

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

ELABORAÇÃO DE PROCEDIMENTOS DE MONTAGEM DE AEROGERADORES BASEADOS EM CONFIABILIDADE HUMANA

Paulo Roberto Freitas Neves, paulo.neves@fieb.org.br¹
Marinilda Lima Souza, marinilda.lima@fieb.org.br¹
Josep Fàbregas Cornellà, fabregas.josep@gmail.com¹

¹ Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC, Av. Orlando Gomes, 1845 – Piatã, Salvador-BA, CEP: 41.650-010, www.fieb.org.br/senai

Resumo: De acordo com a Associação Brasileira de Energia Eólica ABEEólica (2016), o Brasil possui 349 parques eólicos instalados com capacidade de geração de 8,72 GW e mais 413 parques contratados ou em construção com capacidade de 10,08 GW demonstrando um crescimento virtuoso da geração de energia eólica no decorrer dos anos. Está previsto que até o final de 2019 o Brasil terá cerca de 18,79 GW de potência instalada. Diante deste cenário, é preciso, desde já, atentar-se, estrategicamente, para a necessidade de gestão e intervenções de manutenção de modo a garantir a confiabilidade operacional e produtividade nos parques eólicos. Neste aspecto, visando garantir a melhoria do desempenho humano na realização das tarefas de montagem de aerogeradores, este estudo tem por objetivo analisar e diagnosticar a implantação de melhorias nos roteiros de montagem de aerogeradores contemplando metodologias e técnicas de análise de confiabilidade humana (ACH). O artigo mapeia as potencialidades de melhoria e implantação de ações mitigadoras para eliminação de falhas humanas na montagem de aerogeradores demonstrando e fortalecendo a necessidade de utilização dessas técnicas e metodologias de forma estratégica, contribuindo para a melhoria do desempenho humano e, conseqüentemente, para o aumento de disponibilidade, confiabilidade, redução de custos e sucesso operacional das empresas do setor de energia eólica no Brasil.

Palavras-chave: Aerogeradores, Roteiros de Montagem, Confiabilidade Humana, Desempenho Humano

1. INTRODUÇÃO

De acordo com a Associação Brasileira de Energia Eólica ABEEólica (2016), o Brasil possui 349 parques eólicos instalados com capacidade de geração de 8,72GW, aptos a operar, operando em teste ou operando comercialmente e mais 413 parques com capacidade de 10,08GW contratados ou em construção. Sendo que, 62 desses 349 parques eólicos instalados e 171 dos 413 parques contratados ou em construção estão no estado da Bahia. Com isso, a Bahia ocupa atualmente o 2º lugar no ranking nacional com 18,6% de potência instalada e lidera o ranking com 39,2% de potência em construção.

Diante deste cenário, é preciso, desde já, atentar-se, estrategicamente, para as necessidades de gestão e intervenções de manutenção de modo a garantir a confiabilidade operacional e produtividade nos parques eólicos.

Sabendo-se que a montagem de um aerogerador é uma atividade complexa e que em várias etapas, como por exemplo, na montagem de componentes em naceles e hubs, a ação humana é fundamental, pois são necessárias atividades manuais para realização dessas tarefas, o estudo demonstra e fortalece a necessidade de utilização de técnicas e metodologias de confiabilidade humana, de forma estratégica, contribuindo para a melhoria do desempenho humano o que conseqüentemente, se traduz em aumento de disponibilidade, confiabilidade, redução de custos e sucesso operacional das empresas do setor de montagem de aerogeradores.

Neste aspecto, visando garantir a melhoria do desempenho humano na realização das tarefas de montagem de aerogeradores este estudo tem por objetivo analisar e diagnosticar a implantação de melhorias nos roteiros de montagem de aerogeradores contemplando metodologias e técnicas de ACH.

A logística de montagem e manutenção de aerogeradores deve ser gerenciada de modo a reduzir ou minimizar os impactos na produção de energia eólica. Os parques eólicos, em sua grande maioria, estão distantes das capitais e das sedes das empresas fabricantes e montadoras de aerogeradores. Entretanto, para garantir o funcionamento dos aerogeradores é necessário efetuar as intervenções de manutenção.

Há muito tempo a utilização de procedimentos escritos como suporte para execução das tarefas da manutenção é realidade. As pesquisas sobre confiabilidade humana apontam que um dos fatores que incluem restrições e podem conduzir para falha humana na execução de uma atividade de manutenção são os procedimentos e padrões mal elaborados.

Embrey (2000) ao estudar os procedimentos escritos para execução de tarefas em sistemas complexos (alto risco) constatou que um dos aspectos mais relevantes para a não utilização dos procedimentos escritos é a dificuldade que os métodos empregados na elaboração dos procedimentos têm de traduzir a realidade da tarefa. De acordo com Figueirôa Filho e Souza (2011) na indústria de um modo geral os procedimentos técnicos ainda perpetuam uma dita integração vertical (projeto x execução). Além disso, os textos técnicos ainda mantêm uma linguagem precisa e concisa, e, freqüentemente a precisão se sobrepõe a concisão. Ou seja, os textos técnicos utilizados nos padrões e procedimentos em determinados momentos deixam de ser claros para ser, especificamente, precisos e, este preciosismo técnico promove uma relação de distanciamento entre executor e procedimento. Diante do exposto, vale trazer as seguintes questões: os roteiros de montagem de aerogeradores atendem às necessidades dos executantes das tarefas? E em uma situação de falha, os procedimentos são claros e concisos no que tange ao fornecimento de informação para que os executantes possam efetuar tomadas de decisão assertiva? Em que medida os roteiros de montagem de aerogeradores detalha o passo a passo da tarefa e servem de suporte aos executantes sem colocar em risco a confiabilidade do sistema?

