



OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE PARQUES EÓLICOS DO BRASIL: DESAFIOS E OPORTUNIDADES

**Mario González¹, Marrison Gabriel², Marllen Aylla³, David Cassimiro⁴, Rafael Monteiro⁵,
Maria Luiza Medeiros⁶, Everton Cavalcanti⁷**

1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - UFRN

Grupo de Pesquisa Cri-Ação: Renewable Energy

Avenida Senador Salgado Filho, nº 3000, Natal/RN, Brasil.

mario@ct.ufrn.br, marrisongabriel@yahoo.com.br, marllenylla@hotmail.com, davidcassi@yahoo.com.br,
rafaelmonteirov@yahoo.com.br, maluizamedeiros@gmail.com, evertonranielly@gmail.com

Resumo

O Brasil, em aproximadamente uma década, conseguiu incluir na sua matriz energética a fonte eólica com significativa participação. Até o início de 2018 a participação dessa matriz era de 8,01%, valor superior ao ano 2010 na qual foi de 0,4%. Diversos foram as dificuldades enfrentadas pelos empreendedores na fase de construção dos parques eólicos, sendo as principais a infraestrutura logística para o transporte e movimentação dos equipamentos e a falta de disponibilidade da rede de distribuição. Após oito anos de operação dos parques eólicos, quais as dificuldades enfrentadas pelos gestores de Operação e Manutenção dos parques eólicos? O objetivo deste trabalho é identificar as principais dificuldades enfrentadas pelos gestores dos parques eólicos do Brasil. O método da pesquisa contemplou uma revisão da literatura e a pesquisa tipo *survey* com gestores de 107 parques eólicos, instalados em oito estados do Brasil, que juntos totalizam quase 3 GW de capacidade instalada. Os resultados indicam que antes de contratação dos fornecedores as dificuldades são: encontrar fornecedores qualificados e a falta de informações dos serviços prestados por eles. Durante a execução do serviço, as dificuldades foram o tempo de duração do serviço superior ao esperado, alteração do escopo do serviço e, uso de equipamento/ferramental inadequado. Após a execução do serviço o problema é o aparecimento de efeitos colaterais relacionado ao serviço realizado.

Palavras-chave: Parque eólico; Operação e Manutenção; Desafios; Oportunidade.

1. INTRODUÇÃO

A capacidade instalada da energia eólica aumentou significativamente no mundo [1]. Dados publicados pelo Conselho Global de Energia Eólica (GWEC) apontam o domínio em capacidade instalada da China, Estados Unidos da América e Alemanha. Nesse ranking o Brasil ocupa a nona posição.



O Brasil, em 2005, tinha uma capacidade instalada de energia eólica de 27,1 MW. Em dezembro de 2017 a capacidade instalada foi de 12.893 MW, um aumento significativo em um período de 12 anos. Ainda, o Brasil possui grande potencial eólico para ser explorado.

Apesar do último Atlas Eólico, elaborado pelo CRESESB [2] evidenciar um potencial eólico terrestre estimado de 143,5GW, é válido ressaltar que os estudos foram realizados com a expectativa do uso de torres de 50 metros de altura. Contudo, um estudo do subprojeto Energias Renováveis do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Mudanças Climáticas (INCT-Clima), ainda em andamento, evidencia que hoje tem-se no mercado torres com altura acima de 100m, o que amplia o potencial tecnicamente viável de exploração de 143,5 GW para até 880,5 GW [3].

De acordo com [4], a partir do ano 2010 se iniciou a entrada em operação dos parques eólicos dos primeiros leilões. Em maio de 2018 foram registrados, na base de informações da ANEEL, 523 parques eólicos em operação. Diversos foram e são os problemas que os parques eólicos tiveram antes de entrar na operação, sendo os principais: 1) infraestrutura logística não adequada para o transporte dos equipamentos e a 2) falta de disponibilidade da rede elétrica para escoamento da energia elétrica. Entretanto, será que os parques eólicos em operação possuem outras novas dificuldades? Quais são os principais problemas enfrentados pelos parques eólicos em operação no Brasil?

Para responder estes questionamentos, o objetivo deste artigo é identificar quais são as dificuldades e problemas enfrentados pelos parques eólicos em operação no Brasil.

