



**FUNDAÇÃO
UNIVERSIDADE
FEDERAL DE
MATO GROSSO DO SUL**

**FACULDADE DE ENGENHARIAS,
ARQUITETURA E URBANISMO E
GEOGRAFIA**

ENGENHARIA ELÉTRICA

**Avaliação de Banco de Dados de Falhas de Disjuntores de 138
kV Utilizando Teoria de *Rough Sets* Para Apoio a Manutenção
Preventiva**

WISLAYNE CARNEIRO FERREIRA

Campo Grande MS
17 de janeiro de 2021



FUNDAÇÃO
UNIVERSIDADE
FEDERAL DE
MATO GROSSO DO SUL

FACULDADE DE ENGENHARIAS,
ARQUITETURA E URBANISMO E
GEOGRAFIA

ENGENHARIA ELÉTRICA

Avaliação de Banco de Dados de Falhas de Disjuntores de 138 kV Utilizando Teoria de *Rough Sets* Para Apoio a Manutenção Preventiva

WISLAYNE CARNEIRO FERREIRA

Orientador: JOÃO ONOFRE PEREIRA PINTO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro(a) Eletricista.

Campo Grande MS
17 de janeiro de 2021

Avaliação de Banco de Dados de Falhas de Disjuntores de 138 kV Utilizando Teoria de *Rough Sets* Para Apoio a Manutenção Preventiva

Monografia apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia, para a conclusão do curso de Graduação em Engenharia Elétrica.

Banca Examinadora:

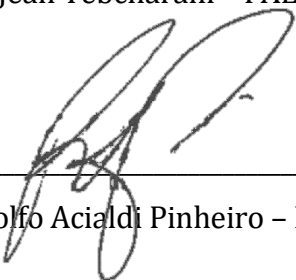


Prof. João Onofre Pereira Pinto – FAENG/UFMS

Orientador



Prof. Ganem Jean Tebcharani – FAENG/UFMS



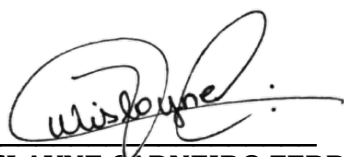
Engenheiro Rodolfo Acialdi Pinheiro – ENERGISA MS

Campo Grande MS
17 de janeiro de 2021

DECLARAÇÃO DE AUTORIA E RESPONSABILIDADE

WISLAYNE CARNEIRO FERREIRA, residente e domiciliado na cidade de CAMPO GRANDE, Estado do Mato Grosso do Sul, portador do RG de nº 001.887.388 SSP/MS e CPF nº 048.233.571-83, declaro que o “TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO” apresentado, com o título “Avaliação de Banco de Dados de Falhas de Disjuntores de 138 kV Utilizando Teoria de *Rough Sets* Para Apoio a Manutenção Preventiva” é de minha autoria e assumo a total responsabilidade pelo seu conteúdo e pela originalidade do texto. Declaro que identifiquei e referenciei todas as fontes e informações gerais que foram utilizadas para construção do presente texto. Declaro também que este artigo não foi publicado, em parte, na íntegra ou conteúdo similar em outros meios de comunicação, tendo sido enviado com exclusividade para a Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS).

Campo Grande, 17 de janeiro de 2021.



WISLAYNE CARNEIRO FERREIRA

*A Deus, que se mostrou criador, que foi criativo.
Seu fôlego de vida em mim me foi sustento e me
deu coragem para questionar realidades e
propor sempre um novo mundo de
possibilidades.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por permitir que eu trilhe o meu caminho sob suas bênçãos. Também sou grata a minha família, que me motivou a não desistir dos meus objetivos sempre que passávamos por uma dificuldade, e permaneceram ao meu lado. Sou imensamente grata ao meu namorado, Tales Oliveira Santos, pela paciência e ajuda em todos os momentos necessários.

Agradeço aos meus companheiros de graduação pela ajuda durante esse percurso, assim como aos meus professores por entregarem o melhor de si no ensino ministrado. Eu também agradeço aos meus companheiros do Capítulo Estudantil, alunos do Mestrado, por sempre me ajudarem quando eu não possuía conhecimento suficiente e apoiarem durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus gestores, supervisores e demais colegas de trabalho durante meu estágio na Energia MS, os meus mais sinceros cumprimentos pelo conhecimento compartilhado. Por fim gostaria de agradecer ao meu orientador João Onofre P. Pinto pelo desafio, e orientação na solução do mesmo.

RESUMO

Durante todo o processo de geração, transmissão e distribuição de energia se fazem necessários cuidados com os equipamentos que compõem o SEP, e atualmente as concessionárias contam com muitas ferramentas para predição, prevenção e correção de defeitos. O presente trabalho avaliou um conjunto de RAA's (Relatório de Análise de Anomalia) de atuações atípicas de disjuntores de 138 kV e utilizou a técnica de *Rough Sets* em uma base de dados formada pelas informações mais relevantes de cada relatório. Como resultado da aplicação nos dados contidos neste trabalho a teoria mostrou uma redundância de informação, mas não apontou melhorias no procedimento de manutenção já aplicado nos equipamentos avaliados.

Palavras-Chave: Disjuntor, *Rough Set*, Manutenção Preventiva.

ABSTRACT

During the entire process of generation, transmission and distribution of energy, care is required with the equipment that make up the SEP, and currently the concessionaires have many tools for prediction, prevention and correction of defects. The present work evaluated a set of RAA's (Anomaly Analysis Report) of atypical actuations of 138 kV circuit breakers and used the Rough Sets technique in a database formed by the most relevant information in each report. As a result of the application in the data contained in this work, the theory showed a redundancy of information, but did not point out improvements in the maintenance procedure already applied to the evaluated equipment.

Keywords: Breaker, Rough Set, Preventive Maintenance.

LISTA DE FIGURAS

<i>Número</i>	<i>Página</i>
Figura 1 - Sistema Elétrico de Potência	14
Figura 2 - Tipos de Manutenção	16
Figura 3 - Disposição dos componentes na base de dados.....	21
Figura 4 - Cálculos de Imprecisão.....	26
Figura 5 - Histograma de idade dos equipamentos que apresentaram anomalias	35
Figura 6 - Anomalias por BAY de instalação.....	36
Figura 7 - Tipos de anomalias do sistema.....	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Atitude das crianças em relação aos brinquedos	24
Tabela 2 - Relação de não-discernimento	25
Tabela 3 - Redução de atributos condicionais	27
Tabela 4 - Retirada de atributos condicionais	28
Tabela 5 - Correspondente de dados	30
Tabela 6 - Adaptação de informações exemplo dos brinquedos	30
Tabela 7 - Resultado da função para atitude positiva	31
Tabela 8 - Redução dos atributos redundantes	31
Tabela 9 - Conversão de dados obtidos nos relatórios	33
Tabela 10 - Resultado para aproximação dos conjuntos	37

LISTA DE ABREVIACES

<i>Sigla</i>	<i>Resultado</i>
RAA	Relatório de Análise de Anomalias
DJ	Disjuntor
LT	Linha de Transmissão
TF	Transformador de Fora
SEP	Sistema Elétrico de Potência
SOMA	Sistemática Para Otimizao da Manuteno de Ativos

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1. Delimitação do estudo.....	13
1.1.1. Tipos de Manutenção.....	16
1.2. Objetivos	17
1.2.1. Objetivo Geral.....	17
1.2.2. Objetivos Específicos	18
1.3. Organização do trabalho	18
2. Fundamentação teórica	19
2.1. Manutenção Preventiva nos disjuntores	19
2.2. Conceitos fundamentais da teoria de <i>Rough Sets</i>	21
2.3. Aplicação de <i>Rough Sets</i>	23
3. Metodologia e Desenvolvimento.....	29
3.1. Adaptação da função.....	29
3.2. Aplicação da função no exemplo estudado	29
3.3. Adaptação dos dados para aplicação da função	31
3.4. Conclusão da aplicação no exemplo apresentado	34
4. Resultados	35
4.1. Avaliação dos dados contidos nos relatórios	35
4.2. Aplicação de <i>Rough Sets</i> na tabela de defeitos.....	37
4.3. Conclusão dos resultados	38
5. Conclusões Gerais	39
6. Referências	41
7. Anexos	43
8. Apêndices de Simulação	48

1. INTRODUÇÃO

A evolução da tecnologia dentro da sociedade tornou a energia elétrica essencial para o cotidiano, sendo ela aplicada em indústrias, trabalhos dentro de escritórios, durante aulas, comércio em geral entre outros. A eletricidade trás comodidade para o ambiente, possibilitando a utilização de computadores, telefones, aparelhos de celular, ar condicionado, iluminação, e muitos outros equipamentos eletrônicos.

O sistema elétrico está em constante expansão para atendimento dos clientes acompanhado pelo avanço da tecnologia envolvida no processo de geração, transmissão e distribuição da energia elétrica. Também evoluíram as tecnologias aplicadas em equipamentos de supervisão utilizados na proteção do SEP (Sistema Elétrico de Potência).

É comum na operação do SEP, ocorrerem falhas nos seus componentes que resultam na interrupção do atendimento. O defeito mais comum é o curto-circuito, que dá origem a correntes elevadas circulando em todos os equipamentos que compõem o arranjo. A sobrecarga também é um problema que causa danos materiais significativos, assim como a sub ou sobretensão [1].

Para que esses problemas sejam minimizados é realizada a proteção do SEP. O papel principal da proteção é garantir o isolamento do sistema que passa por uma anormalidade pré-estabelecida pela equipe de operação. Também é importante na supervisão das informações necessárias para a operação do SEP, identificação do problema e consequentemente a melhor forma de reestabelecimento do atendimento [1].

Dessa forma, a proteção é projetada para identificação e isolação do problema. O equipamento responsável por essa isolação é o disjuntor, o qual garante a interrupção e reestabelecimento das correntes do circuito ao qual está conectado. O funcionamento deste equipamento se dá através dos seus supervisórios, que fazem o comando conforme lógica programada sempre que necessário [2].