É fato que a constante utilização de procedimentos escritos como suporte e auxílio para execução das tarefas e atividades têm contribuído significativamente para a qualidade e confiabilidade dos serviços do setor produtivo.

Dentre as ações comuns, das instituições que se debruçam sobre os estudos que contemplam a confiabilidade humana, aparece a melhoria de procedimentos escritos. Esta linha de pesquisa gera o levantamento da situação quanto às facilidades e suporte a melhoria do desempenho humano, através de lista de situações propensas a erro ou questionários para avaliar a percepção dos executantes e dos líderes quanto ao assunto. Assim, sabendo que nas intervenções de manutenção que demandam ações manuais, as falhas humanas tem grande impacto na produtividade, não somente do ponto de vista operacional como também, nas intervenções de montagem e manutenção de equipamentos. Desta maneira, a elaboração deste estudo se justifica vez que, a montagem de um aerogerador é uma atividade complexa e que em várias etapas, depende, exclusivamente, da ação humana.

Segundo Figueirôa Filho e Souza (2011), entende-se que a expressão confiabilidade humana é a probabilidade de que um sistema que requer ações, tarefas ou trabalhos humanos seja completado com sucesso dentro de um período de tempo requerido, assim como a probabilidade que nenhuma ação humana estranha seja desempenhada em detrimento da confiabilidade e disponibilidade do sistema.

Hollnagel (1993) destaca que o erro humano ocorre quando uma ação falha ao produzir um resultado inesperado ou produz consequências não desejadas. De acordo com Figueirôa Filho e Souza (2011), a indústria de energia nuclear foi a instituição pioneira em direcionar ações com foco em Confiabilidade Humana e tempos depois, a indústria da aviação americana passou a utilizar conceitos de falhas humanas na investigação de acidentes. Com o despertar do interesse para o tema, a indústria de processos químicos e petroquímicos, através do American Petroleum Institute (API), desenvolveu a norma API 770 (2001). No que tange a elaboração dos procedimentos baseados em confiabilidade humana, a norma API 770 (2001), estabelece como solução para aumento do desempenho humano nas tarefas de manutenção o uso de check list e procedimentos bem desenhados em substituição aos tradicionais modelos narrativos. Ou seja, a melhoria dos procedimentos é uma das principais ações para aumento da confiabilidade humana. Assim, diversos estudos na área industrial já sinalizam a importância de elaboração de procedimentos de manutenção baseados em confiabilidade humana.

Souza e Figueirôa Filho (2011) baseados em técnicas e metodologias de confiabilidade humana desenvolveram estudo de métodos para elaboração de procedimentos definindo um conjunto de padrões para atender às necessidades de quem executa a tarefa utilizando o conceito de usabilidade segundo a norma ISO/IEC 9126 e a metodologia CARMAN (Consensus based Approach to Risk Management) proposta por Embrey (2000). No estudo, os autores concluíram que os executantes demonstram grande aceitação aos procedimentos elaborados e que as melhorias dos procedimentos impactaram diretamente na melhoria e aumento da produtividade.

Ao elaborar procedimentos de suporte ao operador de equipamentos com SIS (Sistemas Instrumentados de Segurança) como, fornos, caldeiras e compressores, Pimentel, Figueirôa Filho e Souza (2012) descreveram o desenvolvimento de procedimentos em situações reais de emergência através da técnica francesa MERMOS e das metodologias de HTA – Hierarchical Task Analysis e RMO – Resumo de Metas Operacionais. A conclusão do estudo resultou na elaboração de MD – Memorial Descritivo com o objetivo de fornecer ao operador informações no seu nível de entendimento e Check List para auxiliá-lo nas tomadas de decisões em uma situação de emergência.

Figueirôa Filho, C.L.S., et al (2009) ao realizar estudo sobre confiabilidade humana aplicada ao reparo de bombas centrífugas em uma indústria petroquímica constatou que a elaboração de procedimentos de reparo em bombas focado no executante através das metodologias de análise da tarefa “Task Analysis”, e CARMAN (Consensus based Approach to Risk Management) reduziu o Tempo Médio Para Reparo (TMPR) das bombas aumentando a disponibilidade do mesmo e reduziu também as perdas de processo, custo de intervenções e consumo de manuais devido a não necessidade de abrir todo o equipamento para realizar a manutenção. Estes estudos demonstram a utilização das técnicas de ACH no setor químico e petroquímico.