O artigo está organizado em cinco tópicos. O primeiro tópico trata da contextualização. No segundo tópico se apresenta a fundamentação teórica sobre: 1) a visão da logística e cadeia de suprimentos e 2) operação e manutenção de parques eólicos. O terceiro tópico descreve o método da pesquisa, incluindo o seu procedimento. No quarto tópico são apresentados os resultados da pesquisa. No último tópico são descritas as conclusões.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Logística e cadeia de suprimentos

O termo Logística, que surgiu das operações militares, acompanhando essa tendência de aumento de transações, evoluiu para logística integrada, a qual evidenciou uma mudança do tradicional sistema de produção empurrada como antes aplicado por Porter para o sistema de produção puxada pelo consumidor [5;6].



A evolução para o termo “cadeia de suprimentos”, introduzido por [7;8], fez-se então presente. Enquanto a logística consiste essencialmente numa orientação de planejamento produtivo com foco no fluxo de produtos e informação que correm através de um negócio, o Gerenciamento da Cadeia de suprimentos (GCS), por sua vez, baseia-se neste modelo e busca alcançar uma ligação e coordenação entre os processos de todos os principais atores da cadeia, sejam eles os fornecedores, os consumidores ou a organização em si. Assim, por exemplo, um objetivo da cadeia de suprimentos pode ser reduzir ou eliminar os *buffers* de inventários que existem nas organizações (elos) de uma cadeia através do compartilhamento de informações de demanda e de níveis de estoque em tempo real [8].

Os conceitos adquiridos por meio da experiência da implementação do conceito de GCS exigiu uma reavaliação do pensamento sobre o tema, dando origem à evolução do conceito para *Supply Chain 2.0*, apresentada no trabalho de [9]. Para tal, o conceito é complementado com considerações acerca da turbulência do ambiente no qual uma cadeia está inserida. Os autores propuseram o índice de volatilidade da cadeia de suprimentos, o “*Supply Chain Volatility Index*”, o qual busca quantificar empiricamente o nível de turbulência ao qual a cadeia está exposta, e, por fim, ele revela o quão relevante ainda é o conceito de SCM no contexto atual, concluindo que muitos deles precisam ser revisados.

2.2 Gestão da Operação e Manutenção de Parques Eólicos

Para [10], o principal objetivo da gestão da operação e manutenção dos parques eólicos é minimizar os custos totais por unidade de energia gerada durante a vida útil do empreendimento. Segundo ele, isto pode ser conseguido através da redução dos custos de operação e de manutenção e da melhoria do desempenho e eficiência dos aerogeradores, que pode ainda reduzir riscos.

O autor lista algumas vantagens da manutenção preditiva para a O&M de parques eólicos: permite melhor planejamento da manutenção – programação das atividades para períodos de baixo vento; viabiliza a otimização da logística das peças de substituição e facilita o acesso aos equipamentos auxiliares de manutenção – alguns componentes como as caixas multiplicadoras, as pás e alguns rolamentos possuem prazos elevados de entrega, e equipamentos auxiliares podem estar indisponíveis, impossibilitando o reparo ou aumentando seu custo e alongando o período de indisponibilidade; possibilita melhor coordenação das equipes de manutenção e facilita a contratação



de serviços externos; permite a realização de diagnósticos e previsão de falhas sem adição extra de instrumentação, sem paradas e sem custos extras e potenciais implicações de garantia.

Os estudos de [11; 12] discutem a necessidade de mineração dos dados do SCADA. O acompanhamento dos dados do sistema permite compreender porque o desempenho real dos parques é menor do que o desempenho teórico esperado. Ele fornece medições acerca do fluxo de vento e sua conversão em potência; e sobre o comportamento mecânico, térmico e de vibração das turbinas, por exemplo.

A motivação geral de técnicas de mineração de dados do SCADA em parques eólicos encontra-se na necessidade de monitoramento de condições complexas, que permitem a prevenção de falhas e o planejamento criterioso das manutenções. Contudo, segundo [11], extrair respostas simples e de fácil interpretação de uma quantidade tão grande de dados não é uma tarefa simples e exige a aplicação de métodos cada vez mais sofisticados.

Outras pesquisas abordaram as falhas que afetam o desempenho dos parques e suas causas subjacentes.

