

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

JORDANA GHISLENI

**UM ESTUDO SOBRE MÉTODOS E TÉCNICAS APLICÁVEIS PARA
ANÁLISE PREDITIVA DO DESEMPENHO DA CONFIABILIDADE EM
TEMPO REAL EM TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA**

FLORIANÓPOLIS, 2019.

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

JORDANA GHISLENI

**UM ESTUDO SOBRE MÉTODOS E TÉCNICAS APLICÁVEIS PARA
ANÁLISE PREDITIVA DO DESEMPENHO DA CONFIABILIDADE EM
TEMPO REAL EM TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA**

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 Engenheira Eletricista.

Orientador:
Everthon Taghori Sica, Dr. Eng.

FLORIANÓPOLIS, 2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Ghisleni, Jordana

Um estudo sobre métodos e técnicas aplicáveis para análise preditiva do desempenho da confiabilidade em tempo real em transformadores de potência / Jordana Ghisleni ; orientação de Everthon Taghori Sica. - Florianópolis, SC, 2019.

76 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. Confiabilidade. 2. Tempo Real. 3. Transformadores.
I. Sica, Everthon Taghori. II. Instituto Federal de Santa Catarina. Departamento Acadêmico de Eletrotécnica.
III. Título.

**UM ESTUDO SOBRE MÉTODOS E TÉCNICAS APLICÁVEIS PARA
ANÁLISE PREDITIVA DO DESEMPENHO DA CONFIABILIDADE EM
TEMPO REAL EM TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA**

JORDANA GHISLENI

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheira 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, 08 de julho, 2019.

Banca Examinadora:



Prof. Everthon Taghori Sica, Dr. Eng.



Prof. Edison Antonio Cardoso Aranha Neto, Dr. Eng.



Prof. Daniel Tenfen, Dr. Eng.

RESUMO

Este trabalho tem o objetivo de analisar a aplicabilidade de técnicas e de métodos matemáticos para mensurar a confiabilidade em tempo real de transformadores de potência em serviço contínuo. O gás dissolvido em óleo do transformador de potência é a variável de análise. O comportamento aleatório dessa variável é obtido através de um software chamado PISystem que dispõe de informações de medidas relativas de desempenho elétrico e mecânico em tempo real. O acompanhamento em tempo real dos gases dissolvidos no líquido isolante de transformadores de potência possui benefícios como operar o transformador com o rendimento máximo, detectar os primeiros sinais de falha, reduzir as paradas não programadas e aumentar a vida útil através de manutenção preditiva com a finalidade de proceder uma intervenção quando o equipamento está na iminência de falhar.

Palavras-chave: Confiabilidade. Tempo real. Transformadores.

ABSTRACT

This paper aims to analyze the applicability of mathematical techniques and methods to measure the real-time reliability of power transformers in continuous service. The gas dissolved in oil of the power transformer is the decision variable. The random behavior of this variable is obtained through a software called PISystem that has information of relative measures of electrical and mechanical performance in real time. Real-time monitoring of the dissolved gases in the power transformer insulation liquid has benefits such as operating the transformer at maximum efficiency, detecting the first fail, reducing unscheduled shutdowns and increasing service life through predictive maintenance for the purpose of intervening when the equipment is about to fail.

Keywords: Reliability. Real time. Transformers.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
1.1.	Definição do Problema	9
1.2.	Justificativa	10
1.3.	Objetivos	11
1.3.1.	Objetivo Geral	11
1.3.2.	Objetivos Específicos	11
1.4.	Metodologia de trabalho	12
1.5.	Estrutura do trabalho	13
	REFERÊNCIAS	14
	APÊNDICES	16
	APÊNDICE A – Artigo completo	17
1.	INTRODUÇÃO	18
2.	TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA	18
2.1.	Gases Dissolvidos no Óleo do Transformador	19
3.	MONITORAMENTO EM TEMPO REAL	20
4.	MÉTODOS E TÉCNICAS DE ANÁLISE	20
5.	ESTUDO DE CASO	22
6.	CONCLUSÕES	24
7.	REFERÊNCIAS	25
	APÊNDICE B – Comprovante de apresentação.....	26
	APÊNDICE C – Slides apresentados no congresso.....	29
	APÊNDICE D – Técnicas dos métodos de confiabilidade matemáticos.....	37
D1.	FUNÇÃO DISCRETA	37
D1.1	Distribuição Binomial	37
D2.	FUNÇÃO CONTÍNUA	40
D2.1	Distribuição de Poisson	40
D2.2	Distribuição Exponencial	42
D2.3	Distribuição Normal	43
D2.4	Distribuição Log-Normal	44
D2.5	Distribuição Weibull	45
D2.6	Distribuição Multivariada	50
	APÊNDICE E – Gráficos função densidade probabilidade Fase A, Fase B e Fase C	54
	ANEXOS	56
	ANEXO A – Folder de chamada do congresso	57

1 INTRODUÇÃO

O Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) tem o objetivo de consolidar os conhecimentos adquiridos durante o curso e desenvolver as competências e habilidades que constituem o perfil do egresso, sendo parte obrigatória da matriz curricular do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, do Instituto Federal de Ensino, Ciência e Tecnologia (IFSC), Câmpus Florianópolis.

As formas de TCC permitidas, conforme o Projeto Pedagógico do Curso e o Regulamento de TCC do Curso de Engenharia Elétrica do IFSC – Câmpus Florianópolis (IFSC, 2018, 2019) são as seguintes:

1. Apresentação de monografia;
2. Publicação e apresentação de artigo em evento nacional ou internacional pertinente e relevante à Engenharia Elétrica; ou
3. Publicação de artigo em periódico nacional ou internacional pertinente e relevante à Engenharia Elétrica.

Nesse sentido, este trabalho se enquadra na forma nº 2 - Publicação e apresentação de artigo em evento nacional ou internacional pertinente e relevante à Engenharia Elétrica.

Outrossim, ressalta-se o cumprimento dos requisitos obrigatórios descritos nos Regulamentos de TCC do IFSC Câmpus Florianópolis e do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, em especial, a saber:

- A acadêmica cursou e foi aprovada na unidade curricular de TCC-I no segundo semestre de 2018;
- A acadêmica em conjunto com seu orientador submeteu o artigo intitulado “Análise da aplicabilidade de métodos e técnicas referentes ao desempenho da confiabilidade em tempo real em transformadores” (Apêndice A) para o XVIII ERIAC – Encontro Regional Ibero-Americano do Cigré;
- O aceite do artigo pelo congresso ocorreu no dia 29 de março de 2019, enquanto a acadêmica já havia finalizado TCC-I;

- A acadêmica apresentou o artigo no congresso no dia 20 de maio de 2019 (Apêndice B);
- O congresso foi considerado pertinente e relevante à área de Engenharia Elétrica com a anuência do coordenador do curso e do docente orientador.

Portanto, este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) atente a todos os requisitos exigidos nos regulamentos e diretrizes do IFSC – Câmpus Florianópolis e do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica para que possa ser realizada a defesa pública do trabalho.

1.1. Definição do Problema

Um dos grandes desafios entre os profissionais do sistema elétrico é encontrar um ponto ótimo de suprimento garantindo ao sistema a maior confiabilidade possível. Visto que transformadores de potência de grande porte são um dos componentes mais caros e críticos de uma planta elétrica de transmissão e distribuição, torna-se imprescindível que seja garantido o seu bom funcionamento.

A avaliação da manutenibilidade de transformadores de potência de grande porte em funcionamento contínuo é complexa e permeada pelos preceitos da confiabilidade de sistemas. Segundo Penteado (2011), essa complexidade aliada a uma diversidade de fatores, como condições climáticas extremas, falhas mecânicas em equipamentos e erros de operação, acabam por provocar muitas vezes desligamentos, suspendendo temporariamente o fornecimento de energia.

No decorrer de vários períodos de utilização de um transformador, o parâmetro mais significativo a ser observado em um transformador antigo é a análise dos gases dissolvidos no óleo isolante, permitindo o monitoramento de falhas incipientes no equipamento.

Referente à quantidade de modos de falhas identificados em cada um dos seis sistemas típicos da maioria dos transformadores imersos em líquido isolante, entre eles, capacitância e resistência dos enrolamentos, histórico de carregamento, vibração e análise de som, histórico de temperaturas no topo do óleo, descargas parciais e análise de gases dissolvidos no óleo, nota-se a preponderância de modos de falhas funcionais. Atualmente, esses modos de falhas são analisados

periodicamente através da quantidade de gases dissolvidos no óleo isolante e suas propriedades físico-químicas.

Para avaliar os modos de falha, são utilizados métodos tradicionais de confiabilidade baseadas em distribuições de probabilidade até a falha obtidos através de dados que produzem resultados estatísticos. Com esses resultados é possível diagnosticar em tempo real o comportamento do ativo quanto ao seu envelhecimento natural, para obter maneiras de monitorar seu desempenho mediante o sistema como um todo.

Serão abordados, durante o desenvolvimento do trabalho, métodos e técnicas que possam tratar matematicamente o desempenho da confiabilidade. Dentre estas, foi definida a análise de forma multivariada em tempo real por meio de informações obtidas através de um *software* denominado PISystem, conhecido como “Historiador” por agregar os dados em tempo real das variáveis selecionadas.

Com isso, o problema se define na escolha de um modelo de confiabilidade de desempenho de sistemas para o monitoramento, em tempo real, de transformadores de uma subestação a partir da análise dos gases dissolvidos no óleo do transformador para o diagnóstico de falhas aplicado em um Estudo de Caso.

1.2. Justificativa

Com uma complexidade cada vez maior do sistema elétrico, a importância da confiabilidade como um parâmetro de eficiência tornou-se evidente. Sendo assim, é imprescindível a consideração de técnicas e métodos para a análise da confiabilidade em tempo real para o estudo do comportamento dos transformadores a fim de se obter maneiras de monitorar seu desempenho mediante o sistema como um todo.

As técnicas abordadas (Apêndice D) têm o intuito de retratar as condições operativas por meio de um acompanhamento em tempo real que forneça dados confiáveis para a estimação da confiabilidade e da vida útil remanescente do transformador. E, desse modo, torne possível identificar sob quais limites operativos o equipamento está submetido e minimizar impactos indesejáveis, tais como a saída forçada de operação.

A análise dos gases dissolvidos no óleo deve ser realizada dentro de uma periodicidade razoável que resulte em um correto e eficaz acompanhamento do surgimento, evolução e severidade de determinados problemas.

Devido a utilização do *software* PISystem, aumenta-se a velocidade de coleta e acesso de informações provenientes da operação dos equipamentos de uma subestação. Isto padroniza a integração dessas informações no sistema, otimizando amplamente o armazenamento de dados para a realização da análise do monitoramento e obtenção de medidas rápidas e precisas.

Deste modo, com o acompanhamento da condição do óleo do transformador em tempo real será possível usufruir de técnicas que resultam em uma avaliação da confiabilidade com a finalidade de detectar os primeiros sinais de falha, reduzir as paradas não agendadas e aumentar a vida útil. Através de uma previsão e manutenção preditiva aplicada, têm-se o acompanhando periódico das características e propriedades do componente do sistema com vistas a proceder a uma intervenção na iminência de falhar.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo Geral

O trabalho tem por objetivo analisar e aplicar técnicas e métodos matemáticos adequados para mensurar a confiabilidade em tempo real de transformadores de potência em serviço contínuo para o diagnóstico de falhas dos gases dissolvidos no óleo a fim de proporcionar rapidez e confiabilidade na detecção de defeitos.

1.3.2. Objetivos Específicos

Como objetivos específicos, pode-se levantar:

- a) Analisar os métodos de confiabilidade matemáticos (Apêndice D) e selecionar o que melhor se encaixa para a proposta de estudo;

- b) Acessar e coletar os dados na plataforma PISystem e realizar a integração dessas informações;
- c) Modelar matematicamente o método estatístico definido a partir dos dados disponíveis para análise e diagnóstico de possíveis falhas dos gases dissolvidos no óleo;
- d) Analisar os resultados obtidos através dos dados adquiridos no período através de gráfico tridimensional (Apêndice E), propor possíveis melhorias e apontar dificuldades encontradas.

1.4. Metodologia de trabalho

A fundamentação teórica é feita com base em uma pesquisa exploratória, realizada através de artigos em bases como IEEE Explore e Elsevier. Assim como, por meio de dissertações de mestrado e doutorado das universidades federais do Brasil e universidades estrangeiras a fim de uma maior familiarização com o problema envolvendo análises de exemplos que estimulem a compreensão.

Decorrente do acesso e coleta dos dados no *software* PISystem e a integração dessas informações, é possível através da Distribuição Multivariada investigar as relações de dependência entre as variáveis associadas ao transformador e outros fatores com objetivos de predição. E, deste modo, realizar a comparação ou validação de suposições através de testes hipotéticos que serão utilizados para a obtenção dos objetivos.

Segundo Mingoti (2005), o uso dessa metodologia multivariada, que possibilita analisar simultaneamente múltiplas medidas de um objeto, torna possível a identificação do comportamento pré-falha por ser representada em uma superfície modelada tridimensional. Esta superfície gráfica possibilita avaliar o comportamento em tempo real da confiabilidade do desempenho do sistema, possibilitando identificar uma possível inconformidade no funcionamento.

Neste sentido, conforme a quantidade e quais variáveis são correlacionadas entre si, mais complexo torna-se a análise do pressuposto resultado, um conjunto estatístico multivariado e medidas simultâneas em cada elemento amostral, evidencia a fidelidade da origem da resposta.

1.5. Estrutura do trabalho

Na Introdução apresenta-se a fundamentação legal e regulatória de enquadramento e os requisitos desta forma de TCC, assim como 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. As técnicas dos métodos de confiabilidade matemáticos abordados no trabalho constam no Apêndice D. Os gráficos função de densidade de probabilidade das Fases A, B e C estão no Apêndice E. E por fim, no Anexo A consta o folder de chamada para apresentação dos artigos pelo congresso.

REFERÊNCIAS

- BILLINTON, Roy e ALLAN, Ronad N. **“Reliability Evaluation of Engineering Systems”**, New York, Plenum, 1992.
- FREUND, John E. **Estatística Aplicada**. São Paulo: Bookman, 2006.
- GARCIA, A. L. **Probability, Statistics, and Random Processes for Electrical Engineering**. University of Toronto: Pearson Prentice Hall, 2007.
- HAIR, J. F.; ANDERSON, *et al.* **Análise multivariada de dados**. Porto Alegre, 2005.
- IFSC. **Projeto Pedagógico do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica**. Florianópolis, 2018. Disponível em: http://sites.florianopolis.ifsc.edu.br/eletrica/files/2018/11/PPC_Eng_Elétrica_DAE_CF_IFSC_2018_v2.6.1.pdf. Acesso em: 29 mai. 2019.
- IFSC. **Regulamento de TCC do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica**. Florianópolis, 2019. Disponível em: http://sites.florianopolis.ifsc.edu.br/eletrica/files/2019/05/Regulamento_TCC_EEL_CF_IFSC_2019.pdf. Acesso em: 29 mai. 2019.
- JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied Multivariate Statistical Analysis**. New Jersey: Prentice Hall, 2007.
- LAFRAIA, J. R. B. **Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobrás, 2014.
- LU, Huitian; KOLARIK, Willian J. **Time series modeling of system self-assessment of survival**. IERC Proceedings, 1997.
- MEEKER, W. Q.; ESCOBAR, L. A. **Statistical methods for reliability data**. John Wiley & Sons, 1998.
- MINGOTI, Sueli Aparecida. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada**. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2005.
- NELSON, W. **How to Analyze Reliability Data?** Wisconsin: ASQC QualityPress, Milwaukee, EUA, 1982.
- O’CONNOR, P. D. T. **Practical Reliability Engineering**, 4 ed, John Wiley & Sons, New York, EUA, 2002.
- PAPOULIS, A.; PILLAI, S. U. **Probability, Random Variables, and Stochastic Processes**. 4th. ed. New York, USA: McGraw-Hill, 2002.
- PENTEADO, Josué Bratfich. **Análise do desempenho de subestações de energia elétrica a partir de critérios de confiabilidade**. Trabalho de Conclusão de Curso

(Curso Superior de Engenharia Elétrica) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, EESC/USP, São Carlos, 2011.

QUANTA GERAÇÃO S.A. **Setor Elétrico Brasileiro**, 2016. Disponível em: <http://www.quantageracao.com.br/>. Acesso em: 24 out. 2018.

RELIASOFT E. H. **A High Value of Beta is Not Necessarily Cause for Concern**. V.2, n.1, 2001. Disponível em: <http://www.reliasoft.com/newsletter/1q2001/beta.htm>. Acesso em: 27 jul. 2008.

RICHTER, P. E. **Análise de Confiabilidade no Desenvolvimento de Tratores Agrícolas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, Rio Grande do Sul, 2006.

SEXAUER, Jason M.; MCBEE Kerry D.; BLOCH Kelly A. **Applications of probability model to analyze the effects of electric vehicle chargers on distribution transformers**, nov, 2011. IEEE Electrical Power and Energy Conference. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/6070213/citations#citations>>. Acesso em: 25 out. 2018.

SOUZA, Leonardo Labarrere. **Metodologia probabilística para dimensionamento de reserva técnica de transformadores de subestações de distribuição de energia elétrica**. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Itajubá, UNIFEI, Itajubá, 2014.

