



UMA CONTRIBUIÇÃO À ANÁLISE DE DECISÃO SOBRE A EXPLORAÇÃO
COMERCIAL DE POÇOS DE PETRÓLEO OFFSHORE: UM SISTEMA FUZZY
PARA INFERIR A CONCENTRAÇÃO DE BACTÉRIAS REDUTORAS DE
SULFATO EM SUPORTE AO PROCESSO DE ANÁLISE DE AMOSTRAS DE
ÓLEO

Luiz Cezar Nacif Junior

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Engenharia de Produção.

Orientador: Carlos Alberto Nunes Cosenza

Rio de Janeiro
Outubro de 2018

UMA CONTRIBUIÇÃO À ANÁLISE DE DECISÃO SOBRE A EXPLORAÇÃO
COMERCIAL DE POÇOS DE PETRÓLEO OFFSHORE: UM SISTEMA FUZZY
PARA INFERIR A CONCENTRAÇÃO DE BACTÉRIAS REDUTORAS DE
SULFATO EM SUPORTE AO PROCESSO DE ANÁLISE DE AMOSTRAS DE
ÓLEO

Luiz Cezar Nacif Junior

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ
COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM
CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.

Examinada por:

Prof. Carlos Alberto Nunes Cosenza, D.Sc.

Prof. Francisco Antônio de Moraes Accioli Dória, Ph.D.

Prof. Ana Cristina de Melo Ferreira, D.Sc.

Prof. Cláudio Henrique dos Santos Grecco, D.Sc.

Prof. Paulo Victor Rodrigues de Carvalho, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

OUTUBRO DE 2018

Nacif Junior, Luiz Cezar

Uma Contribuição à Análise de Decisão sobre a Exploração Comercial de Poços de Petróleo OffShore: um Sistema Fuzzy para Inferir a Concentração de Bactérias Redutoras de Sulfato em Suporte ao Processo de Análise de Amostras de Óleo / Luiz Cezar Nacif Junior – Rio de Janeiro: UFRJ / COPPE, 2018.

XV, 166p.: il.; 29,7 cm

Orientador: Carlos Alberto Nunes Cosenza

Tese (Doutorado) – UFRJ / COPPE / Programa de Engenharia de Produção, 2018.

Referências Bibliográficas: 146 – 151.

1. Robótica 2. Lógica Fuzzy 3. Reconhecimento de Imagem. I. Cosenza, Carlos Alberto Nunes. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Produção, Engenharia de Produção. III. Título

Dedicatória

“A imaginação é mais importante que o conhecimento. Conhecimento auxilia por fora, mas só o amor socorre por dentro. Conhecimento vem, mas a sabedoria tarda.”

“Só há duas maneiras de viver a vida: a primeira é vivê-la como se os milagres não existissem. A segunda é vivê-la como se tudo fosse milagre.”

“A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original.”

“O único lugar aonde o sucesso vem antes do trabalho é no dicionário.”

“Os problemas significativos que enfrentamos não podem ser resolvidos no mesmo nível de pensamento em que estávamos quando os criámos.”

Albert Einstein

“A coragem significa um forte desejo de viver, sob a forma de disposição para morrer.”

Gilbert Chesterton

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus que me deu muita força para continuar o Doutorado de Engenharia de produção, quando surgiam dificuldades aparentemente insolúveis e logo após, agradeço do fundo do meu coração à minha família que sempre me apoiou nos períodos mais complicados dessa jornada, cercando-me de amor e carinho. Agradeço à minha esposa, Thatiane Toledo Ferreira Nacif, ao meu filho querido e amado, Lucca Toledo Nacif, à minha mãe, Ingrid salgado Nacif, ao meu pai, Luiz Cezar Nacif, à minha irmã, Karinne Salgado Nacif, e não podendo esquecer as minhas avós Corina de Almeida Salgado e Emma Barbosa Nacif e meus avôs João Batista Salgado (*in memoriam*) e Chaquib Chafic Abi Nacif (*in memoriam*), pelo apoio carinho e paciência que demonstraram em todos os momentos da minha vida.

Gostaria de agradecer também, ao apoio daqueles que de alguma forma me ajudaram na elaboração desta tese. Principalmente aos professores do programa de Engenharia de Produção da COPPE/UFRJ pelos ensinamentos abordados ao longo do curso, meu orientador Carlos Alberto Nunes Cosenza, meu professor Francisco Antônio de Moraes Accioli Dória e meu Coorientador Getúlio Marques Martins pela belíssima orientação e paciência durante o desenrolar da tese, gostaria de agradecer também as pesquisadoras Ana Cristina de Mello e Juliana Cristina de Queiroz pelos conteúdos e ensinamentos sobre a BRS (Bactéria Redutora de Sulfato). Finalmente não poderia esquecer todos os meus colegas de classe que muito me ajudaram também.

Resumo da Tese apresentada à COPPE / UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D.Sc.)

UMA CONTRIBUIÇÃO À ANÁLISE DE DECISÃO SOBRE A EXPLORAÇÃO
COMERCIAL DE POÇOS DE PETRÓLEO OFFSHORE: UM SISTEMA FUZZY
PARA INFERIR A CONCENTRAÇÃO DE BACTÉRIAS REDUTORAS DE
SULFATO EM SUPORTE AO PROCESSO DE ANÁLISE DE AMOSTRAS DE
ÓLEO

Luiz Cezar Nacif Junior

Outubro / 2018

Orientador: Carlos Alberto Nunes Cosenza

Programa: Engenharia de Produção

A presente tese visa a dar uma contribuição aos estudos de viabilização da exploração comercial de poços de petróleo OffShore. Uma abordagem Fuzzy, utilizando um sistema de inferência Mamdani, faz um tratamento de quatro fatores primários que caracterizam as amostras de petróleo (a saber: Grau °API; Diluição da amostra; Teor de enxofre e Ph do gás sulfídrico no meio), para determinar a concentração de Bactéria Redutora de Sulfato (BRS), elemento de informação de interesse desta tese. Este tratamento envolve a emulação de um sensor óptico fuzzy que identifica a coloração da amostra, permitindo a definição da concentração de BRS correlacionada, contribuindo para a análise de viabilização comercial do poço. Esta abordagem surgiu da necessidade identificada de contornar a situação de morosidade (em geral 28 dias) e ineficiência de alocação de recursos humanos (dedicação de um profissional *full time*), que caracterizam os atuais processos e práticas utilizados na análise da amostra. Desta forma, a proposta constitui uma contribuição original que aumenta a confiabilidade do processo de análise e agiliza a coleta de dados e sua transformação em informação para a tomada de decisão, durante a incubação da Bactéria Redutora de Sulfato (BRS), utilizando a metodologia de reconhecimento de padrão de imagens e robótica associada, ambos por lógica fuzzy.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D.Sc.)

A CONTRIBUTION TO OFFSHORE PETROLEUM EXPLOITATION DECISION
ANALYSIS: A FUZZY INFERENCE SYSTEM FOR DETERMINING
CONCENTRATION OF SULPHATE REDUCING BACTERIA IN SUPPORT TO
OIL SAMPLE ANALYSIS PROCESS

Luiz Cezar Nacif Junior

October / 2018

Advisor: Carlos Alberto Nunes Cosenza

Department: Industrial Engineering

The aim of this thesis is to contribute to the feasibility studies for the commercial exploitation of OffShore oil wells. A Fuzzy approach, using a Mamdani inference system, treats four primary factors that characterize petroleum samples (namely: API Grade, Sample Dilution, Sulfur Content and pH of the Hydrogen Sulphide in the Medium) to determine the concentration of Sulphate Reducing Bacteria (SRB), information element of interest of this thesis. This treatment involves the emulation of a fuzzy optical sensor that identifies the color of the sample, allowing the definition of the correlated SRB concentration, contributing to the commercial viability analysis of the well. This approach arose from the identified need to circumvent the situation of delays (usually 28 days) and inefficiency of human resources allocation (dedication of a full time professional), which characterize the current processes and practices used in the analysis of the sample. In this way, the proposal constitutes an original contribution that increases the reliability of the analysis process and facilitates data collection and its transformation into information for decision making during the incubation of the Sulphate Reduction Bacteria (SRB), using the methodology of image pattern recognition and associated robotics, both by fuzzy logic.

Índice

1. Introdução	1
1.1 – Motivação.....	3
1.2 - Objetivos – Metodologia.....	4
1.3 – Descrição da Pesquisa.....	8
2. Revisão Bibliográfica	11
2.1 – Petróleo.....	11
2.1.1 – Origem.....	12
2.1.2 - As Etapas da Produção de Petróleo.....	13
2.1.3 - A Exploração do petróleo no Brasil.....	14
2.1.4 - A perfuração no mar.....	17
2.1.5 - Introdução geral do Processo Petrolífero.....	19
2.1.5.1 Extração do Petróleo e Onde é encontrado a BRS.....	21
2.2 – Bactéria Redutora de Sulfato (BRS).....	24
2.2.1 – Introdução à BRS.....	25
2.2.2 – Material e Métodos.....	28
2.2.2.1 - Preparação dos Meios de Cultivos.....	28
2.2.2.2 - Amostragem/Inóculo.....	29
2.2.2.3- Diluição em série.....	29
2.2.2.4 - Número Mais Provável (NMP).....	29
2.2.3 - Resultados e Discussão.....	30
2.2.4 - Conclusão dessa pesquisa de BRS.....	33
2.3 – Robótica e Automação.....	34
2.3.1 - Classificação Geral dos Robôs.....	36
2.3.2 - Benefícios da Automação.....	38
2.3.3 - Robô industrial.....	39
2.3.3.1 - Tipos de robôs industriais.....	39
2.3.4 - Desenvolvimentos recentes, futuros e o que será aplicado no projeto.....	40
2.3.5 - Controle autônomo de um robô utilizando fuzzy e algoritmos Genéticos.....	41
2.4 – Lógica Fuzzy.....	42

2.4.1 - Noções básicas.....	45
2.4.2 - Inferência fuzzy.....	47
2.4.3 - Conjuntos fuzzy.....	48
2.4.4 - Raciocínio fuzzy.....	48
2.5 - Processamento de imagens e Reconhecimento de padrões.....	50
2.5.1 - Métodos de processamento.....	51
2.5.2 – Técnicas mais usadas.....	52
2.5.2.1 - Técnicas unidimensionais.....	52
2.5.2.2 - Técnicas bidimensionais.....	53
2.5.2.3 - Aplicações e Conceitos relacionados.....	54
2.5.3 - Reconhecimento de padrões.....	55
2.6 – Relatórios de Gestão e Disponibilização de resultados.....	57
2.6.1 - Papel de monitorização de desempenho.....	58
3. Artigos Relevantes e Trabalhos Anteriores	60
3.1 – Agregando Valor a Tese.....	60
3.1.1 – Relevância dos artigos na Tese.....	75
4. Análise de Local de Perfuração de Poços e Economicidade dos Poços.....	76
5. Descrição do Atual Processo Mecânico.....	78
5.1 – Salinidade e Temperatura.....	78
5.2 – Como funciona o processo hoje.....	79
5.2.1 – Amostras de BRS de Poços.....	80
6. Sistema de Inferência Fuzzy (FIS) para o Reconhecimento de Imagem.....	83
6.1 – Inferência Fuzzy.....	83
6.1.1 - Inferência fuzzy (difusa): Estilo Mamdani.....	83
6.1.2. Fuzzyficação.....	84
6.1.3. Avaliação das regras fuzzy.....	85
6.1.4. Agregação das regras fuzzy.....	86
6.1.5. Defuzzyficação.....	86
6.2 - Sistema de Inferência referente ao projeto de pesquisa da tese.....	87
6.2.1. Eficácia da Aplicação de Biocidas.....	93
6.3. Sistema de Inferência Fuzzy (FIS) do Projeto de Pesquisa no MatLab...95	

6.3.1. Breve conclusão do Sistema de Inferência Fuzzy (FIS) do projeto no MatLab.....	121
7. Possibilidade de Aplicação da Pesquisa.....	122
7.1 – Esboço do Projeto e Método de Funcionamento.....	123
7.2– Especificações, o Projeto e Apresentação da Estufa.....	123
7.3 – Metodologia da lógica Fuzzy para o Reconhecimento de imagem no Projeto.....	131
7.4 - Metodologia da lógica Fuzzy para o melhor posicionamento da câmera fotográfica no grid no Projeto.....	132
7.5 – Objetivos do Projeto.....	133
7.6 – Atuais Tecnologias Empregadas.....	135
7.7 – Modelo já existente de quantificação de BRS.....	139
8. Resultados da Inovação.....	140
9. Conclusão.....	142
10. Trabalhos Futuros.....	144
11. Referências.....	146
12. APÊNDICE I - CÓDIGO DE PROGRAMAÇÃO DO SISTEMA ESPECIALISTA FUZZY NO PROGRAMA MATLAB.....	152
I.1 - Código MATLAB (Toolbox Fuzzy).....	152
13. APÊNDICE II - SISTEMA INFERÊNCIA FUZZY NO PROGRAMA EXCEL.....	157
II.1 Sentenças da Base de Regras: Inputs e Outputs do Sistema de Inferência Fuzzy.....	157
14. Anexos.....	164
14.1 - Anexo I.....	164
14.2 - Anexo II.....	165
14.3 - Anexo III.....	166

Figuras

Fig. 1 - Extração de petróleo em Okemah, Oklahoma, Estados Unidos 1922.....	11
Fig. 2 - Amostra de Petróleo.....	12
Fig. 3 - Instalação petrolífera.....	13
Fig. 4 - Mossoró, segunda maior cidade do estado do Rio Grande do Norte, é maior produtor de petróleo em terra do Brasil.....	15
Fig. 5 - Depósito petrolífero.....	16
Fig. 6 - Plataforma marinha de extração do petróleo.....	17
Fig. 7 - Exploração de petróleo em alto mar.....	19
Fig. 8 – Quadro com composição de meios de cultivo para BRS.....	28
Fig. 9 - Frascos de cultivo de BRS: (a) e (b).....	30
Fig. 10 – Meios de Cultivo analisados.....	31
Fig. 11 - Um robô humanóide da Toyota, robôs são sempre associados aos estudos da robótica.....	34
Fig. 12 – Frase sobre lógica de Bertrand Arthur William Russell.....	42
Fig. 13 - Precisão e significância no mundo real.....	43
Fig. 14 - A representação na forma de conjuntos da altura de uma pessoa.....	44
Fig. 15 – Imagem Binária.....	51
Fig. 16 – Detecção de Bordas.....	52
Fig. 17 - Os canais de cor vermelho, verde e azul de uma fotografia.....	52
Fig. 18 – Etapas de um sistema de reconhecimento de padrões.....	56
Fig. 19 - Em imagens coloridas têm-se 3 cores associada a cada <i>pixel</i> da imagem.....	56
Fig. 20 - Imagem original (a) e sua segmentação baseada em semelhança de cores (b) e em fronteiras ou bordas (c).....	57
Fig. 21 - Exemplo de como é feito um relatório de Gestão.....	58
Fig. 22 - Exemplo de um relatório, com gráficos estatísticos.....	59
Fig. 23 - Amostras de BRS.....	81
Fig. 24 - Exemplo de tabela de NMP.....	82
Fig. 25 - Fuzzyficação das variáveis linguísticas de entrada x e y, resultando nos seus respectivos conjuntos fuzzy e graus de pertinência.....	84
Fig. 26 - Conjuntos fuzzy e graus de pertinência da variável linguística de saída z e respectivos graus de pertinência, produzidos pela aplicação das regras fuzzy 1, 2 e 3.....	86

Fig. 27 - Conjunto fuzzy resultante do processo de agregação das regras fuzzy 1, 2 e 3.....	86
Fig. 28 – Sistema de Fuzzyficação e Defuzzyficação.....	89
Fig. 29 – Resultado esperado na aplicação de Biocida.....	94
Fig. 30 – Tela de abertura do MatLab.....	95
Fig. 31 – Tela de abertura para utilizar a lógica fuzzy no MatLab.....	96
Fig. 32 – Tela de abertura do “FOR” para <i>Inputs</i> e contadores no MatLab.....	96
Fig. 33 – Tela das estruturas das regras Fuzzy no MatLab.....	97
Fig. 34 – Tela de <i>Inputs</i> e <i>Outputs</i> do Sistema de Inferência Fuzzy no MatLab.....	97
Fig. 35 – Tela de Combinações de regras dos <i>Inputs</i> no MatLab.....	98
Fig. 36 – Tela do Arquivo.FIS - Sistema de Inferência Fuzzy com Nome; Tipo, Variáveis, Entradas, Saídas e Regras no MatLab.....	98
Fig. 37 – Tela para inserir os <i>Inputs</i> , as regras e <i>Outputs</i> no “FIS” no MatLab.....	99
Fig. 38 – Tela com os 4 <i>Inputs</i> e o <i>Output</i> já inserido no “FIS” no MatLab.....	100
Fig. 39 – Tela com gráfico da função de Pertinência do <i>Input</i> Grau °API no MatLab.....	101
Fig. 40 – <i>Zoom</i> do Gráfico da função de Pertinência do <i>Input</i> Grau °API no MatLab. Matematicamente a variável Grau °API, está representada pelas funções (6.3) abaixo.....	101
Fig. 41 – Tela com gráfico da função de Pertinência do <i>Input</i> Diluição no MatLab.....	103
Fig.42 – <i>Zoom</i> do Gráfico da função de Pertinência do <i>Input</i> Diluição no MatLab.....	103
Fig. 43 – Tela com gráfico da função de Pertinência do <i>Input</i> Teor de Enxofre no MatLab.....	105
Fig. 44 – <i>Zoom</i> do Gráfico da função de Pertinência do <i>Input</i> Teor de Enxofre no MatLab.....	105
Fig. 45 – Tela com gráfico da função de Pertinência do <i>Input</i> Ph do H_2S do meio no MatLab.....	107
Fig. 46 – <i>Zoom</i> do Gráfico da função de Pertinência do <i>Input</i> Ph do H_2S do meio no MatLab.....	107
Fig. 47 – <i>Zoom</i> do Gráfico da função de Pertinência do <i>Input</i> Ph do H_2S do meio, demonstrando o Ph 7(Neutro) no MatLab.....	108
Fig. 48 – Tela com gráfico da função de Pertinência do <i>Output</i> Coloração no MatLab.....	109

Fig. 49 – Zoom do Gráfico da função de Pertinência do <i>Output</i> Coloração no MatLab.....	110
Fig. 50 – Tela com a Edição das 256 regras, com os respectivos Inputs e itens do Output no MatLab.....	111
Fig. 51 – Conjunto de regras com os Inputs escolhidos aleatoriamente, com as setas representando a resposta “coloração Rosa” e a “porcentagem 13,5%” do <i>Output</i>	114
Fig. 52 – Gráfico 3D para representação dos Inputs Grau °API e Diluição e Output Coloração, para a porcentagem 13,5% e Cor Rosa.....	114
Fig. 53 – Conjunto de regras com os Inputs escolhidos aleatoriamente, com as setas representando a resposta “coloração Transparente” e a “porcentagem 40%” do <i>Output</i>	116
Fig. 54 – Gráfico 3D para representação dos Inputs Teor de Enxofre e Grau °API e Output Coloração, para a porcentagem 40% e Cor “Transparente”.....	116
Fig. 55 – Conjunto de regras com os Inputs escolhidos aleatoriamente, com as setas representando a resposta “coloração Cinza” e a “porcentagem 65%” do <i>Output</i>	118
Fig. 56 – Gráfico 3D para representação dos Inputs Ph do H_2S do meio e Grau °API e Output Coloração, para a porcentagem 65% e Cor Cinza.....	118
Fig. 57 – Conjunto de regras com os Inputs escolhidos aleatoriamente, com as setas representando a resposta “coloração Preta” e a “porcentagem 89%” do <i>Output</i>	120
Fig. 58 – Gráfico 3D para representação dos Inputs Diluição e Grau °API e Output Coloração, para a porcentagem 89% e Cor Preta.....	121
Fig. 59 – Esboço do Projeto.....	123
Fig. 60 – Vista Geral da Estufa.....	125
Fig. 61 – Vista frontal da Estufa.....	125
Fig. 62 – Vista da Estufa aberta.....	126
Fig. 63 – Foto demonstrando o número de prateleiras da Estufa, no caso são cinco.....	126
Fig. 64 – Imagem do Frasco utilizado no projeto.....	127
Fig. 65 – Imagem frontal do frasco utilizado no projeto.....	127
Fig. 66 – Garras onde os frascos serão colocados.....	128
Fig. 67 – Exemplo de um frasco na garra.....	128
Fig. 68 – Vista superior da posição dos frascos na prateleira.....	129
Fig. 69 – Vista frontal da posição dos frascos na prateleira.....	129
Fig. 70 – Imagem em 3D da posição da câmera fotográfica para coler as imagens dos frascos.....	130

Fig. 71 – Posição da câmera fotográfica de perfil para tirar foto dos frascos.....	131
Fig. 72 – Metodologia Fuzzy para Reconhecimento de Imagem.....	131
Fig. 73 – Metodologia Fuzzy para melhor posicionamento da Câmera.....	132

Tabelas

Tabela 1 - Variáveis e valores linguísticos na análise de riscos de um projeto.....	84
Tabela 2 - Tabela com os <i>Inputs</i> no Excel.....	112
Tabela 3 - Tabela com os Itens do <i>Output</i> Coloração no Excel.....	112
Tabela 4 – Tabela com escolhas de <i>Inputs</i> aleatórios e respectivas respostas do <i>Output</i> Coloração no Excel.....	112

1. Introdução

Como é de conhecimento geral, a atividade comercial mundial do petróleo tem um forte impacto nas diferentes economias de mercado do mundo. Isto é um fato largamente reconhecido pela sociedade e, em particular, pelos profissionais do petróleo e de outros setores. Um exemplo disso foi o aumento da produção de petróleo nos EUA e na Arábia Saudita no ano de 2016 que levou o óleo a ter o seu menor valor nominal dos últimos 12 anos, provocando “crise” em países produtores. As oscilações têm impactado o caixa de grandes companhias e gerado uma série de disputas políticas e econômicas. Se para o consumidor final a queda deste valor nominal representa uma boa notícia, para a economia petroleira gera preocupação. O que é menos evidente é que esse impacto nas atividades comerciais tem raízes, entre outras coisas, no processo de análise de amostras da prospecção, cujas técnicas e metodologias determinam os elementos de informação necessários para a decisão de explorar ou não os poços. Essa situação leva os países desenvolvidos e em via de desenvolvimento a vivenciarem um cenário de desequilíbrios regionais, dos quais resultam em intercâmbios comerciais, muitas vezes não equitativos em termos econômicos [1]. Portanto, qualquer inovação tecnológica é interessante para o mercado mundial.

Atuais técnicas e metodologias de análises das amostras de petróleo procuram informar a decisão em um menor tempo possível, principalmente no que tange à concentração da BRS (Bactéria Redutora de Sulfato), variável determinante da qualidade do petróleo e por consequência do potencial de exploração e produção do poço.

Tais técnicas de análise hoje em dia envolvem processos repetitivos e manuais de caráter altamente mecânico, que consomem um tempo dos especialistas que poderiam ser dedicadas em tarefas mais nobres diretamente ligadas às tomadas de decisões. Por exemplo, ao invés do especialista consumir o tempo em tarefa de inocular, verificar

coloração e fazer anotações (tarefas tipicamente mecânicas), ele estaria preparando gráficos, gerando estatísticas, determinando indicadores, e conseqüentemente comunicando essas informações para os gerentes executivos de decisões envolvidos no projeto. Observa-se claramente que, se as tarefas mecânicas fossem automatizadas fornecendo os elementos de informação associados a uma plataforma customizada de TI (Tecnologia da Informação), as funções mais nobres dos especialistas estariam garantidas, dando maior eficiência ao uso dos recursos humanos especializados no processo de análise, incluindo maior agilidade e confiabilidade ao processo e conseqüentes resultados esperados dessa análise.

Esta tese constitui uma contribuição crítica para um futuro projeto de inovação em Gestão e Automação, que poderia consubstanciar as ideias apresentadas no parágrafo anterior. Este projeto de inovação, em princípio uma estufa robótica, seria utilizada no processo de análise das amostras de petróleo, com o intuito de suprir essa importante lacuna de mercado no que diz respeito à integração entre duas áreas fundamentais em tecnologia: **Gestão** e **Automação**. O projeto em tela aproveita a forte ênfase em gestão de operações, gerenciamento de informações, finanças e gestão de projetos dada pelo curso de graduação de Engenharia de Produção da UFRJ, bem como também pela pós-graduação no Programa de Engenharia de Produção da COPPE-UFRJ, fundamentando a pesquisa do autor para explorar essa área de grande interesse e importância para o mundo da tecnologia. Para este fim, utiliza-se de sólidos conhecimentos em robótica, automação, petróleo, reconhecimento de imagens, lógica *Fuzzy* e tecnologia para oferecer soluções e conseqüentemente executá-las, nos termos de tecnologia (robótica / automação) como suporte à gestão de operações e processos, conforme será mais bem esclarecido e explicado mais adiante nesta tese.

Cumpra mencionar que essas análises dos poços, quanto à concentração de BRS, mostram-se também muito importantes para projeções de explorações futuras, mesmo para poços já perfurados que tenham comprovado seu volume comercial. Nestes casos, os especialistas e analistas passam a dispor da informação necessária para tomar decisões sobre o controle da BRS através de biocidas.

As referências incluídas nesta tese procuraram o estado da arte no tema, porém, verificou-se que citações mais antigas foram suficientes para suprir a necessidade de informações relativas as revisões bibliográficas, demonstrando que eventuais evoluções dos temas não apresentaram muitas mudanças significativas.

1.1 – Motivação

A ideia de empreender esse projeto de pesquisa ganhou força após assistir uma palestra proferida pelo diretor do INPI, através da qual foram apresentados números alarmantes referentes ao elevado nível de pesquisa qualificada em nosso país contrastando com a mínima geração de patentes, quando comparado com outros países. Pior, muitas das invenções criadas por nossos pesquisadores são patenteadas no exterior por terceiros, que nos cobram "*royalties*" por sua utilização posterior. Isso gerou profunda reflexão sobre como mudar essa situação que impacta a todos e é tão pouco divulgada. Além disso, que pessoas seriam mais adequadas para realizar tal transformação? Uma das respostas possíveis é que seriam os jovens empreendedores com formação de excelência nos mais importantes centros de desenvolvimento tecnológico do país (Como exemplo: COPPE-UFRJ). Estes jovens seriam os mais indicados a assumir, com o auxílio de professores orientadores de alto nível, uma importante parcela desta responsabilidade.

Duas fontes de motivação foram cruciais para investir e se aprofundar cada vez mais nessa área de conhecimento. A primeira é o desperdício de tempo gasto em tarefas tipicamente mecânicas e a segunda é a inovação que resultaria de uma automatização

dessas tarefas, já que o Brasil não possui nenhuma patente depositada com o tema pesquisado. De fato, fazendo um levantamento das patentes existentes de bioprocessos envolvendo as Bactérias Redutoras de Sulfato, com o intuito de avaliar as potencialidades de sua utilização e os mecanismos existentes para o seu controle, não há nenhuma inovação no quesito de automatização desta área.

O estímulo em fazer essa pesquisa para mais tarde ser aproveitada como um projeto empreendedor, se relaciona a uma busca constante por retornar à sociedade tudo aquilo que ela investiu diretamente ou não em nossa formação de excelência. Trata-se de um dever de ofício dar este retorno, traduzindo esta consciência na responsabilidade de transformar todo o conhecimento que se aprende durante a formação em benefícios para a sociedade. Parece óbvio que não há forma mais efetiva e duradoura de retornar todo esse investimento em nossa formação, criando um novo projeto que dê certo, voltado a gerar empregos, fluxo de recursos, inovações e impactando positivamente o dia a dia de pessoas e funcionários. A consolidação desta tese gerará um projeto futuro de engenharia que parece mais adequado aos avançados métodos de gestão de inovações, gestão de processos e de novas tecnologias em comunicação com o mundo corporativo, contribuindo para elevar o nosso país aos mais elevados níveis.

Em outras palavras, transformar criatividade e inteligência em produtos relevantes para a sociedade na forma de patentes e, posteriormente, em retorno para o país como um todo é sinônimo de empreender, e constitui, sem dúvida nenhuma, a maior motivação.

1.2 - Objetivos e Metodologia

O objetivo geral desta tese é contribuir para a otimização de processos de análise por meio do uso avançado de tecnologia da informação, automação (controle e robótica) e gestão de operações, incluindo um ramo da Inteligência Artificial muito útil e utilizada que é a lógica fuzzy, para o reconhecimento de imagens. A pesquisa é focada no

desenvolvimento de soluções inovadoras, envolvendo resolução de problemas complexos relacionados a, dentre outros, altos custos, baixa produtividade, baixa eficiência e eficácia de empresas do setor de petróleo, através do auxílio de tecnologia da informação, ferramentas de simulação, otimização e principalmente automação avançada. Além de modelar matematicamente e graficamente as soluções pensadas, o algoritmo simula o impacto operacional micro e macro que a solução exercerá na operação, incluindo a logística de interação entre futuras redes de fornecedores e colaboradores.

