



República Federativa do Brasil

Ministério do Desenvolvimento, Indústria,
Comércio e Serviços

Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) BR 102018011457-3 B1

(22) Data do Depósito: 06/06/2018

(45) Data de Concessão: 17/09/2024

(54) Título: APERFEIÇOAMENTO INTRODUIDO EM NÓ ESTRUTURAL DE COMPORTAMENTO REVERSO

(51) Int.Cl.: E04H 12/18; E04H 12/12.

(52) CPC: E04H 12/182; E04H 12/12.

(73) Titular(es): PROTENDE SISTEMAS E METODOS DE CONSTRUÇOES LTDA.

(72) Inventor(es): DANIEL MASSASHI KAKO; MARCOS ONISHI; MINORU ONISHI.

(57) Resumo: APERFEIÇOAMENTO INTRODUIDO EM NÓ ESTRUTURAL DE COMPORTAMENTO REVERSO, refere-se aos sistemas de geração eólica de energia elétrica e, mais particularmente, às torres de sustentação de turbinas movidas pela ação do vento, ditas torres sendo fabricadas em materiais estruturais, concreto ou aço, de acordo com técnicas de construção civil, mais especificamente, refere-se à junção entre segmentos de torre telescopicamente sobrepostos; dito aperfeiçoamento compreendendo a sobreposição de um primeiro anel toroidal reentrante provido na extremidade superior de um elemento-de-torre inferior constituído pelo empilhamento de uma pluralidade de aduelas de concreto, e um segundo anel toroidal saliente provido na extremidade inferior de um elemento-de-torre superior.

**APERFEIÇOAMENTO INTRODUZIDO EM NÓ ESTRUTURAL DE COMPORTAMENTO
REVERSO**

Campo da invenção

[001] Refere-se a presente invenção aos sistemas de geração eólica de energia elétrica e, mais particularmente, às torres de sustentação de turbinas movidas pela ação do vento, ditas torres sendo fabricadas em materiais estruturais, concreto ou aço, de acordo com técnicas de construção civil.

[002] Mais especificamente, refere-se à junção entre segmentos de torre telescopicamente sobrepostos.

Descrição do Estado da Técnica

[003] A geração eólica de energia elétrica é baseada no emprego de turbinas movidas pela ação do vento, montadas em naceles instaladas no topo de torres, cujas alturas tendem a ser cada vez mais altas. O interesse pelo aumento da altura das torres decorre do fato de que a velocidade do vento aumenta com a sua distância do solo e que a potência gerada pelas turbinas eólicas varia com o cubo da velocidade do vento. Assim, as torres atualmente utilizadas tem alturas de 100 metros ou mais, podendo ser construídas com estruturas de concreto, com estruturas metálicas ou estruturas mistas em que as partes mais elevadas são estruturas metálicas.

[004] Um fator que limita a altura das torres é o fato de que as técnicas conhecidas se baseiam na utilização de guindastes de

grande porte e com grande capacidade de carga, com alturas superiores à própria altura da torre a ser construída, guindastes esses que inviabilizam economicamente o aumento da altura das torres, principalmente aquelas de concreto.

[005] Uma técnica conhecida para contornar o problema acima mencionado consiste no emprego de estruturas telescópicas, formadas por segmentos de torre, geralmente cilíndricos e de diâmetros progressivamente menores, que são içados sucessivamente através de dispositivos instalados nos próprios segmentos, tais como macacos de tração, macacos hidráulicos, conjuntos de pinhão e cremalheira e outros equivalentes. Dado o fato de que, nas construções sujeitas à ação do vento, os esforços sobre essas estruturas crescem rapidamente com a altura, o diâmetro dos segmentos-de-torre vai se reduzindo progressivamente em direção ao topo.

[006] Os documentos de patente WO 2013/083853 e BR 10 2016 0237432 são representativos da técnica conhecida, e se referem a estruturas telescópicas formadas por segmentos-de-torre de concreto de diâmetros diferentes. Ditos segmentos são inicialmente montados sobre o solo sendo a seguir içados por meio de macacos e cabos. Uma vez atingida a posição elevada de cada segmento, o mesmo é solidarizado com o segmento-de-torre imediatamente inferior que lhe serve de apoio, sendo dita solidarização provida por um nó estrutural duplo de comportamento reverso.

[007] A Fig. 1 ilustra o nó estrutural utilizado na torre objeto do documento de patente WO 2013/083853 intitulado *Horizontal*

Joint Assembly Between Two Telescopic Wind Turbine Tower Portions and Method of Installing Same. Nessa figura observa-se que o referido nó estrutural compreende um anel espesso (3) do topo da parede (1) do segmento-de-torre inferior, complementar a um anel espesso (4) da parede (2) do segmento-de-torre superior. O encaixe entre ditos anéis define as superfícies de contato verticais (7) e as superfícies de contato horizontais (5), sendo a compressão mútua entre estas últimas provida pela barra roscada (6).

