de Bertioga, pertencente à rede do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).
- As regiões da base do edifício apresentaram condições boas de conforto, de acordo com a norma holandesa NEN 8100 (2006, *apud* WILLEMSEN, WISSE, 2007, p.1546), para os pontos medidos.
- Os dados trimestrais mostram condições boas durante todo o ano, lembrando que eventos isolados podem ocorrer de forma esporádica. A região correspondente ao sensor 18 foi a única que indicou possibilidade de condições moderadas para permanência.
- O vento de direção sudeste tende a ser o que produz as maiores velocidades na região de convivência e de lazer do empreendimento e em maior frequência.
- No que diz respeito à periculosidade da ação mecânica do vento em pedestres, as regiões estudadas apresentaram probabilidades de excedência da velocidade de 15 m/s abaixo dos limites expostos na NEN 8100 (2006, *apud* WILLEMSEN, WISSE, 2007, p.1546).

## 6 EQUIPE TÉCNICA

Gabriel Borelli Martins, Me. Eng.

Gilder Nader, Dr. Eng.

Paulo José Saiz Jabardo, Dr. Eng.

André Barsaglini da Costa, Técnico

**São Paulo, 20 de novembro de 2020.**

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO  
TECNOLÓGICA EM METROLOGIA**

Laboratório de Vazão  
Gabriel Borelli Martins  
Eng<sup>o</sup> Mecânico  
Executor  
R.E. 9051 CREA n<sup>o</sup> 5063850028  
Assinado Digitalmente

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO  
TECNOLÓGICA EM METROLOGIA**

Laboratório de Vazão  
Gilder Nader  
Físico  
Supervisor do Ensaio  
R.E. 8465  
Assinado Digitalmente

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO  
TECNOLÓGICA EM METROLOGIA**

Laboratório de Vazão  
Nilson Massami Taira  
Eng. Mecânico  
Diretor  
R.E. 7858 CREA n<sup>o</sup> 060.186.156-5  
Assinado Digitalmente

## 7 BIBLIOGRAFIA

ASCE - American Society of Civil Engineers, Aerospace Division, **The Manual of practice for wind tunnel studies of buildings and structures**, 1997.

SIMIU, E.; SCANLAN, R. H. **Wind effects on structures: Fundamentals and applications to design**. New York, John Wiley & Sons, Inc., 1996.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT-NBR 6123, Associação Brasileira de Normas Técnicas, **Forças devido ao vento em edificações**, Rio de Janeiro, Brasil, 1988.

BLOCKEN, B.; CARMELIET, J. Pedestrian wind environment around buildings: Literature review and practical examples. **Journal of Thermal Envelope and Building Science**, v. 28, n. 2, p. 107-159, 2004.

BLOCKEN, B.; ROELS, S.; CARMELIET, J. Modification of pedestrian wind comfort in the Silvertop Tower passages by an automatic control system. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 92, n. 10, p. 849-873, 2004.

BOTTEMA, M.M. **Wind climate and urban geometry**. Tese de Doutorado. Technische Universiteit Eindhoven, 1993.

WILLEMSSEN, E.; WISSE, J.A. Design for wind comfort in the Netherlands: procedures, criteria and open research issues. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 95, n. 9, p. 1541-1550, 2007.

JABARDO, P.J.S., MARTINS, G.B, NADER, G. Low cost anemometers for wind tunnel and ventilation applications. **Revista IPT: Tecnologia e Inovação**, v. 3, n. 10, 2019.

MARTINS, G.B. et al. Medição em túneis de vento da velocidade do ar próxima à parede para estudos de conforto de pedestres. **Revista IPT: Tecnologia e Inovação**, v.2, n.7, 2018.

## **ANEXO A**

### **Velocidades medidas no túnel de vento**

Neste anexo são fornecidas tabelas com a velocidades medidas no túnel de vento do IPT nas regiões indicadas na figura 7.