A pesquisa será na Área de **Automação Laboratorial - Setor de Petróleo**; Pois com o aumento das exigências da qualidade, os laboratórios encontram-se diante do paradoxo de realizar cada vez mais análises, em maior quantidade de produtos e matérias-primas diferentes, com menores limites de detecção, em menor tempo e com equipes cada vez mais enxutas. Assim sendo, torna-se necessária a automação dos processos do laboratório para garantir qualidade, produtividade e tempos de respostas sem incrementos na equipe, mantendo tão baixo quanto possível o custo operacional do laboratório.

Os benefícios e as vantagens competitivas desta proposta derivam da utilização da lógica fuzzy e suas ferramentas para tratamento dos fatores que caracterizam o óleo, usando os termos linguísticos que descrevem suas propriedades, diferindo de outras soluções de mercado destinadas a automatizar e otimizar especificamente a análise de concentrações de BRS através de coloração das amostras de óleo nos poços de petróleo. Atualmente, existem outras metodologias destinadas à quantificação da bactéria, só que mais caras e complexas. A técnica Número Mais Provável (NMP), devido a suas limitações por possuir um erro associado, será parcialmente utilizada nesta tese, ficando sua aplicação restrita até a fase de diluição da amostra. Com efeito, hoje, tal técnica é realizada inteiramente por profissionais, que precisam preparar manualmente os tubos com materiais provenientes de diferentes tanques de navios e oleodutos, identificá-los

com etiquetas, arrumá-los na estufa a 30 graus Celsius e diariamente comparar a coloração de cada tubo com uma graduação de cor padrão. Esse processo é moroso, sujeito a falha humana na determinação da cor exata e até possíveis acidentes com a queda dos tubos. Para piorar, os relatórios estatísticos são confeccionados somente após 28 dias de incubação pelos pesquisadores, retardando o acesso às informações e a tomada de decisão por parte dos responsáveis pela análise. Somado a isso, foi comprovado que a BRS, presente nos poços de petróleo, é uma das principais geradoras do gás sulfídrico (H_2S), gás altamente tóxico para o ser humano (casos de mortes já foram registrados em decorrência de acidentes envolvendo a inalação do gás) e, pelo aumento de pressão interna em tanques ou poços, com risco de explosão e inutilização dos mesmos. Além disso, foi comprovado que a BRS atua ativamente no processo de corrosão da parede de tanques, cascos de navios e oleodutos. E para finalizar, com o aumento da BRS, isto é, aumento do enxofre, o óleo fica mais viscoso, aumentando assim o risco de entupimento nos oleodutos de transporte do petróleo. Cumpre ressaltar também que, com a diminuição do “Grau API (*American Petroleum Institute*)”¹, o óleo fica mais pesado, diminuindo também o seu valor de mercado.

A automação proporcionada pelo Sistema de Inferência Fuzzy aqui proposto agilizará o processo de análise, reduzindo os atuais 28 dias de incubação dos tubos a intervalos bem menores, para o objetivo da tese que é determinar uma tendência de concentração ou não de BRS. A expectativa é que esse tempo de análise venha a cair para um intervalo de 4 a 7 dias de observação, fornecendo, de imediato, indícios de concentração ou não de BRS. Hoje, ainda com a prática corrente, esses 28 dias já se

¹ O **Grau API** (em inglês, **API Gravity**) é uma escala arbitrária que mede a densidade dos líquidos derivados do petróleo. Foi criada pelo American Petroleum Institute - **API**, juntamente com a National Bureau of Standards e utilizada para medir a densidade relativa de líquidos.

encontram reduzidos para 15 dias, porém a precisão não é totalmente confiável. É bom deixar claro que os 28 dias são necessários para análise completa da técnica NMP, porém o objetivo da tese é em poucos dias demonstrar uma tendência de concentração de BRS. Com uso de robôs e tecnologia de reconhecimento de imagem, aliada a ferramenta Sistema de Inferência Fuzzy (FIS), informações sobre cada tubo sem intervenção humana serão captadas diariamente, sendo as mesmas enviadas a um banco de dados integrado. Além disso, gráficos estatísticos serão construídos ao longo da incubação e disponibilizados de forma on-line para todos os gestores do projeto, possibilitando uma tomada de decisão mais ágil e eficaz. Esta solução, além de diminuir os riscos de erro humano, acidentes e morosidade da análise de informações, possibilitará um ganho de produtividade e precisão da análise, já que mais amostras poderão ser analisadas por tanque e mais tanques poderão ser analisados ao longo do tempo.

Com relação à demanda, ou seja, à carteira de clientes, todas as empresas petrolíferas que atuam na exploração e produção de petróleo precisam monitorar o teor de BRS em seus tanques e poços e, conseqüentemente, tornam-se clientes potenciais dessa inovação.

Os maiores desafios que esta tese poderá enfrentar estão relacionados à questão da redução de custos para a produção de soluções (tecnologia e robótica) personalizadas e inicialmente em baixa escala. Em outras palavras, trata-se de conseguir lidar bem com o *trade-off* (personalização X produção em escala) das soluções. Já os fatores críticos de sucesso seriam a capacidade técnica e operacional do autor; orientador e as características de inovação das soluções.

Convém observar que esta tese irá focar a análise da coloração das amostras com o uso da ferramenta FIS, no intuito de gerar a confiabilidade da concentração de BRS nos poços analisados. É preciso deixar bem claro, logo de início, que não faz parte do escopo

da tese o projeto e protótipo de uma estufa robótica, que, como bem sabemos, envolve esforços muito complexos e bastante tempo para serem desenvolvidos, muito embora ela tenha sido o principal motivador. Essa etapa que entra a ferramenta relatada é com certeza a “cereja do bolo” da inovação e do projeto. Não obstante, os detalhes básicos do projeto e protótipo da estufa robótica motivadora desta tese serão apresentados em tópico específico, para fins de conhecimento dos elementos de convencimento da proposta.

1.3– Descrição da Pesquisa

A pesquisa em questão se propõe a agilizar a coleta de dados e aumentar a confiabilidade da sua transformação em informação, durante a incubação da Bactéria Redutora de Sulfato (BRS), utilizando a metodologia de reconhecimento de padrão de imagens (particularmente cores) e robótica associada, ambos por lógica fuzzy. O objetivo disto é liberar a concentração humana para tarefas mais nobres como a interpretação de relatórios e gráficos gerados automaticamente pelo sistema, ou seja, nas atividades de análise amostral do BRS. A proposta implica o desenvolvimento de tecnologia de automação para o processo de análise da cor da amostra, para detecção de BRS, controle de biocorrosão e outras aplicações ambientais, particularmente na identificação dos impactos na saúde humana. Isto implica ter o início da técnica corrente como aliado, pois a tabela de quantificação em uso apresenta imprecisões (erros associados a técnica NMP). O objetivo central da tese é otimizar o processo de análise das amostras e obtenção de resultados, com auxílio de conceitos e princípios da lógica fuzzy, proporcionando elementos de informação mais precisos, confiáveis e diminuindo o tempo de análise para tomadas de decisões. É interesse deste autor desenvolver uma proposta de projeto de pós-doutoramento como desdobramento dessa tese.

As seguintes tecnologias serão desenvolvidas:

- **Robótica:** Desenvolver um protótipo futuro associado a dispositivo coletor de imagem que atuará dentro da estufa durante os 28 dias de incubação (25 a 30 graus Celsius), coletando periodicamente e de forma automática a imagem de todos os frascos de cultivo BRS em incubação (de acordo com modelo de mapeamento tridimensional do espaço). Esse dispositivo eliminará a necessidade de intervenção humana neste momento e agilizará o processo de coleta de dados. É importante salientar que nesse momento os resultados parciais serão revelados em tempo real, dando maior agilidade, confiabilidade e dinâmica ao processo.
- **Reconhecimento de Imagem e TI:** As imagens coletadas a partir de cada frasco de cultivo BRS de determinados poços serão enviadas automaticamente a uma central de inteligência computacional, sendo armazenadas em um banco de dados seguro. Onde lá serão avaliadas através dos inputs (entradas) intrínseco de cada óleo referente a cada poço. Quatro são os *Inputs* de referência:
 1. o Grau °API;
 2. a Diluição das Amostras;
 3. o Teor de Enxofre
 4. o PH do H₂S no meio.

Um sistema de reconhecimento de imagens será desenvolvido para captar de forma precisa as diferentes colorações (*Output*-saída), do conteúdo de cada frasco, comparando-as automaticamente com cada coloração-padrão existente no banco de dados denotativas dos quatro níveis de concentração de BRS na amostra, a saber:

1. Preta;
2. Cinza;
3. “Transparente”
4. Rosa.

Após cada análise realizada pelo sistema, o banco de dados daquela amostra será atualizado automaticamente. É neste momento que atuará a ferramenta FIS para realizar o reconhecimento padrão de cada cor e sua representação gráfica, diminuindo assim, cada vez mais o tempo de análise da coloração para que as empresas tenham uma tendência e resposta mais precisa nos potenciais poços analisados. Essa é a fase em que a pesquisa se concentra e será mais bem desenvolvida e apresentada no decorrer do trabalho.

- **Relatórios de Gestão e Disponibilização dos Resultados:** Com os resultados de análise BRS (reconhecimento de imagem) sendo construídos continuamente e automaticamente pelo sistema durante o período de incubação, em um trabalho conjunto desenvolvido por pesquisadores e outros profissionais envolvidos no processo, incluindo os gráficos de níveis de concentração da bactéria na amostra, análise estatística e outros, as decisões poderão ser tomadas em tempos menores, sem a necessidade de intervenção humana. Esses relatórios parciais (durante a incubação) e definitivos (ao fim da incubação) poderão ser acessados de forma on-line (durante o processo, sem interromper a incubação) pelos gestores do projeto, contratantes e técnicos envolvidos naquela análise. Por fim, o relatório final poderá ser impresso, armazenado no banco de dados e enviado a todos os envolvidos no projeto.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Petróleo

O petróleo é um recurso natural abundante, porém sua pesquisa envolve elevados custos e complexidade de estudos. É também atualmente a principal fonte de energia, servindo também como base para fabricação dos mais variados produtos, dentre os quais se destacam benzinhas, óleo diesel, gasolina, alcatrão, polímeros plásticos e até mesmo medicamentos. Já foi causa de muitas guerras e é a principal fonte de renda de muitos países, sobretudo no Oriente Médio. Além de gerar a gasolina que serve de combustível para grande parte dos automóveis que circulam no mundo, vários produtos são derivados do petróleo como, por exemplo, a parafina, GLP, produtos asfálticos, nafta petroquímica, querosene, solventes, óleos combustíveis, óleos lubrificantes, óleo diesel, combustível de aviação e gás natural. Na figura 1 um exemplo de extração de petróleo do século passado.



Fig. 1 - Extração de petróleo em Okemah, Oklahoma, Estados Unidos 1922. Fonte: [2]

2.1.1 Origem

A hipótese mais aceita leva em conta que, com o aumento da temperatura, as moléculas do querogênio começariam a ser quebradas, gerando compostos orgânicos líquidos e gasosos, num processo denominado catagênese. Para se ter uma acumulação de petróleo seria necessário que, após o processo de geração (cozinha de geração) e expulsão, ocorresse a migração do óleo e/ou gás através das camadas de rochas adjacentes e porosas, até encontrar uma rocha selante e uma estrutura geológica que detenha seu caminho, sobre a qual ocorrerá a acumulação do óleo e/ou gás em uma rocha porosa chamada rocha reservatório. É de aceitação para a maioria dos geólogos e geoquímicos, que ele se forme a partir de substâncias orgânicas procedentes da superfície terrestre (detritos orgânicos), mas esta não é a única teoria sobre a sua formação. [3][4]

Uma outra hipótese, datada do século XIX, defende que o petróleo teve uma origem inorgânica, a partir dos depósitos de carbono que possivelmente foram formados com a formação da Terra. [5] Na figura 2 temos um exemplo de amostra de petróleo.



Fig. 2 – Amostra de Petróleo. Fonte: [Petrobrás]

2.1.2 – As Etapas da Produção de Petróleo

Uma vez descoberto o petróleo, normalmente são perfurados os poços de extensão (delimitação), para estimar as dimensões da jazida. A seguir, perfuram-se os poços de desenvolvimento, que colocarão o campo em produção. No entanto, isso só ocorre quando for constatada a viabilidade técnico-econômica da descoberta, ou seja, se o volume de petróleo a ser recuperado justificar os altos investimentos necessários à instalação de uma infraestrutura de produção (isso envolve a qualidade do petróleo através dos 4 *Inputs* (Entradas) que gerará o *Output* (Saída) para tomar a decisão de continuar produzindo no poço ou não que será explicada ao longo da tese). Na figura 3, veja o exemplo de uma instalação petrolífera.



Fig. 3 - Instalação petrolífera. Fonte: [5]

A fase seguinte é denominada completação, quando o poço é preparado para produzir. Uma tubulação de aço, chamada coluna de revestimento, é introduzida no poço. Em torno dela, é colocada uma camada de cimento, para impedir a penetração de fluidos indesejáveis e o desmoronamento das paredes do poço. A operação seguinte é o canhoneio: um canhão especial desce pelo interior do revestimento e, acionado da superfície, provoca perfurações no aço e no cimento, abrindo furos nas zonas portadoras

de óleo ou gás e permitindo o escoamento desses fluidos para o interior do poço. Outra tubulação, de menor diâmetro (coluna de produção), é introduzida no poço, para levar os fluidos até a superfície. Instala-se na boca do poço um conjunto de válvulas conhecido como árvore-de-natal, para controlar a produção.

Algumas vezes, o óleo vem à superfície espontaneamente, impelido pela pressão interna dos gases. Quando isso não ocorre, é preciso usar equipamentos para bombear os fluidos. O bombeio mecânico é feito por meio do cavalo-de-pau, um equipamento montado na cabeça do poço que aciona uma bomba colocada no seu interior. Com o passar do tempo, alguns estímulos externos são utilizados para extração do petróleo. Esses estímulos podem, por exemplo, ser injeção de gás ou de água, ou dos dois simultaneamente, e são denominados recuperação secundária. Dependendo do tipo de petróleo, da profundidade e do tipo de rocha-reservatório, pode-se ainda injetar gás carbônico, vapor, soda cáustica, polímeros e vários outros produtos, visando sempre aumentar a recuperação de petróleo.

O petróleo segue então para os separadores, onde é retirado o gás natural. O óleo é tratado, separado da água salgada que geralmente contém, e armazenado para posterior transporte às refinarias ou terminais. Já o gás natural é submetido a um processo no qual são retiradas partículas líquidas, que vão gerar o gás liquefeito de petróleo (GLP) ou gás de cozinha. Depois de processado, o gás é entregue para consumo industrial, inclusive na petroquímica. Parte deste gás é injetado novamente nos poços, para estimular a produção de petróleo.

2.1.3 – A Exploração do petróleo no Brasil

No Brasil, a exploração de petróleo é tarefa muito complexa, não só pela extensão de nossa área sedimentar, superior a seis milhões de quilômetros quadrados, como pela

natureza das bacias, que possuem um tipo de rocha de difícil exploração e com pouco petróleo. No mar, a dificuldade se mede pela profundidade da água em que se encontram os maiores reservatórios já localizados, de 200 a 2 mil metros de lâmina d'água.

O Brasil possui 35 bacias sedimentares principais, que se distribuem por mais de 6,4 milhões de quilômetros quadrados, sendo 4,9 milhões de quilômetros quadrados em terra e 1,5 milhão de quilômetros quadrados na plataforma continental, até a lâmina d'água de 3 mil metros. Destas, 19 são exclusivamente terrestres, 7 são exclusivamente marítimas e as 9 restantes são bacias costeiras, que se estendem de terra para a plataforma continental. Apesar dessa extensa área sedimentar e do grande número de bacias, 70% delas não registram descobertas de óleo ou gás em quantidades comerciais.

Todas as bacias sedimentares brasileiras foram pesquisadas pela Petrobrás, com maior ou menor intensidade. Em algumas, houve descobertas logo na fase inicial de exploração, e o número de poços perfurados cresceu rapidamente. Em outras, esse sucesso não ocorreu. Os fatos mais importantes, nessa cruzada em busca do petróleo brasileiro, foram as descobertas, nas bacias terrestres, dos campos do Recôncavo baiano e de Sergipe e Alagoas, na década de 50; da Bacia do Espírito Santo, nos anos 70; e das bacias Potiguar, no Rio Grande do Norte, e do Solimões, no Amazonas, em meados dos anos 80. Na figura 4, aparece a cidade de Mossoró, a segunda maior cidade do estado do Rio Grande do Norte, que é a maior produtora de petróleo em terra (*on shore*) do Brasil.



Fig. 4 - Mossoró, a segunda maior cidade do estado do Rio Grande do Norte, que é a maior produtora de petróleo em terra (*on shore*) do Brasil. Fonte: [6]

No final da década de 60, o grande destaque foi a primeira descoberta de petróleo no mar, em lâmina d'água de 30 metros (Campo de Guaricema) no litoral de Sergipe. Depois de Guaricema, a Petrobrás intensificou as suas campanhas exploratórias na plataforma continental brasileira e realizou várias descobertas de petróleo no litoral de vários estados. Na década de 70, o fato mais importante na área de exploração e produção foi a descoberta do campo de Garoupa (1974), na Bacia de Campos, no litoral do Estado do Rio de Janeiro, em lâmina d'água de 124 metros. Já nos anos 80, as descobertas de campos gigantes de petróleo na região de águas profundas transformaram a Bacia de Campos na mais importante área produtora brasileira. Na figura 5, veja um exemplo de depósito petrolífero.



Fig. 5 - Depósito petrolífero. Fonte: [7]

Um dos indicadores usados para medir o desempenho de uma empresa, na atividade de exploração de petróleo, é o índice de sucesso em poços exploratórios. A Petrobrás tem apresentado resultados que a colocam entre as empresas mais eficientes do mundo. No período 1990/1999, o índice de sucesso médio para poços exploratórios foi de 35%, ou seja, para cada 100 poços perfurados, 35 mostraram a presença de óleo e/ou

gás natural. Mundialmente, este índice é da ordem de 20%.

É importante informar que até a data de 06/08/1997, quando foi promulgada a Lei nº 9.478/97, denominada a "Nova Lei do Petróleo", a Petrobrás era a única empresa responsável pelas atividades de exploração e de produção de petróleo no Brasil, pesquisando, em maior ou menor grau de intensidade, todas as bacias sedimentares brasileiras. Após aquela data, a Petrobrás passou a pesquisar apenas nas áreas de concessões a ela outorgadas, em 1998, pela Agência Nacional do Petróleo (ANP), bem como nas áreas de concessões por ela obtidas nas licitações conduzidas pela ANP. Posteriormente, diante da descoberta de jazimentos de petróleo e gás na camada pré-sal, ao longo do litoral brasileiro, a Lei nº 9.478 foi modificada pela Lei nº 12.351, de 22 de dezembro de 2010.

2.1.4 – A perfuração no mar



Fig. 6 - Plataforma marinha de extração do petróleo. Fonte: [7]

No mar, as atividades de perfuração seguem etapas praticamente idênticas às da perfuração em terra. Nas perfurações marítimas, a sonda é instalada sobre plataformas

(fixas ou móveis) ou navios de perfuração. Para operações em águas mais rasas, são utilizadas plataformas auto-elevatórias, cujas pernas se fixam no fundo do mar e projetam o convés sobre a superfície, livrando-o dos efeitos das ondas e correntes marinhas durante a perfuração. Em águas mais profundas, são empregadas plataformas flutuantes ou semi-submersíveis, que são sustentadas por estruturas posicionadas abaixo dos movimentos das ondas. Na figura 6, veja um exemplo de uma plataforma marinha de extração do petróleo.

Também para águas profundas e, principalmente, em áreas sob condições de mar severas, são utilizados os navios-sonda. Sua estabilidade é conseguida pela movimentação de várias hélices, controladas por computador de acordo com os movimentos do mar, permitindo que a sonda, colocada sobre uma abertura no centro da embarcação, realize a perfuração.

Os poços perfurados têm denominações diferentes, de acordo com o objetivo do trabalho que está sendo realizado. O primeiro poço perfurado em uma área é chamado poço pioneiro. Os poços de extensão têm por finalidade delimitar o reservatório, enquanto os poços de desenvolvimento são aqueles perfurados para colocar o reservatório em produção. Por outro lado, nem sempre os poços são verticais. Hoje, é muito comum a perfuração de poços inclinados, chamados direcionais. Esta técnica é muito utilizada nas perfurações no mar, pois permite que de um mesmo ponto (plataforma) se perfurem diversos poços. Em terra, a perfuração de poços direcionais tem por objetivo vencer obstáculos naturais que dificultem o posicionamento da sonda, como pântanos, rios ou lagos, por exemplo.

O Brasil está entre os poucos países que dominam todo o ciclo de perfuração submarina em águas profundas e ultra profundas (maiores que 2 mil metros). Em algumas partes do mundo, já foram feitas perfurações em lâminas d'água superiores a 2 mil metros

e há projetos para dobrar esta marca. A Petrobrás detém o recorde mundial de perfuração exploratória no mar, com um poço em lâmina d'água de 2.777 metros. Existem poços, na Bacia de Campos, produzindo petróleo em lâmina d'água de até 1.877 metros. Na figura 7, veja um exemplo de exploração de petróleo em alto mar. [7]

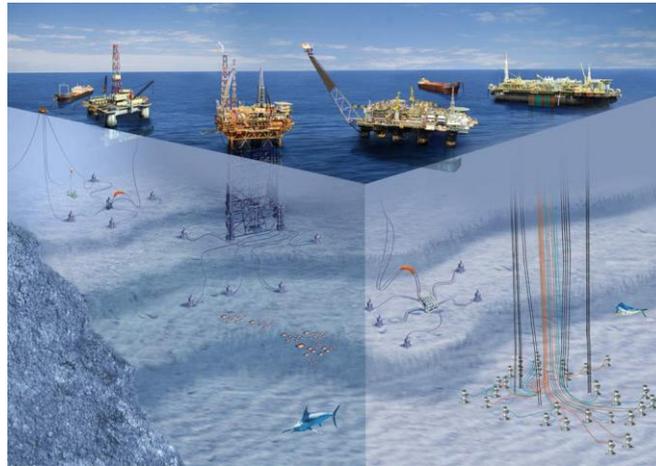


Fig. 7 - Exploração de petróleo em alto mar. Fonte: [7]

2.1.5 - Introdução geral do Processo Petrolífero

O processo de extração do petróleo inicia-se com a fase em que ele jorra na superfície por pressão natural no interior da jazida, a denominada fase primária. A esta segue-se a fase secundária, na qual água é injetada no reservatório para restaurar a pressão interna e aumentar a vazão do petróleo. A injeção de água do mar, rica em sulfato, pode estimular o crescimento de bactérias redutoras de sulfato, que causam sérios prejuízos à indústria petroquímica, decorrentes da formação de biofilmes na superfície metálica e consequente corrosão de oleodutos e reservatórios de petróleo, bem como da diminuição da quantidade do óleo extraído (Videla 2002).

A deterioração de metal devida à atividade microbiana é denominada biocorrosão ou corrosão influenciada por microorganismos (CIM), a qual é resultado de interações

entre a superfície do metal, produtos da corrosão abiótica, células bacterianas e seus metabólicos, como ácidos orgânicos e inorgânicos e compostos voláteis, como amônia e sulfeto de hidrogênio. Contudo seja bem reconhecido que ambos os mecanismos, químico e microbiológico, contribuem para a corrosão, ainda é difícil precisar a contribuição relativa da atividade microbiana na corrosão de oleodutos. No entanto, tem sido estimado que 20 a 40% de toda corrosão interna em oleodutos e tubulações utilizados na indústria de gás podem ser atribuídos à corrosão microbiana. Estima-se que o custo anual de todas as formas de corrosão na indústria petroquímica é de aproximadamente \$13,4 bilhões de dólares, sendo a biocorrosão responsável por cerca de \$2 bilhões (Cunha 2013).

Dentre os microrganismos envolvidos na formação de biofilmes e consequente biocorrosão de oleodutos, as bactérias redutoras de sulfato (BRS) são consideradas o principal grupo. As BRS constituem um grupo de microrganismos amplamente distribuídos em muitos ambientes anaeróbicos. Elas apresentam ampla variação morfológica e metabólica e são geralmente reconhecidas como anaeróbias estritas. As BRS são capazes de oxidar vários compostos orgânicos utilizando o íon sulfato como acceptor de elétrons. A produção de H_2S biogênico frequentemente indica a atividade e a presença das bactérias redutoras de sulfato em ambientes naturais, sendo esse composto considerado o principal fator na atividade corrosiva desses microrganismos. Além disso, esse gás é tóxico à saúde humana.

Em decorrência dos inúmeros prejuízos econômicos relacionados à atividade metabólica das BRS na indústria petroquímica, muitas pesquisas têm sido direcionadas à prevenção e ao controle da corrosão causada por esse grupo de bactérias. Estratégias para o controle da atividade metabólica de BRS e consequente inibição da produção de H_2S biogênico incluem a suplementação da água de injeção com inibidores metabólicos,

tais como molibdato e nitrito, e aplicação de agentes biocidas, como glutaraldeído e sulfato de tetrakis(hidroximetil)fosfônio (Tang et al., 2009). O tratamento da água de injeção com o biocida sulfato de tetrakis(hidroximetil)fosfônio (THPS) é comumente utilizado para controle da produção do H₂S biogênico. O THPS é um composto iônico solúvel em água, que apresenta ação antimicrobiana rápida e de amplo espectro. Ele apresenta fácil manipulação e baixa toxicidade ambiental (Videla, 2002).

Outras substâncias promissoras no controle de biofilmes bacterianos e potencial aplicação no controle de bactérias redutoras de sulfato incluem os surfactantes biológicos ou biosurfactantes. Surfactantes, de origem biológica ou química, são moléculas anfipáticas, constituídas de um grupo hidrofílico e outro hidrofóbico. Eles são capazes de agir na interface entre duas fases fluidas com diferentes polaridades, como óleo/água ou ar/água, reduzindo a tensão superficial. Essa propriedade confere aos surfactantes excelentes propriedades detergentes, emulsificantes, espumantes e dispersantes, o que possibilita sua aplicação em vários setores industriais. Porém esses biocidas e biosurfactantes que ajudam a controlar as BRS geram um “trade-off”, pois ao mesmo tempo que os controlam diminuem o Grau °API, diminuindo também o valor do petróleo no mercado (Grosso 2017).

2.1.5.1 Extração do Petróleo e Onde é encontrado a BRS

O processo de extração do petróleo pode ser dividido em três etapas clássicas: recuperação primária, recuperação secundária e recuperação terciária (Ollivier & Magot, 2005).

A recuperação primária do petróleo corresponde à recuperação sustentada pela pressão interna do reservatório. Quando o poço é aberto, a pressão inicial do reservatório

é frequentemente alta o suficiente para permitir que o óleo e gás no reservatório fluam espontaneamente para a superfície. Quando a pressão diminui, os níveis de produção decaem e a produção primária torna-se ineficiente. Geralmente apenas 10% do óleo podem ser recuperados por esse método, exigindo que outras técnicas sejam utilizadas para aumentar o volume de óleo recuperado. Quando a extração de óleo na fase primária declina, são implantadas as técnicas de recuperação secundária, as quais se baseiam na injeção de água ou gás para manter a pressão interna do reservatório e melhorar a recuperação. Em média, 15 a 60% do óleo podem ser recuperados, dependendo das características do mesmo, das do reservatório e do número e posição dos poços (Ollivier & Magot, 2005).

A recuperação do petróleo pode ser ainda aumentada pela adoção das tecnologias de recuperação melhorada, que caracterizam a recuperação terciária. Destaca-se, nessa etapa, a recuperação do petróleo melhorada por microrganismos (MEOR), a qual utiliza microrganismos e, ou seus metabólitos, como biopolímeros, ácidos e gases, com a finalidade de aumentar a recuperação do mesmo (SEN, 2008). Nos processos de MEOR, biossurfactantes são potencialmente úteis, dada a sua capacidade de reduzir a tensão interfacial entre o óleo residual e o fluido de injeção (Bordoloi & Konwar, 2008). Há três principais estratégias para utilização desses compostos em MEOR: (i) injeção do microrganismo produtor de biossurfactante no reservatório, com consequente multiplicação do microrganismo *in situ* nas rochas do reservatório, (ii) injeção de nutrientes selecionados no reservatório para estimular o crescimento de microrganismos indígenas produtores de biossurfactantes e (iii) produção de biossurfactante *ex situ* e sua subsequente injeção no reservatório (Banat, 1995).

• Recuperação Secundária

Na fase secundária de recuperação do petróleo, água do mar é frequentemente utilizada para restaurar a pressão interna de reservatórios *offshore* e aumentar a vazão do petróleo (Antônio *et al.* 2000; Hubert & Voordouw, 2007). A injeção de água do mar, rica em sulfato, pode ter como efeito indesejável o estímulo do crescimento de bactérias redutoras de Sulfato (BRS), que causam sérios prejuízos à indústria petroquímica, decorrentes da formação de biofilmes na superfície metálica e de sua participação na corrosão de oleodutos e reservatórios de óleo (Hubert *et al.*, 2005; González *et al.*, 2006), bem como da produção de ácido sulfídrico (H₂S) (Davidova *et al.*, 2001).

