

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

JUANIN JOSÉ KRÄMER ORBEM

**PROPOSTA DA APLICAÇÃO DA IEC 61400-26-1 EM
PARQUES EÓLICOS, BASEADO NO REGISTRO OPERATIVO DE
SEUS AEROGERADORES**

FLORIANÓPOLIS, 2023

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

JUANIN JOSÉ KRÄMER ORBEM

**PROPOSTA DA APLICAÇÃO DA IEC 61400-26-1 EM
PARQUES EÓLICOS, BASEADO NO REGISTRO OPERATIVO DE
SEUS AEROGERADORES**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido
ao Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Santa Catarina como parte
dos requisitos para obtenção do título de
Engenheiro Eletricista.

Orientador:
Prof. Fabricio Yutaka Kuwabata Takigawa,
Dr. Eng.

FLORIANÓPOLIS, 2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

José Krämer Orbem, Juanin
PROPOSTA DA APLICAÇÃO DA IEC 61400-26-1 EM PARQUES
EÓLICOS, BASEADO NO REGISTRO OPERATIVO DE SEUS AEROGERADORES
/ Juanin José Krämer Orbem; orientação de Fabricio
Yutaka Kuwabata Takigawa. - Florianópolis, SC,
2023.

58 p.
Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal
de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado
em Engenharia Elétrica. Departamento Acadêmico
de Eletrotécnica.
Inclui Referências.

1. Aerogerador. 2. Disponibilidade. 3. Indicador.
4. Descrição. 5. Padronização. I. Yutaka Kuwabata Takigawa,
Fabricio. II. Instituto Federal de Santa Catarina.
III. PROPOSTA DA APLICAÇÃO DA IEC 61400-26-1 EM
PARQUES EÓLICOS, BASEADO NO REGISTRO OPERATIVO DE SEUS
AEROGERADORES.

**PROPOSTA DA APLICAÇÃO DA IEC 61400-26-1 EM PARQUES EÓLICOS,
BASEADO NO REGISTRO OPERATIVO DE SEUS AEROGERADORES**

JUANIN JOSÉ KRÄMER ORBEM

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro Eletricista e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 23 de junho, 2023.

Banca Examinadora:



Documento assinado digitalmente
FABRICIO YUTAKA KUWABATA TAKIGAWA
Data: 28/06/2023 22:27:56-0300
CPF: 299.272.048-84
Verifique as assinaturas em <https://v.ifsc.edu.br>

Prof. Fabricio Yutaka Kuwabata Takigawa, Dr. Eng.



Documento assinado digitalmente
YOSHIKI SAKAGAMI
Data: 29/06/2023 14:51:42-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Yoshiaki Sakagami, Dr. Eng.



Documento assinado digitalmente
FELIPE REJES DE SIMONI
Data: 29/06/2023 15:44:51-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Felipe Rejes de Simoni, M. Eng

Digitally signed by ROBSON GUIMARAES DA
SILVA:03733495993
Date: 2023.06.29 10:10:22 -03'00'

Robson Guimarães da Silva, Eng.

RESUMO

A energia eólica vem crescendo exponencialmente desde o final da década de 1990, tendo como os principais motivos, o uso de energia limpa e o avanço da tecnologia no desenvolvimento dos aerogeradores. Por outro lado, ao longo dos anos, diversos estudos que normatizam e possibilitam aprimoramentos em sua eficiência foram desenvolvidos, sendo atualmente a norma IEC 61400-26-1, o principal resultado. No entanto, a norma ainda não está totalmente difundida entre os agentes de geração. Neste sentido, o presente trabalho tem como objetivo desenvolver uma proposta para aplicação prática da norma, baseando-se nos registros operativos (eventos de mudança de status) de seus aerogeradores. A proposta resulta em dois principais resultados ao agente gerador, o primeiro é a padronização do registro operativo e a segunda é a adequação dos registros aos indicadores da norma. O banco de dados utilizado refere-se ao registro operativo de 80 aerogeradores de dois parques eólicos (Brotas de Macaúbas/BA e Barra dos Coqueiros/SE), no período de um ano (01/01/2021 e 01/01/2022), acumulando um total de 46.895 registros. Com a padronização proposta, foi possível reduzir 1.995 descrições diferentes para 17 descrições padronizadas, classificando-as nas categorias estabelecidas na norma (10 indicadores dentre os 13 indicados pela norma). Por fim, destaca-se que a proposta desenvolvida, possibilita ao agente gerador padronizar seus registros de acordo com a norma e, assim, analisar pontualmente o processo de geração de energia de seus aerogeradores (da plenitude operativa até possíveis causas de falhas).

Palavras-chave: Aerogerador. Disponibilidade. Indicador. Descrição. Padronização.

ABSTRACT

Wind energy has been growing exponentially since the end of the 1990s, with the main reasons being the use of clean energy and the advancement of technology in the development of wind turbines. On the other hand, over the years, several studies that standardize and enable improvements in its efficiency have been developed, currently the IEC 61400-26-1 standard is the main result. However, the standard is not yet fully disseminated among generation agents. In this sense, the present work aims to develop a proposal for the practical application of the standard, based on the operating records (status change events) of its wind turbines. The proposal results in two main results for the generating agent, the first is the standardization of the operative record and the second is the adequacy of the records to the standard indicators. The database used refers to the operational record of 80 wind turbines from two wind farms (Brotas de Macaúbas/BA and Barra dos Coqueiros/SE), in a period of one year (01/01/2021 and 01/01/2022), accumulating a total of 46,895 records. With the proposed standardization, it was possible to reduce 1,995 different descriptions to 17 standardized descriptions, classifying them in the categories established in the standard (10 indicators among the 13 indicated by the standard). Finally, it is highlighted that the developed proposal allows the generating agent to standardize its records according to the norm and, thus, to analyze the energy generation process of its wind turbines in a timely manner (from operational fullness to possible causes of failures).

Keywords: Wind turbine. Availability. Indicator. Description. Standardization.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BCO-AL i -BC j	Parque Eólico Barra dos Coqueiros-Alimentador i ($i = 1, 2$) e Aerogerador j ($j = 1, \dots, 23$)
BMC-MA i -MA j	Parque Eólico Brotas de Macaúbas-Circuito Macaúbas i ($i = 1, 2$) e Aerogerador j ($j = 1, \dots, 21$)
BMC-NH i -NH j	Parque Eólico Brotas de Macaúbas-Circuito Novo Horizonte i ($i = 1, 2$) e Aerogerador j ($j = 1, \dots, 18$)
BMC-SE i -SE j	Parque Eólico Brotas de Macaúbas-Circuito Seabra i ($i = 1, 2$) e Aerogerador j ($j = 1, \dots, 18$)
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GWEC	Conselho Global de Energia Eólica (<i>Global Wind Energy Council</i>)
IAFM	Informação Disponível Força Maior (<i>Information Available Force Majeure</i>)
IANOFO	Informação Disponível Não Operacional Interrupção Forçada (<i>Information Available Non-Operative Forced Outage</i>)
IANOPCA	Informação Disponível Não Operacional Ação Corretiva Planejada (<i>Information Available Non-Operative Planned Corrective Action</i>)
IANOS	Informação Disponível Não Operacional Suspenso (<i>Information Available Non-Operative Suspended</i>)
IANOSM	Informação Disponível Não Operacional Manutenção Preventiva (<i>Information Available Non-Operative Scheduled Maintenance</i>)
IAOOSL	Informação Disponível Operacional Fora de Serviço Fora da Especificação Elétrica (<i>Information Available Operative Out of Service Out of Electrical Specification</i>)
IAOOSN	Informação Disponível Operacional Fora de Serviço Fora da Especificação Ambiental (<i>Information Available Operative Out of Service Out of Environmental Specification</i>)
IAOOSRS	Informação Disponível Operacional Fora de Serviço Desligamento Solicitado (<i>Information Available Operative Out of Service Requested Shutdown</i>)

IAOOSTS	Informação Disponível Operacional Fora de Serviço Espera Técnica (<i>Information Available Operative Out of Service Technical Standby</i>)
IAOSFP	Informação Disponível Operacional em Serviço Desempenho Completo (<i>Information Available Operative in Service Full Performance</i>)
IAOSPP	Informação Disponível Operacional em Serviço Desempenho Parcial (<i>Information Available Operative in Service Partial Performance</i>)
IAOSRS	Informação Disponível Operacional em Serviço Pronto em Espera (<i>Information Available Operative in Service Ready Standby</i>)
IEA	Agência Internacional de Energia (<i>International Energy Agency</i>)
IEC	Comissão Eletrotécnica Internacional (<i>International Electrotechnical Commission</i>)
IU	Informação Indisponível (<i>Information Unavailable</i>)
MUSD	Montantes de Uso do Sistema de Distribuição
MUST	Montantes de Uso do Sistema de Transmissão
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
SCADA	Controle de Supervisão e Aquisição de Dados (<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>)

SUMÁRIO

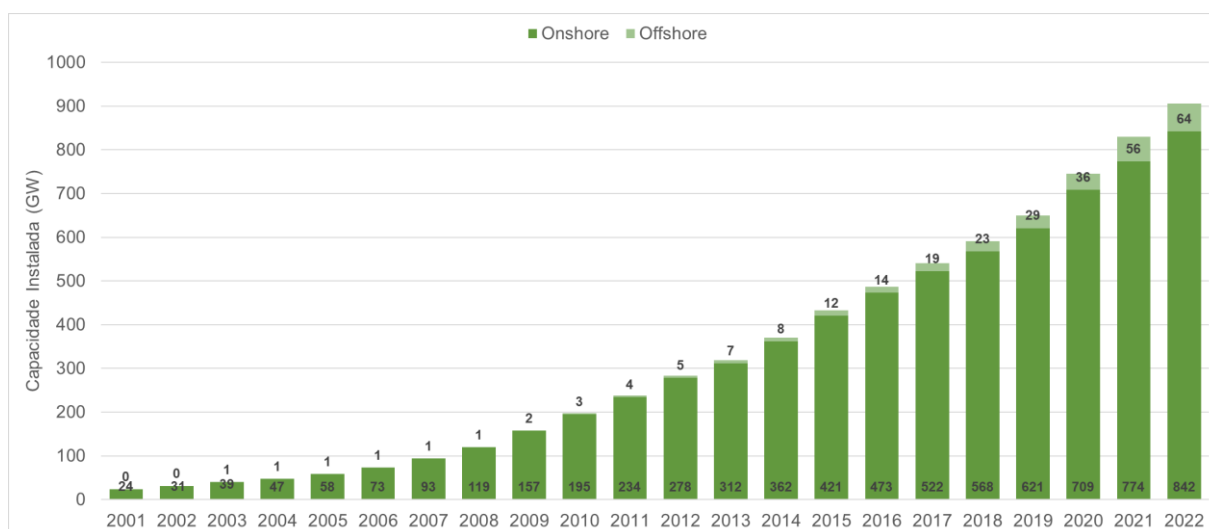
1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Definição do Problema	10
1.2	Justificativa	14
1.3	Objetivos.....	15
1.3.1	Objetivo Geral	15
1.3.2	Objetivos Específicos	15
1.4	Metodologia de trabalho.....	16
1.5	Estrutura do trabalho.....	17
	REFERÊNCIAS.....	18
	APÊNDICES	19
	APÊNDICE A – Artigo completo	20
	APÊNDICE B – Comprovante de apresentação.....	30
	APÊNDICE C – Slides apresentados no congresso.....	35
	ANEXO – FOLDER DE CHAMADA DO CONGRESSO	56

1 INTRODUÇÃO

1.1 Definição do Problema

A energia eólica vem crescendo exponencialmente nas duas últimas décadas (GWEC, 2023), tendo como os principais motivos, as políticas de incentivo dos governos em diversos países para transformar suas matrizes energéticas sustentáveis (SANTOS et al., 2016). Como consequência, elevados investimentos são introduzidos no desenvolvimento da tecnologia, ao longo do tempo, reduzindo os custos de produção da implementação dos aerogeradores (SANTOS et al., 2016). A Figura 1 ilustra o crescimento da capacidade eólica instalada no mundo.

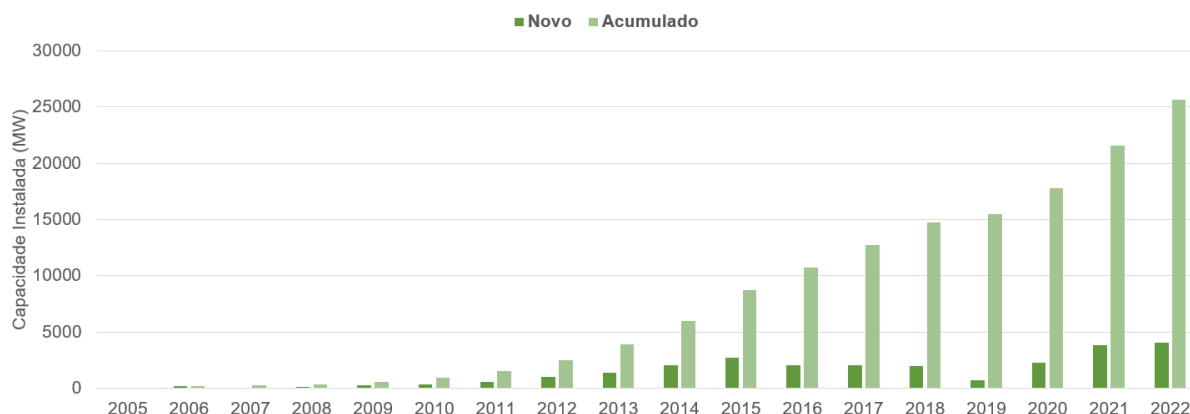
Figura 1 - Capacidade instalada de geração eólica *onshore* e *offshore* no mundo.



No contexto mundial da capacidade eólica instalada, pode-se observar que a principal evolução é na instalação *onshore* (instalações em terra), sendo poucos países com expressividade na instalação de parques eólicos *offshore* (instalações no mar). Nesse contexto, o Brasil ocupa a sexta colocação entre os países com maior capacidade instalada de geração eólica *onshore* (ABBEÓLICA, 2023).

Adicionalmente, na Figura 2 pode-se observar a evolução da capacidade instalada de geração eólica no Brasil nas últimas décadas. Atualmente, o Brasil possui um total de 930 parques eólicos em operação comercial, totalizando uma potência fiscalizada de 25,6 GW, na qual representa 13,36% da matriz energética brasileira (ANEEL, 2023).

Figura 2 - Evolução da capacidade instalada de geração eólica no Brasil.



Adicionalmente, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) estima que a capacidade instalada de geração eólica deve continuar crescendo de forma expressiva nas próximas décadas (EPE, 2020). E que até 2050 pode ultrapassar os 200 GW de capacidade instalada, se for considerado alguns casos especiais, tais como a expansão 100% renovável da matriz elétrica brasileira e a frota automotiva 100% elétrica.

Nesse sentido, pode-se compreender que a energia eólica torna-se mais relevante tanto no Brasil como no cenário mundial. Porém, quando visto pelo lado da segurança energética, tem-se uma fonte intermitente e que não pode ser armazenada, diferentemente da geração hidrelétrica. Adicionalmente, alguns estudos sugerem a utilização de grandes bancos de baterias acoplados em parques eólicos, com o intuito de minimizar a intermitência da geração (SONG *et al.*, 2019), mas concluem que ainda são custosos financeiramente.

Por outro lado, torna-se necessário aproveitar ao máximo possível a eficiência energética dos aerogeradores. Esse quesito está diretamente relacionado com a sua disponibilidade e o seu desempenho. A disponibilidade está relacionada com a fração de um determinado período em que o aerogerador está operacional, ou seja, está desempenhando as atividades pelo qual foi projetado (Windbox, 2020). Já o desempenho está relacionado essencialmente com a disponibilidade do aerogerador e com a sua curva de potência (AGUIAR, 2009).