De acordo com Cervo e Bervian (2004), a revisão de literatura tem como objetivo colocar o pesquisador em contato direto com a publicação sobre determinado assunto ou problema, propiciando examinar o tema a partir de um enfoque e analisar as contribuições científicas. Portanto, neste estudo, para realizar a revisão bibliográfica foram utilizados os

seguintes procedimentos: (a) definir o objetivo da revisão; (b) buscar os artigos; (c) escolher e definir os critérios de análise; (d) analisar resultados; e (e) redigir o trabalho.

Como base de dados científica foi utilizado o portal de periódicos CAPES. As palavras-chave foram selecionadas nos idiomas português e inglês, conforme Tab. 1. Após a seleção das palavras-chave, foram adotados também, como critério para avaliação das publicações, assunto/área temática, recorte temporal e idioma publicado. A Tabela 1 a seguir, ilustra os dados do levantamento bibliográfico.

Tabela 1- Levantamento Bibliográfico

Palavra Chave	Filtro	Capes		Scopus		Science Direct	
Aerogeradores	Manutenção	0		0		0	
	Confiabilidade Humana	13	0	0	0	0	0
	Procedimentos	0		0		0	
Wind generators	Maintenance	177		85		37	
	Human Reliability	6582	4	3157	0	1419	0
	Procedures	37		19		9	

Fonte: Elaborado pelo autor (2015)

Ao analisar a Tab. 1 acima foi constatado que, dentre os vinte artigos mais relevantes, os autores se debruçaram sobre estudos relacionados ao controle e desempenho de aerogeradores em parques eólicos, aquisição de dados, sistemas de gerenciamento remoto, análise de harmônicos e outros não relacionados ao tema de estudo. Ressalta-se que mesmo ao refinar a busca dos periódicos encontrados, nenhum destes está relacionado com o tema deste estudo. Neste sentido, os resultados encontrados demonstram lacunas quanto à necessidade de pesquisas, o que fortalece a importância da área de confiabilidade humana para melhoria dos roteiros de montagem de aerogeradores.

A seguir será apresentado o conceito e tipos de aerogeradores e uma breve descrição de seus componentes bem como, apresentar o estudo de caso elaborado com as técnicas de ACH no setor de energia eólica, especificamente, na montagem de aerogeradores.

2. AEROGERADORES – FUNÇÕES E COMPONENTES

Os aerogeradores são equipamentos destinados à geração de energia elétrica através dos ventos, onde a energia cinética do vento é convertida em energia mecânica e posteriormente convertida em energia elétrica através dos componentes que o compõe. Na Figura 1 a seguir é ilustrada uma vista em corte do aerogerador identificando seus principais componentes.

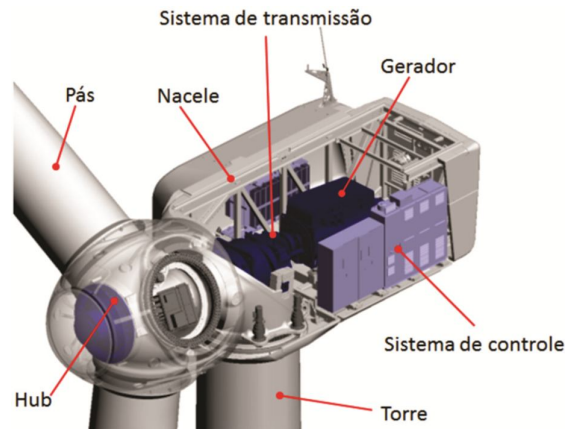


Figura 1 - Aerogerador e seus principais componentes

Fonte: Imagem cedida pela empresa montadora. Adaptado pelo autor (2015)

As turbinas eólicas são classificadas quanto ao tipo de rotor, sendo este de eixo vertical ou horizontal. As turbinas de eixo vertical são menos aplicadas por ser menos eficiente que as de eixo horizontal, porém, possuem menos complexidade de projeto, pois não necessitam de mecanismos de controle para manter o rotor na direção do vento. Este tipo de gerador eólico possui alturas mais baixas, pois seu rotor pode operar próximo à superfície de sua base, conforme ilustrado na Fig. 2.



Figura 2 - Aerogerador experimental de eixo vertical
Fonte: Energia Eólica Princípios e Tecnologia – Dutra (2008)

As turbinas de eixo horizontal são as mais utilizadas para a geração de energia elétrica, onde seu rotor do tipo hélice é composto normalmente por 3 pás. Nos geradores eólicos atuais, sua altura varia de 80 a 120 metros devido ao rotor possuir pás de grandes dimensões e que não podem operar próximo à superfície de sua base, conforme ilustrada na Fig. 3.



Figura 3 - Aerogerador de eixo horizontal
Fonte: Energia Eólica Princípios e Tecnologia – Dutra (2008)

A principal configuração de um aerogerador de eixo horizontal pode ser vista na Fig.1 supracitada. Este tipo de gerador eólico é diferenciado pelo tamanho, formato da nacele, pela presença de uma caixa multiplicadora e pelo tipo de gerador utilizado, que nesse caso é convencional. A seguir são apresentados, de forma geral, os principais componentes como pás, hub, nacele e torre.

As pás são perfis aerodinâmicos que ao interagir com o vento, converte parte de sua energia cinética em trabalho mecânico. São fabricadas, em sua grade maioria, em fibras de vidro reforçadas com epóxi, fibra de carbono ou kevlar.