TRIOLA, Mario F. **Introdução à Estatística**. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

VACCARO, Guilherme Luís Roehe. **Modelagem e análise da confiabilidade de sistemas**. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Porto Alegre, 1997.

VIALI, L. **Estatística Multivariada**. Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul, 2009.

WRONSCKI, Vilson R. *et al.* **Metodologias para identificar associação entre padrões climáticos e qualidade de fornecimento de energia elétrica**. V Seminário Brasileiro de Qualidade de Energia, Aracaju, 2003.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Artigo completo



xviiieriac

Foz do Iguaçu, Brasil

XVIII ERIAC
DÉCIMO OITAVO ENCONTRO
REGIONAL IBERO-AMERICANO DO CIGRE

19 a 23 de maio de 2019



cigre

Comitê de Estudos CE - Título do Comitê de Estudos CE

ANÁLISE DA APLICABILIDADE DE MÉTODOS E TÉCNICAS REFERENTES AO DESEMPENHO DA CONFIABILIDADE EM TEMPO REAL EM TRANSFORMADORES

J. GHISLENI*
IFSC
Brasil

E. T. SICA
IFSC
Brasil

***Resumo** – Este trabalho tem o objetivo de analisar a aplicabilidade de técnicas e de métodos matemáticos para mensurar a confiabilidade em tempo real de transformadores de potência em serviço contínuo. O gás dissolvido em óleo do transformador de potência é a variável de análise. O comportamento aleatório dessa variável é obtido através de um software que dispõe de informações de medidas relativas de desempenho elétrico e mecânico em tempo real. O acompanhamento em tempo real dos gases dissolvidos no líquido isolante de transformadores de potência possui benefícios como operar o transformador com o rendimento máximo, detectar os primeiros sinais de falha, reduzir as paradas não programadas e aumentar a vida útil por meio de manutenção preditiva com a finalidade de proceder uma intervenção quando o equipamento está na iminência de falhar.*

***Palavras-chave:** Confiabilidade – Tempo Real – Transformadores*

1. INTRODUÇÃO

A complexidade de fornecimento aliada a uma diversidade de fatores, como condições climáticas extremas, falhas mecânicas em equipamentos e erros de operação, acabam por provocar muitas vezes desligamentos, suspendendo temporariamente o fornecimento de energia [1]. Entretanto, por meio da análise de índices probabilísticos do sistema é possível buscar soluções adequadas para contornar essas falhas. Estes índices são calculados por meio de técnicas de análise de confiabilidade, que utiliza princípios e conceitos probabilísticos, e por meio de algumas técnicas há a possibilidade de diagnosticar, em tempo real, o comportamento do ativo quanto ao envelhecimento natural e monitorar o desempenho.

Os transformadores de potência de grande porte são um dos ativos críticos de uma planta elétrica de transmissão e distribuição. Desse modo, muitos métodos são estudados para monitorar as condições dos transformadores de potência, sobretudo em relação aos gases dissolvidos no óleo que estão entre as principais causas de falha. Nesse sentido, este trabalho pretende contribuir com o estudo da confiabilidade em tempo real de transformadores de potência em serviço contínuo ao analisar a aplicabilidade de técnicas e métodos matemáticos adequados para o diagnóstico de falhas dos gases dissolvidos no óleo.

2. TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA

A disponibilidade e o desempenho de transformadores podem ser avaliadas pelo monitoramento de alguns parâmetros provenientes dos equipamentos que o compõem, destaca-se o monitoramento das buchas, das descargas parciais, da temperatura do ponto quente e dos gases dissolvidos. A definição de quais parâmetros são importantes para monitoramento deste ativo (transformador) envolve questões operativas e o tempo de vida do transformador. Elenca-se na Fig. 1, os parâmetros mais relevantes considerando as condições de vida do ativo [2]. Quando funcionando dentro dos limites, os parâmetros destacados na Fig. 1-(a) são extremamente relevantes para a preservação do ativo e do sistema elétrico de potência, capazes de manter o sistema funcionando dentro dos limites operativos.

* IFSC, campus Florianópolis, Depto. Acadêmico de Eletrotécnica. Av. Mauro Ramos, 950. CEP 88.020-300 –
 E-mails: jordanaghislani@gmail.com; sica.eng@gmail.com

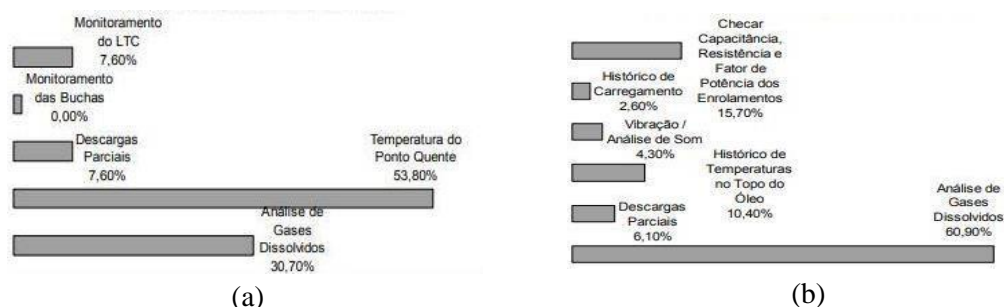


Fig. 1. Grau de importância dos parâmetros monitorados em um transformador de potência novo (a) e em um transformador de potência antigo (b)

Considerando a importância dos parâmetros monitorados em um transformador de potência antigo, conforme Fig. 1-(b), um importante quesito na manutenção e na operação é o diagnóstico das condições de envelhecimento e de degradação do isolamento de transformadores de potência, que podem acarretar no aparecimento dos gases dissolvidos no óleo.

2.1. Gases Dissolvidos no Óleo do Transformador

Como não é possível realizar inspeção direta dos componentes dos transformadores imersos em óleo sem a sua retirada de operação, é necessário o acompanhamento periódico e sistemático de várias medidas, como por exemplo, dos gases dissolvidos no óleo, no intuito de antecipar-se à falhas quando estas ainda estiverem em fase incipiente [3].

O sistema de isolamento é constituído por um líquido isolante (óleo isolante) e uma isolamento sólida (papel isolante). A principal função do papel isolante é cobrir e isolar os núcleos magnéticos de um transformador e, do óleo isolante, por sua vez, envolve o núcleo do transformador criando um sistema de isolamento termo-elétrico. O óleo isolante pode ser substituído/regenerado, assim o papel isolante torna-se o principal indicador da vida útil de um transformador [4]. Observa-se dois tipos principais de falhas recorrentes, considerando a parte construtiva do transformador: (i) as falhas de material consistem na degradação precoce dos materiais existentes nos transformadores, sendo as mais comuns à oxidação do aço do tanque ou núcleo, a deterioração dos materiais de soldas, o desfibramento do papel e a deterioração dos demais isolantes sólidos; e (ii) as falhas elétricas são consequentes, em geral, da ocorrência de pontos quentes por mau contato ou degradação do papel, do sobreaquecimento generalizado devido ao excessivo envelhecimento do óleo ou papel, e das descargas elétricas de alta ou baixa energia devidas à falhas do isolamento.

Desse modo, no momento em que é comprometido o sistema isolante, o material isolante começa a romper e a liberar diferentes gases [5]. Com a finalidade de melhorar o monitoramento foram desenvolvidos equipamentos como cromatógrafos e equipamentos de monitoração contínua e on-line como o Hydran e TrueGas [6]. O Hydran (Fig. 2) é um dispositivo de monitoramento contínuo configurado para emitir um alerta em tempo real que antecipe uma falha em fase ainda incipiente, rendendo à manutenção preditiva uma ferramenta para administrar a extensão da vida útil dos equipamentos isolados a óleo.

Fig. 2. Hydran M2 Ge Digital Energy Adaptado de [7]



Para a conservação de um ativo e a restauração para uma condição operacional satisfatória, a manutenção é essencial, sendo classificada de acordo com a atitude do usuário em relação às falhas, já com relação a programação são comuns as classes de manutenção Programada e Não Programada [8]. Entre os principais tipos de manutenção têm-se [9]:

- a manutenção corretiva efetuada após a ocorrência de uma pane destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida;
- a manutenção preventiva efetuada em intervalos predeterminados, de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item; e
- a manutenção preditiva permite garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou de amostragem, para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva.

Desta forma, diversas falhas ou ocorrências de defeito podem ser indiretamente identificadas pela análise dos gases dissolvidos no óleo, permitindo o monitoramento contínuo do transformador e, conseqüentemente, sua manutenção preditiva. Para tanto, é de extrema importância que informações obtidas pelo Hydran sejam disponibilizados em tempo real à uma supervisão local, ou seja, na subestação em que o ativo está operando e à uma supervisão remota, se for o caso. Essas informações podem ser alocadas em um banco de dados e exibidas em sistemas supervisórios e *softwares* de aquisição em tempo real para garantir uma ação rápida e precisa quando for necessário.

3. MONITORAMENTO EM TEMPO REAL

O monitoramento em tempo real, além de auxiliar e definir de forma mais eficiente o programa de manutenção preventiva, resguarda os ativos de possíveis falhas gerais causadas por elevados valores de parâmetros intrínsecos ao seu funcionamento, tais como a temperatura, o nível de descargas parciais, o carregamento e o nível de umidade do isolamento [10].

Nesse sentido, esses parâmetros podem formar um banco de dados, que além de obtidos em tempo real, devem ser tratados de forma a validar uma ação de forma rápida e clara, em qualquer alteração referente à operação do ativo. E, para que isso seja possível, é crucial a utilização de *softwares* como por exemplo: o PISystem¹ (considerado neste artigo).

O PISystem possibilita a visualização e a coleta dos dados operacionais, integrando-as de forma corporativa, assim como proporciona a compactação dos dados e uma alta velocidade de resposta à consulta em sua base histórica, centralizando assim todos os dados somente em uma plataforma. Para os centros de operação do sistema, o registro em uma base de dados histórica e o acesso de forma rápida e eficiente é importante para a formação de relatórios e para análise do desempenho das plantas e seus equipamentos. Mesmo que o PISystem disponibilize ferramentas para a elaboração de um sistema de monitoramento em tempo real das condições de operação dos transformadores de potência, é necessário a determinação dos índices de confiabilidade e disponibilidade para que seja possível a gestão da manutenibilidade do ativo. Para isso, são utilizados métodos tradicionais de confiabilidade baseadas em distribuições de probabilidade de tempo até a falha que utilizam os dados para produzirem resultados estatísticos.

4. MÉTODOS E TÉCNICAS DE ANÁLISE

A confiabilidade é definida como uma probabilidade de sobrevivência de um sistema em um período de tempo e em condições ambientais de uso determinadas [11]. A disponibilidade, no entanto, é o tempo em que o equipamento, sistema ou instalação está disponível para operar ou em condições de produzir [12]. A obtenção de índices de confiabilidade é crucial para determinar quando é possível tomar providências sem ocorrer maiores danos ao componente/sistema. A utilização de métodos de confiabilidade são fundamentais na execução de análises e avaliação da manutenção, estes métodos são classificados por funções discretas e contínuas.

Uma Função Discreta tem um número finito de valores ou uma quantidade enumerável, ou seja, refere-se ao fato de que podem existir infinitos valores, mas que podem ser associados a um processo de contagem, como a distribuição binomial:

- A distribuição binomial envolve proporções usadas com métodos de inferência estatística, permite lidar com circunstâncias nas quais os resultados pertencem a duas categorias relevantes, tais como aceitável e

¹ PISystem é um software desenvolvido pela empresa OSIsoft para gerenciamento de dados em tempo real.

defeituoso (ou falha e não falha) [13]. A função massa de probabilidade Binomial é calculada a partir da Eq. 1.

$$P[X(t) = k] = \frac{n!}{k!(n-k)!} p^k q^{(n-k)} \quad (1)$$

Onde: n é o número fixo de tentativas; p é a probabilidade de sucesso; q é a probabilidade de falha; e k é o número de resultados de sucesso.

Já a Função Contínua possui infinitos valores, e esses valores podem ser associados com medidas em uma escala contínua, de modo que não há interrupções, podendo ser associados a várias distribuições, sendo elas:

- A distribuição de Poisson é útil para descrever os processos de falha que possuem tendências de crescimento ou deterioração de confiabilidade. Um pressuposto importante para utilização desse modelo para análise de sistemas reparáveis é que o tempo para executar as ações de manutenção é assumido como sendo desprezível em relação ao tempo total de vida útil, de modo que as falhas podem ser vistas como processos pontuais [14]. A função densidade de probabilidade de Poisson é calculado a partir da Eq. 2.

$$f_T(t; \lambda) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t} \quad (2)$$

Onde: f_T é a função densidade de probabilidade do tempo para falha; t é o tempo para falha; λ é a taxa de ocorrência de falha (falha/unidade tempo); k é a probabilidade de falhas no período; λt é o número médio de falhas; e $e^{-\lambda t}$ é a função densidade probabilidade exponencial.

- A distribuição Exponencial é a mais utilizada para representar a probabilidade de falha de equipamentos, pois representa o tempo de vida útil com taxa de falha constante, sendo um excelente modelo para períodos de tempo longo e baixo risco de falha. Porém, não é aconselhável para modelar componentes que sofram desgastes antes do fim da expectativa de vida útil. A função densidade de probabilidade $f(t)$ de uma distribuição exponencial é matematicamente definida conforme Eq. 3.

$$f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t} \quad (3)$$

Onde: t é a variável aleatória que representa o tempo; e λ é a taxa de falhas.

- A distribuição Normal é comumente utilizada na engenharia de qualidade e menos utilizada na análise de confiabilidade. A mesma pode modelar a confiabilidade de equipamentos com taxa de falha crescente, analisando o início de vida de produtos, a fase de degradação natural e falhas por fadiga ou desgaste [15]. A função densidade de probabilidade pode ser expressada a partir da Eq. 4.

$$f_T(t) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{t-\mu}{\sigma} \right)^2} \quad (4)$$

Onde: f_T é a função densidade de probabilidade do tempo para falha; σ é o desvio padrão; e μ é a média.

- A distribuição Log-Normal é comumente utilizada nas análises de tempos até a falha de componentes eletrônicos e mecânicos. A função densidade de probabilidade para esta distribuição é calculada conforme Eq. 5.

$$f_T = \frac{1}{t \cdot \sigma'_t \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{t-\mu'_t}{\sigma'_t} \right)^2} \quad (5)$$

Onde: f_T é a função densidade de probabilidade do tempo para falha; σ'_t é o desvio padrão no domínio logarítmico; e μ'_t é a mediana podendo assumir qualquer valor.

- A distribuição de Weibull é amplamente utilizada por ser muito flexível devido ao seu fator de forma, podendo assumir diferentes valores e aproximar-se de outras distribuições [16]. É comumente utilizada para descrever o tempo de falha de produtos sendo uma distribuição com grande variabilidade de formas. Pode ser representada pela função densidade de probabilidade, conforme Eq. 6.

$$f_T(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{x}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{x}{\eta}\right)^\beta} \quad (6)$$

Onde: $f_T(t)$ é a função densidade de probabilidade do tempo para falha; β é o parâmetro de forma da distribuição; η é o parâmetro de escala; e x é a variável aleatória.

- A distribuição Multivariada se refere a todos os métodos estatísticos que analisam simultaneamente múltiplas medidas de um objeto sob investigação a fim de avaliar o desempenho de um sistema em um ambiente dinâmico em tempo real. No caso de um sistema que exiba vários modos de falha, cada modo de falha tem sua própria área de integração, produzindo assim uma confiabilidade de desempenho correspondente a cada modo de falha, sendo que, a integração multidimensional sobre a união dessas áreas gera uma confiabilidade global do desempenho em relação a todos os modos de falha.

Os métodos se tornam eficazes na identificação dos fatores físicos, humanos e sistêmicos da causa raiz da falha, bem como conduzir o processo de implementação e na elaboração das ações preventivas. Sendo assim, dentre os modelos expostos e que possibilita analisar simultaneamente múltiplas medidas de um objeto, o modelo da Distribuição Normal Multivariada será o método usado para a modelagem do problema. Desse modo, para analisar as medições ou características de variáveis probabilísticas é utilizado normalmente a forma matricial. Organizando uma amostra aleatória de tamanho n , onde, para cada elemento da amostra observa-se valores de p -variáveis aleatórias de interesse, têm-se n vetores aleatórios independentes e identicamente distribuídos conforme Eq. 7 [17].

$$X_1 = \begin{bmatrix} X_{11} \\ X_{21} \\ \vdots \\ X_{p1} \end{bmatrix}, \quad X_2 = \begin{bmatrix} X_{12} \\ X_{22} \\ \vdots \\ X_{p2} \end{bmatrix}, \quad \dots, \quad X_n = \begin{bmatrix} X_{1n} \\ X_{2n} \\ \vdots \\ X_{pn} \end{bmatrix} \quad (7)$$

Considerado n medições feitas na variável j , pode-se estimar o vetor de média amostral segundo Eq. 8.

$$\bar{x}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij} \quad j=1,2,\dots,p \quad (8)$$

Do mesmo modo, a medida de dispersão variância amostral da variável i é dado pela Eq. 9.

$$s_{ii} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{if} - x_f)^2 \quad i = 1,2,\dots,p \quad (9)$$

Através da covariância amostral representada pela média dos produtos dos desvios em relação às respectivas médias é possível determinar o grau de associação linear entre duas variáveis j e k através da Eq. 10.

$$s_{ik} = s_{ki} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - x_j)(x_{ik} - x_k) \quad i = 1,2,\dots,p; \quad k = 1,2,\dots,p \quad (10)$$

5. ESTUDO DE CASO

No intuito de verificar a influência da variação das unidades monitoradas num transformador trifásico no lado de baixa tensão de 13,8 kV que está em operação a mais de 20 anos, realizou-se a aquisição dos dados referentes a um dia no mês de junho de 2018 com medições fracionadas a cada 1 minuto totalizando 1440 medições. A fim de analisar a interferência na operação do transformador referente aos gases dissolvidos no óleo, foram elencados dois parâmetros de análise essenciais, sendo eles os gases dissolvidos no óleo do transformador

e a temperatura do óleo. Os dados adquiridos do *software* PISystem se encontram logo abaixo na Tabela I.

