

Referências bibliográficas

ALMEIDA, A. T. e COSTA, A. P. C. S. (2003) Aplicações com métodos multicritério de apoio à decisão. Recife: Universitária da UFPE.

ALMEIDA, A. T. e SOUZA, F. C. M. (2001) Gestão da Manutenção na direção da competitividade. Recife, Ed Universitária, 2001. p.357-378.

BABIC, Z.; PLAZIBAT, N. (1998) Ranking of enterprises based on multicriterial analysis. *International Journal of Production economics*, v. 56-57, n. 20, p. 29-35, sep. 1998.

BARALDI, P. (2005) Gerenciamento de riscos empresariais: a gestão de oportunidades, a avaliação de riscos e a criação de controles internos nas decisões empresariais. Rio de Janeiro: Elsevier.

BEN-DAYA, M. e RAOUF, A. (1993) A revised failure mode and effects analysis model. *International Journal of Quality Reliability Management*, n. 1, v. 13.

BOUMA, J. P.; FRANÇOIS, D.; TROCH, P. (2005) Risk assessment and water management. *Environmental Modelling & Software*, 20, 141-151.

BOWLES, J. B. e PELÁEZ, C. E. (1995) "Fuzzy logic prioritization in a system failure mode, effect and criticality analysis", *Reliability Engineering and System Safety*, v. 50, n. 2, pp 203-213.

BOWLES, J. B. e PELÁEZ, C. E. (1996) "Using fuzzy cognitive maps as a system model for failure modes and effects analysis", *Information Science*, v. 88, n. 1-4, pp 177-199.

BOWLES, J. B. (2003) "An assessment of RPN prioritization in a failure modes effects and criticality analysis", In: *IEEE Proceedings annual Reliability and Maintainability Symposium*, p 48-53.

BRANS, J. P.; VINCKE, P. H. (1985) A preference ranking organization method, the PROMETHEE method for MCDM. *Mgmt. Sci.*, v. 31, p. 647-656, 1985.

BRANS, J. P.; MARESCHAL, B.; VINCKE, P. (1986) How to select and how to rank projects: The PROMETHEE Method. *European Journal of Operational Research*, 24, 228-238.

BRANS, J.P. & MARESCHAL, B. (1994). PROMCALC & GAIA: A new decision support system for multicriteria decision aid. *Decision Support Systems*, 12, 297-310.

BRAUER, D. C. and BRAUER, G. D. (1987) Reliability-Centered Maintenance, *IEEE Transactions on Reliability*, vol. 36, no. 1, p. 17-24.

CHANG, C.L.; LIU, P.H. & WEI, C.C. (2001) Failure mode and effects analysis using grey theory. *Integrated Manufacturing Systems*, n.3, v.12.

CHIAVENATO, Idalberto. (1999) Introdução à teoria geral da administração. 5ª Edição, Rio de Janeiro: Campus.

- COSO Enterprise Risk Management – Integrated Framework. 2004. COSO.
- COSTA, J. F. S. (1999), Uma aplicação de metodologia multicritério na qualidade do ensino. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 19, 1999, Rio de Janeiro.
- CRELLIN, G. L., MATTESON, T. D., e SMITH, A. M. (1986) Use of Reliability Centered Maintenance for McGuire Nuclear Station Feedwater System, EPRI NP-4795, September, 1986.
- CZYZAK, P.; SLOWINSKI, R. (1996) Possibilistic construction of fuzzy outranking relation for multiple criteria ranking. *Fuzzy Sets and Systems* 81 123-131.
- DUBOIS, D. and PRADE, H. (1978) Operations on Fuzzy Numbers. *International Journal of Systems Science*, v.9, n. 06, 613-626.
- DUBOIS, D. and PRADE, H. (1979) Decision making under fuzziness, In M. M. Gupta, R. K. Ragade, R. R. Yager (eds.) *Advances in Fuzzy Set Theory and Applications*, North Holland, 279-302.
- DUBOIS, D. and PRADE, H. (1988) *Possibility Theory*, Plenum Press, New York.
- DUPONT, C. J. (2003) Integração de Análises de Defeitos e Definição de um Grau de Risco Global para Transformadores de Potência. Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ.
- DUPONT, C. J. (2006) Defect Analysis Integration for Effective Management of Substation Equipment. In: *CMD 2006 - International Conference of Condition Monitoring and Diagnosis 2006*, 2006, Changwon. *CMD2006*, 2006.
- GARCIA, P. A. A. (2006) Uma Abordagem Fuzzy com Envelopamento de Dados da Análise dos Modos e Efeitos de Falha. Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ.
- GELDERMANN, J.; SPENGLER, T.; RENTZ, O. (2000) Fuzzy Outranking for Environmental Assessment. Case Study: Iron and Steel Making Industry. *Fuzzy Sets and Systems*, 115, 45-65.
- GILCHRIST, W. (1993), Modeling failure modes and effects analysis. *International Journal of Quality Reliability Management*, n. 5, v. 10, 1993.
- GOMES, L. F. A. M.; FREITAS JR, A. (2000), A importância do apoio multicritério à decisão na formação do administrador. *Revista ANGRAD*, v.1, n.1. Rio de Janeiro, jul./set.2000
- GOMES, L. F. A. M.; GOMES, C. F. S.; ALMEIDA, A. T. (2006) *Tomada de Decisão Gerencial: Enfoque Multicritério*. Editora: Atlas
- GOMES, L. F. M. A.; ARAYA, M. C. G. e CARIGNANO, C. (2004) *Tomada de decisões em cenários complexos*. São Paulo: Pioneira.
- GOUMAS, M.; LYGEROU, V. (2000) An Extension of the PROMETHEE Method for Decision Making in Fuzzy Environment: Ranking of Alternative Energy Exploration Projects. *European Journal of Operational Research*, 123, 66-613.