Os autores [13] investigaram as principais causas de parada das turbinas eólicas. Os autores concluíram em seu caso que as 42% das ocorrências de falha são relacionadas à rede e 29% ao controle de *pitch* das pás. Quanto às falhas ligadas à rede, 70% são devidas à desconexão e 16% a variações de tensão. A comparação entre as análises de frequência e distribuição temporal das falhas mostrou que algumas falhas não ocorrem com frequência, mas uma única perturbação pode causar centenas de horas de perda operacional.

Outros pesquisadores [14] contabilizaram as perdas de geração em parques eólicos e os custos de falha associados, considerando custos decorrentes da ausência de geração durante o tempo de parada e os custos relativos à necessidade de reposição de peças e componentes. As principais falhas associadas às ineficiências listadas, em ordem de relevância, foram: falhas de rede, falhas no painel de controle, falhas elétricas, falhas mecânicas e paradas para manutenção preventiva.

Uma turbina é considerada tecnicamente indisponível em caso de manutenções programadas, problemas na rede elétrica, problemas de serviço, erros no anúncio de falhas, falha de componentes, condições meteorológicas extremas, problemas de corrosão, e outros. A pesquisa de [15] propõe um método para estimativa da disponibilidade técnica (semelhante à Disponibilidade de Energia) e seu



impacto sobre o rendimento energético anual dos parques. O método considera o *site* do parque, a tecnologia das turbinas, o potencial eólico local, o número de turbinas e etc.

O estudo mostra que a reparação de alguns problemas específicos, mesmo os que geralmente não exigem despesas adicionais diretas, implicam em aumentos dos custos de O&M. Isso porque durante o tempo em que o aerogerador está fora de operação, perdas análogas de energia podem ser observadas, principalmente quando se considera o potencial disponível no vento no momento, o qual determina rendimentos mais ou menos consideráveis.

O desempenho dos parques eólicos brasileiros é aferido e acompanhado pelo ONS, o qual publica mensalmente o Boletim de Geração Eólica, com dados referentes à geração de parques eólicos no Sistema Interligado Nacional (SIN). São apresentadas informações sobre a capacidade total instalada e sobre a geração de parques eólicos do Tipo I e integrantes de Conjuntos.

Usinas classificadas como do Tipo I são aquelas conectadas na rede básica – independente da potência líquida injetada no SIN e da natureza da fonte primária; ou usinas cuja operação hidráulica possa afetar a operação de usinas Tipo I já existentes; ou usinas conectadas fora da rede básica cuja máxima potência líquida injetada no SIN contribua para minimizar problemas operativos e proporcionar maior segurança para a rede de operação.

Pelo encontrado na literatura, a operação e manutenção de parques eólicos no Brasil, é tratada como um problema de ordem técnica – pela descrição dos tipos de falhas e paradas que ocasionam a perda de geração de eletricidade, ou de ordem contratual – pela descrição dos indicadores de resultado para cumprimento de contratos. Entretanto, de uma perspectiva gerencial e de otimização/melhoria, quais seriam os problemas ou dificuldades enfrentadas pelos gestores de O&M?

Toda organização está inserida em uma cadeia produtiva e os problemas/dificuldades enfrentados pela empresa do parque eólico são mais do que de ordem técnica e de resultados, denominado de processo [16].

A gestão por processos é uma abordagem de gerenciamento que objetiva identificar os problemas/dificuldades, desafios até encontrar quais as atividades que agregam valor e quais não agregam valor [16]. As atividades que agregam valor são analisadas e propostas melhores práticas para que contribuam à meta da organização. Para o mapeamento da cadeia de valor um dos primeiros passos é identificar os problemas/dificuldades de maior magnitude.



Nas organizações de parques eólicos do Brasil, de acordo com [17;18] um dos problemas/dificuldades identificados foi a falta de uma medição de desempenho, cujo escopo seja de ordem técnica, de ordem operacional, de tomada de decisão e da coordenação da cadeia produtiva. Nessa perspectiva, este artigo teve como direcionador da fundamentação teórica respostas aos problemas enfrentados pelos gestores de O&M.