TABELA I. DADOS DO TRANSFORMADOR EM ESTUDO

Período	Gases Dissolvidos no Óleo do Transformador [ppm]			Temperatura do Óleo [°C]		
	Fase A	Fase B	Fase C	Fase A	Fase B	Fase C
05/06/2018 00:00:00	63,60201	54,50270	62,69042	67,14549	47,87244	52,10692
05/06/2018 00:01:00	63,53460	54,73584	65,05704	67,01015	47,85410	51,74486
05/06/2018 00:02:00	63,46718	54,65687	62,84425	66,87479	47,83576	51,83845
...						
05/06/2018 23:57:00	57,42213	54,79444	62,74966	61,93990	49,26215	53,86285
05/06/2018 23:58:00	57,35111	54,42659	61,94952	61,39746	49,26344	53,66365
05/06/2018 23:59:00	57,55319	54,78347	61,94758	61,24258	49,26098	53,64497

É importante ressaltar que a qualidade da aplicação de qualquer uma das técnicas de estatística multivariada depende de quão cuidadoso foi realizada a coleta de dados. Com isso, é necessário verificar se o procedimento amostral utilizado não ocasionou vícios nas respostas obtidas e se foi o mais adequado para o problema em questão [17].

Referente aos gases dissolvidos no óleo, a parte mecânica de cada fase tem elevada variação, deste modo, cada fase tem um nível de alarme registrado. Os valores ajustados como nível alto são de 100 ppm e para nível muito alto são de 150 ppm, com isso, é necessário a verificação e acompanhamento da elevação desses níveis e a solicitação de uma cromatografia detalhada a fim de extrair a qualidade e origem dos gases que estão sendo dissolvidos no óleo e a gravidade da situação. Em relação à temperatura do óleo no transformador, o ponto crítico de temperatura elevada é acima de 75°C, segundo uma análise dos dados adquiridos nota-se que os mesmos encontram-se dentro dos padrões e com informações coerentes. Considerando o sistema de proteção do transformador que está presente nas três fases de forma separada, analisou-se os parâmetros isolados partindo do princípio que a proteção atue na falha de qualquer uma delas. Porém, ainda assim é importante analisar o vetor como um todo, uma vez que pode haver relacionamentos interessantes entre as p-variáveis, que são descritos por medidas de correlação.

Diante da matriz de dados obtidas por cada fase (A, B e C) com 1440 medições e 2 variáveis, é possível calcular a partir da Eq. 8 as médias amostrais.

$$\bar{X}_A = \begin{bmatrix} 59,7781 \\ 62,6447 \end{bmatrix} \quad \bar{X}_B = \begin{bmatrix} 39,2541 \\ 61,3528 \end{bmatrix} \quad \bar{X}_C = \begin{bmatrix} 46,3302 \\ 65,7700 \end{bmatrix}$$

Do mesmo modo, a fim de se obter a matriz de variância e covariância amostral, é necessário aplicar a Eq. 9 e Eq. 10 para cada vetor por fase e relacionar a associação existente. Embora a covariância tenha informação sobre o relacionamento linear entre duas variáveis, é difícil julgar se a relação é forte ou não, observando-se apenas os seus valores numéricos uma vez que não se tem um valor de referência mínimo ou máximo para comparação dos valores. Assim, uma maneira mais comum é guardar os valores numa matriz, conforme disposto a seguir.

$$S_A = \begin{bmatrix} 81,3546 & -14,1367 \\ -14,1367 & 47,7700 \end{bmatrix} \quad S_B = \begin{bmatrix} 604,3148 & -121,6248 \\ -121,6248 & 83,4829 \end{bmatrix} \quad S_C = \begin{bmatrix} 740,7634 & -127,8264 \\ -127,8264 & 86,2582 \end{bmatrix}$$

A partir dos resultados matriciais, identifica-se uma dependência linear entre as duas variáveis analisadas visto que a covariância obtida demonstra o grau de interdependência numérica entre elas e seus valores resultaram diferentes de zero. Para obter uma correlação entre as variáveis dependentes com a distribuição normal bivariada, calculou-se o vetor da função de densidade de probabilidade (FDP), Tabela II.

TABELA II. DADOS DA FUNÇÃO DE DENSIDADE DE PROBABILIDADE

Período	Fase A	Fase B	Fase C
05/06/2018 00:00:00	0,001282	0,000595	0,000277
05/06/2018 00:01:00	0,001975	0,000280	0,000181
05/06/2018 00:02:00	0,000701	0,000837	0,000366
...			
05/06/2018 23:57:00	0,000193	0,000792	0,000099
05/06/2018 23:58:00	0,001403	0,000704	0,000691
05/06/2018 23:59:00	0,001005	0,000092	0,000302

Graficamente, a Fig. 3 ilustra a distribuição normal bivariada com os valores do vetor média e das variâncias para cada fase $f(x,y)$ juntamente às duas variáveis definidas para o estudo.

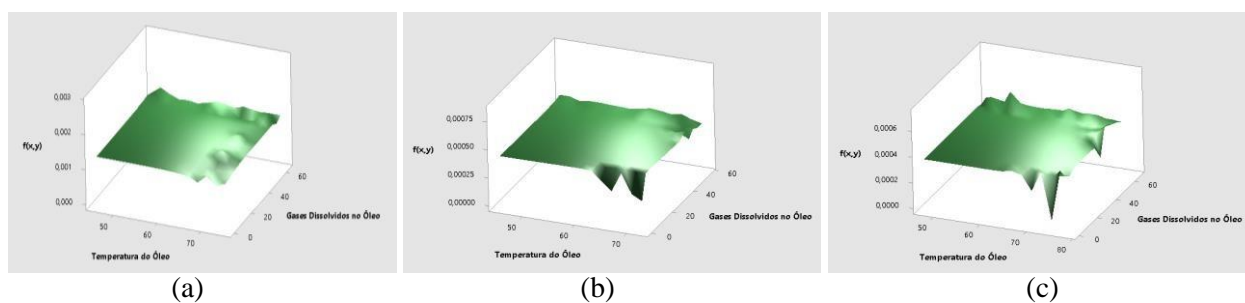


Fig. 3. Função densidade probabilidade da Fase A (a), Fase B (b) e Fase C (c).

Decorrente da análise dos gráficos, é notório que a Fase A do transformador não sofreu nenhuma anomalia no dia da obtenção dos dados e sim, houve vales e picos que podem alterar a FDP acumulativa, visto que a demanda será dinâmica. A Fase B apresentou alarmes no período analisado e a temperatura do óleo chegou a 70°C, um indicativo de possibilidade de um encaminhamento de falha. Já a Fase C do transformador também apresentou alarmes, ou seja, a temperatura do óleo aproximou-se de 80°C, porém seu pico máximo ocorrido no dia representa o funcionamento habitual com uma FDP elevada e procedendo dessa maneira, poderá tornar-se uma probabilidade acumulativa maior que a incidência.

O processo de deterioração térmica da celulose do transformador que contribui para o aparecimento dos gases gira em torno de 100°C, porém, uma avaliação adequada deve ser feita comparada à vida útil do ativo visto que essas concentrações podem ser alteradas por fatores como o envelhecimento normal da celulose e por falhas mecânicas e térmicas.

6. CONCLUSÕES

Tendo em vista que os métodos estabelecem parâmetros para que seja possível prever e tomar providências sem ocorrer maiores danos ao sistema e devido à algumas incertezas de falhas dos ativos, entre eles, seus desgastes por tempo de vida, segurança e interrupções, é notável a importância em realizar análises de confiabilidade para essas prevenções.

De modo a realizar uma análise mais confiável e eficiente, é imprescindível que o monitoramento em tempo real seja feito a fim de se obter valores e parâmetros importantes para o funcionamento do transformador e que seja possível tratar esses dados e realizar uma rápida análise de probabilidade para que se conclua uma ação acelerada e precisa antes mesmo que o nível esperado para falha aconteça.

Uma forte aplicação e contribuição que o objetivo deste artigo pode proporcionar é no estudo da Merging Units que está sendo analisado atualmente a fim de aumentar a confiabilidade da comunicação em subestações coletando dados em tempo real por cabeamento óptico e não mais por cabos de cobre possibilitando uma certa

confiança e agilidade de obtenção das informações, o que aumenta a probabilidade de analisar a aplicabilidade de métodos matemáticos a fim de diagnosticar falhas antes que aconteçam.

7. REFERÊNCIAS

- [1] J. B. Penteado. *Análise do desempenho de subestações de energia elétrica a partir de critérios de confiabilidade*. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Engenharia Elétrica) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, EESC/USP, São Carlos, 2011.
- [2] Lumasense Technologies, <http://www.electricityforum.com>
- [3] L. X. Nepomuceno. *Técnicas de Manutenção Preditiva*, V.2. Edgard Blücher, São Paulo, 1999.
- [4] D. S. Nogueira e D. P. Alves. *Transformadores de potência: Teoria e aplicação*. 212 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Rio de Janeiro, 2009.
- [5] M. B. C. Stocco. *Avaliação do potencial de aplicação de óleos vegetais como fluidos isolantes em transformadores de distribuição da rede elétrica*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, UFPR, Curitiba, 2009.
- [6] J. G. Arantes. *Diagnóstico de Falhas em Transformadores de Potência Pela Análise de Gases Dissolvidos em Óleos Isolantes através de Redes Neurais*. Universidade Federal de Itajubá, Minas Gerais, 2005.
- [7] GE Digital Energy, <http://www.gegridsolutions.com>
- [8] J. L. O. Raposo. *Manutenção Centrada em Confiabilidade Aplicada a Sistemas Elétricos: Uma proposta para uso de análise de risco no diagrama de decisão*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal da Bahia, UFBA, Bahia, 2004.
- [9] Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR-5462: confiabilidade e manutenibilidade*. Rio de Janeiro, 1994.
- [10] S. Kovacevic. And N. Dominelli, “Transformer Life Extension by Continuous OnLine Oil Conditioning”, *Proceedings of Electrical Insulation Conference and Electrical Manufacturing & Coil Winding Technology Conference*, pp.23-25, 2003.
- [11] F. S. Fogliatto e J. L. D. Ribeiro. *Confiabilidade e Manutenção Industrial*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.
- [12] A. Kardec, J. Flores e E. Seixas. *Gestão Estratégica e Indicadores de Desempenho*. Rio de Janeiro: Qualitymark: ABRAMAN, 2002.
- [13] M. F. Triola. *Introdução à Estatística*. Rio de Janeiro: LTC, 2008.
- [14] W. Q. Meeker e L. A. Escobar. *Statistical methods for reliability data*. John Wiley & Sons, 1998.
- [15] A. Papoulis and S. U. Pillai. *Probability, Random Variables, and Stochastic Processes*. 4th. ed. New York, USA: McGraw-Hill, 2002.
- [16] P. E. Richter. *Análise de Confiabilidade no Desenvolvimento de Tratores Agrícolas*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, Rio Grande do Sul, 2006.
- [17] S. A. Mingoti. *Análise de dados através de métodos de estatística multivariada*. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2005.

APÊNDICE B – Comprovante de apresentação





xviiieriac
19 a 23 de maio de 2019
Foz do Iguaçu | Paraná | Brasil



159

JORDANA
IFSC





CERTIFICADO

Certificamos que **JORDANA GHISLENI** participou do **XVIII ERIAC – Encontro Regional Ibero-Americano do Cigré**, realizado no período de 19 a 23 de maio de 2019, em Foz do Iguaçu | Paraná | Brasil.


CEL SO VILLAR TORINO
COORDENADOR GERAL DO XVIII ERIAC


SIDIAS MATOS DE ARAÚJO
DIRETOR PRESIDENTE DO CIGRE BRASIL

PROMOÇÃO



APOIO ORGANIZACIONAL



APÊNDICE C – Slides apresentados no congresso



cigre
RIAC

XVIII Encontro Regional Ibero-americano do CIGRE

Foz do Iguaçu - Paraná – Brasil, 19 a 23 de maio de 2019



XVIII IRIAC

A2-11- Análise da aplicabilidade de métodos e técnicas referentes ao desempenho da confiabilidade em tempo real em transformadores

Jordana Ghisleni– Everthon T. Sica*

IFSC (Instituto Federal de Santa Catarina)



cigre
For power system expertise

Brasil



cigre
Brasil



INSTITUTO FEDERAL
Santa Catarina
Câmpus Florianópolis



ITAIPU
BINACIONAL

Definição do Problema

- Transformadores de potência são um dos componentes mais caros e **críticos de um sistema**;
- Necessidade de acompanhamento em **tempo real**;
- Manutenção corretiva, preventiva e preditiva;
- Parâmetro mais significativo para ser analisado em um transformador de potência **antigo** é a análise dos **gases dissolvidos no óleo**.

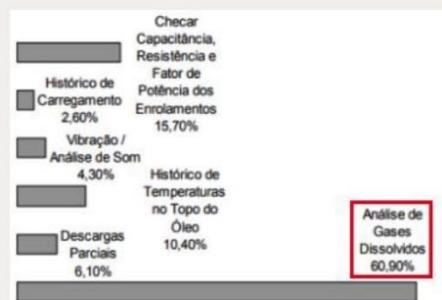


Fig. 1. Grau de importância dos parâmetros monitorados em um transformador de potência antigo

Objetivo de Estudo



- Contribuir com o estudo da confiabilidade em tempo real de transformadores de potência em serviço contínuo;
- Analisar a aplicabilidade de técnicas e métodos matemáticos adequados para o diagnóstico de falhas dos gases dissolvidos no óleo.

Desafios

- Importância da determinação de índices de confiabilidade e disponibilidade para análise de falhas;
- Diagnostico de possíveis falhas causadas pelos gases dissolvidos no óleo;
- Proporcionar rapidez e confiabilidade no funcionamento e detecção de defeitos.

Gases Dissolvidos no Óleo do Transformador



- O sistema de isolamento é constituído por um líquido isolante e uma isolação sólida;
- Há dois tipos principais de falhas recorrentes: **falhas de material** e **falhas elétricas**;
- O comprometimento do material isolante começa a romper e **liberar diferentes gases**;
- Dados advindos de um dispositivo de **monitoramento contínuo** e em **tempo real**, Hydran.



Fig. 2. Hydran M2 Ge Digital Energy

Monitoramento em Tempo Real



- **Dados em tempo real** auxiliam no programa de **manutenção** e resguarda os ativos de possíveis **falhas gerais**;
- Informações alocadas em um banco de dados exibidas em sistemas supervisórios e softwares garantem **ação rápida e precisa**, quando necessário;
- PISystem é um software desenvolvido pela empresa OSisoft para gerenciamento de dados em tempo real;
- Compactação dos dados e uma alta velocidade de resposta à consulta em sua base histórica;
- Obtenção de informações de medidas relativas e **desempenho elétrico e mecânico** do **comportamento aleatório** da variável dos Gases Dissolvidas no Óleo.

Métodos e Técnicas de Análise de Confiabilidade



- Determinação de **índices de confiabilidade** para que seja possível modelar uma análise a fim de tomar providências estimadas;
- Divididas em duas funções:
 - Discretas
 - Distribuição Binomial;
 - Contínuas
 - Distribuição de Poisson;
 - Distribuição Exponencial
 - Distribuição Normal;
 - Distribuição Log-Normal;
 - Distribuição de Weibull;
 - **Distribuição Multivariada.**
- O modelo Distribuição Multivariada possibilita analisar simultaneamente **múltiplas medidas** de um objeto e será usado para modelagem do problema.

Estudo de Caso



- Transformador trifásico, lado de baixa tensão (13,8 kV) em operação a mais de **20 anos**;
- Aquisição de dados pelo PISystem referente a um dia no mês de junho de 2018 com medições fracionadas a cada minuto, totalizando **1440 dados**;
- Dois parâmetros de **análise essenciais** foram elencados:
 - Gases dissolvidos no óleo do transformador;
 - Temperatura do óleo.