Para analisar de forma eficiente a disponibilidade do aerogerador e por consequência o seu desempenho, é importante desenvolver e aplicar descrições

padronizadas para cada tipo de evento de mudança de status (registros operativos). Pois, ao aplicar descrições padronizadas nos registros operativos, possibilita que as atividades de análises dos aerogeradores realizadas pela equipe de pós operação seja mais eficiente.

No entanto, para desenvolver descrições padronizadas nos registros operativos, é necessário compreender os indicadores a serem utilizados pelo agente operador no cálculo da disponibilidade e do desempenho do aerogerador. Neste contexto, destaca-se a importância dos indicadores da norma técnica IEC 61400-26-1, que foi desenvolvida para definir uma base comum na troca de informações sobre indicadores de desempenho de geração de energia eólica.

A norma apresenta um modelo de informação na qual especifica como as designações de tempo devem ser divididas em categorias de informação (indicadores). A IEC 61400-26-1 possui 13 indicadores obrigatórios, que podem ser divididos em 5 grupos, além de existir a possibilidade de criar mais indicadores. Esses 5 grupos que podem ser divididos, são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Grupos e os indicadores da IEC 61400-26-1

Grupo	Indicador	Grau de Importância
Aerogerador com status operacional em serviço	Desempenho Total (IAOSFP)	1
	Desempenho Parcial (IAOSPP)	2
	Pronto em Espera (IAOSRS)	3
Aerogerador com status operacional fora de serviço	Espera Técnica (IAOOSTS)	4
	Fora da Especificação Ambiental (IAOOSSEN)	5
	Desligamento Solicitado (IAOOSRS)	6
	Fora da Especificação Elétrica (IAOOSSEL)	7
	Manutenção Preventiva (IANOSM)	8

Aerogerador com status não-operacional	Manutenção Corretiva Planejada (IANOPCA)	9
	Desligamento Forçado (IANOFO)	10
	Suspenso (IANOS)	11
Aerogerador parado por força maior	Força Maior (IAFM)	12
Aerogerador sem comunicação	Informação Indisponível (IU)	13

Os indicadores apresentados, são verificados a cada instante de tempo (segundo), e havendo alteração do *status*, é realizada a alteração do indicador. Caso haja um instante de tempo em que mais de um indicador possa ser utilizado, deve-se seguir o grau de importância do indicador (ordem crescente).

Além de apresentar os indicadores citados na Tabela 1, a norma traz métricas padronizadas para cálculos tanto de disponibilidade técnica quanto operacional de aerogeradores e de parques eólicos, baseando-se no tempo e na produção dos mesmos.

No entanto, apesar da norma IEC 61400-26-1 ser uma referência internacional, a mesma ainda não está totalmente difundida entre os agentes de geração no Brasil. Neste sentido, o presente trabalho tem como objetivo desenvolver uma proposta para aplicação prática da norma, baseando-se nos registros operativos (eventos de mudança de status) de seus aerogeradores. O banco de dados utilizado está relacionado aos parques eólicos Brotas de Macaúbas e Barra dos Coqueiros, ambos de propriedade da empresa Statkraft, que autorizou a utilização dos dados no período de 2021.

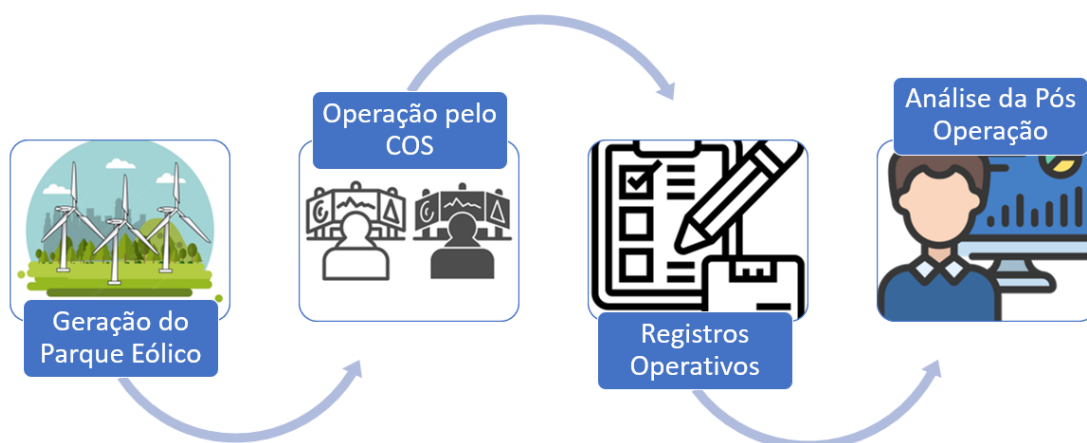
Desta forma, a aplicação prática e a proposta resultante consiste de maneira geral em reorganizar e padronizar os registros operativos, assim como analisar a alocação dos registros aos principais indicadores da norma. Pode-se observar que a proposta deste trabalho resulta em dois pontos principais ao agente

gerador, o primeiro é a padronização do registro operativo e a segunda é a adequação dos registros aos indicadores da norma.

1.2 Justificativa

A Figura 3 ilustra o processo de apuração de um parque eólico. Como pode ser observado, a operação de um parque eólico é realizada por um operador do Centro de Operação do Sistema (COS), no qual é responsável por registrar todas as mudanças de status dos aerogeradores, bem como dos outros equipamentos presentes na subestação e na rede de média tensão. Neste sentido, pode-se observar a importância dos registros operativos, pois os mesmos se tornam uma referência do que realmente ocorreu durante a operação (interliga a operação do aerogerador com análises do setor de pós operação).

Figura 3 - Processo de apuração de um parque eólico.



Adicionalmente, um dos papéis da pós operação é a confecção e envio de relatórios periódicos (semanais e mensais), que contém informações sobre a disponibilidade e o desempenho dos aerogeradores de cada parque eólico, para os gerentes e diretores da empresa. Neste sentido, periodicamente, a equipe de pós operação realiza a apuração dos registros operativos, analisando se foram descritos corretamente e se a classificação dos indicadores está adequada. Caso contrário, a pós operação tem o dever de corrigir o registro operativo.

Portanto, pode-se assimilar que a etapa dos registros operativos é uma etapa muito significativa, principalmente para as análises realizadas pela equipe de

pós operação. E, como a norma não é utilizada em muitas empresas do setor elétrico brasileiro, o registro normalmente acaba sendo efetuado pelas diversas possibilidades de escritas dos operadores dos COS. Adicionalmente, destaca-se que no período analisado, foram revisados todos os registros operativos dos aerogeradores do ano de 2021. No total foram 46.895 registros, existindo quase 2.000 formas de escritas diferentes. Com a compreensão da IEC 61400-26-1, foi possível reduzir 99% desses registros operativos, padronizando suas descrições¹.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

O trabalho tem por objetivo criar uma proposta na aplicação dos indicadores apresentados pela IEC 61400-26-1, utilizando como estudo de caso o banco de dados dos aerogeradores de 2 parques eólicos em operação comercial no período de 2021.

1.3.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- a) compreender a norma técnica IEC 61400-26-1 e seus indicadores;
- b) padronizar os registros operativos dos 80 aerogeradores dos 2 parques eólicos (histórico de 1 ano operativo);
- c) reclassificar os registros operativos dos aerogeradores, com os indicadores apresentados na norma;
- d) analisar os indicadores e resultados obtidos.

¹ Destaca-se que a padronização possibilita celeridade na filtragem da informação e nas análises da pós operação. No entanto, destaca-se que o sistema de registro deve possibilitar campos de preenchimento para descrever com maior detalhe a ocorrência.

1.4 Metodologia de trabalho

Para a execução deste trabalho, foi dividida a sua metodologia em 3 etapas principais, sendo, a fundamentação teórica e a análise do banco de dados, a padronização dos registros operativos com a reclassificação dos indicadores e, por fim, algumas análises feitas a partir das reclassificações dos indicadores.

A primeira etapa do trabalho refere-se à fundamentação teórica, que se baseia essencialmente na IEC 61400-26-1 e nos indicadores apresentados na mesma. Adicionalmente, nesta etapa, foram interrelacionados os indicadores com as diversas possibilidades encontradas nos registros operativos dos 2 parques eólicos utilizados no estudo de caso. A análise do banco de dados utilizado considerou 46.895 registros operativos (registrados pelos operadores do COS da Statkraft no período de 2021). Destaca-se que foi constatada a necessidade de criar um padrão de escrita para cada tipo de evento analisado, pois não havia padrão de escrita (operadores diversos) e existiam registros operativos sem informação e/ou com erros gramaticais.

A segunda etapa do trabalho consistiu na padronização dos registros operativos e na reclassificação dos indicadores. Com a adoção dos padrões de escrita para os registros operativos, foi possível reduzir 1.995 descrições diferentes, para apenas 17 descrições operativas. Após essa padronização, efetuou-se a reclassificação dos indicadores associados a cada registro operativo, de acordo com a compreensão da norma pelo autor. Nesta etapa foram classificados 10 indicadores entre os 13 indicadores que a norma apresenta².

Na última etapa, foram realizadas algumas análises no banco de dados reclassificado e com os registros operativos padronizados. No primeiro momento foi analisado o comportamento dos indicadores de cada parque eólico durante os meses do ano de 2021. Posteriormente, foram analisados os indicadores Desligamento forçado (IANOFO) e o Fora da especificação ambiental (IAOSEN).

² No ano utilizado, não foram encontrados registros operativos que qualificassem os indicadores: pronto em espera, suspenso e força maior.

1.5 Estrutura do trabalho

Na Introdução foi apresentada a definição do problema, a justificativa, os objetivos gerais e específicos e a metodologia de trabalho. No Apêndice A é apresentado o artigo completo, sendo que os comprovantes da apresentação do artigo no congresso, tais como fotos e certificado de participação e apresentação, estão no Apêndice B. No Apêndice C têm-se os slides de apresentação do artigo no congresso. E por fim, no Anexo tem-se o folder de chamada para apresentação dos artigos pelo congresso.

REFERÊNCIAS

ABEEÓLICA (São Paulo). **Página principal**. 2023. Disponível em: <https://abeeolica.org.br/>. Acesso em: 30 maio 2023

AGUIAR, António Ricardo da Silva Magalhães. **Utilização de Dados Operacionais para a Compreensão do Desempenho de Aerogeradores**. 2009. 101 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2009.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Matriz elétrica brasileira**. 2023. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiaNjc4OGYyYjQtYWM2ZC00YjllLWJlYmEtYzd kNTQ1MTc1NjM2liwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5Yz AxBzBIMSI6ImMiOjR9>. Acesso em: 01 jun. 2023.

EPE. Ministério de Minas e Energia. **PNE 2050**: plano nacional de energia. Brasília: EPE, 2020.

GWEC (Bélgica). Global Wind Energy Council. **Global Wind Report 2023**. Bruxelas: GWEC, 2023.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 61400-26-1**: Disponibilidade para sistemas de geração de energia eólica. 1 ed. Geneva, 2019.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Renewables 2021**: analysis and forecast to 2026. IEA, 2021.

SANTOS, Luan Tolentino dos *et al.* Políticas Públicas e a Expansão de Energia Eólica no Brasil. **X Congresso Brasileiro de Planejamento Energético**, Gramado, p. 1-13, set. 2016.

SONG, Ziyu; FENG, Shuo; ZHANG, Lei; HU, Zunyan; HU, Xiaosong; YAO, Rui. Economy Analysis of Second-Life Battery in Wind Power Systems Considering Battery Degradation in Dynamic Processes: Real Case Scenarios. **Elsevier**, Amsterdã, v. 251, n. 1, p. 1-30, 01 out. 2019.

WINDBOX (Natal). **Disponibilidade dos aerogeradores: passo a passo para analisá-la**. 2020. Disponível em: <http://windbox.com.br/blog/disponibilidade-dos-aerogeradores/>. Acesso em: 01 jun. 2023.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Artigo completo

Comitê de Estudos CE C1 – Desenvolvimento de Sistemas Elétricos e Economia

**PROPOSTA DA APLICAÇÃO DA IEC 61400-26-1 EM PARQUES EÓLICOS,
BASEADO NO REGISTRO OPERATIVO DE SEUS AEROGERADORES**

J.J.K. Orbem³
Instituto Federal de Santa
Catarina (IFSC)
Brasil
juaninjko@gmail.com

F.Y.K. Takigawa
Instituto Federal de Santa
Catarina (IFSC)
Brasil
takigawa@ifsc.edu.br

Resumo – A energia eólica vem crescendo exponencialmente desde o final da década de 1990, tendo como grande motivo o uso de energia limpa e o avanço da tecnologia no desenvolvimento dos aerogeradores. Por outro lado, também existem estudos que visam normatizar e melhorar a eficiência da geração de energia eólica, sendo a norma IEC 61400-26-1, um dos resultados desses estudos. Neste sentido, o presente artigo tem como objetivo desenvolver uma proposta para aplicação da norma em parques eólicos, baseando-se nos registros operativos (eventos de mudança de status) de seus aerogeradores. As informações foram extraídas do banco de dados dos parques eólicos Brotas de Macaúbas e Barra dos Coqueiros, no período de 01/01/2021 e 01/01/2022. Trata-se de 46.895 registros operativos nos 80 aerogeradores dos respectivos parques. Inicialmente, foi proposta uma padronização nas descrições dos eventos, no qual foi possível reduzir o quantitativo de 1.995 descrições diferentes para 17 descrições padronizadas. Posteriormente, esses registros operativos foram classificados dentro das categorias estabelecidas na norma (10 indicadores dentre os 13 indicadores apresentados na IEC 61400-26-1). Destaca-se que a categorização dos indicadores da norma possibilita analisar diversos critérios no processo de geração de energia eólica, como por exemplo, identificar as causas de falhas que possuem maior recorrência.

Palavras-chave: IEC 61400-26-1 – Aerogeradores – Disponibilidade – Indicadores – Eventos – Padronização – Desempenho

1. INTRODUÇÃO

No mundo, a capacidade instalada de geração eólica vem aumentando expressivamente desde o início do século, somando ao final do ano de 2021 a capacidade instalada de 837 GW [1]. O Brasil acompanha esse crescimento na capacidade instalada de energia eólica e, atualmente, ocupa a 6ª posição no cenário mundial [2], com aproximadamente 21,5 GW (cerca de 11,8% da matriz elétrica do país).

Esse crescimento significativo, é consequência, principalmente, do desenvolvimento tecnológico, ocorrido nos últimos anos [3], em todo processo construtivo e de produção desse tipo de fonte, assim como, na rentabilidade das empresas proprietárias de parques eólicos. Por outro lado, as empresas proprietárias de parques eólicos sempre buscam o melhor retorno financeiro para seus investimentos [4]. Neste sentido, é de suma importância, para os investidores, analisar as disponibilidades e o

³ Endereço do autor principal: juaninjko@gmail.com

desempenho dos aerogeradores de seus parques eólicos e, se possível, reduzir e/ou eliminar a indisponibilidade operativa dos mesmos.

Tendo em vista isso, nas duas últimas décadas, foram elaboradas normas com contribuições de profissionais experientes no setor a respeito da disponibilidade e outros assuntos correlatos ao processo de geração eólica [5]. Sendo a IEC 61400-26-1 a norma com mais apreço por parte da *International Energy Agency* (IEA) [6], essa norma foi elaborada pela *International Electrotechnical Commission* (IEC) e publicada em 2011.

E, posteriormente, após a publicação de outras normas complementares, foi publicada uma nova versão da IEC 61400-26-1 em 2019, que unifica as edições anteriores [7].