[008] A Fig. 2 mostra o nó estrutural duplo de comportamento reverso utilizado na torre objeto do pedido BR 10 2016 0237432 intitulado Torre de Concreto Estrutural e Método de Montagem. Esse nó difere daquele ilustrado na Fig. 1 pelo fato de compreender elementos de protensão circunferencial (28) no anel externo, os quais se destinam a absorver as componentes horizontais dos esforços que agem nesse nó, evitando seu colapso estrutural.

[009] Em ambos os nós ilustrados nas Figuras 1 e 2 verifica-se que os esforços de compressão decorrentes das componentes verticais - principalmente o peso das estruturas - encontram-se concentrados nas áreas relativamente reduzidas das superfícies anelares horizontais, segundo exemplificado pelas setas em cor escura. Tais áreas são consideravelmente menores do que as superfícies verticais. Essa construção está sujeita ao desconfinamento das superfícies verticais, devido a ausência de esforços de compressão, principalmente no nó estrutural da Fig. 1. Disso podem resultar alterações na rigidez do conjunto, levando a uma diminuição na frequência natural de vibração na

torre eólica e, conseqüentemente, acelerar o processo de fadiga estrutural e eventual colapso.

[0010] Uma solução para o problema acima mencionado encontra-se descrita no pedido de patente GB2460551, intitulado *Tower Structure and Method of Raising and Lowering Same*, cujos inventores são R. Taylor e C. Goodall. Esse documento descreve uma torre para suporte de turbina eólica para instalações *offshore* de geração de energia elétrica, em locais com profundidade da ordem de 50 metros.

[0011] Segundo mostra a Fig. 3, dita torre é formada por dois segmentos-de-torre (14) e (16) concêntricos e telescopicamente dispostos, o segmento-de-torre externo sendo associado a uma base de concreto (32) apoiada sobre o leito marinho. O segmento-de-torre interno é móvel e está provido de um elemento oco (20) em sua extremidade inferior.

[0012] O espaço entre os segmentos-de-torre externo e interno está preenchido com água, cujo nível é substancialmente igual ao nível (10) da superfície oceânica. Ao se injetar ar no elemento oco (20) a sua flutuabilidade empurra para cima o segmento-de-torre interno (16).

[0013] De acordo com a Fig. 4 e segundo o relatório descritivo, a extremidade superior do segmento-de-torre externo está provida de um anel de concreto (144) cuja face interna é configurada na forma de um tronco de cone (152). Por sua vez, o segmento-de-torre interno está provido na região superior, de um flange (162) em cuja superfície superior são soldadas (8) peças metálicas

(mãos-francesas) (164) de forma triangular, cuja aresta externa (144) tem o ângulo de inclinação concordante com o ângulo da superfície tronco-cônica (152).

[0014] Dessa forma, quando o segmento-de-torre interno atinge o final do seu percurso ascendente, impelido pelo flutuador (20), as peças (164) formam uma trava cônica quando se encaixam na superfície interna do anel de concreto.

[0015] Se bem que o referido encaixe resulte num nó mais rígido do que as estruturas ilustradas nas Figuras 1 e 2, a invenção descrita nesse documento apresenta alguns aspectos desvantajosos. O primeiro deles é o fato de que a união entre os dois segmentos-de-torre não é permanente; com efeito, o relatório descritivo indica que o segmento-de-torre interno pode ser abaixado, bastando para isso que o flutuador seja preenchido com água.

[0016] Outrossim, a torre objeto do referido documento só se presta para ser utilizada no mar, uma vez que o mecanismo de subida do segmento-de-torre interno requer que o espaço entre ditos segmentos-de-torre seja preenchido com água. Ademais, o contato entre as arestas (144) e a superfície (152) apresenta pontos de concentração de esforços, devido às inevitáveis irregularidades superficiais do concreto.

Objetivos da Invenção

[0017] Em vista do exposto, constitui o objetivo da presente invenção o provimento de uma construtividade que assegure maior rigidez ao nó estrutural de comportamento reverso.

[0018] Constitui outro objetivo assegurar um melhor desempenho no que se refere à fadiga da junção, resultando em aumento da vida útil da torre eólica.

[0019] Constitui outro objetivo da invenção prover uma melhor distribuição dos esforços de compressão sobre as superfícies em contato do nó estrutural de comportamento reverso.

[0020] Constitui mais outro objetivo, o provimento de meios que assegurem a permanência definitiva da junção entre os dois segmentos-de-torre.

Descrição Resumida da Invenção

[0021] Os objetivos acima, bem como outros, são atingidos pela invenção mediante a utilização de elementos construtivos de concreto em forma de anéis, providos de geometrias tronco-cônicas complementares nas faces em contato de mútua compressão dos anéis superior e inferior que formam o nó estrutural de comportamento reverso.

