



QUALIDADE de TORRES de CONCRETO para o PARQUE EÓLICO DE CASA NOVA

CONCRETE TOWERS QUALITY IN CASA NOVA WIND FARM

Marlon de Barros Cavalcanti (1); Claudio Luiz de Carvalho (2); Allan de Oliveira Borba (2); Alberto Jorge Coelho Tavares Cavalcanti (2); Tibério Wanderley Correia de Oliveira Andrade (3); Paulo Helene (4)

(1) Mestre, CHESF - Companhia Hidro Elétrica do São Francisco

(2) Engenheiro Civil, CHESF - Companhia Hidro Elétrica do São Francisco

(3) Prof. Mestre, TECOMAT – Tecnologia da Construção e Materiais

(4) Prof. Titular USP, PhD Engenharia

Rua Delmiro Gouveia, 333, Sala C 235, Bongij, Recife/PE, CEP 50761-901

Resumo

Diversificando seu parque gerador a Chesf está construindo o Parque Eólico de Casa Nova, que terá uma potência instalada de 180MW com 120 unidades de 1,5MW, localizado no Estado da Bahia.

O empreendimento apresenta bases de fundação direta em concreto armado convencional e torres pré-fabricadas em concreto de alto desempenho protendidas. As torres são compostas por cinco tramos de 20m cada, totalizando 100m de altura. A engenharia do proprietário é exercida diretamente pela Chesf e inclui a análise do projeto executivo das bases de fundação e o controle de qualidade da construção das bases e torres pré-fabricadas. No controle tecnológico do concreto, além dos ensaios de resistência à compressão, fluidez, coesão e segregação, foram ensaiados os agregados para verificação da potencialidade da reação álcali-agregado e medidas preventivas foram tomadas. Devido o grande volume das fundações estudos de dosagem com gelo e registros térmicos foram implementados, assim como está em andamento uma análise de vida útil baseada em dados de obra.

Palavras-Chave: Aerogerador, concreto, controle de qualidade, durabilidade

Abstract

Diversifying its power generation capacity, CHESF is building the Casa Nova wind farm, which will have an installed capacity of 180MW with 120 units of 1.5MW, located in the State of Bahia. The project presents direct foundation footings in conventional reinforced concrete and precast prestressed high performance concrete towers. The towers are composed of five spans of 20m each, totaling 100m high. The Owner's Engineering is performed directly by CHESF and includes certification of the foundation footings executive design and quality control of the precast towers construction. The technological control of the concrete includes testing of compressive strength, fluidity, cohesion and segregation. The aggregates were tested for alkali-aggregate reactivity and preventive measures were taken. The procedures adopted by CHESF for the design and construction of the foundation footings and precast concrete towers fabrication are presented.

Keywords: Wind generator, concrete, quality control, durability

1 INTRODUÇÃO

Diversificando seu parque gerador, a Chesf está construindo o Parque Eólico de Casa Nova, que terá uma potência instalada de 180MW com 120 unidades de 1,5MW, localizado no Município de Casa Nova, Estado da Bahia, na borda do reservatório da barragem de Sobradinho (ver Fig. 1).

O fornecimento, construção e montagem está a cargo do Consorcio Ventos de Casa Nova, constituído pelas Empresas Wind Power Energia S. A., Dois A Engenharia e Tecnologia Ltda. e I M Comercio e Terraplenagem Ltda.

Os aerogeradores têm bases de fundação direta em concreto armado convencional e torres pré-fabricadas em concreto protendido auto adensável curado a vapor, com 50MPa, considerado concreto de alto desempenho. As torres são compostas por cinco tramos de 20m cada, totalizando 100m de altura, onde cada tramo, na seqüência de elevação, se compõe de dois tramos de quatro aduelas, um tramo de três aduelas e dois tramos de duas aduelas, isto é, 15 aduelas por torre. As aduelas e os tramos são unidas por armaduras passivas grauteadas in loco. As torres têm forma tronco cônica com diâmetro externo variando de 7,04m na base a 2,65m na parte superior e espessura de parede entre 16cm e 20cm.

A Engenharia do Proprietário foi executada diretamente pela Chesf e inclui a certificação do projeto executivo das bases de fundação e o controle de qualidade da construção das bases e torres pré-fabricadas. No controle tecnológico do concreto, além dos ensaios de resistência à compressão, fluidez, coesão e segregação, foram ensaiados os agregados graúdo e miúdo para verificação da potencialidade de reação álcali-agregado, assim como a adoção de medidas preventivas. Para gerenciar a durabilidade das torres foram realizados ensaios acelerados de carbonatação e cloretos.



Figura 1. Mapa de localização do Parque Eólico Casa Nova



2 ANÁLISE DO PROJETO DAS BASES

A análise dos projetos das bases dos aerogeradores tem como objetivo assegurar a aderência do projeto executivo às especificações técnicas contratuais e sua compatibilidade com as características geotécnicas do terreno de fundação. O projeto executivo das bases foi elaborado pela empresa Esteyco Energia, da Espanha, baseado em normas espanholas e internacionais e compatibilizado com as normas da ABNT durante o processo de análise do projeto.

2.1 Características das Bases

As sapatas de fundação dos aerogeradores estão assentes diretamente no terreno, sendo que cerca de 50% estão assentes em rocha e as restantes em solo arenoso de consistência média a dura com espessura máxima de 8m.

As bases resumem-se a dois tipos em função da presença do lençol freático. A sapata tipo 1 é utilizada quando o nível do lençol freático está abaixo do nível de apoio da sapata no terreno de fundação. No caso do lençol freático ficar acima desse nível é utilizada a sapata tipo 2:

Sapata tipo 1: Um quadrado inferior com 8,50m lado, com espessura constante de 1,80m e um quadrado superior com 14,50m de lado com espessura variável de 1,80m a 0,50m.