Através desses cálculos de disponibilidade, a empresa proprietária pode analisar o desempenho dos aerogeradores e do parque eólico. Pois, se esse indicativo de desempenho estiver abaixo do estimado, pode-se fazer uma análise mais detalhada no sentido de identificar a causa da indisponibilidade. Adicionalmente, é possível buscar informações conjuntas ao setor de manutenção, avaliando a necessidade e/ou planejando uma manutenção corretiva, visando identificar a causa real do problema e sanar as falhas, melhorando assim o desempenho do ativo.

Também, vale ressaltar que não foi encontrado um formato padrão para as descrições dos registros operativos pela norma, cabendo aos próprios agentes o entendimento e a aplicação da mesma. Neste sentido, o objetivo principal do trabalho é elaborar uma proposta de aplicação da norma, por meio da análise dos registros operativos (eventos), de cada aerogerador dos parques eólicos. Os parques eólicos analisados foram: Brotas de Macaúbas (localizado na região da chapada da diamantina/Bahia) e Barra dos Coqueiros (localizado na região litorânea/Sergipe), que totalizam 80 aerogeradores.

As informações foram extraídas do banco de dados da empresa, no período de 01/01/2021 e 01/01/2022, e possuem os registros dos eventos em cada fração de tempo, assim como, a mudança de status do aerogerador. A primeira análise consistiu em padronizar o registro dos eventos e, posteriormente, a adequação dos eventos aos indicadores da IEC 61400-26-1 para todos os aerogeradores e para cada instante de tempo. Ressalta-se que a adequação aos indicadores foi baseada no entendimento dos autores sobre a norma. Por fim, foram analisados os eventos que ocorreram com maior frequência no ano de 2021.

O presente artigo é dividido em 6 seções, sendo que na Seção 2 é apresentada a norma técnica IEC 61400-26-1 e na Seção 3 são compilados os registros padronizados obtidos. Na Seção 4, as análises dos registros operativos de 2021 de forma geral, e posteriormente, são analisados os indicadores que mais impactaram os dois parques eólicos de forma individual, na sequência são analisados os indicadores de desligamento forçado (IANOFO) e fora da especificação ambiental (IAOSEN), e por fim, são apresentadas as principais conclusões e as referências utilizadas, respectivamente, nas seções 5 e 6.

2. IEC 61400-26-1

A norma técnica foi desenvolvida com o intuito de definir uma base comum para troca de informações sobre indicadores de desempenho de geração de energia eólica [7], e para isso, criou-se um modelo de informação na qual especifica como as designações de tempo devem ser divididas em categorias de informação, conforme ilustrado na Fig. 1.

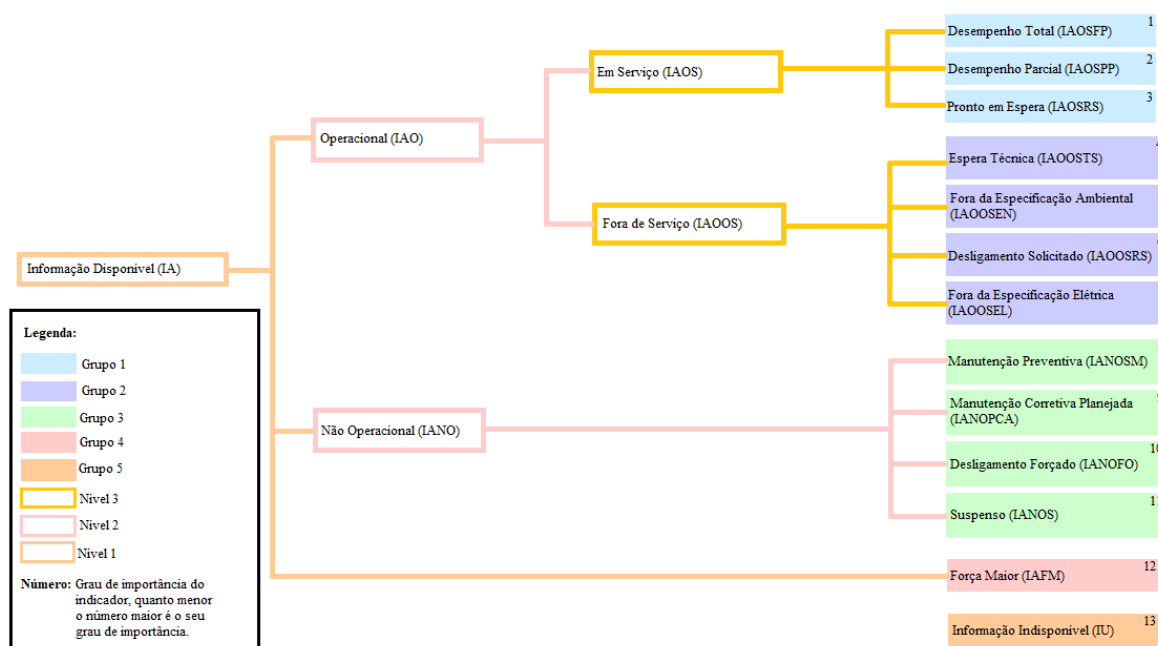


Fig. 1 - Modelo de informação obrigatório.

As categorias de informação, formam a base de como alocar tempo para relatórios de disponibilidade. Porém para realizar a alocação de tempo correta em cada categoria, deve-se definir na especificação técnica do aerogerador os termos genéricos de sistemas de turbinas eólicas e restrições ambientais na descrição de sistema e componente, além da sua disponibilidade, expectativa de vida, reparos e critérios para determinar os intervalos de revisão [7].

O modelo de informação é dividido em quatro níveis. obrigatórios, porém a norma recomenda que se houver necessidade pode-se criar mais níveis, que assim geraria mais informações sobre os aerogeradores. Observando todas as categorias de informações obrigatórias, são obtidos 13 indicadores, divididos em 5 grupos de categorias de informação, como ilustrado na TABELA II. Adicionalmente são expostos alguns exemplos de ocorrência para cada indicador.

TABELA II - EXEMPLOS DE OCORRÊNCIAS PARA OS INDICADORES.

Grupo	Indicador	Exemplos de ocorrência
Aerogerador com status operacional em serviço	Desempenho Total (IAOSFP)	Aerogerador operando em pleno desempenho
	Desempenho Parcial (IAOSPP)	Aerogerador/parque eólico operando com geração restrita (controle de frequência do Sistema Interligado Nacional, ineficiência do aerogerador, entre outros)
	Pronto em Espera (IAOSRS)	Aerogerador trabalhando, mas sem gerar potência ativa (radar para migração de pássaros, compensando potência reativa, entre outros)
Aerogerador com status operacional fora de serviço	Espera Técnica (IAOOSTS)	Aerogerador parado (autoteste de componentes e sistemas, serviço de transferência de componentes, entre outros)
	Fora da Especificação Ambiental (IAOSEN)	Aerogerador parado (velocidade do vento abaixo/acima do corte especificado, queimada próxima, entre outros)
	Desligamento Solicitado (IAOOSRS)	Aerogerador parado (treinamentos, mobilização de equipamentos dentro ou próximo a área de risco, entre outros)
	Fora da Especificação Elétrica (IAOOSSEL)	Aerogerador parado (sobretensão ou subtensão, baixa frequência, entre outros)
Aerogerador com status não-operacional	Manutenção Preventiva (IANOSM)	Aerogerador indisponível (manutenção preventiva periódica)
	Manutenção Corretiva Planejada (IANOPCA)	Aerogerador indisponível (manutenções corretivas, inspeções e melhorias, entre outros)

	Desligamento Forçado (IANOFO)	Aerogerador indisponível (desligamento involuntários ou emergências)
	Suspenso (IANOS)	Aerogerador indisponível (pausada manutenção preventiva, corretiva, devido ausência de condições de trabalho no local)
Aerogerador parado por força maior	Força Maior (IAFM)	Impedimento das partes de cumprirem as suas obrigações (acontecimento ou circunstância extraordinária, alheia ao controle das partes envolvidas)
Aerogerador sem comunicação	Informação Indisponível (IU)	Aerogerador sem comunicação (supervisório, CLP entre outros)

3. PADRONIZAÇÃO DAS DESCRIÇÕES EM REGISTROS OPERATIVOS

Nas análises dos diversos registros operativos foram identificadas a ausência de um padrão na descrição dos registros, além de erros gramaticais (o operador descreve e relata o ocorrido). Desta forma, na análise inicial dos registros foi proposta a padronização nas descrições dos diversos eventos, conforme ilustrado na **TABELA III**, que posteriormente irão auxiliar na filtragem dos registros e na melhoria da qualidade das análises.

TABELA III - DESCRIÇÕES PADRONIZADAS PARA OS REGISTROS OPERATIVOS.

Indicador	Quantidade	Descrições	Padrão de descrição de registro operativo
IAOSFP	23.701	1	Aerogerador gerando com desempenho total
IAOSPP	919	39	Desligamento manual do aerogerador, por solicitação da engenharia
			Restrição de geração do aerogerador, por solicitação da engenharia
			Restrição de geração do aerogerador, para não ultrapassar o MUSD/MUST
			Desligamento automático do aerogerador, devido a restrição de geração, por solicitação do Operador Nacional do Sistema (ONS)
IAOOSTS	116	4	Desligamento automático do aerogerador durante o período de teste, após intervenção da equipe de manutenção
IAOSEN	1.842	32	Desligamento automático do aerogerador, devido à baixa incidência de vento
			Desligamento automático do aerogerador, devido a incêndio
IAOOSRS	533	86	Desligamento manual do aerogerador, por solicitação da equipe de manutenção
IAOSEL	410	58	Desligamento automático do aerogerador, devido a falha na rede interna
			Desligamento automático do Aerogerador, devido falha na rede externa
IANOSM	369	239	Aerogerador indisponível para possibilitar uma manutenção preventiva
IANOPCA	432	261	Aerogerador indisponível para possibilitar uma atualização
			Aerogerador indisponível para possibilitar uma manutenção corretiva
IANOFO	18.478	1.202	Desligamento automático e indisponibilidade do aerogerador, devido a erro no log
IU	95	73	Falha de comunicação com o sistema SCADA
			Falha de comunicação em outro sistema

Pode-se observar que para os diversos eventos registrados no período foi possível enquadrá-los em dez dos treze indicadores apresentados pela norma. Neste sentido, destaca-se que a padronização proposta deve ser reanalisada futuramente, inserindo, posteriormente, novas descrições que sejam pertinentes ou necessárias.

4. ANÁLISE DOS REGISTROS OPERATIVOS DE 2021

Após a padronização dos registros operativos, cada mudança de status dos aerogeradores foi classificada de acordo com os indicadores da IEC 61400-26-1, obtendo-se como resultado a **TABELA IV**.

TABELA IV - DURAÇÃO E FREQUÊNCIA PARA CADA INDICADOR EM 2021.

Indicadores	Duração [h] / [%]	Frequência [Quantidade] / [%]
IAOSFP	585.621 h 10 min 01 s / 83,56%	23.701 / 50,54%
IAOSPP	1.679 h 23 min 06 s / 0,24%	919 / 1,96%
IAOOSTS	232 h 11 min 12 s / 0,03%	116 / 0,25%
IAOSEN	452 h 22 min 06 s / 0,06%	1.838 / 3,92%
IAOOSRS	1.509 h 27 min 53 s / 0,22%	533 / 1,14%
IAOSEL	4.602 h 38 min 48 s / 0,66%	410 / 0,66%
IANOSM	2.235 h 34 min 34 s / 0,32%	369 / 0,79%
IANOPCA	37.545 h 40 min 15 s / 5,36%	436 / 0,93%
IANOFO	62.275 h 28 min 02 s / 8,89%	18.478 / 39,40%
IU	4.646 h 04 min 03 s / 0,66%	95 / 0,20%
Total Geral	700.800 h 00 min 00 s / 100,00%	46.895 / 100,00%

Pode-se observar na **TABELA IV**, que o indicador IAOSFP possui a maior duração de tempo no ano de 2021, como era esperado, pois esse indicador representa o período em que o aerogerador produziu potência ativa em seu desempenho total (curva de potência especificada pelo fabricante). No entanto, ressalta-se que esse valor pode estar um pouco adulterado, porque não existe nenhum mecanismo implementado na empresa indicando que a geração está em conformidade com a sua curva de potência (desempenho total). Dessa forma, sempre que o aerogerador estivesse gerando sem nenhuma informação de restrição de geração (ONS, equipe de engenharia ou manutenção) foi considerado como se estivesse em desempenho total.

Outro ponto que vale ser destacado é que durante o ano de 2021, a empresa proprietária optou por reduzir a quantidade de atividades nos dois parques eólicos, devido a pandemia de COVID-19, com isso, pode-se observar a razão para que as durações e as frequências dos indicadores IANOSM e IANOPCA foram tão pequenas, já que esses indicadores correspondem a manutenção preventiva e manutenção corretiva planejada, respectivamente.

Devido a quantidade de dados analisados, foi optado por separar as análises dos registros operativos por parque eólico inicialmente, e analisá-los mês a mês no período de 2021. E, posteriormente, analisa-se individualmente dois indicadores, IANOFO e IAOSEN.

4.1 Registros Operativos do Parque Eólico Barra dos Coqueiros

A Fig. 2, apresenta o comportamento mensal dentro do período de 2021, para os 23 aerogeradores do parque eólico Barra dos Coqueiros, localizado na região litorânea do estado de Sergipe.

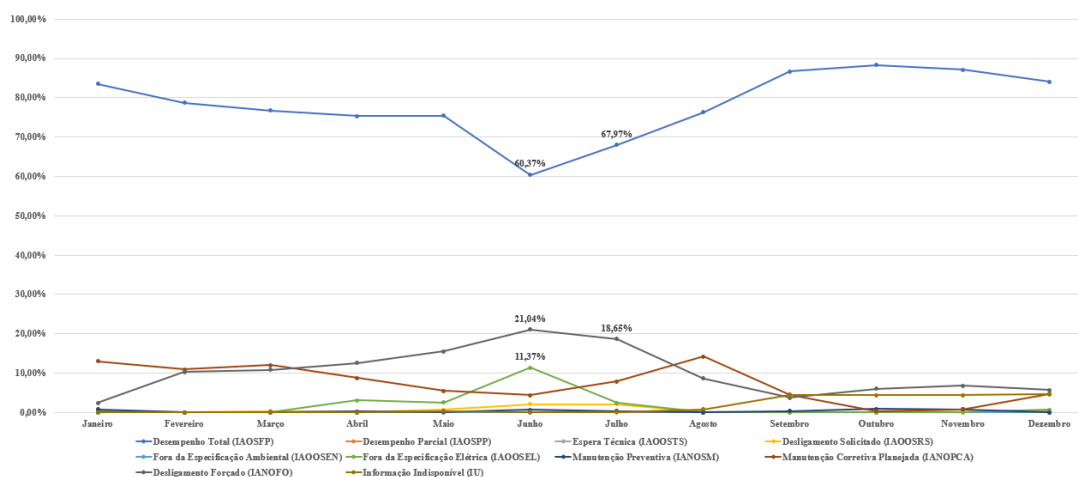


Fig. 2 - Status dos aerogeradores do Parque Eólico Barra dos Coqueiros a cada mês no ano de 2021.

Ao analisar a Fig. 2, pode-se obter algumas informações relevantes, como por exemplo, apenas 2 meses tiveram o indicador IAOSFP inferior a 70,00% de seu tempo (junho e julho, respectivamente, com um desempenho total de 60,37% e 67,97%). E esses dois meses também foram os meses mais impactados pelo indicador IANOFO, com 21,04% e 18,65% respectivamente. Além disso, junho foi o mês com maior expressão do indicador IAOSSEL no período, com 11,37% (segundo maior valor desse indicador, é abril com 3,04%).

Para o indicador IANOFO, foi verificado a existência de 3.715 eventos de desligamento forçado, com uma duração total de 6.674 h 24 min 56 s (somando as durações desse indicador em todos os 23 aerogeradores do parque eólico Barra dos Coqueiros). Dentre todos esses eventos, destacam-se três, que juntos correspondem a 44,82% da duração total de IANOFO (nos meses de junho e julho): Aerogerador 21, com falha na hub durante 21,94% do tempo; Aerogerador 13, com falha no sistema da gear box durante 17,22% do tempo; e, Aerogerador 15, com falha no sistema do conversor Emerson durante 5,66% do tempo.