O hub, também conhecido como cubo é um componente mecânico de alta resistência onde nele, são acopladas as pás e o eixo de baixa rotação. Sua função é transmitir a energia cinética do vento para o eixo na forma de trabalho mecânico.

O sistema de transmissão é composto pelo eixo de baixa rotação, mancais de rolamento, acoplamentos e caixa de engrenagem. A caixa de engrenagem tem a função de aumentar a rotação do eixo, acoplado ao gerador para uma rotação compatível com a rotação do gerador. A caixa de engrenagem está ligada ao hub através do eixo de baixa rotação, que segundo Dutra (2008) varia entre 20 e 150rpm, e ligado ao gerador através de acoplamentos. Este sistema é o responsável em converter energia cinética do vento em trabalho mecânico de rotação.

O gerador é o componente que converte parte do trabalho mecânico em energia elétrica, constituindo assim, o gerador eólico. Este é normalmente síncrono e sua rotação nominal varia entre 1200 e 1800rpm.

A nacela é a carcaça montada sobre a torre, onde estão: o sistema de transmissão, o gerador, o sistema de controle e outros componentes.

O sistema de controle é responsável por monitorar a velocidade e direção do vento e controlar a rotação do rotor e o posicionamento do mesmo em relação à direção de vento predominante.

Por fim, a torre tem por finalidade sustentar e posicionar o conjunto, nacela, hub, pás e seus componentes descritos acima a uma altura conveniente para o seu funcionamento. Inicialmente eram utilizadas torres de metal treliçado, porém, com o crescimento tecnológico as turbinas passaram a gerar mais energia, tornando as naceles mais pesadas. Com isso, as torres passaram a ser fabricadas em formato tubular em aço ou concreto.

3. MÉTODOS E TÉCNICAS DE ANÁLISE DE CONFIABILIDADE HUMANA (ACH)

O estudo piloto ora detalhado foi realizado com o objetivo de analisar e diagnosticar a implantação de melhorias nos roteiros de montagem de aerogeradores contemplando metodologias e técnicas de confiabilidade humana. O estudo foi realizado de acordo com os métodos descritos a seguir:

3.1. HTA (Hierarchical Task Analysis)

Nesta etapa foi efetuado o levantamento e definição das tarefas para análise. As tarefas de montagem e seus cenários específicos foram detalhados com o objetivo de identificar os pontos críticos quanto à severidade de possíveis falhas e também à propensão a falha humana. De acordo com Kirwan (1993), a HTA tem como proposta identificar os requisitos necessários para que o executante desempenhe bem a tarefa de montagem. A técnica HTA é utilizada para avaliação e definição das tarefas críticas que impactam na confiabilidade e operação dos sistemas industriais. A análise hierárquica de tarefa é uma abordagem estruturada que fornece uma compreensão das tarefas que os usuários precisam executar para atingir determinados objetivos.

Com a finalidade de descrever as interações entre o usuário e o sistema, a HTA inclui as atividades manuais e mentais dos executantes, a frequência das tarefas, a complexidade da tarefa, as condições ambientais, os equipamentos necessários, bem como quaisquer outros fatores envolvidos ou necessários para uma ou mais pessoas realizar uma determinada tarefa.

A estruturação das atividades se baseia nas recomendações presentes na documentação fornecida pelo fabricante do equipamento, nas considerações e conclusões provenientes de reuniões e diálogos técnicos entre o experiente corpo de colaboradores (engenheiros, técnicos e mecânicos) envolvidos na execução dos roteiros de montagem. Vale ressaltar que devido ao tempo disponível para realização do estudo, a etapa de HTA foi realizada através de reuniões com o departamento de engenharia contando com a participação dos executantes para que a identificação dos roteiros de montagem considerados “Gargalos” fosse realizada mais rapidamente. Desta forma, foram definidos como gargalos dois roteiros: a) montagem do plato sobre eixo; b) montagem do anel de contração.

3.2. Visitas Técnicas

Nesta etapa foram realizadas as visitas técnicas na planta da empresa montadora de aerogeradores. Com o apoio do departamento de engenharia foram efetuadas as entrevistas, onde os executantes, supervisores e engenheiros deram opiniões relacionadas aos roteiros de montagem dos aerogeradores. Após as entrevistas, as visitas técnicas foram realizadas com a finalidade de acompanhar in loco, através da observação participante, a realização passo a passo da tarefa de montagem.

A proposta foi evidenciar em que medida os roteiros já existentes atendiam a necessidade dos executantes durante o processo de montagem dos aerogeradores. Com isso, foi efetuado o acompanhamento das realizações das duas atividades gargalos relacionadas à montagem dos aerogeradores.

3.3. CARMAN (Consensus based Approach to Risk Management)

Desenvolvido por Embrey (2000), o método CARMAN descreve, mediante abordagem passo a passo, a catalogação documentada das melhores práticas utilizadas pelos colaboradores na execução de determinada tarefa do processo e o posterior desenvolvimento de materiais de apoio como procedimentos escritos de referência, normas de competência e programas de treinamento referenciados nessas melhores práticas. Segundo Embrey (2000) o modelo CARMAN utiliza como referência diversos tipos de procedimentos de melhoria onde o foco principal é a melhoria da usabilidade através de padrões de ergonomia aplicados aos aspectos de legibilidade, apresentação e formatação. Portanto, para o desenvolvimento da abordagem CARMAN são utilizados conhecimentos combinados de tarefa e análise de risco, processos de grupo e trabalho em aprendizagem organizacional, ou seja, o método CARMAN é utilizado para elaboração de proposta de melhoria em padrões e procedimentos de montagem e manutenção de equipamentos.