**Tabela A.1** – Velocidades medidas no túnel de vento, em m/s, parte 1/3.

ang	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7
0	1,6	4,04	2,22	6,75	10,13	8,37	4,95
15	1,76	4,0	1,67	6,89	7,43	3,18	3,6
30	2,51	3,95	2,72	6,96	7,12	4,22	3,38
45	2,23	3,31	2,21	4,04	4,41	3,57	5,21
60	1,66	2,98	1,56	3,32	5,66	3,63	6,05
75	1,99	4,91	2,83	5,58	7,19	5,14	6,55
90	3,44	13,33	8,93	3,31	13,68	9,66	9,21
105	5,08	14,0	10,22	5,17	10,94	8,19	10,71
120	6,24	14,27	10,7	4,47	10,47	9,44	13,19
135	10,93	10,27	8,1	3,86	12,98	10,79	15,67
150	11,86	5,17	5,97	4,01	15,19	12,22	13,25
165	10,92	2,61	4,61	3,47	15,63	11,31	13,05
180	9,1	5,98	4,52	3,71	13,14	8,27	13,66
195	7,72	9,09	3,6	5,24	8,33	6,27	14,04
210	7,18	10,44	3,89	6,17	4,96	4,26	9,68
225	3,97	10,45	4,39	3,87	5,14	6,25	7,05
240	2,81	10,41	5,08	4,39	5,88	5,02	10,4
255	6,85	10,69	6,2	10,53	6,03	10,26	10,43
270	13,07	8,68	8,42	7,66	9,57	8,89	9,51
285	16,11	3,45	10,84	4,86	7,16	6,81	9,09
300	13,27	3,15	6,24	5,31	9,31	6,84	9,29
315	9,67	3,92	3,36	5,13	11,08	8,92	11,01
330	4,94	4,84	3,65	4,41	11,27	9,25	11,37
345	2,36	4,64	3,09	4,53	10,69	10,5	10,41
360	1,7	4,24	2,45	6,92	10,55	8,61	5,03



**Tabela A.2** – Velocidades medidas no túnel de vento, em m/s, parte 2/3.

<b>ang</b>	<b>U8</b>	<b>U9</b>	<b>U11</b>	<b>U12</b>	<b>U13</b>	<b>U14</b>	<b>U15</b>
0	3,83	6,86	5,29	10,08	8,9	15,5	3,6
15	3,18	8,57	2,69	6,32	10,42	18,72	4,1
30	3,62	7,64	3,03	6,04	9,71	18,94	4,89
45	3,92	6,64	3,05	9,44	9,71	18,28	6,32
60	6,21	6,53	3,65	9,74	10,55	18,51	6,55
75	6,55	7,27	4,39	6,3	8,59	15,31	3,7
90	6,23	4,69	3,19	3,84	2,31	3,35	6,01
105	6,91	9,68	3,28	10,2	2,8	2,35	7,83
120	6,08	10,51	3,23	10,37	3,06	3,28	6,22
135	8,85	13,05	3,5	12,15	3,04	3,99	4,98
150	14,08	13,49	6,09	13,12	3,61	5,31	3,81
165	14,0	12,66	7,11	13,57	3,77	8,19	4,68
180	13,69	9,2	7,44	13,9	4,36	10,53	6,91
195	14,59	6,23	8,58	15,29	8,83	10,56	9,36
210	12,61	5,11	8,12	15,43	12,09	11,93	13,39
225	9,55	8,59	11,95	10,27	7,57	4,97	10,31
240	8,54	9,32	9,57	13,87	4,04	15,32	3,99
255	8,69	8,63	7,41	12,78	5,18	15,37	2,94
270	11,07	6,75	5,07	11,76	7,97	16,81	2,71
285	14,7	5,6	4,2	11,03	8,43	14,55	2,68
300	13,93	5,57	4,58	13,04	8,29	8,59	3,74
315	5,07	8,4	7,12	10,76	7,1	7,72	3,39
330	5,57	7,24	7,66	11,3	7,11	14,01	3,64
345	5,25	7,98	7,73	11,43	7,76	16,2	3,79
360	3,96	7,32	5,53	10,36	9,21	15,9	3,8

