

LÓGICA FUZZY E PRECURSOR APLICADOS AO NÍVEL DE MANUTENÇÃO BASEADA NA CONFIABILIDADE AGRÍCOLA CIRCUNSCRITO À SEGURANÇA E MEIO AMBIENTE

Data de aceite: 01/09/2023

Márcio Mendonça

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná – Campus Cornélio Procópio
Departamento Acadêmico de Engenharia
Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/5415046018018708>

Miguel Angel Chincaro Bernuy

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná – Campus Cornélio Procópio
Departamento Acadêmico de Engenharia
Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/0848702819711420>

André Luiz Salvat Moscato

Instituto Federal do Paraná, Campus
Jacarezinho
Jacarezinho - PR
<http://lattes.cnpq.br/1744149363927228>

Wagner Fontes Godoy

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná
Departamento Acadêmico de Engenharia
Elétrica
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/7337482631688459>

Michele Eliza Casagrande Rocha

Universidade Norte do Paraná -Unopar
Engenheira Projetista Elétrica
Londrina - Pr
<http://lattes.cnpq/4411484670091641>

Vicente de Lime Gonogora

Faculdade da Indústria SENAI Londrina
Departamento Acadêmico de Engenharia
Elétrica- Londrina -PR
<http://lattes.cnpq.br/3808981195212391>

Fabio Rodrigo Milanez

Faculdade da Indústria SENAI Londrina
Departamento Acadêmico de Engenharia
Elétrica- Londrina -PR
<http://lattes.cnpq.br/3808981195212391>

Janaína Fracaro de Souza Gonçalves

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná - CP
PPGEM-CP - Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Mecânica PP/
CP
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/1857241899832038>

Francisco de Assis Scannavino Junior

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Departamento Acadêmico de Engenharia
Elétrica
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/4513330681918118>

Marcos Antônio de Matos Laia

Departamento De Ciência Da Computação – UFSJ
Minas Gerais - MG
<http://lattes.cnpq.br/7114274011978868>

Andressa Haiduk

Dimension Engenharia
Ponta Grossa - PR
<http://lattes.cnpq.br/2786786167224165>

Emerson Ravazzi Pires da Silva

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/3845751794448092>

Kazuyochi Ota Junior

Mestrando - PPGEM-CP - Programa de
Pós-Graduação Multicampi em Engenharia Mecânica
Cornélio Procópio - Pr
<http://lattes.cnpq.br/3845751794448092>

Edgar Matsuo Tsuzuki

Gerente Regional Londrina - CREA-PR
Londrina - PR
<http://lattes.cnpq.br/0698902788404621>

Augusto Alberto Foggiato

Departamento de Odontologia – UENP
Jacarezinho - Pr
<http://lattes.cnpq.br/0580089660443472>

Fabio Nogueira de Queiroz

Centro Paula Souza
Departamento Computação-FATEC Ourinhos
Ourinhos – Sp
<http://lattes.cnpq.br/4466493001956276>

RESUMO: A produção de etanol e açúcar em usinas canavieiras depende da entrega de cana-de-açúcar pelo setor de CCT - Corte, Carregamento e Transporte. Esse setor desempenha um papel fundamental no processo, sendo composto por máquinas agrícolas como tratores, colhedoras de cana e caminhões. A introdução das colhedoras de cana aumentou a capacidade de produção e colheita, eliminando a necessidade de corte manual devido ao fim da queima da cana. No entanto, a demanda e a capacidade de processamento das indústrias também aumentaram, o que exige maior disponibilidade desses equipamentos e entrega de matéria-prima. Para garantir o bom funcionamento das máquinas, é necessário realizar ações de manutenção. Nesse contexto, sugere-se a aplicação da Manutenção Centrada na

Confiabilidade (RCM), que é uma forma de manutenção preditiva. Além disso, propõe-se o uso de uma ferramenta computacional, como um precursor da Lógica *Fuzzy*, que utiliza variáveis relevantes para calcular a necessidade de manutenção com base no conhecimento de especialistas. Isso visa reduzir a ocorrência de manutenção corretiva ou emergencial indesejada. Esse trabalho apresenta uma proposta de ferramenta computacional para auxiliar na gestão da manutenção, proporcionando melhorias abrangentes para os sistemas da empresa. Essa abordagem é particularmente relevante na era da indústria 4.0. O trabalho conclui com uma síntese das descobertas e sugestões para futuras pesquisas.