IEC 60300-3-11. Gestion de la sureté de fonctionnement – Partie 3-11 : Guide d’application – Maintenance basée sur la fiabilité. Commission Electrotechnique Internationale, Geneva, Switzerland.

JONHSTON, D. C. (2002) Measuring RCM implementation. In: ANNUAL RELIABILITY AND MAINTAINABILITY SYMPOSIUM, 2002a, IEEE. Proceedings: IEEE, 2002. p.511-515.

KAUFMANN, A.; GUPTA, M. A. (1984) Introduction to fuzzy arithmetic. Van Nostrand Reinhold Company Inc, New York.

KEENEY, R.L. e RAIFFA, H. (1976). Decision with Multiple Objectives: Preferences and Value Trade-offs. John Wiley & Sons, New York.

LAFRAIA, J. R. B. (2001) Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade. Qualitymark: Petrobras, Rio de Janeiro.

LOPES, M. R. C. M. (2005) Uso das metodologias PROMETHEE e F-PROMETHEE na avaliação de clientes. UFPR. Curitiba

MANDANI, E.H. (1974) Application of Fuzzy Algorithms for Control of Simple Dynamic Plant. Proceedings of the IEEE (Control and Science), Vol. 121: 298-316.

MOUBRAY, J. (2000) Manutenção Centrada em Confiabilidade. Aladon Ltd. Lutterworth.

NASCIMENTO, L. F. A.; SANTOS, C. C.; SILVA, J. S.; DUPONT, C. J.; MOREIRA, M. P.; DUCHARME, C.; CUENCA, W. M. H.; MATA, C. G.; BARROS, R. A. L.; LAM, K. C.; JUNQUEIRA, A. J.; VERDOLIM, R. T. (2007) Desenvolvimento de Metodologias para a Integração do Diagnóstico de Defeitos de Transformadores de Potência. IV Citenel, Araxá, MG.

NGUYEN, H. T.; WALKER, E. A. (1997) A first course in difuso logic. USA, CRC PRESS.

NOWLAN F. S. & HEAP H. (1978) Reliability-centered Maintenance. Springfield, Virginia: National Technical Information Service, US Departament of Commerce.

PERNY, P. and ROY, B. (1992) The use of fuzzy outranking relations in preference modeling. Fuzzy Sets and Systems 49: 33-53.

RADOJEVIC D.; PETROVIC, S. (1997) A Fuzzy Aproach to Preference Struture in Multicriteria Ranking. International Transactions in Operational Research, v. 04, n. 5/6, 419-430.

ROY, B. (1968) Classement et choix en presence de points de vue multiples (la méthode ELECTRE). Lausanne Presses Polytechniques et Universitaires Romandes.

ROY, B. (1985) Méthologie Multicritère d’Aide à Décision. Paris: Economica.

ROY, B. (1996) Multicriteria methodology for Decision Aiding. Kluwer Academic Plublishers, Netherlands.

SAATY, T. L. (1980), The Analytic Hierarchy Process, MacGraw-Hill, New York, NY.

SAE International. Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard. SAE JA1011, Warrendale, PA, USA, 1999.

SIQUEIRA, I. P. (2005) Manutenção Centrada na Confiabilidade: Manual de Implementação. Rio de Janeiro: Qualitymark.

SMITH, A., M. (1993) Reliability Centered Maintenance, McGraw Hill Inc.

TAKAGI, T. & SUGENO, M. (1985) Fuzzy Identification of Systems and its Applications to Modelling and Control. IEEE Trans. On Systems, Man & Cybernetics, Vol. 15; 116-132.

TANSCHKEIT, R. (1998) Lógica difusa, Raciocínio Aproximado e Mecanismo de Inferência. In: Encontro Nacional de Automática, 17, 1998, Natal.

VINCKE, P. (1992) Multicriteria decision-aid. Londres: John Wiley & Sons, Bruxelles.

WERNKE, R.; BORNIA, A. C. (2001) A contabilidade gerencial e os métodos multicriteriais. **Revista de Contabilidade e Finanças da USP**, v. 14, n. 25.

ZADEH, L. A. (1965), "Fuzzy Sets". Information and Control, vol. 8, pp. 338-353.

Apêndice 1

Conjunto de Regras

A seguir são apresentadas as regras criadas por especialistas, utilizadas no sistema de inferência fuzzy para a obtenção da severidade, descrito no capítulo 4.

1. If (SE is Baixa) and (SO is Baixa) and (SS is Baixa) and (SA is Baixa) then (SG is Insignificante)
2. If (SE is Baixa) and (SO is Baixa) and (SS is Baixa) and (SA is Média) then (SG is Mínima)
3. If (SE is Baixa) and (SO is Baixa) and (SS is Baixa) and (SA is Alta) then (SG is Crítica)
4. If (SE is Baixa) and (SO is Baixa) and (SS is Média) and (SA is Baixa) then (SG is Mínima)
5. If (SE is Baixa) and (SO is Baixa) and (SS is Média) and (SA is Média) then (SG is Marginal)
6. If (SE is Baixa) and (SO is Baixa) and (SS is Média) and (SA is Alta) then (SG is Crítica)
7. If (SE is Baixa) and (SO is Baixa) and (SS is Alta) and (SA is Baixa) then (SG is Catastrófica)
8. If (SE is Baixa) and (SO is Baixa) and (SS is Alta) and (SA is Média) then (SG is Catastrófica)
9. If (SE is Baixa) and (SO is Baixa) and (SS is Alta) and (SA is Alta) then (SG is Catastrófica)
10. If (SE is Baixa) and (SO is Média) and (SS is Baixa) and (SA is Baixa) then (SG is Mínima)
11. If (SE is Baixa) and (SO is Média) and (SS is Baixa) and (SA is Média) then (SG is Marginal)
12. If (SE is Baixa) and (SO is Média) and (SS is Baixa) and (SA is Alta) then (SG is Crítica)
13. If (SE is Baixa) and (SO is Média) and (SS is Média) and (SA is Baixa) then (SG is Marginal)