**Tabela A.3** – Velocidades medidas no túnel de vento, em m/s, parte 3/3.

ang	U16	U17	U18	U19	U20	U21	U22
0	4,45	5,43	13,96	13,59	15,85	12,17	3,03
15	5,48	7,04	13,93	12,92	14,53	11,48	2,58
30	8,79	13,17	5,7	13,41	5,75	5,66	3,15
45	12,31	13,83	6,07	10,11	3,89	2,52	2,72
60	12,09	13,67	5,19	9,28	3,77	3,6	1,96
75	2,64	3,19	3,3	3,55	3,26	2,81	3,38
90	5,05	3,71	3,52	3,86	4,63	2,27	9,42
105	15,79	14,12	14,25	12,94	3,32	7,74	13,29
120	12,85	14,72	17,39	13,27	2,12	7,03	14,56
135	9,73	11,78	15,13	11,76	11,83	8,96	12,76
150	7,92	10,7	9,85	9,21	8,05	8,84	10,96
165	7,12	9,95	5,73	8,47	7,25	9,69	9,29
180	6,84	9,32	4,65	8,63	7,62	10,91	7,67
195	6,47	8,72	3,94	8,8	8,02	11,05	5,94
210	6,95	8,12	4,05	9,73	9,01	10,98	4,78
225	4,59	7,87	5,36	12,65	11,71	13,58	3,54
240	4,72	3,45	5,78	5,16	6,56	2,84	5,18
255	3,2	3,34	3,39	2,51	2,57	1,82	6,81
270	2,61	3,04	3,31	2,41	2,35	1,81	9,64
285	3,12	3,0	3,3	2,96	3,43	3,25	14,79
300	3,49	4,2	10,37	8,03	13,64	10,54	16,85
315	3,37	3,96	15,53	8,91	16,54	12,66	17,28
330	3,39	3,93	14,8	8,48	16,14	12,62	11,33
345	3,54	4,46	14,37	10,67	16,16	12,58	5,46
360	4,59	5,49	14,24	13,76	15,97	12,41	3,22

## **ANEXO B**

### **Fatores de amplificação de *design***

Neste anexo são fornecidos todos os fatores de amplificação de *design* obtidos dos ensaios em túnel de vento.

O fator de amplificação de *design* corresponde à razão entre a velocidade medida e a velocidade à uma altura de referência, no caso, 10 metros, como segue.

$$\gamma_{design} = \frac{V_{IS}}{V_{IS,10m}} \quad (8)$$

**Tabela B.1** – Fator de amplificação de *design* ( $\gamma_{design}$ ), parte 1/3.

ang	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7
0	0,144	0,364	0,201	0,609	0,914	0,755	0,446
15	0,159	0,361	0,15	0,621	0,67	0,287	0,324
30	0,227	0,357	0,245	0,628	0,642	0,381	0,305
45	0,201	0,298	0,2	0,365	0,398	0,322	0,47
60	0,15	0,269	0,141	0,299	0,51	0,327	0,546
75	0,18	0,443	0,256	0,503	0,648	0,463	0,591
90	0,31	1,203	0,805	0,299	1,234	0,871	0,831
105	0,459	1,263	0,922	0,466	0,987	0,739	0,966
120	0,563	1,287	0,965	0,403	0,944	0,852	1,189
135	0,986	0,926	0,731	0,348	1,171	0,973	1,413
150	1,07	0,466	0,539	0,362	1,37	1,102	1,195
165	0,985	0,235	0,416	0,313	1,41	1,021	1,177
180	0,821	0,539	0,408	0,334	1,185	0,746	1,232
195	0,697	0,82	0,325	0,473	0,751	0,566	1,266
210	0,647	0,942	0,351	0,556	0,447	0,384	0,873
225	0,358	0,943	0,396	0,349	0,464	0,564	0,635
240	0,254	0,939	0,458	0,396	0,53	0,453	0,938
255	0,618	0,964	0,559	0,949	0,544	0,925	0,94
270	1,179	0,783	0,76	0,691	0,863	0,802	0,858
285	1,454	0,311	0,977	0,439	0,646	0,614	0,82
300	1,197	0,284	0,563	0,479	0,839	0,617	0,838
315	0,873	0,353	0,303	0,462	0,999	0,805	0,994
330	0,446	0,437	0,329	0,398	1,017	0,834	1,025
345	0,213	0,419	0,279	0,408	0,965	0,947	0,939
360	0,153	0,382	0,221	0,624	0,952	0,777	0,453