PALAVRAS-CHAVE: Manutenção Centrada na Realidade, *Fuzzy Cognitive Maps*, Análise Quantitativa lógica multivalorada.

FUZZY LOGIC AND PRECURSOR APPLIED TO THE LEVEL OF RELIABILITY-BASED AGRICULTURAL MAINTENANCE CIRCUMSCRIBED TO SAFETY AND ENVIRONMENT

ABSTRACT: The production of ethanol and sugar in sugarcane mills relies on the delivery of sugarcane by the CTT sector - Cutting, Loading, and Transport. This sector plays a fundamental role in the process and consists of agricultural machinery such as tractors, sugarcane harvesters, and trucks. The introduction of sugarcane harvesters has increased production and harvesting capacity by eliminating the need for manual cutting due to the end of sugarcane burning. However, the demand and processing capacity of the industries have also increased, requiring greater availability of these equipment and raw material delivery. To ensure the proper functioning of the machinery, maintenance actions are necessary. In this context, the application of Reliability-Centered Maintenance (RCM), a form of predictive maintenance, is suggested. Additionally, the use of an intelligent computational tool such as Fuzzy Cognitive Maps, which employs relevant variables to calculate the maintenance needs based on expert knowledge, is proposed. This aims to reduce unwanted corrective or emergency maintenance. This work presents a proposal for a computational tool to assist in maintenance management, providing comprehensive improvements to the company's systems. This approach is particularly relevant in the era of Industry 4.0. The paper concludes with a summary of findings and suggestions for future research.

KEYWORDS: Reality Centered Maintenance, Fuzzy Cognitive Maps, Quantitative Analysis.

1 | INTRODUÇÃO

A Revolução Industrial, marco transformador na história, introduziu mudanças significativas nas indústrias, objetivando a otimização dos processos de produção. Nesse contexto, o setor de manutenção passou a ser percebido sob uma nova ótica, mais técnica e estratégica, transcendendo o seu antigo papel de suporte e ações imediatistas, sobretudo corretivas (Kidd, 1994).

Este progresso evolutivo conduziu à adoção dos conceitos preventivos de manutenção, os quais visam otimizar a produtividade das máquinas, ampliar sua disponibilidade mecânica, garantir confiabilidade e minimizar os custos de produção

(Mobley, 2002).

No mundo atual, marcado por um ritmo acelerado de evolução tecnológica, a manutenção preventiva expandiu-se para abranger uma variedade de métodos preditivos. Esses métodos incorporam um vasto arsenal de ferramentas e técnicas de análise e monitoramento, todas convergindo para a capacidade de administrar, monitorar e intervir no momento ideal para manutenção (Swanson, 2001).

Esta nova realidade e o contínuo avanço tecnológico deram origem a um manancial de pesquisas e novas técnicas em aprendizagem de máquinas, diretamente ligadas às condições mecânicas dos equipamentos e seus sistemas componentes. O foco recai em atuar preventivamente, com métodos preditivos e um monitoramento ativo (Mitchell, 1997).

Paralelamente, a agricultura tem exercido um papel crucial na economia e desenvolvimento nacional. A mecanização agrícola, em particular, trouxe consigo um aumento das tecnologias empregadas no campo, almejando eficiência operacional. No entanto, essas tecnologias requerem uma capacidade mecânica robusta e uma demanda por alta potência das máquinas (Bowers, 1985).

No Brasil, o agronegócio representa um setor substancial do Produto Interno Bruto (PIB), respondendo por 24,8% do total em 2022. A cana-de-açúcar, por exemplo, é uma das principais culturas produzidas no país, servindo de matéria-prima primordialmente para a produção de açúcar e álcool, com usinas distribuídas por todo o território nacional, tendo o estado de São Paulo como principal polo produtor (Goldemberg, 2008).