14. If (SE is Baixa) and (SO is Média) and (SS is Média) and (SA is Média)
then (SG is Crítica)

15. If (SE is Baixa) and (SO is Média) and (SS is Média) and (SA is Alta)
then (SG is Catastrófica)

16. If (SE is Baixa) and (SO is Média) and (SS is Alta) and (SA is Baixa)
then (SG is Catastrófica)

17. If (SE is Baixa) and (SO is Média) and (SS is Alta) and (SA is Média)
then (SG is Catastrófica)

18. If (SE is Baixa) and (SO is Média) and (SS is Alta) and (SA is Alta)
then (SG is Catastrófica)

19. If (SE is Baixa) and (SO is Alta) and (SS is Baixa) and (SA is Baixa)
then (SG is Crítica)

20. If (SE is Baixa) and (SO is Alta) and (SS is Baixa) and (SA is Média)
then (SG is Crítica)

21. If (SE is Baixa) and (SO is Alta) and (SS is Baixa) and (SA is Alta) then
(SG is Catastrófica)

22. If (SE is Baixa) and (SO is Alta) and (SS is Média) and (SA is Baixa)
then (SG is Crítica)

23. If (SE is Baixa) and (SO is Alta) and (SS is Média) and (SA is Média)
then (SG is Crítica)

24. If (SE is Baixa) and (SO is Alta) and (SS is Média) and (SA is Alta)
then (SG is Catastrófica)

25. If (SE is Baixa) and (SO is Alta) and (SS is Alta) and (SA is Baixa) then
(SG is Catastrófica)

26. If (SE is Baixa) and (SO is Alta) and (SS is Alta) and (SA is Média)
then (SG is Catastrófica)

27. If (SE is Baixa) and (SO is Alta) and (SS is Alta) and (SA is Alta) then
(SG is Catastrófica)

28. If (SE is Média) and (SO is Baixa) and (SS is Baixa) and (SA is Baixa)
then (SG is Mínima)

29. If (SE is Média) and (SO is Baixa) and (SS is Baixa) and (SA is Média)
then (SG is Marginal)

30. If (SE is Média) and (SO is Baixa) and (SS is Baixa) and (SA is Alta)
then (SG is Crítica)

31. If (SE is Média) and (SO is Baixa) and (SS is Média) and (SA is Baixa)
then (SG is Marginal)

32. If (SE is Média) and (SO is Baixa) and (SS is Média) and (SA is Média)
then (SG is Marginal)

33. If (SE is Média) and (SO is Baixa) and (SS is Média) and (SA is Alta)
then (SG is Crítica)

34. If (SE is Média) and (SO is Baixa) and (SS is Alta) and (SA is Baixa)
then (SG is Catastrófica)

35. If (SE is Média) and (SO is Baixa) and (SS is Alta) and (SA is Média)
then (SG is Catastrófica)

36. If (SE is Média) and (SO is Baixa) and (SS is Alta) and (SA is Alta)
then (SG is Catastrófica)

37. If (SE is Média) and (SO is Média) and (SS is Baixa) and (SA is Baixa)
then (SG is Marginal)

38. If (SE is Média) and (SO is Média) and (SS is Baixa) and (SA is Média)
then (SG is Crítica)

39. If (SE is Média) and (SO is Média) and (SS is Baixa) and (SA is Alta)
then (SG is Crítica)

40. If (SE is Média) and (SO is Média) and (SS is Média) and (SA is Baixa)
then (SG is Crítica)

41. If (SE is Média) and (SO is Média) and (SS is Média) and (SA is Média)
then (SG is Crítica)

42. If (SE is Média) and (SO is Média) and (SS is Média) and (SA is Alta)
then (SG is Catastrófica)

43. If (SE is Média) and (SO is Média) and (SS is Alta) and (SA is Baixa)
then (SG is Catastrófica)

44. If (SE is Média) and (SO is Média) and (SS is Alta) and (SA is Média)
then (SG is Catastrófica)

45. If (SE is Média) and (SO is Média) and (SS is Alta) and (SA is Alta)
then (SG is Catastrófica)

46. If (SE is Média) and (SO is Alta) and (SS is Baixa) and (SA is Baixa)
then (SG is Crítica)

47. If (SE is Média) and (SO is Alta) and (SS is Baixa) and (SA is Média)
then (SG is Crítica)

48. If (SE is Média) and (SO is Alta) and (SS is Baixa) and (SA is Alta)
then (SG is Catastrófica)

49. If (SE is Média) and (SO is Alta) and (SS is Média) and (SA is Baixa)
then (SG is Crítica)

50. If (SE is Média) and (SO is Alta) and (SS is Média) and (SA is Média)
then (SG is Crítica)

51. If (SE is Média) and (SO is Alta) and (SS is Média) and (SA is Alta)
then (SG is Catastrófica)

52. If (SE is Média) and (SO is Alta) and (SS is Alta) and (SA is Baixa)
then (SG is Catastrófica)

53. If (SE is Média) and (SO is Alta) and (SS is Alta) and (SA is Média)
then (SG is Catastrófica)

54. If (SE is Média) and (SO is Alta) and (SS is Alta) and (SA is Alta) then
(SG is Catastrófica)

55. If (SE is Alta) and (SO is Baixa) and (SS is Baixa) and (SA is Baixa)
then (SG is Crítica)

56. If (SE is Alta) and (SO is Baixa) and (SS is Baixa) and (SA is Média)
then (SG is Crítica)

57. If (SE is Alta) and (SO is Baixa) and (SS is Baixa) and (SA is Alta) then
(SG is Catastrófica)

58. If (SE is Alta) and (SO is Baixa) and (SS is Média) and (SA is Baixa)
then (SG is Crítica)

59. If (SE is Alta) and (SO is Baixa) and (SS is Média) and (SA is Média)
then (SG is Crítica)

60. If (SE is Alta) and (SO is Baixa) and (SS is Média) and (SA is Alta)