Nas operações de recuperação secundária do petróleo, a concentração de sulfato introduzida nos reservatórios depende da fonte da água de injeção, a qual é especialmente alta (aproximadamente 30 mmol/l) quando a água do mar é injetada em operações *offshore*. Uma vez que grandes volumes de água do mar são injetados (tipicamente 10000m³ dia⁻¹, dependendo do reservatório), grandes quantidades de sulfeto biogênico podem ser produzidas (acima de 1100 Kg dia⁻¹) (Hubert & Voordouw, 2007). Apesar de também ser produzido quimicamente pela dissolução dos sulfetos metálicos da rocha nos reservatórios, a maior parte do H₂S produzido em oleodutos origina-se da atividade metabólica de bactérias redutoras de sulfato (Mougin *et al.*, 2007).

A produção de H₂S biogênico frequentemente indica a atividade e a presença das bactérias redutoras de sulfato em ambientes naturais (Dolla *et al.*, 2006), sendo esse composto considerado o principal fator na atividade corrosiva desses microrganismos. A corrosão do aço nos tanques de armazenamento e o azedamento do óleo são os principais prejuízos decorrentes do aumento da concentração de H₂S na indústria petroquímica (Antônio *et al.*, 2000). Ademais, esse gás é tóxico ao ser humano (Lambert *et al.*, 2006).

Além de contribuir para a ocorrência de corrosão, os biofilmes causam diminuição do fluxo de óleo nos dutos, elevando com isso os gastos de energia para bombeamento e o desgaste de equipamentos (Nemati *et al.*, 2001; Rempel *et al.*, 2006). [8]

2.2 – Bactéria Redutora de Sulfato (BRS)

As BRS constituem um grupo de microrganismos amplamente distribuídos em muitos ambientes anaeróbicos, onde elas utilizam o sulfato comoceptor final de elétrons para a degradação de compostos orgânicos, resultando na produção de sulfeto. Elas apresentam ampla variação morfológica e metabólica (Dolla *et al.*, 2006) e são geralmente reconhecidas como anaeróbias estritas, apesar de algumas espécies apresentarem significativa tolerância ao oxigênio (Kjeldsen *et al.*, 2004; Kjeldsen *et al.*, 2005). [8]

A produção de gás sulfídrico ou sulfeto de hidrogênio (H_2S) por bactérias redutoras de sulfato (BRS) é um problema mundial da indústria de petróleo e gás natural e as regiões circunvizinhas, gerando impactos ao meio ambiente. Os problemas de corrosão industrial estão associados à produção de sulfeto de hidrogênio (biosulfetogênese), além disso, o aumento do teor de enxofre no petróleo bruto e gás são importantes. [9]

As Bactérias Redutoras de Sulfato (BRS) estão envolvidas em 95% dos casos de biocorrosão. Devido aos efeitos deletérios, as BRS são os grupos bacterianos mais comumente estudado em águas de campo de petróleo. Estas bactérias, além de aumentarem o conteúdo de enxofre no petróleo “*souring*” (acidificação, azedamento), provocam corrosão em estruturas metálicas, gerando um custo elevado na manutenção de equipamentos e materiais de sistemas de produção. As BRS constituem um grupo de

microrganismos fisiologicamente similares, mas morfolologicamente distintos. Estão presentes em sedimentos marinhos e límnicos, águas anóxicas, solos, biofilmes e no conteúdo intestinal de animais. Esforços consideráveis têm sido direcionados ao desenvolvimento de métodos rápidos e simplificados para detecção e enumeração de BRS em ambientes naturais e industriais, envolvendo principalmente o desenvolvimento de técnica de enumeração em laboratório. Em geral, os métodos utilizados para enumerar as BRS podem ser divididos em métodos de detecção direta e métodos de cultura. Este exemplo de trabalho propõe desenvolver métodos de identificação mais eficientes e menos onerosos para o monitoramento e controle destes microrganismos em sistemas de produção de petróleo. Primeiramente, avalia-se o potencial de vários meios de cultivos propostos para contagem de BRS em frascos de cultivo de microrganismos anaeróbios pelo método de cultura. Dentre os meios analisados somente o Caldo de Starkey foi considerado pouco eficiente para tal finalidade. Os substratos orgânicos foram indiferentes quanto à formação do precipitado, demonstrando não interferir no metabolismo bacteriano dos microrganismos inoculados. Com esse estudo, será mais fácil aplicar na pesquisa e conseqüentemente no projeto.

2.2.1 – Introdução à BRS

Desde do início da produção e exploração comercial de combustível fóssil, especialistas em engenharia do petróleo vêm enfrentando problemas causados por microrganismos. Estes podem afetar direta ou indiretamente a integridade de muitos materiais usados em sistemas industriais. Muitos metais, incluindo ferro, cobre, níquel, alumínio e suas ligas, são, uns mais outros menos, suscetíveis a este tipo de dano. As Bactérias Redutoras de Sulfato (BRS) foram rapidamente reconhecidas como responsáveis pela produção de Sulfeto de Hidrogênio (H_2S), altamente tóxico e venenoso

para os seres humanos, e como principais atores na CIM (Corrosão Influenciada Microbiologicamente). Segundo Hamilton (1985) as BRS estão envolvidas em 95% dos casos de biocorrosão. Devido aos efeitos deletérios, as BRS são o grupo bacteriano mais comumente estudado em águas de campo de petróleo (MAGO et al., 2000). Estas bactérias, além de aumentarem o conteúdo de enxofre no petróleo “souring”, provocam corrosão em estruturas metálicas, gerando um custo elevado na manutenção de equipamentos e materiais de sistemas de produção.

As BRS constituem um grupo de microrganismos fisiologicamente similares, mas morfológicamente distintos. Estão presentes em sedimentos marinhos e límnicos, águas anóxicas, solos, biofilmes e no conteúdo intestinal de animais (HAMILTON, 1998). Águas ricas em sulfato proporcionam o ambiente adequado para o seu desenvolvimento. As BRS foram os primeiros organismos não fotossintéticos a gerar energia (ATP) através da transferência de elétrons relacionada à fosforilação. Por este processo, as BRS tipicamente utilizam sulfato como acceptor de elétron terminal para a respiração de hidrogênio ou ácidos orgânicos, resultando na produção de sulfeto (HEIDELBERG et al., 2004). Sass et al. (2002) e Cord-Ruwisch et al. (1987), em relação à nutrição, dividem as BRS em dois grupos fisiológicos: espécies que oxidam substratos orgânicos incompletamente a acetato e espécies que oxidam substratos orgânicos, incluindo acetato, completamente a CO₂. O processo de redução global do sulfato, segundo (Gibert *et al.*, 2002), pode ser representado pela equação $2\text{CH}_2\text{O} + \text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{H}_2\text{S} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$, onde CH₂O representa um composto orgânico.

A forma mais simples e recomendada para prevenir os danos da CIM é o monitoramento dos principais organismos envolvidos. A partir da confirmação da presença de microrganismos que induzem a corrosão, elabora-se um plano de controle.

Um exemplo de tratamento aplicado para prevenir e controlar a corrosão microbiológica e o *souring* nas reservas é o uso de biocidas. Os biocidas são compostos capazes de matar ou inibir o crescimento de microrganismos. Estes compostos podem ser inorgânicos como clorina, ozônio, bromina ou orgânicos incluindo isotiazolona, compostos de amônio quaternário e aldeídos (VIDELA, 2002).

Esforços consideráveis têm sido direcionados ao desenvolvimento de métodos rápidos e simplificados para detecção e enumeração de BRS em ambientes naturais e industriais, envolvendo principalmente o desenvolvimento de técnica de enumeração em laboratório. Em geral, os métodos utilizados para enumerar as BRS podem ser divididos em métodos de detecção direta e métodos de cultura.

Os métodos de detecção direta são em grande parte complexos e de custo elevado, como a técnica de sondas de 16 S rRNA, já métodos de cultura para enumeração de BRS baseado na técnica de Número Mais Provável (NMP) têm sido amplamente desenvolvidos (VESTER; INGVORSEN, 1998), é essa que será focada na pesquisa e no projeto, porém só na arrumação das amostras de óleos e nutrientes para diluições, pois não terá análise quantitativa, porque não é preciso, isto é, o erro associado da técnica NMP é muito grande. Uma variedade de meios de cultivo vem sendo formulado para ambientes anaeróbios específicos, incluindo lodos ativados, sedimentos marinhos, poços de perfuração de petróleo, entre outros. Em todos os casos de análise de NMP, a presença de BRS em tubos e frascos é avaliada pela formação do precipitado escurecido de sulfeto ferroso (FeS).

Diante de tal realidade, esta tese traz como exemplo para explicar o cultivo da BRS um trabalho de campo [10], feito por pesquisadores e especialistas em BRS que propõe desenvolver métodos de identificação mais eficientes e menos onerosos para o monitoramento e controle destes microrganismos em sistemas de produção de petróleo.

2.2.2 – Material e Métodos

2.2.2.1 - Preparação dos Meios de Cultivos

Inúmeros meios são propostos para estudar bactérias anaeróbicas redutoras de sulfato, mas não há um único que possa ser recomendado para os diferentes ambientes de amostragem. Devido a essas circunstâncias vários meios de cultivo como os de Postgate, Caldo de Starkey, o Butlin (figura 8), entre outros, são demonstrados como exemplos de meio de cultivo.

Componente	Concentração (g/l)				
	Meio B	Meio C	Meio D	Starkey	Butlin*
K ₂ HPO ₄	---	---	---	0.5	0.5
KH ₂ PO ₄	0.5	0.5	0.5	---	---
NH ₄ Cl	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
CaCO ₄	1.0	---	---	---	---
Na ₂ SO ₄	---	4.5	---	0.5	2.0
MgSO ₄ .7 H ₂ O	2.0	2.0	---	2.0	1.0
Lactato de Sódio	3.5	3.5	---	3.5	2.5 ml (60%)
Piruvato de Sódio	---	---	3.5	---	---
CaCl ₂ .2 H ₂ O	---	0.06	0.1	0.1	0.067
MgCl ₂	---	---	1.6	---	---
FeSO ₄ .7 H ₂ O	0.5	0.004	0.004	---	0.004
Fe(NH ₄) ₂ (SO ₄) ₂ .6H ₂ O	---	---	---	0,001	---
Extrato de levedura	1.0	1.0	1.0	---	1.0
Citrato de Sódio	---	0.3	---	---	---

Nota: Meios B, C e D (Meios de Postgate); * Meio Butlin Modificado (FEDORAK et al., 1987).

Fig. 8 – Quadro com composição de meios de cultivo para BRS. Fonte: [10]

Ácido ascórbico e/ou ácido tioglicólico foram adicionados antes da inoculação como agentes redutores. O Ph foi mantido entre 7,0 e 7,5 com adição de solução de NaOH (1,0 N). Na figura 8, veja um exemplo de um quadro com composição de meios de cultivo para BRS.

Para melhor caracterização da anaerobiose um indicador de redox, resazurina, 0.001g, foi adicionado para facilitar a verificação da não intrusão de oxigênio no meio de

cultivo e a mudança de redox. Meio rosa (Figura 9a), presença de O₂ dissolvido; meio incolor, anaeróbico com precipitado ou não (Figura 9b).

2.2.2.2 - Amostragem/Inóculo

As amostras foram coletadas de sedimento de manguezal e lodo anaeróbico de reator tipo UASB. Para coleta foram utilizados frascos de polipropileno ou de vidro com capacidade de 250 ml, pré-esterizados. Os meios para enumeração foram inoculados dentro de 24 horas após a coleta do material.

2.2.2.3 - Diluição em série

Alíquotas de 1,0 ml de amostra (água ou sedimento, 10,0 g diluído em 90 ml de água fosfatada), com uma seringa ou pipeta estéreis, são injetadas imediatamente em tubos de 16 ml (Bellco, 16 x 125 mm) contendo 9,0 ml de solução de diluição estéril (água fosfatada). Em frascos com tampa de borracha, o O₂ é removido purgando gás livre de oxigênio (N₂). Mistura-se o tubo por cerca de 3 minutos, transferindo 1,0 ml do conteúdo da mistura para outra solução de diluição, assim sucessivamente, variando de 10⁻¹ a 10⁻¹², dependendo da densidade populacional bacteriana na amostra de origem. Para os tubos incubados na jarra de anaerobiose, a diluição em série pode ser realizada em condição não anóxica.

2.2.2.4 - Número Mais Provável (NMP)

Para análise de Número Mais Provável (NMP) de BRS, 10 ml de meio de cultura foram adicionados em frascos de cultivo (Figura 9) e tubos de ensaio. Nos frascos de cultivo, retirou-se o O₂ livre purgando N₂. Em seguida os meios foram conduzidos ao autoclave por 15 minutos a 121°C. O NMP de Bactérias Redutoras de Sulfato estão sendo

estimados usando regime de três tubos por diluição. As enumerações foram realizadas em duplicata (TANNER, 1989).

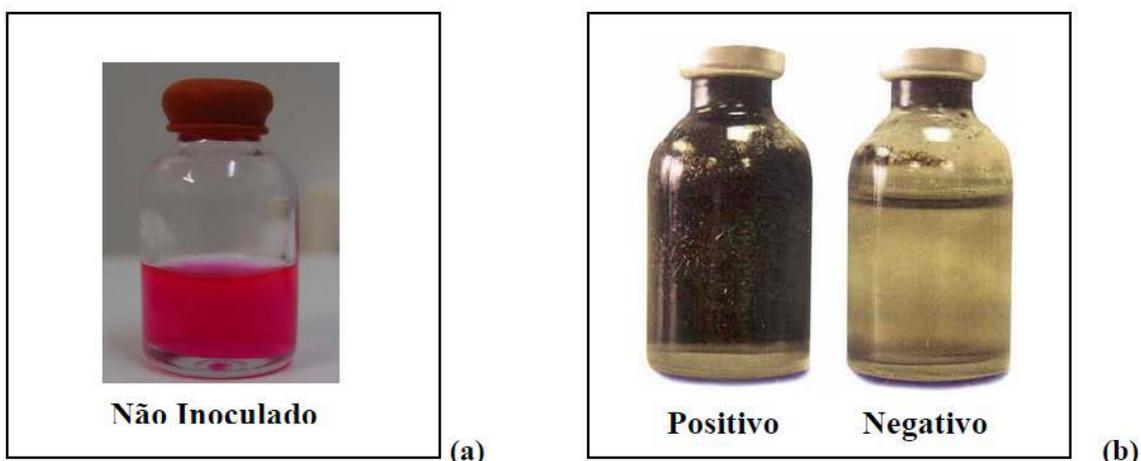


Fig. 9 - Frascos de cultivo de BRS: (a) Frascos com meio de cultivo sem inóculo, com indicador de anaerobiose (b) Resultado esperado depois de alguns dias de cultivo: positivo, redução do meio e formação de precipitado de FeS; negativo, redução do meio (incolor) e não formação de precipitado. Para alguns autores, a coloração “transparente” indica uma concentração de BRS negativa, porém, para outros autores (e nesta tese), o único indicador de concentração negativa é a coloração rosa, além, é claro, do não inoculado, o transparente será positivo com pequena concentração de BRS. Fonte: [10]

Alíquotas de 1,0 ml de cada diluição foi transferida para os frascos ou tubos de cultivos. Estes posteriormente incubados em jarra de anaerobiose. A temperatura de incubação foi de 25 a 30° C, os tubos foram incubados durante 28 dias, sendo acompanhados diariamente para visualização de tubos positivos (Figura 9b, positivo) e condições anaeróbias [Figura 9b, positivo e negativo (sendo que na tese será positivo)].

2.2.3 - Resultados e Discussão

As primeiras análises de enumeração mostraram um resultado satisfatório quanto à presença de BRS (figura 10).

Substrato	Meio de Cultivo				
	Meio B	Meio C	Meio D	Starkey	Butlin
Lodo	+	+	+	-	+
Sedimento de Manguezal	+	+	+	-	+
Sedimento de lagoa	+	+	+	-	+

Nota: + : resultado confirmativo da presença de BRS.

Fig. 10 – Meios de cultivo analisados. Fonte: [10]

O meio Caldo de Starkey não foi bem sucedido quanto ao aparecimento do precipitado escurecido de sulfeto ferroso, além disto, sua metodologia requer a aplicação de uma solução de cloreto de cádmio, caso existisse dúvida quanto ao positivo, pois com a presença de sulfeto de hidrogênio na forma ionizada, este se ligaria ao cádmio, formando um precipitado amarelado. O fato desta metodologia exigir o uso de cádmio, um metal pesado tóxico, já faz seu uso ser menos frequente.

Não obstante, o fato deste meio não possuir agentes redutores o torna mais difícil de ficar com uma quantidade de oxigênio mínima suficiente para ocorrer o crescimento das BRS, além disto, a não presença da resazurina, faz dificultar o processo de visualização da anaerobiose no meio, pois não há como verificar visualmente este fato. A metodologia pede que este meio seja aquecido para retirada do oxigênio presente, no entanto, o manuseio deste meio já o faz adquirir oxigênio. Além da possível concentração de oxigênio acima do limite tolerável, o meio possui uma concentração muito reduzida de íons de ferro. O reagente que fornece estes íons, $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, é colocado em quantidade 500 vezes menor, que no meio de cultivo com maior concentração de íons de ferro, meio Postgate B, normalmente o mais utilizado para enumeração destes microorganismos.

Para os meios em que o precipitado foi formado, houve diferenças quanto a concentração de sulfeto ferroso (FeS), precipitado escurecido. Sabe-se que a quantidade de células viáveis inoculadas em cada frasco não é exatamente a mesma, o que

possivelmente interfere no resultado metabólico total das bactérias presentes no frasco. Mas o que teve maior influência na concentração do precipitado escurecido foi a quantidade do reagente sulfato ferroso, quando as concentrações deste reagente eram maiores havia uma tendência do precipitado escurecido ser mais evidente. Portanto, a quantidade de sulfato ferroso é também um indicativo para a escolha do meio de cultivo. É evidente que todos estes meios analisados foram preparados para microrganismos específicos dentro do grupo das Bactérias Redutoras de Sulfato. Porém um dos objetivos deste exemplo de cultivo é encontrar um meio que possa ser utilizado para contagem de um número amplo de microrganismos redutores de sulfato, para servir como exemplo para a pesquisa. Em amostras ambientais, não há um único gênero de BRS, há várias espécies com diferentes características fisiológicas, necessitando assim, satisfazer nutricionalmente um número maior possível de BRS.

Vários meios de cultura têm sido descritos que facilitam o monitoramento e estudo das Bactérias Redutoras de Sulfato em campos de óleo e gás, como também em outros ambientes. Isto inclui o desenvolvimento de meios de cultivo mais completos em termos de nutrição, como o API-RST preparado por Tanner (1989). No entanto, o fato do meio está mais completo não exclui a possibilidade de utilizar outros meios para a mesma finalidade de contagem. Além disso, o custo reduzido dos meios menos complexos é um atrativo a mais para sua utilização, sem perdas significativas para o resultado.

A possibilidade de aumentar a área em que os microrganismos redutores de sulfato possam se aderir, faz com que meios modificados sejam propostos. O meio de Postgate B modificado por Jain (1996), aumenta a probabilidade dos microrganismos crescerem, para isto ocorrer é necessário a introdução de agar para que o meio fique com características semi-sólidas.

Outra possibilidade de aumentar a área de contato para os microrganismos é a utilização de microtubos, nestes, a quantidade de meio e inóculo é reduzida, proporcional ao tamanho do tubo, no entanto, faz aumentar a área de contato com as paredes do microtubo.

Em relação ao substrato orgânico, o lactato foi confirmado como a fonte de carbono orgânico mais adequada para contagem destes microrganismos. Apesar de ser um substrato padrão, outras fontes de carbono podem ser adicionadas paralelamente ao meio. Observa-se que quantidades maiores, em torno de 10% de lactato de sódio, não interfere no processo de contagem.

2.2.4 - Conclusão dessa pesquisa de BRS de exemplo para a pesquisa

Os meios de cultivo analisados para servir como exemplo da pesquisa apresentaram resultados favoráveis quanto à presença de Bactérias Redutoras de Sulfato (BRS). O sistema de detecção baseado em microtubos proporcionou resultados positivos quando inoculados com Bactérias Redutoras de Sulfato, mostrando ser confiável quanto à confirmação de BRS. Este fato torna o método de microtubos tecnicamente viável para “contagem” (análise de cor do óleo com BRS) destes microrganismos. A partir destes resultados, uma análise estatística será desenvolvida para padronizar os dados gerados em microtubos com os dados gerados pela técnica de tubos múltiplos tradicionais.[10]

Na implantação do projeto depois da pesquisa de tese, esses dados, gráficos e análises estatísticas, já serão gerados e enviados para os computadores de gestores envolvidos no mesmo.

2.3– Robótica e Automação

Um ramo educacional e tecnológico que engloba computadores, robôs e computação, que trata de sistemas compostos por partes mecânicas automáticas e controladas por circuitos integrados, tornando sistemas mecânicos motorizados, controlados manualmente ou automaticamente por circuitos elétricos. As máquinas, pode-se dizer que são vivas, mas ao mesmo tempo são uma imitação da vida, não passam de fios unidos e mecanismos, isso tudo junto concebe um **robô** [11]. Cada vez mais as pessoas utilizam os robôs para suas tarefas. Em breve, tudo poderá ser controlado por robôs. Os robôs são apenas máquinas: não sonham nem sentem e muito menos ficam cansados. Esta tecnologia, hoje adaptada por muitas fábricas e indústrias, tem obtido de um modo geral, êxito em questões levantadas sobre a redução de custos, aumento de produtividade e os vários problemas trabalhistas com funcionários. Na figura 11, um exemplo de robô humanóide da Toyota.



Fig. 11 - Um robô humanóide da Toyota, robôs são sempre associados aos estudos da robótica. Fonte: [11]

O termo *Robô* foi pela primeira vez usado pelo Checo Karel Capek (1890-1938) numa Peça de Teatro - R.U.R. (Rossum's Universal Robots) - estreada em Janeiro de 1921 (Praga) [12]. O termo *Robótica* foi popularizado pelo escritor de Ficção Científica Isaac Asimov, na sua ficção "I, Robot" (Eu, Robô), de 1950. Neste mesmo livro, Asimov criou leis, que segundo ele, regeriam os robôs no futuro: Leis da robótica:

1. Um robô não pode fazer mal a um ser humano e nem, por omissão, permitir que algum mal lhe aconteça.
2. Um robô deve obedecer às ordens dos seres humanos, exceto quando estas contrariarem a Primeira lei.
3. Um robô deve proteger a sua integridade física, desde que, com isto, não contrarie a Primeira lei e a Segunda lei.

A ideia de se construir robôs começou a tomar força no início do século XX com a necessidade de aumentar a produtividade e melhorar a qualidade dos produtos. É nesta época que o robô industrial encontrou suas primeiras aplicações, o pai da robótica industrial foi George Devol. Devido aos inúmeros recursos que os sistemas de microcomputadores nos oferece, a robótica atravessa uma época de contínuo crescimento que permitirá, em um curto espaço de tempo, o desenvolvimento de robôs inteligentes fazendo assim a ficção do homem antigo se tornar a realidade do homem atual.

A robótica tem possibilitado às empresas redução de custos com o operariado e um significativo aumento na produção. O país que mais tem investido na robotização das atividades industriais é o Japão, um exemplo disso observa-se na Toyota.

Porém há um ponto negativo nisso tudo. Ao mesmo tempo em que a robótica beneficia as empresas diminuindo gastos e agilizando processos, ela cria o desemprego

estrutural, que é aquele que não é gerado por crises econômicas, mas pela substituição do trabalho humano por máquinas.

Ressalta-se entretanto que há alguns ramos da robótica que geram impacto social positivo. Quando um robô é na realidade uma ferramenta para preservar o ser humano, como robôs bombeiros, submarinos, cirurgiões, entre outros tipos. O robô pode auxiliar a reintegrar algum profissional que teve parte de suas capacidades motoras reduzidas devido à doença ou acidente e, a partir da utilização da ferramenta robótica ser reintegrado ao mercado. Além disto, estas ferramentas permitem que seja preservada a vida do operador.

A robótica é usada em várias áreas. Podemos citar por exemplo: Nanotecnologia (para a construção de nanorobôs a fim de realizar operações em seres humanos sem necessidade de anestésias), na produção industrial (os robôs que são criados para produção e desenvolvimento de mercadorias) e em produções avançadas como os "dummies" feitos para transcrição de colisões de carros, os chamados "crash tests".

2.3.1 - Classificação Geral dos Robôs

Devido a várias diferenças em função de características e propriedades, existem diversas classes de robôs que se diferenciam em suas aplicações e formas de trabalhar.

Tipos de Robôs:

1. Robôs Inteligentes: são manipulados por sistemas multifuncionais controlados por computador, são capazes de interagir com seu ambiente através de sensores e de tomar decisões em tempo real. Atualmente dedicam-se grandes esforços no desenvolvimento desse tipo de robô.

2. Robôs com controle por computador: são semelhantes aos robôs inteligentes, porém não tem a capacidade de interagir com o ambiente. Se estes robôs forem equipados com sensores e software adequado, se transformam em robôs inteligentes.

3. Robôs de aprendizagem: se limitam a repetir uma sequência de movimentos, realizados com a intervenção de um operador ou memorizadas.

4. Manipuladores: são sistemas mecânicos multifuncionais, cujo sensível sistema de controle permite governar o movimento de seus membros das seguintes formas:

- a) manual, quando o operador controla diretamente os movimentos;
- b) de sequência variável, quando é possível alterar algumas das características do ciclo de trabalho.

Pode ser extremamente interessante realizarmos a classificação dos robôs do ponto de vista do controle de seus movimentos, admitindo as seguintes configurações:

1. Sem controle-servo: é o programa que controla o movimento dos diferentes componentes do robô, se realiza em um posicionamento "ponto-a-ponto" no espaço.

2. Com controle-servo: este tipo de controle permite duas formas de trabalho:

a) controle dos movimentos dos membros do robô em função de seus eixos. Os movimentos podem ser realizados ponto-a-ponto ou com trajetória contínua.

b) os movimentos se estabelecem da respectiva posição de seus eixos de coordenada e da orientação da mão ferramenta do robô.

Esta classificação não pretende ser rígida, também existem sistemas que estão limitados a um controle misto computador-operário. Algumas referências bibliográficas classificam os robôs com controle por computador como de 1ª geração e os robôs inteligentes de 2ª geração.

2.3.2 - Benefícios da Automação

Este crescimento de tecnologia relacionado à robótica gerou grandes benefícios. A automação possibilita grandes incrementos na produtividade do trabalho, possibilitando que as necessidades básicas da população possam ser atendidas. Além de aumentar a produção, os equipamentos automatizados possibilitam uma melhora na qualidade do produto, uniformizando a produção, eliminando perdas e refugos.

A automação também permite a eliminação de tempos mortos, ou seja, permite a existência de "operários" que trabalhem 24 horas por dia sem reclamarem, que leva a um grande crescimento na rentabilidade dos investimentos.

A microeletrônica permite flexibilidade ao processo de fabricação, ou seja, permite que os produtos sejam produzidos conforme as tendências do mercado, evitando que se produzam estoques de produtos invendáveis.

As características citadas acima mostram que a microeletrônica, possibilita que não haja nem escassez nem desperdício, com melhor qualidade de vida e de produção, aliada a um menor esforço.

Sem dúvida a automação industrial foi e é um grande impulsionador da tecnologia de robótica. Cada vez mais tem se procurado aperfeiçoar os dispositivos, dotando-os com inteligência para executar as tarefas necessárias. Por exemplo, usando Redes Neurais procura-se a linearização de acionamentos eletromecânicos; com lógica fuzzy, que é a ferramenta da pesquisa e futuramente do projeto para a sua prototipagem, pode-se fazer o planejamento de trajetória para robôs redundantes; ou utilizando Sistemas Especialistas é possível a detecção de vazamento de água a partir da aquisição remota de consumo.

2.3.3 - Robô industrial

Um robô industrial é oficialmente definido pela ISO como um "manipulador multipropósito controlado automaticamente, reprogramável, programável em três ou mais eixos". O campo da robótica industrial pode ser definido como o estudo, desenvolvimento e uso de sistemas robóticos para a manufatura.

As aplicações típicas dos robôs industriais incluem fundição, pintura, soldagem, montagem, movimentação de cargas, inspeção de produtos, e realização de teste, tudo realizado com uma precisão, velocidade, e robustez relativamente elevadas.

2.3.3.1 - Tipos de robôs industriais

As configurações de robôs utilizadas mais comumente na automação industrial incluem os robôs articulados (o tipo mais comum), os robôs SCARA, e os robôs cartesianos (também conhecidos como robôs x-y-z). No contexto da robótica geral, a maior parte dos robôs industriais seria categorizada como braços robóticos (manipulador).