Sapata tipo 2: Um quadrado inferior com 10,0m lado, com espessura constante de 1,90m e um quadrado superior com 17,0m de lado com espessura variável de 1,90m a 0,60m.

Sobre as sapatas de concreto armado foi ainda executado um aterro de solo compactado com 40cm de espessura cujo peso colabora com a estabilidade global da estrutura. O concreto de fundação tem resistência característica de 25MPa aos 28dias e atende à ABNT NBR 12655:2007, sendo classificado como de classe II de agressividade ($a/c < 0,60$, consumo de cimento $> 280\text{kg/m}^3$ e cobrimento $> 30\text{mm}$).

2.2 Normas Utilizadas no Cálculo Estrutural

Foram utilizadas as seguintes Normas para cálculo:

- EHE-08 - Instrucción de Hormigón Estructural;
- Eurocode 2 EN 1992-1-1 Design of concrete structures;
- **fib** (CEB-FIP) Model Code 1990 e 2010.
- ABNT NBR 6118 - Projeto de Estruturas de Concreto;
- ABNT NBR 6122 - Projeto e Execução de Fundações;

Foram consideradas as cargas gravitacionais e aquelas transmitidas pela torre segundo a IEC-6400-1 da INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION que regulamenta o projeto de turbinas eólicas. A fundação foi calculada por dois métodos complementares:

numericamente por um modelo matemático e analiticamente considerando uma distribuição linear de tensões no solo. A estabilidade global da estrutura foi verificada quanto ao tombamento, deslizamento e a rigidez rotacional dinâmica do solo de fundação

2.3 Modelo Matemático

O modelo utilizado foi o MEF (método dos elementos finitos). A laje foi modelada por elementos de placa, com espessura constante. Na base da torre foi introduzida uma junta tipo *master*, que é rigidamente conectada com as placas na posição da parede da torre e no nível inferior da fundação, foi utilizada a junta tipo *slave*. O modelo consiste de 754 nós, 756 placas e elementos de vigas e 713 apoios do tipo mola somente em compressão. As cargas transmitidas pela torre foram aplicadas nas juntas tipo *master-slave*. O peso próprio da sapata e do aterro foram considerados automaticamente pelo programa.

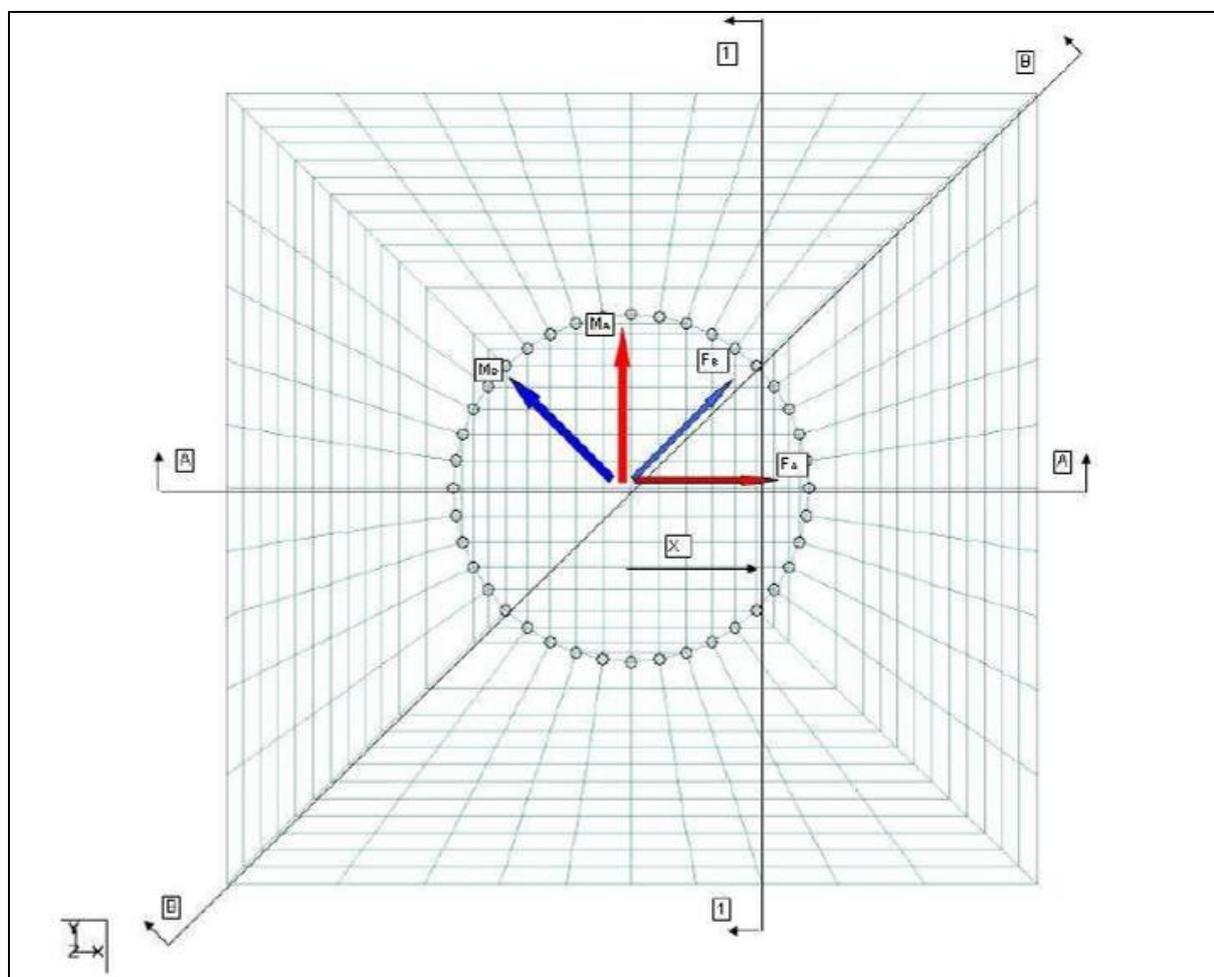


Figura 2. Discretização da malha no modelo matemático utilizado pela CHESF.