then (SG is Catastrófica)

61. If (SE is Alta) and (SO is Baixa) and (SS is Alta) and (SA is Baixa) then
(SG is Catastrófica)

62. If (SE is Alta) and (SO is Baixa) and (SS is Alta) and (SA is Média)
then (SG is Catastrófica)

63. If (SE is Alta) and (SO is Baixa) and (SS is Alta) and (SA is Alta) then
(SG is Catastrófica)

64. If (SE is Alta) and (SO is Média) and (SS is Baixa) and (SA is Baixa)
then (SG is Crítica)

65. If (SE is Alta) and (SO is Média) and (SS is Baixa) and (SA is Média) then (SG is Crítica)

66. If (SE is Alta) and (SO is Média) and (SS is Baixa) and (SA is Alta) then (SG is Catastrófica)

67. If (SE is Alta) and (SO is Média) and (SS is Média) and (SA is Baixa) then (SG is Crítica)

68. If (SE is Alta) and (SO is Média) and (SS is Média) and (SA is Média) then (SG is Crítica)

69. If (SE is Alta) and (SO is Média) and (SS is Média) and (SA is Alta) then (SG is Catastrófica)

70. If (SE is Alta) and (SO is Média) and (SS is Alta) and (SA is Baixa) then (SG is Catastrófica)

71. If (SE is Alta) and (SO is Média) and (SS is Alta) and (SA is Média) then (SG is Catastrófica)

72. If (SE is Alta) and (SO is Média) and (SS is Alta) and (SA is Alta) then (SG is Catastrófica)

73. If (SE is Alta) and (SO is Alta) and (SS is Baixa) and (SA is Baixa) then (SG is Catastrófica)

74. If (SE is Alta) and (SO is Alta) and (SS is Baixa) and (SA is Média) then (SG is Catastrófica)

75. If (SE is Alta) and (SO is Alta) and (SS is Baixa) and (SA is Alta) then (SG is Catastrófica)

76. If (SE is Alta) and (SO is Alta) and (SS is Média) and (SA is Baixa) then (SG is Catastrófica)

77. If (SE is Alta) and (SO is Alta) and (SS is Média) and (SA is Média) then (SG is Catastrófica)

78. If (SE is Alta) and (SO is Alta) and (SS is Média) and (SA is Alta) then (SG is Catastrófica)

79. If (SE is Alta) and (SO is Alta) and (SS is Alta) and (SA is Baixa) then (SG is Catastrófica)

80. If (SE is Alta) and (SO is Alta) and (SS is Alta) and (SA is Média) then (SG is Catastrófica)

81. If (SE is Alta) and (SO is Alta) and (SS is Alta) and (SA is Alta) then (SG is Catastrófica)

Apêndice 2

Subsistema Parte Ativa

O subsistema parte ativa é composto dos componentes elétricos de alta tensão, núcleo magnético e isolamento dielétrico do transformador, destinado a realizar a transformação de tensão e corrente de alta tensão. O sistema inclui os cabos e condutores internos ao transformador, destinados à conexão entre enrolamentos, e os terminais internos das buchas de alta tensão e neutro, e do núcleo à carcaça do transformador.

O detalhamento dos componentes da parte ativa e suas descrições são apresentados na Tabela 24.

Tabela 24 – Componentes da parte ativa

Componente da parte ativa	Descrição
Blindagem magnética	Dispositivo metálico instalado no tanque do transformador para minimizar os efeitos de campos magnéticos elevados. Geralmente de aço especial e utilizado em transformadores elevadores que apresentam grandes correntes nominais.
Cabo de aterramento do neutro à bucha de neutro	Cabo isolado que conecta o neutro dos enrolamentos com a bucha de neutro
Chave de derivação sem tensão (CDST)	Chave derivadora de taps, em geral de operação manual, que somente deve operar sem presença de tensão elétrica
Cinta para fixação de bobinas	Cinta(s) que envolve(m) as bobinas e tem por objetivo fixá-las rigidamente evitando deslocamento devido a esforços mecânicos
Condutor dos taps	Condutor de cobre isolado com papel isolante e que conecta as derivações de enrolamentos com o CDC
Contato de CDST	Contato que estabelece qual o tap em uso em um CDST
Mola de comutador (CDST)	Dispositivo destinado a manter os contatos do CDST sob forte pressão mecânica
Pára-raios interno ao tanque	Pára-raios instalado internamente ao tanque com função de limitar as amplitudes das sobretensões atingindo os enrolamentos
Blindagem Eletrostática (anel, cachimbo)	Dispositivo conectado na extremidade de enrolamento para uniformizar campos elétricos e minimizar os efeitos locais de campos elétricos elevados
Cabo de conexão	Cabo isolado que conecta os enrolamentos às buchas
Calços/Presilhas/Parafusos passantes de fixação do núcleo/enrolamentos	Dispositivos utilizados para fixar as chapas de núcleo e os enrolamentos da parte ativa em um único e sólido bloco
Condutor de enrolamento	Condutor de cobre isolado com papel isolante e/ou verniz e que constitui as bobinas de enrolamentos
Conector bucha / parte ativa	Conector que fixação do condutor da bucha com o condutor da parte ativa
Conector de aterramento do núcleo	Conector que fixa o núcleo com o ponto de aterramento do mesmo no tanque