TABELA I. DADOS DO TRANSFORMADOR EM ESTUDO

Período	Gases Dissolvidos no Óleo do Transformador [ppm]			Temperatura do Óleo [°C]		
	Fase A	Fase B	Fase C	Fase A	Fase B	Fase C
05/06/2018 00:00:00	63,60201	54,50270	62,69042	67,14549	47,87244	52,10692
05/06/2018 00:01:00	63,53460	54,73584	65,05704	67,01015	47,85410	51,74486
05/06/2018 00:02:00	63,46718	54,65687	62,84425	66,87479	47,83576	51,83845
...						
05/06/2018 23:57:00	57,42213	54,79444	62,74966	61,93990	49,26215	53,86285
05/06/2018 23:58:00	57,35111	54,42659	61,94952	61,39746	49,26344	53,66365
05/06/2018 23:59:00	57,55319	54,78347	61,94758	61,24258	49,26098	53,64497

Estudo de Caso



- Considerando que o sistema de proteção do transformador está presente nas **três fases** de forma separada, analisou-se **isoladamente** os parâmetros;
- **Alarme** registrado dos gases dissolvidos no óleo em cada fase:
 - Nível **alto**: 100 ppm;
 - Nível **muito alto**: 150 ppm.
- O **ponto crítico** de temperatura elevada é **acima de 75 °C**;
- Observou-se o vetor como um todo uma vez que pode haver **relacionamentos** entre as variáveis, descritos por **medidas de correlação**;
- Médias amostrais de cada fase:

$$\bar{X}_A = \begin{bmatrix} 59,7781 \\ 62,6447 \end{bmatrix} \quad \bar{X}_B = \begin{bmatrix} 39,2541 \\ 61,3528 \end{bmatrix} \quad \bar{X}_C = \begin{bmatrix} 46,3302 \\ 65,7700 \end{bmatrix}$$

- Matriz de variância de cada fase:

$$S_A = \begin{bmatrix} 81,3546 & -14,1367 \\ -14,1367 & 47,7700 \end{bmatrix} \quad S_B = \begin{bmatrix} 604,3148 & -121,6248 \\ -121,6248 & 83,4829 \end{bmatrix} \quad S_C = \begin{bmatrix} 740,7634 & -127,8264 \\ -127,8264 & 86,2582 \end{bmatrix}$$

Estudo de Caso



TABELA II. DADOS DA FUNÇÃO DE DENSIDADE DE PROBABILIDADE

Período	Fase A	Fase B	Fase C
05/06/2018 00:00:00	0,001282	0,000595	0,000277
05/06/2018 00:01:00	0,001975	0,000280	0,000181
05/06/2018 00:02:00	0,000701	0,000837	0,000366
...			
05/06/2018 23:57:00	0,000193	0,000792	0,000099
05/06/2018 23:58:00	0,001403	0,000704	0,000691
05/06/2018 23:59:00	0,001005	0,000092	0,000302

- A partir dos resultados matriciais, identificou-se uma **dependência linear** entre as **duas variáveis analisadas**;
- Para a obtenção de uma **correlação** entre as variáveis dependentes com a **distribuição bivariada**, obteve-se o vetor da **função de densidade de probabilidade (FDP)** para cada dado de tempo.

Estudo de Caso



- Ilustrou-se graficamente a distribuição bivariada com os valores do **vetor média** e das **variâncias** para cada fase $f(x,y)$, juntamente às duas variáveis definidas para o estudo;
- Fase A **não sofreu** nenhuma anomalia;

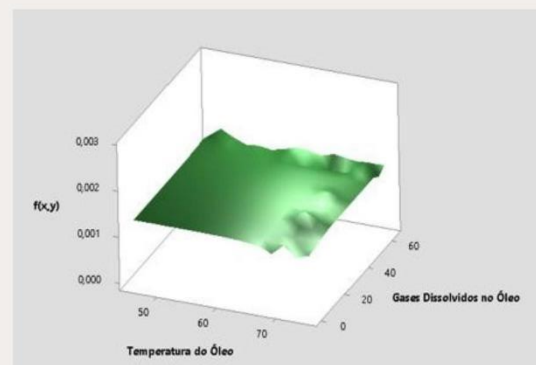


Fig. 3. Função Densidade Probabilidade da Fase A

Estudo de Caso



- Fase B apresentou **alarmes de falhas** no período analisado;
- Temperatura do óleo chegou a 70°C.

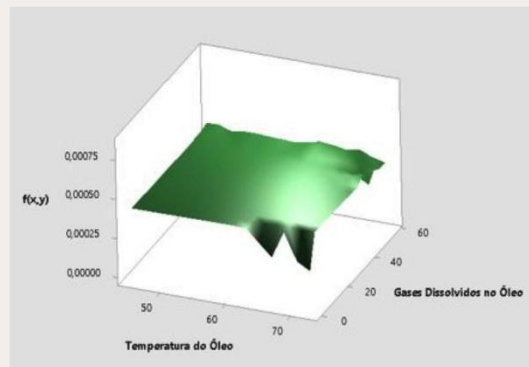


Fig. 4. Função Densidade Probabilidade da Fase B

Estudo de Caso



- Fase C apresentou **alarmes de falhas** no período analisado;
- Temperatura do óleo aproximou-se de 80° C.

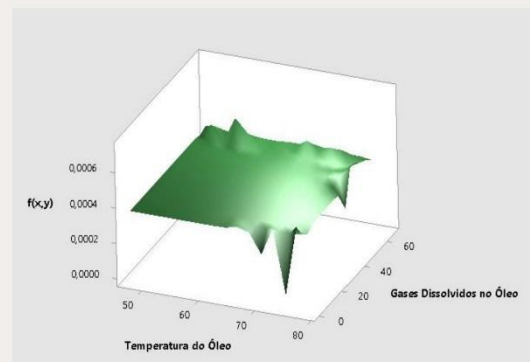


Fig. 5. Função Densidade Probabilidade da Fase C

Conclusão



- Esses fatores de análise podem ser alterados conforme envelhecimento por falhas mecânicas e térmicas;
- O processo de **deterioração térmica da celulose** que contribui para o aparecimento dos gases gira em torno de 80°C;
- A **análise multivariada** mostrou-se aderente ao objeto de estudo;
- Importância em tratar os dados e realizar uma **rápida análise de probabilidade** a fim de que se conclua uma ação acelerada e precisa antes que o **nível esperado para falha aconteça**;
- Uma forte aplicação e contribuição que o objetivo deste artigo pode proporcionar é no **estudo da Merging Units** (subestação digital).

LAPR – Lab. de Planejamento Integrado de Recursos Energéticos

<https://gese.florianopolis.ifsc.edu.br/lapr/index.php>

GESE - Grupo de Estudos de Sistemas de Energia

IFSC, Campus Florianópolis, Departamento Acadêmico de Eletrotécnica.

Av. Mauro Ramos, 950, Centro, Florianópolis - SC

Bloco Central - Sala C314B

<https://gese.florianopolis.ifsc.edu.br>



Jordana Ghisleni
Everthon T. Sica

jordanaghisleni@gmail.com
sica.eng@gmail.com

APÊNDICE D – Técnicas dos métodos de confiabilidade matemáticos

A obtenção de índices de confiabilidade é crucial para determinar quando ainda é possível tomar providências sem ocorrer maiores danos ao componente/sistema. Diante do objetivo de minimização desses impactos, a utilização de métodos de confiabilidade é fundamental na execução dessas análises.

D1. FUNÇÃO DISCRETA

Conforme Freund (2006), uma função discreta tem um número finito de valores ou uma quantidade enumerável, ou seja, se refere ao fato de que podem existir infinitos valores, mas que podem ser associados a um processo de contagem, como a distribuição binomial.

Exemplos como a contagem de pessoas, a soma do número de pontos no lançamento simultâneo de três dados, o número de gols por rodada de um campeonato de futebol e assim por diante, não admitem valores fracionários, e por isso são denominadas variáveis discretas, ou seja, variáveis que só podem variar por unidades inteiras.

D1.1 Distribuição Binomial

Segundo Triola (2008), a distribuição de probabilidade binomial envolve proporções usadas com métodos de inferência estatística, permite lidar com circunstâncias nas quais os resultados pertencem a duas categorias relevantes, tais como aceitável e defeituoso (ou falha e não falha).

Uma distribuição de probabilidade binomial resulta de um experimento que satisfaz os seguintes requisitos (TRIOLA, 2008):

- a) O experimento tem um número fixo de tentativas;
- b) As tentativas precisam ser independentes (o resultado de qualquer tentativa individual não afeta as probabilidades nas outras tentativas);
- c) Cada tentativa deve ter todos os resultados classificados em duas categorias (em geral, chamadas de sucesso e fracasso);

d) A probabilidade de um sucesso permanece constante em todas as tentativas.

Esta distribuição adequa-se a problemas contabilísticos do tipo combinatório, geralmente a variáveis discretas e a grandes amostras. Ela consiste em tentativas independentes repetidas onde a probabilidade de sucesso em cada tentativa permaneça constante.

De acordo com Lafraia (2014), a função massa de probabilidade Binomial é calculada a partir da Equação D1.

$$P[X(t) = k] = \frac{n!}{k!(n-k)!} p^k q^{(n-k)} \quad (D1)$$

Onde:

n : número fixo de tentativas;

p : probabilidade de sucesso;

q : probabilidade de falha;

k : número de resultados de sucesso;

O valor esperado de uma variável aleatória binomialmente distribuída e a variância de uma distribuição binomial podem ser calculadas a partir das Equações D2 e D3, respectivamente (LAFRAIA, 2014).

$$E(X) = np \quad (D2)$$

$$VAR\{X\} = npq \quad (D3)$$

Conforme publicação em um artigo, os autores Sexauer, McBee e Bloch (2011) usam um modelo de probabilidade binomial para calcular a chance de um transformador de distribuição específico sofrer um carregamento excessivo.

No artigo, a definição de sobrecarga sugere o limite no qual o carregamento em um transformador excede os níveis aceitáveis, o que poderia estar bem acima da classificação da placa de identificação.

A fim de descrever a probabilidade de vários veículos elétricos (VE) serem conectados a um transformador, uma variável aleatória binomial é usada. O número de tentativas n é o número total de residências conectadas a um determinado

transformador. A probabilidade de um único cliente escolher conectar um VE ao transformador é p , em seguida, descreve a probabilidade de que k veículos elétricos estão no transformador.

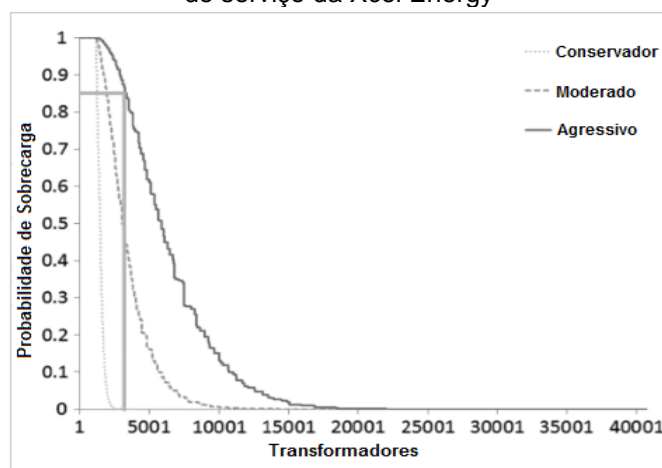
Sendo assim, para obter uma proposição dos melhores cenários, vários fatores foram variados. Um deles foi a classe de carregadores usados, que incluiu um de Nível 1 (1,2 kW), um carregador de Nível 2 baixo (3,8 kW) e uma mistura de ambas as classes usando o método da média ponderada.

Um total de 15 cenários foram considerados para os vários tamanhos de transformadores na frota da Xcel Energy para ter uma ideia dos possíveis fluxos que os efeitos da conexão de VE poderia ter.

O limite de carga aceitável foi de 180%, o que coincide com o tamanho do fusível de proteção que foi usado. Se um transformador for carregado além de 180%, ele precisa ser substituído para acomodar a demanda aumentada de VE.

A Figura D1 mostra os cenários conservadores, moderados e agressivos para a classe de transformadores de 25 kVA.

Figura D1 - Probabilidade de sobrecarga para os quase 45.000 transformadores de 25 kVA na área de serviço da Xcel Energy



Fonte: SEXAUER; MCBEE; BLOCH (2011).

Conforme resultados obtidos por Sexauer, McBee e Bloch (2011), as taxas de substituição de transformador esperadas para um cenário são a área sob a curva. Para os três cenários generalizados, foram de 1485, 3497 e 6441 transformadores ou 3,64%, 8,58% e 15,8% para conservadores, moderados e agressivos, respectivamente.

D2. FUNÇÃO CONTÍNUA

Segundo Freund (2006), funções contínuas possuem infinitos valores, e esses valores podem ser associados com medidas em uma escala contínua, de modo que não há interrupções.

Exemplos de grandezas como comprimento, área, volume, peso, tempo, proporções, porcentagens, ângulos, temperatura, etc., que num determinado intervalo podem tomar quaisquer valores, sejam estes inteiros ou fracionários, são chamadas variáveis contínuas.

As distribuições mais comuns com variável contínua são as de Poisson, Exponencial, Normal, Log-Normal, Weibull e Multivariada.

D2.1 Distribuição de Poisson

De acordo com Meeker e Escobar (1998), sistemas reparáveis podem ser analisados utilizando modelos de confiabilidade baseados em processos estocásticos. Dentre os modelos probabilísticos utilizados para modelar o comportamento de falha de um sistema, há a distribuição de Poisson.

A distribuição de Poisson permite calcular a probabilidade de um evento ocorrer um determinado número de vezes em um intervalo de tempo definido (BILLINTON; ALLAN, 1992).

Sendo assim, é uma importante distribuição de probabilidade discreta sendo usada para descrever o comportamento de eventos raros (com pequenas probabilidades de acontecer) (TRIOLA, 2008).

Segundo relatado por Meeker e Escobar (1998),

o processo de Poisson é especialmente útil para descrever os processos de falha que possuem certas tendências, como o crescimento ou deterioração de confiabilidade, sendo um pressuposto importante para utilização desse modelo em análise de sistemas reparáveis o fato de que o tempo para executar as ações de manutenção é assumido como sendo desprezível em relação ao tempo total de vida útil, de modo que as falhas podem ser vistas como processos pontuais.

Conforme Papoulis e Pillai (2002), a Função Densidade de Probabilidade de Poisson em um determinado acontecimento em função de um tempo contínuo e

considerando o número médio de ocorrências expresso em unidades de tempo é cálculo a partir da Equação D4.

$$f_T(t, \lambda) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t} \quad (D4)$$

Onde:

f_T - Função densidade de probabilidade do tempo para falha;

t - Tempo para falha;

λ - Taxa de ocorrência de falha (falha/unidade tempo);

k - Probabilidade de falhas no período;

λt - Número médio de falhas;

$e^{-\lambda t}$ - Função densidade probabilidade Exponencial.

A probabilidade de falhas no tempo t chamada de confiabilidade do componente em função do tempo e o valor esperado do processo e sua variância são calculadas a partir das Equações D5 e D6, respectivamente (PAPOULIS; PILLAI, 2002).

$$E\{T\} = \lambda t \quad (D5)$$

$$VAR\{T\} = \lambda t \quad (D6)$$

Como tema de dissertação de Pós-Graduação, Souza (2014) realizou uma pesquisa referente ao dimensionamento de reserva técnica de transformadores em subestações considerando uma metodologia probabilística. Sendo assim, aplicou o método de Poisson, sem considerar dimensionamento de custos, para determinar a confiabilidade em um número ótimo de reservas.

Levando em consideração que a substituição do componente principal (que sofreu a avaria) por um equipamento reserva seja feita em um tempo relativamente pequeno quando comparado ao seu tempo médio de funcionamento, será possível calcular a confiabilidade.

Sendo assim, admitiu que em uma região o sistema era formado por cinco transformadores em campo e dois reservas. Admitindo que a taxa de falha seja de 0,2 ao ano e o tempo médio para que um transformador seja substituído por um novo e

volte a recompor o estoque seja de 1 ano, obteve-se uma confiabilidade x . Para a obtenção do risco de falha no sistema no período de 1 ano é diminuir desse período o valor x achado.

Em sua pesquisa, Souza (2014) variou o número de reservas, conforme exposto na Figura D2.

Figura D2 - Efeito do Número de Reservas

N	$R(t)$	Acréscimo na Confiabilidade
0	0,367879	-
1	0,735759	0,367880
2	0,919699	0,183940
3	0,981012	0,061313
4	0,996340	0,015328
5	0,999406	0,003066
6	0,999917	0,000511
7	0,999990	0,000073
8	0,999999	0,000009

Fonte: SOUZA (2014).

Nota-se que quanto maior o número de reservas, maior é a confiabilidade do sistema, porém, comparado ao acréscimo na confiabilidade, é menor. Sendo assim, chega-se ao ponto em que a adição de um transformador reserva ao estoque não irá mais afetar significativamente a confiabilidade do sistema.

D2.2 Distribuição Exponencial

Uma das distribuições mais utilizadas para representar a probabilidade de falha de equipamentos eletrônicos é a exponencial, que representa o tempo de vida útil do equipamento, com taxa de falha constante e um excelente modelo usado para o período de tempo longo e baixo risco de falha. Porém, não é aconselhável que ela seja usada para modelar componentes que sofram desgastes antes do fim da expectativa de vida útil.

A distribuição exponencial proporciona um bom modelo para a fase de um produto ou a vida do item quando ele apresenta uma probabilidade de falhar a qualquer momento, independentemente de ser novo, ter ano de uso ou ter mais anos de uso. Em outras palavras, a fase antes que o produto ou item comece a envelhecer e se desgastar durante sua aplicação esperada.