Os robôs industriais possuem diferentes níveis de autonomia. Alguns robôs são programados para realizarem ações repetidamente sem nenhuma variação, com um nível elevado de precisão. Estas ações são determinadas por rotinas pré-programadas que especificam a direção, aceleração, velocidade e distância de uma série de movimentos coordenados. Outros são mais flexíveis com relação à orientação do objeto em que trabalham ou com o trabalho que realizam sobre o objeto, o qual pode eventualmente ser identificado pelo robô. Por exemplo, para uma orientação mais precisa, os robôs geralmente contêm câmeras, caso do projeto, ligadas a computadores ou controladores.

A inteligência artificial, e suas variações, possui uma importância crescente nos robôs industriais modernos.

2.3.4 - Desenvolvimentos recentes, futuros e o que será aplicado no projeto

Atualmente, a indústria de braços robóticos está chegando a um estado de maturidade, no qual ela pode prover velocidade, precisão e facilidade de uso suficiente para a maior parte das aplicações. O controle por vídeo vem aumentando enormemente a flexibilidade das unidades robóticas. A parte que atualmente ainda apresenta pouca flexibilidade é a mão (Efetuador), o manipulador fixado aos robôs é comumente uma simples garra pneumática de duas posições. Isto não permite que um robô manipule facilmente diferentes componentes, em orientações diversas.

Junto com o aumento de aplicações para dispositivos programados, a calibração dos robôs está se tornando cada vez mais importante, de modo a garantir uma boa precisão no posicionamento.

Outros desenvolvimentos incluem a redução no tamanho dos braços industriais para aplicações voltadas a manuseios mais precisos e a utilização dos robôs industriais em combinação com veículos guiados automaticamente (AGVs) mais inteligentes, de modo a tornar a cadeia de automação mais flexível. [13]

Por conta da “mão”, ou melhor, o efetuador do robô ainda ser pouco flexível, serão aplicadas prateleiras e fileiras automatizadas na estufa robótica do projeto, pois com esse procedimento pode-se “levantar” os frascos que serão analisados e tirar foto dos mesmos.

2.3.5. Controle autônomo de um robô utilizando Sistema de Inferência Fuzzy (FIS) e algoritmos genéticos (GA)

Podemos definir os algoritmos genéticos (GA) como métodos adaptativos que podem ser usados para resolver problemas de busca, otimização e aprendizagem de máquinas, dentre outros. Para a robótica, um GA é considerado como um método de aprendizagem de ações de controle de forma autônoma.

A lógica fuzzy define-se pelo seu próprio nome: lógica nebulosa. Ela baseia-se em conceitos linguísticos, o que tem facilitado à construção de processos complexos, tais como um robô móvel, pois facilita a construção de regras, tais como: ande mais rápido, vire um pouco para a esquerda, diminua bastante a velocidade, obstáculo perto, entre outras.

Ao considerarmos um controlador neural fuzzy para um robô móvel, verificamos que a rede "aprende" a dirigir o robô móvel até que o mesmo atinja alvos pré-definidos, sem que haja a colisão com obstáculos do ambiente. O "conhecimento" que a rede vai "adquirindo" pode também ser facilmente extraído em forma de regras fuzzy.

Os GA's também determinam o número de regras da base de conhecimento do controlador neural fuzzy em questão. Sendo assim, a definição das funções de pertinência para os atos do robô, constituem-se em um método mais do que conveniente para utilização dos sistemas nebulosos de forma automática.

A rede neural fuzzy utilizada para tais sistemas, é baseada em um conjunto de proposições (fatos) e regras fuzzy. As etapas da trajetória do robô serão executadas por neurônios especializados do tipo min-max. O GA utilizado para esta construção é do tipo elitista e manipula um cromossomo de formato inteiro ou real.

Os resultados obtidos com experimentos feitos com robôs móveis "neurofuzzy", mostram que, mesmo com alvos (lugar onde deseja-se que o robô chegue) postos em vários lugares diferentes do ambiente, o controlador do sistema, foi capaz de atingi-los sem colidir com qualquer obstáculo que estivesse no seu caminho [14]. Esta parte da revisão concentra o foco da atenção em um sistema de inferência fuzzy, diretamente ligado ao reconhecimento de imagem. Não faz parte do escopo desta tese o posicionamento fuzzy do sensor óptico no local preciso para a "melhor" coleta de imagem. Esta questão, no entanto, constitui interesse desse autor no desenvolvimento futuro de um projeto de automação de uma estufa robótica. Neste caso as redes neurais fuzzy, seriam a técnica de Inteligência Artificial explorada, para aproveitar a abordagem fuzzy aqui apresentada. Por isso esse item foi adicionado na tese. Não se pode deixar de mencionar que, para o final da tese, terá um tópico de trabalhos futuros para ideias posteriores. No próximo item das referências bibliográficas vem demonstrando conceitos de Lógica fuzzy para serem definidas algumas pendências conceituais.

2.4 – Lógica Fuzzy

Toda linguagem é vaga.

Toda lógica tradicional habitualmente assume que símbolos precisos estão sendo empregados. Portanto, não é aplicável à vida terrestre mas somente a uma imaginária existência celestial.

Não se imagina como tudo é vago até que se tenta fazê-lo de maneira precisa.

Bertrand Russel

Fig. 12 – Frase sobre lógica de Bertrand Arthur William Russell, 3º Conde Russell (18 de Maio de 1872 - 2 de Fevereiro de 1970), britânico, foi um dos

mais influentes matemáticos, filósofos e lógicos que viveram (em grande parte) no século XX. [15]

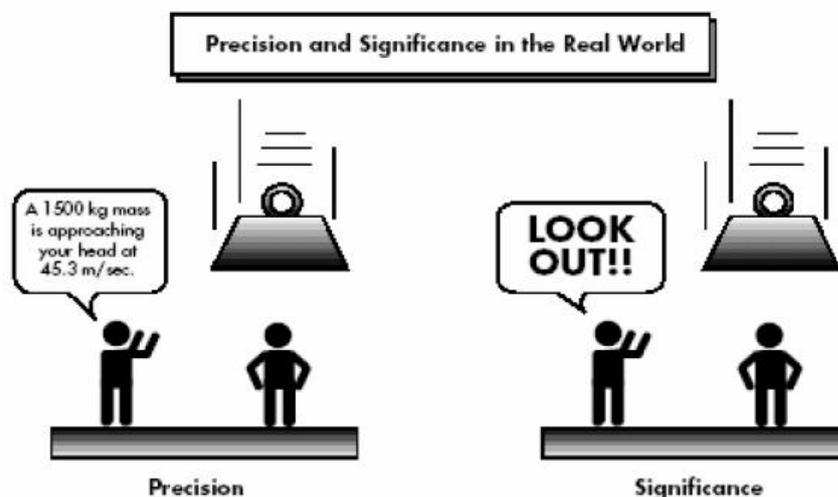


Fig. 13 - Precisão e significância no mundo real. Fonte: [16]

A lógica difusa ou lógica fuzzy é uma extensão da lógica booleana que admite valores lógicos intermediários entre o FALSO (0) e o VERDADEIRO (1); por exemplo, o valor médio 'TALVEZ' (0,5). Isto significa que um valor lógico difuso é um valor qualquer no intervalo de valores entre 0 e 1. Este tipo de lógica engloba de certa forma conceitos estatísticos principalmente na área de Inferência. Veja como exemplo a figura 12, como demonstra as sábias palavras de Bertrand Russell.

As implementações da lógica fuzzy permitem que estados indeterminados possam ser tratados por dispositivos de controle. Desse modo, é possível avaliar conceitos não quantificáveis através de variáveis linguísticas. Casos práticos: avaliar a temperatura (*quente, morno, médio, etc...*), o sentimento de felicidade (*radiante, feliz, apático, triste...*), a veracidade de um argumento (*corretíssimo, correto, contra-argumentativo, incoerente, falso, totalmente errôneo, etc...*). Veja como exemplo a figura 13.

A lógica fuzzy deve ser vista mais como uma área de pesquisa sobre tratamento da incerteza, ou uma família de modelos matemáticos dedicados ao tratamento da incerteza, do que uma *lógica* propriamente dita. A lógica fuzzy normalmente está associada ao uso da teoria de conjuntos fuzzy proposto por Lukasiewicz. Veja como exemplo a figura 14.

Ao trabalhar com a lógica fuzzy é comum chamar a lógica booleana de lógica nítida.

Muitos pesquisadores de versões booleanas de lógica não aceitam a lógica fuzzy como uma verdadeira lógica, no sentido em que aceitam, por exemplo, a lógica modal. Isso pode ser associado a diferentes fatos, entre eles o fato de muitos modelos permitirem soluções aproximadas que não correspondem a uma "verdade" lógica. [16]

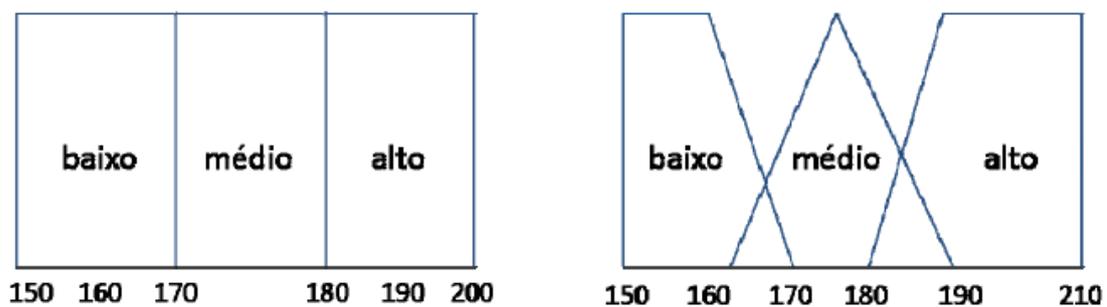


Fig. 14 - A representação na forma de conjuntos da altura de uma pessoa, sob o ponto de vista da lógica convencional (crisp) (à esquerda) e do da lógica Fuzzy (à direita). Fonte: [16]

2.4.1 - Noções Básicas

Na lógica proposicional, a cada proposição p associamos um entre dois valores possíveis: verdadeiro ou falso. É comum que sejam escolhidos valores numéricos como 1 para representar o verdadeiro e 0 para representar o falso.

Um modelo fuzzy simples é construído associando-se um valor $\mu(p)$ a uma proposição p , indicando o grau de veracidade dessa proposição, sendo que $\mu(x)$ é uma função (arbitrária) cujo conjunto imagem está entre 0 e 1 (ou 0% e 100%). Se exige pouco dessa funcional: caso p seja verdade, deve estar associado ao valor 100%, caso p seja falso deve ser associado ao valor 0%. Dessa forma, a lógica estende a lógica booleana, pois ao invés de permitir só dois valores (1 e 0) permite uma gama infinita de valores.

[17]

Da mesma forma que são estendidos os valores possíveis das proposições, também devem ser estendidos os operadores, como NÃO, E e OU. Porém, ao estender esses operadores, devemos manter certas propriedades, entre elas a compatibilidade com a versão booleana da lógica. Assim, um operador NÃO-fuzzy, ao ser aplicado sobre o valor de uma proposição fuzzy que seja 0 ou 1, deve devolver o mesmo valor que um operador NÃO retornaria na lógica booleana.

Existem uma ampla gama de funções que podem ser utilizadas como NÃO-fuzzy, E-fuzzy e OU-fuzzy, tendo sido aplicadas a vários sistemas, porém as que contém mais propriedades desejáveis e que simultaneamente são bastante fáceis de utilizar são:

- NÃO-fuzzy(x) = $1 - x$
- E-fuzzy(x,y) = Mínimo(x,y)
- OU-fuzzy(x,y) = Máximo(x,y)

Utilizando esse modelo, podemos construir o seguinte exemplo:

Suponha que desejássemos representar de forma fuzzy a altura de Alice (1,65 m), João (1,75 m), Carlos(2,0m) e Denise(1,45 m). Nossas proposições serão da forma "X é alto", e serão:

- A = Alice é alta, $\mu(A)=0.55$
- B = João é alto, $\mu(B)=0.75$
- C = Carlos é alto, $\mu(C) = 1$
- D = Denise é alta, $\mu(D) = 0$

Usando os operadores acima descritos, podemos escrever sentenças como:

- Carlos não é alto, $N\tilde{A}O(C)$, $\mu(N\tilde{A}O(C))=1-\mu(C)=0$
- João não é alto, $N\tilde{A}O(B)$, $\mu(N\tilde{A}O(B))=1-\mu(B)=0.25$
- Denise é alta e Alice é Alta, D e A, $\mu(D e A)=\text{mínimo}(\mu(D),\mu(A))=0$

A lógica está claramente associada à teoria dos conjuntos. Cada afirmação (do tipo "Carlos é alto") representa na verdade o grau de pertinência de Carlos ao conjunto de pessoas altas. Isso permite que conjuntos como "alto" e "baixo" sejam tratados de forma separadas e afirmações como "Carlos é alto 0.75" e "Carlos é baixo 0.50" sejam válidas simultaneamente, ao contrário do que seria esperado em um modelo nítido (Crisp). Esse tipo de afirmação é facilmente encontrado na descrição, por humanos, na forma como entendem certo conceito, e a lógica fuzzy é uma ótima forma de tratar essa forma de incerteza.

2.4.2 - Inferência Fuzzy

Fazer uma inferência fuzzy significa aplicar regras do tipo SE X ENTÃO Y de forma que X e Y, e a própria sentença, sejam noções fuzzy.

Dessa forma, se torna mais fácil interpretar matematicamente e implementar sistemas a partir do conhecimento humano, como em: SE A TEMPERATURA É ALTA E A PRESSÃO É ALTA ENTÃO O FLUXO DE COMBUSTÍVEL DEVE SER PEQUENO.

É importante notar que no caso acima, é uma versão de uso corrente da lógica fuzzy, a regra é igual a uma regra nítida que seria usada em um sistema especialista. Porém, os conjuntos (ALTO, MÉDIO e BAIXO para temperatura, por exemplo) permitem graus de pertinência, onde uma temperatura pode ter algum grau em todos os conjuntos, enquanto em um sistema nítido, apenas um valor seria possível. [18]

Assim, em sistemas fuzzy, com um conjunto de regras, várias regras aparentemente contraditórias são válidas simultaneamente, possuindo ainda um grau de validade. A solução final é obtida por meio da agregação dos resultados por meio de alguma operação matemática, como o cálculo do centro de massa da resposta obtida.

No caso da inferência, para cada conjunto de operações básicas NÃO, E e OU escolhidos, são possíveis várias versões da implicação. Isso porque, na lógica nítida, $A \rightarrow B$ (A implica B) é equivalente a várias sentenças.

Outra forma de inferência fuzzy é aplicar regras como o modus ponens e modus tollens. Isso permite várias variações. Em uma delas, sabendo que "A implica B" de forma nítida, e tendo apenas um valor fuzzy de A, é possível calcular o valor de B.

2.4.3 - Conjuntos Fuzzy

Normalmente, o uso da lógica difusa está associado ao uso de conjuntos fuzzy (nebulosos).

Um conjunto nebuloso estende o conceito de conjunto permitindo que um elemento passe a ter um grau de pertinência variando entre 0 e 1, ao invés de pertencer ou não ao conjunto como na teoria de conjuntos tradicional.

Veja que o princípio é o mesmo aplicado à lógica fuzzy, onde o grau de veracidade pode passar a variar entre 0 e 1.

Para cada conjunto, então, é criada uma função de pertinência, que indica o grau de pertinência de seus elementos. Normalmente, essa função é criada de forma a representar algum conceito impreciso, como "ser alto".

2.4.4 - Raciocínio Fuzzy

O raciocínio fuzzy também conhecido como raciocínio aproximado e pode ser dividido em 5 etapas.

- Transformação das variáveis do problema em valores fuzzy, ou *fuzzificação*
- Aplicação dos operadores fuzzy
- Aplicação da implicação
- Combinação de todas as saídas fuzzy possíveis
- Transformação do resultado fuzzy em um resultado nítido, a *defuzzificação*.

No primeiro passo, para cada valor de entrada associamos uma função de pertinência, que permite obter o *grau de verdade* da proposição.

- Determinar o grau de pertinência de cada conjunto (proposição);
- Limitar o valor da entrada entre 0 e 1.

O segundo passo é aplicar os operadores fuzzy, assim como os operadores da lógica nítida. Os operadores usados na lógica fuzzy são *AND* e *OR*, conhecidos como operadores de relação. Na lógica fuzzy são utilizados para definir o grau mínimo e máximo de pertinência do conjunto.

O terceiro passo é aplicar o operador de implicação, usado para definir o peso no resultado e remodelar a função, ou seja, o terceiro consiste em criar a hipótese de implicação. Como no exemplo abaixo:

- Serviço é excelente OU atendimento é rápido ENTÃO pagamento é alto.

No quarto passo ocorre à combinação de todas as saídas em um único conjunto fuzzy, algo semelhante ao processo de união e intersecção, na teoria dos conjuntos Crisp.

O quinto e último passo no processo do raciocínio fuzzy, é a ‘defuzzyficação’ que consiste em retornar os valores, obter um valor numérico dentro da faixa estipulada pela lógica fuzzy.

Um exemplo simples que demonstra o processo de pertinência do raciocínio fuzzy seria. Se A é identificado como ‘o tomate está vermelho’ e B como ‘o tomate está maduro’, então se é verdade que ‘o tomate está vermelho’, é também verdade que ‘o tomate está maduro’. Essa seria um exemplo pensado na lógica tradicional onde:

- Fato: x é A;
- Regra: se x é A então y é B;
- Conclusão: y é B

Esta regra aplica um conceito aproximado. Porém se pensarmos desta forma: se nós temos a mesma regra de implicação se o tomate está vermelho, então ele está maduro e nós sabemos que o tomate está mais ou menos vermelho, então nós podemos inferir que o tomate está mais ou menos maduro. Ou seja:

- Fato: x é A' (quase A)
- Regra: se x é A então y é B
- Conclusão: y é B' (quase B)

Este conceito de fuzzyficação funciona da seguinte forma se A' está próximo de A (situação inicial) e B' está próximo de B (inicial). A , A' , B e B' fazem parte do conjunto universo, chegando assim ao paradigma do raciocínio fuzzyano, também chamado de *modus ponens* generalizado (Em lógica, Modus ponens (do Latim: modo de afirmar) é um dos modos dos silogismos condicionais). [19]

2.5 – Processamento de Imagens e Reconhecimento de Padrões

Processamento de imagem é qualquer forma de processamento de dados no qual a entrada e saída são imagens tais como fotografias ou quadros de vídeo. Ao contrário do tratamento de imagens, que se preocupa somente na manipulação de figuras para sua representação final, o processamento de imagens é um estágio para novos processamentos de dados tais como aprendizagem de máquina ou reconhecimento de padrões. A maioria das técnicas envolve o tratamento da imagem como um sinal bi-dimensional, no qual são aplicados padrões de processamento de sinal. Veja a figura 15. [20]

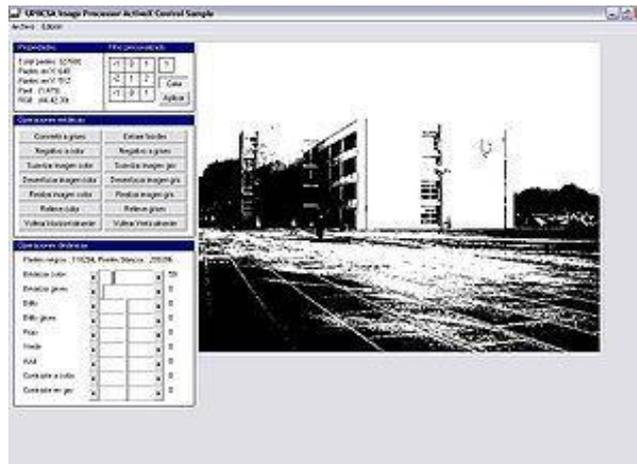


Fig. 15 – Imagem Binária. Fonte: [20]

2.5.1 - Métodos de Processamento

Algumas décadas atrás o processamento de imagem era feito majoritariamente de forma analógica, através de dispositivos ópticos. Apesar disso, devido ao grande aumento de velocidades dos computadores, tais técnicas foram gradualmente substituídas por métodos digitais.

O processamento digital de imagem é geralmente mais versátil, confiável e preciso, além de ser mais fácil de implementar que seus duais analógicos. Hardware especializado ainda é usado para o processamento digital de imagem, contando com arquiteturas de computador paralelas para tal, em sua maioria no processamento de vídeos. O processamento de imagens é, em sua maioria, feito por computadores pessoais. Na figura 16, um exemplo de reconhecimento de padrão de imagens em detecção de bordas.

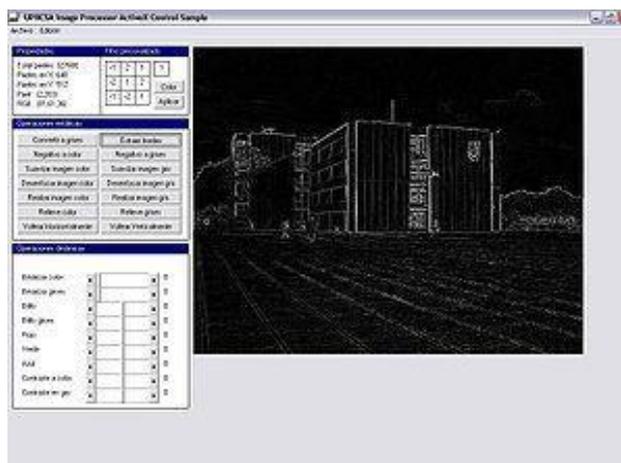


Fig. 16 – Detecção de Bordas. Fonte: [20]

2.5.2 - Técnicas Mais Utilizadas

A maioria dos conceitos de processamento de sinais que se aplicam a sinais unidimensionais também pode ser estendida para o processamento bidimensional de imagens. A transformada de Fourier é bastante usada nas operações de imagem envolvendo uma grande área de correlação.

2.5.2.1 - Técnicas Unidimensionais



Fig. 17 - Os canais de cor vermelha, verde e azul de uma fotografia por Sergei Mikhailovich Prokudin-Gorskii. A quarta imagem é uma composição. (Muito usada em lógica Fuzzy). Fonte: [20]

- Resolução de imagem;
- Limite dinâmico;
- Largura de banda;
- Filtro

Permite a redução de ruídos da imagem para que mais padrões possam ser encontrados.

- Operador diferencial;
- Histograma

Consiste na frequência de um tom específico (seja escala de cinza ou colorido) em uma imagem. Permite a obtenção de informações como o brilho e o contraste da imagem e sua distribuição.

- Detecção de borda;
- Redução de ruído.

2.5.2.2 - Técnicas Bidimensionais

- Conectividade

- Problemas típicos

* Transformações geométricas tais como escala, rotação e inclinação;

* Correção de cor como ajustes de brilho e contraste, limiarização ou conversão de espaço de cor;

* Combinação de imagens por média, diferença ou composição;

* Interpolação e recuperação de imagem de um formato bruto tal como o filtro Bayesiano;

* Segmentação de uma imagem em regiões;

* Edição de imagem e acabamento (retoque) digital.

Além de imagens bi-dimensionais estáticas, o campo também abrange o processamento de sinais variados pelo tempo tais como vídeos ou a saída de um equipamento de tomografia. Tais técnicas são especificadas somente para imagens binárias ou em escala de cinza.

2.5.2.3 – Aplicações e Conceitos Relacionados

- Fotografia e Impressão;
- Imagens de Satélite;
- Processamento de imagens médicas;
- Detecção de face ou de objeto;
- Biometria;
- Classificação;
- Extração de características;
- Projeção;
- Modelo escondido de Markov;
- **Reconhecimento de padrões;**
- **Rede neural;**
- **Lógica fuzzy.**

2.5.3 - Reconhecimento de Padrões

Reconhecimento de padrões é um sub-tópico da aprendizagem de máquina cujo objetivo é classificar informações (padrões) baseadas ou em conhecimento *a priori* ou em informações estatísticas extraídas dos padrões. Essa área de atuação é estudada por vários campos, tais como psicologia, etologia e ciência da computação.

Um sistema completo de reconhecimento de padrões consiste de um sensor que obtém observações a serem classificadas ou descritas; um mecanismo de extração de características que computa informações numéricas ou simbólicas das observações; e um esquema de classificação das observações, que depende das características extraídas.

O esquema de classificação é geralmente baseado na disponibilidade de um conjunto de padrões que foram anteriormente classificados, o "conjunto de treinamento"; o resultado do aprendizado é caracterizado como um aprendizado supervisionado. O aprendizado pode também ser não supervisionado, de forma que o sistema não recebe informações *a priori* dos padrões, estabelecendo então as classes dos padrões através de análise de padrões estatísticos.

Aplicações típicas do reconhecimento de padrões incluem reconhecimento de fala, classificação de documentos em categorias (por exemplo, mensagens de correio eletrônico que são *spam* ou não), reconhecimento de escrita, reconhecimento de faces e reconhecimento de cores. Os últimos três temas são tópicos do campo de processamento de imagens, que já foi citado e o último faz parte do núcleo da pesquisa de tese apresentada. [21]

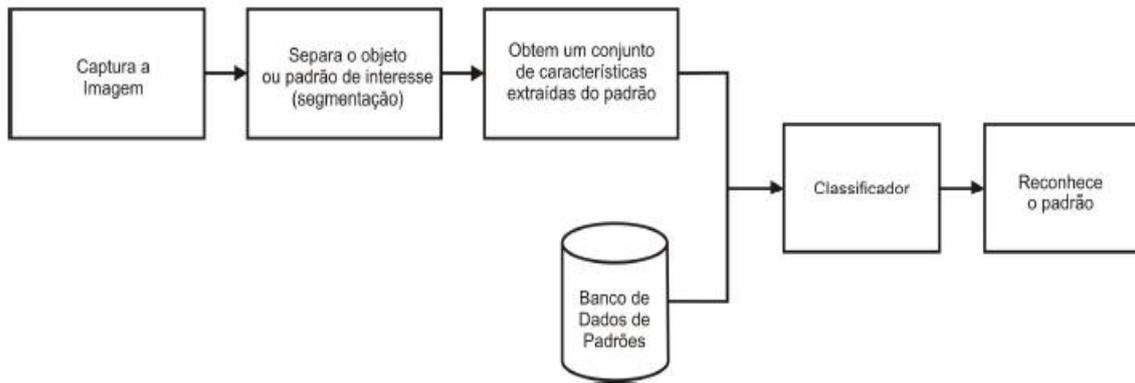


Fig. 18 – Etapas de um sistema de reconhecimento de padrões, que é muito parecida com a metodologia do sistema (de aprendizagem) que essa tese prioriza com a Lógica Fuzzy. Fonte: [21]

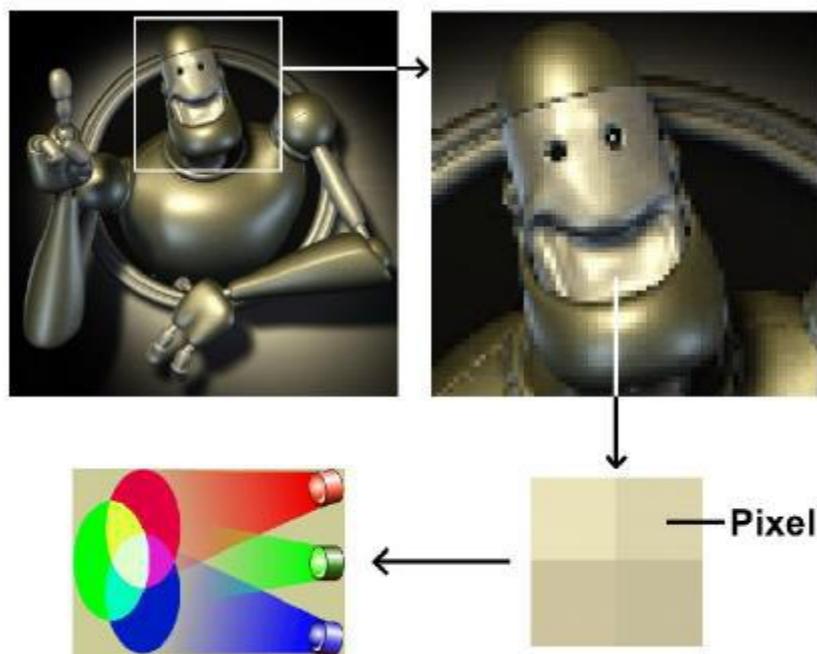


Fig. 19 - Em imagens coloridas têm-se 3 cores associada a cada *pixel* da imagem. Fonte: [22]

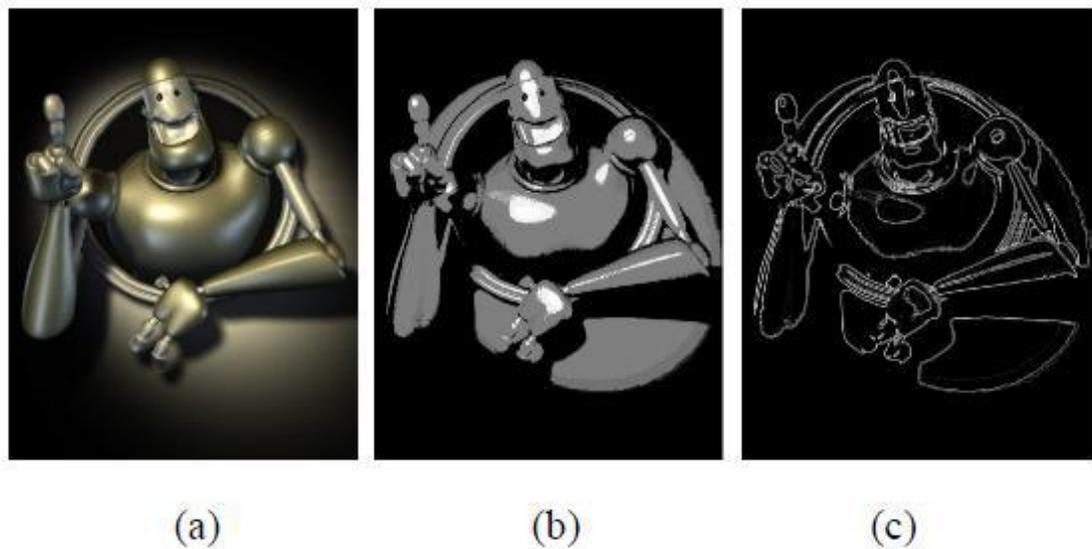


Fig. 20 - Imagem original (a) e sua segmentação baseada em semelhança de cores (b) e em fronteiras ou bordas (c). [22]

2.6 – Relatórios de Gestão e Disponibilização de resultados

Sistema de informação de gestão ou sistema de informações gerenciais (SIG; do inglês, *management information system—MIS*) é um sistema de informação, tipicamente baseado em computadores, utilizado no seio de uma organização [23]. A *WordNet* descreve um sistema de informação como "um sistema que consiste na rede de canais de comunicação numa organização". [24]

Um sistema de informação é composto por todos os componentes que recolhem, manipulam e disseminam dados ou informação. Incluem-se tipicamente *hardware*, *software*, pessoas, sistemas de comunicação como linhas telefônicas, e os dados propriamente ditos. As atividades envolvidas incluem a introdução de dados, processamento dos dados em informação, armazenamento de ambos, e a produção de resultados, como relatórios de gestão.