O método CARMAN com a finalidade de melhorar o desempenho humano nas atividades de sistemas produtivos complexos propõe a formulação de procedimentos e suporte baseados em três critérios (familiaridade com a tarefa,

complexidade da tarefa e criticidade da tarefa) para selecionar o nível do material escrito para ajudar o executante no cumprimento da tarefa. A Tabela 2 a seguir apresenta a matriz com o modelo CARMAN proposto por Embrey (2000):

Tabela 2 - Matriz CARMAN

Criticidade da Tarefa	ALTA			MÉDIA			BAIXA		
Familiaridade da Tarefa	Freq	Infreq	Rara	Freq	Infreq	Rara	Freq	Infreq	Rara
Complexidade da Tarefa									
Baixa	SI	SI	AT	SI	SI	AT	SI	SI	SI
Média	SI	AT	NIP	SI	SI	AT	SI	SI	SI
Alta	AT	AT	NIP	SI	AT	NIP	SI	SI	AT
Legenda: (SI) - Sem Necessidade de Instrução Escrita. (AT) - Necessidade de Auxílio a Tarefa. Check Liste ou Auxílio a Memória. (NIP) - Necessidade de Instrução Passo a Passo.									

Fonte: Figueirôa e Souza (2011) apud Embrey (2000)

O método CARMAN com foco no desenvolvimento de procedimentos adequados aos executantes das tarefas de montagem foi utilizado para melhoria dos roteiros de montagem de aerogeradores através das reuniões com o apoio dos executantes das atividades e o departamento de engenharia.

3.4. Escala SUS (System Usability Scale)

Na etapa de validação dos novos roteiros prescritos foi utilizada a Escala SUS. Esta escala foi usada para identificar e analisar os critérios de usabilidade dos roteiros quanto à clareza, a concisão e atratividade do ponto de vista dos executantes das atividades, lembrando que a elaboração e validação dos roteiros propostos foram efetuadas com a participação dos profissionais atuantes nas atividades. Desta maneira, a escala SUS contribuiu para justificar as melhorias propostas no estudo. A Tabela 3 a seguir, ilustra a Escala SUS utilizada neste estudo.

Tabela 3 - Escala SUS

ESCALA SUS - ROTEIROS DE MONTAGEM						
A utilização da escala SUS visa identificar e analisar os critérios de usabilidade dos roteiros de montagem de aerogeradores quanto a clareza, concisão e atratividade no ponto de vista dos executantes dessas atividades.						
ITEM	DIAGNÓSTICO	GRAU DE SATISFAÇÃO				
		Discordo Plenamente		Concordo Plenamente		
		1	2	3	4	5
1	Eu preciso usar este procedimento com frequência.					
2	O procedimento é muito complexo.					
3	O procedimento é fácil de usar.					
4	Eu preciso de ajuda para utilizar este procedimento.					
5	Eu acho que as informações das etapas da tarefa foram bem integradas neste procedimento.					
6	Achei que havia muita incoerência neste procedimento.					
7	Acho que a maioria das pessoas aprenderá a utilizar este procedimento com facilidade.					
8	Achei este procedimento confuso e difícil de utilizar.					
9	Este procedimento me dá confiança na execução da tarefa.					
10	Eu precisei estudar muito antes de poder utilizar este procedimento.					
11	O procedimento contém as informações necessárias para que o executante novato possa realizar a tarefa.					

Fonte: Figueirôa e Souza (2011). Adaptado pelo autor (2015)

Os roteiros de montagem considerados “gargalos” foram analisados de acordo com os métodos acima descritos. No tópico a seguir, será descrito o estudo de caso de elaboração do roteiro de montagem de aerogerador baseado em confiabilidade humana.

4. ESTUDO DE CASO

O estudo ora apresentado foi realizado em uma empresa montadora de aerogeradores localizada no estado da Bahia. O objetivo do estudo foi avaliar os roteiros de montagem de aerogeradores existentes e propor melhorias baseadas em confiabilidade humana. O estudo foi realizado no período de 09 de fevereiro a 03 de julho de 2015, na planta desta empresa. Para o estudo de caso foram definidos os roteiros de montagem do plato e do anel de contração sobre o eixo de baixa rotação que está localizado no hub do aerogerador conforme ilustrado na Fig. 4 a seguir.