Por outro lado, para o indicador IAOSSEL, foram contabilizados 39 eventos no mês de junho de 2021, com duração total de 1.883 h 02 min 24 s (somando as durações desse indicador em todos os 23 aerogeradores que compõem o parque). Todos os eventos foram relativos a alguma falha na rede de média tensão do parque eólico, sendo que 51,04% do tempo representam apenas 2 eventos em que os aerogeradores conectados ao alimentador 2 ficaram desligados devido a uma avaria no isolador da fase A do poste 7.

4.2 Registros Operativos do Parque Eólico Brotas de Macaúbas

A Fig. 3, apresenta o comportamento mensal, no período de 2021, para os 57 aerogeradores do parque eólico Brotas de Macaúbas, localizado na região da chapada da diamantina no estado da Bahia.

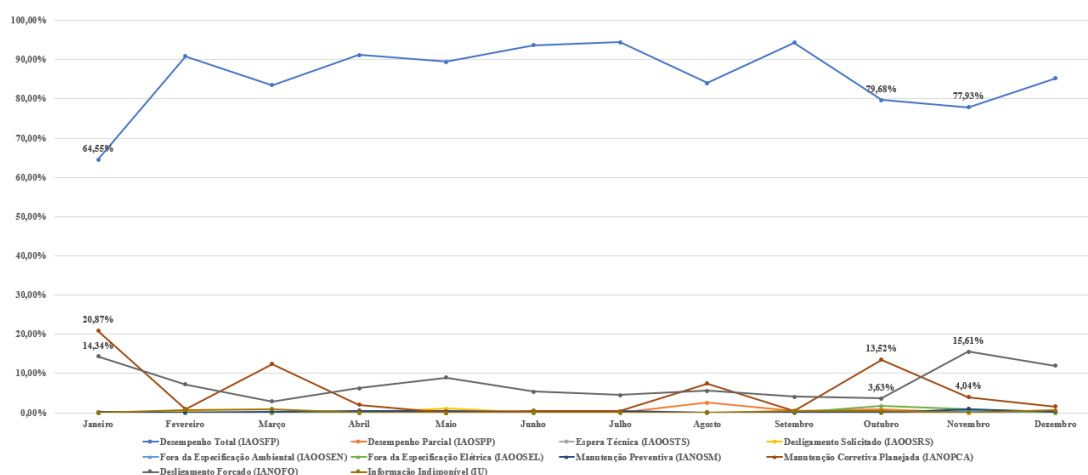


Fig. 3 - Status dos aerogeradores do Parque Eólico Brotas de Macaúbas a cada mês no ano de 2021.

Ao analisar a Fig. 3, pode-se observar que apenas 3 meses tiveram o desempenho total inferior a 80% de seu tempo (janeiro, outubro e novembro com um desempenho total de 64,55%, 79,68% e 77,68% respectivamente). Sendo que janeiro e novembro foram os meses mais impactados pelo indicador IANOFO, com 14,34% e 15,61%, respectivamente. Por outro lado, o período de janeiro e outubro foram os meses com maior expressão no indicador IANOPCA, com 20,87% e 13,52%, respectivamente.

Para o indicador IANOFO foi verificada a existência de 1.100 eventos de desligamento forçado, com uma duração total de 10.862 h 46 min 50 s (somando as durações desse indicador em todos os 57 aerogeradores do parque eólico). Dentre todos esses eventos, destacam-se sete (juntos correspondem a 46,07% da duração total de IANOFO em janeiro e novembro): Aerogeradores Macaúbas 02 e Seabra 01, com falha no conversor Emerson durante 6,84% do tempo; Aerogerador Novo Horizonte 01, com falha no sistema pitch durante 6,84% do tempo; Aerogeradores Seabra 16 e Seabra 13, com falha no

sistema pitch durante 6,63% do tempo; Aerogerador Macaúbas 16, com atuação de vibração no B2 durante 6,63% do tempo; e, Aerogerador Seabra 10, com falha no sistema pitch durante 5,66% do tempo. Em relação ao indicador IANOPCA, foram contabilizados 36 eventos (nos meses de janeiro e outubro de 2021), com duração total de 3.728 h 17 min 40 s (somando as durações desse indicador em todos os 57 aerogeradores que compõem o parque). Dentre todos esses eventos, destaca-se um (corresponde a 19,96% da duração total de IANOPCA em janeiro e outubro): Aerogerador Macaúbas 12, com manutenção corretiva no B2.

4.3 Registros Operativos de IANOFO

Com a análise realizada apenas sobre os registros operativos do indicador IANOFO, que corresponde aos eventos de desligamento forçado, foram identificadas algumas informações interessantes, sendo uma delas que 89,19% de todas as atuações desse indicador foram causadas por *logs* de erros que não são críticos para o aerogerador e os mesmos retornaram por reset automático programado nos próprios aerogeradores ou por reset realizado pelo operador via comando por supervisão no Centro de Operações do Sistema (COS).

Na Fig. 4-(a) pode-se verificar os 10 aerogeradores dos dois parques eólicos que tiveram maior recorrência dentro do indicador IANOFO e na Fig. 4-(b) pode-se analisar a recorrência nos aerogeradores BCO-AL1-BC18 e BCO-AL1-BC04, nos quais foram mais afetados por esse indicador em 2021.

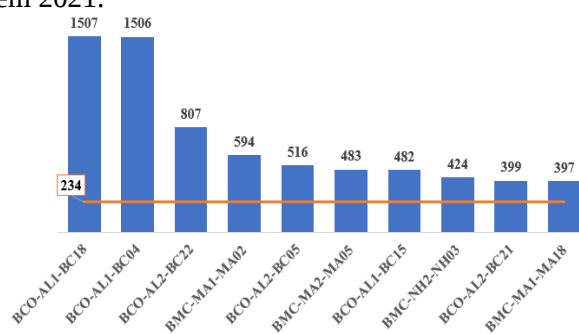


Fig. 4-(a). Os 10 aerogeradores com maior recorrência no indicador IANOFO nos dois parques eólicos

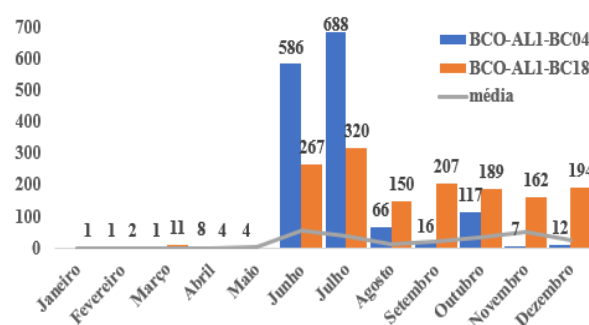


Fig. 4-(b). Recorrência do indicador IANOFO nos aerogeradores BCO-AL1-BC18 e BCO-AL1-BC04

Os aerogeradores BCO-AL1-BC18 e BCO-AL1-BC04 foram os mais impactados com o indicador IANOFO com recorrências de 1.507 e 1.506, respectivamente. Observando a Fig. 4-(b), pode-se perceber que, praticamente no ano inteiro, esses dois aerogeradores tiveram desligamentos forçados acima da média de desligamentos dos outros aerogeradores do mesmo parque eólico. Adicionalmente, verifica-se que os meses com as maiores recorrências foram junho e julho para os dois aerogeradores. E ao analisar a causa de ambos foi verificado que 93,64% e 96,81% dos desligamentos forçados nos dois aerogeradores, BCO-AL1-04 e BCO-AL1-BC18, respectivamente, foram por erros autoresetáveis (*log* de erro no sistema pitch).

4.4 Registros Operativos de IAOOSEN

A principal causa dos registros operativos do indicador IAOOSEN foi a baixa incidência de vento, que correspondeu a cerca de 99,78% da recorrência de fora da especificação ambiental e 96,18% do tempo total alocado dentro desse indicador no ano de 2021.

Agora na Fig. 5-(a) pode-se verificar os 10 aerogeradores dos dois parques eólicos que tiveram maior recorrência dentro do indicador IAOOSEN e na Fig. 5-(b) pode-se analisar a recorrência do indicador durante 2021 para os aerogeradores (BMC-SE1-SE01 e BMC-MA1-MA02), que foram os mais afetados nesse indicador.

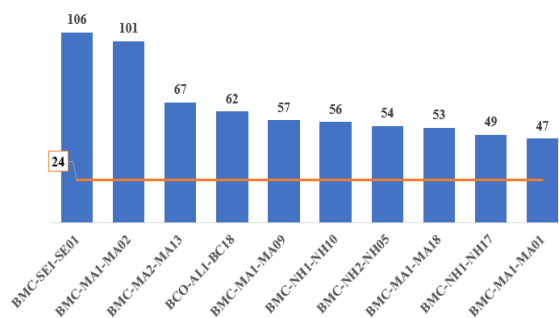


Fig. 5-(a). Os 10 aerogeradores com maior recorrência dentro do indicador IAOOSEN nos dois parques eólicos

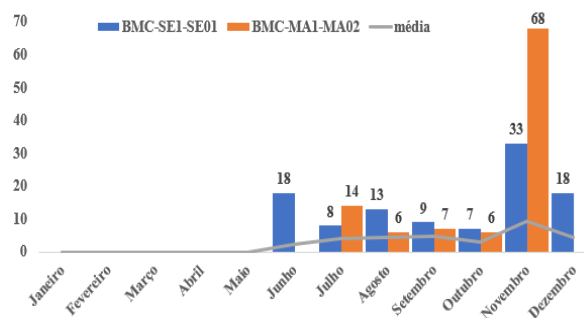


Fig. 5-(b). Recorrência do indicador IAOOSEN nos aerogeradores BMC-SE1-SE01 e BMC-MA1-MA02

Os aerogeradores BMC-SE1-SE01 e BMC-MA1-MA02 foram os mais impactados com o indicador IAOOSEN com recorrências de 106 e 101, respectivamente. Observando a Fig. 5-(b), pode-se perceber que, entre junho e dezembro o aerogerador BMC-SE1-SE01 e entre julho e novembro o aerogerador BMC-MA1-MA02, ficaram parados por estarem fora da especificação ambiental com uma frequência acima da média dos outros aerogeradores do mesmo parque eólico. Adicionalmente, observa-se que o mês com a maior recorrência foi novembro para os dois aerogeradores. E ao analisar a causa de ambos foi verificado que 100,00% dos registros operativos de fora da especificação ambiental para os dois aerogeradores (BMC-SE1-SE01 e BMC-MA1-MA02), foram por baixa incidência de vento.

5. CONCLUSÕES

Dentro do período analisado foi possível categorizar 10 indicadores entre os 13 indicadores, dispostos nos quatro níveis obrigatórios, apresentados na IEC 61400-26-1. Os 3 indicadores que não foram possíveis de serem categorizados se devem a não existência desses tipos de eventos dentro do período analisado e/ou a falha na comunicação entre a equipe de manutenção e o centro de operação.

Como principais resultados, cita-se a padronização efetuada na descrição do evento, que reduziu praticamente 46.895 eventos (que são descritos de diversas maneiras) em, aproximadamente, 17 diferentes tipos de eventos, categorizados em 10 indicadores da norma. Vale ressaltar que esse resultado está relacionado ao período e aos parques eólicos analisados e que futuramente deve-se reanalisar e/ou inserir novas descrições que sejam pertinentes e/ou necessárias.

Destaca-se também que a proposta efetuada neste trabalho pode ser implementada na empresa, possibilitando ao agente padronizar os registros em concordância com a norma. Essa padronização proposta pode auxiliar nas análises de performance e de disponibilidade de um aerogerador e/ou da subestação do parque eólico, além de possibilitar análises individuais e/ou conjuntas dos indicadores (que podem trazer informações importantes de possíveis falhas para serem tratadas pelas equipes de engenharia e de manutenção).

Contudo, ainda pode-se destacar outros pontos importantes. No ano de 2021 foi realizada uma quantidade inferior de manutenções preventivas e corretivas planejadas nos parques eólicos em comparação com um ano normal, devido a pandemia de COVID-19, sendo esse um possível motivo para a grande recorrência e duração de registros operativos de desligamentos forçados (IANOFO). Outro ponto importante, foi na utilização dos dados de desligamento forçado dos aerogeradores BCO-AL1-BC04 e BCO-AL1-BC18, que tiveram uma recorrência muito acima da média, com isso, foi repassado para as equipes de engenharia e de manutenção, que após a atuação delas ao final do de julho, reduziu a quantidade de desligamentos forçados, principalmente no aerogerador BCO-AL1-BC04, reduzindo também possíveis desgastes mecânicos no mesmo.

Como possibilidades futuras, os autores sugerem a análise de períodos maiores, possibilitando analisar a eficácia das descrições padronizadas propostas, além da criação de novos indicadores de níveis 5 e/ou 6, para um maior detalhamento de informações para as empresas proprietárias, ou de manutenção e operação de parques eólicos. Por fim, os autores deste artigo agradecem a empresa Statkraft Energias

Renováveis, que por meio do seu gerente da Operação Robson Guimarães e do analista de Pré e Pós Operação Lucas Nunes, disponibilizaram todas as informações para o desenvolvimento do artigo.

6. REFERÊNCIAS

- [1] Global Wind Energy Council Web Site, <https://gwec.net/global-wind-report-2022/>
- [2] ABEEólica. Associação Brasileira de Energia Eólica. **Boletim Anual 2021**. São Paulo: Abeeólica, 2022.
- [3] GOUVÊA, Renato Luiz Proença de; SILVA, Paulo Azzi da. Desenvolvimento do setor eólico no Brasil. **BNDES**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 49, p. 81-118, jun. 2018.
- [4] FIERN (Rio Grande do Norte). Federação das Indústrias do Estado do Rio Grande do Norte (comp.). **Estudo destaca impactos do setor eólico, em expansão no Brasil e no RN, para a economia**. 2022. Disponível em: <https://www.fiern.org.br/estudo-destaca-impactos-setor-eolico-em-expansao-no-brasil-e-no-rn-para-economia/#:~:text=Um%20estudo%20divulgado%20nesta%20ter%C3%A7a,R%24%203%20para%20a%20economia..> Acesso em: 15 jan. 2023.
- [5] DANIEL FARO AMARAL LEMOS (Rio Grande do Norte). Centro de Tecnologias do Gás e Energias Renováveis– Ctgás-Er. **Aspectos Técnicos da Energia Eólica**. Natal: Senai Petrobrás, 2012.
- [6] DANIEL FARO AMARAL LEMOS (Rio Grande do Norte). Centro de Tecnologia do Gás e Energias Renováveis –Ctgás -Er. **Normalização e Desempenho de Aerogeradores**. Natal: Senai Petrobrás, 2012.
- [7] INTERNATINAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 61400-26-1: Disponibilidade para sistemas de geração de energia eólica. 1 ed. Geneva, 2019.

APÊNDICE B – Comprovante de apresentação



cigre
Brasil



xixeriac

21 a 25 de maio de 2023
Foz do Iguaçu | PR | Brasil

PROMOÇÃO



APOIO
ORGANIZACIONAL



JUANIN ORBEM
STATKRAFT ENERGIAS
RENOVAVEIS SA






XIXeriac

 21 a 25 de maio de 2023
 Foz do Iguaçu | PR | Brasil

XIX Encontro Regional Ibero-Americano do CIGRE
 A Bienal do CIGRE na Ibero-América

CERTIFICADO



Código de validação

Certificamos que **JUANIN JOSÉ KRÄMER ORBEM** apresentou o trabalho técnico
**"PROPOSTA DA APLICAÇÃO DA IEC 61400-26-1 EM PARQUES EÓLICOS, BASEADO
 NO REGISTRO OPERATIVO DE SEUS AEROGERADORES"** no XIX ERIAC – Encontro
 Regional Ibero-Americano do CIGRE-BRASIL, realizado no período de 21 a
 25 de maio de 2023.