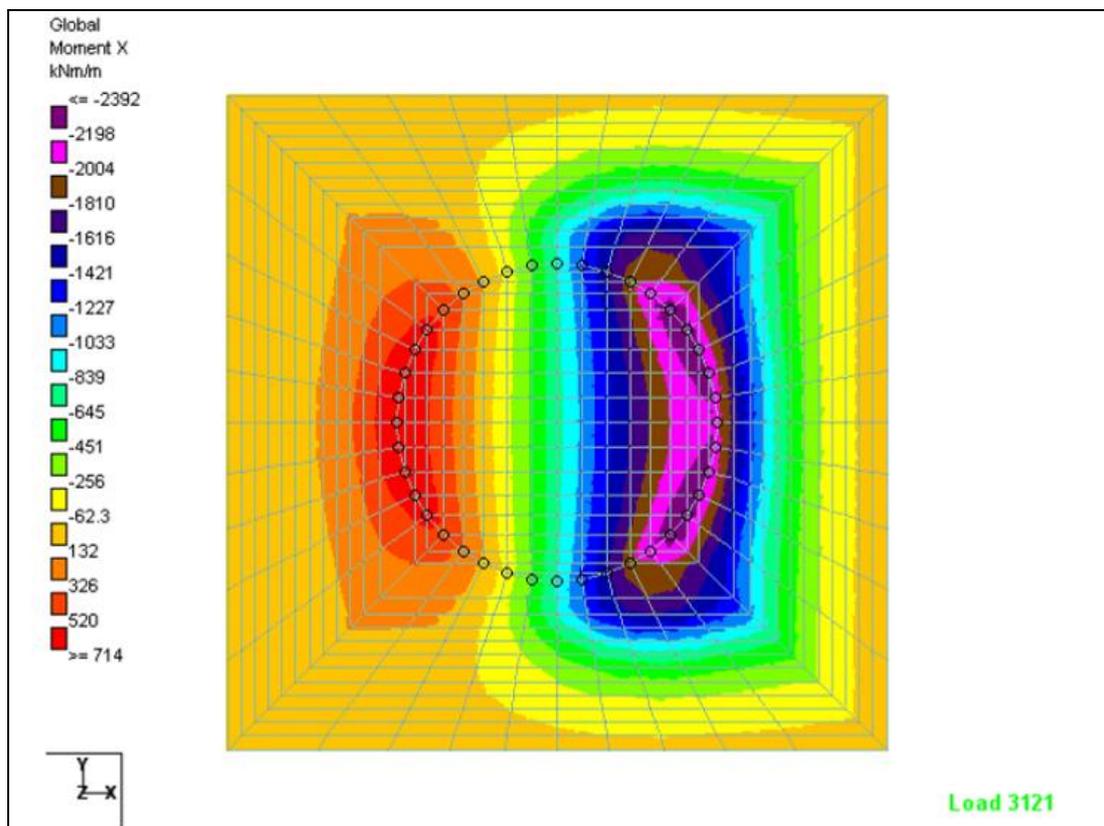


Figura 3. Distribuição do momento fletor global na direção X



Figura 4. Vista do início da da concretagem de uma base



3 CONTROLE TÉRMICO DA CONCRETAGEM DAS BASES

O concreto massa é definido como aquele que, ao ser aplicado numa estrutura, requer a tomada de precauções com as variações ambientais, as alturas das camadas de concretagem, as velocidades e temperaturas de lançamento para que sejam evitadas fissurações derivadas de seu comportamento térmico. O cronograma executivo e o planejamento da produção, transporte, lançamento e adensamento do concreto são fatores de extrema importância equivalentes a um bom estudo de dosagem, uma vez que influem na escolha das características do concreto massa. (SILVA, 2012).

Sobre o cimento, em virtude das elevadas temperaturas do concreto massa, os mesmos devem ser submetidos a ensaios físico-químicos, incluindo a determinação do calor de hidratação e dos álcalis solúveis em água. Os cimentos Portland do tipo pozolânico (CP IV) e os cimentos de escória de alto forno (CP III) apresentam menor calor de hidratação, sendo preferíveis para a produção do concreto massa (ABCP, 2013). Cimentos Portland, que contêm relativamente mais C_3A (aluminato tricálcico) e C_3S (silicato tricálcico) apresentam maior calor de hidratação do que os cimentos mais grossos, com menos C_3S e C_3A (MEHTA e MONTEIRO, 2008). O cimento utilizado no concreto das bases é o CP IV-32 RS, marca MIZU, ou seja, atende a condição de tipo apropriado para este caso.

Com base na definição de concreto massa surge a importância da investigação do fenômeno não só em estruturas de grande porte, como por exemplo, barragens, mas também nestas estruturas com expressivo volume de concreto de alto consumo de cimento, como é o caso dos blocos de fundações em parques eólicos. O consumo médio de cimento das bases do Parque Eólico de Casa Nova foi de 305kg/m^3 .

3.1 Equacionamento

A equação do fluxo de calor é também conhecida como a “Transformada de Fourier”¹. A geração interna de calor devido às reações de hidratação menos o calor que sai do elemento por condução (ou convecção, se for de contorno) resulta em calor armazenado pelo elemento. Este fenômeno pode ser descrito pela equação:

$$h^2 \nabla^2 T + \partial T \alpha / \partial t = \partial T / \partial t$$

em que:

T (°C) = temperatura do elemento de volume considerado;

t (dia) = variável tempo;

$T\alpha$ (°C) = elevação adiabática de temperatura no elemento de volume do concreto;

h^2 (m^2/dia) = difusividade térmica.