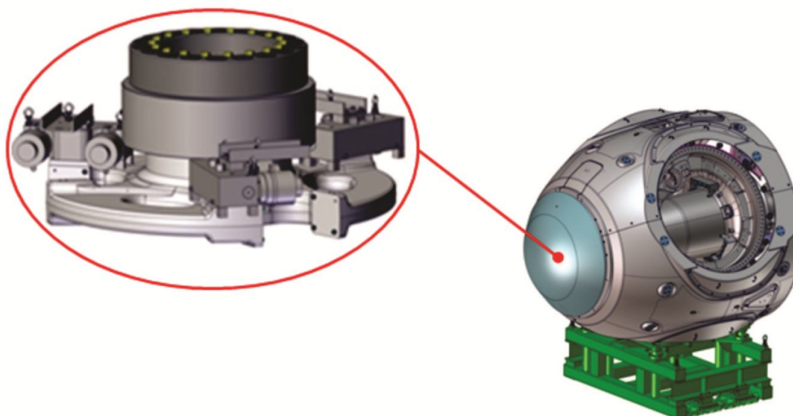


Figura 4 - Detalhe do plato e anel de contração

Fonte: Imagem cedida pela empresa montadora. Adaptado pelo autor (2015)

A escolha por estes roteiros se justifica devido os mesmos serem uns dos roteiros considerados “gargalo” bem como, pelo importante papel que estes componentes desempenham no funcionamento dos aerogeradores, pois através desses componentes é possível transmitir torque do rotor para o eixo, sendo-se que o plato é responsável por transmitir o torque do rotor para o eixo de baixa rotação e o anel de contração por garantir a fixação do plato no eixo.

Uma vez analisado os roteiros existentes foi efetuado o comparativo entre estes e os roteiros “pilotos” propostos no estudo. Para tanto, foi utilizado como critérios de comparação: Quantidade de etapas; Quantidade de imagens; Quantidade de ícones. A Tabela 4 a seguir mostra estes dados:

Tabela 4 - Comparação roteiros de montagem

	Atual			Procedimento <i>Piloto</i> Proposto		
	Etapas	Imagens	Ícones	Etapas	Imagens	Ícones
Roteiro A	12	25	24	12	16	24
Roteiro B	40	49	18	20	36	7

Fonte: Elaborado pelo autor (2015)

A Tabela 4 acima mostra que após a proposta de melhoria dos roteiros, foi notória a redução da quantidade dos itens avaliados. Para ilustrar os dados mostrados acima, a Fig. 5 e a Fig. 6 a seguir demonstra respectivamente, algumas das etapas do roteiro de montagem atual utilizado pelos executantes das tarefas de montagem na empresa e o procedimento piloto proposto após a utilização das técnicas e métodos de análise de confiabilidade humana.

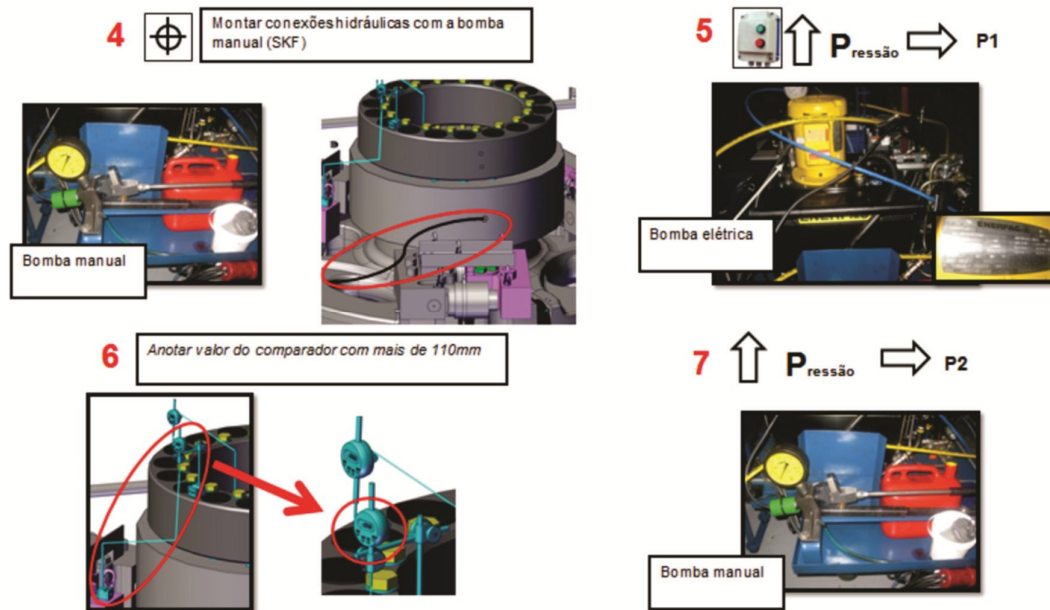


Figura 5 - Etapa do roteiro de montagem de aerogerador atual
 Fonte: Imagem cedida pela empresa montadora. Adaptado pelo autor (2015)

Na Figura 5 pode-se constatar um grande número de imagens que poluem a informação contribuindo para a falta de clareza no procedimento fazendo com que os executantes busquem confirmação das informações ou necessitem de outro suporte para executar a atividade. Para ilustrar o que se constatou acima, a Fig. 6 a seguir ilustra o roteiro de montagem piloto já com a utilização dos métodos de confiabilidade humana, fruto do desenvolvimento do estudo em questão.