[0022] De acordo com outra característica da invenção, é aplicada uma camada de graute entre ditas superfícies tronco-cônicas complementares de modo a assegurar uma distribuição uniforme dos esforços de compressão.

[0023] De acordo com outra característica da invenção, a compressão mútua entre ditas superfícies cônicas é provida pela protensão de tirantes metálicos.

[0024] De acordo com outra característica da invenção ditos tirantes são inclinados com relação à vertical.

[0025] De acordo com outra característica da invenção ditos tirantes tem orientação vertical.

[0026] De acordo com outra característica da invenção, ditos anéis são providos de uma pluralidade de canais passantes verticais para passagem dos cabos de içamento do segmento-de-torre interno.

Descrição das Figuras

[0027] A invenção será melhor entendida através da descrição de uma concretização não limitativa, dada a título de exemplo e das figuras em corte que a ela se referem, nas quais:

[0028] A Figura 1 mostra um nó estrutural duplo de comportamento reverso estruturado de acordo com a técnica conhecida revelada no documento WO2013/083853.

[0029] A Figura 2 mostra o nó estrutural duplo de comportamento reverso conforme documento BR 10 2016 0237432, utilizado na junção do segmento-de-torre inferior 21 com o segmento-de-torre superior (22).

[0030] As Figuras 3 e 4 mostram uma torre para instalação no mar, onde o içamento do segmento-de-torre interno é provido por meio de um flutuador.

[0031] A Figura 5 mostra um estágio intermediário da montagem de uma torre compreendendo o nó estrutural da invenção.

[0032] A Figura 6 mostra o nó estrutural da invenção ao término da operação de montagem da torre.

[0033] A Figura 7 mostra uma concretização alternativa da invenção, onde o segmento-de-torre superior é fabricado em estrutura metálica.

Descrição Detalhada da Invenção

[0034] Referem-se as Figuras 5 e 6 à aplicação do nó estrutural da invenção a uma torre formada pela superposição telescópica de um segmento-de-torre superior, de menor diâmetro, a um segmento-de-torre inferior, de maior diâmetro. De acordo com os ensinamentos do documento BR 10 2016 0237432, ora incorporados ao presente pedido em sua totalidade, a primeira etapa de montagem da torre compreende o empilhamento de uma pluralidade de aduelas de concreto, solidarizadas mediante elementos de protensão longitudinal de modo a formar dois segmentos-de-torre concêntricamente apoiados sobre o solo.

[0035] A segunda etapa da construção da torre compreende o içamento do segmento-de-torre superior, de menor diâmetro, por

meio de cabos tracionados por macacos, de acordo com a técnica descrita no referido documento.

[0036] A Fig. 5 ilustra uma fase intermediária da dita operação de içamento, que compreende o uso de macacos (52) apoiados sobre a extremidade superior do segmento-de-torre inferior (21), os quais tracionam os cabos (49) ancorados na extremidade inferior do segmento-de-torre superior (22).

[0037] De acordo com o mostrado na Fig. 5, compreende o segmento-de-torre inferior (21) um anel espesso toroidal reentrante de secção triangular (25), cuja face interna apresenta-se na forma de uma superfície cônica (25'). O referido anel está provido, ao longo de sua circunferência, de uma pluralidade de canais tubulares inclinados uniformemente distribuídos (71), destinados a alojar os tirantes (não ilustrado nessa figura) que provêm a compressão mútua das partes que compõem o nó estrutural da invenção.

[0038] Ainda segundo a Fig.5, o segmento-de-torre superior (22) compreende um anel espesso toroidal saliente cuja face externa apresenta-se na forma de uma superfície cônica (26'), com dimensões e inclinação complementares àquelas da superfície cônica interna (25') do anel toroidal reentrante (25). Nessa figura observa-se ainda o provimento dos canais tubulares passantes (72), os quais são cooperantes com os canais (71) quando da junção entre os dois anéis toroidais.

[0039] A Fig. 5 mostra ainda o cabo de protensão longitudinal 58 que solidariza as aduelas que formam o segmento-de-torre

inferior (21), bem como o cabo de protensão (31), cuja função é solidarizar as aduelas do segmento-de-torre superior (22).

[0040] Ainda de acordo com a Fig. 5, o içamento do segmento-de-torre interno (22) é realizado utilizando-se uma pluralidade de macacos (52) apoiados sobre a face superior dos anéis reentrantes, os quais tracionam os cabos (49) que atravessam o furo passante vertical (48) no anel saliente inferior, e o furo passante vertical (50) no anel reentrante superior, ditos furos estando verticalmente alinhados entre si.