FOZ DO IGUAÇU, 25 DE MAIO DE 2023


João Carlos de Oliveira Mello
 Diretor-Presidente do CIGRE-Brasil


Rodrigo Gonçalves Pimenta
 Coordenador Geral e Executivo do XIX ERIAC

PROMOÇÃO


 APOIO
 ORGANIZACIONAL

XIXeriac

 21 a 25 de maio de 2023
 Foz do Iguaçu | PR | Brasil

XIX Encontro Regional Ibero-Americano do CIGRE
 A Bienal do CIGRE na Ibero-América

CERTIFICADO



Código de validação

O COMITÊ TÉCNICO DO XIX ERIAC CERTIFICA QUE O TRABALHO TÉCNICO
**PROPOSTA DA APLICAÇÃO DA IEC 61400-26-1 EM PARQUES EÓLICOS, BASEADO NO
 REGISTRO OPERATIVO DE SEUS AEROGERADORES**
FOI APRESENTADO NO EVENTO, POSSUINDO COMO AUTOR(ES)
JUANIN JOSÉ KRÄMER ORBEM

FOZ DO IGUAÇU, 25 DE MAIO DE 2023


João Carlos de Oliveira Mello
 Diretor-Presidente do CIGRE-Brasil


Rodrigo Gonçalves Pimenta
 Coordenador Geral e Executivo do XIX ERIAC

PROMOÇÃO


 APOIO
 ORGANIZACIONAL




CERTIFICADO

Certificamos que, **JUANIN JOSÉ KRÄMER ORBEM** participou do **XIX ERIAC - Encontro Regional Ibero-Americano do CIGRE**, realizado em Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil, no período de 21 a 25 de maio de 2023.

Foz do Iguaçu, 25 de maio de 2023.



João Carlos de Oliveira Mello
Diretor-Presidente do CIGRE-Brasil



Rodrigo Gonçalves Pimenta
Coordenador Geral e Executivo do XIX ERIAC

PROMOÇÃO



APOIO
ORGANIZACIONAL



APÊNDICE C – Slides apresentados no congresso



 **XVIII Encontro Regional Ibero-americano do CIGRE**
Foz do Iguaçu - Paraná – Brasil, 21 a 25 de maio de 2023



CE-C1 - Proposta da aplicação da IEC 61400-26-1 em parques eólicos, baseado no registro operativo de seus aerogeradores

Juanin José Krämer Orbem – Fabrício Yutaka Kuwabata Takigawa

Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC)

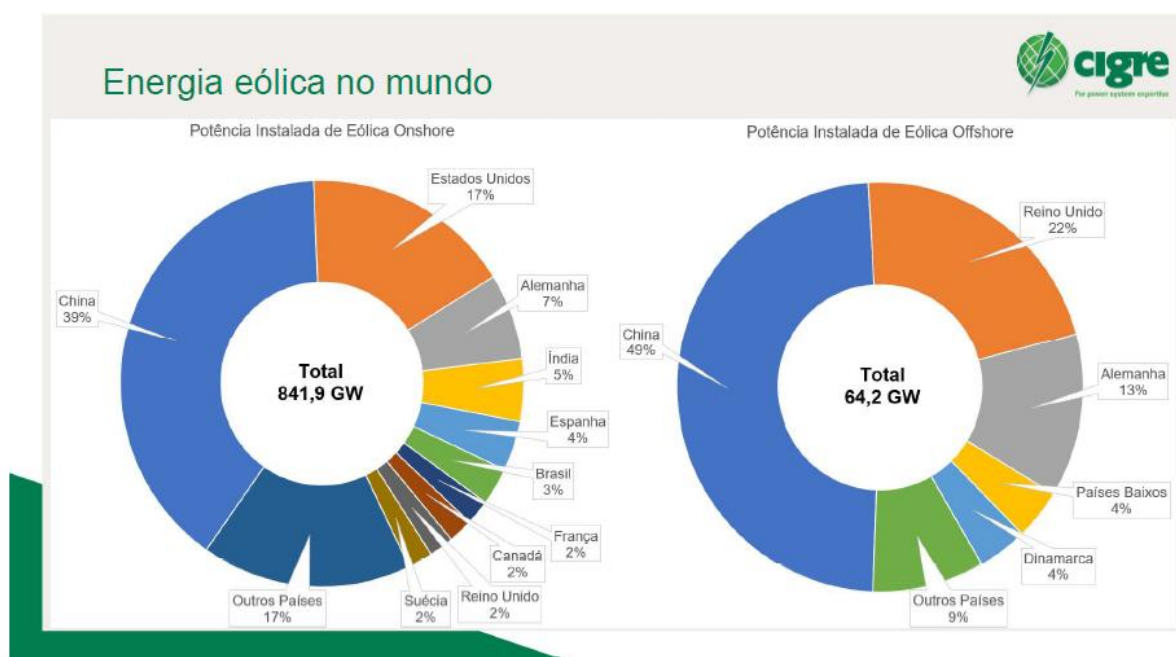
 **Brasil - Brasil**

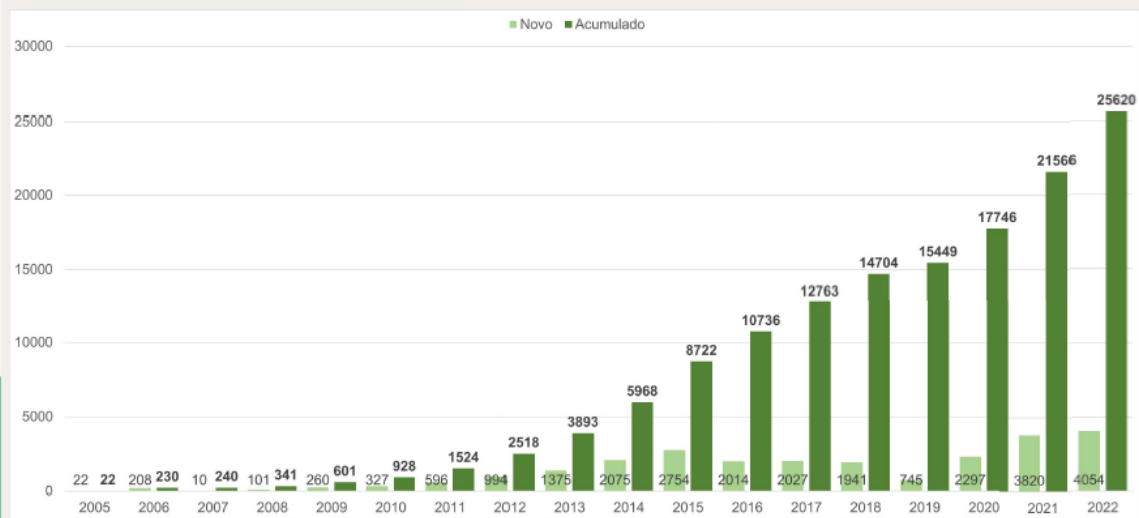
Sumário



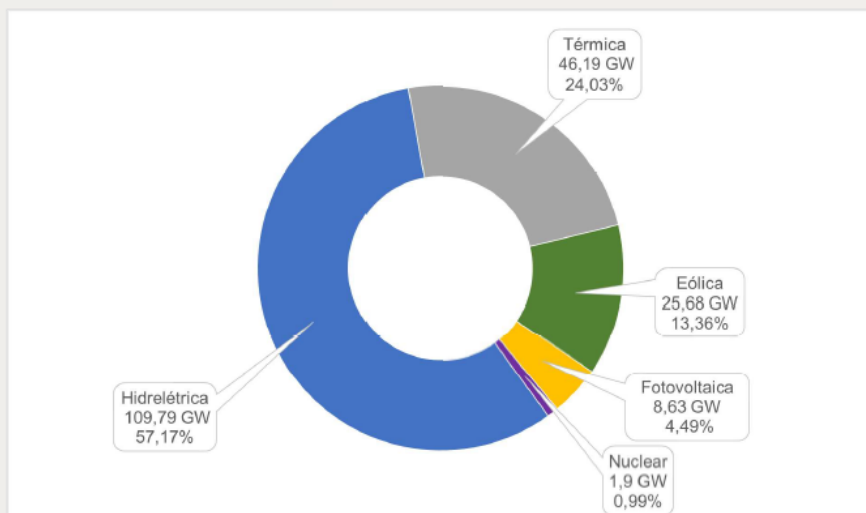
- Introdução
- Estudo de caso
- Conclusões finais

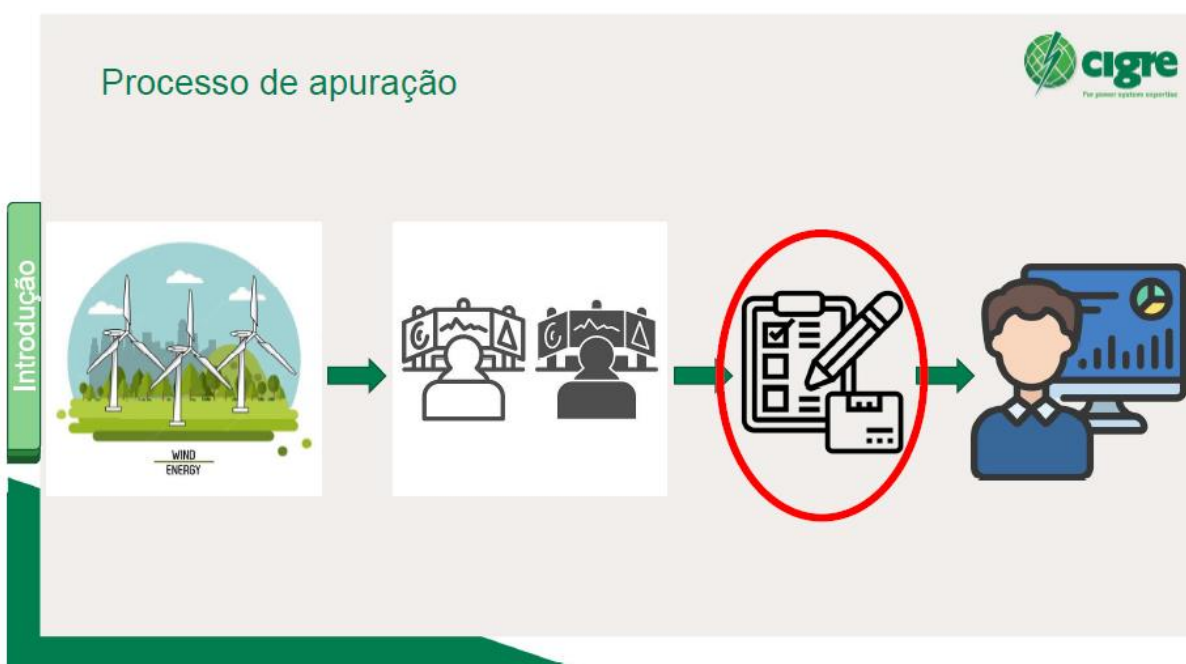
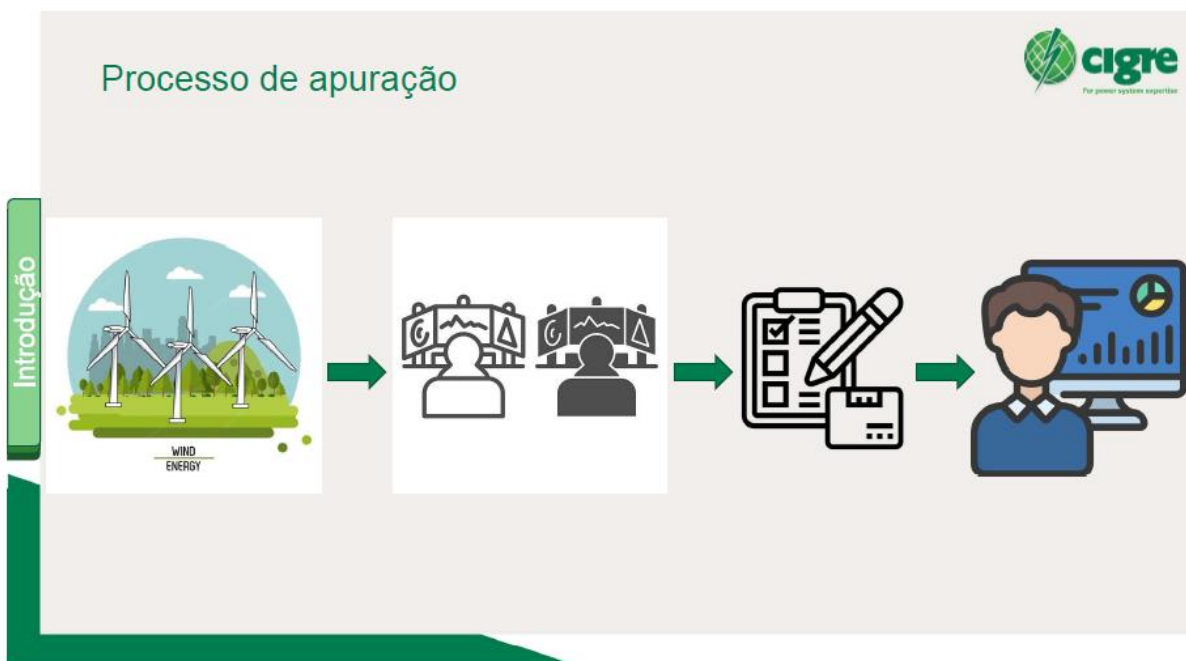