Fig. 22- Exemplo de um relatório, com gráficos estatísticos. Fonte: [25]

3. Artigos Relevantes e Trabalhos Anteriores

3.1 – Agregando Valor a Tese

A seguir, são comentados detalhadamente alguns trabalhos importantes da literatura, agregando valor a pesquisa de tese.

• *A Survey of Fuzzy Clustering Algorithms for Pattern Recognition—Part I*, de Andrea Baraldi and Palma Blonda, *Member, IEEE*. [26]

Agrupamentos de algoritmos visam uma modelagem fuzzy (ou seja, ambíguo) padrões não rotulados de forma eficiente. O objetivo do artigo é propor um quadro teórico onde o poder expressivo de agrupamento de sistemas pode ser comparado com base em um conjunto significativo de características funcionais comuns. Na Parte I deste artigo revisa o seguinte problema relacionado com as abordagens de agrupamento encontrados na literatura: relativa (probabilística) e absoluto (possibilístico) funções fuzzy de pertinência e suas relações com a regra de Bayes, quantidade de carga e força e aprendizagem on-line, sistemas de edição de protótipos, crescimento e redes de árvores, arquiteturas de rede modulares, mapeamento perfeito de topologia, redes ecológicas e imprecisão neural. Dessa discussão uma equivalência entre os conceitos de agrupamento fuzzy e aprendizagem suave competitiva em algoritmos de agrupamento é proposto como uma estrutura unificada em comparação ao sistema de agrupamento. Além disso, um conjunto de atributos funcionais é selecionado para ser utilizado como entradas de vocabulário na comparação de algoritmos de agrupamento, que é o assunto da parte II deste artigo.

- ***A Survey of Fuzzy Clustering Algorithms for Pattern Recognition—Part II***, de Andrea Baraldi and Palma Blonda, *Member, IEEE*. [27]

Na parte I de uma equivalência entre os conceitos de agrupamento fuzzy e aprendizagem suave competitiva em algoritmos de agrupamento são propostos com base na literatura existente. Além disso, um conjunto de atributos funcionais é selecionado para uso como entradas de vocabulário na comparação de algoritmos de agrupamento. Neste trabalho, cinco algoritmos de agrupamento retirados da literatura são revistos, avaliados e comparados com a base das propriedades selecionadas de interesse. Estes modelos de agrupamento são (1) mapa de auto-organização (SOM), (2) aprendizagem de quantização vetorial fuzzy (FLVQ), (3) Teoria da ressonância fuzzy adaptativa (ART fuzzy), (4) crescimento de gás neural (GNG); (5) teoria totalmente simplificada de auto-organização de ressonância adaptativa (FOSART). Embora a comparação teórica seja bastante simples, ele produz observações que podem parecer paradoxais. Primeiro, só FLVQ, ART fuzzy, e FOSART exploram conceitos derivados da teoria dos conjuntos fuzzy (por exemplo, relativos e / ou absolutas funções de pertinência fuzzy). Em segundo lugar, apenas SOM, FLVQ, GNG, e FOSART empregam suaves mecanismos de aprendizagem competitivas, que são afetados por maus comportamentos assintóticos no caso de FLVQ, ou seja, somente SOM, GNG, e FOSART são considerados algoritmos de agrupamento nebulosos (fuzzy) eficazes.

- ***A Fuzzy Neural Network and its Application to Pattern Recognition***, de Hon Keung Kwan, *Senior Member, IEEE* and Yaling Cai, *Student Member, IEEE*. [28]

Neste trabalho, definem-se quatro tipos de neurônios nebulosos (Fuzzy) e propõe a estrutura de uma camada fuzzy de quatro realimentações de rede neural (FNN) e seu

algoritmo de aprendizagem associado. O proposto FNN de quatro camadas tem um bom desempenho quando utilizado para reconhecer deslocadas e distorcidas padrões de imagem em construção. Quando o padrão de uma entrada é fornecida, a primeira rede torna este padrão em linguagem fuzzy e, em seguida, calcula as semelhanças entre este padrão para todas os padrões aprendidos. A rede então chega a uma conclusão, selecionando o padrão aprendido com a máxima semelhança e dá uma linguagem de saída análoga à existente em fuzzy. Os 26 alfabetos ingleses e os 10 algarismos arábicos, cada um representado por 16 x16 pixels, foram utilizados como formação originais de padrões. Nos experimentos de simulação, o exemplar original de 36 padrões foram deslocados em oito direções por 1 pixel (6,25 % para 8,84 %) e 2 pixels (12.5 % para 17,68 %). Após o FNN ter sido experimentado pelos padrões de 36 exemplares, o FNN “lembra” de todos os padrões aprendidos com 100 % de taxa de reconhecimento. Ele também pode reconhecer padrões que mudaram por 1 pixel em oito direções com 100% de taxa de reconhecimento de padrões e desviado por 2 pixels em oito direções com uma taxa de reconhecimento média de 92,01%. Após o FNN ser reconhecido por todos os 36 exemplos de padrões e 72 padrões deslocados, ele pode reconhecer padrões deslocados por 1 pixel com 100% de taxa de reconhecimento e padrões deslocados de 2 pixels, com uma média de reconhecimento de taxa de 98,61%. Também se testam o FNN com 10 tipos de padrões distorcidos para cada uma das 36 amostras. O FNN pode reconhecer todos os padrões distorcidos com taxa de reconhecimento de 100%. A proposta do FNN também pode ser adaptada para aplicação em alguns problemas de reconhecimento de outros padrões.

- *Uncertainty, fuzzy logic, and signal processing*, de Jerry M. Mendel. [29]

Esse artigo concentra-se na base de modelo estatístico de processamento de sinal e como alguns problemas que estão associados a esses modelos podem ser resolvidos usando a lógica fuzzy. Explica-se como a incerteza (que é predominante nas aplicações

estatísticas de processamento de sinais) pode ser tratada no âmbito da lógica fuzzy. Sistemas de lógica fuzzy (FLSs) Tipo-1 único e não único são revistos. Tipo-2 FLSs, que são relativamente novos, e são muito apropriados para problemas de processamento de sinal, porque eles podem lidar com incertezas linguísticas e numéricas, são revistos em alguns detalhes. A saída de um tipo-2 FLS é um conjunto fuzzy do tipo-2. Utilizando uma nova operação chamada tipo-redução (*type-reduction*), o conjunto tipo-2 pode ser reduzido a um conjunto do tipo-1 – o conjunto tipo-reduzido (*The type-reduced set*) que desempenha o papel de um intervalo de confiança para as incertezas linguísticas. Sem tal resultado pode ser obtido para uma FLS tipo-1. Demonstra-se, por meio de exemplos, que um FLS tipo-2 pode superar um FLS do tipo-1 para uma previsão da etapa de uma série caótica de tempo Mackey - Glass cujas medidas são corrompidos por ruído aditivo, e equalização de um canal de tempo de variação-não linear. (2000 Elsevier Science BV).

• ***Fuzzy Systems in Instrumentation: Fuzzy Signal Processing***, de Fabrizio Russo. [30]

Processamento digital de informação sensorial desempenha um papel chave no modelo de instrumentação inteligente: este artigo mostra como a tecnologia rapidamente emergente de sistemas fuzzy pode ser aplicada a certo número de tarefas no processamento de sinal que vão desde fusão de dados de pré-processamento e classificação. Neste quadro, o mais recente desenvolvimento introduzido na família baseada em regras de operadores fuzzy são propostos e aplicados para a filtragem de medição de ruídos 1-D e 2-D, os dados de medição são apresentados. A aplicação de sistemas fuzzy para classificação de dados é investigada na segunda parte do artigo. Para este propósito, uma estrutura de rede fuzzy e um método de aprendizagem são apresentados e são capazes de adquirir as necessárias informações de uma coleção de dados de medição.

- ***Automatic generation of rules for a fuzzy robotic controller***, de G. Castellano, G. Attolico, E. Stella, A. Distante. [31]

Lógica Fuzzy é uma ferramenta útil para a realização de um mapeamento direto entre situações de percepção e comandos de controle em aplicações de robótica que não requerem representação interna ou planejamento. Ela permite programação explícita e aprendizagem automática de formação adequada de dados a serem misturados de diversas maneiras, a fim de produzir as regras de controle necessárias. A aprendizagem automática permite tanto a redução do importuno e o trabalho de programa explícito de erro (ErrorProne) e da evolução do tempo do controlador, a fim de lidar com a dinâmica das mudanças ambientais. A qualquer momento um perito pode verificar e modificar, eventualmente, o conhecimento do sistema fuzzy de acordo com a sua experiência pessoal. Dois métodos para a extração automática de regras a partir de dados de treinamento foram aprovados em um sistema fuzzy de controle para possível obstáculo seguinte. O sistema destina-se a crescer, incluindo todos os comportamentos requeridos para a navegação segura de um veículo móvel autônomo e sua arbitragem. Medidas de distâncias fornecidas por um anel de sensor ultrasônico foram escolhidas como dados sensoriais. Os dados de treinamento foram coletados durante as corridas do operador-piloto do veículo. Os mesmos dados foram utilizados pelos dois métodos para a construção de regras básicas que foram efetivamente aprovadas na condução de um AGV real em um ambiente interno.

- ***The uses of fuzzy logic in autonomous robot navigation***, de A. Saffiotti. [32]

O desenvolvimento de técnicas para navegação autônoma em ambientes do mundo real constitui uma das principais tendências em pesquisa atual sobre robótica. Um importante problema de navegação autônoma é a necessidade de lidar com a

grande quantidade de incerteza que é inerente ao meio ambiente. A lógica fuzzy tem características que o tornam um instrumento adequado para resolver este problema. Neste artigo, analisa-se alguns dos usos possíveis de lógica fuzzy no campo da navegação autônoma. Concentra-se em quatro questões: como design robusto comportamental de produtores de módulos; como coordenar a atividade de vários módulos, tais, como usar os dados dos sensores, e como integrar com alto nível de raciocínio e baixo nível de execução. Para cada questão, rever e analisar algumas propostas na literatura, e discutir os prós e os contras de soluções de lógica fuzzy.

● ***A Novel Approach to Robot Control Using Fuzzy Logic***, de Ashok Nedungadi e Dennis J.Wenzel.[33]

O modelo de cinemática inversa de controladores convencionais do robô é vital para o funcionamento do controlador, desde que proporcione a transformação entre os comandos das trajetórias cartesianas especificadas pelo usuário para deslocamentos entre os conjuntos de pontos definidos. Infelizmente, as equações cinemática inversa constituem um conjunto equações acopladas e altamente não-lineares. Devido à complexidade computacional destas equações, é comum para o processador *host controller* dedicar em até 80% de seus recursos resolvendo as equações de cinemática inversa. Isto impõe considerável limitação sobre o desempenho do robô. No seguinte trabalho, apresenta-se um controlador de robô com a ferramenta lógica fuzzy que não necessita de equações de cinemática inversa para controlar o mesmo.

• ***Detecção de Faces Humanas em Imagens Digitais: Um Algoritmo Baseado em Lógica Nebulosa (Fuzzy)***, de Andréia Vieira do Nascimento e Adilson Gonzaga. [34]

O presente trabalho tem como objetivo desenvolver uma metodologia baseada no padrão Fuzzy para detectar rostos humanos em imagens digitais. Considerando que “as pessoas são facilmente capazes de reconhecer rostos humanos”, Este estudo prevê a investigação da informação relativa a este reconhecimento usando os resultados adquiridos, em um esquema “Fuzzy”, para a identificação de rostos humanos em imagens digitais. É proposto um algoritmo que classifica automaticamente ou não, as regiões de uma imagem em rostos humanos. É baseado nas informações adquiridas de pessoas por meio de uma pesquisa de campo onde as respostas são armazenadas numericamente para a criação da classificação Fuzzy. Desenhos chamados de “Desenho de Linha” foram criados para representar rostos humanos e foram apresentados para as pessoas entrevistadas com a intenção de construir informações para a criação das regras Fuzzy. Depois disso, o algoritmo foi capaz de identificar rostos humanos em imagens digitalizadas.

• ***Biogenic Production of Sulfides in Water-Oil Samples and Its Correlation With the Deterioration of Storage Tanks***, de Cortás, L.C.; Carreira, M. V.; Costa, A.C.A. [35]

Produção de H_2S é um dos principais problemas na indústria do petróleo e uma das principais causas de corrosão em tanques de armazenamento. As espécies microbianas encontradas em tanques e meio ambientes marinhos/óleo incluem as Bactérias Gerais Anaeróbicas Heterotróficas (BGAH) e a Bactéria Redutora de Sulfato (BRS). Esta pesquisa implementa um método baseado na produção semi-contínua de sulfeto, durante 15 dias, em uma tentativa de fazer correlações entre produção de sulfeto e quantificação microbiana. Observando as condições mais adequadas para a produção biogênica de sulfeto indicou que um aumento da salinidade e temperatura produziu uma

diminuição significativa na produção semi-contínua biogênica de sulfeto. Diluição do meio de cultura promoveu uma diminuição no crescimento celular e produção de sulfetos. A quantificação da BRS e da BGAH foi avaliada usando a técnica do NMP (Número Mais Provável) de acordo com os regulamentos da FDA (Food and Drug Administration). A utilização deste procedimento contribuiu para o aumento do coeficiente de confiabilidade usada nos dados de quantificação.

• ***A Novel Approach to Detect Sulphate-Reducing Bacteria – Main Contributor of Microbiologically Influenced Corrosion***, de Earn Tzeh Tan e Zaini Abdul Halim. [36]

Bactéria Redutora de Sulfato é um microorganismo anaeróbico que por um bom tempo tem sido identificado como uma das principais contribuintes para o problema de corrosão de encanamentos e tubos experimentados para as indústrias de água, petróleo e gás. O problema de corrosão causa bilhões de dólares em danos a cada ano e podem levar à deterioração da qualidade do óleo e da água no gasoduto corroído. Atualmente, existem alguns kits e técnicas disponíveis no mercado alvo para detecção precoce da BRS. No entanto, esses métodos de detecção têm alguns inconvenientes cruciais, como o longo período de detecção ou dificuldades para realizar o teste de campo. Assim, este artigo propõe um rápido, preciso e portátil sistema eletrônico básico incorporado para detectar a presença de BRS. Experimento preliminar foi conduzido no laboratório para avaliar a função e a capacidade do sistema. Baseado nas observações, a proposta técnica provou-se ser capaz de identificar a presença de BRS em uma amostra apresentada dentro de 1(uma) hora. Além disso, o sistema também inclui a funcionalidade de dados para ajudar os usuários a monitorar o crescimento da BRS de vez em quando para reduzir os danos causados pela corrosão.

- ***Fuzzy Sensor for the Perception Color***, de Eric Benoit; Laurent Foulloy; Sylvie Galichet; Gilles Mauris. [37]

O objetivo deste trabalho é propor um novo método para a criação de uma partição difusa em espaços multidimensionais. Este método é aplicado para criar simbólicos sensores difusos que utilizam medidas de multicomponentes. Sensoriamento de Cor é uma percepção interessante para aplicar esse método. Na verdade, os homens têm bom controle sobre seus sentidos, porém não podem explicá-lo simplesmente. Então, o sensor de cor difuso pode aprender a percepção humana da cor e não precisa de informações explícitas sobre os mecanismos de percepção de cor.

- ***Dynamic Color Object Recognition Using Fuzzy Logic***, de Napoleon H. Reyes e Elmer P. Dadios. [38]

Este trabalho apresenta um novo Algoritmo de Constância de Logit-Logística de cor Difusa (ACLLCD) e suas variantes para dinâmica de reconhecimento de objeto colorido. Ao contrário do existente Algoritmo de Constância de cor, o regime proposto centra-se na manipulação de um *locus* de cor representando as cores de um objeto, e não, estabilizando a aparência da imagem inteira por si. Neste trabalho, um novo conjunto de operadores adaptáveis por manipulação de contraste é introduzido e utilizado em conjunto com um sistema de inferência fuzzy. Além disso, uma nova perspectiva na extração de relatores de cor em um espaço do objeto de cromaticidade -rg é apresentado. Tais relatores de cor permitem a redução dos efeitos de brilho/escurecimento e ao mesmo tempo aderem a percepção humana de cores. O esquema proposto corta tremendamente o tempo de processamento simultâneo para compensar os efeitos de uma infinidade de fatores que corrigem a cena de passagem, eliminando a necessidade de etapas para pré-processamento de imagem. Resultados de experimentos atestam a sua robustez em cenas com várias

fontes de luz branca, diferentes intensidades de iluminação espacialmente, variando a posição do objeto e a presença de destaques.

• ***Bactéria Redutora de Sulfato: Bioprocessos e Medidas de Controle***, de Erisvaldo Bitencourt de Jesus. [39]

As bactérias do ciclo do enxofre, em particular as redutoras de sulfato (BRS), são de enorme importância do ponto de vista industrial e ambiental. Embora esses microorganismos sejam reconhecidos como os causadores da geração de gás sulfídrico nos reservatórios de petróleo, suas potencialidades podem ser utilizadas no tratamento de diversos efluentes. Este trabalho apresenta um levantamento das patentes existentes de bioprocessos envolvendo as Bactérias Redutoras de Sulfato com o intuito de avaliar as potencialidades de sua utilização e os mecanismos existentes para o seu controle. O número de patentes depositadas com o tema tem crescido nos últimos anos e este aumento ocorre, predominantemente, em função de pesquisas realizadas por empresas Norte-Americanas. Convém mencionar que o Brasil não possui nenhuma patente depositada com o tema pesquisado.

• ***Aplicando Lógica Fuzzy no Controle de Robôs Móveis Usando Dispositivos Lógicos Programáveis e a Linguagem VHDL***, de Maycon Mariano Nogueira. [40]

A proposta deste trabalho consiste no desenvolvimento de um sistema de navegação de um robô móvel autônomo utilizando-se de técnicas da lógica *fuzzy*, aqui desenvolvida na linguagem de descrição de hardware, VHDL, e a sua implementação em uma placa DE2 do fabricante Altera, usando o software de desenvolvimento, Quartus II, do mesmo fabricante. O objetivo do sistema de navegação proposto é o de que o protótipo do robô caminhe sem colidir em nenhum obstáculo (ande para frente, para esquerda, para

direita e pare) usando para comunicação externa com o ambiente, três sensores de distância localizados um em cada lado do robô e um na frente, atuando através dessas informações em dois motores de passo. Os resultados desta implementação obtidos em simulação são satisfatórios e foram comparados aos resultados obtidos como o mesmo processo no MATLAB.

● ***Corrosão: Colunas de Perfuração de Poços de Petróleo***, Jéssica Souza Moura, Mickael D. F. da Silva, Pedro Paulo O. P. de Miranda, Thainara P. S. Ferro, Jaceguai S. da Silva e Givanildo S. da Silva. [41]

As colunas de perfuração são equipamentos extremamente importantes na área de exploração de petróleo, seja em poços OnShore (perfuração em Terra) como em poços OffShore (perfuração em mar). Porém como todo material fabricado de metal, aço, alumínio e seus derivados com o passar do tempo e com a exposição ao meio em que está exposto, apresentam característica da corrosão, que nada mais é do que um processo químico que causa a destruição total ou parcial de determinado material causado pela ação do meio. A corrosão é um processo químico muito comum na área petrolífera, pois o petróleo bruto não é extremamente puro quando retirado do poço. O petróleo é constituído basicamente de hidrocarbonetos, mas existem outros constituintes em sua composição natural como o enxofre, nitrogênio, oxigênio, metais e sais que são minerais que levam as colunas de perfuração a uma possibilidade maior de exposição para a corrosão.

● ***Estudo de Sequestrantes de H_2S para Sistemas de Produção de Óleo e Gás***, Vanessa Moura de Souza. [42]

O H_2S é um gás tóxico, incolor e de odor desagradável que está presente nas correntes produzidas em campos de petróleo e gás. A sua redução ou remoção são frequentemente requeridas devido a questões de segurança, meio-ambiente e integridade

estrutural. Existem diversos métodos de remoção de H_2S presente em corrente multifásica e monofásica. O presente trabalho terá enfoque em produtos químicos, conhecidos como sequestrantes de H_2S , que são injetados diretamente nas linhas de produção de petróleo e gás. Foram estudadas diferentes metodologias para avaliação da eficiência desses produtos em meio aquoso, tendo sido constatada uma grande dificuldade, que é seleção de uma técnica analítica adequada para determinação do teor de sulfeto diretamente na solução em que se adiciona o sequestrante. A primeira alternativa considerada tem sido o uso da titulação potenciométrica com nitrato de prata. Entretanto, foram identificadas uma série de limitações desse método que serão discutidas no presente trabalho. Duas novas metodologias são propostas e os resultados obtidos foram bastante satisfatórios. Uma delas se baseia nos ensaios de tração com baixa taxa de deformação, sendo possível avaliar o efeito do sequestrante sobre o comportamento mecânico dos materiais em meios corrosivos contendo H_2S . A outra técnica proposta se baseia nos ensaios de permeação de hidrogênio desenvolvidos por Devanathan et. al. (1962), explorando-se o efeito que o H_2S provoca na corrente de permeação.

● ***Microbiologia do Petróleo: Acidulação Biogênica de um Campo de Produção***, Diogo Grosso de Souza [43]

Pesquisas e relatórios dos últimos 90 anos têm demonstrado que reservatórios de petróleo contêm diversas comunidades microbiológicas ativas, que influenciam na qualidade e quantidade de petróleo que pode ser recuperado. A atividade microbiológica pode acarretar graves impactos econômicos no processo de exploração e produção do óleo bruto, aliado com a escassa quantidade de material técnico acerca da ecologia microbiana e seus processos aplicados no ramo petrolífero, acaba-se por gerar um pré-conceito relativo ao tema, limitando seu possível potencial benéfico. Esta monografia busca discutir as teorias relacionadas às bactérias redutoras de sulfato (BRS), principal

fonte produtora de gás sulfídrico em poços de produção de petróleo, descrevendo os tipos de bactérias redutoras de sulfato encontrados em reservatórios, suas peculiaridades, modelos de geração de H_2S , e por final mostrar a vantagem do uso da recuperação química biogênica para o setor. Por meio de teorias acerca das bactérias redutoras de sulfato, contato com especialistas e conhecimentos adquiridos em estágio, busca-se mostrar no presente trabalho a importância do tema da microbiologia no ramo de exploração e produção de petróleo, demonstrando assim seu potencial inovador, apresentando-se como uma oportunidade de investimento de uma nova tecnologia na área de produção e recuperação de óleo.

● **O Sulfeto de Hidrogênio (H_2S) e o Meio Ambiente**, Fernando B. Mainier e Eliana Delaidi Monteiro Viola. [44]

O sulfeto de hidrogênio (H_2S) é um gás incolor, de cheiro desagradável característico que devido a sua toxidez é capaz de irritar os olhos e/ou atuar no sistema nervoso e respiratório podendo matar, de acordo com a concentração, um ser humano em questão de minutos. Ocorrências de H_2S podem ser encontradas nas jazidas de petróleo e gás natural, na extração de sal (cloreto de sódio), nas águas subterrâneas, em esgotos sanitários, etc. Nos segmentos industriais o H_2S é oriundo de processos de remoção de gases ácidos, de tratamento de efluentes, de fermentações, etc. A literatura e a mídia têm mostrado que os vazamentos deste gás resultam em mortes ou podem ocasionar lesões irreparáveis nos seres humanos e no meio ambiente, servindo educacionalmente para alertar a necessidade de normas e procedimentos para inibir e/ou impedir tais vazamentos. Apresentar um quadro representativo do ataque deste gás tóxico aos seres humanos e identificar sistemas de detecção e de monitoramento deste gás em ambientes industriais. Finalmente, este trabalho visa mostrar a importância do conhecimento da origem e das

propriedades físico-químicas do sulfeto de hidrogênio nas relações, diretas e indiretas, com o homem, o meio ambiente e os equipamentos industriais.

● ***Análise da Metodologia de Cálculo do Preço Mínimo das Correntes de Petróleo no Brasil***, Jeferson de Souza Cunha. [45]

A produção de hidrocarbonetos no Brasil cresce em acelerado ritmo, o que conseqüentemente leva a um montante maior de Participações Governamentais (PG). Por isso, diante do cenário atual de desenvolvimento das atividades de exploração e produção, os valores arrecadados com as participações governamentais constituem cada vez mais uma considerável parcela das receitas da União, dos Estados e Municípios beneficiários. Considerando a alíquota de cobrança, a produção é valorada a partir da determinação de um preço de referência. Para este valor utiliza-se uma média ponderada dos preços de venda do petróleo ou o preço mínimo do petróleo, aplicando-se o que for maior. O cálculo do preço mínimo é definido através da Portaria ANP nº 206/2000, a qual estabelece os tipos de petróleo no Brasil, denominados correntes. Para cada uma destas correntes é realizada a análise dos pontos de ebulição verdadeiros, conhecida como curva PEV, definindo as frações leves, médias e pesadas existentes em cada tipo de Petróleo. A partir das frações, o petróleo de uma corrente é valorado utilizando cotações internacionais do mercado financeiro. Portanto, sendo o preço mínimo do petróleo um dos alicerces para o cálculo dos royalties, o presente trabalho se propõe a analisar a metodologia de cálculo apresentada pela Portaria ANP nº 206/2000, levantando questionamentos e avaliando possíveis pontos de melhoria na valoração do petróleo.

• *Avaliação da Biogênese de Sulfeto Sob Diferentes Concentrações de Bactérias Redutoras de Nitrato, Bactérias redutoras de Sulfato e Nitrato*, Kally Alves de Sousa. [46]

Neste trabalho avaliou-se o efeito da aplicação de nitrato na redução da produção biogênica de sulfeto sob diferentes concentrações iniciais de bactérias redutoras de nitrato (BRN) e sulfato (BRS) em meio constituído de água produzida. Para tanto, empregaram-se um consórcio enriquecido de BRS isolado de campo de petróleo offshore e uma cultura pura de BRN (*Halomonas halodenitrificans*). Em ensaios preliminares, realizados com o intuito de se testar a sensibilidade do consórcio enriquecido de BRS e da cultura de BRN aos constituintes da água produzida, verificou-se que a água produzida, mesmo sem diluição, permitiu o crescimento de BRS e BRN. Um planejamento experimental completo 2k com três pontos centrais verificou a influência das concentrações de BRS, BRN e nitrato na produção de sulfeto de hidrogênio. Os ensaios foram conduzidos a 30°C, em meio constituído de água produzida (MAP) suplementada com sais essenciais e ácidos orgânicos de cadeia curta como fonte de carbono na seguinte concentração: ácido láctico (60,8 g/L), ácido propiônico (50,0 g/L) e ácido butírico (44,6 g/L), sendo a produção de sulfeto medida no 7º, 14º e 28º dia de incubação. O planejamento experimental estabeleceu que as melhores condições para mitigação de sulfeto foram aquelas relacionadas aos pontos centrais, ou seja, concentrações iniciais de BRS e BRN de 104 NMP/mL e concentração inicial de nitrato de 427,5 mg/L em tempo inferior a 14 dias de processo. Esta condição foi reproduzida em um sistema agitado, constituído de um biorreator anaeróbio de volume útil de 1,1 L, operado em bateladas de 10 dias com meio MAP a 30°C e 250 rpm sob diferentes condições. Os dados obtidos no sistema agitado confirmaram as constatações encontradas nos ensaios estáticos do planejamento experimental, ou seja, a ocorrência de uma relação direta entre as concentrações iniciais

de micro-organismos e do íon nitrato disponível, seu modo de aplicação e tempo de permanência no sistema. Verificou-se que na presença de BRS e BRN e mediante aplicação única ou intermitente de 427,5 mg/L de nitrato, caso o sistema a ser tratado esteja sujeito à ocorrência de espécies de BRS que utilizem o nitrato como acceptor final de elétrons, a aplicação de nitrato pode apenas inibir a redução de sulfato e não a atividade das BRS, ocorrendo o aumento da produção de sulfeto após o esgotamento da fonte de nitrato. Os ensaios agitados comprovaram também a intensificação das taxas de corrosão em sistemas com uso intermitente de nitrato para mitigação de souring. Taxas de corrosão nos ensaios sem nitrato foram de 0,09 mm/ano, enquanto nos sistemas com nitrato foram de 0,38 mm/ano.