Portanto, sugere-se que a confiabilidade mecânica das colhedoras de cana pode resultar em benefícios operacionais significativos e, conseqüentemente, aumentar a produtividade. Tais melhorias podem se refletir na redução do consumo de diesel, diminuição de vazamentos de lubrificantes no solo - mitigando impactos ambientais - e na diminuição das emissões de poluentes na atmosfera devido à combustão inadequada de combustíveis (Peel, 1991).

No contexto supracitado, tem-se como objetivo principal apresentar a metodologia MCC – Manutenção Centrada em Confiabilidade tendo como referência uma análise das manutenções preventivas e corretivas. Já os objetivos específicos deste trabalho são: apresentar uma breve Fundamentação sobre Manutenção Centrada em Confiabilidade, sugerir Mapas Cognitivos Fuzzy, do inglês FCM (*Fuzzy Cognitive Maps*), para quantificar a confiabilidade da manutenção e fornecer um feedback ao nível de confiabilidade da manutenção. Entretanto, o FCM sugerido ainda está como no nível de crença, ou seja, está de acordo com a visão dos especialistas ou experts (MENDONÇA et al., 2020).

Este trabalho objetiva contribuir com o gerenciamento por meio de análise de dados em sistema ERP, obtidos através de aberturas de Ordens de Serviços - OS em módulo de manutenção automotiva, pelo setor de Planejamento e Controle da Manutenção - PCM.

Já a motivação desse trabalho é aplicar a coexistência combinada com a previsão de parada de manutenção por meio de um índice calculado por um *Fuzzy Cognitive Maps*

inspirado no clássico, baseado em conhecimento de especialistas, para auxiliar nas tomadas de decisões gerenciais.

Dentre as tecnologias atuais na área de manutenção, encontra-se a Manutenção Centrada na Confiabilidade - MCC ou do inglês *Realibility Centered Maintanance* – RMC (MENDES; RIBEIRO, 2014). Constitui-se em procedimentos de identificação de necessidades de manutenção em processos físicos ou industriais. Teve sua origem na indústria aeronáutica americana e está sendo utilizada em vários outros setores da economia, inclusive o de serviços, designado como Manutenção Centrada na Confiabilidade de máquinas e/ou equipamentos.

Este trabalho está dividido da seguinte maneira: Na Seção 2, são abordados os fundamentos e trabalhos relacionados, além de conceituar a Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) e apresentar uma versão simplificada do Modelo Conceitual de Fuzzy (FCM) para tomada de decisões. Já a seção 3 explora Fundamentos e Trabalhos Correlatos com Lógica Fuzzy. A Seção 4 explora a abordagem lógica multivalorada aplicada à quantificação da manutenção automotiva de colhedoras, baseada no conhecimento de especialistas, com resultados preliminares para auxiliar a tomada de decisões na manutenção desses equipamentos. Por fim, a Seção 5 conclui o trabalho e apresenta sugestões para futuras pesquisas.

2 | FUNDAMENTOS E TRABALHOS CORRELATOS COM LÓGICA FUZZY

Geralmente, existem dois tipos de FCM, FCMs manuais e FCMs automatizados (YESIL et al., 2013). FCMs manuais são produzidos por especialistas manualmente, metodologia de desenvolvimento aplicada nessa pesquisa e FCMs automatizados produzidos por dados históricos, por exemplo.

Nesta pesquisa, a inferência FCM é feita por meio de uma função sigmóide unipolar, onde o parâmetro λ é o fator de esquecimento com range de 0,1 a 1, valor 1 foi utilizado nesse trabalho (equação 2), estabelece um fator de memória na evolução numérica dos conceitos de um Mapa Cognitivo Fuzzy. Desse modo, esses valores vão ser atualizados através da iteração com os outros conceitos e com o seu próprio valor, vão evoluindo após várias iterações, como mostra a função da equação (1) em (2) até estabilizarem-se num ponto fixo ou num ciclo limite (MENDONÇA et al., 2013).