¹ Jean-Baptiste Joseph Fourier (Auxerre, 21 de março de 1768 — Paris, 16 de maio de 1830) foi um matemático e físico francês, celebrado por iniciar a investigação sobre a decomposição de funções periódicas em séries trigonométricas convergentes chamadas séries de Fourier e a sua aplicação aos problemas da condução do calor. A Transformada de Fourier foi designada em sua homenagem.



A resolução da equação diferencial pode ser realizada de diversas maneiras, desde analiticamente até utilizando ferramentas numéricas como foi o caso.

3.2 Parâmetros Térmicos e Viscoelásticos

Nem sempre a realização de ensaios térmicos completos é possível, pois há poucos laboratórios especializados no Brasil e o custo pode ser alto assim como o prazo de ensaio pode ser mais extenso que a necessidade da obra. Entretanto, alguns parâmetros, como por exemplo, resistência à compressão, resistência à tração na flexão e módulo de elasticidade são de comum determinação em laboratórios de controle e ensaio, sendo estes parâmetros de grande importância na verificação do fluxo de calor através do concreto.

Um fator que também tem influência significativa no fenômeno é a elevação adiabática de temperatura do concreto, parâmetro este que é diretamente proporcional ao consumo de cimento e, também, função direta do tipo de cimento.

3.3 Informações das Bases de Fundação

Os blocos de fundação que serão apoio destas torres são de grandes dimensões e estão divididos em dois tipos, segundo o projeto:

- a) Tipo 1: com altura de 1,8m e seção trapezoidal com dimensões em planta de 14,50m x 14,50m e volume de concreto próximo de 300m³ e
- b) Tipo 2: com altura de 1,9m e seção trapezoidal com dimensões em planta de 17,0m x 17,0m e volume de concreto teórico próximo de 420m³.

De acordo com o projeto deve ser empregado concreto classe C25 com resistência característica à compressão de 25MPa, utilizando aditivo plastificante.

3.4 Controle Térmico Durante a Concretagem das Bases

Foram adotados vários procedimentos durante a execução e lançamento do concreto, bem como monitoramento após concretagem. Dentre eles se destacam:

- Pré-refrigeração que consiste no uso de água gelada e gelo na fabricação do concreto. Foi adotada a substituição de, no mínimo, 27% da água de amassamento por gelo. De modo geral, quanto mais baixa a temperatura do concreto ao passar da fase plástica para a fase elástica, menor a tendência de fissuração;
- Lançamento do concreto foi realizado a uma temperatura máxima de 29°C, para que as temperaturas no interior da estrutura não ultrapassem 65°C nos pontos críticos. Acima dessa temperatura há risco de formação de estringita secundária diferida (DEF) que pode induzir expansões deletérias;
- O adensamento do concreto foi executado por vibradores de imersão, incluindo a correta vibração de “costura” na área de contato entre duas camadas sobrepostas,

fato que assegura melhor qualidade do concreto;

- As espessuras de camadas de concretagens foram limitadas de 20cm a 25cm;
- Durante a concretagem e adensamento, aplicação de manta de tipo “Bidin” logo após o término do acabamento combinado com a necessária e permanente aspersão de água tipo *spray*, devido a elevadas temperaturas ambientes que alcançaram a 46°C, ao mesmo tempo que a umidade relativa chegou a ser de apenas 26%;
- Uma vez endurecida a superfície ao toque, cuidados rigorosos com a cura, cumprindo exatamente o especificado em projeto;
- Monitoramento da temperatura do concreto em vários pontos críticos.

3.5 Acompanhamento da Temperatura no Interior da Base

A Fig. 5 apresenta os locais de instalação dos termômetros embutidos no concreto para acompanhamento da elevação de temperatura no interior da estrutura.

Para avaliar a elevação de temperatura no interior da estrutura de concreto foram realizadas leituras iniciais de hora em hora, nas primeiras 24h, e durante os seis dias seguintes de 3h em 3h, cujos resultados estão apresentados na Fig. 6.

A temperatura máxima registrada foi 61,3°C nas posições B e C no centro da base.