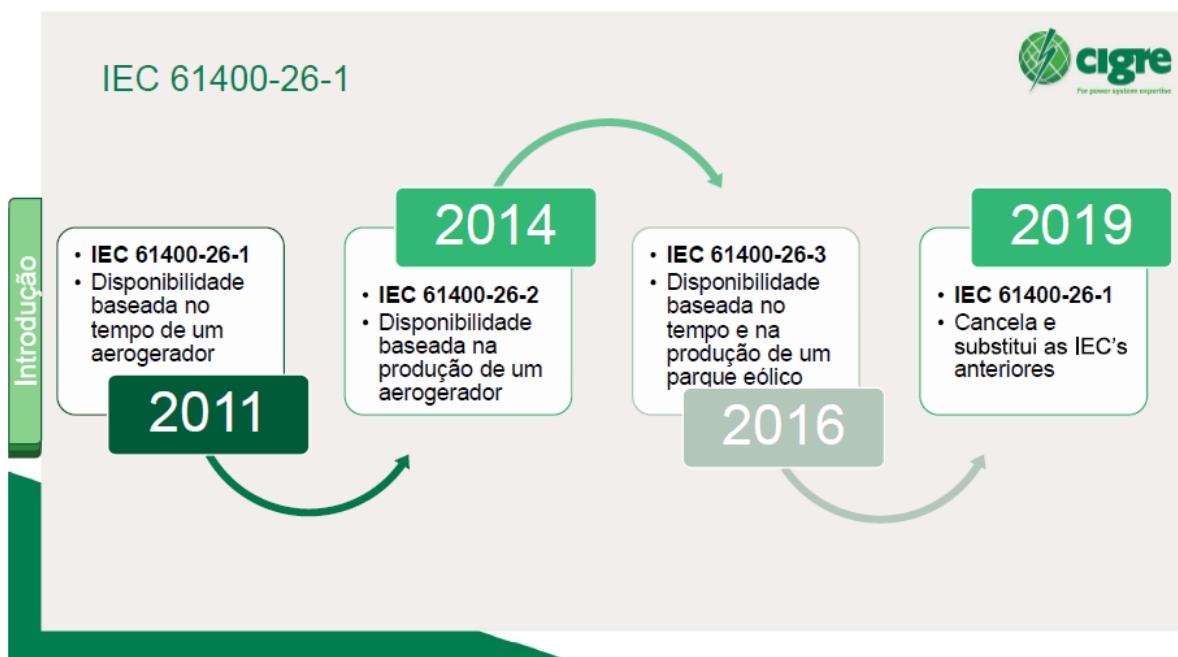
Energia eólica no Brasil

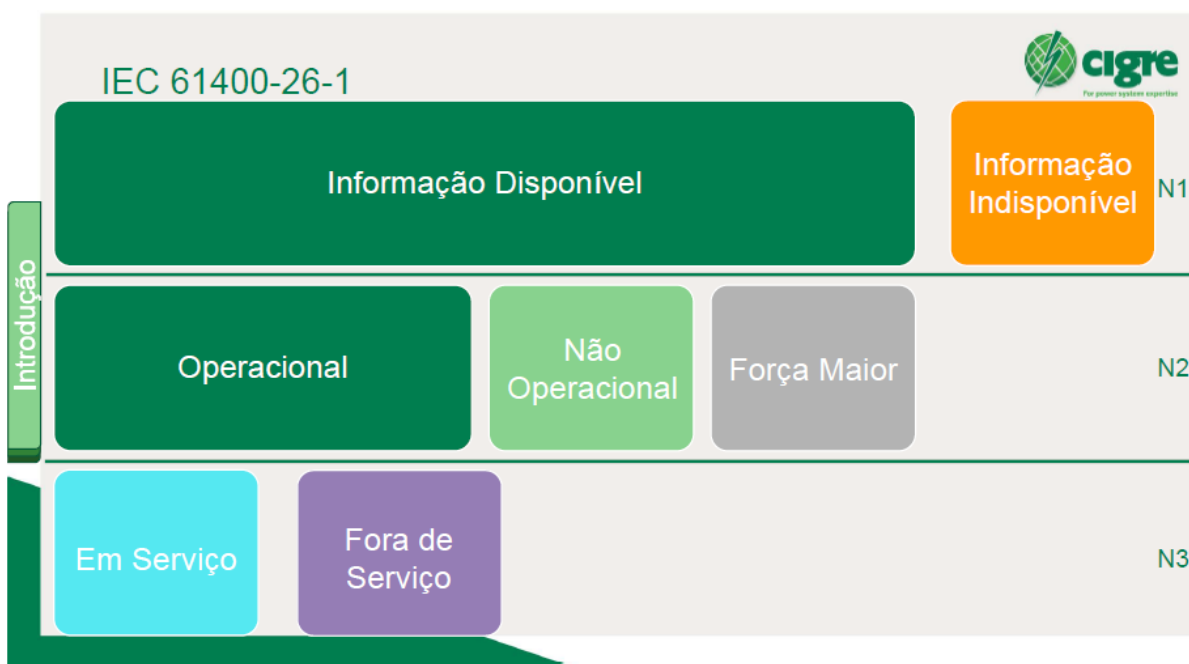
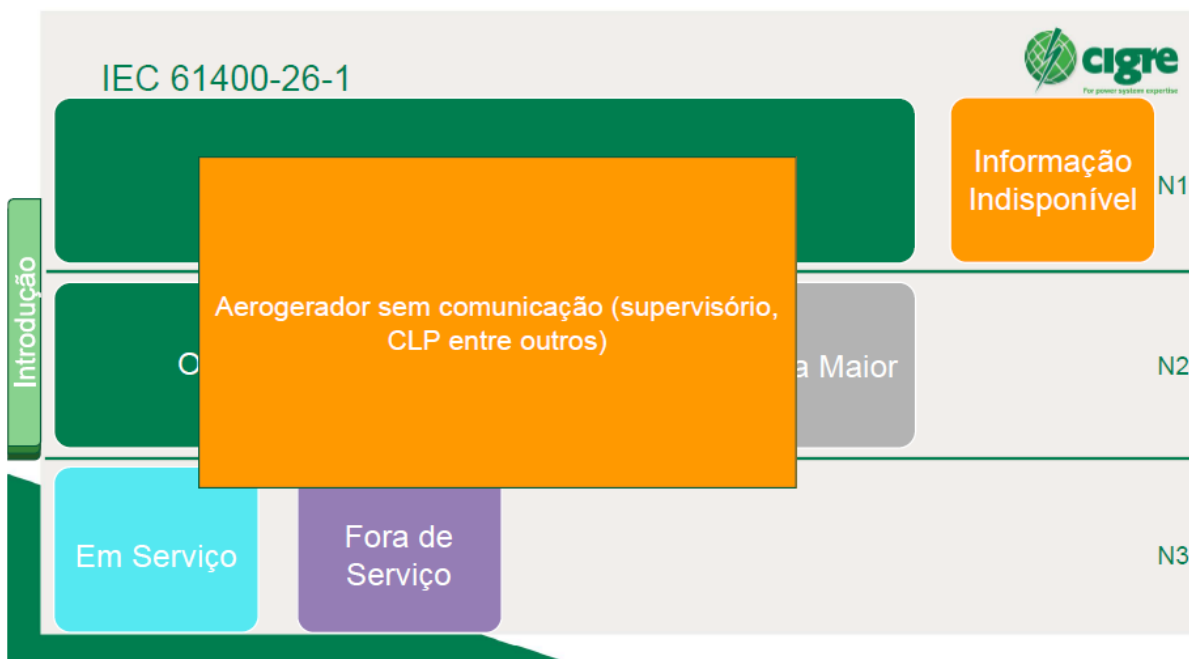


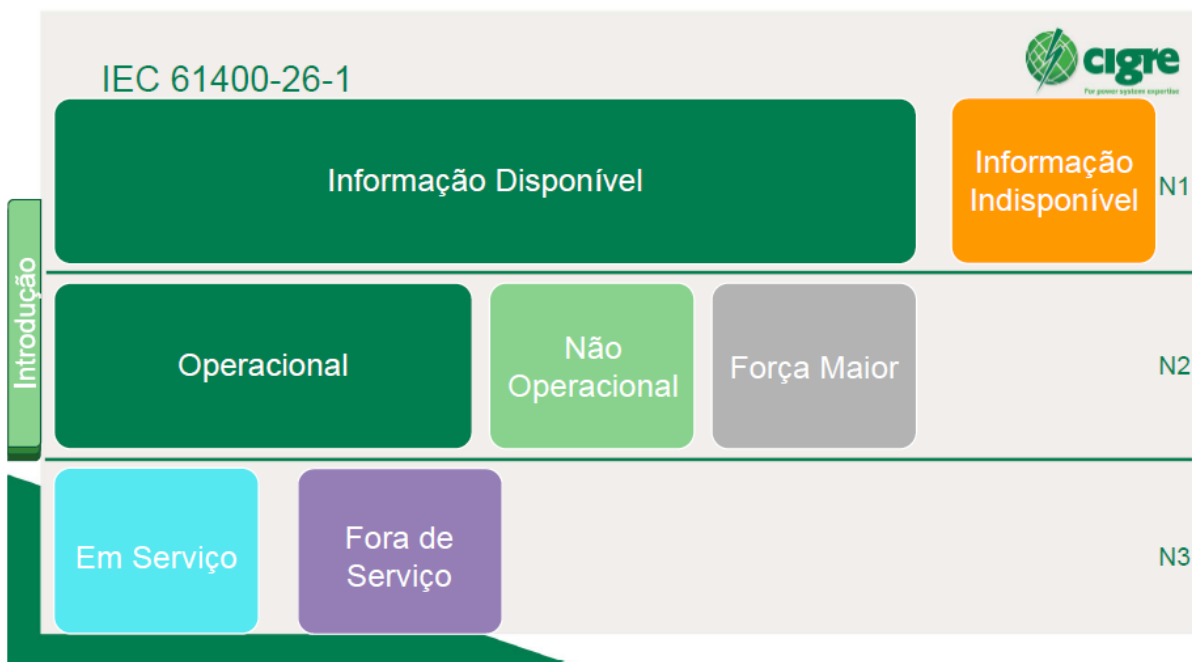
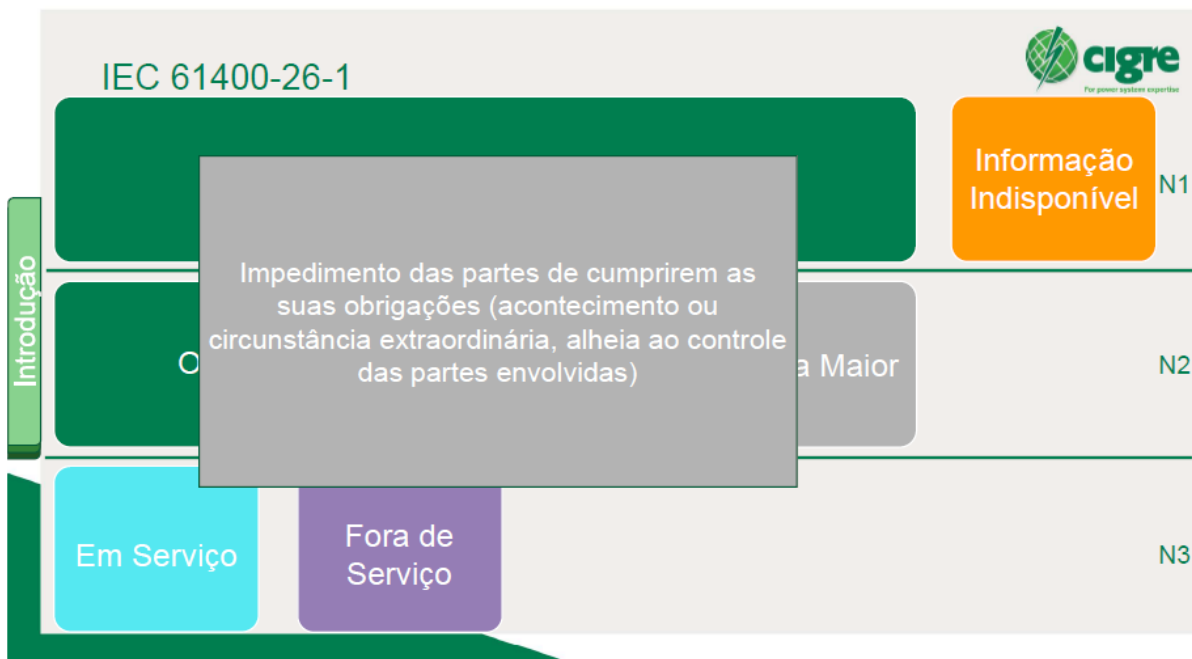
Matriz elétrica brasileira

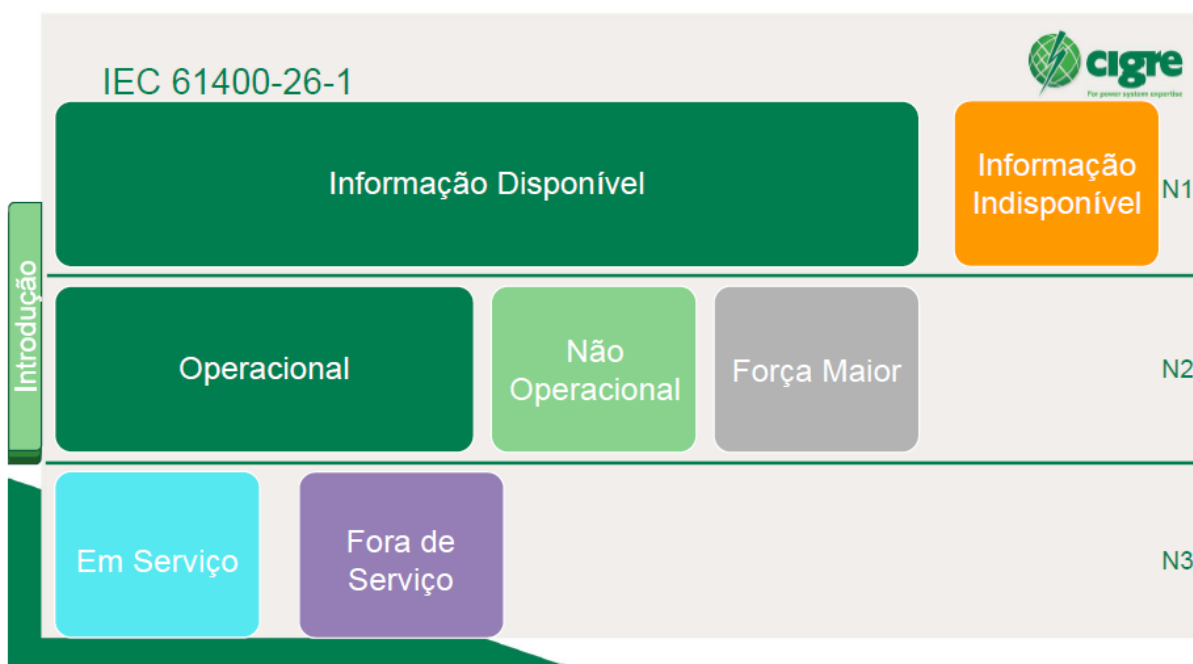
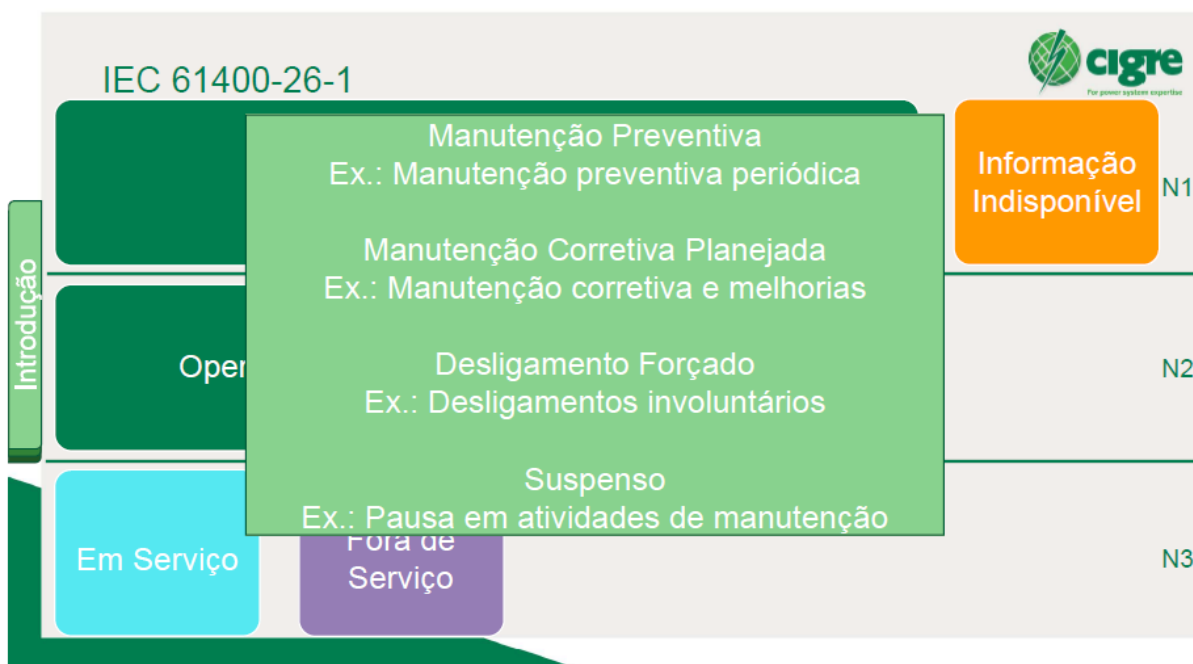