$$A_i = f\left(\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i \\ n}}^n (A_j \times W_{ji})\right) (1)$$

Onde:

k é o contador das iterações, n é o número de nós no grafo, λ é fator de esquecimento,

foi empregado com valor *default* 1

W_{ji} é o peso do arco que conecta o conceito C_j ao conceito C_i , A_i (A_i anterior) é o valor do conceito C_i na iteração atual (anterior) e a função f (equação 2) é uma função do tipo sigmoide:

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-ix}} \quad (2)$$

No campo da engenharia de controle e automação, os FCMs foram aplicados para melhorar a performance e robustez dos sistemas. Os trabalhos de Song e Chong (2013) e Wei et al. (2016) exemplificam o uso de FCMs em sistemas de controle fuzzy.

Esses são apenas alguns exemplos do uso dos FCMs nas últimas décadas, demonstrando sua versatilidade e utilidade em diferentes campos.

Yesil e diferentes colaboradores (2013) apresentam dois artigos: o primeiro com um controlador Fuzzy-PID auto sintonizador (*Self-tuning*) baseados em apoderamento online das regras. O segundo apresenta um FCM para a sintonia dos parâmetros de controladores PI aplicado a um sistema não linear. Esses controladores não conseguem resultados satisfatórios o suficiente nesse tipo de sistema, pela diferença em suas propriedades estáticas e dinâmicas.

No trabalho de Mendonça (2013), uma DCN apresenta uma evolução dos FCMs, dentre outras propostas conhecidas na literatura (PAPAGEORGIOU, 2014) para controle e sistema supervisorio do processo do fermentador alcoólico proposto por Maher (1995), similar ao utilizado neste artigo. Neste trabalho, a DCN enviou setpoints para PIDs das válvulas do fermentador e implementou algumas funções de um sistema supervisorio, como por exemplo a detecção de baixo nível de biomassa.

O trabalho de Wang e colaboradores (2012) aplica um controlador Fuzzy-PID para elevadores, com o objetivo de reduzir o grande consumo de energia, onde esse sistema de controle é necessário, pois o PI convencional não satisfaz eficientemente o controle de objetos não lineares.

O objetivo deste artigo foi definir a estratégia de manutenção mais adequada para uma bomba centrífuga (preventiva, preditiva, corretiva ou emergencial), com base em cálculos de confiabilidade. O método de pesquisa foi a modelagem quantitativa, aplicada em uma planta petrolífera.

Existem trabalhos na literatura que utilizam ferramentas computacionais inteligentes e MCC. Já o trabalho (JANIER; ZAHARIA, 2011) o monitoramento de condição (CM) é um processo que monitora a condição do equipamento ao longo de sua manutenção vida para optar pela manutenção preditiva, um tipo de manutenção circunscrita a MCC. No trabalho de Liang e Sun (LIANG; SUN, 2011) é usado a ferramenta Avaliação Sintética Fuzzy para determinar a quantificar o nível de condição de um sistema mecânico no mar, e aplicar em

técnicas de MCC para avaliar a tipo certo de falhar e adotar estratégias de para prevenir novos riscos a este sistema.

Al-Najjar & Alsyouf (AL-NAIJAR; ALSYOUF, 2003), realizou um estudo de caso do uso de método Fuzzy MCDM para seleção da abordagem de manutenção mais eficiente, ou seja, aquela mais informativa. Dentre as opções: Manutenção Baseada na Falha, Manutenção Preventiva, Manutenção Baseada na Condição, entre outras. Ding & Kamaruddin (DING; KAMARUDDIN, 2015) estudou casos do uso do TOPSIS para seleção de política de manutenção

Neste contexto, emprego de lógica Fuzzy em MCC, essa pesquisa pretende apresentar Mapas Cognitivos Fuzzy para auxiliar no processo de gestão da manutenção automotiva de colhedoras de cana utilizando princípios de MCC. Desse modo, uma possível justificativa dessa análise está na aplicação de uma ferramenta que por meio de conhecimento qualitativo dos profissionais da área de manutenção poderá fornecer um feedback quanto a ocorrência de falhas e sinistros e tempo de retorno desses equipamentos após manutenções. Essas ocorrências têm chamado à atenção de profissionais da engenharia pelos impactos que têm causado para a sociedade tanto nos aspectos econômicos, segurança das instalações, até mesmo humanos e ambientais.