Segundo Lafraia (2014), a função densidade de probabilidade $f(t)$ de uma distribuição exponencial é matematicamente definida conforme Equação D7.

$$f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t} \quad (D7)$$

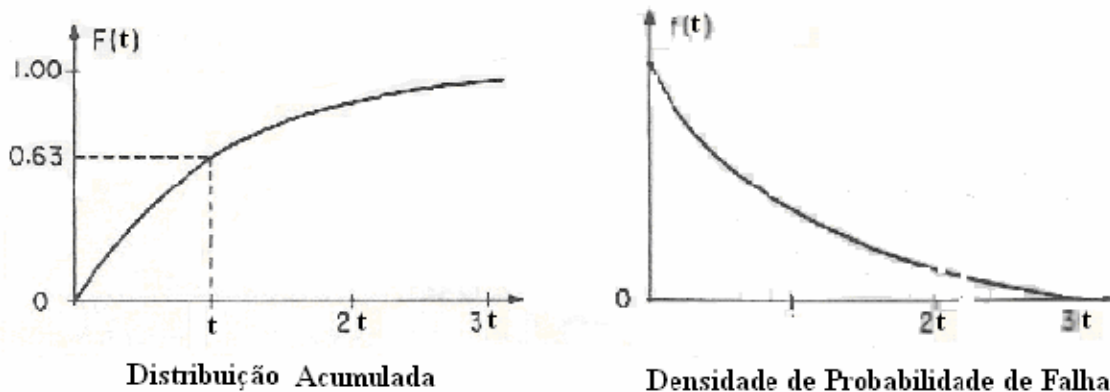
Onde:

t : Variável aleatória que representa o tempo;

λ : Taxa de falhas.

Os gráficos que representam essa distribuição são ilustrados na Figura D3.

Figura D3 - Função Distribuição Acumulada e Densidade de Probabilidade da Distribuição Exponencial



Fonte: NELSON (1982).

Sendo assim, o valor esperado do tempo para falhas e a variância de uma distribuição exponencial podem ser calculadas usando as Equações D8 e D9, respectivamente (LAFRAIA, 2014).

$$E\{T\} = \frac{1}{\lambda} \quad (D8)$$

$$VAR\{T\} = \frac{1}{\lambda^2} \quad (D9)$$

D2.3 Distribuição Normal

Esta distribuição é comumente utilizada na engenharia de qualidade e menos utilizada na análise de confiabilidade. De acordo com Papoulis e Pillai (2002), a mesma pode modelar a confiabilidade de equipamentos com taxa de falha crescente, analisando o início de vida de produtos, a fase de degradação natural e falhas por fadiga ou desgaste.

A função densidade de probabilidade pode ser expressa a partir da Equação D10 (PAPOULIS; PILLAI, 2002).

$$f_T(t) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (D10)$$

Onde:

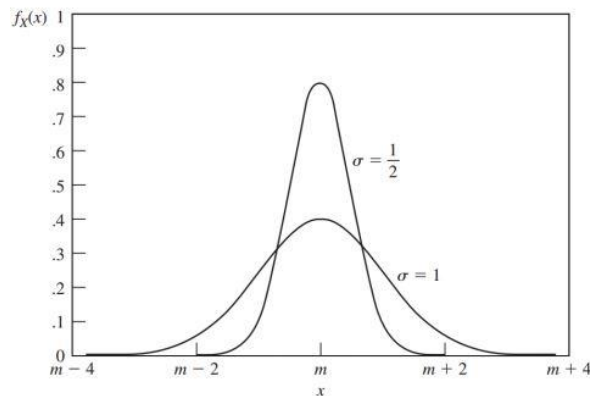
f_T - Função densidade de probabilidade do tempo para falha;

σ - Desvio padrão;

μ - Média.

A curva da densidade de probabilidade é mostrada na Figura D4.

Figura D4 - Curva da Densidade de Probabilidade da Distribuição Normal



Fonte: GARCIA (2007).

O valor esperado de uma distribuição normal e a sua variância são obtidas através das Equações D11 e D12, respectivamente (LAFRAIA, 2014).

$$E\{X\} = \mu \quad (D11)$$

$$VAR\{X\} = \sigma^2 \quad (D12)$$

D2.4 Distribuição Log-Normal

O nome caracteriza a distribuição que é utilizada por funções densidade de probabilidade cujo logaritmo natural dos tempos até a falha é normalmente distribuído.

Segundo Reliasoft (2008), é comumente utilizada nas análises de tempos até a falha de componentes eletrônicos e mecânicos, equipamentos ou sistemas.

A função densidade de probabilidade para esta distribuição é calculada conforme Equação D13 (LAFRAIA, 2014).

$$f_T = \frac{1}{t \cdot \sigma'_t \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{t - \mu'_t}{\sigma'_t} \right)^2} \quad (D13)$$

Onde:

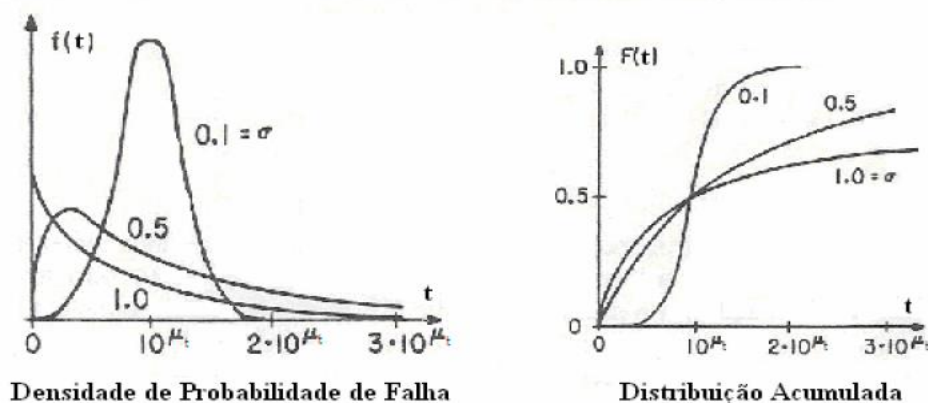
f_T - Função densidade de probabilidade do tempo para falha;

σ'_t - Desvio padrão no domínio logarítmico;

μ'_t - Mediana podendo assumir qualquer valor.

A distribuição log-normal é assimétrica e deslocada para a esquerda, devido a essa assimetria, conforme há variação do desvio padrão, as curvas de densidade de probabilidade e da distribuição acumulada variam, como observado na Figura D5.

Figura D5 - Função Distribuição Acumulada e Densidade de Probabilidade da Distribuição Log-Normal



Densidade de Probabilidade de Falha

Fonte: NELSON (1982).

O valor esperado de uma distribuição log-normal e a sua variância podem ser calculadas a partir das Equações D14 e D15, respectivamente (LAFRAIA, 2014).

$$E\{T\} = \exp\left(\mu + \frac{\sigma^2}{2}\right) \quad (D14)$$

$$VAR\{T\} = [\exp(2\mu + 2\sigma^2) - \exp(2\mu + 2)]^{1/2} \quad (D15)$$

D2.5 Distribuição Weibull

A função distribuição de Weibull é amplamente utilizada por ser muito flexível devido ao seu fator de forma β , podendo assumir diferentes formatos e aproximar-se de outras distribuições (RICHTER, 2006). É comumente utilizada para

descrever o tempo de falha de produtos sendo uma distribuição com grande variabilidade de formas.

Segundo O'Connor (2002), esta distribuição pode assumir até 3 parâmetros, η , β e γ :

- a) η representa a constante de escala ou vida característica do equipamento ou sistema estudado, definindo a probabilidade de 62,3% dos equipamentos ou sistemas analisados apresentarem falhas;
- b) β é a constante de forma ou inclinação da distribuição, é o parâmetro que define o formato da curva que caracteriza a densidade de probabilidade de falha;
- c) γ é o parâmetro de localização, que determina a vida mínima, ou seja, o intervalo de tempo mínimo em que o equipamento ou sistema analisado não apresentará falha, podendo ser nulo, indicando uma distribuição de dois parâmetros.

A distribuição de Weibull pode ser representada pela função densidade de probabilidade, conforme Equação D16 (PAPOULIS; PILLAI, 2012).

$$f_T(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{x}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{x}{\eta}\right)^\beta} \quad (D16)$$

Onde:

$f_T(t)$ - Função densidade de probabilidade do tempo para falha;

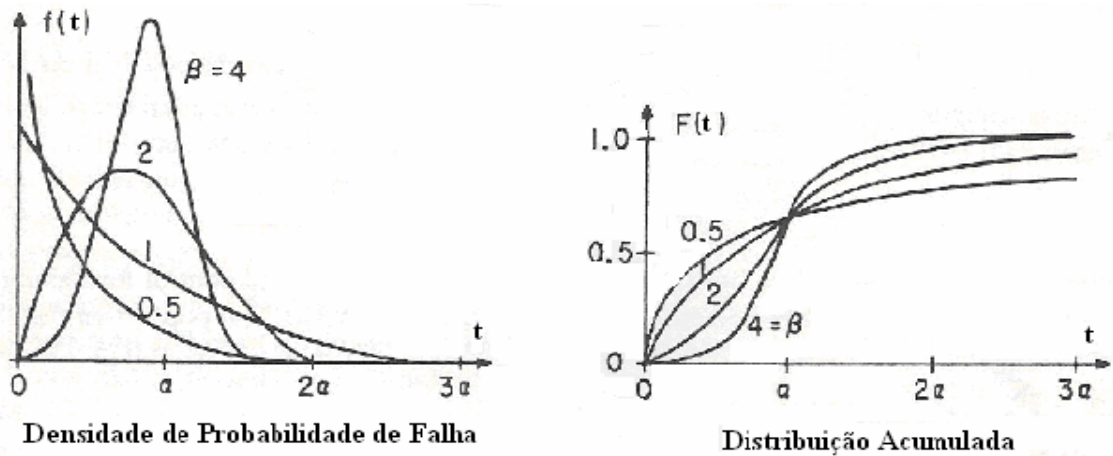
β - Parâmetro de forma da distribuição;

η - Parâmetro de escala;

x - Variável aleatória.

Conforme a variação do parâmetro de forma, β , a curva da distribuição varia, como indicado na Figura D6.

Figura D6 - Função Distribuição Acumulada e Densidade de Probabilidade para a Distribuição de Weibull



Fonte: NELSON (1982).

De acordo com Nelson (1982), analisando a Figura D6, conclui-se que:

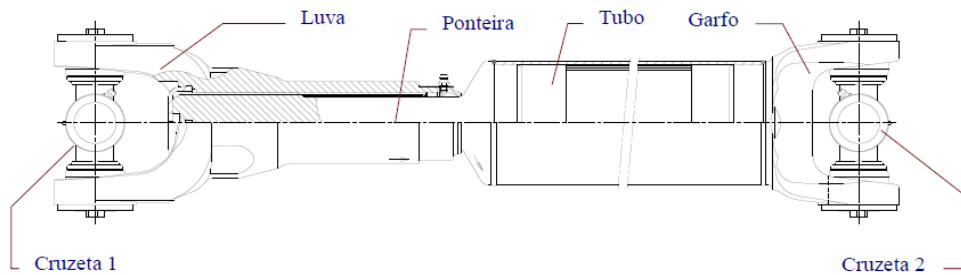
- Quando $\beta = 1$, a distribuição se torna idêntica à distribuição Exponencial, representando o período de vida útil do produto, em que a taxa de falhas do mesmo é constante;
- Com $\beta = 2$, a distribuição se aproxima da lognormal e;
- Quando $\beta = 4$, a distribuição se aproxima da distribuição normal, mostrando a flexibilidade da distribuição de Weibull.

Os resultados mostram que, para $\beta < 1$, a distribuição representa bem a infância dos componentes, para $\beta = 1$, a distribuição refere-se à vida útil do produto e para $\beta > 1$, a distribuição trata do envelhecimento ou fase de degradação do produto.

Como assunto abordado em uma dissertação de Pós-Graduação, Vaccaro (1997) realizou uma modelagem e análise da confiabilidade de um eixo de cardan a partir dos métodos citados acima: Exponencial, Normal, Log-Normal e Weibull.

Sendo um eixo de cardan um sistema de transmissão de força utilizado geralmente em veículos automotores de grande porte, tais como caminhões, foi extraído dados a partir de testes de fadiga realizado sobre cada um dos seis componentes dispostos pelo eixo, conforme ilustrado pela Figura D7.

Figura D7 - Diagrama representativo de um Eixo Cardan formado por 6 componentes



Fonte: VACCARO (1997).

A partir dos dados de teste, Vaccaro (1997) realizou as etapas de modelagem e análise de Confiabilidade de cada subsistema, segundo a metodologia descrita anteriormente.

As análises foram realizadas com o uso do RelySys (*Reliability Software for Systems Analysis*), software de análise e estimativa de confiabilidade de sistemas desenvolvido para demonstrar a utilidade e a aplicabilidade prática do conjunto de métodos e técnicas de análise de confiabilidade. Sendo elas:

- a) Classificação das amostras de dados;
- b) Análise dos dados e estimação de modelos de confiabilidade para cada subsistema, dentre os oferecidos pelo software;
- c) Escolha do modelo mais adequado para cada subsistema;
- d) Geração dos dados de confiabilidade para o sistema, a partir dos modelos escolhidos para os subsistemas;
- e) Determinação de um modelo de confiabilidades para o sistema.

A Tabela D1 apresenta as principais informações relativas obtidas das amostras.

Tabela D1 - Informações sobre as amostras de dados de vida dos subsistemas a partir do desempenho observado em laboratório

Subsistema	Tamanho da Amostra	Nº de Dados Censurados	Tipo de Censura	Mínimo	Máximo
Cruzeta	30	19	Aleatória	101,7 +	502,4
Luva	10	2	Aleatória	222,6	494,8
Ponteira	20	9	Aleatória	305,0 +	698,1
Tubo	13	6	Aleatória	182,4 +	371,1
Garfo	15	8	Aleatória	346,8	742,2

Fonte: VACCARO (1997).

Com base nas informações anteriores, Vaccaro (1997) realizou o ajuste dos modelos para as falhas de cada subsistema. A conjugação dos métodos empíricos e numéricos apresentados resultou os dados presentes na Tabela D2.

Tabela D2 - Modelagem da Confiabilidade dos subsistemas a partir dos dados de teste

Subsistema	Modelo	Parâmetros	Teste de Kolmogorov-Smirnov	Papel de Probabilidade
Cruzeta	Weibull	$l = 168,4$ $\gamma = 0,912$ $\theta = 344,9$	Estatística DN: 0.4977 Prob. de Aceite: 0.0090	Weibull
Luva	Weibull	$l = 164,6$ $\gamma = 2,588$ $\theta = 246,9$	Estatística DN: 0.3198 Prob. de Aceite: 0.4020	Weibull, LogNormal ou Normal
Ponteira	Weibull	$l = 134,7$ $\gamma = 5,836$ $\theta = 460,3$	Estatística DN: 0.4432 Prob. de Aceite: 0.0276	Weibull, LogNormal ou Normal
Tubo	Weibull	$l = 296,0$ $\gamma = 1,029$ $\theta = 47,44$	Estatística DN: 0.3791 Prob. de Aceite: 0.2855	Weibull, Exponencial ou LogNormal
Garfo	Weibull	$l = 74,49$ $\gamma = 6,454$ $\theta = 632,5$	Estatística DN: 0.4012 Prob. de Aceite: 0.1621	Weibull ou LogNormal

Fonte: VACCARO (1997).

Com a modelagem da confiabilidade realizada, foram estimados intervalos de confiança para os parâmetros dos modelos, conforme constatado na Tabela D3.

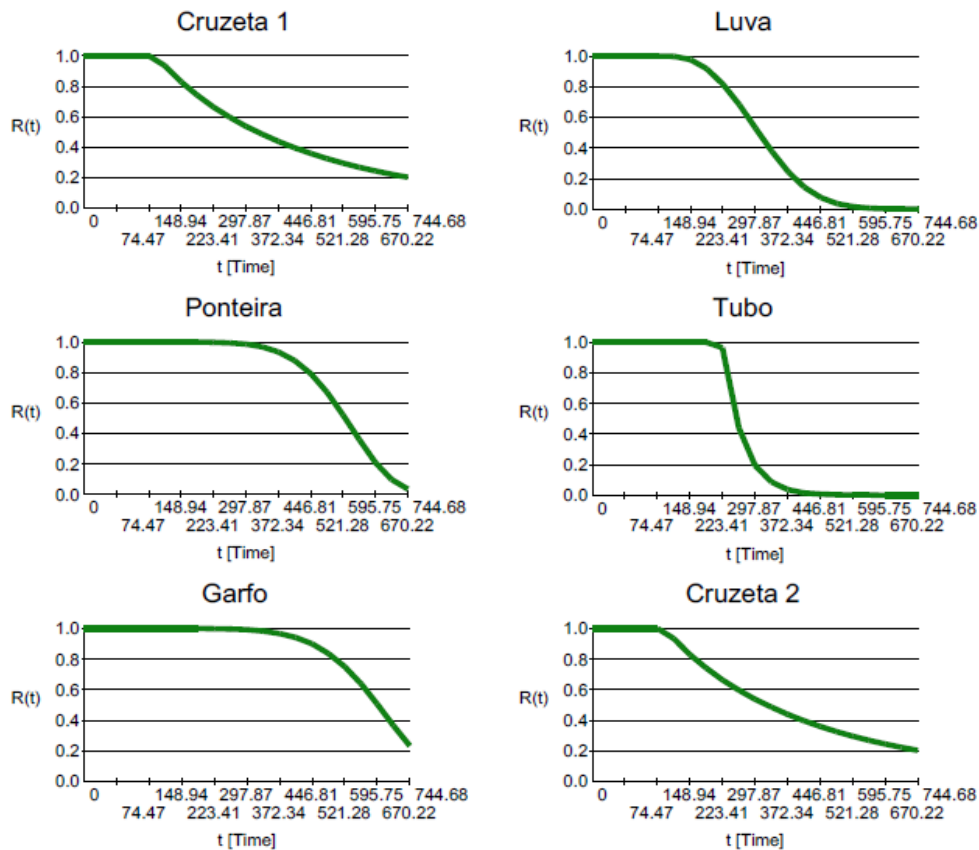
Tabela D3 - Estatísticas descritivas dos dados de vida, calculados a partir dos modelos ajustados para os subsistemas

Subsistema	MTTF	Mínimo	t_{10}	t_{50}	Desvio Padrão
Cruzeta	528,8	168,4	197,6	399,1	395,8
Luva	383,8	164,6	268,1	378,9	90,97
Ponteira	594,3	134,7	472,1	600,7	91,36
Tubo	321,7	296,0	301,3	329,2	27,61
Garfo	663,6	74,49	520,8	672,0	106,7

Fonte: VACCARO (1997).