3.1.1 – Relevância dos Artigos na Tese

A leitura e a compreensão destes artigos acrescentaram e aperfeiçoaram a base desta Tese, mostrando estudos comprovados que auxiliaram nas pesquisas de robótica, BRS e reconhecimento de padrão com lógica fuzzy. Observa-se também, várias e diferentes técnicas de solucionar problemas em posicionamento de robôs e distorção de imagens, envolvendo diversos tipos de configurações.

As simulações dos modelos matemáticos dos artigos foram de grande importância para a visualização da solução proposta por cada autor na apresentação de seus trabalhos. Cada literatura pesquisada contribuiu com assuntos necessários para a realização desta Tese.

4. Análise de Local de Perfuração de Poços e Economicidade dos Poços

O mais importante quando se procura o local adequado para perfurar o poço, obviamente em uma bacia sedimentar, é comprovar que naquela região já existiu um sistema petrolífero, ou existe um sistema petrolífero. E como comprova-se um sistema petrolífero? O mais comum é através de Exsudação (Ação de suar, transpirar. Na área do petróleo OffShore, significa vazamento de pequenas bolhas de óleo ou gás por fenda no leito marinho), achando alguma feição no terreno seja OnShore ou OffShore, que comprove que ali já houve exsudação ou algum afloramento de uma rocha que já vem impregnada com óleo, mesmo que oxidado. Sabendo que a taxa de sucesso mundial de perfuração é de apenas 20%, ou seja, a cada 5 poços perfurados somente 1 é comercial, porque ou o poço é seco, não se encontra óleo ou ele é subcomercial, pois o volume não é suficiente. O grau °API influencia se a reserva encontrada, ou o fluido encontrado é comercial ou não. O fluido sendo comercial é menos viscoso, pois a extração do óleo é mais fácil. Quanto maior o Grau °API, mais leve e menos viscoso é o óleo, porque se o óleo é muito viscoso acontece deposição de parafina, acarretando perda de carga na produção por entupimentos, aumenta a pressão que se necessita no reservatório para fazer chegar na superfície, isso tem como consequência a redução da vazão do poço e obviamente afeta a economicidade do poço, afetando o fluxo de caixa dizendo se o poço é subcomercial ou não. No final do dia tudo gira em torno do “Dinheiro”. Como se sabia que tinha óleo no Pré-sal? A resposta é: pelo fato de que, em cima do sal, já existia os grandes campos de petróleo, o óleo veio de uma rocha geradora. Como a rocha geradora não estava perto dos campos, a única possibilidade era de que a mesma está abaixo da camada de sal. Então a chance de ter óleo debaixo do sal era imensa.

Se tiver que perfurar um poço em área virgem por um processo de tentativa e erro, a tendência é não perfurar, principalmente OffShore, pois um poço custa hoje entre 60 e 120 milhões de dólares. Fonte: Professor Paulo Couto, Dr.Eng. (LRAP – Laboratório de Recuperação Avançada de Petróleo (UFRJ).

5. Descrição do Atual Processo Mecânico de Análise da Amostra de Óleo

Antes de começarmos a descrever o atual processo mecânico, é muito importante definirmos o tema principal dessa tese que trata da **análise de amostras para viabilização da exploração e produção econômica de poços de petróleo offshore**, trabalhando com um Sistema Fuzzy para inferir a concentração de BRS em suporte ao processo de análise de amostras. Basicamente o principal setor de pesquisa da tese é a produção do petróleo, pois explora-se a análise da concentração de BRS nas amostras dos poços que estão em prospecção. A definição do problema se dar através de vários procedimentos serem mecânicos, então ao usar a automação, aumenta a velocidade da análise para uma tendência de concentração de BRS e conseqüentemente aumenta a confiabilidade em tempo real, gerando dados continuamente e gerando também relatórios parciais e finais para todos os envolvidos no projeto.

No item seguinte é muito importante demonstrar as condições de “captura” dessas bactérias que são trazidas em amostras. Que ambiente elas se encontram e sobrevivem, como: Salinidade e Temperatura.

5.1. Salinidade e Temperatura

Há diversos poços sendo analisados no mundo e no Brasil para a prospecção e extração do petróleo, porém nem todos são “vistos” como potenciais para terem seus recursos explorados para a extração e produção do óleo, pois a qualidade do petróleo é muito importante para essa tomada de decisão. E como é muito custoso para a perfuração e exploração do poço, essas análises e medidas têm que ser muito bem pesquisada.

Existem diversos tipos de salinidade nos poços sejam eles OnShore ou OffShore. Por exemplo a salinidade do pré-sal que tem 120%, porém essa tese vai focar na hipótese da salinidade de 40%, pois a ideia é trabalhar com a água do mar. E em relação a

temperatura, ela é inversamente proporcional com a qualidade do petróleo, pois quanto maior a temperatura do petróleo a qualidade dele diminui. [45]

Em projetos futuros, continuando o trabalho como um Pós-Doc, a pesquisa será mais aprofundada, analisando outras salinidades, temperaturas e características, pois com diferentes salinidades e temperaturas, podemos obter diferentes informações sobre os inputs (4 entradas) e outputs (coloração de saída). [46]

5.2. Como funciona o processo hoje

O processo hoje é feito de uma maneira basicamente mecânica, as amostras são enviadas e etiquetadas para identificação de cada poço. Com a chegada das amostras no laboratório de análise, elas são incubadas (com nutrientes) nos frascos e colocadas dentro de estufas para serem analisadas. Suas disposições são feitas em fileiras de 3, 4 ou 5 linhas dependendo da organização da prateleira. Trabalhando com a hipótese de fileiras com 3 linhas, o frasco ao lado tem que ser um frasco de solução para a diluição. Fazendo essas diluições espera-se o crescimento das Bactérias Redutoras de Sulfato em um período de 28 dias. Esse processo é moroso, demorado e sujeito a falhas humanas e ainda precisa de um profissional qualificado para analisar as colorações das amostras. Existem empresas que tentam diminuir esse tempo de análise das amostras dando resultados entre 10 e 15 dias, porém é muito arriscado para classificar as condições de um poço em tão pouco tempo e com poucas informações, além disso essas informações não são precisas, porque a tabela da técnica de NMP (Número Mais Provável) contém uma incerteza de medição associada de quantificação das bactérias [35], e além disso a análise das cores são feitas a olho nu (pelo ser humano), então a estufa robótica do projeto vem para diminuir o tempo de análise das amostras, ou seja, dando uma tendência sobre a concentração de BRS pelo fato de aumentar a precisão de análise das cores pela ferramenta lógica fuzzy no

reconhecimento de imagem. A automação se insere no processo para liberar o técnico de observar as amostras por 28 dias e também para fazer esse controle remotamente.

5.2.1. Amostras de BRS de Poços

A seguir temos algumas fotos tiradas na UERJ (Universidade do Estado do Rio de Janeiro), das amostras de BRS de poços com salinidade da água do mar (40%).





Fig. 23: Amostras de BRS (**Fonte:** Autor)

Na Figura a seguir temos a tabela de NMP (Número Mais Provável) para concentração de BRS (Bactéria Redutora de Sulfato), usada para estimar e quantificar aproximadamente o número de BRS que existe nas amostras. Porém como essa quantificação não é precisa, porque a incerteza associada é muito grande, a análise sugerida no projeto de pesquisa será qualitativa (análise de cor). Mas será utilizada a técnica até a última fileira para diluições (lembrando que ela é um dos quatro *inputs*) e análise da coloração. Apesar da incerteza associada ao método de análise NMP, ele é muito utilizado. [35]

Tabelas de NMP

Tabela 1. Número Mais Provável por grama ou mL, para séries de 3 tubos com inóculos de 0,1, 0,01 e 0,001 g ou mL e respectivos intervalos de confiança 95%.

Número de Tubos Positivos			NMP/g ou mL	Intervalo Confiança (95%)	
0,1	0,01	0,001		Inferior	Superior
0	0	0	<3,0	--	9,5
0	0	1	3,0	0,15	9,6
0	1	0	3,0	0,15	11
0	1	1	6,1	1,2	18
0	2	0	6,2	1,2	18
0	3	0	9,4	3,6	38
1	0	0	3,6	0,17	18
1	0	1	7,2	1,3	18
1	0	2	11	3,6	38
1	1	0	7,4	1,3	20
1	1	1	11	3,6	38
1	2	0	11	3,6	42
1	2	1	15	4,5	42
1	3	0	16	4,5	42
2	0	0	9,2	1,4	38
2	0	1	14	3,6	42
2	0	2	20	4,5	42
2	1	0	15	3,7	42
2	1	1	20	4,5	42
2	1	2	27	8,7	94
2	2	0	21	4,5	42
2	2	1	28	8,7	94
2	2	2	35	8,7	94
2	3	0	29	8,7	94
2	3	1	36	8,7	94
3	0	0	23	4,6	94
3	0	1	38	8,7	110
3	0	2	64	17	180
3	1	0	43	9	180
3	1	1	75	17	200
3	1	2	120	37	420
3	1	3	160	40	420
3	2	0	93	18	420
3	2	1	150	37	420
3	2	2	210	40	430
3	2	3	290	90	1000
3	3	0	240	42	1000
3	3	1	460	90	2000
3	3	2	1100	180	4100
3	3	3	>1100	420	--

Fonte: Bacteriological Analytical Manual Online, 2001.

OBS: Para obter o NMP/g ou mL, para séries de 3 tubos, com inóculos de 1,0, 0,1 e 0,01 g ou mL, e respectivos intervalos de confiança 95%, dividir por 10 os valores da Tabela 1 correspondente ao arranjo de tubos positivos obtido na análise.

Fig 24: Exemplo de tabela de NMP

Fonte: Bacteriological Analytical Manual Online, 2001 [47]

6. Sistema de Inferência Fuzzy (FIS) para o Reconhecimento de Imagem

6.1. Inferência Fuzzy

A inferência fuzzy é um processo de avaliação de entradas com o objetivo de, através das regras previamente definidas e das entradas, obter conclusões utilizando-se a teoria de conjuntos fuzzy. Esse processo pode ser feito através de modelos de inferência, cuja escolha deve levar em consideração o tipo de problema a ser resolvido, obtendo-se assim um melhor processamento. Existem vários métodos de inferência, mas o que geralmente é mais utilizado é o método Mamdani, que será apresentado na subseção 6.1.1

6.1.1. Inferência fuzzy (difusa): Estilo Mamdani

O estilo de inferência Mamdani foi criado pelo professor Ebrahim Mamdani da Universidade de Londres (Reino Unido) em 1975 no contexto do desenvolvimento de sistemas fuzzy baseando-se em regras de conjuntos fuzzy no intuito de representar experiências da vida real. Para a construção desse sistema, foi definido um processo de raciocínio dividido em quatro passos: (1) fuzzyficação, (2) avaliação das regras fuzzy, (3) agregação das regras fuzzy e (4) defuzzyficação, cada uma delas explicadas sucintamente nas subseções a seguir. Para ilustrar cada uma das etapas, considere a análise de riscos em um projeto. Nesse domínio, identificam-se três variáveis linguísticas (as duas primeiras de entrada e a última de saída), apresentadas na tabela 1, bem como seus respectivos valores. Então, precisa-se estabelecer, sendo conhecidos um valor x de recurso monetário para o projeto e um número y de funcionários para trabalhar no mesmo, qual o risco z desse projeto.

Fundos do Projeto (x)	
Valor linguístico	Notação
Inadequado	A1
Razoável	A2
Adequado	A3

Funcionários do Projeto (y)	
Valor linguístico	Notação
Pequeno	B1
Grande	B2

Risco do Projeto (z)	
Valor linguístico	Notação
Baixo	C1
Normal	C2
Alto	C3

Tabela 1. Variáveis e valores linguísticos na análise de riscos de um projeto.

6.1.2. Fuzzyficação

Essa etapa obtém o grau de pertinência com que cada entrada pertence a cada conjunto fuzzy. Cada uma dessas entradas foi previamente limitada no universo de discurso em questão e associada a um grau de pertinência em cada conjunto fuzzy através do conhecimento do especialista. Então para obter o grau de pertinência de uma determinada entrada crisp basta buscar esse valor na base de conhecimento do sistema fuzzy. Para o exemplo em questão, tem-se os conjuntos fuzzy e graus de pertinência para cada uma das variáveis de entrada, conforme mostrado na figura 25:

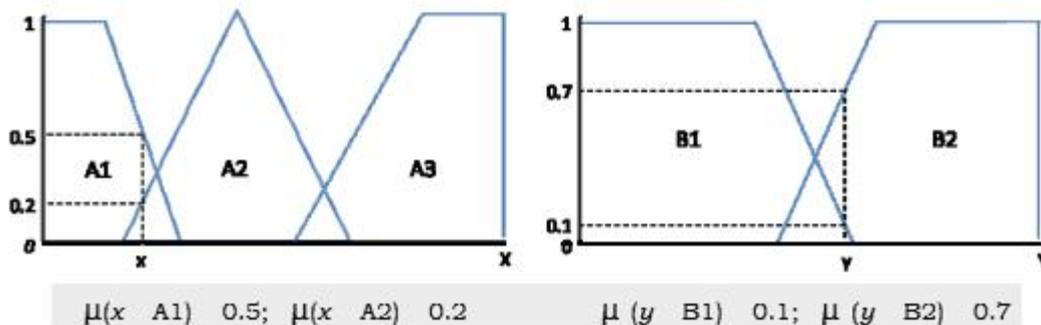


Fig.25 - Fuzzyficação das variáveis linguísticas de entrada x e y, resultando nos seus respectivos conjuntos fuzzy e graus de pertinência.

6.1.3. Avaliação das regras fuzzy

Depois de obter as entradas fuzzyficadas é só aplicá-las nos antecedentes obtendo assim o valor do conseqüente para cada regra. Para um antecedente composto, os operadores **e** e **ou** são utilizados para obter um único resultado; no caso do operador **ou** é utilizada a operação de união (pega o maior grau de pertinência), e, no caso do operador **e**, é utilizada a de interseção (pega o menor grau de pertinência). Depois de obter um único valor para o antecedente é necessário obter o valor do conseqüente através de um método de correlação dos mesmos. O método mais comum é conhecido como *clipped*, onde o conseqüente é “cortado” para o nível de valor verdade do antecedente da regra avaliada, ou seja, o valor obtido é simplesmente passado para o conseqüente dessa regra.

Por exemplo, com base nos graus de pertinência e nas correlações entre as variáveis linguísticas, têm-se as regras

1: IF (x is A3 (0) or y is B1 (0.1)) THEN (z is C1 (0.1))

2: IF (x is A2 (0.2) and y is B2 (0.7)) THEN (z is C2 (0.2))

3: IF (x is A1 (0.5)) THEN (z is C3 (0.5))

É importante notar que, na regra 1, com a operação ou (or), tem-se que o grau de pertinência de z é 0.1, o maior entre os graus de x e de y; de forma similar, com a operação e (and) na regra 2, o grau de pertinência de z é 0.2, o menor dentre os graus de x e y. Na regra 3 foi aplicado o *clipped*: como tem-se apenas um valor na variável linguística de entrada que consta no antecedente (no caso, x), então o mesmo é passado para a variável linguística de saída que consta no conseqüente (no caso, z).

6.1.4. Agregação das regras fuzzy

Como o nome sugere, nessa etapa são agregadas todas as funções membro dos consequentes de cada regra em um único conjunto fuzzy. Para o exemplo em questão, considerando os conjuntos fuzzy para a variável z e respectivos graus de pertinência, produzidos pela aplicação das regras fuzzy 1, 2 e 3 (figura 26) a agregação desses conjuntos resulta no conjunto fuzzy da figura 27.

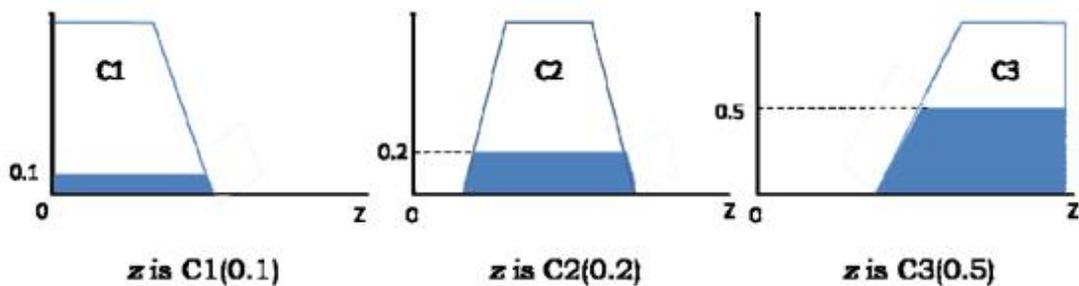


Fig. 26 - Conjuntos fuzzy e graus de pertinência da variável linguística de saída z e respectivos graus de pertinência, produzidos pela aplicação das regras fuzzy 1, 2 e 3.

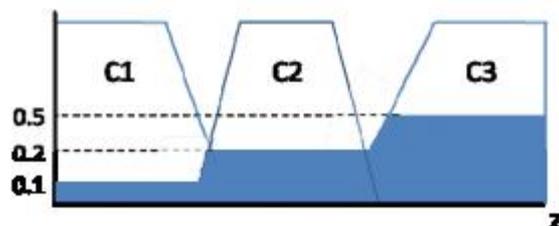


Fig. 27 - Conjunto fuzzy resultante do processo de agregação das regras fuzzy 1, 2 e 3

6.1.5. Defuzzyficação

Para se obter uma saída numérica é necessário defuzzyficar a saída obtida na etapa anterior. O método de defuzzyficação mais comum é a técnica do centróide, que obtém o ponto onde uma linha vertical divide ao meio um conjunto agregado. A fórmula matemática que obtém esse ponto é expressa da seguinte forma abaixo. A precisão do método depende do intervalo escolhido, quanto maior mais impreciso, porém mais rápido de calcular.

$$COG = \frac{\sum_{x=a}^b \mu(x) \cdot x}{\sum_{x=a}^b \mu(x)} \quad (6.1)$$

Considerando o conjunto fuzzy da figura 27, o resultado numérico obtido com a aplicação da técnica do centróide (COG) é dado por (considerando intervalos percentuais de 10%, variando de 0% a 100%):

$$COG = \frac{(0+10+20) \cdot 0.1 + (30+40+50) \cdot 0.2 + (60+70+80+90+100) \cdot 0.5}{0.1+0.1+0.1+0.2+0.2+0.2+0.5+0.5+0.5} = 67.4$$

Assim, tem-se que o risco do projeto em questão é de 67.4%. [48]

6.2. Sistema de Inferência referente ao projeto de pesquisa da tese

As informações dos *inputs* (entradas) e *outputs* (saídas) que estarão representadas nos próximos parágrafos, serão definidos de acordo com os poços analisados, pois as entradas e as saídas dependem diretamente das características de cada poço.

O sistema de inferência fuzzy para o reconhecimento de imagem terá variáveis de Entradas e de Saídas: As variáveis de Entradas são o grau °API; A diluição do óleo com nutrientes; O teor de Enxofre no petróleo e o PH do gás sulfídrico no meio. Já as variáveis de Saídas são as cores das amostras, pois dadas as cores das saídas podemos identificar a concentração de BRS, sabendo que a mesma é diretamente proporcional a geração de H_2S .

A coloração das amostras ficará em uma faixa de pertinência fuzzy com basicamente 4 cores: Preta, Cinza, “Transparente”² e Rosa, cores estas padronizadas no setor de análises de amostra do petróleo. A cor preta indicará uma grande (positivo) concentração

² A rigor transparente não é cor, porém para os objetivos dessa tese, em particular para a modelagem fuzzy de sua representação, transparente será considerada uma cor dentro do espaço fuzzy de representação dessa variável. Porque com o mínimo de concentração positiva de BRS do óleo, essa concentração deposita-se no inferior da amostra como uma saturação e fica incolor.

de BRS; a cor cinza indicará uma média (ainda positivo, porém uma concentração menor) concentração de BRS, a cor transparente indicará uma pequena (ainda positivo, porém mínima) concentração de BRS e a cor rosa indicará “mesmo inoculado”³, a não (negativo) concentração de BRS.

Com a ferramenta fuzzy e um banco de dados armazenando essas informações, a precisão dos termos linguísticos determinará a aprendizagem do robô autômato, fazendo com que o mesmo durante o processo de identificação visual tire a foto das amostras em análises e conseqüentemente gerem relatórios e gráficos estatísticos para os envolvidos no projeto.

Um conjunto a seguir de regras simples, mapeia esse comportamento da Saída:

Se coloração é preta $\rightarrow \exists$ grande concentração de BRS

Se coloração é Cinza $\rightarrow \exists$ média concentração de BRS

Se coloração é Transparente $\rightarrow \exists$ pequena concentração de BRS

Se coloração é Rosa $\rightarrow \nexists$ concentração de BRS

Depois de construídos os gráficos Fuzzy que modelam essas cores, existem pelo menos 3 métodos mais conhecidos de defuzzificação: Min-Max; Max-Min e Centróide.

Nossa ideia é adotar aquele que se compatibilize melhor com a pesquisa. A priori o método do Centróide parece ser mais apropriado. Então, o método do Centro de massas será utilizado no projeto para chegarmos nas melhores tomadas de decisões.

³ Aqui é conveniente uma explicação: A coloração rosa é a cor característica típica da existência de somente nutrientes no frasco. Qualquer inoculação de óleo contendo BRS altera essa coloração. Inoculações de óleos sem a presença de BRS não alteram a coloração rosa dos nutrientes.

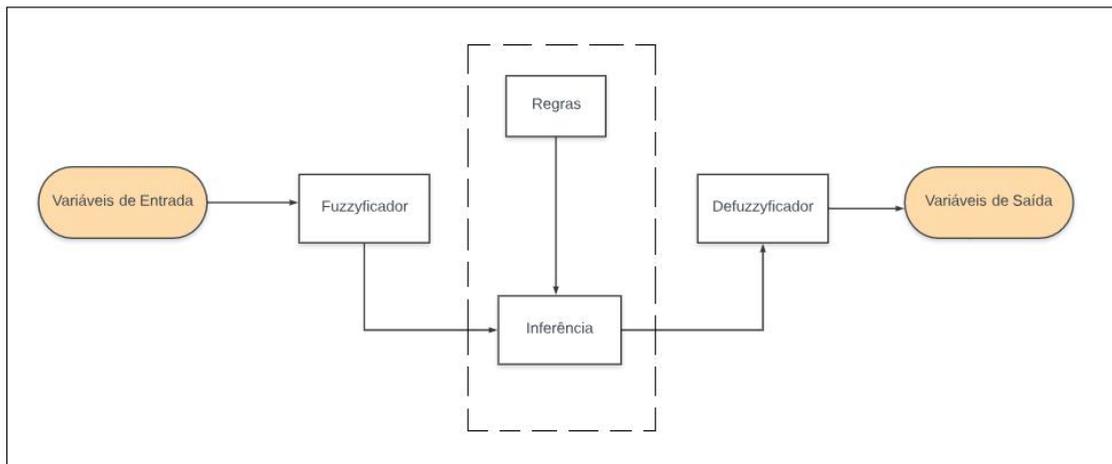


Fig. 28 – Sistema de Fuzzyficação e Defuzzyficação

*** Regra If -Then (Se então)**

Um especialista ou analista pode seguir os seguintes critérios como **Entradas (Inputs)**:

1ª Entrada – grau °API → Leves ($\text{grau } ^\circ\text{API} > 30$); Médios ($22 < \text{grau } ^\circ\text{API} \leq 30$); Pesados ($10 < \text{grau } ^\circ\text{API} \leq 22$); Extra Pesados ($\text{grau } ^\circ\text{API} \leq 10$).

• Conceitos

O Grau °API (em inglês, API Gravity) é uma escala arbitrária que mede a densidade dos líquidos derivados do petróleo. Foi criada pelo American Petroleum Institute - API, juntamente com a National Bureau of Standards e utilizada para medir a densidade relativa de líquidos. Quanto mais densidade o óleo tiver, menor será seu grau API.

• Formulação

É obtido pela fórmula:

$$^\circ\text{API} = (141,5 \div \text{densidade da amostra}) - 131,5$$

em que a densidade é medida relativamente à densidade da água

A densidade, portanto, pode ser obtida por:

$$\rho = \frac{141.5}{^{\circ}\text{API} + 131.5} \quad (6.2)$$

Obs: 60°F correspondem a 15,55...°C

Grau API do American Petroleum Institute (°API)

Forma de expressar a densidade relativa de um óleo ou derivado. A escala API, medida em graus, varia inversamente à densidade relativa, isto é, quanto maior a densidade relativa, menor o grau API. O grau API é maior quando o petróleo é mais leve. Petróleos com grau API maior que 30 são considerados leves; entre 22 e 30 graus API, são médios; abaixo de 22 graus API, são pesados; com grau API igual ou inferior a 10, são petróleos extrapesados.

Quanto maior o grau API, maior o valor do petróleo (produto) no mercado.

O petróleo encontrado pela Petrobrás no campo petrolífero de Tupi (bacia de Santos) em Novembro de 2007 foi testado e classificado como 28° API, ao contrário do que é frequentemente dito é do tipo médio e não leve. Um dos motivos para a sua divulgação como leve é a comparação com a média da densidade do petróleo nacional. Com isso, quanto maior o Grau API, menores serão as concentrações de BRS nas amostras. [49]

2ª Entrada – Diluição → Muito Baixa (10^{-1} ml); Baixa (10^{-2} ml); Moderada (10^{-3} ml); Alta (10^{-4} ml).

Normalmente para quantificação de Bactérias Redutoras de Sulfatos é realizada a contagem de número mais provável (NMP). Para tal, é realizada a técnica das diluições sucessivas, mas como a tese não está focada na quantidade e sim na qualidade da coloração, esses procedimentos foram mantidos até a diluição de 10^{-4} , porque quanto maior o número de diluições, menores serão as concentrações de BRS nas amostras. [50]

3ª Entrada – Teor de Enxofre (TE) → Muito Doce ($TE < 0,45\%$); Doce ($0,45 \leq TE < 0,50$); Ácido (Azedo) ($0,50 \leq TE < 0,55$); Muito Ácido (Muito Azedo) ($TE > 0,55$).

Particularmente, os contaminantes que contém enxofre causam problemas no manuseio, transporte e uso dos derivados que estão presentes.

a) manuseio - redução de eficiência dos catalisadores nas refinarias; catalisadores são agentes facilitadores que transformam frações mais pesadas em outras mais leves através de quebras de moléculas dos compostos reagentes.

b) transporte - corrosão em oleodutos e gasodutos;

c) derivados - causam poluição ambiental se presentes em combustíveis derivados do petróleo.

De acordo com o teor de enxofre o óleo é classificado em:

- Petróleos Doces: Teor de Enxofre $< 0,5\%$ em massa.
- Petróleos Ácidos: Teor de Enxofre $> 0,5\%$ em massa.

Com isso, quanto menor for o teor de enxofre, menores serão as concentrações de BRS nas amostras. [51]

4ª Entrada – PH do H_2S (no meio) → Muito Básico ($PH_{H_2S} > 10$); Básico ($7 < PH_{H_2S} \leq 10$); Ácido ($4 < PH_{H_2S} < 7$); Muito Ácido ($PH_{H_2S} \leq 4$).