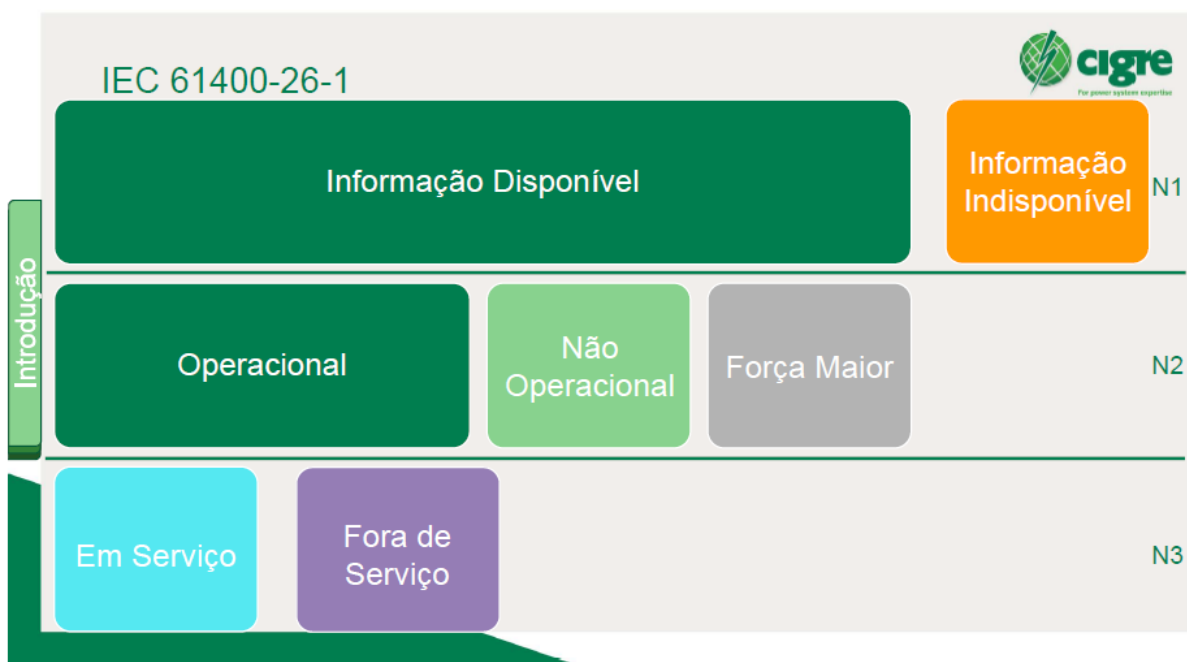
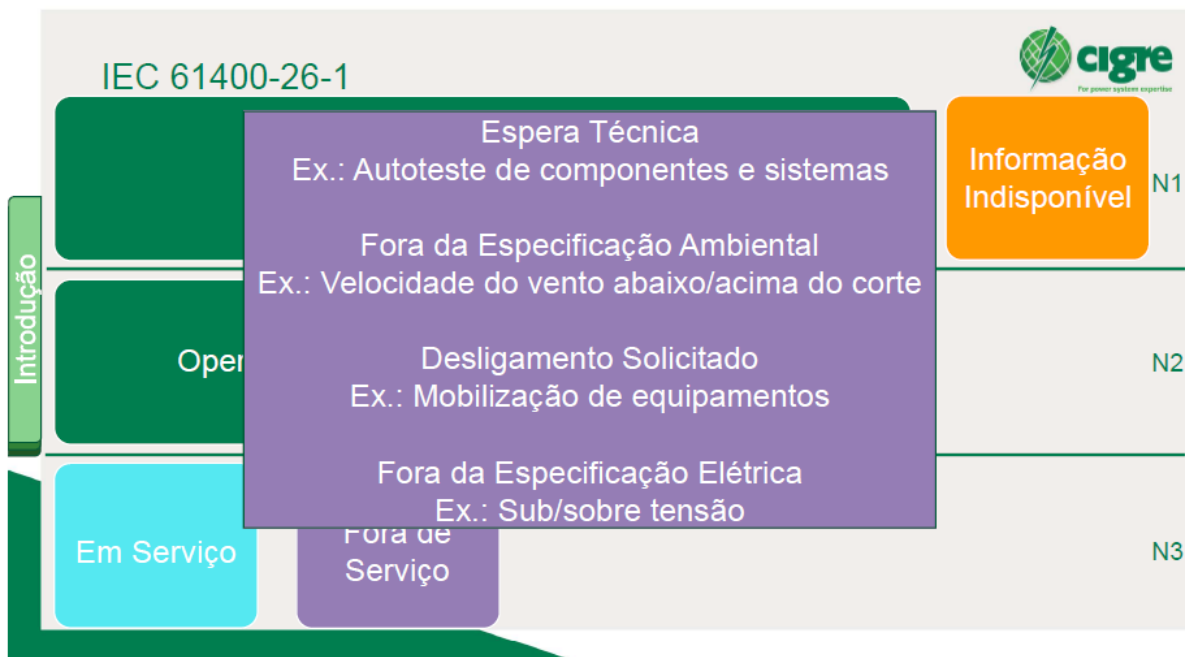


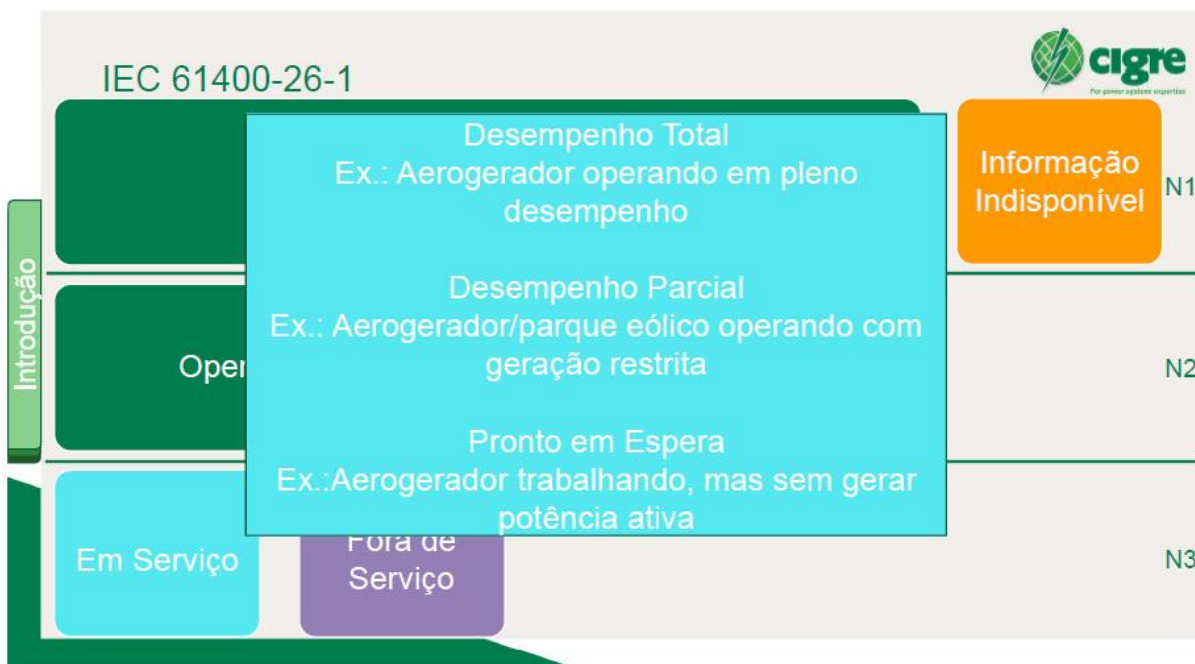










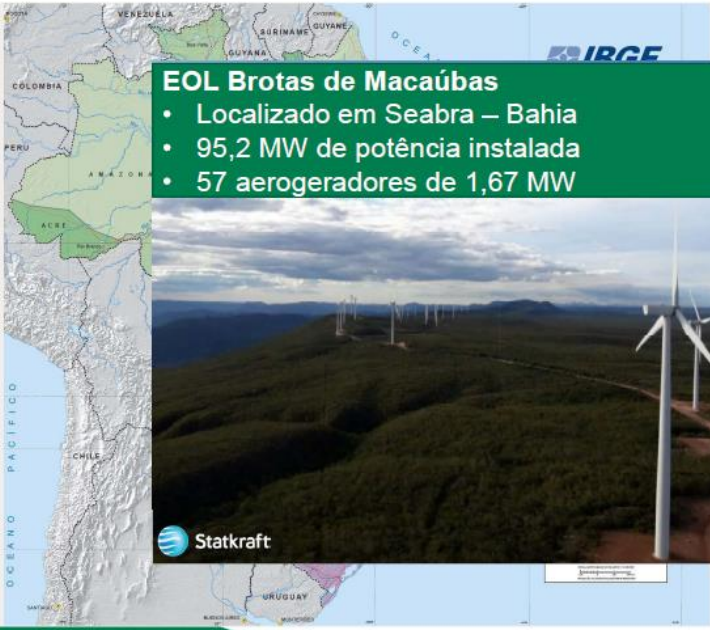


Estudo de Caso



Estudo de Caso





EOL Brotas de Macaúbas

- Localizado em Seabra – Bahia
- 95,2 MW de potência instalada
- 57 aerogeradores de 1,67 MW

Logos: IRGE, cigre, Statkraft

Padronização das Descrições em Registros Operativos



Indicador
Desempenho Total
Desempenho Parcial
Espera Técnica
Fora da Especificação Ambiental
Desligamento Solicitado
Fora da Especificação Elétrica
Manutenção Preventiva
Manutenção Corretiva Planejada
Desligamento Forçado
Informação Indisponível
TOTAL

Padronização das Descrições em Registros Operativos



Indicador	Eventos Registrados
Desempenho Total	23.701
Desempenho Parcial	919
Espera Técnica	116
Fora da Especificação Ambiental	1.842
Desligamento Solicitado	533
Fora da Especificação Elétrica	410
Manutenção Preventiva	369
Manutenção Corretiva Planejada	432
Desligamento Forçado	18.478
Informação Indisponível	95
TOTAL	46.895

Padronização das Descrições em Registros Operativos



Indicador	Eventos Registrados	Descrições Registradas
Desempenho Total	23.701	1
Desempenho Parcial	919	39
Espera Técnica	116	4
Fora da Especificação Ambiental	1.842	32
Desligamento Solicitado	533	86
Fora da Especificação Elétrica	410	58
Manutenção Preventiva	369	239
Manutenção Corretiva Planejada	432	261
Desligamento Forçado	18.478	1.202
Informação Indisponível	95	73
TOTAL	46.895	1.995

Padronização das Descrições em Registros Operativos



Estudo de Caso

Indicador	Eventos Registrados	Descrições Registradas	Descrições Padrões
Desempenho Total	23.701	1	1
Desempenho Parcial	919	39	4
Espera Técnica	116	4	1
Fora da Especificação Ambiental	1.842	32	2
Desligamento Solicitado	533	86	1
Fora da Especificação Elétrica	410	58	2
Manutenção Preventiva	369	239	1
Manutenção Corretiva Planejada	432	261	2
Desligamento Forçado	18.478	1.202	1
Informação Indisponível	95	73	2
TOTAL	46.895	1.995	17

Padronização das Descrições em Registros Operativos



Estudo de Caso

Desempenho Total

- Aerogerador gerando com desempenho total

Fora da Especificação Ambiental

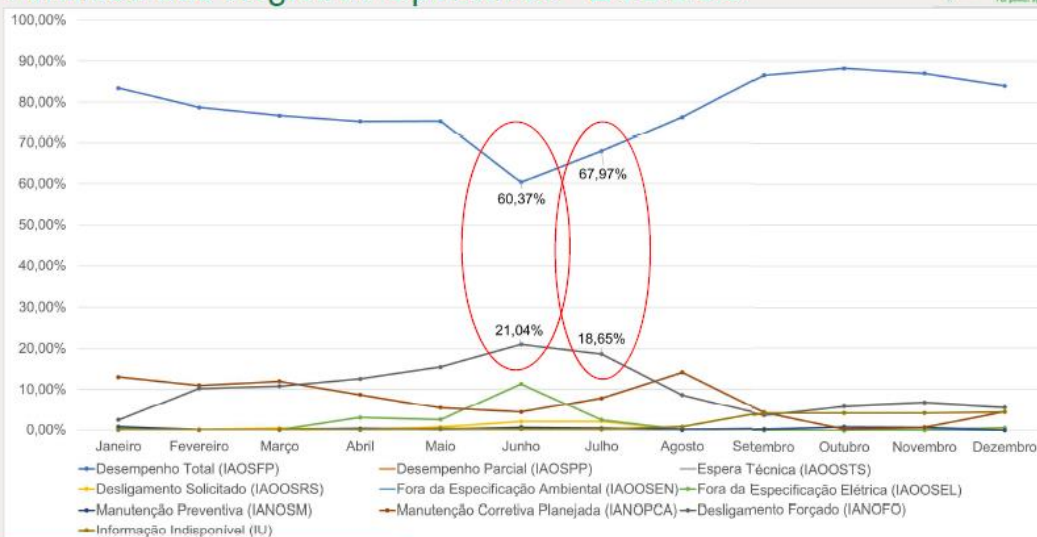
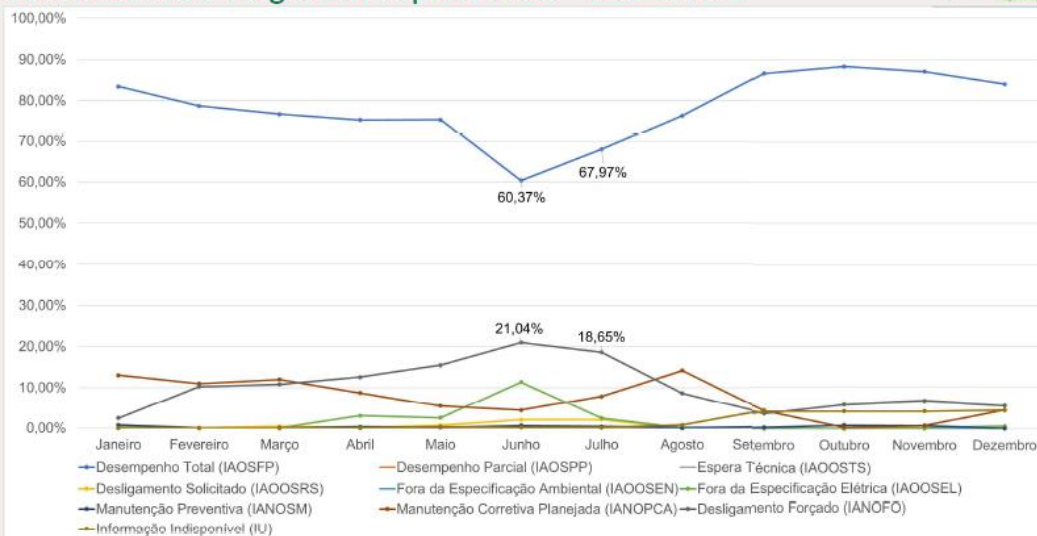
- Desligamento automático do aerogerador, devido à baixa incidência de vento