Assim como os demais equipamentos utilizados no SEP, o disjuntor também está susceptível a defeitos. Como esse equipamento interfere diretamente na operação do sistema, é importante que o mesmo esteja preparado para que o impacto no sistema seja minimizado.

É importante mapear o comportamento das falhas que o sistema está exposto, para que a operação seja reestabelecida com eficiência.

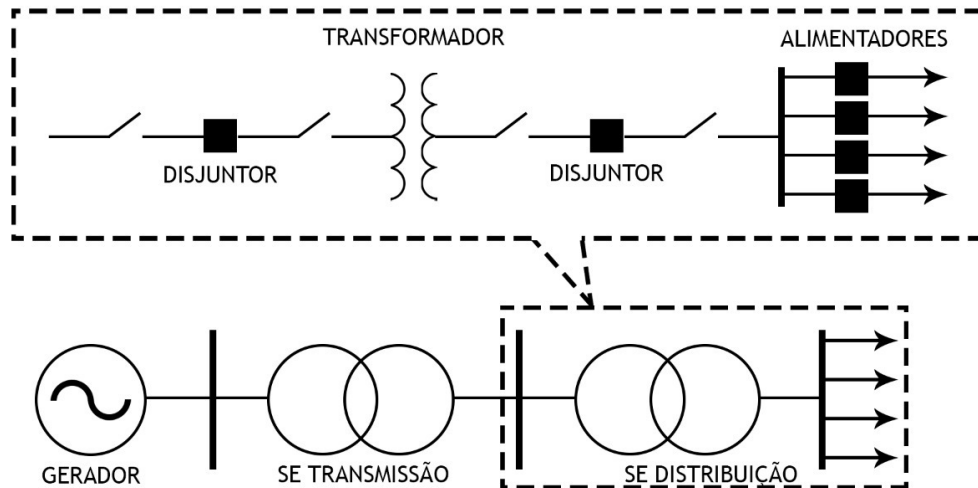
Existem ações realizadas para que as falhas sejam prevenidas. São elas baseadas no histórico de falhas dos equipamentos, estudo do desempenho dos mesmos e substituição de partes que sofrem desgastes com o tempo de utilização. Todas essas ações estão contidas na manutenção preventiva [3].

As manutenções se fazem necessárias para correta operação dos sistemas de distribuição, buscando prevenção de falhas e garantir o funcionamento do sistema. É de responsabilidade do órgão regulador assegurar que as concessionárias estão executando a manutenção nos equipamentos e instalações, com intuito de garantir a normalidade, confiabilidade e continuidade da operação [4].

1.1. DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

Dentro da filosofia do SEP temos a geração, transmissão e distribuição de energia. As SE's (Subestações) compõem o sistema para que seja possível o controle e transferência de energia, sendo responsáveis pela adequação dos níveis de tensão e funcionam como ponto de entrega para redes de grandes consumidores [5]. Na Figura 1 é apresentado um diagrama de como as subestações compõem o sistema de uma forma geral, este trabalho irá abordar apenas componentes de subestações de distribuição.

Figura 1 - Sistema Elétrico de Potência



Fonte: Própria Autoria, 2020.

As subestações são compostas por conjuntos de elementos com funções específicas dentro do SEP, denominados vãos (*BAYs*). Os *BAYs* permitem que a subestação seja operada por zonas. Cada *BAY* deve possuir dispositivos de proteção (relés) e equipamento de interrupção de corrente, com a finalidade de limitar os impactos proporcionados por ocorrências no sistema elétrico tais como: descargas atmosféricas, colisão, falhas de equipamentos, curtos-circuitos, etc. [3].

Os Disjuntores são equipamentos projetados para interromper altas correntes de defeito de seu circuito, durante o menor espaço de tempo possível. Esse equipamento está presente nos principais arranjos de proteção das subestações. Sua função é de suma importância para que o sistema tenha confiabilidade necessária para operar, sendo responsável por reestabelecer com agilidade sua função após um defeito [1].

Esse equipamento compõe os *BAYs* conforme a necessidade de proteção. Podendo ser alocado em pontos estratégicos para uma rápida mitigação de defeitos, visando a manutenção dos equipamentos ou para manobras no sistema. Assim, o impacto de uma falta pode ser minimizado conforme atuação da proteção. Os disjuntores são instalados em conjunto

com um painel composto por relés. Esses são responsáveis pela supervisão das correntes, tensões, etc. que enviam sinal de comando quando necessário [2].

Tais atuações garantem que o dano causado aos demais equipamentos dentro da subestação sejam controlados e/ou minimizados. Dessa forma, o sistema trabalha com maior precisão na operação, podendo ser reestabelecido com base na identificação do ponto de falta, mantendo o mínimo de ativos fora de operação e realizando os ajustes necessários para reestabelecimento do sistema completo.

Os RAA's, são elaborados através das principais ocorrências do sistema de subtransmissão. As faltas relatadas causaram impactos significativos na distribuição de energia elétrica e foram registrados de forma detalhada com intuito de manter um histórico dos defeitos. Esses relatos, elaborados pela equipe de engenharia da concessionária, identificam o problema ocorrido e contemplam a solução do mesmo, buscando armazenar as principais informações do sistema.

Para este trabalho, vão ser utilizados os RAA's que tiveram a finalidade de descrever os defeitos em disjuntores cuja classe de tensão é 138 kV. Esses equipamentos são encontrados em circuitos de proteção de linhas de transmissão, transformadores de força, reatores e bancos de capacitores. Os disjuntores são equipamentos robustos cuja função é interromper altas correntes. Buscando avaliar os dados de cada relatório selecionado, e retirando as principais características de cada atuação, foi montada uma base de dados para estudo.

Visando a melhor forma de avaliação do problema apresentado, a técnica de *Rough Sets* (conjuntos imprecisos) foi selecionada para o presente trabalho. A teoria de conjuntos imprecisos é uma técnica de IA (Inteligência Artificial) amplamente utilizada para desenvolvimento de sistemas de suporte a tomada de decisões. Geralmente esses sistemas são classificadores que lidam com dados numéricos e categóricos, como é o caso do problema apresentado [7].

Dentre as técnicas de IA, essa ferramenta foi selecionada pois trabalha com reconhecimento de padrões/regras, com abordagem difusa que leva em conta o grau de incerteza dos dados, inerente a características e classificação, onde outras técnicas utilizam

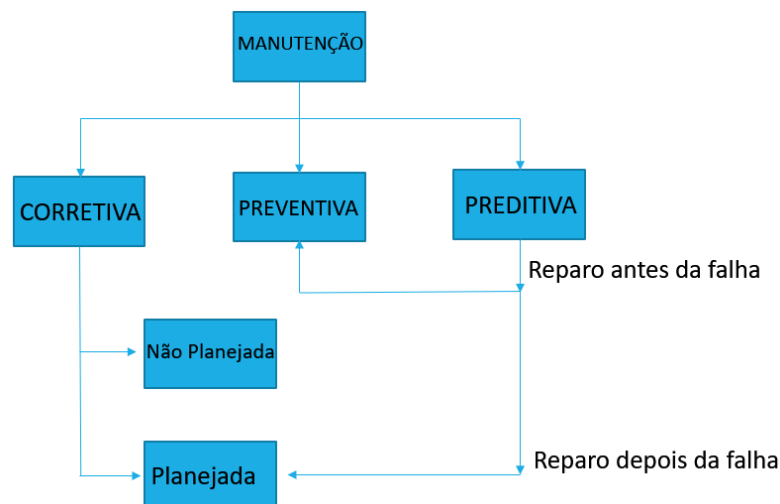
abordagens estatísticas (modelos probabilísticos), sintáticas (inter-relações de características) e neural (mapeamento de entradas e saídas conforme uma rede neural).

Para a aplicação da IA será utilizado o software MATLAB, onde as funções serão adaptadas para a base de dados montada a partir dos RAA's acima citados. Para que seja confirmada a convergência dos resultados das funções adaptadas do software, um exemplo será desenvolvido teoricamente e adaptado para que a função do MATLAB seja testada, a fim de comparação dos resultados.

1.1.1. Tipos de Manutenção

São utilizados para a manutenção três principais vertentes, como é possível identificar na Figura 2, onde as manutenções que são passíveis de atuação são a manutenção do tipo corretiva e preventiva. É possível verificar que a predição é uma ferramenta que auxilia a manutenção preventiva [8].

Figura 2 - Tipos de Manutenção



Fonte: Própria autoria, 2020.

Conforme Enon Laércio [8] “A manutenção corretiva pode ser entendida como todo trabalho de manutenção realizado após a falha do equipamento, visando restabelecê-lo à sua função requerida, eliminando o estado de falha”, podendo ser planejada ou não-planejada essa atuação, buscado que o equipamento fique fora de operação pelo menor tempo possível.

Ainda sobre a manutenção, descreveu “*A manutenção preventiva, por sua vez, é definida para a situação em que não se caracterizou um estado de falha. Sendo assim, essa forma de manutenção é aquela realizada em um equipamento com a intenção de reduzir a probabilidade de ocorrência da falha. É uma intervenção de manutenção prevista, preparada ou programada antes da data provável do aparecimento da falha*”, sendo esse o tipo de atuação o objetivo do trabalho.

Os equipamentos aqui estudados trabalham com dois tipos de manutenção preventiva:

- Revisão Parcial: onde são executados ensaios de rotina como a medição de resistência de isolamento da câmara, resistência de contato, verificação de nível de isolamento do material isolante, entre outras atuações de prevenção. Esses são executados com intervalos menores de tempo, para que o equipamento esteja sob acompanhamento da equipe de engenharia.
- Revisão Geral: além dos serviços presentes na revisão parcial, também são feitas medições de tempo de abertura/fechamento, inspeção de contatos, limpeza e lubrificação dos mecanismos de abertura, fechamento, freio, entre outros procedimentos. Esses são realizados conforme a periodicidade indicada pelo SOMA, que será comentado adiante.