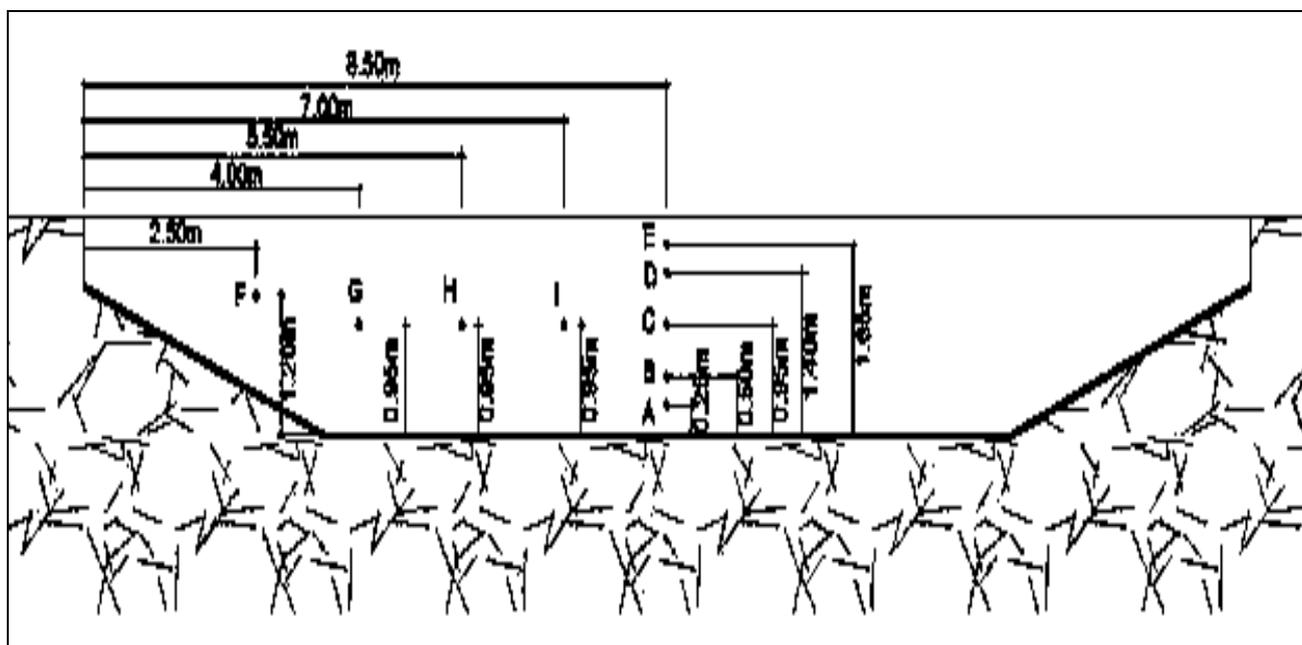


Figura 5. Localização dos termômetros/termopares (seção longitudinal)

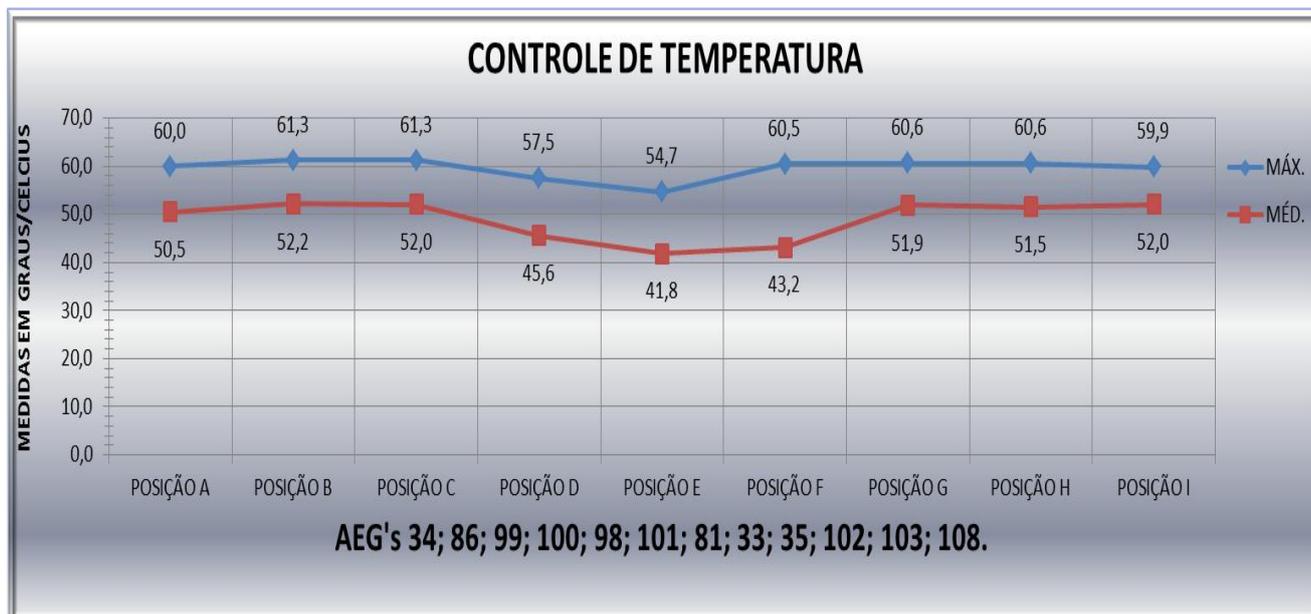


Figura 6. Temperaturas máximas e médias de 12 bases concretadas

As Fig. 7 e 8 mostram o posicionamento dos termômetros, a concretagem da base e leitura da temperatura.



Figura 7. Termômetros instalados e concretagem da fundação



Figura 8. Concretagem da fundação e leitura nos termômetros

4 Prevenção da reação álcali agregado

Os agregados utilizados nos concretos das bases de fundação e das torres do Parque Eólico Casa Nova são provenientes de fornecedores instalados na região de Petrolina.

Amostras dos agregados, areia natural e brita, foram enviadas para a ABCP para realização de exame petrográfico e ensaio de reatividade acelerada, de acordo com as recomendações da norma ABNT NBR 15577.

As Tabelas 1 e 2 apresentam a síntese das características petrográficas das amostras de areia e brita examinadas. Tanto a areia quartzosa como a brita gnaissica foram classificadas como potencialmente inócuas.

Tabela 1. Síntese das características gerais da areia

Amostra	Areia natural do porto São Francisco	
Cor (seca)	Creme amarronzado	
Mineralogia	Principal	Quartzo
	Subordinada	Fragmentos de rocha (granítica)
	Deletéria	< 5% quartzo microcristalino e calcedônia
Grau de arredondamento	Arredondado e subarredondado	
Grau de esfericidade	Alta	
Alteração	Ausente	



Reatividade potencial com os álcalis	Potencialmente inócua
Superfície dos grãos	Polido e fosco

Tabela 2. Síntese das características petrográficas (Brita 12,5mm - Pedreira Petrolina)