Componente da parte ativa	Descrição
Conector terminal de aterramento do tanque	Conector mecânico que conecta o cabo de aterramento do tanque ao ponto de terra da SE
Enrolamento / Bobina	Conjunto de condutores isolados e enrolados em espiras em torno de uma seção de núcleo. Refere-se a primário, secundário e/ou terciário
Espaçador de bobinas	Peça(s) isolante(s) utilizada(s) para garantir o espaçamento mecânico e dielétrico adequado entre os enrolamentos
Isolação sólida (papel+óleo)	Conjunto formado pelo papel isolante mais o óleo isolante que tem função de isolamento elétrico e sustentação estrutural
Núcleo	Conjunto de finas placas de aço silício isoladas entre si, cortadas adequadamente e dispostas de forma a formar um circuito magnético com perdas minimizadas

Nas Tabelas 15 a 24 são apresentadas as relações: Função x Componente x Falha Funcional x Modo de Falha, da parte ativa dos transformadores de potência. Nesta etapa é feita a identificação das alternativas (modos de falha) que serão priorizadas com a aplicação do método PROMETHEE, e as avaliações de cada modo de falha identificado quanto aos critérios SE, SO, SS e SA.

- **Identificação das Alternativas (modos de falha)**

Tabela 25 – Função x Componente x Falha Funcional x Modo Falha

Função: Aterrar o núcleo magnético, sem apresentar elevada resistência de contato e pontos quentes		
Componente	Falha Funcional	Modo de falha
Conector de aterramento do núcleo	Apresenta má conexão elétrica, não aterrando eficientemente o núcleo magnético	Degradação de material
Conector de aterramento do núcleo	Apresenta má conexão elétrica, não aterrando eficientemente o núcleo magnético	Má Fixação
Conector de aterramento do núcleo	Apresenta sobreaquecimento localizado na conexão de aterramento de núcleo	Degradação de material
Conector de aterramento do núcleo	Apresenta sobreaquecimento localizado na conexão de aterramento de núcleo	Má Fixação

Tabela 26 – Função x Componente x Falha Funcional x Modo Falha

Função: Limitar a amplitude das sobretensões atingindo os enrolamentos, via PR's internos, a valores menores que os especificados para o BIL e SIL do transformador		
Componente	Falha Funcional	Modo de falha
Pára-raios interno ao tanque	PR's internos não limitam a valores adequados a amplitude das sobretensões que atingem os enrolamentos	Deterioração de Componente
Pára-raios interno ao tanque	PR's internos não limitam a valores adequados a amplitude das sobretensões que atingem os enrolamentos	Mau dimensionamento Inicial

Tabela 27 – Função x Componente x Falha Funcional x Modo Falha

Função: Manter bom contato nos taps do CDST e boa conexão entre terminações externas de AT, BT e terra, c/ valores de resistência elétrica dos enrolamentos dentro dos parâmetros de projeto com erro máximo de x% e sem elevações anormais locais de temperatura >X oC		
Componente	Falha Funcional	Modo de falha
Cabo de aterramento do neutro à bucha de neutro	Apresenta má conexão elétrica ou mau contato mecânico	Má fixação
Chave de derivação sem tensão (CDST)	Apresenta má conexão elétrica ou mau contato mecânico	Problema de montagem
Contato de CDST	Apresenta má conexão elétrica ou mau contato mecânico	Efeito de vibração anormal no núcleo ou enrolamento
Mola de comutador (CDST)	Apresenta má conexão elétrica ou mau contato mecânico	Perda de pressão mecânica
Mola de comutador (CDST)	Apresenta má conexão elétrica ou mau contato mecânico	Perda de propriedades físicas do aço
Blindagem Eletrostática (anel, cachimbo)	Apresenta má conexão elétrica ou mau contato mecânico	Degradação de material
Conector bucha / parte ativa	Apresenta má conexão elétrica ou mau contato mecânico	Efeitos de vibração natural
Conector bucha / parte ativa	Apresenta má conexão elétrica ou mau contato mecânico	Erro de montagem
Conector de aterramento do núcleo	Apresenta má conexão elétrica ou mau contato mecânico	Problema de montagem
Conector terminal de aterramento do tanque	Apresenta má conexão elétrica ou mau contato mecânico	Má fixação
Chave de derivação sem tensão (CDST)	Apresenta R elétrica dos enrolamentos maior que o de projeto	Folgas/Falta de travamento na chave comutadora
Chave de derivação sem tensão (CDST)	Apresenta R elétrica dos enrolamentos maior que o de projeto	Má fixação
Chave de derivação sem tensão (CDST)	Apresenta R elétrica dos enrolamentos maior que o de projeto	Mau contato elétrico em terminais
Chave de derivação sem tensão (CDST)	Apresenta R elétrica dos enrolamentos maior que o de projeto	Solda fria em alguma conexão elétrica
Contato de CDST	Apresenta R elétrica dos enrolamentos maior que o de projeto	Deterioração dos contatos
Contato de CDST	Apresenta R elétrica dos enrolamentos maior que o de projeto	Mau contato elétrico em terminais
Contato de CDST	Apresenta R elétrica dos enrolamentos maior que o de projeto	Pouca pressão nos contatos
Mola de comutador (CDST)	Apresenta R elétrica dos enrolamentos maior que o de projeto	Fadiga de material implicando na redução da pressão nos contatos
Enrolamento / Bobina	Apresenta R elétrica dos enrolamentos maior que o de projeto	Rompimento de condutores