Dessa forma, o intuito do trabalho é colaborar com a melhoria da manutenção preventiva, através do estudo do resultado após aplicação de *Rough Sets*, e verificação das regras de saída para mapear as falhas estudadas.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é avaliar os dados contidos nos Relatórios de Análise de Anomalia em disjuntores que compõem o sistema de distribuição (138 kV). Utilizar Teoria de

Rough Sets na avaliação deste banco de dados, visando melhorar a manutenção preventiva, e assim minimizar atuação por defeitos passíveis de prevenção.

1.2.2. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- Estudar e aprender a utilizar a Técnica dos *Rough Sets*;
- Aplicar a Teoria dos *Rough Sets* nos dados obtidos através dos RAA's;
- Avaliar a possibilidade de previsão dos eventos através das regras obtidas pela aplicação de *Rough Sets*.

1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

No capítulo 1 foi apresentado a motivação e objetivos do trabalho. No capítulo 2 será apresentada fundamentação teórica. No capítulo 3 metodologia e desenvolvimento serão apresentados, assim como a ferramenta utilizada para o presente estudo e a base de dados criada a partir dos RAA's. No capítulo 4 serão apresentados uma avaliação do banco de dados e também os resultados para a aplicação das funções desenvolvidas no MATLAB. E por fim as conclusões são feitas no capítulo 5.

2 . FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesse capítulo serão apresentadas algumas definições relevantes para o entendimento do trabalho, incluindo os principais conceitos da Teoria de *Rough Sets*. Um exemplo será utilizado para ilustrar tal técnica, e tornar mais fácil a compreensão pelo leitor.

2.1. MANUTENÇÃO PREVENTIVA NOS DISJUNTORES

Para que sejam compreendidos alguns termos que serão utilizados nesse trabalho, é importante padronizarmos alguns termos. Assim, seguem as definições da concessionária local [7]:

- *Equipamento: Unidade funcional completa e distinta que exerce uma ou mais funções;*
- *Ensaio: Procedimento técnico adotado pelas equipes de manutenção ou de comissionamento para avaliar o desempenho de equipamentos;*
- *Equipamento crítico: Equipamento cujo desligamento forçado acarreta ou potencializa grandes distúrbios no sistema elétrico;*
- *Falha: Efeito ou consequência de uma ocorrência acidental em uma instalação/ equipamento que acarreta sua indisponibilidade operativa em condições não programadas impedindo-o de funcionar e, portanto, de desempenhar suas funções em caráter permanente ou temporário;*
- *Contingência: Perda de equipamentos que altera as condições operativas do sistema;*
- *Perturbação: Desligamento forçado de um ou mais componentes do sistema elétrico, acarretando quaisquer das seguintes consequências: corte de carga, desligamento de outros componentes do sistema com danos em equipamentos. Também se caracteriza como perturbação a variação de*

tensão ou frequência fora dos limites, mesmo não acarretando desligamento forçado (falha da proteção). Diz-se também distúrbio.

- *Manutenção Corretiva: Serviço programado ou não, em instalação, equipamento ou sistema para corrigir falhas ou defeitos, a fim de restabelecer as suas condições de operação e de segurança;*
- *Manutenção Preventiva: Todo serviço de manutenção programada para controle, conservação e restauração dos equipamentos, e instalações, a fim de mantê-los em condições satisfatórias de operação e evitar ocorrências que acarretem a sua indisponibilidade;*
- *Subestação: Parte de um sistema de potência concentrada em um dado local, que compreende primordialmente as extremidades de linha de transmissão, subtransmissão ou distribuição, com os respectivos dispositivos de manobra, controle e proteção, incluindo obras civis e estruturas de montagem, pode também incluir transformadores, equipamentos, conversores e/ou outros equipamentos.*

As manutenções preventivas são executadas conforme previsão realizada pelo SOMA (Sistemática Para Otimização da Manutenção de Ativos), que é uma ferramenta interna desenvolvida pela concessionária, que segue as normas estabelecidas pelos órgãos reguladores.

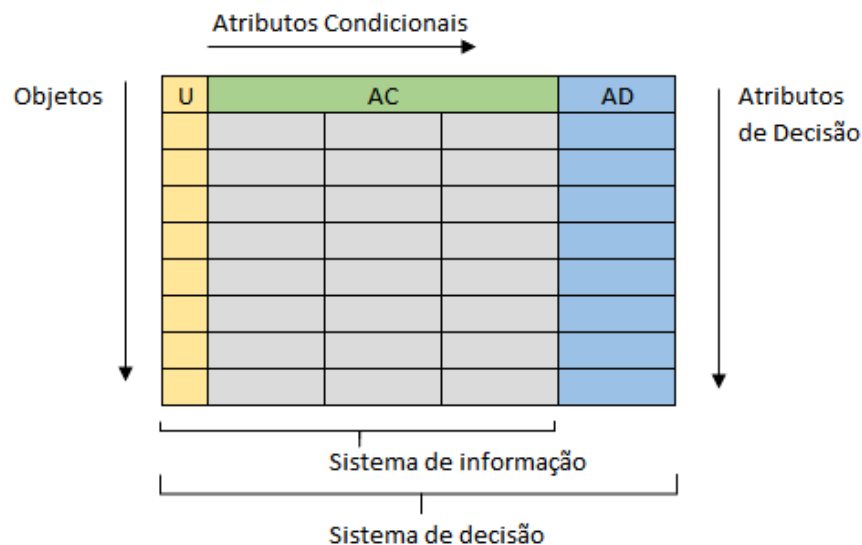
De acordo com a publicação no Diário Oficial da União: “*As manutenções preventivas periódicas de disjuntores e de chaves de alta velocidade devem ser realizadas, no mínimo, a cada 72 meses [...]*” [8], onde são realizados inspeções e testes minuciosos para garantir o correto funcionamento durante a vida útil do equipamento.

2.2. CONCEITOS FUNDAMENTAIS DA TEORIA DE *ROUGH SETS*

A *Rough Sets Theory*, ou teoria dos conjuntos aproximados, é uma ferramenta que trabalha informações imprecisas ou incompletas através de lógicas e identifica o não-discernimento entre os elementos [7]. Sendo assim caracterizada por ser uma ferramenta matemática capaz de tratar a incerteza e imprecisão de um conjunto de dados [8].

Para desenvolvimento da teoria, define-se um sistema como um par $S = (U, A)$, sendo U um conjunto finito e não-vazio denominado universo e A o conjunto de atributos [9]. Definindo ainda $A = (C \cup D)$, denominados C como atributo condicional e D atributos de decisão. Dessa forma, pode-se identificar a composição da base de dados conforme apresentado na tabela genérica da Figura 3.

Figura 3 - Disposição dos componentes na base de dados



Fonte: Própria Autoria, 2020.

O sistema de informação é composto pelos objetos e os atributos condicionais. Sendo esses responsáveis pela caracterização dos dados. O sistema de decisão conta com os dados do sistema de informação e ainda com os atributos de decisão, que são os responsáveis pela classificação do objeto.

Uma importante definição para a aplicação da teoria é a relação de indiscernibilidade, que é associada aos atributos condicionais, e definida como uma relação de equivalência entre os dados, sendo aplicada quando objetos possuem os mesmos valores de atributos [9]. Dessa forma pode-se utilizar subconjuntos $B \subset A$, para avaliação dos dados e a indiscernibilidade definida como $IND_S(B) = \{(x, y) \in U^2 / \forall a \in B, a(x) = a(y)\}$, onde a são os dados contidos nos atributos[8].

Através da igualdade dos dados contidos em cada atributo, é possível agrupar as informações para que seja feito o reduto. Como os atributos são independentes, é possível que haja mais de um reduto para o conjunto de dados trabalhado [7]. O reduto auxilia na compactação dos dados, dessa forma pode-se representar o mesmo conjunto de informações com uma quantidade menor de atributos [10].

Outra definição importante são as aproximações superior, inferior e região de fronteira. Essas aproximações nos permitem saber qual o coeficiente de incerteza encontrado na aplicação da técnica na base de dados. Considerando o conceito X , atributo de saída, o objetivo é encontrar subconjuntos de X que são definidos como:

- Aproximação Superior é composta por um conjunto de dados cujos elementos podem pertencer ao conceito X .

$$\overline{B}(X)$$

- Aproximação Inferior é composta pelo conjunto nos quais os elementos pertencem ao conceito X .

$$\underline{B}(X)$$

- Região de Fronteira são os elementos que estão contidos na aproximação superior de X , mas não compõem a aproximação inferior.

$$BN(X) = \overline{B}(X) - \underline{B}(X)$$

Baseados então nas aproximações é possível fazer o cálculo do coeficiente de incerteza $\alpha_B(X) = \frac{|\underline{X}|}{|\overline{X}|}$, onde $\underline{X}$ é o número de elementos no conjunto de X inferior e $\overline{X}$ é a aproximação de elementos de X superior. Pode ainda ser entendido com a qualidade da aproximação do atributo X . Sendo visto como um bom resultado o conceito mais próximo de 1 (*crisp*) [10].

2.3. APLICAÇÃO DE *ROUGH SETS*

O exemplo deste trabalho é utilizado para apresentação da técnica. O intuito é mostrar o desenvolvimento do passo a passo e como as reduções ajudam a melhorar os dados sem alteração do atributo decisão.