3. MÉTODO DA PESQUISA

A pesquisa pode ser caracterizada como descritiva, de abordagem quantitativa e que utilizou como técnica o *survey* ou pesquisa de levantamento. O procedimento da pesquisa contemplou as seguintes etapas:

1. Identificação da população de parques eólicos. Foram listados 523 parques eólicos em operação. A fonte de informação definida foi o gestor do parque eólico.
2. Definição da amostra. Uma vez que, na realidade do Brasil, os parques eólicos fazem parte de condomínios de parques eólicos que possuem em comum gestores de O&M, se decidiu fazer a pesquisa por senso de acordo com a disponibilidade dos respondentes.
3. Elaboração do instrumento de pesquisa. Foi elaborado um questionário com questões fechadas que foram divididas em: Identificação e características dos parques eólicos; Critérios de seleção de fornecedores; Dificuldades antes da contratação de fornecedores; Dificuldades durante a realização de serviços pelos fornecedores no parque eólico; Dificuldade após realização de serviços.
4. Aplicação do questionário. Após contato prévio com gestores de O&M foi disponibilizado um link do questionário online por um período de 1 mês.
5. Tratamento e análise dos dados. Foi utilizado para a análise dos dados a estatística descritiva.
6. Consolidação e cruzamento das informações teóricas com as da pesquisa de campo por meio de Grupos Focais. Participaram desse grupo focal 03 especialistas em melhoria de processos, 01 especialista em gestão de parques eólicos e 01 especialista em cadeia produtiva.

4. Resultados

4.1 Amostra e participantes da pesquisa



Participaram da pesquisa gestores de 107 parques eólicos em operação e que possuem no total quase 3 GW de capacidade instalada. A distribuição dos respondentes por estado foi: RN; CE; BA; RS; PI; PE; PB e; MA.

4.2 Análise descritiva

4.2.1 Critérios de contratação de fornecedores

Diferentes são os critérios utilizados na contratação de serviços pelos parques eólicos. O objetivo desta questão foi identificar quais são os critérios ganhadores de pedido [18], aquele critério que define a aquisição ou contratação de um fornecedor ao invés do outro. A Tabela 1 mostra o resultado dessa situação.

Tabela 1 – Palavras-chave utilizadas na busca de artigos

Critério	Ordem de prioridade
Maior qualidade na execução do serviço	1º
Maior confiabilidade na execução do serviço	2º
Menor preço	3º
Menor prazo na execução do serviço	4º
Fornecedores já conhecidos	5º

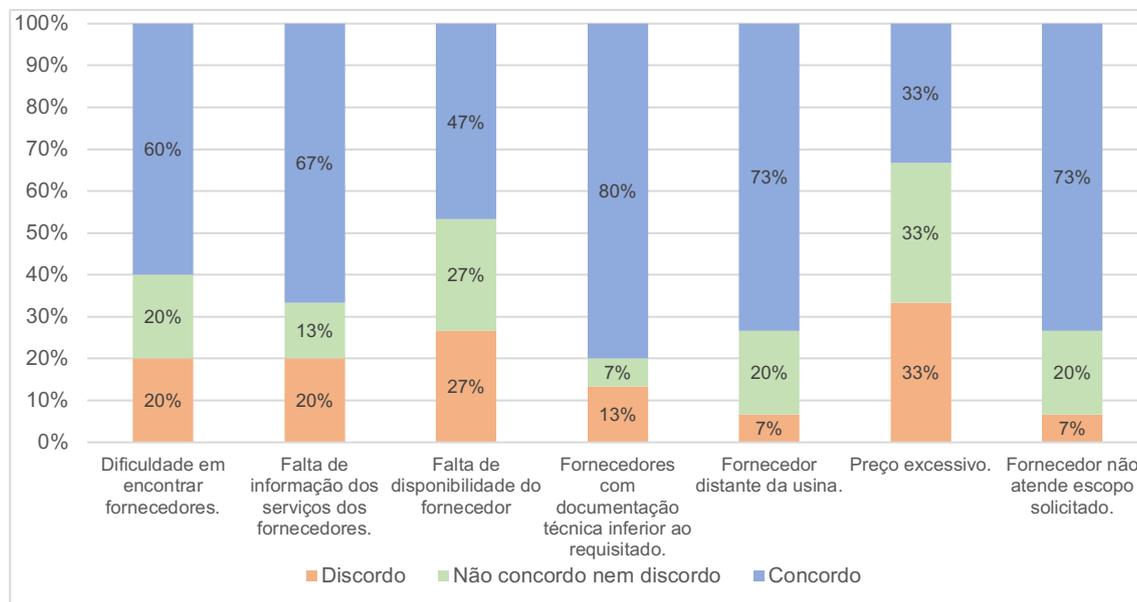
O critério “Maior qualidade na execução do serviço” é o principal critério considerado pelos gestores de parques eólicos. Em segundo lugar foi o critério “Maior confiabilidade na execução do serviço”. Isso demonstra a relevância da dimensão “qualidade do serviço” como critério prioritário na contratação do serviço, mais relevante do que os critérios “menor preço”, que influencia a redução de custo e “Fornecedores já conhecidos” que contempla a fator fidelidade.