**Tabela B.2** – Fator de amplificação de *design* ( $\gamma_{design}$ ), parte 2/3.

<b>ang</b>	<b>U8</b>	<b>U9</b>	<b>U11</b>	<b>U12</b>	<b>U13</b>	<b>U14</b>	<b>U15</b>
0	0,345	0,619	0,477	0,909	0,802	1,398	0,325
15	0,287	0,773	0,242	0,57	0,94	1,689	0,369
30	0,326	0,689	0,274	0,545	0,876	1,708	0,441
45	0,354	0,599	0,275	0,852	0,876	1,649	0,57
60	0,56	0,589	0,329	0,879	0,952	1,669	0,591
75	0,591	0,656	0,396	0,568	0,775	1,381	0,333
90	0,562	0,423	0,288	0,346	0,209	0,302	0,542
105	0,623	0,873	0,296	0,92	0,252	0,212	0,706
120	0,549	0,948	0,291	0,936	0,276	0,296	0,561
135	0,798	1,177	0,316	1,096	0,274	0,36	0,449
150	1,27	1,217	0,55	1,184	0,325	0,479	0,343
165	1,263	1,142	0,641	1,224	0,34	0,738	0,422
180	1,234	0,829	0,671	1,254	0,393	0,95	0,623
195	1,316	0,562	0,774	1,379	0,797	0,953	0,844
210	1,137	0,461	0,732	1,392	1,09	1,076	1,208
225	0,861	0,775	1,078	0,927	0,683	0,448	0,93
240	0,77	0,84	0,863	1,251	0,365	1,382	0,36
255	0,784	0,778	0,669	1,153	0,467	1,386	0,265
270	0,998	0,609	0,457	1,061	0,719	1,516	0,244
285	1,326	0,505	0,379	0,995	0,76	1,312	0,241
300	1,256	0,503	0,414	1,176	0,748	0,775	0,337
315	0,458	0,758	0,642	0,97	0,64	0,696	0,306
330	0,503	0,653	0,691	1,02	0,642	1,264	0,328
345	0,474	0,72	0,697	1,031	0,7	1,461	0,342
360	0,358	0,66	0,499	0,935	0,831	1,434	0,343

**Tabela B.3** – Fator de amplificação de *design* ( $\gamma_{design}$ ), parte 3/3.

ang	U16	U17	U18	U19	U20	U21	U22
0	0,402	0,49	1,259	1,225	1,429	1,098	0,273
15	0,494	0,635	1,256	1,165	1,311	1,036	0,233
30	0,793	1,188	0,514	1,21	0,519	0,511	0,284
45	1,11	1,247	0,548	0,912	0,35	0,227	0,245
60	1,091	1,233	0,468	0,837	0,34	0,325	0,177
75	0,238	0,288	0,298	0,32	0,294	0,254	0,305
90	0,455	0,335	0,317	0,348	0,418	0,204	0,85
105	1,424	1,273	1,285	1,167	0,3	0,698	1,198
120	1,159	1,328	1,569	1,197	0,191	0,634	1,314
135	0,878	1,063	1,365	1,061	1,067	0,808	1,151
150	0,714	0,965	0,888	0,831	0,726	0,798	0,989
165	0,642	0,897	0,517	0,764	0,654	0,874	0,838
180	0,617	0,84	0,419	0,778	0,687	0,984	0,692
195	0,584	0,787	0,356	0,794	0,723	0,997	0,536
210	0,627	0,732	0,365	0,877	0,812	0,99	0,432
225	0,414	0,71	0,483	1,141	1,056	1,225	0,319
240	0,426	0,311	0,521	0,466	0,592	0,256	0,467
255	0,288	0,301	0,305	0,226	0,232	0,164	0,614
270	0,235	0,275	0,299	0,217	0,212	0,163	0,87
285	0,281	0,27	0,298	0,267	0,309	0,293	1,334
300	0,314	0,379	0,935	0,725	1,231	0,951	1,52
315	0,304	0,358	1,401	0,804	1,492	1,142	1,559
330	0,306	0,354	1,335	0,765	1,456	1,138	1,022
345	0,319	0,402	1,296	0,962	1,457	1,134	0,492
360	0,414	0,495	1,284	1,241	1,441	1,12	0,291

## **ANEXO C**

### **Percentual de incidência de cada direção do vento e funções de distribuição empíricas**



A partir dos dados históricos é possível calcular o percentual de tempo para cada incidência do vento. Os dados fornecidos pelo INMET foram classificados em oito direções distintas, conforme a tabela 2 dada no corpo deste relatório técnico.