A análise simultânea dos gráficos dos componentes permitiu a visualização dos comportamentos das confiabilidades dos mesmos, proporcionando a identificação das causas da existência dos dois modos de falha para o sistema, conforme ilustrado na Figura D8.

Figura D8 - Funções Confiabilidade para os componentes do eixo Cardan em estudo



Fonte: VACCARO (1997).

A partir da observação que o *software* proporciona sobre os dados do sistema, Vaccaro (1997) constatou que o modelo de Weibull, mesmo considerado inadequado segundo os testes de aderência, produziu estatísticas razoavelmente coerentes com o comportamento dos dados de falha.

Pelo fato de possuir três parâmetros para ajuste, o modelo foi suficientemente versátil para retratar um comportamento “intermediário” para os modos de falha. Este ajuste não indica o melhor procedimento de análise das falhas do sistema, mas sim um procedimento alternativo caso seja imprescindível o ajuste de um modelo a esta amostra de dados.

D2.6 Distribuição Multivariada

O desempenho de um sistema pode ser avaliado por uma ou várias variáveis e modos de falhas múltiplos que estão correlacionadas durante a vida útil da operação, e representam um esquema geral para a avaliação da confiabilidade do desempenho do sistema em muitas aplicações (LU; KOLARIK, 1997).

Conforme Johnson e Wichern (2007), de forma a prever e avaliar o desempenho de um sistema em um ambiente dinâmico em tempo real, a estatística multivariada pode ser aplicada com diversas finalidades, entre elas, reduzir dados ou de simplificar a sua estrutura, de classificar e agrupar, de prever e de elaborar hipóteses e testá-las.

A análise multivariada, em geral, refere-se a todos os métodos estatísticos que analisam simultaneamente múltiplas medidas de um objeto sob investigação. Qualquer análise simultânea de mais de duas variáveis pode ser considerada como análise multivariada (VIALI, 2009).

De acordo com Lu e Kolarik (1997), para um modo de falha que está relacionado a múltiplas variáveis de desempenho, a identificação de falha pode ser representada por uma superfície modelada por uma função de $g(y_1, y_2, \dots, y_p) = 0$ e, em relação à previsão de confiabilidade do desempenho do sistema, suponha-se que $f_i(y_1, y_2, \dots, y_p)$ representa uma função de probabilidade conjunta das variáveis de desempenho no tempo t .

Sendo assim, a probabilidade de que o sistema falhe no modo i ($i = 1, 2, \dots, m$) até o tempo t pode ser calculado pela Equação D17 (LU; KOLARIK, 1997).

$$f_T = \int \dots \int \int \int \Omega_i(y_1, y_2, \dots, y_p) dy_1 dy_2 \dots dy_p \quad (D17)$$

Onde:

f_T - Função densidade de probabilidade do tempo para falha;

Ω_i - Espaço determinado.

A confiabilidade geral do sistema considerando todos os erros m , pode ser avaliado segundo a Equação D18.

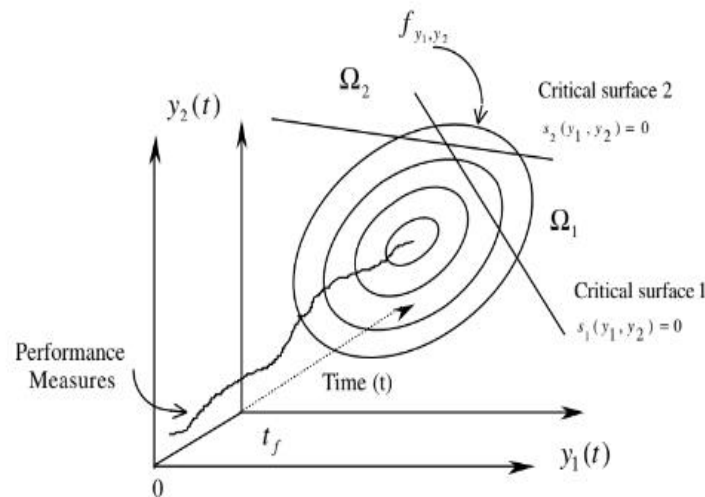
$$\Omega = \Omega_1 \cup \Omega_2 \cup \dots \cup \Omega_m \quad (D18)$$

Com as Equações 17 e 18, respectivamente, é possível então calcular a confiabilidade do desempenho do sistema, considerando cada modo de falha e confiabilidade geral de desempenho em relação a todos os modos de falha.

No caso de um sistema que exiba vários modos de falha, cada modo de falha tem sua própria área de integração, produzindo assim uma confiabilidade de

desempenho correspondente a cada modo de falha, sendo que, a integração multidimensional sobre a união dessas áreas gera uma confiabilidade global do desempenho em relação a todos os modos de falha, conforme demonstrado na Figura D9.

Figura D9 - O conceito de avaliação de confiabilidade de desempenho multivariada com entrada múltipla e saída múltipla



Fonte: LU; KOLARIK (1997).

Conforme Figura D12, conclui-se que:

- A integração sobre a área Ω_1 representa a probabilidade de falha em relação ao modo de falha 1;
- A integração sobre a área Ω_2 representa a probabilidade de falha em relação ao modo de falha 2;
- A integração sobre a união de Ω_1 e Ω_2 representa a probabilidade de falha com relação a ambos os modos de falha, ou seja, probabilidade geral de falha do sistema.

A análise multivariada é uma análise exploratória de dados, prestando-se a gerar hipóteses, e não tecer confirmações a respeito dos mesmos (HAIR, *et al*, 2005). Portanto, volta-se ao passo que é saber qual conhecimento se pretende gerar ou que tipo de hipótese se quer obter a respeito dos dados.

Segundo Wronscki *et al.* (2003) através da publicação em um seminário de qualidade de energia, aplicaram metodologias para identificar associação entre padrões climáticos e qualidade de fornecimento de energia elétrica.

Propuseram a partir de um banco de dados com informações meteorológicas e de um banco de dados com índices de desempenho de empresas do setor elétrico, uma metodologia para identificar padrões climáticos que influenciam na qualidade do fornecimento de energia.

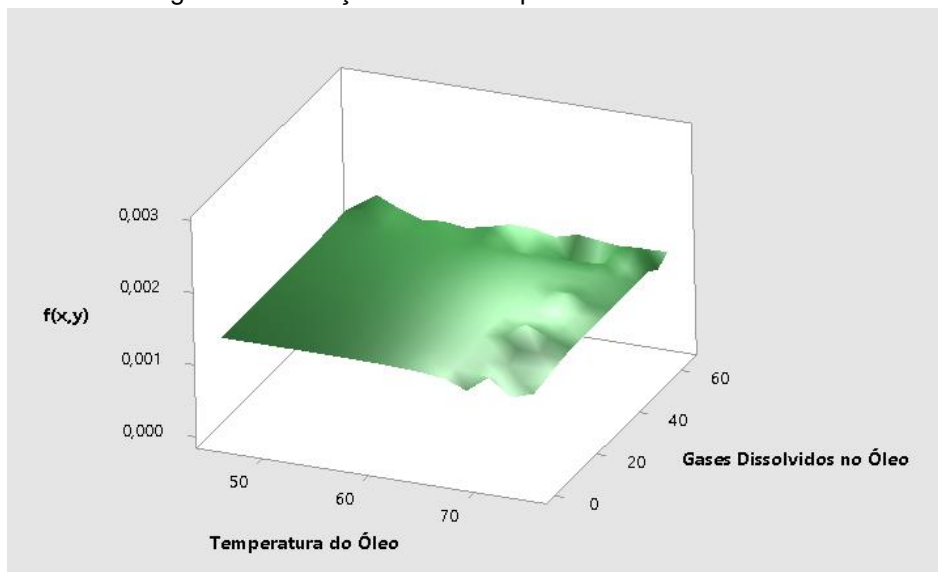
Com isso foram aplicados métodos de estatística multivariada que mostraram uma concordância de 93,73% entre os padrões descobertos aplicando as metodologias ao longo do ano em estudo.

Sendo assim, com o uso da distribuição multivariada permitiu que as empresas definissem de forma preditiva com mais segurança a quantidade de equipes de apoio para ficar em alerta em períodos de condições climáticas adversas.

APÊNDICE E – Gráficos função densidade probabilidade Fase A, Fase B e Fase C

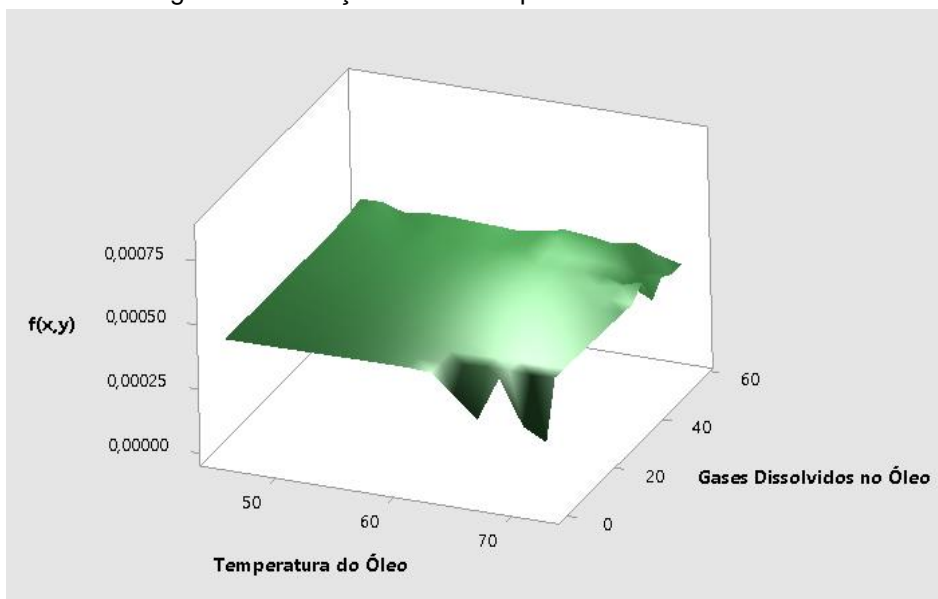
As Figuras E1, E2 e E3 ilustram a distribuição normal bivariada com os valores do vetor média e das variâncias para cada fase $f(x,y)$ que representa a Função Densidade Probabilidade (FDP), juntamente às duas variáveis definidas para o estudo, temperatura do óleo e gases dissolvidos no óleo.

Figura E1 – Função densidade probabilidade da Fase A



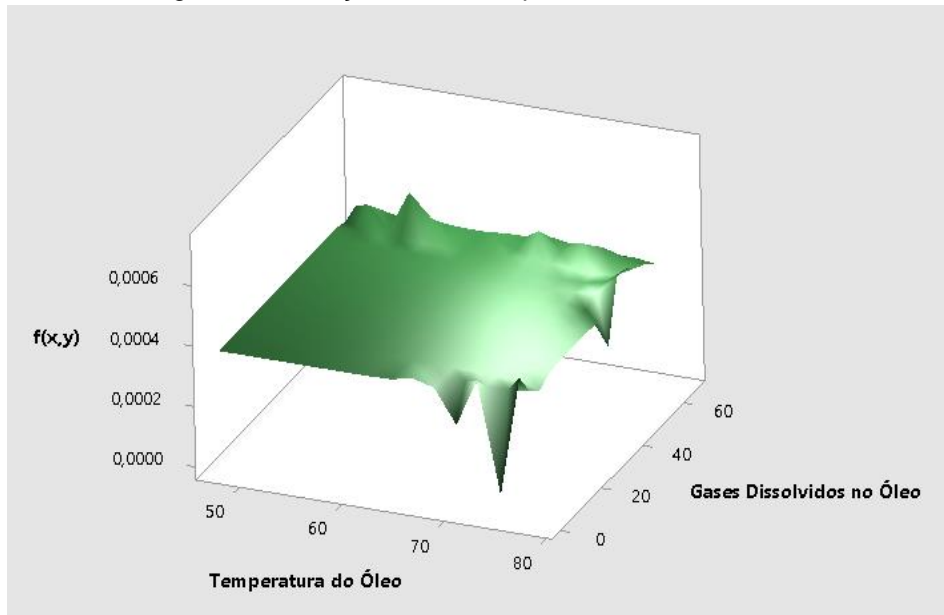
Fonte: Elaboração própria (2019).

Figura E2 – Função densidade probabilidade da Fase B



Fonte: Elaboração própria (2019).

Figura E3 – Função densidade probabilidade da Fase C



Fonte: Elaboração própria (2019).

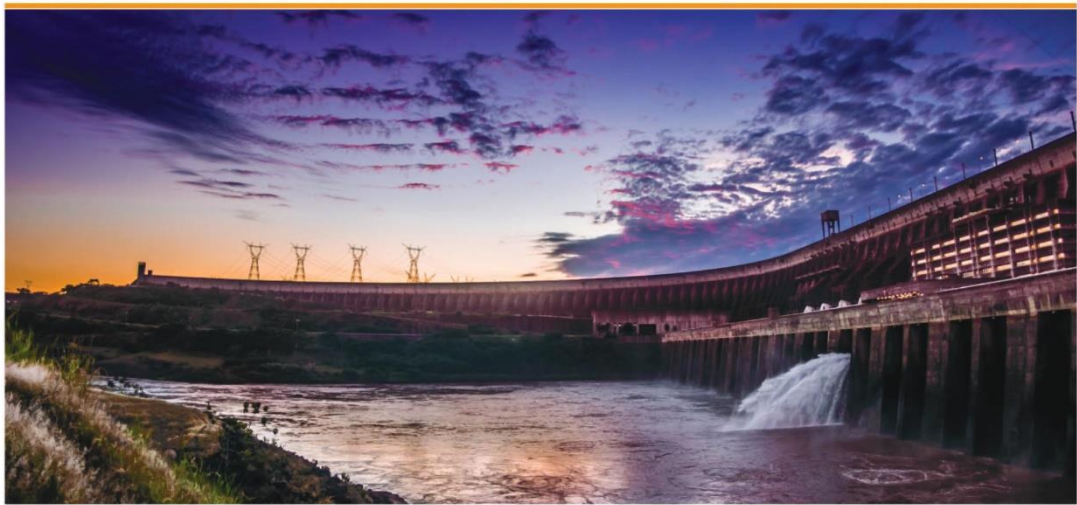
ANEXOS

ANEXO A – Folder de chamada do congresso



XVIII ENCONTRO REGIONAL IBERO-AMERICANO DO CIGRÉ

A Bienal do Cigré na Ibero-América



SEMINÁRIO DA RIAC

REGIÃO IBERO-AMERICANA DO CIGRÉ



COLABORAM

Comitês Nacionais Andino, Argentino,
Chileno, Colombiano, Espanhol
Mexicano, Paraguaio e Português.

FOZ DO IGUAÇU, BRASIL

19 A 23 DE MAIO DE 2019

PROMOÇÃO



REALIZAÇÃO





XVIII ENCONTRO REGIONAL IBERO-AMERICANO DO CIGRÉ

A Bienal do Cigré na Ibero-América

1. ANTECEDENTES

O Encontro Regional Ibero-americano do Cigré, abreviadamente denominado “ERiac”, é o Seminário internacional do Cigré mais importante da “Região Ibero-americana do Cigré” (RIAC).

Desde o ano de 1987 é realizado a cada dois anos na tríplice fronteira, onde nasceu no ano de 1986, como “Encontro Regional Latino-americano do Cigré” (ERLAC).

Este lugar, que é especialmente atrativo por suas belezas naturais, facilita a participação de profissionais dos três países fronteiriços da área – Brasil, Argentina e Paraguai –, que alternadamente sediam, nessa ordem, a organização do evento.

Cabe nesta oportunidade ao Comitê Brasileiro do Cigré organizar a décima oitava edição, o XVIII ERIAC.

No ano 2000, durante a Bienal do Cigré em Paris, realizou-se a primeira reunião programada de representantes dos Comitês Nacionais Ibero-americanos do Cigré, cuja ação conjunta concluiu, durante o X ERLAC, na Argentina, em 19 de maio de 2003, com a proposta ao Cigré da criação da Região Ibero-americana do Cigré (RIAC), que foi aprovada em 28/8/2004. De modo que, desde o XI Encontro, realizado em maio de 2005 no Paraguai, o evento deixou de ser latino-americano para converter-se em ibero-americano: ERIAC em vez de ERLAC. Até o presente, transcorreram dez ERLAC e sete ERIAC.