O resultado apresentado na Fig. 6 foi obtido pelos autores através da utilização das técnicas de ACH considerando: Análise da tarefa (Criticidade), entrevistas técnicas, acompanhamento das atividades de montagem in loco e validação da escala SUS.

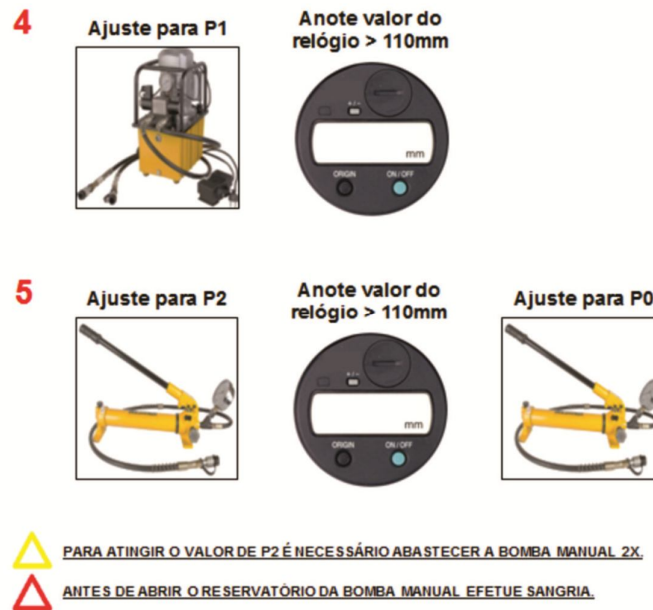


Figura 6 - Etapa do roteiro de montagem de aerogerador desenvolvido baseado em confiabilidade humana (procedimento piloto proposto)
 Fonte: Elaborado pelo autor (2015)

Pode-se notar que o modelo piloto proposto baseado em confiabilidade humana apresenta uma quantidade menor de imagens bem como, torna mais clara as informações. Além disso, é possível identificar que o fluxo das etapas apresentado na Fig. 5 mesmo seguindo a lógica de leitura, alinhadas lado a lado, da esquerda pra direita e de cima para baixo, não estão claros, pois as imagens estão muito próximas podendo confundir o entendimento do executante da tarefa, enquanto que na Fig. 6 as etapas estão alinhadas somente de cima para baixo tornando o fluxo das informações e detalhamento das etapas das tarefas mais claras.

Para Joly (2007), a imagem enquanto signo exprime idéias e suscita no espírito daquele ou daqueles que o recebem uma atitude interpretativa. Enquanto símbolos ela serve para os homens comunicarem entre si. Os ícones aqui representados são imagens que fazem parte do contexto da área que atuam os executantes destas tarefas. Os ícones reconstróem significados em torno do já visto e do supostamente sabido, já que fazem parte da expertise dos executantes das atividades de montagem de aerogeradores.

Segundo Figueirôa e Souza (2011) as imagens utilizadas nos procedimentos são modelos mentais representados gráfica ou iconicamente. De acordo com os autores (2011) a utilização das imagens nos procedimentos conecta diversos domínios (teoria, prática, expertise - conhecimento tácito) com a finalidade de conferir coerência na execução da tarefa, demonstrando o que deve ser planejado, observado, inspecionado, reparado, testado enfim, o passo a passo das tarefas de manutenção.

Já Lévy (1998) ressalta que a imagem mental evocada no curso de uma atividade cognitiva não é necessariamente “realista” podendo contentar-se apenas em atualizar os traços figurativos ou a propriedade física necessárias à execução da tarefa à qual o sujeito se encontra submetida. Assim, no modelo piloto proposto as etapas são descritas de maneira sequencial lógica de modo a garantir o cumprimento das tarefas reduzindo a probabilidade de falha humana.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho demonstrou a escassez de estudos que contemplem a área de confiabilidade humana no setor de energia eólica. A utilização de ferramentas de confiabilidade humana pode colaborar significativamente na avaliação da melhoria do desempenho humano na execução das atividades críticas dos roteiros de montagem de aerogeradores.

As técnicas e metodologias de ACH já são usadas nas indústrias em segmentos diferentes (aviação, usina nuclear, química, petroquímica, saúde, dentre outros), com resultados positivos e grande concentração de artigos publicados sobre o tema, demonstrando que há atualidade do assunto, bem como demanda no momento para ser desenvolvido nos diversos segmentos industriais, ou seja, os estudos já sinalizam a importância da elaboração de procedimentos de roteiros de montagem de aerogeradores baseados em confiabilidade humana, no entanto, deve-se registrar a escassez de estudos no setor de energia eólica que abordem o tema.

No modelo de procedimento piloto proposto por este estudo, a busca pela clareza e sequencia lógica do procedimento transmite uma informação de forma a melhorar o desempenho humano o que consequentemente reduz a possibilidade de incidentes ou acidentes. Porém, os procedimentos pilotos propostos encontram-se em fase de avaliação por parte da empresa para posterior implantação. Assim, este artigo mapeia as potencialidades de melhoria e implantação de ações mitigadoras para eliminação de falhas humanas na montagem de aerogeradores.