Mineralogia	Principal	Quartzo, feldspatos (plagioclásio e microclínio) e biotita
	Subordinada	Sericita, anfibólio, titanita, clorita e opacos
	Reativa/Deletéria	Quartzo com extinção ondulante (25°): <5%; quartzo microcristalino: <5% e feldspato alterado: >5%
Cor	Cinza clara com faixas claras e escuras	
Estrutura	Levemente foliada	
Textura	Granulepdoblástica	
Granulação	Inequigranular – Média a fina	
Deformação do agregado	Quartzo deformado (ângulo de extinção ondulante de 25°)	
Feldspatos (texturas potencialmente reativas)	Mirmequitas e pertitas: <1%	
Quartzo deformado (< extinção ondulante)	<5%	
Quartzo microgranular (%)	<5%	
Microfissuração	Fraca	
Tipo	Brita	
Grau de alteração	Rocha pouco alterada	
Propriedades físico-mecânicas	Rocha muito coerente	
Tipo de rocha	Metamórfica	
Classificação petrográfica	Gnaisse	
Reatividade potencial	Potencialmente inócua	

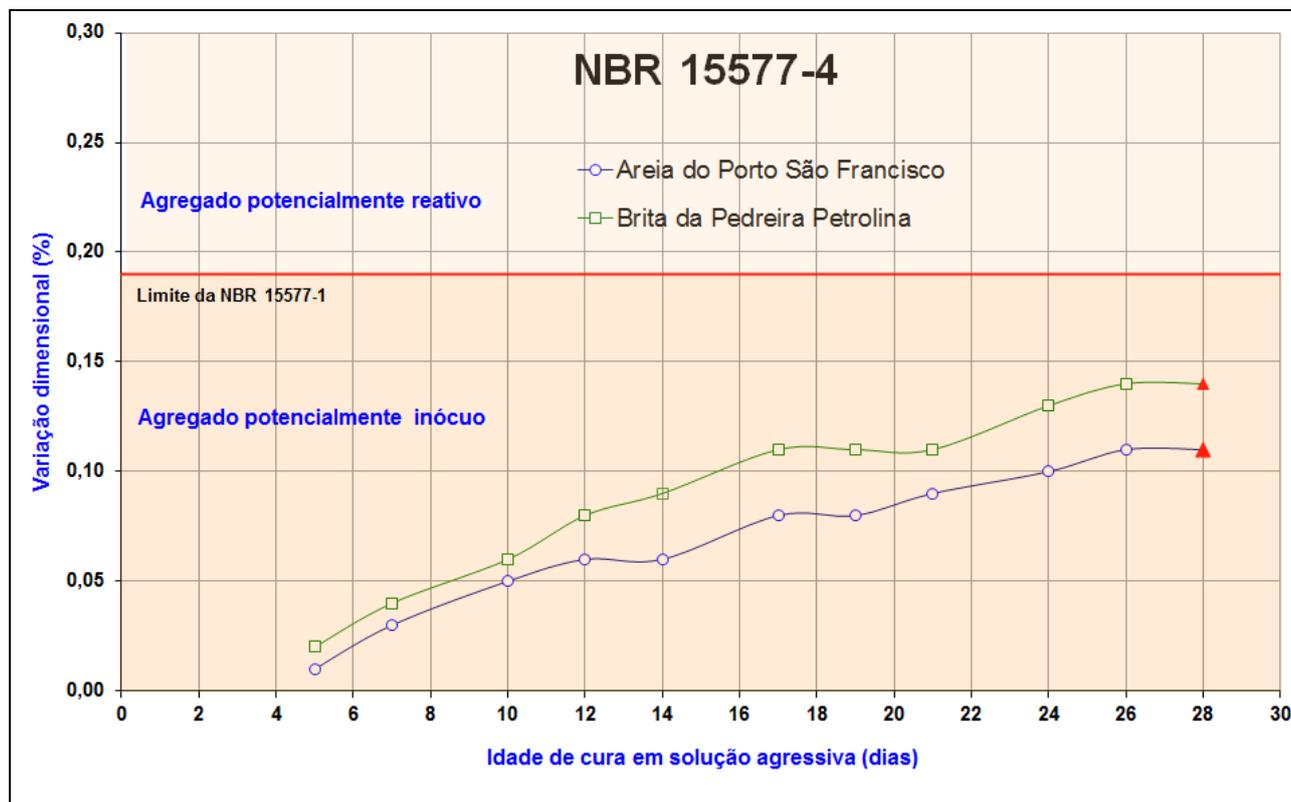


Figura 9. Gráfico da evolução da expansão com o tempo de cura em solução alcalina

Os resultados do ensaio de reatividade acelerada em barras de argamassa, mostrados na Fig. 9, também classificaram os agregados como potencialmente inócuos, segundo o critério da ABNT NBR 15577 (expansão inferior a 0,19% aos 30 dias de idade).

Todavia, tendo em vista a nota 1 do item 5.3 da referida Norma, “Verificou-se que alguns granitos-gnaisses e metabasaltos são deletérios em serviço embora tenham apresentado, pelo método preconizado pela norma ASTM 1260, valor de expansão abaixo do especificado por aquela Norma (falso negativo)”, e principalmente o desempenho em serviço de agregados gnaissicos apresentados por Silveira et al, foram tomadas ações preventivas preconizadas na seção 7 da ABNT NBR 15577 para uso de agregados potencialmente reativos em concreto.

De acordo com a classificação de medidas preventivas em função do tipo de estrutura, constante da Tabela 1 da ABNT NBR 15577 para estruturas especiais, a torre (não maciça e seca) pode-se desprezar o risco de problemas enquanto que a base de fundação (maciça em contato com água) deve ter ação preventiva forte, entre as listadas na Tabela 2 da ABNT NBR 15577.

Para as torres de concreto foi limitado o teor de álcalis no concreto abaixo de 3kg/m^3 de Na_2O equivalente e para as bases de fundação foi utilizado cimento Portland tipo CPIV já citado.