Quem já teve a oportunidade de presenciar alguma das famosas e tradicionais Sessões Bienais do Cigré em Paris observará que o ERIAC é a Bienal da RIAC, que se realiza em um lugar paradisíaco, com a apresentação e discussão de trabalhos técnicos, mais uma exposição técnica comercial. A qualidade técnica das atividades do Cigré, somada ao espírito de camaradagem e amizade sempre presente nas reuniões, se acentuam no ERIAC, graças ao calor humano próprio dos ibero-americanos e da empatia de seus laços culturais.

2. DATAS-CHAVE

14 Setembro 2018	Data limite para apresentação de Resumos de Trabalhos Técnicos
05 Novembro 2018	Comunicação aos Autores dos Resumos aprovados e dispensados.
14 Janeiro 2019	Data limite para entrega dos Trabalhos Técnicos em formato digital.
15 Março 2019	Comunicação aos Autores dos Trabalhos Técnicos aprovados e dispensados.
20 Março 2019	Publicação do Boletim Nº 2 (sede do evento, inscrições, trabalhos aprovados, hotéis, visitas técnicas, programação para acompanhantes, etc.).
25 Março 2019	Publicação do Programa de Apresentações dos Trabalhos Técnicos.
19-23 Maio 2019	XVIII ERIAC



XVIII ENCONTRO REGIONAL IBERO-AMERICANO DO CIGRÉ

A Bienal do Cigré na Ibero-América

3. O XVIII ERIAC

Com o XVIII ERIAC, a Região Ibero-americana do Cigré (RIAC) tem por objetivo continuar consolidando as inovações que vem implantando com êxito desde o XVI ERIAC, que fazem com que o evento tenha cada vez mais qualidade. Para isso, participam ativamente da organização do ERIAC, além da Argentina, Brasil e Paraguai, os seis outros Comitês Nacionais Ibero-americanos do Cigré: Andino (Bolívia, Equador e Peru), Chileno, Colombiano, Espanhol, Mexicano e Português.

Assim, o ERIAC é um evento Ibero-americano do Cigré, concebido e desenvolvido atendendo pautas da RIAC, sob a responsabilidade do país organizador.

Entre outras disposições que fazem a organização e desenvolvimento de um ERIAC, podem ser citadas as seguintes:

- ▶ Comitê Assessor da RIAC para o ERIAC (CARE): Órgão composto por representantes da Comissão Organizadora e dos outros oito Comitês, para que o evento, tanto em seus aspectos técnicos quanto organizacionais, seja realizado de acordo e com a utilização das melhores experiências e valores da RIAC;
- ▶ Comitê Técnico Acadêmico para o ERIAC com referências internacionais da RIAC: integrado, entre outros profissionais de destaque, por Membros Regulares Ibero-americanos dos 16 Comitês Internacionais de Estudo do Cigré, que serão especificamente responsáveis pela avaliação de resumos e trabalhos técnicos (sistema de revisão por pares ou arbitragem);
- ▶ Programação das sessões técnicas: as sessões técnicas de cada Comitê de Estudo (CE) são realizadas em até dois dos três dias do evento, para benefício dos participantes que podem ter limitações de tempo, ou para facilitar a participação em sessões de outros CEs. São realizados blocos temáticos de 90 minutos de apresentação, com quatro trabalhos (15 minutos cada), além de um espaço comum, no final, de 30 minutos para perguntas e discussões conjuntas (o que maximiza o número de apresentações no mesmo horário e reduz o impacto da ausência imprevista de autores). Esforços são feitos para evitar a sobreposição entre CEs relacionados;
- ▶ Particularidades da programação geral: Conferência Técnica de interesse geral durante a Cerimônia de Abertura; ExpoERiac durante os 4 dias do evento; anúncio de trabalhos premiados durante a Cerimônia de Encerramento e entrega de premiação durante o Jantar de Confraternização; visitas técnicas durante o último dia do evento após os 3 dias de Sessões Técnicas, possibilitando aos interessados fazerem as duas planejadas; Cerimônia de Encerramento e Fórum das Nações durante o último dia das Sessões Técnicas, para aumentar a participação dos participantes e reduzir em um dia o evento para aqueles que já realizaram as visitas técnicas.



XVIII ENCONTRO REGIONAL IBERO-AMERICANO DO CIGRÉ

A Bienal do Cigré na Ibero-América

4. AUTORIDADES DO XVIII ERIAC

- ▶ Presidente do XVIII ERIAC e Presidente do Comitê Nacional Brasileiro do Cigré:
Josias Matos de Araujo
- ▶ Presidente Honorário do XVIII ERIAC e Presidente da RIAC:
Jorge Nizovoy
- ▶ Presidente do Comitê de Organização do XVIII ERIAC:
Celso Villar Torino (Brasil)
- ▶ Comitê Assessor da RIAC para o ERIAC (CARE):
 - Presidente: Jorge Nizovoy
 - Membros: Félix Gallego (AR), Víctor Sinagra (AR), Antonio Simões Pires (BR), Celso Villar Torino (BR), José Henrique Machado Fernandes (BR), Sergio Barrientos Burgué (CL), Carlos Vanegas (CO), Pablo Rodríguez Herrerías (ES), Eric Bolívar Villagómez (MX), Maycoll Mendoza (PE), Pedro Cabral (PT), Anastacio S. Arce (PY), Guillermo González (PY), Ramón Sienna (PY).
- ▶ Comitê Técnico do XVIII ERIAC
 - Presidente:
José Henrique Machado Fernandes (Brasil)
 - Co-Presidente do Comitê Técnico do XVIII ERIAC e Presidente do Comitê Técnico do RIAC:
Anastacio Sebastián Arce (Paraguai)
 - Membros (Este Comitê é constituído por Membros Regulares e Observadores dos Comitês de Estudo Internacionais do Cigré e profissionais de destaque vinculados ao Cigré):
 - Argentina: Alejandro Cannatella; Maria Beatriz Barbieri.
 - Brasil: Marta Lacorte; Marco Rodrigues; Angélica da Costa Oliveira da Rocha; João Mello; Marcelo Araújo.
 - Chile: Gabriel Olguin Parada.
 - Espanha: Patrícia Grego; Javier Iglesias; Roberto Gonzalez; Miguel Angel Sanchez.
 - México: Heitor Sarmiento Uruchurtu; Juan Manuel Máximo Leon.
 - Portugal: Manuela Fonseca; António Jácomo Ramos.

5. SESSÕES TÉCNICAS

Dezesseis Sessões Técnicas Plenárias serão realizadas, uma para cada Comitê de Estudos do Cigré, com o objetivo de apresentar trabalhos técnicos (“papers”) produzidos por especialistas dessas áreas de estudo. Nenhuma Sessão Pôster será realizada.

Cada trabalho técnico deverá ser apresentado por pelo menos um dos seus autores em uma sala separada designada para o Comitê de Estudos da sessão, para o



XVIII ENCONTRO REGIONAL IBERO-AMERICANO DO CIGRÉ

A Bienal do Cigré na Ibero-América

que disporá de projetor e computador com o Microsoft Office PowerPoint instalado, o que facilitará a Comissão Organizadora. O Comitê Técnico irá agendar a apresentação em blocos temáticos de 90 minutos, com quatro trabalhos (15 minutos cada), além de um espaço comum, no final, de 30 minutos para perguntas e discussões conjuntas por parte dos presentes, que estarão dispostos em um arranjo de tipo teatro. As sessões serão moderadas pelas Autoridades de Mesa dos Comitês de Estudo, que serão designadas para o evento por especialistas da RIAC.

Os autores devem enviar seus resumos de propostas e documentos técnicos para aprovação por meio de arquivos do Microsoft Office Word, respeitando as instruções de formatação da organização.

5

6. ACEITAÇÃO DE RESUMOS E TRABALHOS TÉCNICOS

O Comitê Técnico do XVIII ERIAC analisará e avaliará (sistema de revisão por pares) os Resumos de propostas de trabalhos técnicos apresentados e os respectivos Trabalhos Técnicos Finais, recomendando ao Comitê Assessor da RIAC para o XVIII ERIAC (CARE) aqueles Resumos e Trabalhos Técnicos que, ao seu critério, devem ser aceitos.

Os trabalhos técnicos aprovados serão disponibilizados com Nº de ISBN (International Standard Book Number).

Para garantir que o nível do ERIAC seja superado continuamente, a Comissão Técnica é composta por personalidades acadêmicas relevantes e por profissionais estreitamente ligados ao setor elétrico, designados pelos Comitês Nacionais do Cigré da Região Ibero-americana do Cigré perante requisitos específicos de avaliadores da qualidade estabelecida pelo Comitê Técnico, de comum acordo com o CARE.

É digno de nota que entre os membros do Comitê Técnico, existem 16 Membros Regulares de Comitês Internacionais de Estudo do Cigré, a uma razão de um para cada Comitê de Estudos, que é uma referência da qualidade internacional que está sendo promovida a partir da mesma conformação do Comitê Avaliador.

7. PRÊMIOS AOS MELHORES TRABALHOS TÉCNICOS

Para os Comitês de Estudo que receberam mais de 10 Trabalhos Técnicos, o Comitê Técnico recomendará ao Comitê Técnico constituído no local do evento seis Trabalhos Técnicos Excepcionais que possam ser premiados.

O Comitê Técnico constituído no local do evento premiará os três melhores trabalhos apresentados durante o XVIII ERIAC em cada um desses Comitês de Estudo.

Um primeiro prêmio consistirá na entrega aos autores de um "Diploma de Honra" e o Troféu "XVIII ERIAC", enquanto os autores dos dois trabalhos premiados restantes também receberão um "Diploma de Honra".



XVIII ENCONTRO REGIONAL IBERO-AMERICANO DO CIGRÉ

A Bienal do Cigré na Ibero-América

8. IDIOMAS OFICIAIS

As línguas oficiais do XVIII ERIAC são espanhol, português e inglês.

De preferência, os resumos, Trabalhos Técnicos e apresentações devem ser feitos nos dois idiomas da RIAC (espanhol ou português), mas também podem ser apresentados em inglês quando o autor não puder fazê-lo nos idiomas da RIAC.

9. APRESENTAÇÃO DOS RESUMOS

Os especialistas interessados em apresentar Trabalhos Técnicos nas Sessões do XVIII ERIAC poderão carregar o RESUMO (primeiro) e o próprio TRABALHO TÉCNICO (posteriormente, caso o Resumo seja aprovado), a partir da página oficial do evento, com acesso pelo site do evento:

www.xviiiieriac.com.br

Modelos do resumo e do trabalho técnico, no Microsoft Word, podem ser baixados no mesmo site.

O arquivo de resumo, assim como o Trabalho Técnico a ser submetido, deve ser indicado de acordo com o seguinte formato:

CE_N_Surname_X.doc

Onde:

CE: Código alfanumérico de dois dígitos do Comitê de Estudo a que se apresenta;

N: letra inicial do primeiro nome;

Surname: Sobrenome do autor;

X: Identificação necessária quando o autor submete mais de um trabalho para o mesmo Comitê de Estudo (X, entre 1 e n, onde n é o número de Trabalhos Técnicos submetidos pelo autor ao mesmo CE).

Exemplo 1:

O Sr. Miguel Ángel Vitale carrega os seguintes 2 arquivos, correspondentes a dois resumos de trabalhos propostos para o XVIII ERIAC, um para o Comitê de Estudos A2 e outro para o D2:

Resumo 1
A2_M_Vitale_1.doc

Resumo 2
D2_M_Vitale_1.doc



**XVIII ENCONTRO REGIONAL
IBERO-AMERICANO DO CIGRÉ**
A Bienal do Cigré na Ibero-América

Exemplo 2:

Se você enviar dois resumos para o mesmo Comitê de Estudo A2, anexe os seguintes arquivos:

Resumo 1
A2_M_Vitale_1.doc

Resumo 2
A2_M_Vitale_2.doc

9.1 Autor Representante

No caso de Trabalhos Técnicos envolvendo mais de um autor, o “Autor Representante” será aquele designado pelos autores do Trabalho Técnico para comunicar-se com os organizadores do XVIII ERIAC, a fim de que as comunicações sobre o Trabalho Técnico sejam feitas com um único autor.

9.2 Conteúdo do Resumo

O resumo deve consistir de uma descrição sintética e exata do conteúdo do Trabalho Técnico (TT). Embora seja abreviado, ele deve ser detalhado o suficiente para que o objeto e sua contribuição concreta possam ser avaliados.

O resumo deve refletir aspectos do Trabalho Técnico que serão avaliados, como os seguintes:

- ▶ Sobre o que realmente irá tratar, terá análises puramente teóricas, incluirá o uso de resultados de medições, será uma descrição dos estudos realizados?
- ▶ Como os dados e / ou resultados foram obtidos, foram medidos, derivam de deduções, como foram analisados ou elaborados?
- ▶ Resultados obtidos, conclusões e como sua validade será demonstrada.

Além disso, os autores devem levar em conta que:

- ▶ As propostas devem corresponder a um dos temas preferenciais (TP) estabelecidos para um determinado CE, e os números CE e TP devem ser indicados explicitamente nos campos fornecidos quando do carregamento do resumo diretamente na página do XVII ERIAC;
- ▶ O título deve resumir fielmente o que será o TT;
- ▶ O público potencial que poderia ser de interesse para o TT proposto será levado em consideração;
- ▶ Se for baseado essencialmente em um TT que se apresenta em outro evento, que nova contribuição haverá para este ERIAC?



**XVIII ENCONTRO REGIONAL
IBERO-AMERICANO DO CIGRÉ**
A Bienal do Cigré na Ibero-América

O Resumo não deve exceder a folha A4, com fonte ARIAL 10 ou TIMES NEW ROMAN 12. Margens 2,5; 2,5; 2,5; 2,5. Uma única coluna.

Não é necessário que o resumo inclua equações, figuras ou tabelas.

9.3 Palavras-Chaves

Juntamente com o Resumo, uma lista de até 10 palavras que caracterizam os tópicos mais relevantes do Trabalho Técnico deve ser incluída, para que possam ser usadas para facilitar as pesquisas bibliográficas.

9.4 Data Limite para Apresentação de Resumos:

14 de Setembro de 2018.

10. FORMATO DOS TRABALHOS TÉCNICOS

As instruções sobre o formato a ser utilizado para a elaboração dos Trabalhos Técnicos e um modelo útil para isso no MS Word podem ser obtidos na Home Page do evento na Internet.

11. TEMAS PREFERENCIAIS

Os Trabalhos Técnicos deverão tratar de temas que tenham sido estabelecidos como preferenciais para o XVIII ERIAC. Os autores deverão indicar o Comitê e o número dos temas preferenciais ao carregar o resumo na página de submissão de resumos do XVII ERIAC.

Comitê A1 – Máquinas Elétricas Rotativas

1. Motores de alto rendimento.
2. Novas tecnologias para mitigação de impacto ambiental.
3. Vida útil ou envelhecimento dos equipamentos: fadiga, cavitação, vibração e isolamento elétrica.
4. Estudo das perturbações no sistema de transmissão que afetam os equipamentos de geração.
5. Monitoramento do estado dos equipamentos de geração: descargas parciais, vibrações, isolamento elétrica.



**XVIII ENCONTRO REGIONAL
IBERO-AMERICANO DO CIGRÉ**
A Bienal do Cigré na Ibero-América

6. Indicadores de sustentabilidade para a geração e transmissão de energia elétrica.
7. Novas tecnologias aplicadas a projetos e manutenção de máquinas elétricas rotativas.
8. Estudo de novos modelos de turbinas para casos gerais de reforma.
9. Perdas de estabilidade por injeção de potência.
10. Ensaio de curto-circuito e precisão de leitura de temperaturas.
11. Redução de custos de obras civis em função da redução dos rotores Kaplan.
12. Confiabilidade e vida útil dos subsistemas da central (motor de impulso, gerador, sistema de controle, etc.).
13. Impacto do modo de operação no envelhecimento das unidades geradoras e manutenção das mesmas.



Comitê A2 – Transformadores

1. Sistema de monitoramento: casos de sucesso de sistemas de monitoramento e análise de falhas.
2. Práticas inovadoras de manutenção que reduzem o tempo de desligamento
3. Novos marcadores químicos de envelhecimento de celulose em equipamentos elétricos. Técnicas preditivas aplicadas a óleo vegetal.
4. Critérios de análise de medições de resposta em frequência, modelagem de alta frequência para transformadores de potência e reatores de derivação, incluindo comparação com medições. Análise de transitórios que reduzam a vida útil do transformador/ reator.
5. Experiência com montagem de transformadores na subestação (desmontagem / montagem, teste de comissionamento etc.).
6. Análise de falhas e investigação post mortem.
7. Experiência do usuário em extensão de vida útil e modelos econômicos de avaliação do investimento.



**XVIII ENCONTRO REGIONAL
IBERO-AMERICANO DO CIGRÉ**
A Bienal do Cigré na Ibero-América

Comitê A3 – Equipamentos de alta tensão

1. Requisitos para equipamentos em redes em evolução.
2. Incorporação de inteligência em equipamentos de alta tensão (sistema de sincronismo para manobras controladas e monitoramento/diagnóstico de equipamentos).
3. Avaliação do envelhecimento de equipamentos e gerenciamento da vida útil remanescente.
4. Métodos mitigadores para superação de equipamentos de alta tensão.
5. Aplicação de transformadores de medição óticos e eletrônicos.
6. Análise de falhas em transformadores de instrumentos.