4.2.2 Dificuldades enfrentadas antes da contratação do serviço

A gestão de O&M de um parque eólico envolve atividades de planejamento, execução e monitoramento. Essas atividades, na maioria das vezes, são executadas por empresas com contratos fixados ou por fornecedores eventuais de serviços. O Gráfico 1 apresenta a tabulação das principais dificuldades enfrentadas pelos gestores dos parques eólicos antes da contratação de um serviço.

Na análise das categorias podemos classificar em dois grupos. O grupo, na qual há predominância, na opinião dos gestores de parques eólicos são: 1) Dificuldade em encontrar fornecedores; 2) Falta de informação dos serviços dos fornecedores; 3) Fornecedores com documentação técnica inferior ao requisitado; 4) Fornecedor distante da usina e; 5) Fornecedor não atende ao escopo solicitado.

Gráfico 1 – Dificuldades antes da contratação do serviço.



O segundo grupo contempla: 6) falta de disponibilidade do fornecedor e; 7) preço excessivo praticado pelo fornecedor. Embora, neste último quesito é equilibrado a opinião dos gestores sobre o preço praticado pelos fornecedores ser ou não uma dificuldade para os gestores.

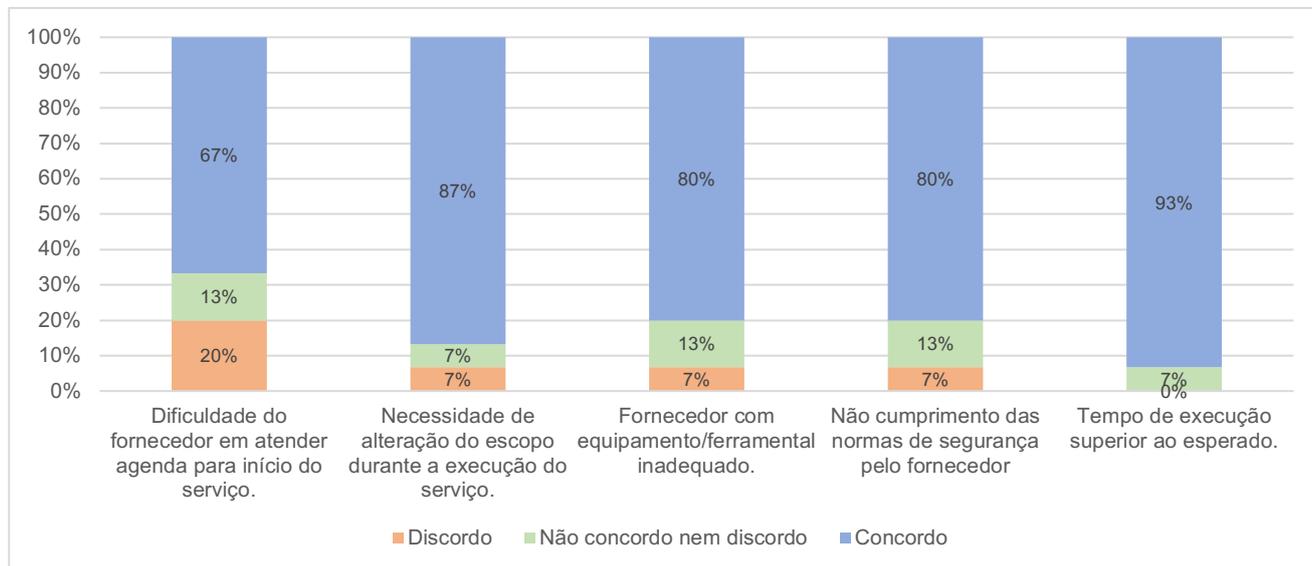
Em todos esses quesitos há uma predominância que indica que a cadeia produtiva para a operação e manutenção dos parques eólicos no Brasil ainda está em consolidação, uma vez que os gestores dos parques eólicos possuem dificuldades em encontrar parceiros no fornecimento de serviços para a O&M dos parques.