O exemplo apresentado foi retirado de notas de aula, e o intuito é mostrar o desenvolvimento do exemplo e comparar com os resultados após aplicação da função. Portanto, relata um fabricante de brinquedos que precisa de uma avaliação da atitude das crianças, relacionada aos seus brinquedos comercializados [5]. Dessa forma são apresentados os atributos condicionais e de decisão, mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 - Atitude das crianças em relação aos brinquedos

<i>U</i>	<i>Atributos Condicionais</i>					<i>Atributo De Decisão</i>	
Criança	Cor	Tamanho	Tato	Textura	Material	Atitude	CN
1	Azul	Grande	Duro	Indefinido	Plástico	Negativa	1
2	Vermelho	Médio	Moderado	Liso	Madeira	Neutra	1
3	Amarelo	Pequeno	Macio	Áspero	Pelúcia	Positiva	1
4	Azul	Médio	Moderado	Áspero	Plástico	Negativa	1
5	Amarelo	Pequeno	Macio	Indefinido	Plástico	Neutra	1
6	Verde	Grande	Duro	Liso	Madeira	Positiva	1
7	Amarelo	Pequeno	Duro	Indefinido	Metal	Positiva	1
8	Amarelo	Pequeno	Duro	Indefinido	Plástico	Positiva	1
9	Verde	Grande	Duro	Liso	Madeira	Neutra	1
10	Verde	Médio	Moderado	Liso	Plástico	Neutra	1

Fonte: [5]

Conforme apresentado no capítulo anterior, os objetos são definidos $U = \{1,2,3,4,5,6,7,8,9,10\}$

Assim como os atributos condicionais são $C = \{Cor, Tamanho, Tato, Textura, Material\}$

E também se tem o atributo de decisão $D = \{Atitude\}$

E pode-se representar o sistema por $\mathfrak{R} = (U, C \cup D)$

E dessa forma são descritas as características do sistema. Conforme mostrado no capítulo 2, relação de não-discernimento é importante para o tratamento dos dados [5]. Considerando apenas os atributos condicionais, fica evidenciado o caso na Tabela 2.

Tabela 2 - Relação de não-discernimento

<i>U</i>	<i>Atributos Condicionais</i>					<i>Número de Objetos</i>
<i>Criança</i>	<i>Cor</i>	<i>Tamanho</i>	<i>Tato</i>	<i>Textura</i>	<i>Material</i>	<i>CN</i>
1	Azul	Grande	Duro	Indefinido	Plástico	1
2	Vermelho	Médio	Moderado	Liso	Madeira	1
3	Amarelo	Pequeno	Macio	Áspero	Pelúcia	1
4	Azul	Médio	Moderado	Áspero	Plástico	1
5	Amarelo	Pequeno	Macio	Indefinido	Plástico	1
6 / 9	Verde	Grande	Duro	Liso	Madeira	2
7	Amarelo	Pequeno	Duro	Indefinido	Metal	1
8	Amarelo	Pequeno	Duro	Indefinido	Plástico	1
10	Verde	Médio	Moderado	Liso	Plástico	1

Fonte: [5]

Assim é não é possível distinguir entre si os resultados das crianças 6 e 9. Que consistem em superior, inferior e região de fronteira. Para o conjunto de objetos que representam o valor atributo de decisão “positiva”, temos:

Aproximação Superior $\overline{BX} = \{3,6,7,8,9\}$

Aproximação Inferior $\underline{BX} = \{3,7,8\}$

Região de Fronteira $BN = \overline{BX} - \underline{BX} = \{6,9\}$

Da mesma forma, para os atributos de atitudes “Neutra”:

Aproximação Superior $\overline{BX} = \{2,5,6,9,10\}$

Aproximação Inferior $\underline{BX} = \{2,5,10\}$

Região de Fronteira $BN = \overline{BX} - \underline{BX} = \{6,9\}$

E para a aproximação “Negativa”:

Aproximação Superior $\overline{BX} = \{1,4\}$

Aproximação Inferior $\underline{B}X = \{1,4\}$

Região de Fronteira $BN = \overline{B}X - \underline{B}X = \{\}$

Baseado nesses resultados, temos os coeficientes de incerteza na Figura 4.

Figura 4 - Cálculos de Imprecisão

Coeficiente de Imprecisão para $X = \{3, 6, 7, 8\}$:		
$\Rightarrow \alpha_B(X) = \frac{ \{3, 7, 8\} }{ \{3, 6, 7, 8, 9\} } = \frac{3}{5} = 0.6$		Atitude = Positiva
Coeficiente de Imprecisão para $X = \{2, 5, 9, 10\}$:		
$\Rightarrow \alpha_B(X) = \frac{ \{2, 5, 10\} }{ \{2, 5, 6, 9, 10\} } = \frac{3}{5} = 0.6$		Atitude = Neutra
Coeficiente de Imprecisão para $X = \{1, 4\}$:		
$\Rightarrow \alpha_B(X) = \frac{ \{1, 4\} }{ \{1, 4\} } = \frac{2}{2} = 1$		Atitude = Negativa

Fonte: [5]

A fim de melhorar a base de dados, a redução se dá pela descoberta de atributos redundantes do sistema. Após avaliação do mesmo, fica identificado na Tabela 3, que a coluna cor pode ser desprezada, uma vez que ao retirá-la não temos alterações nos cálculos anteriores.

Tabela 3 - Redução de atributos condicionais

<i>U</i>	<i>Atributos Condicionais</i>				
Criança	Cor	Tamanho	Tato	Textura	Material
1	<i>Azul</i>	<i>Grande</i>	<i>Duro</i>	<i>Indefinido</i>	<i>Plástico</i>
2	<i>Vermelho</i>	<i>Médio</i>	<i>Moderado</i>	<i>Liso</i>	<i>Madeira</i>
3	<i>Amarelo</i>	<i>Pequeno</i>	<i>Macio</i>	<i>Áspero</i>	<i>Pelúcia</i>
4	<i>Azul</i>	<i>Médio</i>	<i>Moderado</i>	<i>Áspero</i>	<i>Plástico</i>
5	<i>Amarelo</i>	<i>Pequeno</i>	<i>Macio</i>	<i>Indefinido</i>	<i>Plástico</i>
6	<i>Verde</i>	<i>Grande</i>	<i>Duro</i>	<i>Liso</i>	<i>Madeira</i>
7	<i>Amarelo</i>	<i>Pequeno</i>	<i>Duro</i>	<i>Indefinido</i>	<i>Metal</i>
8	<i>Amarelo</i>	<i>Pequeno</i>	<i>Duro</i>	<i>Indefinido</i>	<i>Plástico</i>
9	<i>Verde</i>	<i>Grande</i>	<i>Duro</i>	<i>Liso</i>	<i>Madeira</i>
10	<i>Verde</i>	<i>Médio</i>	<i>Moderado</i>	<i>Liso</i>	<i>Plástico</i>

Fonte: [5]

Para verificação de novas possibilidades de redução, é necessário que seja retirada a coluna e refeitas as análises anteriores. Assim, foi possível observar que apenas a cor é um atributo redundante para a nossa análise, pois ao retirar as demais colunas surgem novas indiscernibilidades, conforme Tabela 4.

Tabela 4 - Retirada de atributos condicionais

<i>U</i>	<i>Atributos Condicionais</i>				
Criança	Cor	Tamanho	Tato	Textura	Material
1	<i>Azul</i>	<i>Grande</i>	<i>Duro</i>	<i>Indefinido</i>	<i>Plástico</i>
2	<i>Vermelho</i>	<i>Médio</i>	<i>Moderado</i>	<i>Liso</i>	<i>Madeira</i>
3	<i>Amarelo</i>	<i>Pequeno</i>	<i>Macio</i>	<i>Áspero</i>	<i>Pelúcia</i>
4	<i>Azul</i>	<i>Médio</i>	<i>Moderado</i>	<i>Áspero</i>	<i>Plástico</i>
5	<i>Amarelo</i>	<i>Pequeno</i>	<i>Macio</i>	<i>Indefinido</i>	<i>Plástico</i>
6	<i>Verde</i>	<i>Grande</i>	<i>Duro</i>	<i>Liso</i>	<i>Madeira</i>
7	<i>Amarelo</i>	<i>Pequeno</i>	<i>Duro</i>	<i>Indefinido</i>	<i>Metal</i>
8	<i>Amarelo</i>	<i>Pequeno</i>	<i>Duro</i>	<i>Indefinido</i>	<i>Plástico</i>
9	<i>Verde</i>	<i>Grande</i>	<i>Duro</i>	<i>Liso</i>	<i>Madeira</i>
10	<i>Verde</i>	<i>Médio</i>	<i>Moderado</i>	<i>Liso</i>	<i>Plástico</i>

Fonte: [5].

Portanto, é possível concluir que as crianças não levam a cor em consideração quando ganham o presente. Ao contrário do material, que altera a relação de atributos idênticos entre si.

3 . M E T O D O L O G I A E D E S E N V O L V I M E N T O

Esse capítulo apresenta a ferramenta computacional utilizada no presente trabalho. Os códigos do MATLAB foram funções adaptadas cujo intuito era mapeamento e identificação de imagens. Dessa forma, foram necessários ajustes para que a função fosse aplicada corretamente em uma tabela contendo os dados do estudo.

3.1. ADAPTAÇÃO DA FUNÇÃO

A função utilizada foi desenvolvida pelo pesquisador Ahmed Hamed [6] para uma redução de conjuntos imprecisos, disponibilizada em 13 de agosto de 2016. É apresentado no final deste trabalho o código, que ficou dividido em três funções que retornam resultados distintos. Para que a função tenha êxito no resultado é necessário a base de dados seja composta apenas por informações numéricas.

Para as aproximações superiores e inferiores foi necessário adaptar a função contida nos códigos encontrados no apêndice. Esses códigos são responsáveis por desenvolver a teoria mostrada no capítulo 2, onde o resultado é baseado no atributo de decisão, visando trabalhar toda a base de dados. Foram criadas funções para desempenhar os cálculos da precisão do sistema, assim como para aproximação e também a redução, que utiliza as informações das duas funções anteriores e verifica a redundância dos dados.

3.2. APLICAÇÃO DA FUNÇÃO NO EXEMPLO ESTUDADO

Para a aplicação da função foi necessária conversão dos dados da Tabela 1. No código contido no apêndice, Código 1 [6] é possível identificar que a adaptação foi feita através de exportação de dados do Excel. Também é fácil identificar os correspondentes da conversão na Tabela 5.

Tabela 5 - Correspondente de dados

De	Para	De	Para	De	Para	De	Para
Azul	1	Plástico	1	Duro	1	Pequeno	1
Vermelho	2	Madeira	2	Moderado	2	Médio	2
Amarelo	3	Pelúcia	3	Macio	3	Grande	3
Verde	4	Metal	4	Indefinido	1	Positiva	1
				Liso	2	Negativa	2
				Áspero	3	Neutra	3

Fonte: Própria autoria, 2020.