Comitê B1 – Cabos Isolados

1. Sistemas de aterramento e limitadores de sobretensão (análises de sobretensões, projetos, ensaio, operação e monitoramento).
2. Comportamento de cabos na presença de fogo.
3. Experiências em manutenção de cabos subterrâneos de Alta e Média tensão.
4. Ensaio e diagnósticos de cabos subterrâneos de Alta e Média tensão.

Comitê B2 – Linhas Aéreas

1. Uso de simulações computacionais no projeto eletromecânico de linhas de transmissão.
2. Uso de dados climatológicos para estudos de projeto e desempenho de linhas de transmissão.
3. Gestão dos Ativos e uso e ocupação de faixas de linhas de transmissão.
4. Estudos sobre o envelhecimento de ativos de linhas de transmissão.
5. Estudos de fundações não convencionais de linhas de transmissão.
6. Estudos sobre o monitoramento de ativos de linhas de transmissão.



**XVIII ENCONTRO REGIONAL
IBERO-AMERICANO DO CIGRÉ**
A Bienal do Cigré na Ibero-América

7. Estudos e tecnologias para aumentar o desempenho, a confiabilidade e a capacidade de transmissão das linhas de transmissão.
8. Estudos sobre poluição de componentes de linhas de transmissão.
9. Técnicas autônomas para construção e manutenção de linhas de transmissão.
10. Aplicação de realidade virtual no projeto, operação e manutenção de linhas de transmissão.
11. Minimização dos impactos ambientais e sociais na expansão de linhas de transmissão.
12. Técnicas não convencionais na construção e manutenção de linhas de transmissão.
13. Uso, aplicação e avaliação de novos materiais em linhas de transmissão.
14. Aplicação de condutores não convencionais, vantagens e desvantagens.



Comitê B3 – Subestações

1. Novas configurações de subestações para maior confiabilidade e redução de custos.
2. Combinação de tecnologias GIS, GIL e cabos isolados como soluções de subestação.
3. Soluções de mitigação das subestações para atender aos novos requisitos de rede, incluindo o crescimento de recursos de energia renováveis.
4. Novas tendências e soluções para subestações modulares, pré-fabricadas e de montagem rápida.
5. Subestações móveis – considerações de especificação e projeto.
6. Teste de alta tensão no campo em subestações GIS, HIS, MTS após a instalação, ampliação, retrofit ou reparo.
7. Dimensionamento de barramento de subestações: requisitos elétricos, mecânicos e civil.
8. Desenvolvimento de projetos focando segurança, saúde e reciclagem - "Soluções amigas do meio ambiente - Ecodesign".
9. Gestão de saúde, segurança e exigências ambientais para subestações, incluindo treinamento.



**XVIII ENCONTRO REGIONAL
IBERO-AMERICANO DO CIGRÉ**
A Bienal do Cigré na Ibero-América

10. Segurança de subestações contra a invasão física e cibernética.

Comitê B4 – HVDC e eletrônica de potência

1. Novos projetos e planejamento de elos HVDC e controladores FACTS, incluindo aspectos ambientais, regulatórios e ensaios de equipamentos para verificação e desempenho.
2. Desenvolvimento tecnológico de FACTS e HVDC, incluindo as respectivas estações conversoras.
3. Modelagem, simulações e testes de equipamentos FACTS e enlaces de HVDC. Experiência operativa, desempenho e confiabilidade dos equipamentos existentes.
4. Novas aplicações de HVDC e FACTS, tais como rede em HVDC, sistemas multiterminais de HVDC, integração de fontes de energia renováveis que utilizam eletrônica de potência/conversores VSC e melhoria no suprimento de energia elétrica com a utilização de eletrônica de potência.
5. Operação coordenada de sistemas FACTS eletricamente próximos; aplicação de dispositivos FACTS em lugares de baixo nível de curto-circuito; sistema HVDC multi-infeed; coordenação de HVDC multivendores e multiowners; modernização de HVDC e FACTS existentes.
6. Aplicações de HVDC em projetos de energia renovável (eólica, solar e outras).

Nota: O termo HVDC no presente contexto inclui os equipamentos baseados em tiristores (LCC – Line Commutated Converter) e em semicondutores com capacidade de corte de corrente (VSC – Voltage Sourced Converter). O termo FACTS, da mesma forma, inclui os equipamentos baseados em tiristores e VSC.

Comitê B5 – Proteções e Automação

1. Algoritmos, ensaios, modelos, simulações, funções e aplicações avançadas para sistemas de proteção, automação e controle.
2. Ajustes, coordenação e ferramentas computacionais para sistemas de proteção.
3. Monitoração, proteção e controle para grandes sistemas de potência (WAMPACS), incluindo o impacto de FACTS, HDVC na proteção de sistemas CA.
4. Impacto da integração de fontes de energia distribuídas (eólica, solar e veicular) e de sistemas de armazenamento de energia nos sistemas de proteção, controle e automação.



**XVIII ENCONTRO REGIONAL
IBERO-AMERICANO DO CIGRÉ**
A Bienal do Cigré na Ibero-América

5. Proteção, automação e controle para redes inteligentes (Smart Grids) no nível de distribuição (cargas residenciais e comerciais).
6. Análise de perturbações: estudo de casos, lições aprendidas, análise automática de faltas e ferramentas de análise.
7. Aplicações e resultados da tecnologia de sincrofasores.
8. Automação e digitalização de usinas, subestações, redes de distribuição e instalações de grandes consumidores. Experiências de aplicações e benefícios alcançados.
9. Aplicações da norma IEC 61850, requisitos e ferramentas de projeto, arquiteturas, manutenção e experiências incluindo utilização de barramentos de processo e transformadores de instrumento não convencionais.
10. Automação da medição: estratégias, critérios e padrões na medição operacional e de faturamento; implantação de sistemas e centros de medição.
11. Gerenciamento do ciclo de vida dos ativos de proteção, automação e controle, incluindo fases de teste, implantação, expansões, manutenção e retrofit.
12. Gestão do desempenho de sistemas de proteção e automação e ações visando maior confiabilidade e disponibilidade dos ativos monitorados.
13. Comunicação de dados e segurança cibernética em sistemas de proteção, automação e controle.
14. Desafios no treinamento e capacitação dos profissionais e gestores da área de proteção, controle e automação.

13

Comitê C1 – Desenvolvimento de sistemas elétricos e economia

1. Experiências de integração de fontes renováveis.
2. Uso de novas tecnologias no planejamento de sistemas.
3. Planejamento de sistemas de transmissão em grandes distâncias.
4. Análise de factibilidade técnica e econômica de interligações internacionais.
5. Mitigação das correntes de curto-circuito em instalações de HV.
6. Redes inteligentes – iniciativas em instalações de HV.



**XVIII ENCONTRO REGIONAL
IBERO-AMERICANO DO CIGRÉ**
A Bienal do Cigré na Ibero-América

7. Impactos em estabilidade de tensão e frequência de energias renováveis.
8. A expansão do sistema de transmissão em regiões de alta densidade populacional.
9. O planejamento integrado da expansão: transmissão e distribuição.
10. Gestão de ativos no final da vida útil, econômica ou regulatória.

Comitê C2 – Operação e controle de sistemas

1. Aumento da capacidade de transmissão com troncos existentes.
2. Operação do sistema com aumento da inserção de energia renovável.
3. Desafios para empresas de distribuição perante a alta participação de geração distribuída.
4. Experiências de utilização de PMU em sistema de potência (WAMS).
5. Viabilidade de aplicação de automatismo na operação em tempo real.
6. Melhoria da consciência situacional em centros de controles (multidisciplinar).
7. Treinamento das equipes de operação em tempo real diante de novas tecnologias e necessidades: uso de simuladores e treinamentos envolvendo múltiplos agentes.

Comitê C3 – Desempenho ambiental de sistemas

1. Comunicação e participação com a sociedade desde o planejamento de projetos e melhores práticas para aceitação pública de subestações e linhas.
2. Avaliação econômica de impactos sociais e ambientais; análise de risco socioeconômico e ambiental.
3. Avaliação do impacto ambiental e socioeconômico do planejamento à operação de sistemas elétricos, incluindo instalações de geração renovável. Uso de indicadores.
4. Impactos ambientais e sociais na avaliação do fornecimento de energia elétrica em áreas isoladas.
5. Indicadores de sustentabilidade para geração e transmissão de energia elétrica.
6. Gestão responsável de aspectos relacionados aos campos elétrico e magnético.



**XVIII ENCONTRO REGIONAL
IBERO-AMERICANO DO CIGRÉ**
A Bienal do Cigré na Ibero-América

7. Gestão de conflitos institucionais, legais, sociais, técnicos, etc. no projeto, instalação e operação de instalações.
8. Gestão de passivos ambientais nas empresas do setor elétrico.
9. Mudança climática, sua influência no projeto, operação e manutenção dos sistemas.

Comitê C4 – Desempenho de sistemas elétricos

1. Impacto do aumento do uso de dispositivos não lineares na qualidade da energia em redes de distribuição.
2. Técnicas e procedimentos para simulação e medição de qualidade de energia.
3. Impacto da integração de fontes de energia renovável conectadas através de inversores e instalações não lineares (HVDC, SVC, etc.) na qualidade do sistema; Tratamento dos requisitos relativos à qualidade, como o dimensionamento de filtros. Estudo de casos.
4. Sistemas de monitoramento da qualidade de energia.
5. Análise de causas e efeitos de sobretensões temporárias e transitórias em sistemas elétricos de potência. Métodos de controle de sobretensões. Impacto no desempenho dos equipamentos de instalações. Métodos para a avaliação destes impactos.
6. Estudos e investigações do impacto das descargas atmosféricas no desempenho do sistema. Desenvolvimento de modelos e metodologias para a análise do desempenho de linhas e subestações frente a descargas diretas e indiretas. Comparação de desempenho real e da simulação, estudos de casos.
7. Implementação e estudo de sistemas de monitoramento em tempo real de descargas atmosféricas em redes elétricas.
8. Melhoria de modelos e ferramentas para simulação de sistemas elétricos de potência em estudos de regime permanente, dinâmico e transitório, com ênfase em fontes renováveis de energia, particularmente eólica e fotovoltaica.
9. Desenvolvimento de modelos equivalentes do sistema para estudos dinâmicos e transitórios, com inserção de geração eólica, fotovoltaica e HVDC.
10. Experiências com o uso de simuladores em tempo real.
11. Modelagem de cargas lineares e não lineares. Estudos de casos.



**XVIII ENCONTRO REGIONAL
IBERO-AMERICANO DO CIGRÉ**
A Bienal do Cigré na Ibero-América

Comitê C5 – Mercados de eletricidade e regulação

1. Evolução da formação do preço do mercado de curto prazo.
2. Abertura do mercado de energia.
3. Segurança financeira e gestão de risco do mercado de energia elétrica.
4. Segurança e financiabilidade da expansão.
5. Aprimoramento das tarifas de energia.
6. Atributos das fontes de energia e mecanismos de incentivo de fontes renováveis – competitividade, sustentabilidade e mitigação de emissões.
7. Ampliação da integração comercial dos mercados na América.
8. Aspectos comerciais e regulatórios da ampliação da flexibilidade operativa e de recursos distribuídos (geração distribuída, resposta da demanda e armazenamento).
9. Gestão da operação e comercialização com aumento das fontes intermitentes.

16

Comitê C6 – Sistema de distribuição e geração distribuída

1. Aplicações de armazenamento de energia em redes de distribuição.
2. Avaliação, capacidade de alocação e previsão de geração distribuída, considerando casos reais de aplicação em redes de distribuição e sistemas isolados (eletrificação rural).
3. Gestão operativa de redes elétricas inteligentes, incluindo microrredes.
4. Normas e regulação da geração distribuída e esquemas de gestão pela demanda, incluindo casos de aplicações reais.
5. Tecnologias emergentes em redes elétricas inteligentes (Smart Grid).

Comitê D1 – Materiais e tecnologias emergentes

1. Desenvolvimento de metodologias, ensaios e calibração para testes de ultra-alta tensão.
2. Técnicas não invasivas de diagnósticos e desempenho de materiais.



**XVIII ENCONTRO REGIONAL
IBERO-AMERICANO DO CIGRÉ**
A Bienal do Cigré na Ibero-América

3. Novos ensaios e/ou atualização de metodologias.
4. Validação de desempenho em laboratório de novos materiais dielétricos.
5. Introdução, impacto e validação de novos materiais dielétricos no sistema.

Comitê D2 – Sistemas de Informação e Telecomunicação para sistemas elétricos

1. Migração tecnológica de redes ópticas TDM para Redes de Pacotes.
2. Cibersegurança aplicada a sistemas de aquisição, supervisão e controle de sistemas de potência.
3. Comunicações e aplicações para smartgrids.
4. Sistemas de TI para apoio a operação e manutenção de sistemas elétricos.
5. Sincronização unificada para redes de TO (tecnologia de operações) e TI (tecnologia de informação).
6. Redes de Telecomunicações para PMUs.

17

12. CERIMÔNIA DE ABERTURA

Em conjunto com a Cerimônia de Abertura pelas autoridades da Região, uma Conferência Técnica será realizada por um renomado especialista internacional do Cigré.

13. FÓRUM DAS NAÇÕES

Dois altos executivos da Ibero-América realizarão palestras sobre temas atuais de interesse geral para a Região.

Cada apresentação terá a duração de 20 minutos e haverá um espaço final de 20 minutos para comentários e / ou perguntas dos participantes.

14. ExpoERAC

Em paralelo com o ERIAC será realizada uma “Exposição de Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica – Tecnologias, Equipamentos e Serviços”, cujo principal objetivo é tornar conhecidos equipamentos e serviços que atualmente ou no curto prazo constituam novidades significativas para essas atividades.



**XVIII ENCONTRO REGIONAL
IBERO-AMERICANO DO CIGRÉ**
A Bienal do Cigré na Ibero-América

Para possíveis patrocínios e maiores detalhes, as empresas são convidadas a entrar em contato com Comitê Organizador do XVIII ERIAC por meio do e-mail abaixo:

e-mail: xviiiieriac@itaipu.gov.br

15. WEB SITE DO XVIII ERIAC

Será acessado a partir do endereço:
www.xviiiieriac.com.br

Nele serão divulgadas notícias e informações para os interessados no evento.

16. VISITAS TÉCNICAS

Os participantes no XVIII ERIAC poderão realizar as seguintes visitas técnicas na quinta-feira (23/5/2019):

- ▶ Usina Hidrelétrica Itaipu Binacional (20 x 700 MW).
- ▶ Estação conversora de FURNAS em Foz do Iguaçu, do sistema de transmissão em corrente contínua de Itaipu em ± 600 kV - 6300 MW.



**XVIII ENCONTRO REGIONAL
IBERO-AMERICANO DO CIGRÉ**
A Bienal do Cigré na Ibero-América

17. CRONOGRAMA GERAL DO XVIII ERIAC

Horário	Domingo (19)	2ª Feira (20)	3ª Feira (21)	4ª Feira (22)	5ª Feira (23)
09:00-10:30		Sessões Técnicas* (4x 15' apresentações + 30' discussões)			Visita Técnica à Usina Hidrelétrica de Itaipu
10:30-11:00		Coffee Break			
11:00-12:30		Sessões Técnicas* (4x 15' apresentações + 30' discussões)			20x700MW
12:30-13:30		Almoço		Almoço	
13:30-14:00		Sessões Técnicas* (4x 15' apresentações + 30' discussões)			Visita Técnica à Estação Conversora HVDC de Furnas ±600kV DC – 2x 3.1550MW
14:00-15:00		Coffee Break			
15:00-15:30		Coffee Break			
15:30-16:00		Fórum das Nações			
16:00-16:30		Sessões Técnicas* (4x 15' apresentações + 30' discussões)			
16:30-17:00		Cerimônia de Encerramento			
17:00-17:30	Inscrições Acreditações				
17:30-18:00					
18:00-18:30					
18:30-19:00					
19:00-19:45	Cerimônia de Abertura				
19:45-20:15					
20:15-20:30	Inauguração EXPOERÍAC				
20:30-21:00	Cocktail de Boas-vindas				
21:00-21:45					
21:45-23:00		Jantar de Confraternização Entrega de Prêmios do ERIAC			
23:00-23:30					

* Nos 16 Comitês de Estudo do Cigré serão apresentados mais de 300 trabalhos técnicos. Esses trabalhos técnicos serão apresentados em 8 salas simultâneas (blocos de 4x15min de apresentação de 4 artigos, seguidos de 30 min de debate conjunto desses 4 trabalhos técnicos). Idiomas oficiais: português, espanhol e inglês.

Nota:

Antes do início do evento, as autoridades da RIAC se reunirão em particular em uma reunião anual ordinária.

18. XVIII ERIAC – COMISSÃO ORGANIZADORA

Celso Villar Torino / Coordenação-Geral

Rui Jovita Godinho Correa da Silva / Secretaria Executiva

Cristiane Penha da S. Fraga Pimenta / Coordenação Administrativa e de Contratos

Rebecca Bonomo Montanheiro / Coordenação de Comunicação Social

Renato Boiarski Vieira / Coordenação Financeira

email: xviiiieriac@itaipu.gov.br