3 I FUNDAMENTOS E DEFINIÇÕES DA MANUTENÇÃO

O setor de manutenção está em constante evolução, com o surgimento de técnicas avançadas. Existem dois grupos principais de manutenção: corretiva e preventiva. A manutenção preventiva inclui as manutenções preditivas, que utilizam equipamentos de medição para intervir com base nas condições atuais dos equipamentos. Além disso, surgiram setores de apoio, como o Planejamento e Controle da Manutenção (PCM), que visam aumentar a confiabilidade dos equipamentos. A confiabilidade refere-se à capacidade de um item desempenhar sua função requerida. É importante conhecer os tipos de manutenção e considerar as características específicas dos equipamentos. Existem soluções tecnológicas sofisticadas, como sistemas de predição de alarmes, que auxiliam na tomada de decisões de manutenção. Além disso, a mineração de dados pode ser usada para identificar desvios e prever a necessidade de manutenção. Em resumo, o setor de manutenção busca constantemente aprimorar suas práticas e utilizar tecnologias avançadas para otimizar suas atividades.

3.1 Manutenção Centrada na Confiabilidade

Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) ou do inglês, *Reliability Centered Maintenance* – RMC é a prática de um método estruturado que determina a melhor atuação de manutenção para um equipamento ou edificação. Estabelece uma metodologia de identificação de necessidades de manutenção em processos físicos ou industriais.

Um breve histórico, na década de 1960, a MCC ganhou “força” com publicações de levantamentos na época de 1960, que originou um documento lançado em 1978 com o título “*Reliability Centered Maintenance – RCM*”, e desde então é considerado um dos mais importantes documentos de gestão de manutenção em todos os setores da indústria, e outras áreas como, por exemplo, edificações.

O trabalho (MENDONÇA; CHUN; ROCHA, 2017) declara que a MCC está organizada com o princípio primordial de que todas as ações de manutenção necessitam ser comprovadas, antes de sua execução.

A figura 2 mostra a sequência de desenvolvimento lógico do método de se tomar decisões, para a posteriori, por meio de um FCM simplificado. Observa-se que após a inferência do FCM influencia na tomada de decisão realizada pela máquina de estados, devido ao nível de confiabilidade encontrado pelo FCM retornar a Abertura de OS. Ainda de acordo com a figura 1, o processamento do item checklist determina as ações a serem executadas de acordo com as entradas de informações da manutenção.

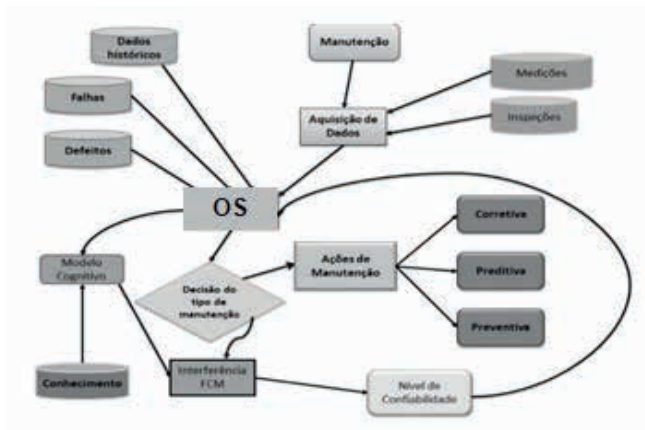


Figura 1. Fluxograma do funcionamento da SD-FCM aplicado a MCC.