Desligamento Forçado

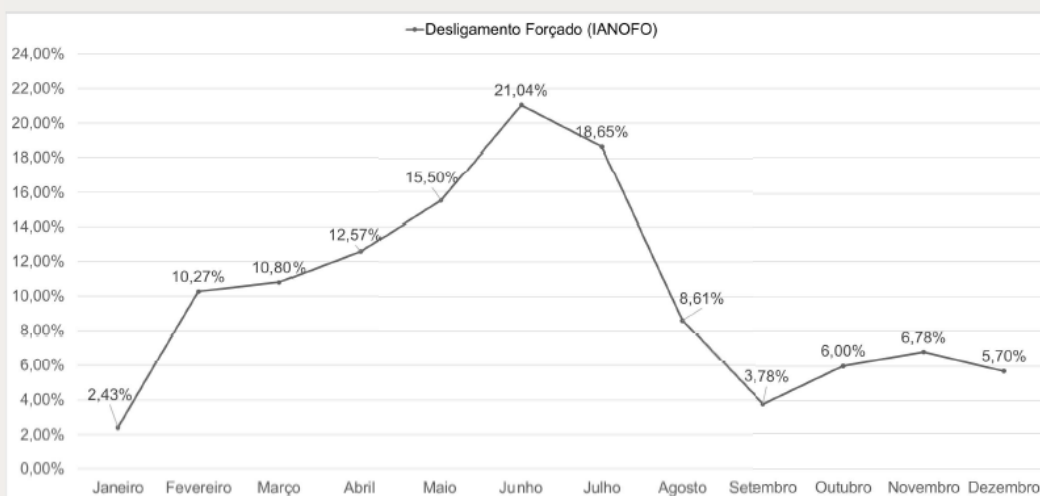
- Desligamento automático e indisponibilidade do aerogerador, devido a erro no *log*

Informação Indisponível

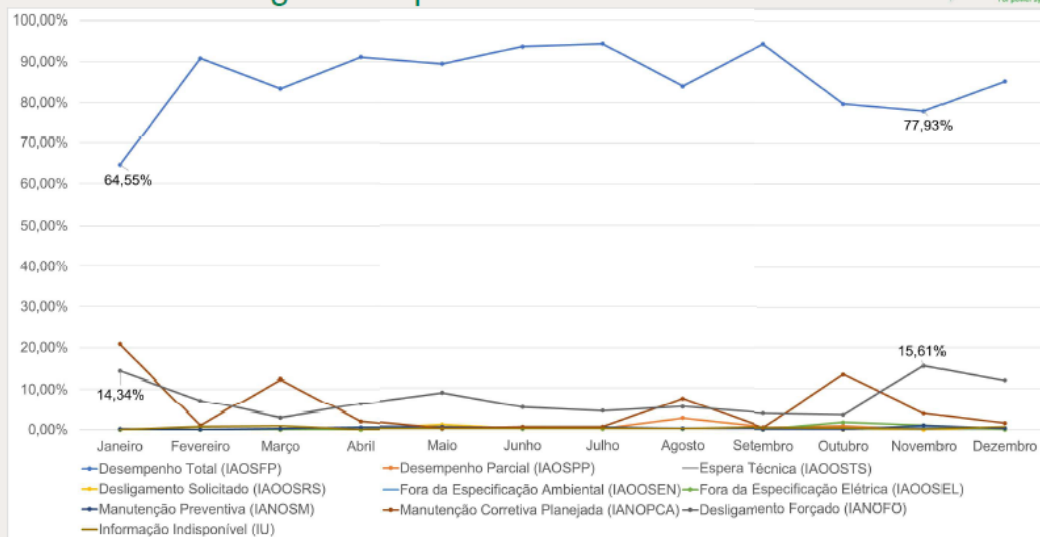
- Falha de comunicação com o sistema SCADA



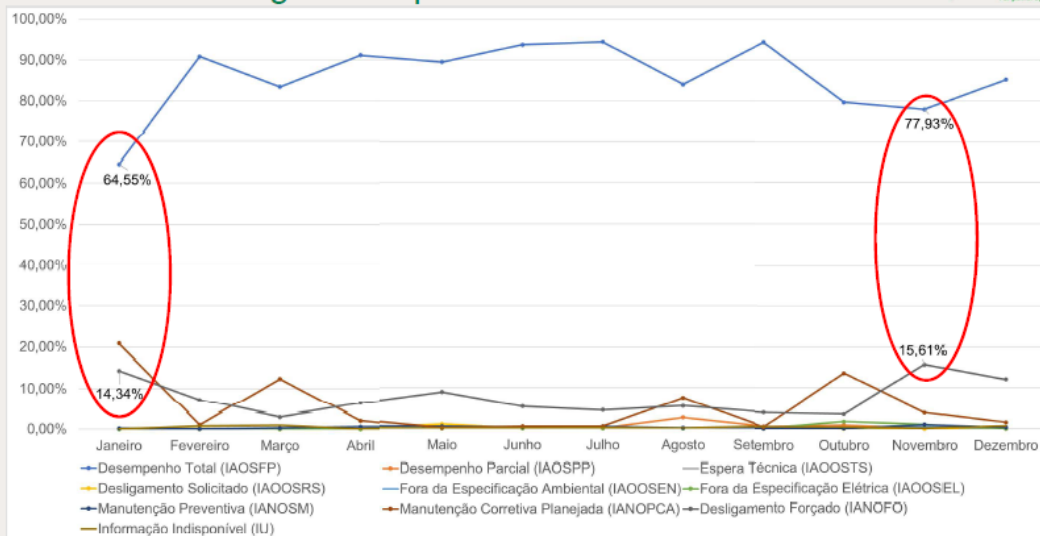
Análises dos Registros Operativos - EOL BCO



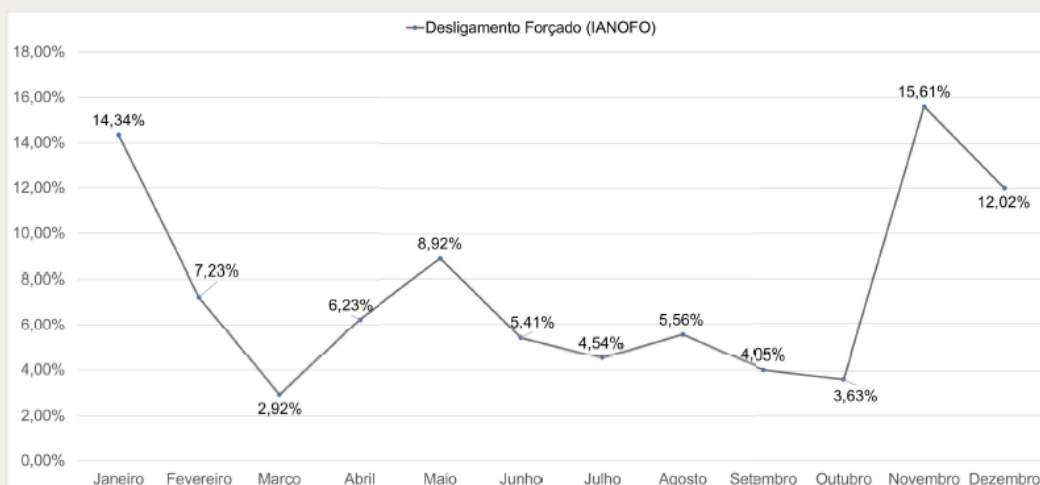
Análises dos Registros Operativos – EOL BMC



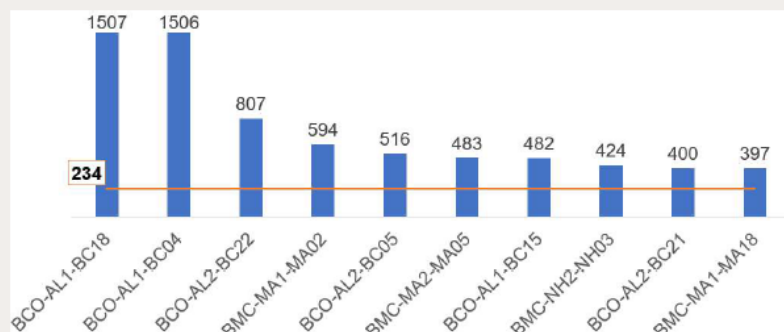
Análises dos Registros Operativos – EOL BMC



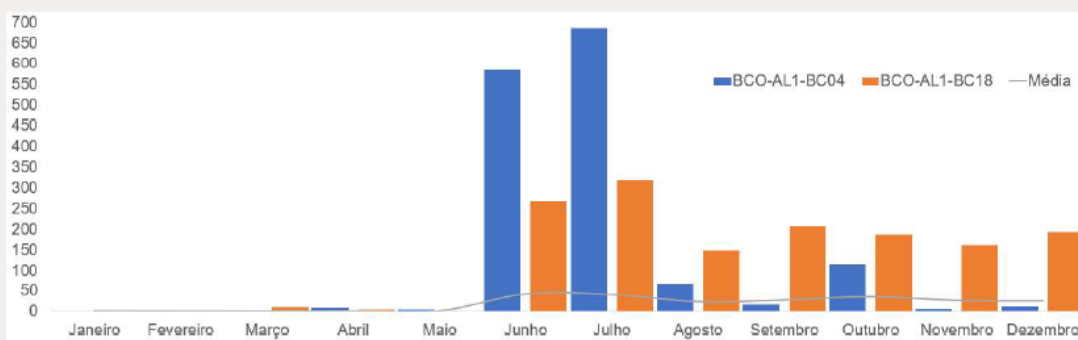
Análises dos Registros Operativos – EOL BMC



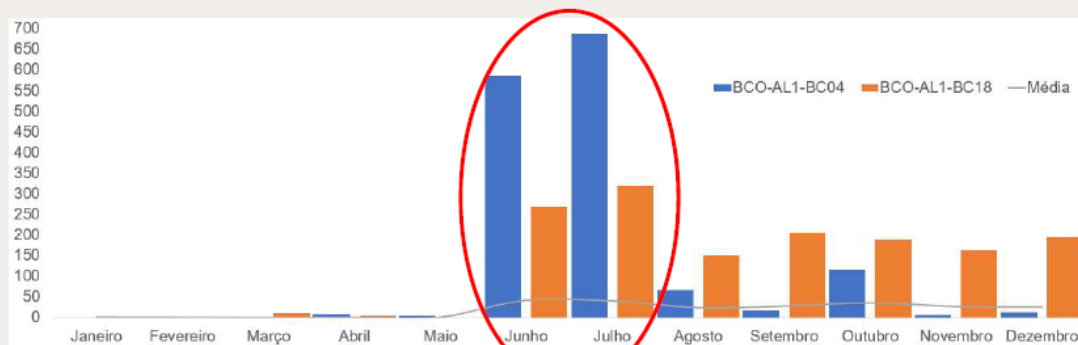
Análises dos Registros Operativos – Desligamento Forçado



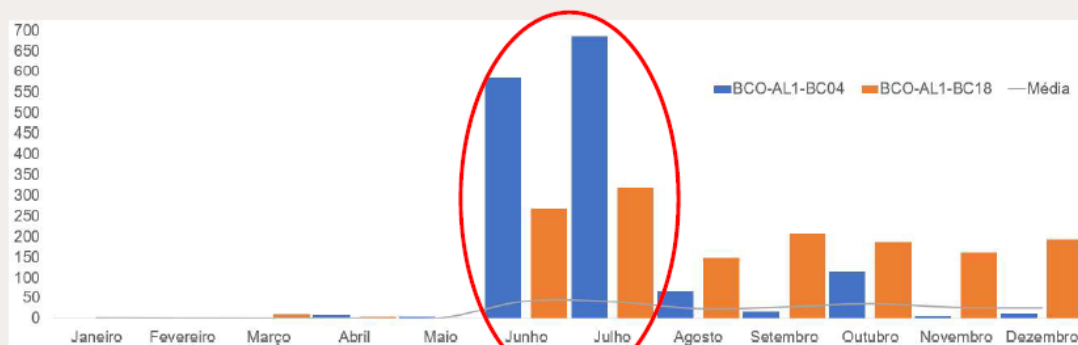
Análises dos Registros Operativos – Desligamento Forçado



Análises dos Registros Operativos – Desligamento Forçado



Análises dos Registros Operativos – Desligamento Forçado



- 27,88% dos eventos de desligamento forçado nos meses de junho e julho foram apenas dos aerogeradores BC04 e BC18
- 93,64% e 96,81% dos desligamentos forçados nos dois aerogeradores, BC04 e BC18, respectivamente, foram por erros autoresetáveis (*log de erro no sistema pitch*)

Conclusões



- A padronização das descrições nos registros operativos:
 - Redução de 46.895 eventos para 17
 - Auxiliar nas análises de performance e disponibilidade
 - Possibilitar as análises individuais e/ou conjuntas dos indicadores
- Análises dos indicadores:
 - Identificar o equipamento com defeito
 - Criar um histórico de causas e falhas para cada equipamento



Obrigado!

CE-C1 - Proposta da aplicação da IEC 61400-26-1 em parques eólicos, baseado no registro operativo de seus aerogeradores

Autor:

Juanin José Krämer Orbem

Contato:

juaninjko@gmail.com

ANEXO – Folder de chamada do congresso

BOLETIM 4



xixeriac

XIX Encontro Regional Ibero-Americano do CIGRE
A Bienal do CIGRE na Ibero-América

Mais que um Encontro, o
 XIX ERIAC será um grande
 Reencontro.

21 a 25 de maio de 2023 | Foz do Iguaçu, Brasil



Usina Hidrelétrica de Itaipu – vertedouro. Foto: Alexandre Marchetti / Acervo Itaipu Binacional

Colaboram

Comitês Nacionais
 Argentino, Chileno,
 Colombiano, Espanhol,
 Mexicano, Peruano,
 Paraguai e Português.

Promoção



Apoio Organizacional





**SEJAM BEM-VINDOS A FOZ DO IGUAÇU
E UM BOM XIX ERIAC A TODOS OS PARTICIPANTES**

► PROGRAMAÇÃO						
HORÁRIO	SÁBADO 20/05	DOMINGO 21/05	SEGUNDA-FEIRA 22/05	TERÇA-FEIRA 23/05	QUARTA-FEIRA 24/05	QUINTA-FEIRA 25/05
8h - 9h						Visita à Itaipu e à Subestação Conversora HDVC de Furnas <i>(confirmar horários)</i>
9h - 10h30	Montagem ExpoERIAC	Reunião Ordinária RIAC Parte 2	Sessões técnicas (4 x 15' apresentações + 30' debates)			
10h30 - 11h			Intervalo			
11h - 12h30			Sessões técnicas (4 x 15' apresentações + 30' debates)			
12h30 - 13h30						
13h30 - 14h				Almoço	Almoço	Almoço
14h - 15h			Sessões técnicas (4 x 15' apresentações + 30' debates)			Visita à Itaipu e à Subestação Conversora HVDC de Furnas <i>(confirmar horários)</i>
15h - 15h30			Intervalo			
15h30 - 16h			Intervalo	Intervalo	Intervalo	
16h - 16h30	Reunião Ordinária RIAC Parte 1	Inscrições Acreditações	Sessões técnicas (4 x 15' + 30')		Fórum das Nações	
16h30 - 17h			Intervalo			
17h - 17h30			Reunião do Comitê Técnico	Palestras Técnicas / Painéis NGN e WIE	Palestras Técnicas	Cerimônia de Encerramento Entrega de Prêmios do ERIAC
17h40 - 18h						
18h - 18h20						
18h20 - 19h	*18h45* Cerimônia de Abertura					
19h - 19h50		Autoridades				
19h45 - 20h15		Conf. Téc.				
20h15 - 20h30		Abertura ExpoERIAC				
20h30 - 21h		Coquetel de Boas-vindas				
21h - 21h45						
21h45 - 23h					Jantar de Confraternização	
23h - 23h30						

* Os 446 artigos técnicos serão apresentados e debatidos em cada um dos 16 Comitês de Estudo do CIGRE em 10 salas simultâneas. As Sessões Técnicas com duração de 90 minutos serão compostas de apresentações consecutivas de até 4 artigos, com duração de 15 minutos cada, seguidas ao final de 30 minutos de debates. De forma similar serão realizadas algumas Sessões Técnicas compostas de apresentações consecutivas de até 5 artigos. Idiomas oficiais: português e espanhol, sendo permitido excepcionalmente o inglês.

Notas:

- Reunião Ordinária da RIAC e Reunião do Comitê Técnico – para autoridades da RIAC.
- Painel NGN – Next Generation Network / Painel WiE – Women in Energy
Segunda-feira, dia 22/05/2023 das 18:10 às 19:50 horas – Sala 1