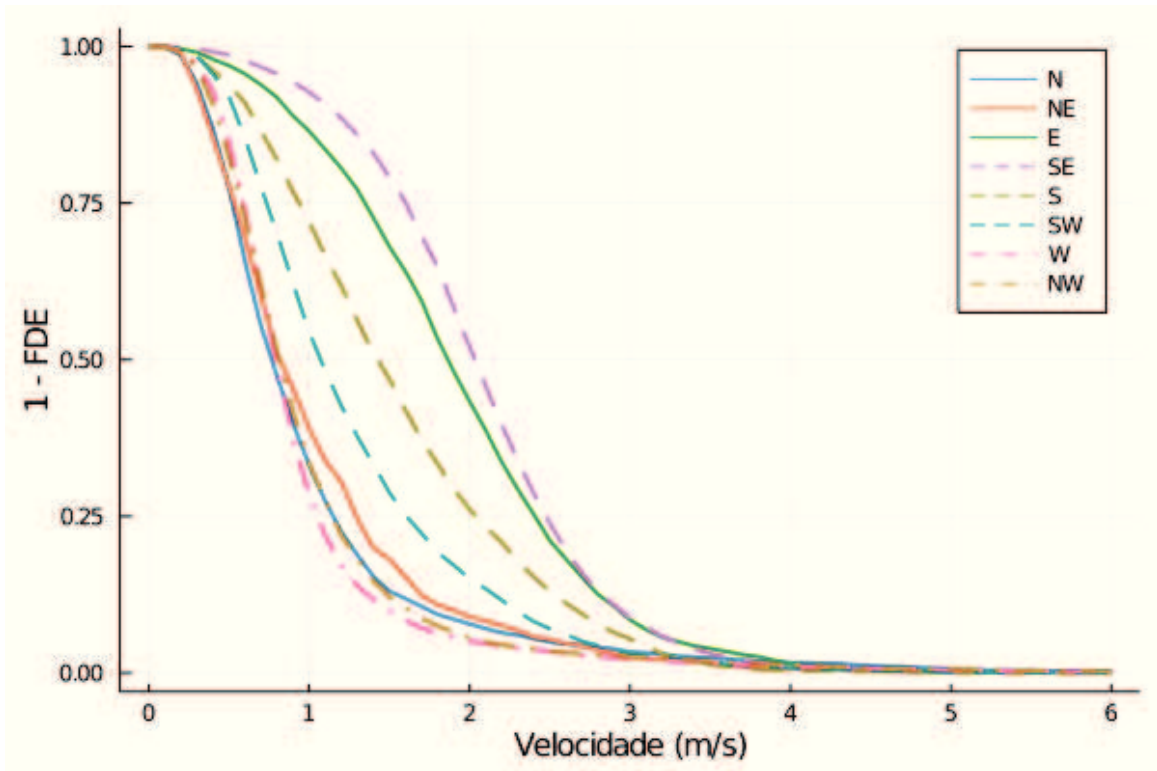
Para as análises realizadas neste relatório técnico, além dos dados históricos terem sido utilizados em sua totalidade, foi feita a separação por trimestre do ano com o objetivo de identificar sazonalidades. Os percentuais de incidência para cada trimestre e considerando todos os dados históricos são dados abaixo na tabela C.1.

**Tabela C.1** – Percentual de incidência de cada direção do vento considerando todos os dados históricos e separando os dados por trimestre