Observa-se que a proposta desse trabalho é um Dynamic-FCM simplificado, do inglês *simplified Dynamic-FCM* (sD-FCM, sigla convencionada na sequência do trabalho). O sD-FCM muda sua estrutura de acordo com a mudança dos conceitos de entrada. No exemplo citado, a má qualificação da equipe de manutenção pode ter uma influência negativa alta na confiabilidade da manutenção, enquanto de forma inversa poderá ter uma influência positiva alta. Ressalta-se que todo o formalismo matemático para a inferência e estabilidade do FCM clássico são aplicados nessa proposta, isso se deve porque o sD-FCM funciona como FCM clássico quando ocorre alguma modificação na sua estrutura.

Esse item deverá considerar o nível de confiabilidade atual da máquina (por meio da inferência do FCM).

O modelo cognitivo clássico só contém relações causais ($W_{n,n}$) e seus devidos

conceitos (1 até 6), como mostra a figura 2. Devido à necessidade de se binarizar as entradas dos conceitos 2, 3 e 6 o modelo proposto teve a inclusão de relações de seleção ($Ws_{n,n}$). Essas relações de seleção alteram o valor de seus referentes pesos através de regras do tipo SE-ENTÃO, alterando assim a intensidade (ou a importância) de alguns conceitos inferidos na saída do sD-FCM. Não é escopo desse trabalho apresentar o desenvolvimento do D-FCM.

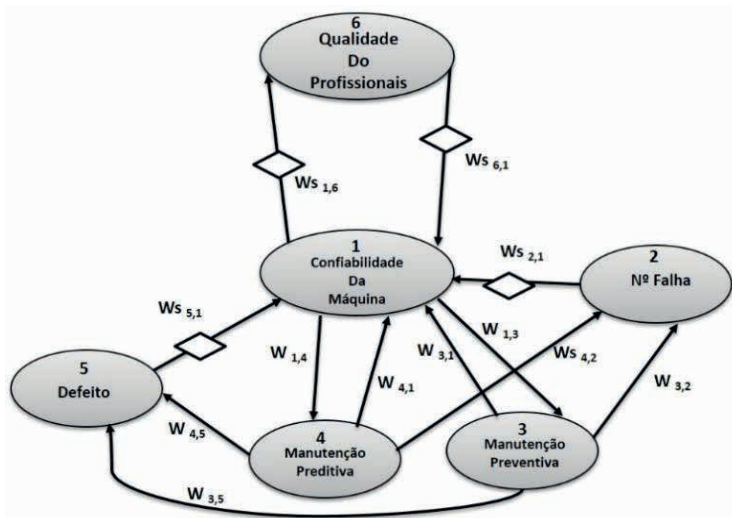


Figura 2. SD-FCM aplicado a MCC.

Um detalhe importante dessa área é sair do estado de crença, o qual foi apresentado e validar o mesmo.

O parâmetro de comprovação deve condizer com disponibilidade, segurança, economia e condições ambientais favoráveis ao equipamento e ao local no qual este está inserido. O trabalho supracitado também a MCC priorizou o desenvolvimento de uma manutenção arquitetada para dar uma visão macro do sistema, disponibilidade e a segurança necessária. Nesse trabalho supracitado alguns resultados podem ser sugeridos pela metodologia empregada, como por exemplo, treinamento da equipe que pode atenuar riscos e consequentes acidentes e a recorrência no tempo de duração das manutenções, os quais serão abordados nos resultados.

A colhedora de cana, de como mostra a figura 3, hoje é o principal equipamento atuando no campo na atividade de colheita, ela realiza em média a colheita de 700 ton/dia, ela é composta por basicamente por um sistema hidráulico acionado por um motor a diesel acima de 350 cv e movida por material rodante, o conhecimento de seu comportamento mecânico relacionado a manutenção é de fundamental importância, os históricos gerados por intervenções podem alimentar árvores de decisões as quais subsidiará redes neurais para tomada de decisões.



Figura 3. Imagem da colheitadeira

Normalmente as máquinas agrícolas na manutenção automotiva são divididas em sistemas com o objetivo de facilitar o reconhecimento de suas funções e componentes. Para efeito de desenvolvimento deste estudo, a colhedora foi dividida de forma objetiva em três sistemas, a saber: Sistema hidráulico; Sistema mecânico (motor, estrutura e material rodante); Sistema elétrico entre outros.

