

NOVA TECNOLOGIA DE CONSTRUÇÃO DE TORRES EÓLICAS

Ilo Borba

Departamento de Engenharia Civil

Conprel, Construções Projetos e Representações Ltda.

Diretor técnico

E-mail: iloborba@yahoo.com.br

Resumo

Neste trabalho, procura-se fornecer as informações básicas sobre novas tecnologias que poderão ser utilizadas nos projetos e nas construções de torres eólicas de concreto armado.

Atualmente, são utilizados projetos estruturais compostos de aduelas pré-moldadas, lançadas com guindastes, uma sobre a outra, solidarizadas verticalmente através de cabos de protensão.

As citadas aduelas possuem peso da ordem de 50,00 t, sendo lançadas através de guindastes de grande capacidade de carga (200,00 t) e custos de aluguéis bastante elevados.

Este sistema, muito utilizado nos países desenvolvidos (mão de obra cara e equipamentos baratos), encarece de forma significativa os custos de construção de torres eólicas em nosso País.

Além do fato de se tornar necessário a implantação de uma fábrica de pré-moldados para as aduelas, e ainda, ser necessário à utilização de uma logística adequada para proceder aos transportes das mesmas.

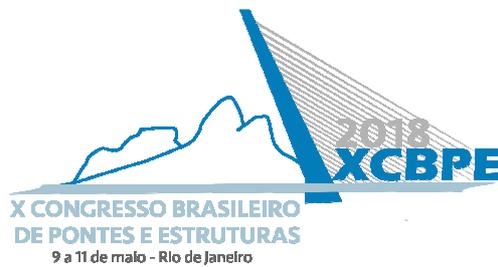
A nova tecnologia proposta elimina a construção da fábrica de aduelas, a logística para o transporte das mesmas, a utilização dos guindastes de elevados custos, e ainda, a solidarização vertical das aduelas pré-moldadas através de cabos de protensão.

No novo sistema, a torre eólica é projetada em concreto armado, utilizando o processo de forma trepante.

Neste trabalho, apresentamos uma comparação de custos do método atualmente utilizado, com a nova tecnologia proposta.

Palavras-chave

Torre Eólica, Concreto Armado, Forma Trepante.



1) INTRODUÇÃO

No ano de 2017, o Brasil passou a ocupar o 8º lugar na produção mundial de energia eólica.

Atualmente, o País possui 12,76 GW de capacidade de energia eólica instalada seguido da China, que possui 188,23 GW, Estados Unidos 89,07 GW, Alemanha 56,13 GW, e ainda, Índia, Espanha, Reino Unido e França.

A participação da energia eólica na matriz energética do Brasil é de 8,3%, percentual ainda distante dos 61% da energia produzida pelas hidroelétricas, mas já próximo dos 9,3% da produção das usinas de biomassa, enquanto que, a participação da energia eólica da região nordeste é de 32,4%, dados estes obtidos em 29/11/2017.

Como se pode observar, a partir dos ventos, a Região Nordeste apresenta um resultado bastante expressivo na capacidade de produção de energia eólica.

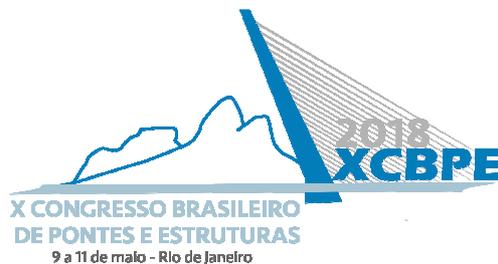
Os principais parques eólicos do País, são a seguir discriminados:

- 1) Rio Grande do Norte – 135 parques (3.679 MW)
- 2) Bahia – 93 parques (2.410 MW)
- 3) Rio Grande do Sul – 80 parques (1.832 MW)
- 4) Ceará – 74 parques (1.936 MW)
- 5) Piauí – 52 parques (1.443 MW)
- 6) Pernambuco – 34 parques (782 MW)
- 7) Paraíba – 15 parques
- 8) Santa Catarina – 14 parques
- 9) Maranhão – 8 parques
- 10) Sergipe – 1 parque
- 11) Paraná – 1 parque
- 12) Total = 496 parques eólicos

A expectativa é de que nos próximos 6 anos, sejam adicionados mais 1,45 GW de capacidade eólica no País.

Diante disto, é imprescindível que tenhamos projetos cada vez mais produtivos e econômicos, para viabilizar a implantação do maior número possível de parques eólicos no País.