Dessa forma é possível visualizar a matriz final da conversão na Tabela 6. O resultado correspondente foi enviado para uma variável do MATLAB, e as respostas da aplicação da função do subcapítulo 3.1 serão apresentados no subcapítulo 4.1.

Tabela 6 - Adaptação de informações exemplo dos brinquedos

Atributos Condicionais						Atributo De Decisão
Criança	Cor	Tamanho	Tato	Textura	Material	Atitude
1	1	3	1	1	1	2
2	2	2	2	2	2	3
3	3	1	3	3	3	1
4	1	2	2	3	1	2
5	3	1	3	1	1	3
6	4	3	1	2	2	1
7	3	1	1	1	4	1
8	3	1	1	1	1	1
9	4	3	1	2	2	3
10	4	2	2	2	1	3

Fonte: Própria autoria, 2020.

Após a aplicação da função, definida no subcapítulo 3.1, nos dados da Tabela 6 foram identificadas as aproximações apresentadas na Tabela 7 são idênticos aos resultados apresentados no capítulo 2. Também é mostrado que as imprecisões são calculadas corretamente na função.

Tabela 7 - Resultado da função para atitude positiva

Aproximação de conjuntos															
Positiva							Negativa				Neutra				
Aproximação superior	3	6	7	8	9	Aproximação superior	1	4	Aproximação superior	2	5	6	9	10	
Aproximação inferior	3	7	8			Aproximação inferior	1	4	Aproximação inferior	2	5	10			
Fronteira	6	9				Fronteira			Fronteira	6	9				
α (imprecisão)						α (imprecisão)			α (imprecisão)						
0,600						1,000			0,600						

Fonte: Própria autoria, 2020.

Após a simulação das aproximações dos conjuntos, foi feita a aplicação da função de redução. O resultado é mostrado na Tabela 8. É possível observar que ambos os resultados, da função apresentado na Tabela 8, e da teoria apresentada na Tabela 3, convergem. Portanto, a aplicação da função tem comportamento efetivo na aplicação de *Rough Sets*.

Tabela 8 - Redução dos atributos redundantes

Atributos Condicionais				Atributo De Decisão
Tamanho	Tato	Textura	Material	Atitude
3	1	1	1	2
2	2	2	2	3
1	3	3	3	1
2	2	3	1	2
1	3	1	1	3
3	1	2	2	1
1	1	1	4	1
1	1	1	1	1
3	1	2	2	3
2	2	2	1	3

Fonte: Própria autoria, 2020.

3.3. ADAPTAÇÃO DOS DADOS PARA APLICAÇÃO DA FUNÇÃO

Através da demonstração contida no capítulo 2, se viu necessário montagem de uma matriz de dados. Em consideração a função definida na seção 3.1, do código de aplicação do MatLab, é necessário que a matriz seja composta apenas por números. Portanto, as informações serão trabalhadas até que a função seja aplicável na matriz.

Foram analisados os RAA's para padronização das informações contidas. A partir disso foram selecionados os dados que caracterizam cada atuação para compor uma tabela. O banco de dados teve como atributos condicionais:

- Ano de fabricação;
- O fabricante;
- Idade do equipamento no momento da falha (independentemente do tempo instalado);
- Tipo de isolamento do equipamento;
- E por fim, o BAY.

O ano de fabricação é importante para ajudar na identificação das tecnologias já disponíveis quando o equipamento foi construído. O fabricante é importante para análise de desempenho do equipamento. A idade do equipamento no momento da falha (sem identificação se o mesmo estava ou não instalado durante todo o tempo), serve para que vejamos o período que o equipamento funcionou sem atuações de grande impacto.

O tipo de isolamento do equipamento mostra como a tecnologia foi aplicada, uma vez que os isolantes são responsáveis por mitigar a centelha durante a abertura ou fechamento dos contatos internos. E o tipo de *BAY* é importante para identificar a instalação do equipamento.

Classificando os tipos de defeitos que cada DJ apresentou como atributos de decisão, foi possível observar de forma geral o problema principal do equipamento. Através da análise de cada falha, foram definidos como:

- Mecânico: é composto por um conjunto de equipamentos responsáveis pela operação de abertura e fechamento do disjuntor;
- Comando: é composto por todos os defeitos encontrados dentro dos painéis, onde ficam os equipamentos responsáveis pela parte elétrica e de supervisão (bornes, contadores, resistência de contato, etc.);

- Pressão: é a falha identificada como vazamento de gás SF₆, utilizado para isolamento e mitigação de arco interno do equipamento. Esse defeito só é apresentado em equipamento com isolamento a gás;
- Outros: casos que não são controlados, como a entrada animais no SE, falha de comunicação, etc.

Com os dados apresentados, foi montada a planilha mostrada no anexo 1. Para a aplicação da função, foram necessárias as conversões para números das informações.

Tabela 9 - Conversão de dados obtidos nos relatórios

De	Para	De	Para	De	Para	De	Para	De	Para
1973	1	FAB 1	1	RE	1	Mecânico	1	gás	1
1974	2	FAB 2	2	LT	2	Comando	2	óleo	2
1982	3	FAB 3	3	TF	3	Outros	3		
1987	4	FAB 4	4	BC	4	Pressão	4		
1989	5	FAB 5	5						
1992	6	FAB 6	6						
1993	7	FAB 7	7						
1996	8	FAB 8	8						
1999	9	FAB 9	9						
2000	10	FAB 10	10						
2001	11	FAB 11	11						
2005	12	FAB 12	12						
2006	13	FAB 13	13						
2007	14	FAB 14	14						
2011	15								
2012	16								
2013	17								
2014	18								
2016	19								
2017	20								

Fonte: Própria autoria, 2020.

O resultado dessa conversão foi mostrado na tabela 2 do anexo. Para a aplicação do código definido no MATLAB, esses dados foram importados para o mesmo.

3.4. CONCLUSÃO DA APLICAÇÃO NO EXEMPLO APRESENTADO

É possível concluir que a função teve o comportamento esperado. Se os resultados da Tabela 7 forem comparados aos resultados do exemplo utilizado no capítulo 2, o comportamento da função é correto. Portanto, a função aplica a Teoria de *Rough Sets* de forma correta no exemplo mostrado.

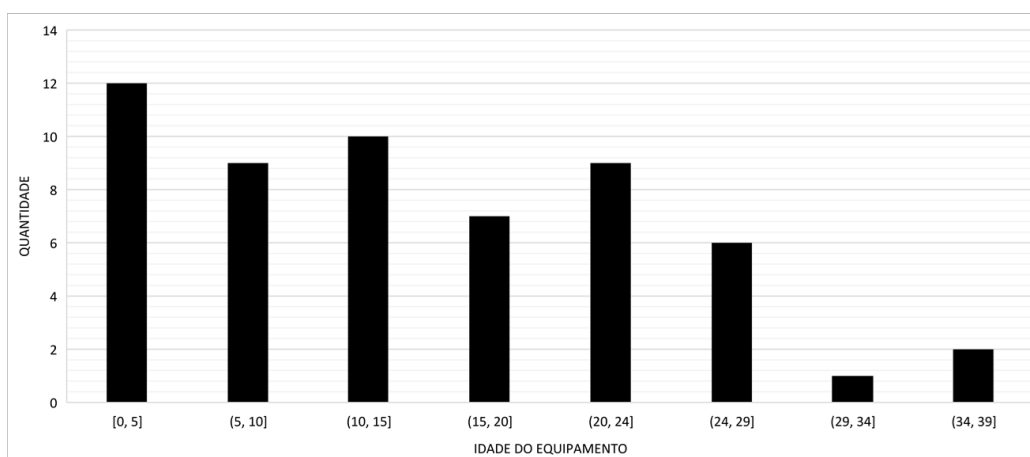
4. RESULTADOS

Nesse capítulo serão apresentados os resultados da aplicação da função contida no MATLAB na base de dados desenvolvida na seção 3.3. Se faz necessária uma avaliação dos dados utilizados como base para compreensão dos problemas apresentados.

4.1. AVALIAÇÃO DOS DADOS CONTIDOS NOS RELATÓRIOS

Para melhor contextualização das informações contidas nos RAA's serão apresentadas algumas características importantes para o trabalho. O objeto estudado são os disjuntores de 138 kV instalados no Estado de Mato Grosso do Sul. Ao reunir todas as informações, fica evidente na Figura 5 que a idade dos equipamentos não é o principal defeito encontrado dentre as anomalias apresentadas.

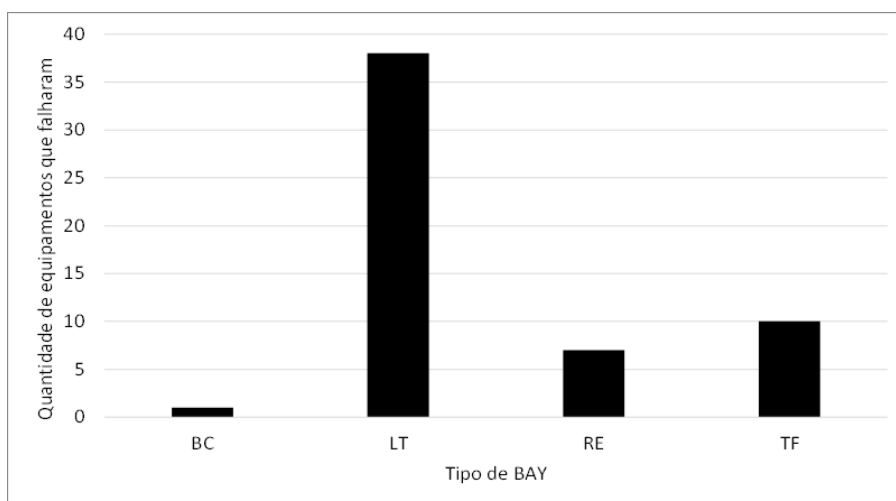
Figura 5 - Histograma de idade dos equipamentos que apresentaram anomalias



Fonte: Própria autoria, 2020.