O cimento usado na superestrutura das torres é do tipo CP V ARI RS, de fornecimento da empresa Mizu (razão social Maré Cimentos Ltda), processado em Baraúna/RN e correspondente ao Relatório de Caracterização Química número 80824.E001 emitido pela ABCP, com teor alcalino equivalente em Na_2O de 0,48%.

5 Controle de qualidade das torres

5.1 Apresentação das Torres

As torres de concreto são compostas por aduelas em concreto auto-adensável com f_{ck} de 50MPa, armadura passiva em aço CA-50 com $\varnothing 6,3\text{mm}$ a 25mm e armadura ativa em cordoalha de 7 fios, engraxada e plastificada correspondente a CP RB 190 de $\varnothing 15,2\text{mm}$.

Um conjunto de 15 aduelas compõe uma torre que se divide em 5 tramos distintos numa estrutura tronco cônica. O 1º e 2º tramos se formam com 4 aduelas cada, o 3º tramo tem 3 aduelas e o 4º e 5º tramos têm 2 aduelas cada.

A Fig. 10 ilustra o esquema de composição da torre com 100m de altura, onde cada peça se liga lateralmente por armadura passiva grauteada e na base e topo por armadura passiva, parafusos protendidos e graute. As protensões aplicadas são de 390bars (39MPa) nas cordoalhas e 920bars (92MPa) nos parafusos do tramo 5 com anel metálico de fixação do aerogerador.



Figura 10. Esquema de composição da torre

A seqüência produtiva das aduelas para a formação das torres segue uma linha cronológica na fábrica, desde o recebimento dos materiais até a ordem de entrega das aduelas constando sua localização no parque eólico.

A Fig. 11 mostra o fluxograma do processo produtivo das aduelas e torres.

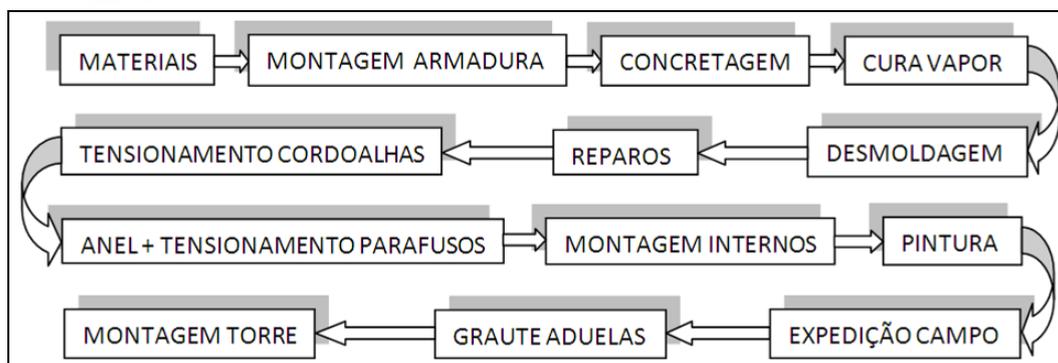


Figura 11. Fluxograma da produção de aduelas e torres

5.2 Qualidade das Torres

O plano de inspeção das torres de concreto se baseia na norma ABNT NBR 5426, onde para um tamanho de lote de 15 aduelas (cada torre tem 15 aduelas), nível geral de inspeção II e um NQA 6,5 (i.e. uma probabilidade de 93,5% de lote bom ser aprovado ou 6,5% de um lote ruim ser aprovado - risco adotado), com plano de amostragem simples - normal, indica que o tamanho da amostra a ser retirada é 2 unidades.

Os itens constantes da inspeção das aduelas do lote são:

- 1) Certificados dos aços e cordoalhas;
- 2) Certificado do cimento, incluindo teor de álcalis;
- 3) Controle de fabricação prévia a concretagem, para verificação das armaduras;
- 4) Controle de concretagem, através dos ensaios do concreto fresco na central antes do lançamento, como: fluidez (slump flow test, slump flow T600 test e V-funnel test), habilidade passante e coesão (L-box test), além de massa unitária e ar incorporado;
- 5) Controle de desmoldagem, através de ensaios de resistência do concreto para transporte;
- 6) Controle de reparação de aduelas após desmoldagem, através de inspeção visual das aduelas para detecção de falhas e fissuras;
- 7) Controle de resistências do concreto, através de ensaios de ruptura de corpos de prova;
- 8) Controle dimensional do recobrimento da armadura do concreto;
- 9) Controle de colocação do anel metálico, aplicável às aduelas do último tramo para fixação do aerogerador;
- 10) Controle de tensionamento das cordoalhas;

- 11) Controle de tensionamento dos parafusos, aplicável às aduelas do último tramo para fixação do aerogerador;
- 12) Controle de aduela prévio a expedição, através de registros relacionados com o processo de montagem das torres;
- 13) Controle de pintura, através de ensaios da medição de camada e aderência;
- 14) Controle de expedição, através da rastreabilidade das aduelas.

Dentro de um universo de 60 aduelas produzidas até este momento, num total de 1800 aduelas, tem-se o histórico cumulativo de não conformidades representado na Fig. 12, onde alguns pontos são de fácil correção, como: documentação, pintura, visual, armadura e cordoalha, já outros estão em análise sobre as medidas corretivas a serem adotadas, tais qual recobrimento através de estudos de durabilidade e protensão através da análise do projeto para os limites aceitáveis de alongamento das cordoalhas.