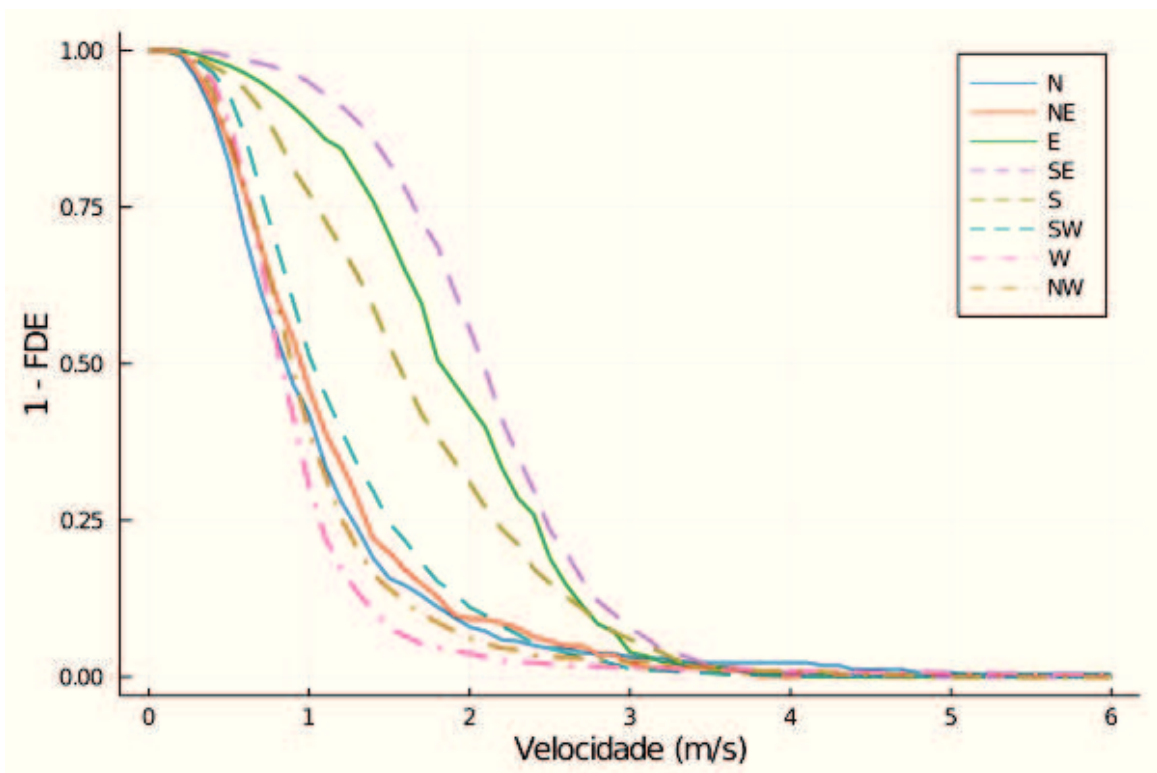
<b>direção</b>	<b>trim1</b>	<b>trim2</b>	<b>trim3</b>	<b>trim4</b>	<b>ano</b>
N	0,078	0,083	0,08	0,08	0,08
NE	0,025	0,029	0,028	0,033	0,029
E	0,059	0,076	0,092	0,095	0,081
SE	0,242	0,167	0,165	0,251	0,203
S	0,089	0,083	0,083	0,087	0,085
SW	0,151	0,167	0,214	0,165	0,176
W	0,191	0,222	0,193	0,155	0,191
NW	0,165	0,174	0,145	0,134	0,155

Além disso, as funções de distribuição empíricas (FDE) foram estimadas para cada direção do vento. Isso foi feito, da mesma forma que explicado anteriormente, para todos os dados históricos e para os dados trimestrais.

Como, para a análise de conforto feita, o que interessa é a probabilidade da velocidade ultrapassar um certo limiar, e como a FDE corresponde a uma curva de distribuição acumulada, o que interessa é a função  $P(V) = 1 - FDE(V)$ . Da figura C.1 à figura C.5 são dadas as funções  $P(V)$  para cada incidência do vento e período considerado.