[0041] A Fig. 6 mostra o nó estrutural da invenção ao final da segunda etapa da montagem da torre, quando, ao término do içamento, é provida a consolidação da junção entre os anéis espessos que constituem o nó estrutural que une ditos segmento-de-torre. Dita consolidação compreende a injeção de um graute (73) entre as superfícies cônicas (25') e (26') e, após a cura desse graute, a inserção dos tirantes (74) nos canais (71) e (72), alinhados entre si. A compressão mútua dos anéis que formam o nó estrutural da invenção é provida pela protensão dos referidos tirantes, cujas extremidades superiores estão ancoradas no dito primeiro anel e cujas extremidades inferiores estão ancoradas no dito segundo anel sendo a distribuição uniforme dos esforços de compressão ao longo das superfícies cônicas provida pelo graute, o qual atua como elemento nivelador, compensando eventuais irregularidades das referidas superfícies.

[0042] Desta maneira é assegurada a solidez da junção entre ambos os segmentos-de-torre, conferindo maior rigidez estrutural ao conjunto e assegurando uma maior vida útil à torre.

[0043] Os esforços que agem sobre a torre são provenientes da pressão do vento sobre as pás, sobre o aerogerador e sobre a própria torre. Tais esforços compreendem os esforços 75 de rotação que tendem a produzir o tombamento do segmento-de-torre superior 22, e os esforços horizontais 76, 77 igualmente devidos à pressão do vento.

[0044] Tais esforços, que agem sobre o segmento-de-torre superior 22 (interno) são vantajosamente transferidos para o segmento-de-torre inferior 21 (externo) por compressão, onde dita compressão está distribuída por toda a área das superfícies tronco-cônicas em contato 25' e 26', assegurando destarte a rigidez da junção.

[0045] Se bem que descrição precedente tenha sido baseada numa torre formada integralmente por elementos de concreto, a mesma técnica pode ser utilizada em torres em que um ou ambos os segmentos-de-torre sejam formados por estruturas metálicas. Assim, por exemplo, a Fig. 7 exemplifica a utilização do princípio da invenção a uma torre onde o segmento-de-torre superior consiste numa estrutura metálica, sendo suficiente, nessa caso, que seja provido na extremidade inferior do segmento-de-torre interno 22' um anel toroidal com sua face externa tronco-cônica. Segundo ilustrado na Fig. 7, tal anel pode ser confeccionado em concreto sendo, todavia, factível que o mesmo seja composto por estrutura metálica.

[0046] Fica, portanto, esclarecido que as concretizações exemplificativas apresentadas não são limitantes do âmbito conceitual da invenção, a qual está delimitada pelo conjunto de reivindicações que se segue.

REIVINDICAÇÕES

1. APERFEIÇOAMENTO INTRODUZIDO EM NÓ ESTRUTURAL DE COMPORTAMENTO REVERSO formado pela sobreposição de um primeiro anel toroidal reentrante provido na extremidade superior de um elemento-de-torre inferior (21) constituído pelo empilhamento de uma pluralidade de aduelas de concreto, e um segundo anel toroidal saliente provido na extremidade inferior de um elemento-de-torre superior (22) igualmente constituído pelo empilhamento de uma pluralidade de aduelas de concreto, caracterizado pelo fato de a dita sobreposição compreender o contato mútuo entre a face interna (25') com formato tronco-cônico de dito anel toroidal reentrante de concreto e a face externa (26') de dito anel toroidal saliente de concreto, com formato tronco-cônico complementar ao formato tronco-cônico de dita face interna (25'), onde a compressão mútua entre as ditas faces (25', 26') é provida pela protensão de tirantes (74) inclinados com relação à vertical e inseridos nos canais mutuamente alinhados (71 e 72) respectivamente providos nos anéis toroidais (25 e 26), e onde ditos anéis toroidais são providos de canais verticais cooperantes (48 e 50) alinhados entre si, respectivamente no anel toroidal saliente e no anel toroidal reentrante.

2. APERFEIÇOAMENTO INTRODUZIDO EM NÓ ESTRUTURAL DE COMPORTAMENTO REVERSO de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de ser provida uma camada de graute (73) aplicada entre ditas faces tronco-cônicas (25', 26').

3. APERFEIÇOAMENTO INTRODUZIDO EM NÓ ESTRUTURAL DE COMPORTAMENTO REVERSO de acordo com a reivindicação 3, caracterizado pelo fato de ditos tirantes (74) serem orientados verticalmente.

4. APERFEIÇOAMENTO INTRODUZIDO EM NÓ ESTRUTURAL DE COMPORTAMENTO REVERSO de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de dita sobreposição compreender o içamento do segmento-de-torre interno (22), provido por macacos (52) apoiados na face superior do anel toroidal reentrante e por cabos (49) tracionados pelos ditos macacos ditos cabos atravessando ditos canais verticais (48, 50).