Para efeito da comparação dos custos da nova tecnologia proposta com a atualmente utilizada, foi analisado o projeto estrutural de 60 torres eólicas, com geometria tronco-cônica, em



concreto armado, com altura total de 120,00 m, executada pelo sistema de forma trepante, com as seguintes dimensões básicas:

a) Diâmetro base = 7,00 m ; Diâmetro topo = 3,00 m ; Espessura parede = 0,20 m

2) CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS UTILIZADOS

- a) Concreto estrutural do corpo da torre $F_{ck} = 40$ MPa.
- b) Concreto magro $F_{ck} = 15$ MPa.
- c) Armação de Aço CA-50
- d) Armação da ligação corpo da torre / fundação = PSB 1080/1230 ($\phi = 40$ mm).
- e) As paredes da torre deverão ser executadas com forma trepante.
- f) Turbina da torre tipo Suzlon (S 95 – 2,50 MW).
- g) Diâmetro da hélice da turbina = 90,00 m.
- h) Peso da turbina = 100,00 t.
- i) Força horizontal da turbina = 10,00 t.
- j) Frequencia do motor da turbina = 0,36 Hz.

3) CRITÉRIOS PARA A UTILIZAÇÃO DA FORMA TREPANTE

Uma das alternativas de construção que viabiliza a execução de uma torre eólica de concreto armado, é a utilização do sistema de forma trepante.

Para viabilizar esta análise, contamos com a valiosa colaboração da equipe técnica da Empresa Peri Brasil, Formas e Escoramentos Ltda, a qual externamos os nossos sinceros agradecimentos.

A utilização deste sistema de construção é composta da utilização de formas apropriadas para a execução das paredes, complementadas com a utilização de plataformas trepantes de trabalho adequadas, com o objetivo principal de reduzir bastante o tempo de execução da torre.

O sistema de forma previsto para ser utilizado na execução das paredes da torre eólica é o VARIO GT 24, pelo fato do mesmo possibilitar qualquer tipo de montagem, e ainda, suportar uma pressão máxima do concreto fresco de 100 KN/m².

Os sistemas trepantes (plataformas) poderão ser do tipo CB 240 (para forma externa) e CB 160 (para forma interna), sendo formados pela ligação de perfis verticais basculhantes situados entre as formas e as plataformas, transportado verticalmente através de guindaste com capacidade de carga de 5,00 t.

Por serem de simples manuseio, os sistemas trepantes permitem rápidos ciclos de concretagem e ajustes que atendem as configurações mais diversas.

Entre as diferentes simulações estudadas para o melhor aproveitamento das formas, aquela que apresentou melhores resultados será utilizada nesta análise.

Consideramos a construção de 60 torres, utilizando compensado Rusply (60 utilizações, 25% de perda).

A quantidade de jogos de forma necessária para construção das torres é de 31 unidades, assim distribuídas:

- a) Etapas de concretagem 1 a 30 (H = 3,90 m)
- b) Etapa de concretagem 31 (H = 2,10 m) (última forma externa)

O ciclo de execução do trabalho é de 4 dias corridos, tendo sido obtido da seguinte forma:

Ciclo = 1 dia (armação) + 1 dia (plataforma) + 1 dia (forma) + 1 dia (concretagem) = 4 dias (total)

A cada 4 dias corridos, cada jogo de forma será deslocado horizontalmente.

Portanto, cada etapa de concretagem será executada pelo mesmo jogo de forma.

4) CRONOGRAMAS DE EXECUÇÃO DA FORMA TREPANTE

Dias	Torre 01	Torre 02	Torre 03	Torre 04	Torre 05	Torre 06	Torre 07	Torre 08	Torre 09	Torre 10	Torre 11	Torre 12	Torre 13	Torre 14	Torre 15	Torre 16	Torre 17	Torre 18	Torre 19	Torre 20	Torre 21	Torre 22	Torre 23	Torre 24	Torre 25	Torre 26	Torre 27	Torre 28	Torre 29	Torre 30	
1	1																														
2	2																														
3	3	1																													
4	4	2	1																												
5	5	3	2	1																											
6	6	4	3	2	1																										
7	7	5	4	3	2	1																									
8	8	6	5	4	3	2	1																								
9	9	7	6	5	4	3	2	1																							
10	10	8	7	6	5	4	3	2	1																						
11	11	9	8	7	6	5	4	3	2	1																					
12	12	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1																				
13	13	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1																			
14	14	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1																		
15	15	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1																	
16	16	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1																
17	17	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1															
18	18	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1														
19	19	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1													
20	20	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1												
21	21	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1											
22	22	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1										
23	23	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1									
24	24	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1								
25	25	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1							
26	26	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1						
27	27	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1					
28	28	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1				
29	29	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1			
30	30	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1		
31	31	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
32	32	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
33	33	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2
34	34	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3
35	35	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4
36	36	34	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5
37	37	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6
38	38	36	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7
39	39	37	36	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8
40	40	38	37	36	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9
41	41	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10
42	42	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11
43	43	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12
44	44	42	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13
45	45	43	42	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14
46	46	44	43	42	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15
47	47	45	44	43	42	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
48	48	46	45	44	43	42	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17
49	49	47	46	45	44	43	42	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18
50	50	48	47	46	45	44	43	42	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19
51	51	49	48	47	46	45	44	43	42	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20
52	52	50	49	48	47	46	45	44	43	42	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21
53	53	51	50	49	48	47	46	45	44	43	42	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22
54	54	52	51	50	49	48	47	46	45	44	43	42	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23
55	55	53	52	51	50	49	48	47	46	45	44	43	42	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24
56	56	54	53	52	51	50	49	48	47	46	45	44	43	42	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26	25
57	57	55	54	53	52	51	50	49	48	47	46	45	44	43	42	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31					