**Figura C.1** – Função  $P(V)$  considerando todos os dados históricos.



**Figura C.2** – Função  $P(V)$  considerando os dados do primeiro trimestre.

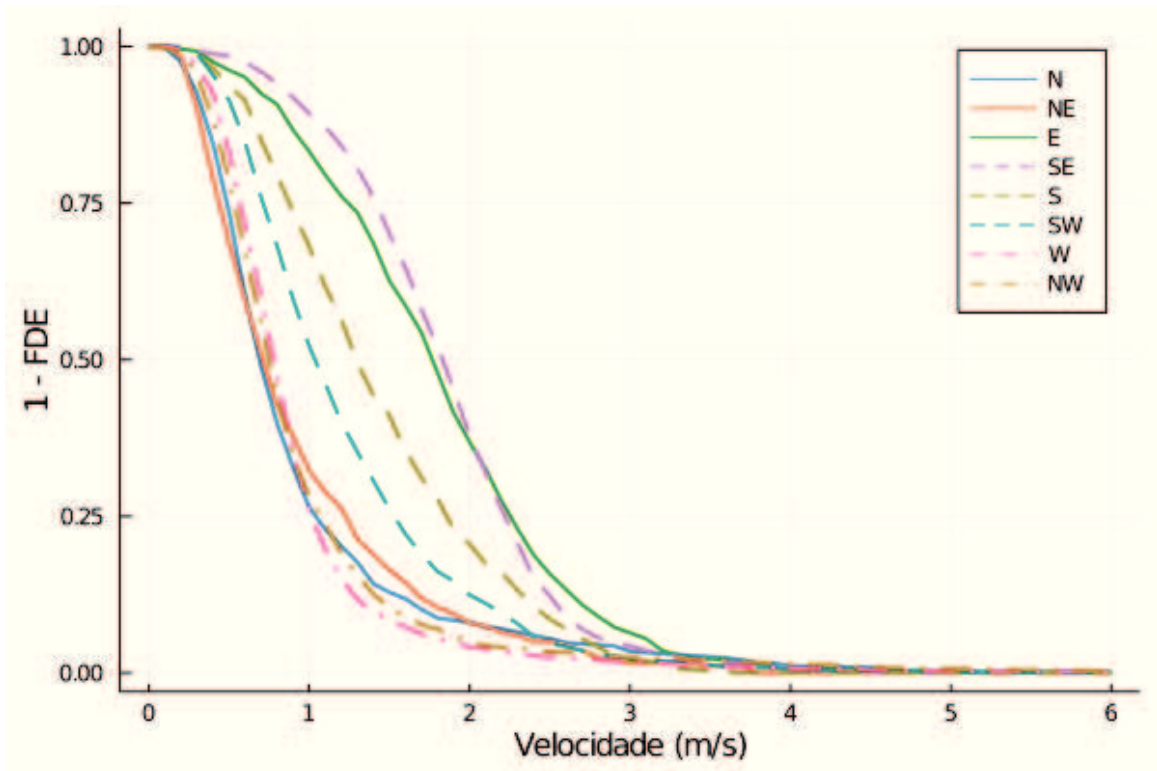


Figura C.3 – Função  $P(V)$  considerando os dados do segundo trimestre.