Em sistemas aquosos, o PH terá um papel importante na quantidade de H_2S que será liberado do líquido em adição a seus fatores. Em PH básico a maior parte do H_2S estará sob a forma de íons sulfeto ou hidrosulfeto. Sob essas formas o sistema não apresentará problemas de segurança ou odor. Entretanto, quando essa água é descartada ela pode entrar em contato com águas mais ácidas, que irão diminuir o PH e provocar a formação de sulfeto de hidrogênio. Assim, cuidados devem ser tomados sempre no tratamento de águas sulfuradas. **A forma estável do H_2S depende do PH do meio.** Para um PH menor que 7, e fração total de sulfetos igual a 1 íon g/l, a forma predominante é o

H_2S , para um PH acima de 7 há uma predominância dos íons HS^- , já para valores altos de pH a forma estável é o S^{2-} . Com isso, quanto maior for o PH do H_2S no meio, menores serão as concentrações de BRS nas amostras. [42]

Os resultados de pesquisa indicam alta correlação entre as variáveis Enxofre, Número de Acidez Total (NAT), Viscosidade e °API. À medida que aumenta o teor de enxofre na amostra, também aumenta o teor do NAT e viscosidade. Pode-se concluir também que o teor de enxofre nas amostras afeta diretamente os valores da viscosidade e do número de acidez total (NAT). Isto demonstra a importância do monitoramento destas propriedades no petróleo, para entender melhor os efeitos destas correlações, que possibilitará prever ações mitigadoras para reduzir os teores de enxofre, a níveis aceitáveis, evitando danos ao processo de refino. [52]

Saídas (Outputs):

Cores → Preta ($75\% < (C_{BRS}) \leq 100\%$); Cinza ($50\% < (C_{BRS}) \leq 75\%$); Transparente ($25\% < (C_{BRS}) \leq 50\%$) - Positivos; Rosa ($0\% < (C_{BRS}) \leq 25\%$) - Negativo.

Observação: Concentração de BRS → (C_{BRS})

Saídas:

Um conjunto a seguir de regras simples, mapeia esse comportamento:

Se coloração é preta → \exists grande concentração de BRS (Positivo)

Se coloração é Cinza → \exists média concentração de BRS (Positivo)

Se coloração é Transparente → \exists pequena concentração de BRS (Positivo)

Se coloração é Rosa → \nexists concentração de BRS (Negativo)

Construindo as regras, uma hipótese pode ser dada por:

Se o grau °API é leve e a diluição é alta e o Teor de Enxofre é Doce e o PH do H_2S no meio é muito básico, então a cor é Rosa ($0\% < (C_{BRS}) \leq 25\%$, Negativo) ... Pela quantidade de entradas teremos 256 regras listadas e armazenadas no banco de dados da

estufa robótica para aprendizagem e consequentemente análise das cores de saída e sua concentração de BRS.

Esses valores *Crisps* de referências nos *Inputs* (Entradas) e nos *Outputs* (Saídas) são tabelados por especialistas e analistas, porém pode-se tratar como *fuzzy*, pois seria impreciso dizer que perto dos limites de cada entrada ou saída, a situação nomeada estaria correta, mesmo porque existem valores diferentes em outras bibliografias, mas é claro que próximo desses tabelados, então coloca-se uma faixa de pertinência fuzzy para se obter uma precisão melhor nas decisões. Como por exemplo um texto retirado de um trabalho referenciado na bibliografia que diz: “A classificação do petróleo como leve ou pesado é uma questão bastante discutida e variável ... A divisão entre petróleo leve e pesado é variável porque a dinâmica do mundo do petróleo proporciona sempre novas tecnologias e os altos preços permitem investimentos que por hora não eram viáveis. Não existe um consenso sobre a divisão entre leve e pesado, mas o American Petroleum Institute, como idealizador da grandeza grau API propõe uma classificação mais aceita e respeitada ao redor do mundo...”. [45]

E isso pode ser visto nas demais entradas (Diluição; Teor de Enxofre e Ph do H_2S no meio) e saída (Coloração) da tese, com isso a ferramenta lógica fuzzy pode ser utilizada perfeitamente.

6.2.1. Eficácia da Aplicação de Biocidas

O tratamento para concentrações grandes de BRS se dão através da injeção de Biocidas e será dosada de acordo com a pré-análise feita da amostra, caso a concentração de BRS for muito acima o biocida será injetado.

Durante a produção de petróleo, se o biocida é um forte agente oxidante como o cloro, este é adicionado na água de injeção continuamente. Caso contrário, sendo assim um

agente não-oxidante (mais utilizado na indústria petrolífera), estes são adicionados intermitentemente (AUGUSTINOVIC et al., 2012) como no gráfico da figura 29 a seguir:

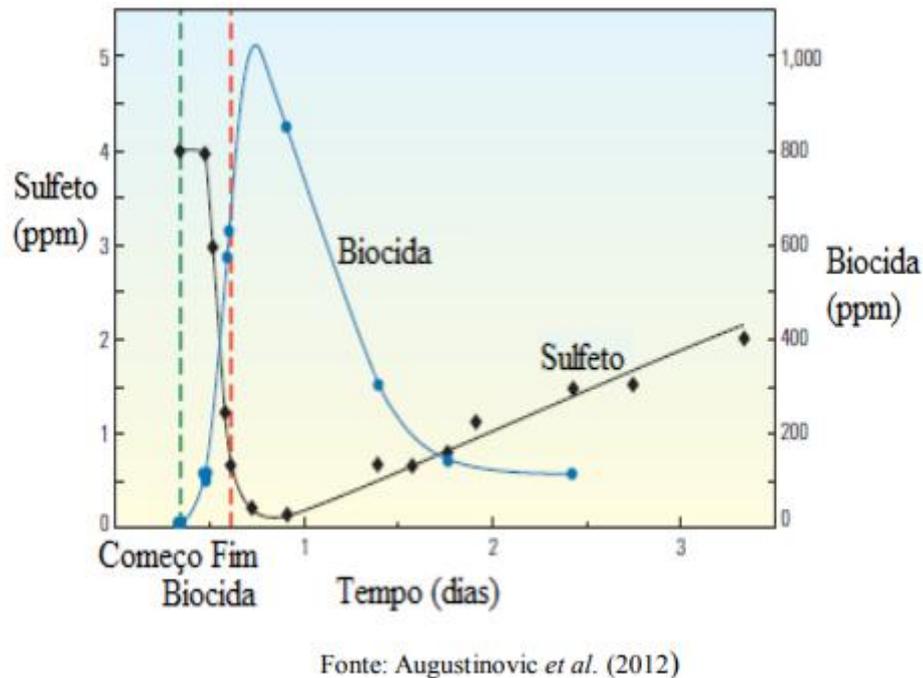


Fig. 29 – Resultado esperado na aplicação de Biocida

A eficácia da aplicação dos biocidas é bastante discutida, pois na maioria dos casos a aplicação química não fornece resultado ou produz efeitos abaixo do estimado. Segundo Augustinovic et al. (2012), a cada aplicação de biocida uma parte da população bacteriana é morta, mas as bactérias sobreviventes se recuperam entre os períodos de aplicação do produto. Assim, temos a visualização de um cenário de *souring* (acidificação, azedamento) e uma estratégia proposta de controle pela ação de biocidas, que no final não produz os resultados esperados pelo não controle da comunidade bacteriana. Além do exposto, recentes estudos demonstraram que biocidas podem não ser tão efetivos no controle da população microbiana como se pensava. Estes podem apenas danificar ou inibir, mas não "matar" como de fato se almeja as bactérias em questão (CAMPBELL et

al., 2011). Uma análise mais genérica dos resultados da aplicação de biocidas revela resultados instáveis e casuais. Além disso, Apesar dos tratamentos com biocidas serem efetivos no combate ao MIC (Magnitude da Corrosão Microbiológica), no setor de exploração e produção de óleo bruto ainda existem relatórios de danos em equipamentos. Com as investigações desses incidentes temos a revelação que o resultado pela aplicação de biocidas muitas vezes é pontual, subjetiva e instáveis (MAXWELL & CAMPBELL, 2006). Até recentemente, diferente de outros processos de corrosão, não tínhamos ferramentas para prever e quantificar o risco de corrosão causada pela ação de micróbios, tornando assim o controle do processo frágil, devido a poucos dados e experiências de campo (AUGUSTINOVIC et al., 2012). [43]

6.3. Sistema de Inferência Fuzzy (FIS) do Projeto de Pesquisa no MatLab.

Com o MatLab aberto, inicia-se a programação do sistema de inferência fuzzy.

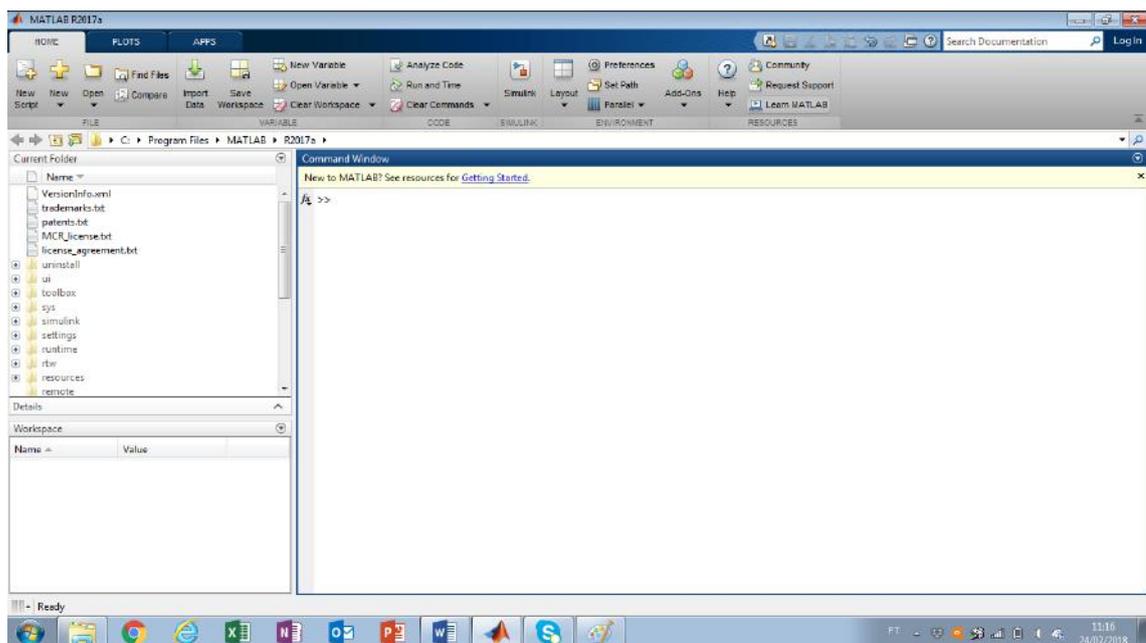


Fig. 30 – Tela de abertura do MatLab.

Para utilizar a ferramenta lógica fuzzy, escreve-se a palavra **fuzzy** no MatLab e então a *Fuzzy Logical ToolBox* (Caixa de Ferramenta da Lógica Fuzzy) fica disponível para o uso.

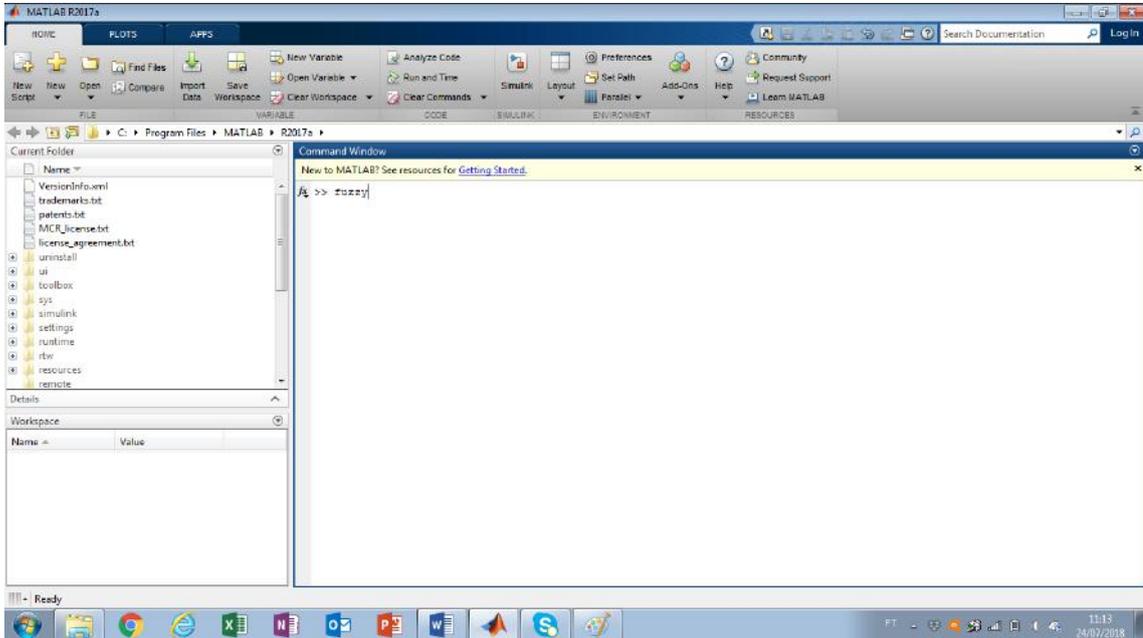


Fig. 31 – Tela de abertura para utilizar a lógica fuzzy no MatLab.

Na figura abaixo, demonstra um recurso utilizado para organizar os contadores de regras fuzzy.

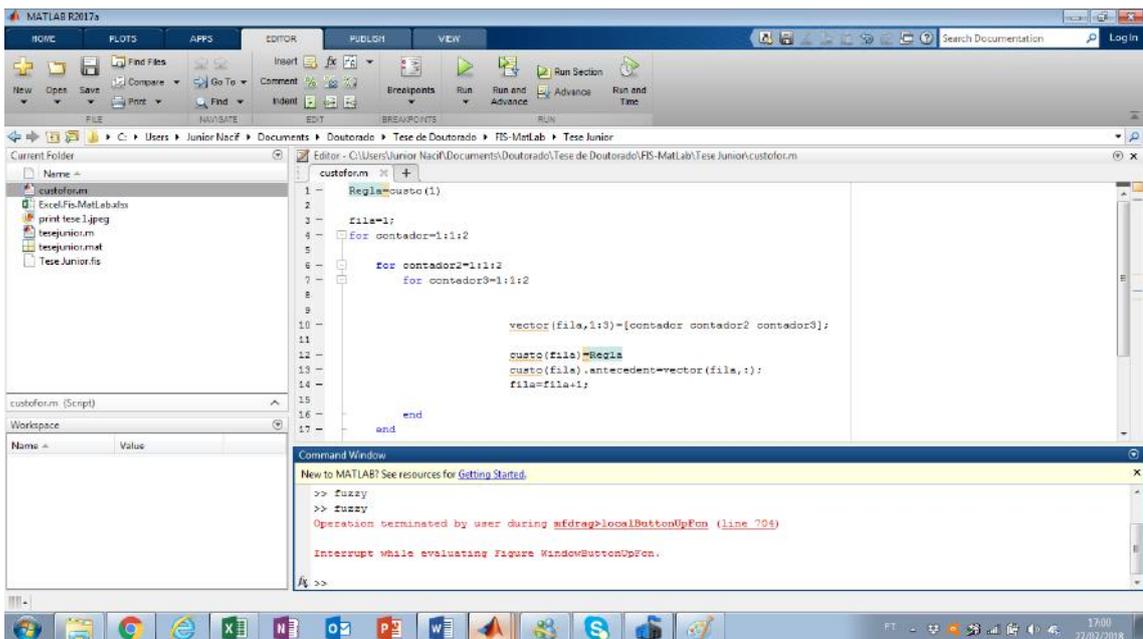


Fig. 32 – Tela de abertura do “FOR” para Inputs e contadores no MatLab.

É representada abaixo as estruturas das 256 regras definidas no Sistema de Inferência Fuzzy, definidas pelo nome do arquivo Tese_Junior.

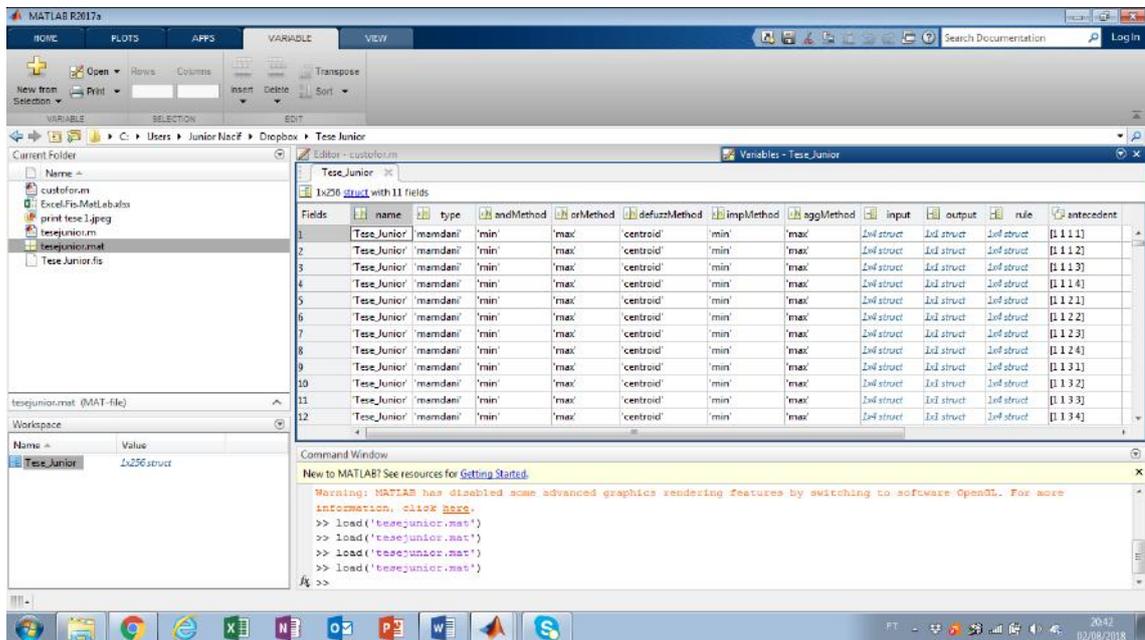


Fig. 33 – Tela das estruturas das regras Fuzzy no MatLab.

Na tela abaixo, está representada as Entradas (*Inputs*) e Saídas (*Outputs*) das regras no MatLab. É importante salientar que essas entradas e saídas estarão demonstradas no Apêndice II ao final desse presente trabalho de uma forma completa.

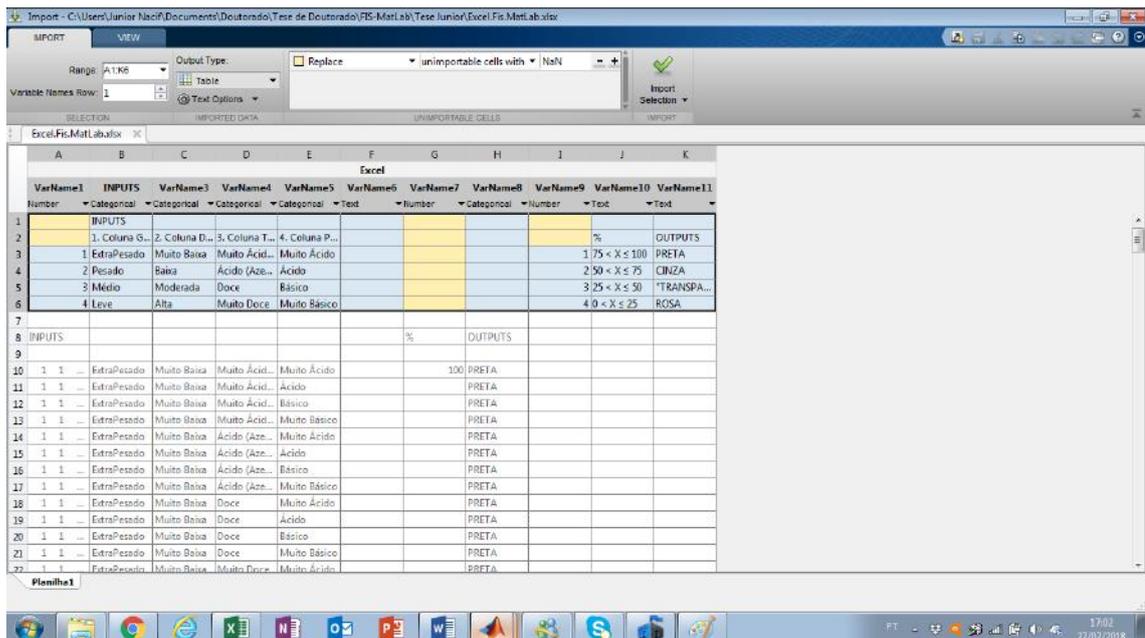


Fig. 34 – Tela de *Inputs* e *Outputs* do Sistema de Inferência Fuzzy no MatLab.

Abaixo está representada as combinações de regras das Entradas (Inputs) no MatLab.

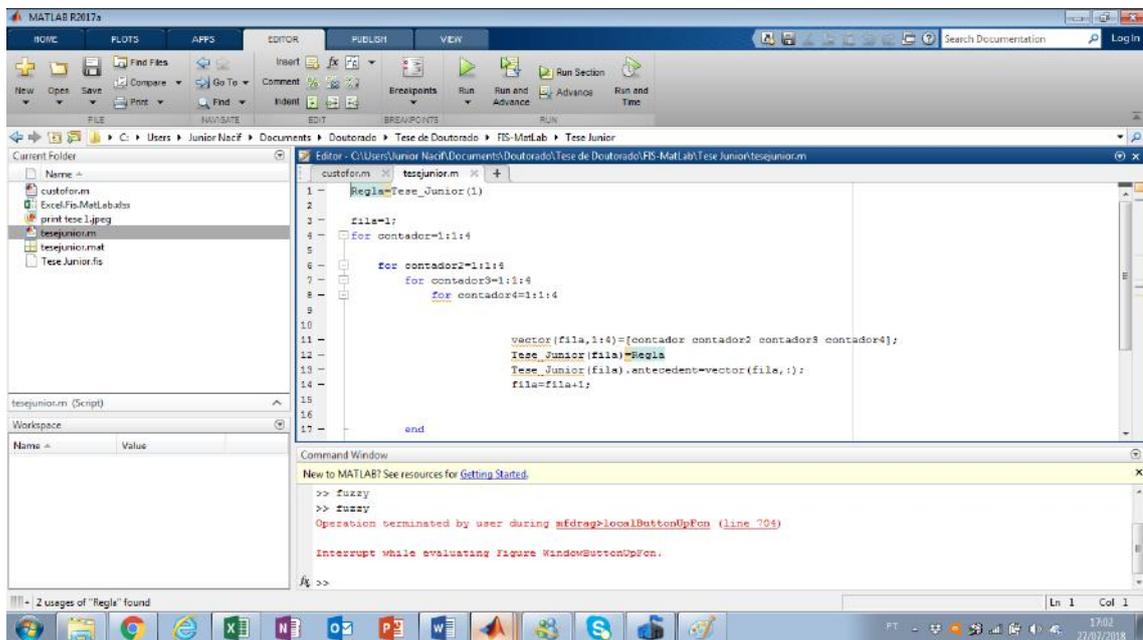


Fig. 35 – Tela de Combinações de regras dos *Inputs* no MatLab.

Na figura abaixo temos, o Arquivo.FIS - Código de Programação do Sistema Especialista Fuzzy, com Nome, Tipo, Variáveis, Entradas, Saídas e Regras no Programa MatLab. No Apêndice, será apresentado o código de programação com mais detalhes.

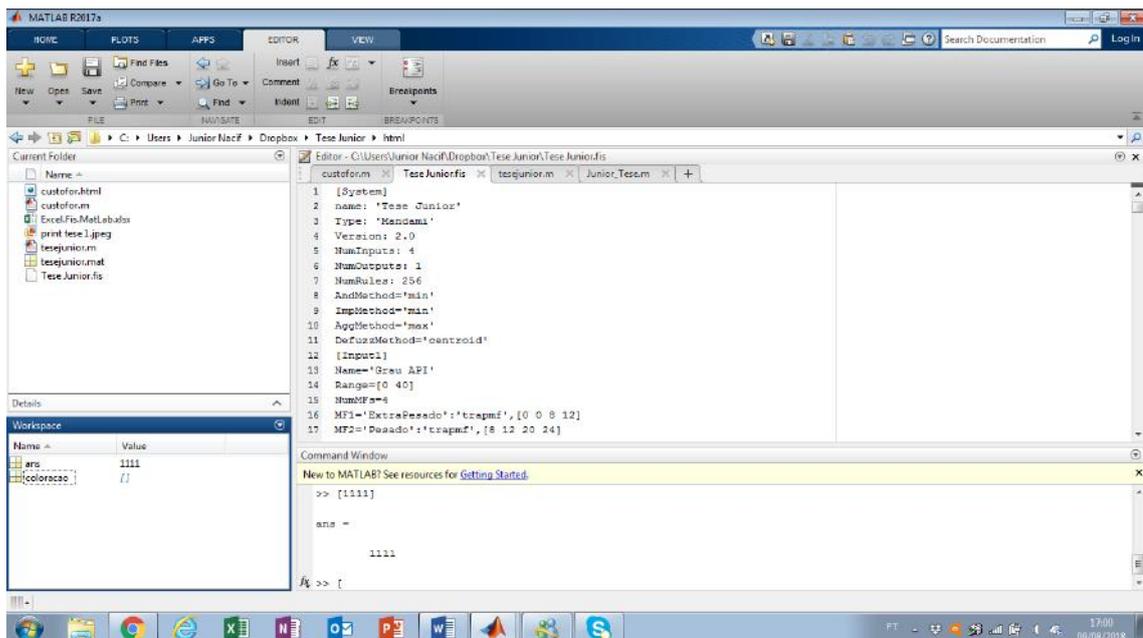


Fig. 36 – Tela do Arquivo.FIS - Sistema de Inferência Fuzzy com Nome; Tipo, Variáveis, Entradas, Saídas e Regras no MatLab.

A tela para colocarmos os *Inputs*, as regras e os *Outputs* no Sistema de Inferência Fuzzy.

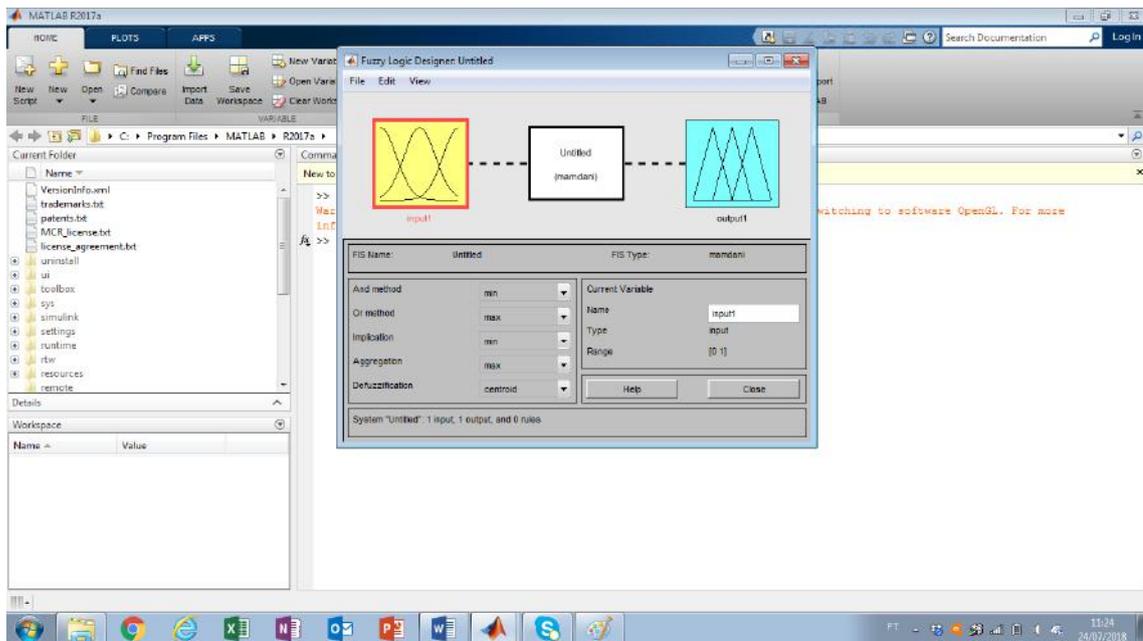


Fig. 37 – Tela para inserir os *Inputs*, as regras e *Outputs* no “FIS” no MatLab.

Na próxima figura temos os *Inputs* (Entradas) e *Outputs* (Saídas) já inseridos no Sistema de Inferência Fuzzy, onde as entradas são: O Grau °API; A Diluição; O Teor de Enxofre e o Ph do H_2S no meio. E a Saída: Coloração com seus itens de cores: Rosa; “Transparente”; Cinza e Preta.

E dentro de cada conjunto Fuzzy temos os termos linguísticos e as funções de Pertinências para definirmos com maior precisão a tomada de decisão a ser seguida.