O prazo de execução das 60 torres é de:

1ª torre = 120 dias = 4 meses

2ª a 60ª torre = 4 x 60 = 240 dias = 8 meses

Prazo total = 120 + 240 = 360 dias.

O custo total para a construção das 60 torres, é de:

Forma = 60 x R\$ 52.556,71 = R\$ 3.153.402,60

Plataforma de Trabalho = 60 x R\$ 72.796,75 = R\$ 4.367.805,00

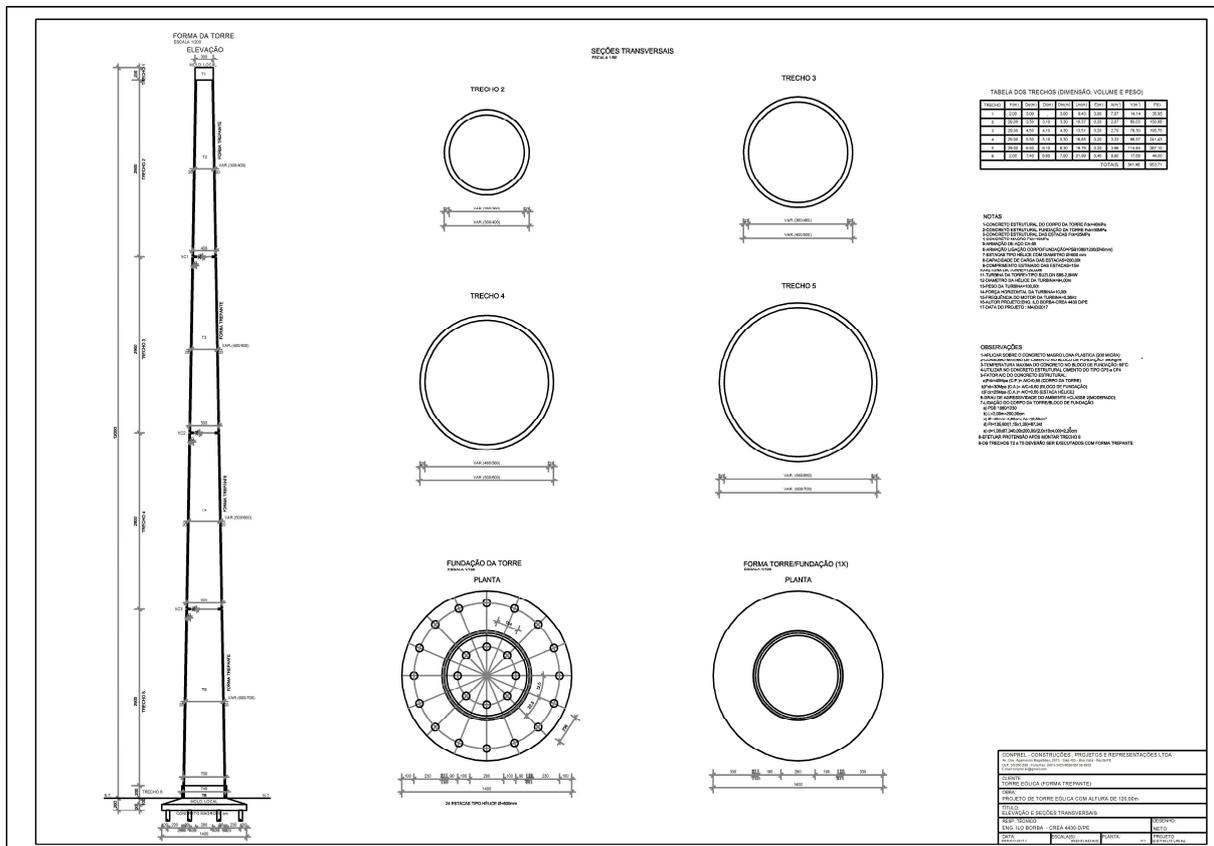
Escoramento = 60 x R\$ 2.717,37 = R\$ 163.042,20