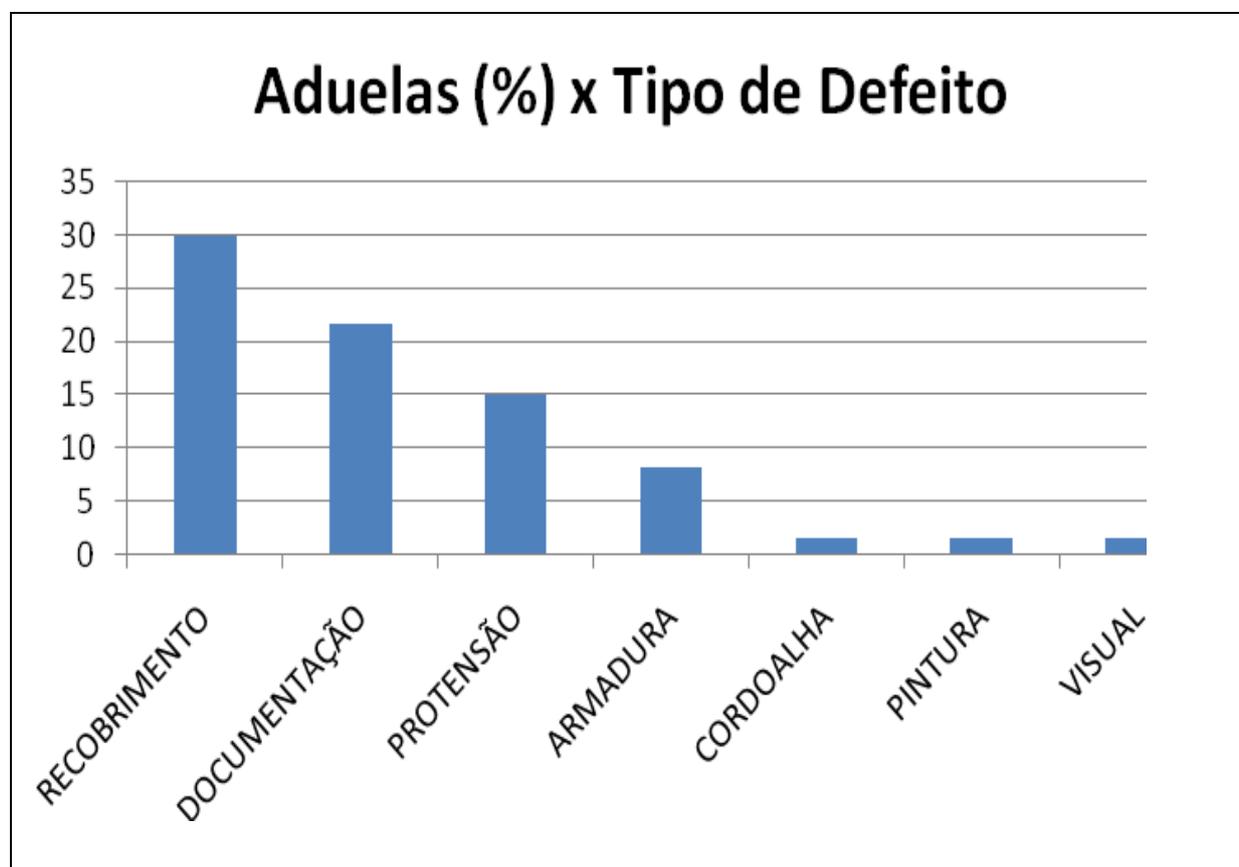


Figura 12. Histórico cumulativo de não conformidades

No sentido de minimizar a adoção de medidas corretivas a fábrica de torres tem procurado melhorar seu processo produtivo, seguindo as sugestões das equipes de qualidade em campo que identificaram pontos frágeis no processo e os melhoraram.



Figura 13. Visão geral da sequência de montagem do aerogerador

6 Vida Útil



Internacionalmente as torres eólicas são projetadas para uma vida útil de apenas 20anos. A CHESF com apoio de consultores está realizando ensaios de campo e análises teóricas para determinar se esse requisito é compatível com a ABNT NBR 8681 e será objeto de futuro artigo científico.

7. Considerações Finais

Este trabalho mostrou sucintamente a complexidade dos estudos e da correta implantação de torres eólicas com fuste de concreto protendido e fundações de concreto armado tipo massivo.

8 Referências

- Associação Brasileira de Cimento Portland ABCP. **Relatório de Ensaio nº 80824E0001**. Caracterização química de cimento tipo CP V-ARI RS da Maré Cimento Ltda. São Paulo 18 de janeiro de 2013.
- Associação Brasileira de Cimento Portland ABCP. **Relatório de Ensaio nº 81481**. Análise petrográfica de brita. São Paulo 28 de janeiro de 2013.
- Associação Brasileira de Cimento Portland ABCP. **Relatório de Ensaio nº 81389**. Análise petrográfica de areia. São Paulo 14 de janeiro de 2013.
- Associação Brasileira de Cimento Portland ABCP. **Relatório de Ensaio nº 80967**. Determinação da reatividade álcali-gregado pelo método acelerado. São Paulo 28 de janeiro de 2013.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 5426. **Planos de amostragem e procedimentos na inspeção por atributos**. ABNT, Rio de Janeiro, 1985.
- Mehta, K. P & Monteiro, Paulo J.M. **Concreto Microestrutura, Propriedades e Materiais**. Revisores e Coordenadores: Nicole Pagan Hasparyk, Paulo Helene & Vladimir Antonio Paulon. IBRACON, 2008. ISBN 978-85-98576-12-1
- Silva, B. H. M., Silva, B. T., Gomes, F. M. R. **Concreto Massa**. Trabalho apresentado no curso de Engenharia Civil da Pontifícia Universidade Católica De Minas Gerais para a matéria ministrada pelo professor Carlos D'Ávila de Tópicos Especiais de Materiais. PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS. FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL. Belo Horizonte, 2012.
- Silveira, J. F. A., Cavalcanti, A. J. T., Hasparyk, N. P., Lopes, A. N. M. **Investigação da reatividade álcali-agregado e a confiabilidade dos métodos de ensaio acelerados**. IBRACON - 44º Congresso Brasileiro, Belo Horizonte, 2002.