4.2.3 Dificuldades enfrentadas durante a execução do serviço

Após contratação do serviço, as atividades planejadas para a execução dos serviços pelos gestores de O&M junto aos fornecedores, na maioria das vezes, ocorrem com problemas/dificuldades. No Gráfico 2 é apresentada uma síntese dos principais problemas.

Na opinião dos gestores de O&M os problemas enfrentados por eles são: 1) Tempo de execução superior ao esperado; 2) Necessidade de alteração do escopo durante a execução do serviço; 3) Fornecedor com equipamento/ferramental inadequado; 4) Não cumprimento das normas de segurança pelo fornecedor e; 5) Dificuldade do fornecedor em atender agenda para início do serviço.

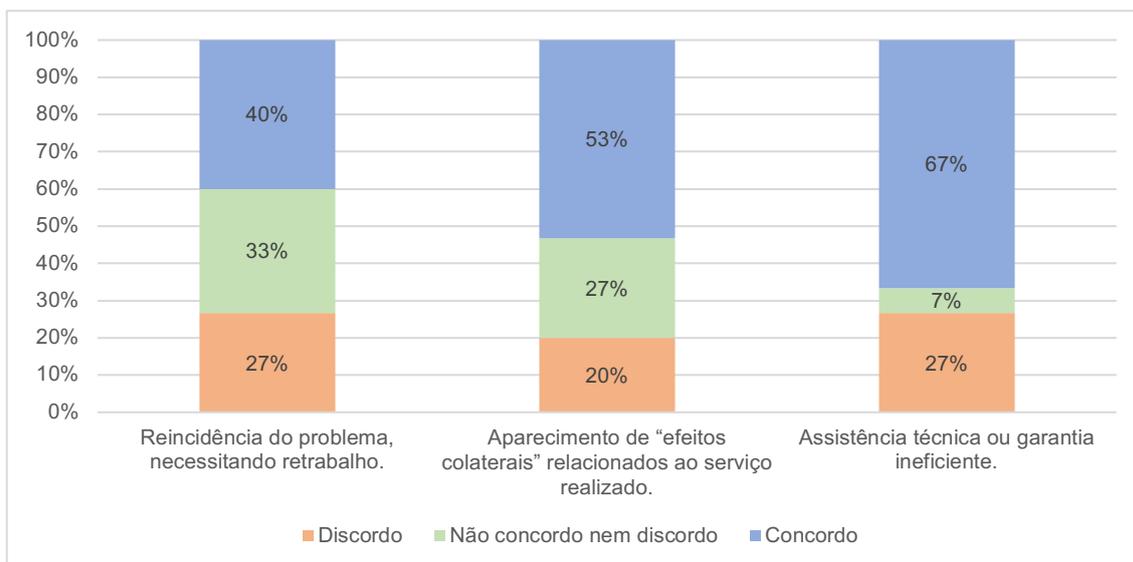
Gráfico 2 – Dificuldades na execução do serviço.



4.2.4 Dificuldades enfrentadas após a execução do serviço

Após execução do serviço, de acordo com reuniões com gestores de parques eólicos, há problemas que são recorrentes. O Gráfico 3 apresenta estas dificuldades.

Gráfico 3 – Dificuldades após a execução do serviço.



Observa-se que o principal problema, embora não seja representativo, é a assistência técnica ou garantia pós serviço. Em segundo lugar está o “Aparecimento de efeitos colaterais, relacionados ao



serviço realizado”. Este último quesito está relacionado a confiabilidade da execução do serviço pelo fornecedor.

5 CONCLUSÕES

A construção dos primeiros parques eólicos do Brasil teve dificuldades e desafios que foram superados. Na fase de Operação e Manutenção dos parques eólicos essas dificuldades são outras. A literatura, embora considere a cadeia de suprimentos como o melhor modelo para otimização das atividades de um parque eólico, tem aprofundado no tema da dificuldade de ordem técnica e menos de ordem gerencial, baseado na gestão por processo.

Como a visão da cadeia de suprimentos é ampla, o escopo do artigo foi analisar os problemas e desafios enfrentados pelos gestores de parques eólicos do Brasil da perspectiva de fornecimento de serviços.