Valor total = 3.153.402,60 + 4.367.805,00 + 163.042,20 = R\$ 7.684.249,80

Portanto, como 1 torre possui uma área total de forma de 3.620,00 m², o custo/m², é de:

$C = R\$ 7.684.249,80 / (60 \times 3.620,00) = R\$ 35,38/m^2 = R\$ 36,00/m^2$

6) TORRE EÓLICA (FORMA TREPANTE)



Observações complementares:

No orçamento acima apresentado, não foram considerados os seguintes itens:

- a) Mão de obra para a montagem da forma trepante (R\$ 30,00/m²)
- b) Frete para transporte da forma trepante para o local da obra (R\$ 10.000,00/torre).
- c) Locação de guindastes (2,00 t) para a montagem das formas trepantes (R\$ 70.000,00/torre).

8.2) Custo para a construção, utilizando o processo convencional (aduelas pré-moldadas e protensão).

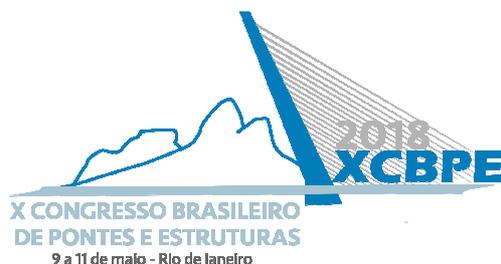
Custo de construção de 1 torre com aduelas pré-moldadas, lançadas através de guindaste (200,00 t), solidarizadas através de cabos de protensão.

ITEM	DESCRIÇÃO	QUANT.	UNID.	P.UNIT. (R\$)	P.TOTAL (R\$)
1.0	CORPO DA TORRE EÓLICA				
1.1	Concreto estrutural (Fck = 40 MPa)	438,00	M ³	800,00	350.400,00
1.2	Forma convencional aduelas (17 mm)	3.470,00	M ²	60,00	208.200,00
1.3	Forma convencional lajes transição (17 mm)	160,00	M ²	60,00	9.600,00
1.4	Armação Aço CA-50	65.700,00	Kg	10,00	657.000,00
1.5	Armação ativa aço (6 Ø 12.7 CP 190 RB)	17.520,00	Kg	15,00	262.800,00
1.6	Protensão ativa (6 Ø 12.7 CP 190 RB)	120,00	Ud	1.500,00	180.000,00
1.7	Protensão passiva (6 Ø 12.7 CP 190 RB)	120,00	Ud	1.000,00	120.000,00
1.8	Lançamento aduela pré-moldada (P = 24/52) t	30,00	Ud	20.000,00	600.000,00
1.9	Lançamento laje transição (P = 11/53) t	5,00	Ud	20.000,00	100.000,00
				Sub-total 1 =	R\$ 2.488.000,00

Observações complementares:

No orçamento acima apresentado, não foram considerados os seguintes itens:

- a) Cota referente a implantação de fábrica de aduelas (R\$ 20.000,00/torre).
- b) Frete para transporte das aduelas (R\$ 90.000,00/torre).



9) CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme se pode observar através dos orçamentos acima apresentados, o valor obtido para a construção de 1 das torres de um parque eólico que possui 60 torres, é de R\$ 978.620,00, desde que seja obedecida a metodologia de execução apresentada neste trabalho.

O valor acima é bastante inferior ao valor atualmente praticado pelo mercado (R\$ 2.488.000,00), para executar um produto com características semelhantes.

É claro que, se aumentarmos o número de torres a executar, e ainda, se for adotada a mesma metodologia que foi apresentada neste trabalho, poderá se obter um custo de construção ainda mais reduzido.

10) REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Joseph E. Bowles, Foundation Analysis and Design, Associate Professor of Civil Engineering, Bradley University, 1968.

Gregory P. Tschebotarioff, Foundations, Retaining and Earth Structures, The Art of Design and Construction and Its Scientific Basis in Soil Mechanics, 1973.

Walter Pfeil, Concreto Armado: Dimensionamento, Livros Técnicos e Científicos, Editora da Universidade de São Paulo/SP, 1975.

Jayme Mason, Concreto Armado e Protendido, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro, 1976.

Walter Pfeil, Michèle Pfeil, Estruturas de Aço, Dimensionamento Prático de Acordo com a NBR 8800:2008, LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda., 2009.

Roberto Buchaim, Concreto Protendido, Tração Axial, Flexão Simples e Força Cortante, Editora da Universidade Estadual de Londrina, 2007.

Recife/PE, 28 de Fevereiro de 2018.

Eng° Ilo Borba (F: 81 99138-8932)

CREA 4430 D/PE