Levando em consideração os BAY's de instalação, também foram observados que as atuações reincidentes foram em equipamentos instalados para proteção linhas de transmissão, resultado esse mostrado nos dados contidos na Figura 6.

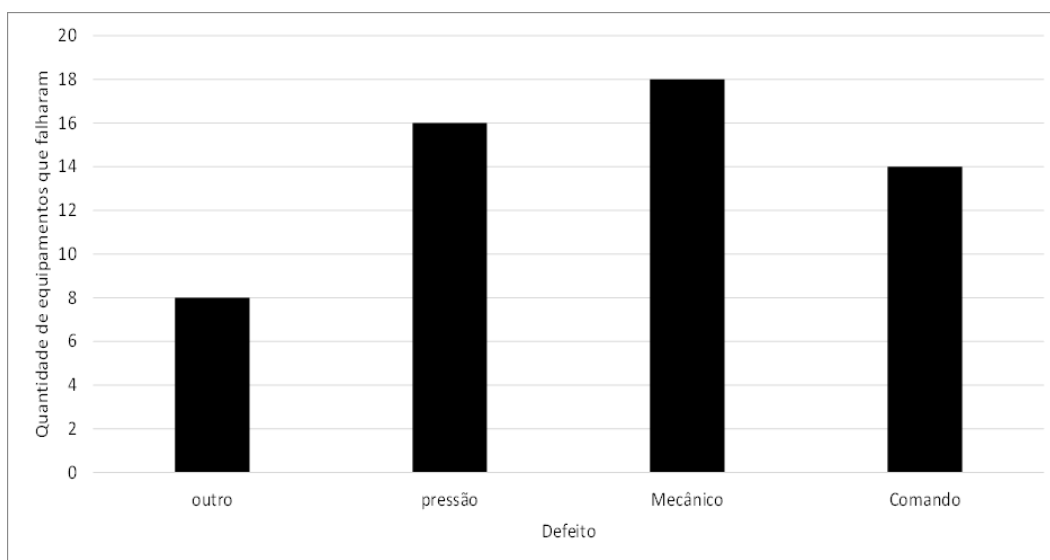
Figura 6 - Anomalias por BAY de instalação



Fonte: Própria autoria, 2020.

Ainda é possível observar que a anomalia mais recorrente foram problemas mecânicos, conforme mostrado na Figura 7. Vale ressaltar que os equipamentos sujeitos a defeito por “pressão”, são apenas aqueles cuja isolação feita a gás que representam quase 83% dos equipamentos que tiveram atuação necessária para que fosse gerado um RAA.

Figura 7 - Tipos de anomalias do sistema



Fonte: Própria autoria, 2020.

4.2. APLICAÇÃO DE *ROUGH SETS* NA TABELA DE DEFEITOS

A partir da tabela 2 do anexo, o código 5 do apêndice foi adaptado para aplicar as funções definidas. Baseado nessas informações, a Tabela 10 mostra os resultados da simulação.

Tabela 10 - Resultado para aproximação dos conjuntos

Aproximação de conjuntos																									
Mecânico																									
Aproximação superior	1	2	4	5	6	9	10	12	14	16	18	20	24	25	26	28	31	33	37	40	42	44	46		
Aproximação inferior	1	2	4	5	6	9	10	14	16	28	42	44	46												
Fronteira	12	18	20	24	25	26	31	33	37	40															
α (imprecisão)																									
0,5652																									
Comando																									
Aproximação superior	3	11	12	19	21	23	24	25	26	29	30	31	35	36	38	39	40	41	45						
Aproximação inferior	3	11	30	35	36	38	39	41	45																
Fronteira	12	19	21	23	24	25	26	29	31	40															
α (imprecisão)																									
0,4737																									
Outros																									
Aproximação superior	7	17	18	22	27	37	48	52	53																
Aproximação inferior	7	17	22	27	48	52	53																		
Fronteira	18	37																							
α (imprecisão)																									
0,7778																									
Pressão																									
Aproximação superior	8	13	15	19	20	21	23	25	26	29	32	33	34	40	43	47	49	50	51	54	55				
Aproximação inferior	8	13	15	32	34	43	47	49	50	51	54	55													
Fronteira	19	20	21	23	25	26	29	33	40																
α (imprecisão)																									
0,5714																									

Fonte: Própria autoria, 2020.

É possível visualizar que a aproximação superior do atributo “Mecânico” possui muitos componentes, e se tem uma fronteira também com muitos dados. Esses resultados fazem com que o sistema tenha um coeficiente de imprecisão prejudicado.

Para as aproximações do atributo “Comando”, o coeficiente de imprecisão é ainda menor. Resultado esse dado pelo fato de haverem mais itens na fronteira do que itens

pertencentes ao conjunto, uma vez que a fronteira é formada pelos objetos possíveis de serem membros do conjunto.

Para as aproximações do atributo “Outros”, é possível visualizar que o coeficiente de imprecisão tem o melhor resultado entre os apresentados. Enquanto o atributo pressão trabalha com seu coeficiente em uma margem pouco acima dos demais.

A função elaborada leva em consideração os resultados apresentados na Tabela 10. Ao aplicar a redução, o atributo condicional identificado redundante estava coluna de “Isolação”, esse resultado pode ser visto na tabela 3 do anexo.

O SF₆ vem sendo estudado desde 1904, quando foi sua primeira sintetização. Porém, somente no final dos anos 1940 foi iniciada a sua aplicação como isolante em disjuntores, baseado nos resultados promissores apresentados deste como meio de interrupção de arcos elétricos [13].

Conforme dados contidos nos RAA's, estima-se que esses equipamentos passaram a ser adquiridos com maior frequência para substituição de equipamentos obsoletos a partir da década de 1980, e aumentando a partir desta a presença no sistema.

4.3. CONCLUSÃO DOS RESULTADOS

Os coeficientes de incerteza mostram a imprecisão dos resultados, uma vez que o objetivo é se aproximar do “1”, que representa maior confiança, enquanto “0” maior imprecisão. Ao olhar para as atuações contidas em “Mecânico”, é possível identificar a similaridade com os demais defeitos, dessa forma a zona de fronteira acaba agregando muitos dos componentes e prejudicando os resultados.

É importante ressaltar que a redução feita não deve ser tomada como verdade absoluta, pois uma série de fatores influenciam para a redução e os coeficientes apresentam alta indiscernibilidade. Os resultados excluídos podem ser considerados redundantes, pois a técnica busca reduzir as informações para que as regras encontradas possam atender de forma clara e objetiva quando aplicada em outras bases de dados.

5 . C O N C L U S Õ E S G E R A I S

No exemplo apresentado a seção 2.2 onde o resultado é satisfatório, uma vez que o perfil de reação aos brinquedos é traçado. Com isso, a técnica conseguiu criar regras para cada saída condicional e mapear a reação das crianças conforme brinquedo adquirido. Também se observou que a cor não interferiu na reação, sendo esse um dado redundante pelo ponto de vista da técnica de *Rough Sets*.

Após adaptação das funções disponibilizadas e adaptação da base de dados do exemplo acima citado, foi realizada a compilação dos dados. Ao comparar os resultados do exemplo com os resultados mostrados no MATLAB, conclui-se que a função tem o comportamento desejado, conforme a teoria.

Visando adaptação e aplicação da função no resultado do estudo nos relatórios, foram obtidas as aproximações e a redução para o sistema. O coeficiente de incerteza resultante da aplicação mostra a imprecisão dos resultados obtidos. Isso mostra a não linearidade das faltas encontradas.

A redução encontrada nos diz que a isolação do equipamento pode ser um fator redundante de informação. Isso se dá porque a partir de um período foi alterado o tipo de aquisição de equipamento. Dessa forma, o tipo predominante de isolação interna do equipamento é com gás SF₆.

A manutenção preventiva garante que o equipamento possa ter máximo aproveitamento de sua vida útil. Com o intuito de manter o funcionamento do sistema, é necessário que outras formas de avaliação sejam aplicadas. A técnica apresentada mostra a divergência entre os defeitos encontrados.

Portanto, é possível concluir que os defeitos são atípicos no sistema e dessa forma não foi possível encontrar uma melhoria para a manutenção preventiva baseada nos dados contidos neste trabalho. Para uma melhoria dos resultados apresentados, seriam importantes

mais informações de cada equipamento e atuação no momento da falha, porém essas informações são de uso restrito da concessionária.

6 . REFERÊNCIAS

- [1] D. R. M. João Mamede Filho, *Proteção de Sistemas Elétricos de Potência*, Rio de Janeiro: LTC, 2013.
- [2] J. M. Filho, *Manuel de Equipamentos Elétricos*, 4ª Edição ed., Rio de Janeiro: LTC, 2013.
- [3] C. A. V. C. e A. T. d. A. , “MODELO MULTICRITÉRIO DE APOIO A DECISÃO PARA O PLANEJAMENTO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA UTILIZANDO PROMETHEE II EM SITUAÇÕES DE INCERTEZA,” *Pesquisa Operacional*, vol. 25, nº 2, pp. 279-296, 2005.
- [4] Operador Nacional do Sistema Elétrico, “Acompanhamento da Manutenção das Instalações da Rede de Operação,” pp. Submódulo 16.3 - Resolução nº 140/02 , Março 2002.
- [5] C. L. SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES, “A2 - INTRODUÇÃO À AUTOMAÇÃO DE SUBESTAÇÕES,” Campinas, SP, 2019.
- [6] R. Leão, “Distribuição de Energia Elétrica,” [Online]. Available: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/130060/mod_resource/content/1/Subestacoes-texto.pdf. [Acesso em Novembro 2020].
- [7] J. E. C. Junior, *Detecção de Fraudes em Unidades Consumidoras de Energia Elétrica Usando Rough Sets*, Campo Grande, 2005.
- [8] J. L. O. RAPOSO, “MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE APLICADA A SISTEMAS ELÉTRICOS: UMA PROPOSTA PARA O USO DE ANÁLISE DE RISCO NO DIAGRAMA DE DECISÃO,” *UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA*, 2004.
- [9] E. L. NUNES, “MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE (MCC): ANÁLISE DA IMPLANTAÇÃO EM UMA SISTEMÁTICA DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA CONSOLIDADA,” *UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA*, 2001.
- [10] ENERGISA MS, : *ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO DE LINHAS, SUBESTAÇÕES E TELECOMUNICAÇÕES*, VERSÃO 03 : NO-MA-04-00-001, JANEIRO 2014.
- [11] Órgão: Ministério de Minas e Energia/Agência Nacional de Energia Elétrica/Diretoria/ANEEL, “RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 853, DE 13 DE AGOSTO DE 2019,” 16 Agosto 2019.