Tabela 28 – Função x Componente x Falha Funcional x Modo Falha

Função: Permitir a circulação de correntes, menores que aquelas máximas especificadas e garantidas para os enrolamentos, com elevação de temperatura no tanque e enrolamentos condizente com sua classe de temperatura, não deteriorando aceleradamente a isolamento		
Componente	Falha Funcional	Modo de falha
Blindagem magnética	Apresenta degradação térmica acelerada do papel isolante ocorrendo com correntes menores que as especificadas	Mau dimensionamento inicial
Blindagem magnética	Apresenta degradação térmica acelerada do papel isolante ocorrendo com correntes menores que as especificadas	Presença de pontos quentes localizados ou generalizados
Cabo de aterramento do neutro à bucha de neutro	Apresenta degradação térmica acelerada do papel isolante ocorrendo com correntes menores que as especificadas	Mau dimensionamento inicial
Cabo de aterramento do neutro à bucha de neutro	Apresenta degradação térmica acelerada do papel isolante ocorrendo com correntes menores que as especificadas	Presença de pontos quentes localizados ou generalizados
Chave de derivação sem tensão (CDST)	Apresenta degradação térmica acelerada do papel isolante ocorrendo com correntes menores que as especificadas	Mau dimensionamento inicial
Chave de derivação sem tensão (CDST)	Apresenta degradação térmica acelerada do papel isolante ocorrendo com correntes menores que as especificadas	Presença de pontos quentes localizados ou generalizados
Condutor dos taps	Apresenta degradação térmica acelerada do papel isolante ocorrendo com correntes menores que as especificadas	Mau dimensionamento inicial
Condutor dos taps	Apresenta degradação térmica acelerada do papel isolante ocorrendo com correntes menores que as especificadas	Presença de pontos quentes localizados ou generalizados
Blindagem Eletrostática (anel, cachimbo)	Apresenta degradação térmica acelerada do papel isolante ocorrendo com correntes menores que as especificadas	Mau dimensionamento inicial
Blindagem Eletrostática (anel, cachimbo)	Apresenta degradação térmica acelerada do papel isolante ocorrendo com correntes menores que as especificadas	Presença de pontos quentes localizados ou generalizados
Cabo de conexão	Apresenta degradação térmica acelerada do papel isolante ocorrendo com correntes menores que as especificadas	Mau dimensionamento inicial
Cabo de conexão	Apresenta degradação térmica acelerada do papel isolante ocorrendo com correntes menores que as especificadas	Presença de pontos quentes localizados ou generalizados
Calços/Presilhas/Parafusos passantes de fixação do núcleo/enrolamentos	Apresenta degradação térmica acelerada do papel isolante ocorrendo com correntes menores que as especificadas	Presença de pontos quentes localizados ou generalizados
Condutor de enrolamento	Apresenta degradação térmica acelerada do papel isolante ocorrendo com correntes menores que as especificadas	Mau dimensionamento inicial
Condutor de enrolamento	Apresenta degradação térmica acelerada do papel isolante ocorrendo com correntes menores que as especificadas	Presença de pontos quentes localizados ou generalizados

Conector bucha / parte ativa	Apresenta degradação térmica acelerada do papel isolante ocorrendo com correntes menores que as especificadas	Mau dimensionamento inicial
Conector bucha / parte ativa	Apresenta degradação térmica acelerada do papel isolante ocorrendo com correntes menores que as especificadas	Presença de pontos quentes localizados ou generalizados
Conector de aterramento do núcleo	Apresenta degradação térmica acelerada do papel isolante ocorrendo com correntes menores que as especificadas	Mau dimensionamento inicial
Conector de aterramento do núcleo	Apresenta degradação térmica acelerada do papel isolante ocorrendo com correntes menores que as especificadas	Presença de pontos quentes localizados ou generalizados
Enrolamento / Bobina	Apresenta degradação térmica acelerada do papel isolante ocorrendo com correntes menores que as especificadas	Mau dimensionamento inicial
Enrolamento / Bobina	Apresenta degradação térmica acelerada do papel isolante ocorrendo com correntes menores que as especificadas	Canais internos de óleo bloqueados
Enrolamento / Bobina	Apresenta degradação térmica acelerada do papel isolante ocorrendo com correntes menores que as especificadas	Presença de pontos quentes localizados ou generalizados
Isolação sólida (papel+óleo)	Apresenta degradação térmica acelerada do papel isolante ocorrendo com correntes menores que as especificadas	Presença anormal e contínua de umidade
Isolação sólida (papel+óleo)	Apresenta degradação térmica acelerada do papel isolante ocorrendo com correntes menores que as especificadas	Presença de pontos quentes localizados ou generalizados
Núcleo	Apresenta degradação térmica acelerada do papel isolante ocorrendo com correntes menores que as especificadas	Mau dimensionamento inicial
Núcleo	Apresenta degradação térmica acelerada do papel isolante ocorrendo com correntes menores que as especificadas	Presença de pontos quentes localizados ou generalizados
Conector bucha / parte ativa	Apresenta elevação de temperatura no óleo do tanque e enrolamentos inconsistente com o carregamento aplicado e a classe de temperatura	Mau contato
Enrolamento / Bobina	Apresenta elevação de temperatura no óleo do tanque e enrolamentos inconsistente com o carregamento aplicado e a classe de temperatura	Mau dimensionamento inicial
Pára-raios interno ao tanque	Apresenta elevação de temperatura no óleo do tanque e enrolamentos inconsistente com o carregamento aplicado e a classe de temperatura	Degradação de componente
Chave de derivação sem tensão (CDST)	Não permite nenhuma circulação de corrente elétrica	Rompimento total da conexão
Enrolamento / Bobina	Não permite nenhuma circulação de corrente elétrica	Rompimento de condutores