Verificou-se que os gestores de O&M utilizam como critério ganhador de pedido o fator “qualidade do serviço prestado pelo fornecedor”. Esse critério supera os critérios “preço do serviço” e “fidelidade com o fornecedor”.

Antes de contratação dos fornecedores as dificuldades encontradas estão a dificuldades de encontrar fornecedores qualificados e falta de informações dos serviços prestados por eles. Durante a execução do serviço as dificuldades foram o tempo de duração do serviço superior ao esperado, alteração do escopo do serviço e uso de equipamento/ferramental inadequado. Após a execução do serviço o problema é o aparecimento de efeitos colaterais relacionado ao serviço realizado.

Referências

- [1] GWEC, **Global Wind Statistics 2017**. Global Wind Energy Council. Publicado em 14 de fevereiro de 2018.
- [2] AMARANTE, O.A.C.; BROWER, M.; ZACK, J; SÁ, A.L. **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**, Ministério De Minas E Energia - Brasília, Brasil, 2001.
- [3] PEREIRA, E. B. (2016). **Segurança Energética**: perspectivas no enfrentamento às mudanças climáticas globais. Conferência Internacional do INCT para Mudanças Climáticas. São Paulo, setembro, 2016.
- [4] ANEEL (2017). Agência Nacional de Energia Elétrica. **Relatório de fontes de energia elétrica no Brasil**.
- [5] HINES, Peter. Integrated Materials Management: The Value Chain Redefined. **The International Journal of Logistics Management**, Vol. 4 Issue: 1, pp.13-23.
- [6] DAUGHERTY, P. J.; ELLINGER, A. E.; GUSTIN, C. M. "Integrated logistics: achieving logistics performance improvements", **Supply Chain Management: An International Journal**, Vol. 1 Issue: 3, pp.25-33, 1996.
- [7] CHRISTOPHER, M. **Logistics and supply chain management**. London, U.K: Pitman., 1992.



- [8] CHRISTOPHER, M. **Logistics and Supply Chain Management**: Strategies for reducing cost and improving service. London: Prentice-Hall Publishing, 1998.
- [9] CHRISTOPHER, M.; HOLWEG, M. "Supply Chain 2.0": managing supply chains in the era of turbulence", **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 41 Issue: 1, p.63-82, 2011.
- [10] SANTIAGO, N. R. A. **Metodologias para avaliação do desempenho e previsão de avarias em turbinas eólicas utilizando a curva de potência do fabricante**. 2012. 148 p. Dissertação (Mestrado em Energias Renováveis – Conversão Eléctrica e Utilização Sustentáveis) - Universidade Nova de Lisboa.
- [11] SAINZ, E.; LOMBART, A.; GUERRERO, J.J. Robust filtering for the characterization of wind turbines: Improving its operation and maintenance. **Energy Conversion and Management**, v. 50 p. 2136–2147, 2009.
- [12] ASTOLFI, D. *et al.* Data mining techniques for performance analysis of onshore wind farms. **Applied Energy**, v. 148, p. 220–233, 2015.
- [13] ABDERRAZZAQ, M. H.; ALOQUILI, O. Evaluating the impact of electrical grid connection on the wind turbine performance for Hofa wind farm scheme in Jordan. **Energy Conversion and Management**, v. 49, p.3376–3380, 2008.
- [14] HERBERT, J. G. M. *et al.* Performance, reliability and failure analysis of wind farm in a developing Country. **Renewable Energy**, v. 35, p. 2739-2751, 2010.
- [15] KALDELLIS, J. K.; ZAFIRAKIS, D. The influence of technical availability on the energy performance of wind farms: Overview of critical factors and development of a proxy prediction model. **J. Wind Eng. Ind. Aerodyn**, v. 115, p. 65–81, 2013.
- [16] VERNARDAT, F. **Enterprise Modelling Methods** - Principles and Applications, Chapman & Hall, London. 1996.
- [17] OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção**: além da produção em larga escala. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 1997. 149 p.
- [18] VARELLA, H. C. F. **Medição de desempenho na cadeia de suprimentos da energia eólica: proposta de um conjunto de indicadores de desempenho**. 2013, 143 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.
- [19] SANTOS, M. A.T. **Sistema de medição de desempenho para operação e manutenção de parques eólicos no Brasil**. 2016, 200 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.