As empresas agrícolas do setor canavieiro utilizam módulos de manutenção em seus sistemas ERP para registrar informações sobre as manutenções automotivas em suas frotas. Isso permite a geração de indicadores e outros dados necessários para identificar os equipamentos com recorrência de problemas, usando por exemplo árvores de decisão (Abdelhalim; Traore, 2009).

3.2 Lógica Multivalorada

Lógica multivalorada, precursora da lógica fuzzy, é um sistema que permite mais valores além do binário padrão de verdadeiro ou falso (0 ou 1). A lógica multivalorada possui uma gama maior de valores possíveis, permitindo uma flexibilidade maior na tomada de decisões e no processamento de informações (COSTA; SILVA, 2018).

Costa e Silva (2018) explicam que a lógica multivalorada, na prática, pode ser vista como um conjunto de valores contínuos entre 0 e 1. Assim, ao contrário da lógica binária, que só permite estados de “verdadeiro” ou “falso”, a lógica multivalorada permite estados intermediários de verdade.

Segundo Klir e Yuan (1995), a lógica multivalorada é especialmente útil quando se lida com incertezas. Em muitos casos, informações incompletas ou incertas não podem ser adequadamente representadas usando apenas a lógica binária. A lógica multivalorada, por outro lado, permite uma representação mais adequada e precisa dessas incertezas.

4 | LÓGICA MULTIVALORADA APLICADOS NA QUANTIFICAÇÃO DA MANUTENÇÃO DE COLHEIDORAS DE CANA

Este texto discute os parâmetros usados para prever a necessidade de manutenção em máquinas agrícolas, especificamente colheitadeiras. As variáveis consideradas incluem o tempo de operação da máquina, a área onde os problemas surgem, o local de manutenção (em campo ou oficina), o tipo de manutenção (corretiva, emergencial ou preventiva), se o problema é recorrente e o tempo de vida útil da máquina.

Em uma abordagem mais específica, quatro variáveis principais foram identificadas: o tipo de manutenção e sua respectiva importância, o tipo de equipamento (neste caso, a colheitadeira), a recorrência da manutenção (quantificada como pouco, médio ou muito), e a duração da manutenção em relação ao tempo de vida útil previsto pela máquina. Estes parâmetros são determinados por especialistas, de maneira similar à lógica fuzzy.

O texto menciona a aplicação desses princípios em dois exemplos, embora de maneira simplista. Nesse primeiro caso foram considerados índices normalizados de 0 a 1 com a seguinte situação

Manutenção preditiva peso 0,4; tipo de máquina colheitadeira peso 0,8; manutenção teve índice considerável de recorrência 0,7; e uma duração de manutenção não muito expressiva 0,4, e a vida útil quantificada em 0,5.

O índice inicialmente estimado foi de acordo com a figura 4a

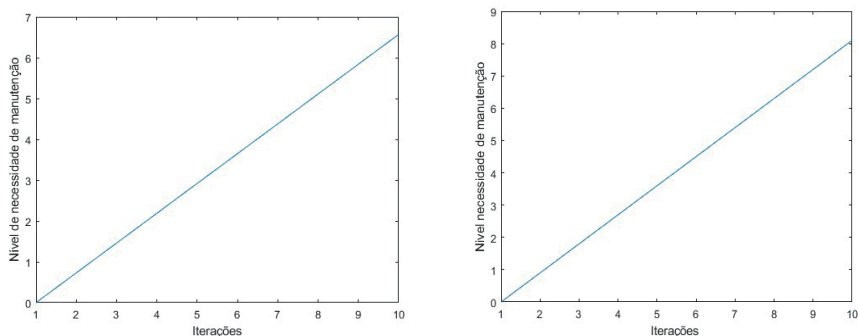


Figura 4. Índice do exemplo 1(a), índice do exemplo 2(b)

Já o exemplo 2, considera níveis mais altos para os parâmetros analisados, todos os mesmos parâmetros com valores de 0,8 (a priori, uma condição desfavorável que sugere que a máquina deve em breve passar por uma manutenção preditiva baseada na confiabilidade).