-
- [Online]. Available: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-normativa-n-853-de-13-de-agosto-de-2019-210946760>. [Acesso em Janeiro 2021].
- [12] Z. Pawlak, “Rough Sets,” *International Journal of Computer & Information Sciences*, vol. 11, nº 5, pp. 341-356, 1982.
- [13] M. L. M. Kimpara, *Tópicos Avançados em Inteligência Computacional II*, Campo Grande, 2020.
- [14] F. D. G. M. R. L. José Manuel Pereira, “Aplicação da Teoria dos Rough Sets na Previsão do Fracasso Empresarial,” *Revista de Estudos Politécnicos*, vol. VI, nº 10, pp. 199-220, 2008.
- [15] A. Hamed, “Re: Anyone have a MATLAB code for the rough set (reduct)?,” Agosto 2016. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/post/Anyone_have_a_MATlab_code_for_the_rough_set_reduct/57af0022b0366d093f0110c2/citation/download. . [Acesso em Novembro 2020].
- [16] Sergio de Oliveira Frontin (organizador), Equipamentos de alta tensão – prospecção e hierarquização de inovações, Brasília: Goya Editora LTDA., 2013.
- [17] ABB, “Vieira & Varela Consultoria e Representações,” [Online]. Available: <http://www.vieiraevarela.com.br/arquivos/Apresenta%C3%A7%C3%A3o%20de%20Subesta%C3%A7%C3%B5es.pdf>. [Acesso em Novembro 2020].

7. ANEXOS

Anexo 1 – Planilha de dados

ATRIBUTOS CONDICIONAIS					AT DECISÃO
Fabricante	Fabricação	IDADE	Isolação	BAY	Falha
FAB 1	1999	2	gás	RE	Mecânico
FAB 2	1989	4	óleo	RE	Mecânico
FAB 3	1987	4	gás	LT	Comando
FAB 4	2005	1	gás	RE	Mecânico
FAB 5	1999	2	gás	LT	Mecânico
FAB 4	2005	1	gás	RE	Mecânico
FAB 6	2000	2	gás	TF	Outros
FAB 4	2006	1	gás	LT	Pressão
FAB 6	1999	2	gás	LT	Mecânico
FAB 4	2011	0	gás	RE	Mecânico
FAB 7	1973	7	óleo	TF	Comando
FAB 8	1992	4	gás	LT	Comando
FAB 10	2012	0	gás	LT	Pressão
FAB 1	1996	3	gás	RE	Mecânico
FAB 1	2001	2	gás	TF	Pressão
FAB 2	1993	4	gás	TF	Mecânico
FAB 9	1974	7	óleo	TF	Outros
FAB 11	2013	0	gás	LT	Outros
FAB 3	1987	5	gás	LT	Comando
FAB 8	1992	4	gás	TF	Pressão
FAB 4	2005	1	gás	LT	Comando
FAB 12	2007	1	gás	LT	Outros
FAB 4	2005	1	gás	LT	Pressão
FAB 8	1992	4	gás	LT	Comando
FAB 11	2014	0	gás	LT	Pressão
FAB 11	2014	0	gás	LT	Mecânico
FAB 10	2014	0	óleo	TF	Outros
FAB 2	1982	6	óleo	TF	Mecânico
FAB 3	1987	5	gás	LT	Pressão
FAB 8	1992	4	gás	BC	Comando
FAB 8	1992	4	gás	LT	Mecânico
FAB 4	2005	2	gás	TF	Pressão

FAB 8	1992	4	gás	TF	Mecânico
FAB 4	2014	0	gás	LT	Pressão
FAB 4	2006	1	gás	RE	Comando
FAB 4	2005	2	gás	LT	Comando
FAB 11	2013	0	gás	LT	Mecânico
FAB 8	1992	5	gás	LT	Comando
FAB 10	2014	0	gás	LT	Comando
FAB 11	2014	0	gás	LT	Comando
FAB 10	2011	1	gás	LT	Comando
FAB 5	2006	2	óleo	LT	Mecânico
FAB 11	2013	1	gás	LT	Pressão
FAB 12	2017	0	gás	LT	Mecânico
FAB 8	1992	5	gás	LT	Comando
FAB 13	2006	2	gás	LT	Mecânico
FAB 1	2000	3	gás	LT	Pressão
FAB 4	1992	5	gás	LT	Outros
FAB 1	2016	0	gás	LT	Pressão
FAB 6	2000	3	gás	LT	Pressão
FAB 14	2000	3	gás	LT	Pressão
FAB 8	2000	3	óleo	LT	Outros
FAB 2	2006	2	gás	LT	Outros
FAB 6	1992	5	gás	LT	Pressão
FAB 14	2000	3	gás	LT	Pressão

Anexo 2 – Planilha de dados convertida em números

Item	AC					AD
	Fab	Fab	IDADE	Iso	BAY	Falha
1	1	9	2	1	1	1
2	2	5	4	2	1	1
3	3	4	4	1	2	2
4	4	12	1	1	1	1
5	5	9	2	1	2	1
6	4	12	1	1	1	1
7	6	10	2	1	3	3
8	4	13	1	1	2	4
9	6	9	2	1	2	1
10	4	15	0	1	1	1
11	7	1	7	2	3	2
12	8	6	4	1	2	2
13	10	16	0	1	2	4
14	1	8	3	1	1	1
15	1	11	2	1	3	4

16	2	7	4	1	3	1
17	9	2	7	2	3	3
18	11	17	0	1	2	3
19	3	4	5	1	2	2
20	8	6	4	1	3	4
21	4	12	1	1	2	2
22	12	14	1	1	2	3
23	4	12	1	1	2	4
24	8	6	4	1	2	2
25	11	18	0	1	2	4
26	11	18	0	1	2	1
27	10	18	0	2	3	3
28	2	3	6	2	3	1
29	3	4	5	1	2	4
30	8	6	4	1	4	2
31	8	6	4	1	2	1
32	4	12	2	1	3	4
33	8	6	4	1	3	1
34	4	18	0	1	2	4
35	4	13	1	1	1	2
36	4	12	2	1	2	2
37	11	17	0	1	2	1
38	8	6	5	1	2	2
39	10	18	0	1	2	2
40	11	18	0	1	2	2
41	10	15	1	1	2	2
42	5	13	2	2	2	1
43	11	17	1	1	2	4
44	12	20	0	1	2	1
45	8	6	5	1	2	2
46	13	13	2	1	2	1
47	1	10	3	1	2	4
48	4	6	5	1	2	3
49	1	19	5	1	2	4
50	6	10	0	1	2	4
51	14	10	3	1	2	4
52	8	10	3	2	2	3
53	2	13	3	1	2	3
54	6	6	3	1	2	4
55	14	10	2	1	2	4

Anexo 3 – Planilha de redução de dados

AC				AD
Fab	Fab	IDADE	BAY	Falha
1	9	2	1	1
2	5	4	1	1
3	4	4	2	2
4	12	1	1	1
5	9	2	2	1
4	12	1	1	1
6	10	2	3	3
4	13	1	2	4
6	9	2	2	1
4	15	0	1	1
7	1	7	3	2
8	6	4	2	2
10	16	0	2	4
1	8	3	1	1
1	11	2	3	4
2	7	4	3	1
9	2	7	3	3
11	17	0	2	3
3	4	5	2	2
8	6	4	3	4
4	12	1	2	2
12	14	1	2	3
4	12	1	2	4
8	6	4	2	2
11	18	0	2	4
11	18	0	2	1
10	18	0	3	3
2	3	6	3	1
3	4	5	2	4
8	6	4	4	2
8	6	4	2	1
4	12	2	3	4

8	6	4	3	1
4	18	0	2	4
4	13	1	1	2
4	12	2	2	2
11	17	0	2	1
8	6	5	2	2
10	18	0	2	2
11	18	0	2	2
10	15	1	2	2
5	13	2	2	1
11	17	1	2	4
12	20	0	2	1
8	6	5	2	2
13	13	2	2	1
1	10	3	2	4
4	6	5	2	3
1	19	5	2	4
6	10	0	2	4
14	10	3	2	4
8	10	3	2	3
2	13	3	2	3
6	6	3	2	4
14	10	2	2	4