Tabela 29 – Função x Componente x Falha Funcional x Modo Falha

Função: Permitir a circulação de correntes menores ou maiores que a nominal, produzindo perdas no enrolamento e totais compatíveis aos valores nominais de projeto e com os limites da NBR 5440 para sua classe de potência/temperatura		
Componente	Falha Funcional	Modo de falha
Enrolamento / Bobina	Apresenta perdas elétricas anormais nos enrolamentos	Curto-circuito entre espiras

Tabela 30 – Função x Componente x Falha Funcional x Modo Falha

Função: Propiciar meio magnético adequado a indução/transformação de tensões, sem gerar fluxo de dispersão elevado com aquecimento localizado e perdas anormais no núcleo.		
Componente	Falha Funcional	Modo de falha
Blindagem magnética	Apresenta elevadas correntes parasitas	Mau dimensionamento inicial
Calços/Presilhas/Parafusos passantes de fixação do núcleo/enrolamentos	Apresenta elevadas correntes parasitas	Má fixação
Núcleo	Apresenta elevadas correntes parasitas	Lâminas em curto-circuito
Núcleo	Apresenta elevadas correntes parasitas	Má fixação de calços/presilhas/parafusos
Núcleo	Apresenta elevadas correntes parasitas	Mau dimensionamento inicial
Núcleo	Apresenta perdas elétricas anormais no núcleo	Erro na montagem
Núcleo	Apresenta perdas elétricas anormais no núcleo	Má fixação de lâminas durante a montagem
Núcleo	Apresenta perdas elétricas anormais no núcleo	Magnetoestricção (contrações e alongamentos das lâminas)
Blindagem magnética	Apresenta sobreaquecimento superficial elevado (devido fluxo de dispersão magnética)	Correntes induzidas elevadas
Blindagem magnética	Apresenta sobreaquecimento superficial elevado (devido fluxo de dispersão magnética)	Mau dimensionamento inicial
Núcleo	Apresenta sobreaquecimento superficial elevado (devido fluxo de dispersão magnética)	Deficiência na isolação dos parafusos passantes de fixação que atravessam as lâminas
Núcleo	Apresenta sobreaquecimento superficial elevado (devido fluxo de dispersão magnética)	Fluxo de dispersão magnética localizado
Núcleo	Apresenta sobreaquecimento superficial elevado (devido fluxo de dispersão magnética)	Lâminas em curto-circuito

Tabela 31 – Função x Componente x Falha Funcional x Modo Falha

Função: Sustentar mecanicamente a parte ativa/núcleo via calços etc , minimizar vibrações, mantendo-a suficientemente. afastada do tanque para evitar a perda do isolamento, mantendo os enrolamentos rígidos o suficiente para suportar os esforços dinâmicos de $I_{cc} < 25I_n$		
Componente	Falha Funcional	Modo de falha
Cinta para fixação de bobinas	Apresenta ruído / vibração excessiva na parte ativa	Má fixação (frouxa)
Contato de CDST	Apresenta ruído / vibração excessiva na parte ativa	Má fixação
Mola de comutador (CDST)	Apresenta ruído / vibração excessiva na parte ativa	Má fixação
Calços/Presilhas/Parafusos passantes de fixação do núcleo/enrolamentos	Apresenta ruído / vibração excessiva na parte ativa	Má fixação
Conector de aterramento do núcleo	Apresenta ruído / vibração excessiva na parte ativa	Má fixação
Enrolamento / Bobina	Apresenta ruído / vibração excessiva na parte ativa	Má fixação
Núcleo	Apresenta ruído / vibração excessiva na parte ativa	Má fixação
Calços/Presilhas/Parafusos passantes de fixação do núcleo/enrolamentos	Não sustenta mecanicamente o núcleo	Má fixação
Núcleo	Não sustenta mecanicamente o núcleo	Frouxo
Cinta para fixação de bobinas	Não sustenta mecanicamente os enrolamentos	Má fixação
Calços/Presilhas/Parafusos passantes de fixação do núcleo/enrolamentos	Não sustenta mecanicamente os enrolamentos	Má fixação
Enrolamento / Bobina	Não sustenta mecanicamente os enrolamentos	Má fixação de calços ou presilhas
Condutor de enrolamento	Não sustenta mecanicamente os enrolamentos	Mau dimensionamento inicial
Espaçador de bobinas	Não sustenta mecanicamente os enrolamentos	Má fixação
Núcleo	Não sustenta mecanicamente os enrolamentos	Frouxo