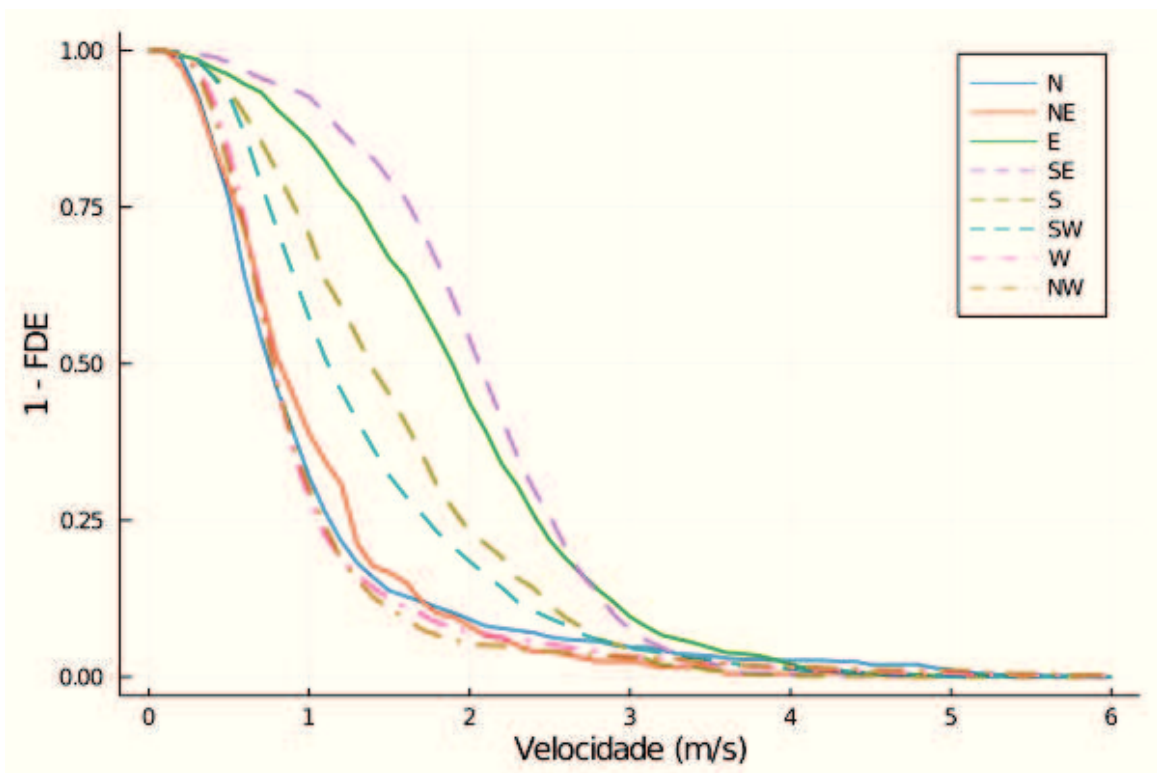
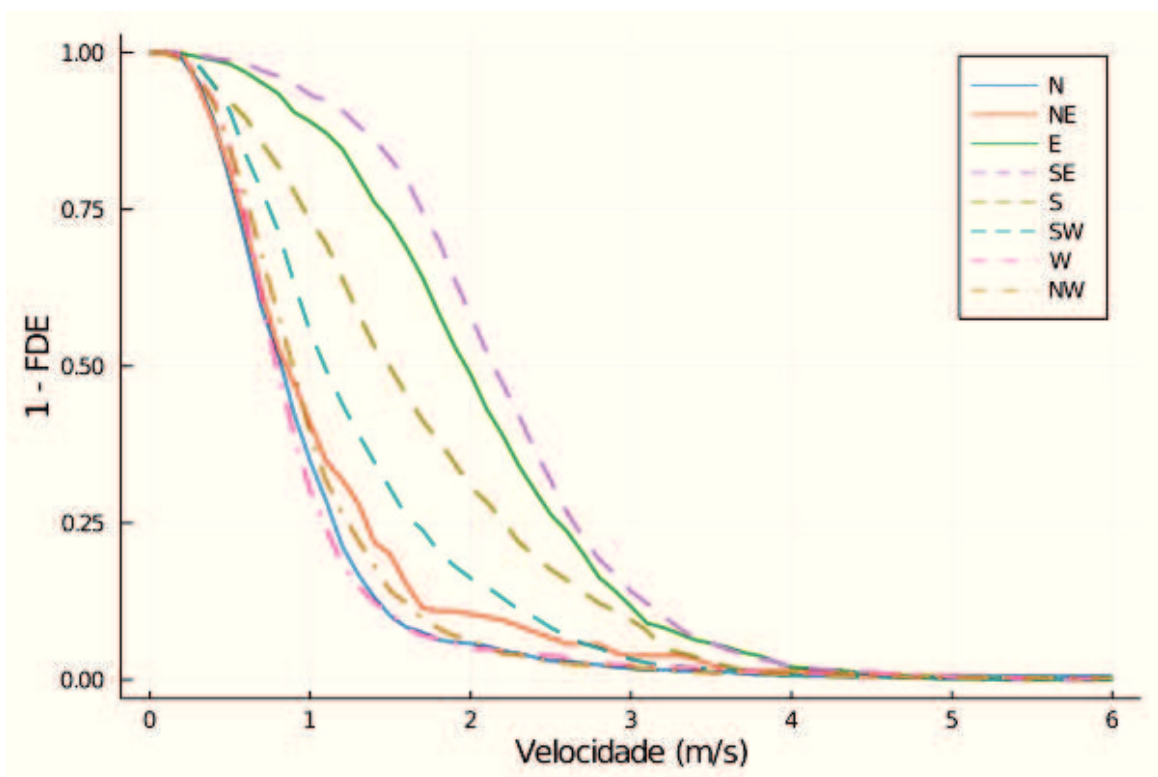


Figura C.4 – Função  $P(V)$  considerando os dados do terceiro trimestre.



**Figura C.5** – Função  $P(V)$  considerando os dados do quarto trimestre.