8. APÊNDICES DE SIMULAÇÃO

Código 1 – Definição da função *rough set*

```
function [lower, upper, bound, accuracy] = roughset(Test, Observation,
B_indesernible)
% input:
% Test: is an MxN matrix containing the data
% Observation: is the classification of each row in the Test
% B-indesernible: is the target set.

% output:
% lower: the lower approximation
% upper: the upper approximation
% bound: indicate whether the set is rough or crisp
% accuracy: indicates the approximation accuracy measure
%%
% check for the indiscernibility classes.

[l,~] = size(Test);
eqclass = zeros();
Obs = ones(1,1); %contains the actual observation numbers
index = zeros();
counter = 0;
%%
for i = 1:55
    Obs(i,1) = i;
end
for i = 1:55
    count = 1;
    eqclass(i,1) = Obs(i,1);
    for j = i+1:55
        if (isequal(Test(i,:),Test(j,:)) == 1)
            counter = counter + 1;
            index(1,counter) = Obs(j,1);
            count = count + 1;
            eqclass(i,count) = Obs(j,1);
        end
    end
end
% remove the redundand equivalence classes. Example E1 = O1 and O2 and
% E2 = O2 and O1, this is considered redundand and E2 must be deleted.
if index > 1
    eqclass = removeverrows(eqclass, 'ind', index);
end
%% compute the lower
% check for the equivalence classes that is totally subset of the target
% concept
lower = zeros();
[eq1,eqw] = size(eqclass);
```

```

lw = ones(eql,1);
for i = 1:eql
    for j=1:eqw
        if eqclass(i,j)~=0 &&isequal(Observation(eqclass(i,j)),
B_indesernible) ==0
            lw(i,1) = 0;
            continue;
        end
    end
end
count =0;
for i =1:length(lw)
    if lw(i,1) == 1
        for j=1:eqw
            if eqclass(i,j)~=0
                count = count +1;
                lower(count,1) = eqclass(i,j);
            end
        end
    end
end
lower = sort(lower);
%%
% find the upper approximation
% checks for the nonempty intersection with x
up = zeros(eql,1);
upper = zeros();
for i = 1:eql
    for j=1:eqw
        if eqclass(i,j)~=0 &&isequal(Observation(eqclass(i,j)),
B_indesernible) ==1
            up(i,1) = 1;
            continue;
        end
    end
end
count =0;
for i =1:length(up)
    if up(i,1) == 1
        for j=1:eqw
            if eqclass(i,j)~=0
                count = count +1;
                upper(count,1) = eqclass(i,j);
            end
        end
    end
end
upper = sort(upper);
%%
% compute the boundary to check whethter the set is crisp or rough
bound = 1; %indicate rough set
    if isequal(upper,lower)

```

```

        bound = 0;%indicate crisp
    end
%% the accuracy of the approximation
accuracy = size(lower,1)/size(upper,1);
end

```

Código 2 – Definição da função *rough lower* para aproximações

```

function lower = rough_fwred(Data, Observation)
%%
% check for the indiscernibility classes.
[l,~] = size(Data);
eqclass = zeros();
Obs = ones(l,1);%contains the actual observation numbers
index = zeros();
counter = 0;
%%
for i = 1:size(Data,1)
    Obs(i,1) = i;
end
%%
for i = 1:size(Data,1)
    count = 1;
    eqclass(i,1) = Obs(i,1);
    for j = i+1:size(Data,1)
        if (isequal(Data(i,:),Data(j,:)) == 1)
            counter = counter + 1;
            index(1,counter) = Obs(j,1);
            count = count + 1;
            eqclass(i,count) = Obs(j,1);
        end
    end
end
% remove the redundant equivalence classes. Example E1 = O1 and O2 and
% E2 = O2 and O1, this is considered redundant and E2 must be deleted.
if index > 1
    eqclass = removeRows(eqclass, 'ind', index);
end
%%
count = 0;
obs = unique(Observation);
lower = zeros();
[s1,sw] = size(eqclass);
for k = 1:size(obs,1)
    lw = ones(s1,1);
    for i = 1:s1
        for j = 1:sw
            if eqclass(i,j) ~= 0 && isequal(Observation(eqclass(i,j)), obs(k))
                lw(i,1) = 0;
                continue;
            end
        end
    end
end

```

```

        end
    end
end
% [llw,~] = size(lw);
for i =1:size(lw,1)
    if isequal(lw(i,1),1)
        for j=1:sw
            if ~isequal(eqclass(i,j),0)
                count = count +1;
                lower(count,1) = eqclass(i,j);
            end
        end
    end
end
end
end
end
%%
lower = sort(lower);
lower = unique(lower);
end

```

Código 3 – Definição da função *rough_fwred* para reduções

```

function red = rough_fwred(Data,Observation)
%%
% compute the whole data dependency
lower = rough_lower(Data,Observation);
data_dep = size(lower,1)/size(Data,1);
%%
% compute the sig inner
Dta = Data;
zz = Data;
inner_sig = zeros(1,size(Data,2));
%%
for ik = 1:size(Dta,2)
    if isempty(Dta)
        continue;
    end
    % temp = Dta;
    temp = Dta(:,ik);
    lower = rough_lower(temp,Observation);
    dta_dep = size(lower,1)/size(Data,1);
    if isequal(dta_dep,data_dep)
        inner_sig(1,ik) = 1;
    % Dta(:,i) = 0;
elseif isequal(lower,0)
    inner_sig(1,ik) = 0;
else
    inner_sig(1,ik) = size(lower,1)/size(Data,1);
    zz(lower,:) = []; %Dta(lower,:) = [];
    % temp = Data;
end
end

```

```

end
% inner_sig = data_dep - inner_sig;
%%
indisbensible = zeros();
count = 0;
for ik = 1:size(inner_sig,2)
    if ~isequal(inner_sig(1,ik),0)
        count = count + 1;
        indisbensible(1,count) = ik;
        indisbensible(2,count) = inner_sig(1,ik);
    end
end
[~,d2] = sort(indisbensible(2,:));
indisbensible = indisbensible(:,d2);
red = [];
% ind = []
for ii = size(indisbensible,2):-1:1
    if ~isequal(indisbensible(2,ii),0)
        red = [red,Data(:,indisbensible(1,ii))];
    %     ind = [ind;ii];
    end
end
% indisbensible(:,ind) = [];
lower = rough_lower(red,Observation);
red_dep = size(lower,1)/size(Data,1);
%%
if ~isequal(red_dep,data_dep)
    ind = find(inner_sig == 0);
    outer_sig = zeros();
    for ik = 1:size(ind,2)
        temp = red;
        %temp = [temp, Dta(:,ik)];
        lower = rough_lower(temp,Observation);
        outer_sig(2,ik) = size(lower,1)/size(Data,1);
    end
    outer_sig = outer_sig - data_dep;
    outer_sig(1,:) = ind(1,:);
    [~,d2] = sort(outer_sig(2,:));
    outer_sig = outer_sig(:,d2);
    for ik = size(ind,2):-1:1
        red = [red, Data(:,outer_sig(1,ik))];
        lower = rough_lower(red,Observation);
        red_dep = size(lower,1)/size(Data,1);
        if isequal(data_dep,red_dep)
            break;
        end
    end
end
end
end

```

Código 4 – Conversão da planilha de teste e aplicação da função

```
%% Import the data
[~, ~, raw] =
xlsread('C:\Users\wisla\OneDrive\Documentos\Mestrado\TCC\teste.xlsx','Pla
nilha2','C25:G34');
stringVectors = string(raw(:, [1,2,3,4,5]));
stringVectors(ismissing(stringVectors)) = '';

%% Create table
teste = table;

%% Allocate imported array to column variable names
teste.VarName3 = categorical(stringVectors(:,1));
teste.VarName4 = categorical(stringVectors(:,2));
teste.VarName5 = categorical(stringVectors(:,3));
teste.VarName6 = categorical(stringVectors(:,4));
teste.VarName7 = categorical(stringVectors(:,5));

[~, ~, raw] =
xlsread('C:\Users\wisla\OneDrive\Documentos\Mestrado\TCC\teste.xlsx','Pla
nilha2','H25:H34');
stringVectors = string(raw(:,1));
stringVectors(ismissing(stringVectors)) = '';

%% Create table
test = table;

%% Allocate imported array to column variable names
test.VarName8 = categorical(stringVectors(:,1));

%% Clear temporary variables
clearvars VarName8 raw stringVectors;
%% Clear temporary variables
clearvars data raw stringVectors;

%% Declaracoes do programa
Data = teste;
Test = teste;
B_indesernible = 1;

Observation = table;
for f = 1:10
    Observation(1,f) = test(f,1);
end
if istable(Observation), Observation = double(table2array(Observation));
end
```

Código 5 – Conversão da planilha de dados e aplicação da função

```

%% Import the data
[~, ~, raw] = xlsread('D:\1 - TCC\levantamento de dados.xlsx','Red
AC','L4:P58');

%% Create output variable
data = reshape([raw{:}],size(raw));

%% Create table
levantamentodedadosS4 = table;

%% Allocate imported array to column variable names
levantamentodedadosS4.VarName12 = data(:,1);
levantamentodedadosS4.VarName13 = data(:,2);
levantamentodedadosS4.VarName14 = data(:,3);
levantamentodedadosS4.VarName15 = data(:,4);
levantamentodedadosS4.VarName16 = data(:,5);

%% Clear temporary variables
clearvars data raw;

%% declaracao test - Import the data
[~, ~, raw] = xlsread('D:\1 - TCC\levantamento de dados.xlsx','Red
AC','Q4:Q58');

%% Create output variable
VarName17 = reshape([raw{:}],size(raw));

%% Create table
test = table;

%% Allocate imported array to column variable names
test = VarName17(:,1);

%% Clear temporary variables
clearvars VarName17 raw;

%% Declaracoes do programa
Data = levantamentodedadosS4;
Test = levantamentodedadosS4;

B_indesernible = 1;
Observation = test';

```

Resultado 1 – Redução da função aplicada a base de dados

VarName13 VarName12 VarName14 VarName16

9	1	2	1
5	2	4	1
4	3	4	2
12	4	1	1
9	5	2	2
12	4	1	1
10	6	2	3
13	4	1	2
9	6	2	2
15	4	0	1
1	7	7	3
6	8	4	2
16	10	0	2
8	1	3	1
11	1	2	3
7	2	4	3

2	9	7	3
17	11	0	2
4	3	5	2
6	8	4	3
12	4	1	2
14	12	1	2
12	4	1	2
6	8	4	2
18	11	0	2
18	11	0	2
18	10	0	3
3	2	6	3
4	3	5	2
6	8	4	4
6	8	4	2
12	4	2	3
6	8	4	3
18	4	0	2

13	4	1	1
12	4	2	2
17	11	0	2
6	8	5	2
18	10	0	2
18	11	0	2
15	10	1	2
13	5	2	2
17	11	1	2
20	12	0	2
6	8	5	2
13	13	2	2
10	1	3	2
6	4	5	2
19	1	5	2
10	6	0	2
10	14	3	2
10	8	3	2

13	2	3	2
6	6	3	2
10	14	2	2