O índice inicialmente estimado foi de acordo com a figura 4b. A priori, pode-se estimar que um índice acima de 7 já sugere manutenção R.C.M na máquina, o valor do índice também pode ser relacionado com o tempo estimado para execução de manutenção dela. Além disso, a validação do sistema proposta, inicialmente no estado de crenças, o

qual na prática só pode ser validado com a aplicação do mesmo para tomadas de decisões assertivas.

5 | CONCLUSÃO

Este estudo ofereceu uma contribuição importante ao aplicar uma ferramenta computacional na gestão de manutenção das colhedoras de cana, proporcionando diagnósticos quantitativos. Futuras pesquisas vão validar o sD-FCM em estudos de caso reais e adaptá-lo a diversas políticas de manutenção. Além disso, pretende-se desenvolver uma interface de suporte à tomada de decisões e aprimorar o processo decisório ao incorporar outro D-FCM.

Ainda, planeja-se executar análises mais específicas, focando em cada sistema (hidráulico, elétrico e mecânico). A visão futura inclui a execução desta metodologia combinada com a previsão de paradas, aprimorando a aplicação até que o sistema forneça assistência progressivamente mais precisa nas decisões gerenciais.

REFERÊNCIAS

ABDELHALIM, A.; TRAORE, I. A new method for learning decision trees from rules. In: International Conference on Machine Learning and Applications, 2009, Miami, FL, USA, 2009. p. 693-698.

AL-NAJJAR, B.; ALSYOUF, I.; "Selecting the most efficient maintenance approach using Fuzzy multiple criteria decision making", Int. J. Prod. Econ, v. 84, pp. 85-100, 2003.

BOWERS, W. Agricultural Mechanization. John Wiley & Sons, 1985.

COSTA, E.; SILVA, S. Introdução à Lógica Fuzzy. Rio de Janeiro: LTC, 2018.

DING, S. H.; KAMARUDDIN, S.; "Assessment of distance-based multi-attribute group decision-making methods from a maintenance strategy perspective". Journal of Industrial Engineering International, v. 11, issue 1, pp. 73-85, 2015. Disponível em: <<http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-642-41142->

GOLDEMBERG, J. The Brazilian biofuels industry. Biotechnology for Biofuels, v. 1, n. 1, p. 1-7, 2008.

JANIER, J. B.; ZAHARIA, M. F. Z. Condition Monitoring System for Induction Motor Using Fuzzy Logic Tool. 2011 First International Conference on Informatics and Computational Intelligence. Anais...IEEE, dez. 2011

KIDD, P. Agile Manufacturing: Forging New Frontiers. Addison-Wesley, 1994.

KLIR, G. J.; YUAN, B. Fuzzy Sets and Fuzzy Logic. Prentice Hall, 1995.

MENDONÇA, M. et al. multi-robot exploration using Dynamic Fuzzy Cognitive Maps and Ant Colony Optimization. IEEE International Conference on Fuzzy Systems. Anais...Glasgow, UK: IEEE, 2020.

MENDONÇA, M.; CHUN, I. R.; ROCHA, M. E. C. Dynamic fuzzy cognitive maps applied in Reliability Centered Maintenance of electric motors. IEEE Latin America Transactions, v. 15, n. 5, p. 827–834, 2017.

MITCHELL, T. Machine Learning. McGraw Hill, 1997.

MOBLEY, R. An Introduction to Predictive Maintenance. Butterworth-Heinemann, 2002.

PAPAGEORGIU, E. I. (ED.). Fuzzy Cognitive Maps for Applied Sciences and Engineering. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2014. v. 54

PEEL, M.D. Environmental effects of agricultural machinery use. Journal of Agricultural Engineering Research, v.50, n.3, p.183-199, 1991.

SWANSON, L. Linking Maintenance Strategies to Performance. International Journal of Production Economics, v. 70, n. 3, p. 237-244, 2001.

YESIL, Engin. et al. Self-Tuning PI Controller via Fuzzy Cognitive Maps. 2011.