O estudo demonstra e fortalece a necessidade de utilização de técnicas e metodologias de ACH para evitar paradas indesejáveis, aumento da produtividade da cadeia produtiva do setor de energia eólica, bem como de aprofundar a utilização dessas técnicas nesse nicho industrial vez que, pode-se observar vários pontos de melhorias.

Decerto, em um mercado em ampla expansão e potencial cada vez mais crescente, os gestores de manutenção e gerentes operacionais devem estar atentos para as necessidades de implantação de modelos de gestão focados na capacidade humana. A utilização das ferramentas e técnicas de ACH estrategicamente contribui para a melhoria do desempenho humano e colabora sobremaneira, para melhoria do aumento de disponibilidade, confiabilidade, redução de custos e sucesso operacional das empresas.

O que se espera é que este estudo possa ser um ponto de partida para futuras pesquisas e sirva de desdobramento para utilização das técnicas ACH nos roteiros de montagem de aerogeradores.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores são gratos ao SENAI/CIMATEC e a empresa parceira, montadora de hubs e naceles de aerogeradores, pelo suporte durante a preparação deste trabalho.

7. REFERÊNCIAS

- ABEEólica (2016). Boletim de Dados Janeiro/2016. Associação Brasileira de Energia Eólica. Disponível em: <<http://abeeolica.org.br/pdf/Boletim-de-Dados-ABEEolica-Janeiro-2016-Publico.pdf>>. Acesso em: 18 de Fevereiro de 2016.
- API 770. A Management Guide to Reduce Human Errors – Improving Human Performance in Process Industries. American Institute Petroleum API Publication 770. Março, 2001.
- Cervo, A. L. e Bervian, P. A. Metodologia científica. 5ª ed. São Paulo: Pearson, 2004.

- Dutra, Ricardo. Energia Eólica - Princípios e Tecnologias Organização. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito – CRESESB. Disponível em: <www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_eolica_2008_e-book.pdf>. Acesso em junho de 2015.
- Embrey, D. (2000). Preventing Human Error: Developing a Consensus Led Safety Culture based on Best Practice. Human Reliability Associates LTDA.
- Figueirôa Filho, C.L.S., et al (2009). Confiabilidade Humana aplicada ao reparo de Bombas Centrífugas. Anais do XXI Congresso Nacional de Manutenção – ABRAMAN, Recife-PE.
- Figueirôa Filho, C.L.S. e Souza, M.L. (2011). Confiabilidade Humana: A Importância da Gestão Visual nos Procedimentos de manutenção. XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Belo Horizonte-MG.
- Figueirôa Filho, C.L.S. e Souza, M.L. (2011). Usabilidade dos Procedimentos de Manutenção – Processo de Elaboração e Metodologia para Definição do Conjunto de Padrões que Atenda as Necessidades de Quem Executa. Anais do XXI Congresso Nacional de Manutenção ABRAMAN, Porto Alegre-RS.
- Hollnagel, E. (1993). Human Reliability Analysis: Context and Control. London: Academic Press.
- Joly, Martine. Introdução à Análise da Imagem, Ed. Lisboa, 2007.
- Kirwan, B. e Ashworth, L.K.. A Guide to Task Analysis. 2a ed., Taylor & Francis, 1993.
- Lévy, P. A ideografia dinâmica: rumo a uma imaginação artificial? São Paulo: Loyola, 1998.
- Pimentel, C.F., Figueirôa Filho, C.L.S. e Souza, M.L. (2012). Confiabilidade Humana - Ferramentas Suporte ao Operador no Monitoramento e Tomada de Ações Pós Inter Travamentos dos SIS. 4th Latin American Conference on Process Safety, Rio de Janeiro-RJ.

8. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

DEVELOPMENT OF PROCEDURES FOR ASSEMBLING WIND TURBINES BASED ON HUMAN RELIABILITY

Paulo Roberto Freitas Neves, paulo.neves@fieb.org.br¹
Marinilda Lima Souza, marinilda.lima@fieb.org.br¹
Josep Fàbregas Cornellà, fabregas.josep@gmail.com¹

¹ Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC, Av. Orlando Gomes, 1845 – Piatã, Salvador-BA, CEP: 41.650-010, www.fieb.org.br/senai

Abstract. According to the Brazilian Wind Energy Association ABEEólica (2016), Brazil has 349 wind farms installed with 8.72 GW generation capacity and more contracted or under construction parks 413 with 10.08 GW capacity showing a virtuous growth of wind power generation in the course of the year. It is planned that by the end of 2019 the Brazil will take about 18.79 GW of installed capacity. In this scenario, you must now pay attention, strategically, for the need of management and maintenance in order to ensure operational reliability and productivity in wind farms. In this respect, in order to ensure the improvement of human performance in carrying out the tasks of assembling wind turbines, this study aims to analyze and diagnose the improvements in mounting itineraries of aerogenerators contemplating methodologies and techniques of human reliability analysis (ACH). The article maps the potential for improvement and implementation of mitigating actions for elimination of human errors in the Assembly of wind turbines demonstrating and strengthening the need for use of these techniques and methodologies of strategic way, contributing to the improvement of human performance and, consequently, to increased availability, reliability, cost reduction and operational success of the companies in the sector of wind energy in Brazil.

Keywords: Wind turbines, mounting Itineraries, Human Reliability, Human Performance