Tabela 32 – Função x Componente x Falha Funcional x Modo Falha

Função: Proporcionar isolamento elétrico entre camadas, espiras, enrolamentos, núcleo, tanque; e contato elétrico em terminações, sem apresentar redução de resistência elétrica e isolamento, e sem gerar arco elétrico, centelhamento, descargas parciais e potenciais flutuantes		
Componente	Falha Funcional	Modo de falha
Cinta para fixação de bobinas	Apresenta enrolamentos deslocados	Frouxa
Calços/Presilhas/Parafusos passantes de fixação do núcleo/enrolamentos	Apresenta enrolamentos deslocados	Má fixação
Condutor de enrolamento	Apresenta enrolamentos deslocados	Frouxo
Enrolamento / Bobina	Apresenta enrolamentos deslocados	Acúmulo de solicitações por corrente de curto-circuito externas
Isolação sólida (papel+óleo)	Apresenta enrolamentos deslocados	Rompimento do papel isolante diminuindo suportabilidade mecânica
Núcleo	Apresenta enrolamentos deslocados	Frouxo
Calços/Presilhas/Parafusos passantes de fixação do núcleo/enrolamentos	Apresenta perda integralizada no isolamento dielétrico do núcleo	Má fixação
Conector de aterramento do núcleo	Apresenta perda integralizada no isolamento dielétrico do núcleo	Má fixação
Núcleo	Apresenta perda integralizada no isolamento dielétrico do núcleo	Frouxo com perda de isolamento entre lâminas
Núcleo	Apresenta perda integralizada no isolamento dielétrico do núcleo	Problema em Calços/presilhas/Parafusos e ferragens de fixação
Núcleo	Apresenta perda integralizada no isolamento dielétrico do núcleo	Problema no aterramento (potencial flutuante no núcleo)
Condutor de enrolamento	Apresenta perda integralizada no isolamento dielétrico do núcleo	Presença de umidade elevada no papel isolante
Enrolamento / Bobina	Apresenta perda integralizada no isolamento dielétrico do núcleo	Acúmulo de sobretensões ou curto-circuitos na SE ou sistema, não envolvendo diretamente o chaveamento do transformador
Enrolamento / Bobina	Apresenta perda integralizada no isolamento dielétrico do núcleo	Acúmulo de sobretensões ou sobrecorrentes devido a manobras de energização/desenergização
Enrolamento / Bobina	Apresenta perda integralizada no isolamento dielétrico do núcleo	Presença de umidade elevada no isolamento
Isolação sólida (papel+óleo)	Apresenta perda integralizada no isolamento dielétrico do núcleo	Contaminação por partículas metálicas

Isolação sólida (papel+óleo)	Apresenta perda integralizada no isolamento dielétrico do núcleo	Presença de água (umidade extrema)
Isolação sólida (papel+óleo)	Apresenta perda integralizada no isolamento dielétrico do núcleo	Presença de borra
Isolação sólida (papel+óleo)	Apresenta perda integralizada no isolamento dielétrico do núcleo	Presença de enxofre corrosivo
Condutor de enrolamento	Apresenta redução de Isolamento	Deslocamento radial ou longitudinal
Condutor de enrolamento	Apresenta redução de Isolamento	Presença de umidade elevada no papel isolante
Conector bucha / parte ativa	Apresenta redução de Isolamento	Má fixação com o enrolamento
Conector de aterramento do núcleo	Apresenta redução de Isolamento	Mau contato elétrico
Enrolamento / Bobina	Apresenta redução de Isolamento	Campo elétrico excessivo
Enrolamento / Bobina	Apresenta redução de Isolamento	Presença de umidade elevada no isolamento
Espaçador de bobinas	Apresenta redução de Isolamento	Mau dimensionamento inicial
Espaçador de bobinas	Apresenta redução de Isolamento	Presença de umidade elevada no espaçador
Isolação sólida (papel+óleo)	Apresenta redução de Isolamento	Deslocamento de bobinas ou enrolamentos
Isolação sólida (papel+óleo)	Apresenta redução de Isolamento	Rompimento do papel isolante
Núcleo	Apresenta redução de Isolamento	Frouxo
Núcleo	Apresenta redução de Isolamento	Lâminas em curto-circuito

Tabela 33 – Função x Componente x Falha Funcional x Modo Falha

Função: Suportar nos enrol.e núcl. sem disrup.elétricas, corr. de curto-circuito até 25In, surtos atmosféricos menores ou iguais a seu BIL, surtos de manobra menores ou iguais a seu BSL, sobretensões 60 Hz menores ou iguais a 2 pu (por 1 minuto)		
Componente	Falha Funcional	Modo de falha
Enrolamento / Bobina	Não suporta sobrecorrentes elevadas nos enrolamentos	Solicitações por correntes de curto-circuito externas de valor excessivo
Enrolamento / Bobina	Não suporta sobrecorrentes elevadas nos enrolamentos	Deslocamento mecânico sem rompimento do isolamento sólido
Núcleo	Não suporta sobrecorrentes elevadas nos enrolamentos	Problemas de aperto na fixação entre o núcleo e os enrolamentos
Núcleo	Não suporta sobrecorrentes elevadas nos enrolamentos	Quebra de calços, presilhas ou parafusos de sustentação

Tabela 34 – Função x Componente x Falha Funcional x Modo Falha

Função: Transformar as tensões entre primário, secundário e ou terciário, mantendo erro mínimo na relação de transformação teórica		
Componente	Falha Funcional	Modo de falha
Conector bucha / parte ativa	Não transforma as tensões	Má fixação
Enrolamento / Bobina	Não transforma as tensões	Rompimento de condutores
Calços/Presilhas/Parafusos passantes de fixação do núcleo/enrolamentos	Transforma tensões com erro de transformação excessivo	Má fixação
Condutor de enrolamento	Transforma tensões com erro de transformação excessivo	Curto-circuitado
Enrolamento / Bobina	Transforma tensões com erro de transformação excessivo	Curto-circuito entre espiras ou camadas
Enrolamento / Bobina	Transforma tensões com erro de transformação excessivo	Deslocamento mecânico radial ou longitudinal
Enrolamento / Bobina	Transforma tensões com erro de transformação excessivo	Mau dimensionamento inicial
Isolação sólida (papel+óleo)	Transforma tensões com erro de transformação excessivo	Rompimento do papel isolante
Núcleo	Transforma tensões com erro de transformação excessivo	Frouxo
Núcleo	Transforma tensões com erro de transformação excessivo	Mau dimensionamento inicial