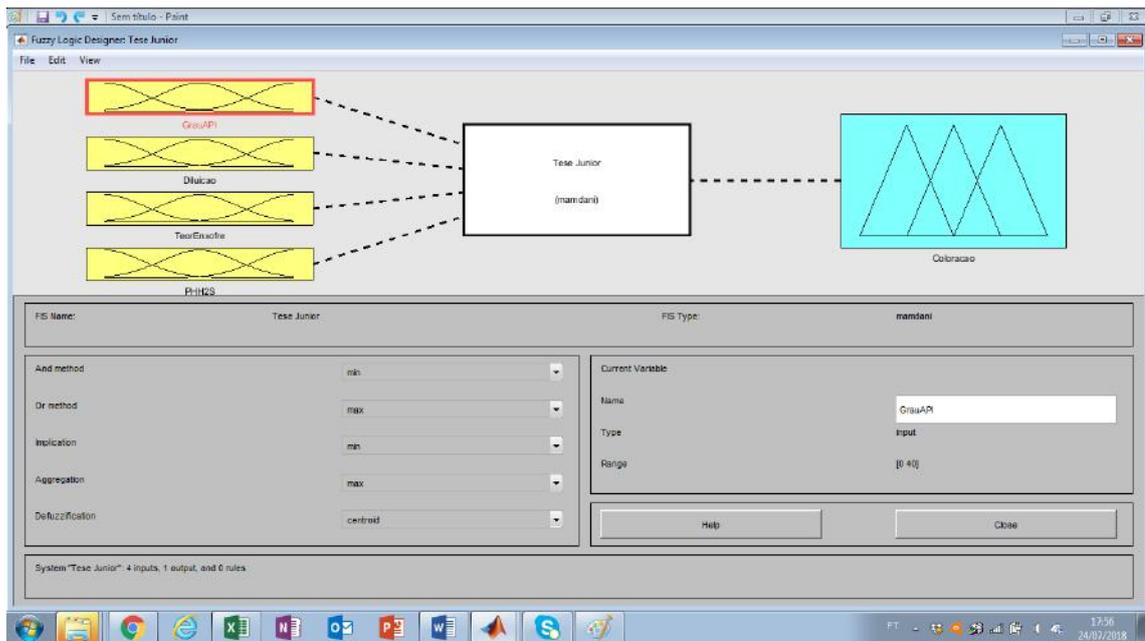


Fig. 38 – Tela com os 4 *Inputs* e o *Output* já inserido no “*FIS*” no MatLab.

Temos abaixo o gráfico da função de pertinência e os conjuntos fuzzy com seus termos linguísticos da entrada Grau °API. Os conjuntos fuzzy são do tipo trapezoidal e o universo está entre [0 40]. Os termos linguísticos dessa entrada são ExtraPesado, com parâmetros [0 0 8 12]; Pesado, com parâmetros [8 12 20 24]; Médio, com parâmetros [20 24 28 32]; Leve, com parâmetros [28 32 40 40], pois para aplicarmos a lógica fuzzy foram aumentados a faixa de pertinência do universo de números *Crisps* da respectiva entrada.

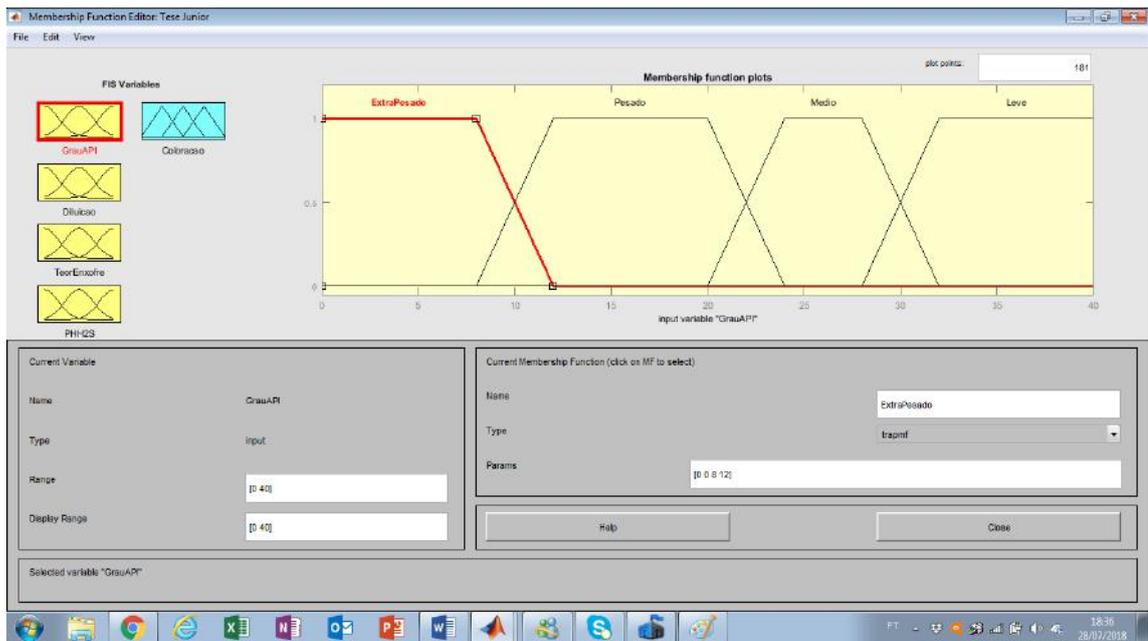


Fig. 39 – Tela com gráfico da função de Pertinência do *Input* Grau °API no MatLab.

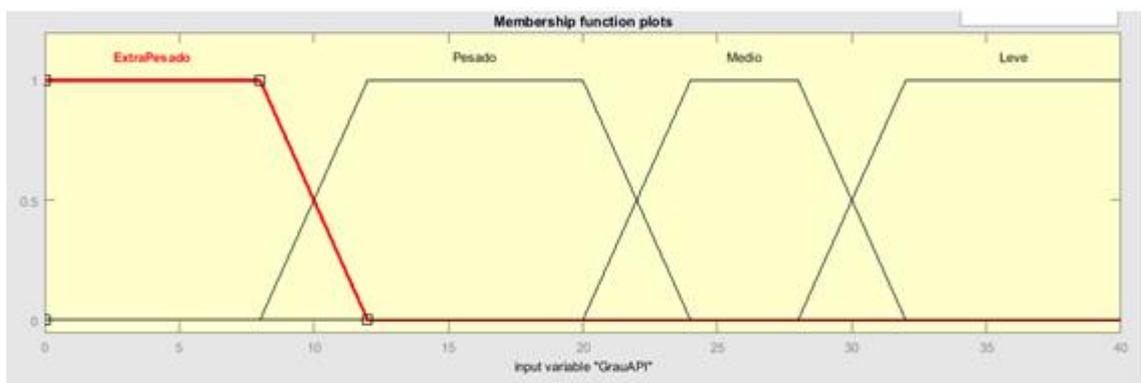


Fig. 40 – Zoom do Gráfico da função de Pertinência do *Input* Grau °API no MatLab.

Matematicamente a variável Grau °API, está representada pelas funções (6.3)

abaixo.

$$\mu_{\text{ExtraPesado}}(\text{GrauAPI}) = \begin{cases} 1; & \text{GrauAPI} \leq 8 \\ \end{cases}$$

$$\begin{cases} -0,25 \text{ GrauAPI} + 3; & 8 < \text{GrauAPI} \leq 12 \\ \end{cases}$$

$$\begin{cases} 0; & \text{GrauAPI} > 12 \end{cases}$$

$$\begin{aligned}
\mu_{\text{Pesado}}({}^{\circ}\text{API}) &= \{ 0; {}^{\circ}\text{API} \leq 8 \\
&\quad \{ 0,25 {}^{\circ}\text{API} - 2; 8 < {}^{\circ}\text{API} \leq 12 \\
&\quad \{ 1; 12 < {}^{\circ}\text{API} \leq 20 \\
&\quad \{ -0,25 {}^{\circ}\text{API} + 6; 20 < {}^{\circ}\text{API} \leq 24 \\
&\quad \{ 0; {}^{\circ}\text{API} > 24 \\
\mu_{\text{M\u00e9dio}}({}^{\circ}\text{API}) &= \{ 0; {}^{\circ}\text{API} \leq 20 \\
&\quad \{ 0,25 {}^{\circ}\text{API} - 5; 20 < {}^{\circ}\text{API} \leq 24 \\
&\quad \{ 1; 24 < {}^{\circ}\text{API} \leq 28 \\
&\quad \{ -0,25 {}^{\circ}\text{API} + 8; 28 < {}^{\circ}\text{API} \leq 32 \\
&\quad \{ 0; {}^{\circ}\text{API} > 32 \\
\mu_{\text{Leve}}({}^{\circ}\text{API}) &= \{ 0; {}^{\circ}\text{API} \leq 24 \\
&\quad \{ 0,25 {}^{\circ}\text{API} - 7; 24 < {}^{\circ}\text{API} \leq 32 \\
&\quad \{ 1; {}^{\circ}\text{API} > 32
\end{aligned} \tag{6.3}$$

Logo abaixo temos o gr\u00e1fico da fun\u00e7\u00e3o de pertin\u00eancia e os conjuntos fuzzy com seus termos lingu\u00edsticos da entrada Dilui\u00e7\u00e3o. Os conjuntos fuzzy s\u00e3o do tipo trapezoidal e o universo est\u00e1 entre [0 0,4]. Os termos lingu\u00edsticos dessa entrada s\u00e3o Muito Baixa, com par\u00e2metros [0 0 0,1 0,15]; Baixa, com par\u00e2metros [0,1 0,15 0,2 0,25]; Moderada, com par\u00e2metros [0,2 0,25 0,30 0,35]; Alta, com par\u00e2metros [28 32 40 40], pois para aplicarmos a l\u00f3gica fuzzy foram aumentados a faixa de pertin\u00eancia do universo de n\u00fameros *Crisps* da respectiva entrada.

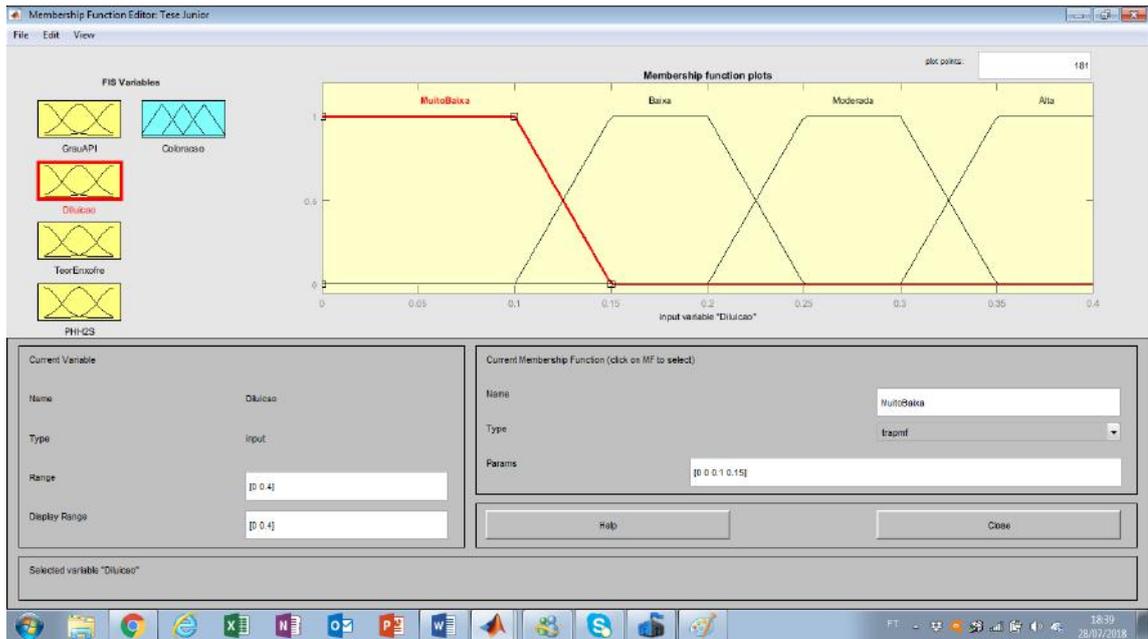


Fig. 41 – Tela com gráfico da função de Pertinência do *Input* Diluição no MatLab.

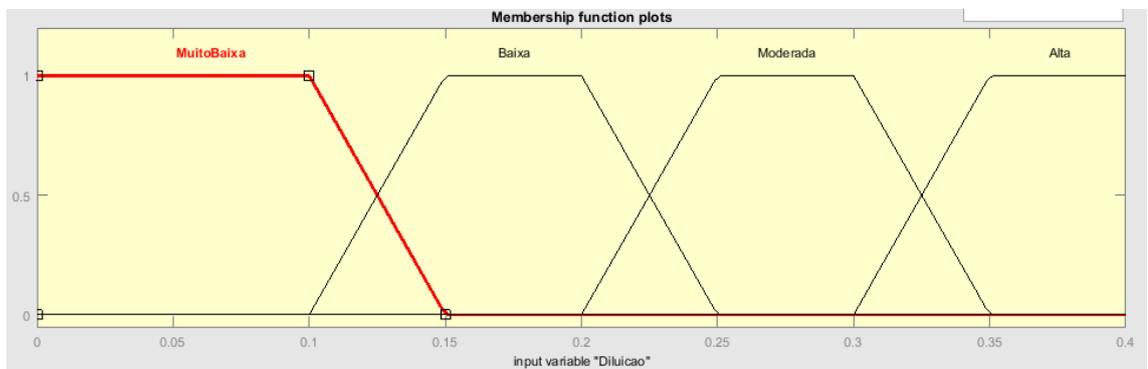


Fig. 42 – Zoom do Gráfico da função de Pertinência do *Input* Diluição no MatLab.

Matematicamente a variável Diluição (DIL), está representada pelas funções (6.4) abaixo.

$$\mu_{\text{MuitoBaixa}}(DIL) = \begin{cases} 1; & DIL \leq 0,1 \\ -20DIL + 3; & 0,1 < DIL \leq 0,15 \\ 0; & DIL > 0,15 \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \mu_{\text{Baixa}}(\text{DIL}) &= \{ 0; \text{DIL} \leq 0,10 \\ &\quad \{ 20 \text{ DIL} - 2; 0,1 < \text{DIL} \leq 0,15 \\ &\quad \{ 1; 0,15 < \text{DIL} \leq 0,20 \\ &\quad \{ -20 \text{ DIL} + 4; 0,20 < \text{DIL} \leq 0,25 \\ &\quad \{ 0; \text{DIL} > 0,25 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_{\text{Moderada}}(\text{DIL}) &= \{ 0; \text{DIL} \leq 0,20 \\ &\quad \{ 20 \text{ DIL} - 4; 0,20 < \text{DIL} \leq 0,25 \\ &\quad \{ 1; 0,25 < \text{DIL} \leq 0,30 \\ &\quad \{ -20 \text{ DIL} + 7; 0,30 < \text{DIL} \leq 0,35 \\ &\quad \{ 0; \text{DIL} > 0,35 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_{\text{Alta}}(\text{DIL}) &= \{ 0; \text{DIL} \leq 0,30 \\ &\quad \{ 20 \text{ DIL} - 6; 0,30 < \text{DIL} \leq 0,35 \\ &\quad \{ 1; \text{DIL} > 0,35 \end{aligned} \tag{6.4}$$

Temos abaixo o gráfico da função de pertinência e os conjuntos fuzzy com seus termos linguísticos da entrada Teor de Enxofre. Os conjuntos fuzzy são do tipo trapezoidal e o universo está entre [0 1]. Os termos linguísticos dessa entrada são Muito Doce, com parâmetros [0 0 0,3 0,35]; Doce, com parâmetros [0,3 0,35 0,45 0,55]; Ácido (Azedo), com parâmetros [0,45 0,55 0,65 0,7]; Muito Ácido (Muito Azedo), com parâmetros [0,65 0,7 1 1], pois para aplicarmos a lógica fuzzy foram aumentados a faixa de pertinência do universo de números *Crisps* da respectiva entrada.

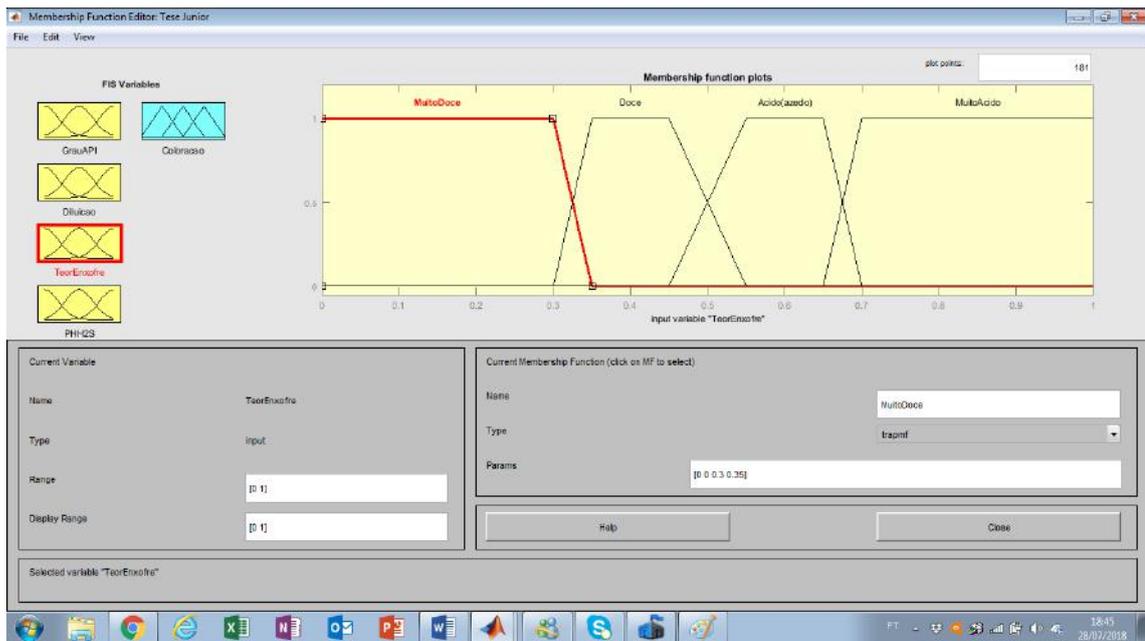


Fig. 43 – Tela com gráfico da função de Pertinência do *Input* Teor de Enxofre no MatLab.

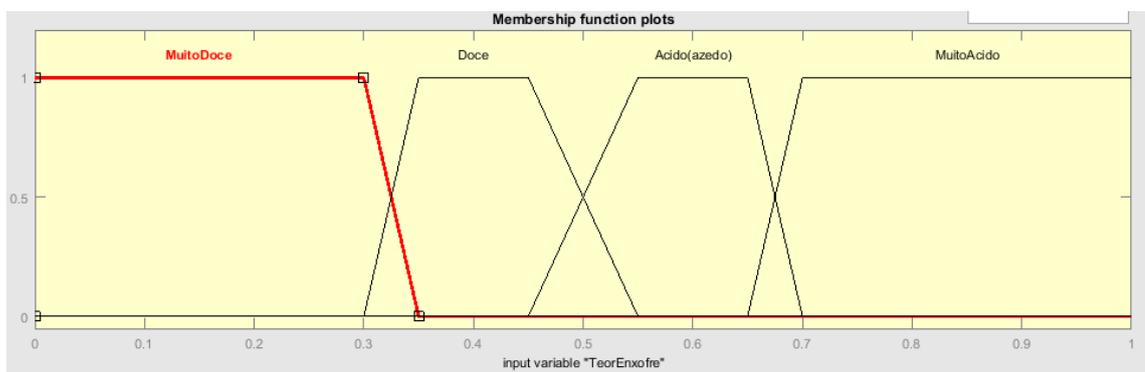


Fig. 44 – Zoom do Gráfico da função de Pertinência do *Input* Teor de Enxofre no MatLab.

Matematicamente a variável Teor de Enxofre (TE), está representada pelas funções (6.5) abaixo.

$$\mu_{\text{MuitoDoce}}(TE) = \begin{cases} 1; & TE \leq 0,30 \\ -20TE + 7; & 0,3 < TE \leq 0,35 \\ 0; & TE > 0,35 \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \mu_{\text{Doce}}(\text{TE}) = & \{ 0; \text{TE} \leq 0,30 \\ & \{ 20 \text{ TE} - 6; 0,30 < \text{TE} \leq 0,35 \\ & \{ 1; 0,35 < \text{TE} \leq 0,45 \\ & \{ -10 \text{ TE} + 5,5; 0,45 < \text{TE} \leq 0,55 \\ & \{ 0; \text{TE} > 0,55 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_{\text{Ácido}}(\text{TE}) = & \{ 0; \text{TE} \leq 0,45 \\ & \{ 10 \text{ TE} - 4,5; 0,45 < \text{TE} \leq 0,55 \\ & \{ 1; 0,55 < \text{TE} \leq 0,65 \\ & \{ -20 \text{ TE} + 14; 0,65 < \text{TE} \leq 0,70 \\ & \{ 0; \text{TE} > 0,70 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_{\text{MuitoÁcido}}(\text{TE}) = & \{ 0; \text{TE} \leq 0,65 \\ & \{ 20 \text{ TE} - 13; 0,65 < \text{TE} \leq 0,70 \\ & \{ 1; \text{TE} > 0,70 \end{aligned} \tag{6.5}$$

Logo abaixo temos o gráfico da função de pertinência e os conjuntos fuzzy com seus termos linguísticos da entrada Ph do H_2S do meio. Os conjuntos fuzzy são do tipo trapezoidal e o universo está entre [0 14]. Os termos linguísticos dessa entrada são Muito Ácido, com parâmetros [0 0 3 5]; Ácido, com parâmetros [3 5 6 8]; Básico, com parâmetros [6 8 9 11]; Muito Básico, com parâmetros [9 11 14 14], pois para aplicarmos a lógica fuzzy foram aumentados a faixa de pertinência do universo de números *Crisps* da respectiva entrada.

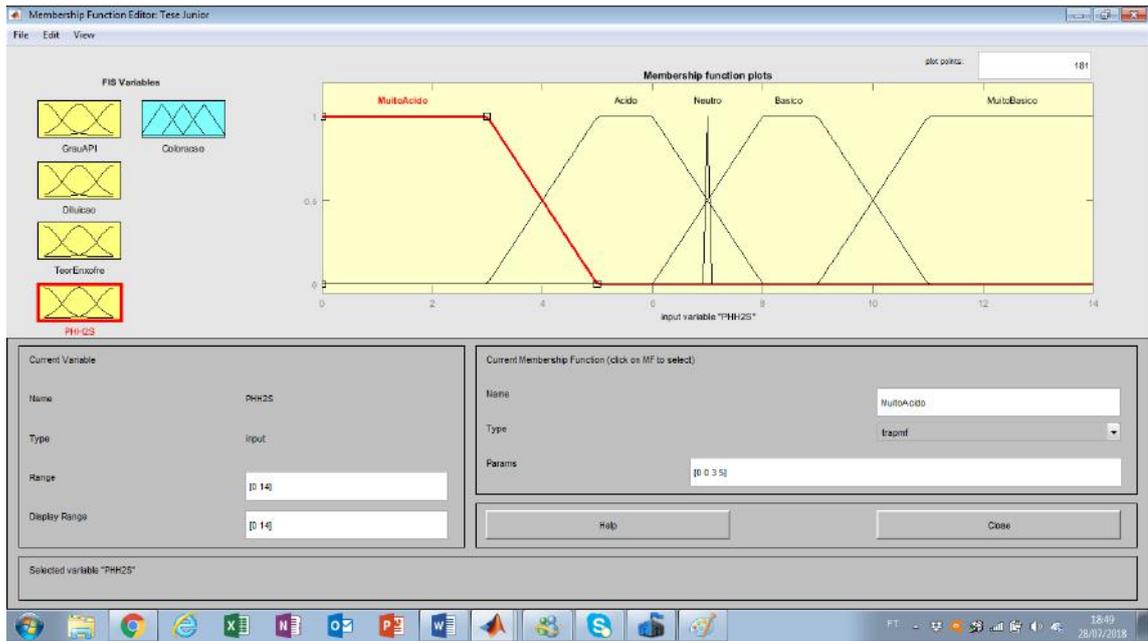


Fig. 45 – Tela com gráfico da função de Pertinência do *Input Ph* do H_2S do meio no MatLab.

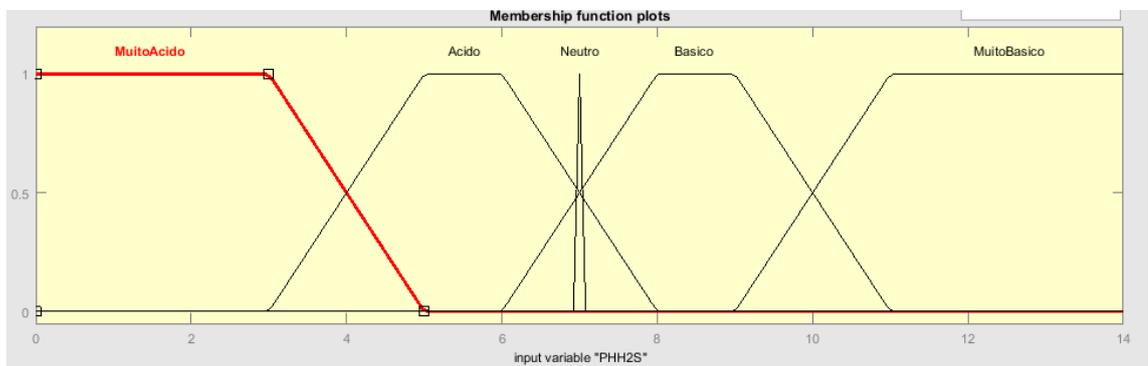


Fig. 46 – Zoom do Gráfico da função de Pertinência do *Input Ph* do H_2S do meio no MatLab.

Matematicamente a variável Ph do H_2S do meio (PH), está representada pelas funções (6.6) abaixo.

$$\mu_{\text{MuitoAcido}}(\text{PH}) = \begin{cases} 1; & \text{PH} \leq 3 \\ -0,5 \text{ PH} + 2,5; & 3 < \text{PH} \leq 5 \\ 0; & \text{PH} > 5 \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \mu_{\text{Ácido}}(\text{PH}) &= \{ 0; \text{PH} \leq 3 \\ &\quad \{ 0,5 \text{PH} - 1,5; 3 < \text{PH} \leq 5 \\ &\quad \{ 1; 5 < \text{PH} \leq 6 \\ &\quad \{ -0,5 \text{PH} + 4; 6 < \text{PH} \leq 8 \\ &\quad \{ 0; \text{PH} > 8 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_{\text{Básico}}(\text{PH}) &= \{ 0; \text{PH} \leq 6 \\ &\quad \{ 0,5 \text{PH} - 3; 6 < \text{PH} \leq 8 \\ &\quad \{ 1; 8 < \text{PH} \leq 9 \\ &\quad \{ -0,5 \text{PH} + 5,5; 9 < \text{PH} \leq 11 \\ &\quad \{ 0; \text{PH} > 11 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_{\text{MuitoBásico}}(\text{PH}) &= \{ 0; \text{PH} \leq 9 \\ &\quad \{ 0,5 \text{PH} - 4,5; 9 < \text{PH} \leq 11 \\ &\quad \{ 1; \text{PH} > 11 \end{aligned} \tag{6.6}$$

Na figura abaixo temos o gráfico da função de pertinência da entrada Ph do H_2S no meio, porém demonstrando o Ph neutro no valor 7.

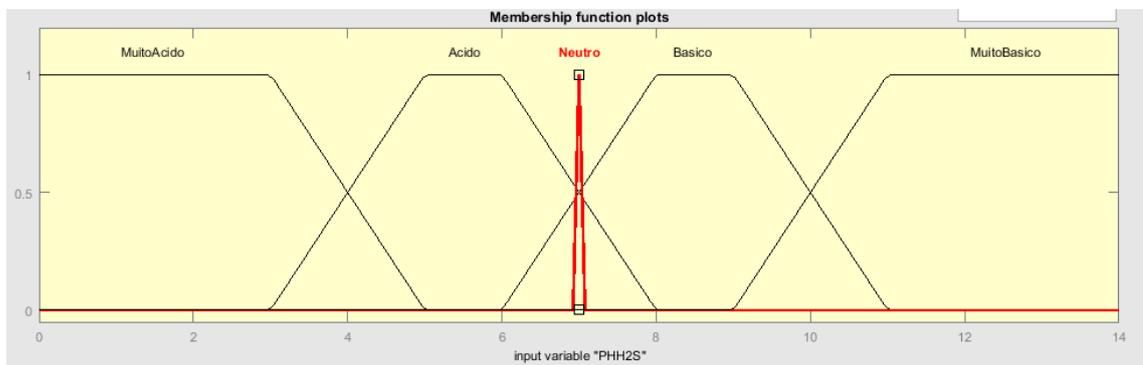


Fig. 47 – Zoom do Gráfico da função de Pertinência do *Input* Ph do H_2S do meio, demonstrando o Ph 7(Neutro) no MatLab.

Temos abaixo o gráfico da função de pertinência da saída e os conjuntos fuzzy com seus termos linguísticos da saída Coloração. Os conjuntos fuzzy são do tipo trapezoidal e o universo está entre [0 100]. Os termos linguísticos da saída são as cores: Rosa, com parâmetros [0 0 25 30]; “Transparente”, com parâmetros [25 30 50 55]; Cinza, com parâmetros [50 55 75 80]; Preta, com parâmetros [75 80 100 100], pois para aplicarmos a lógica fuzzy foram aumentados a faixa de pertinência do universo de números *Crisps* da respectiva saída.

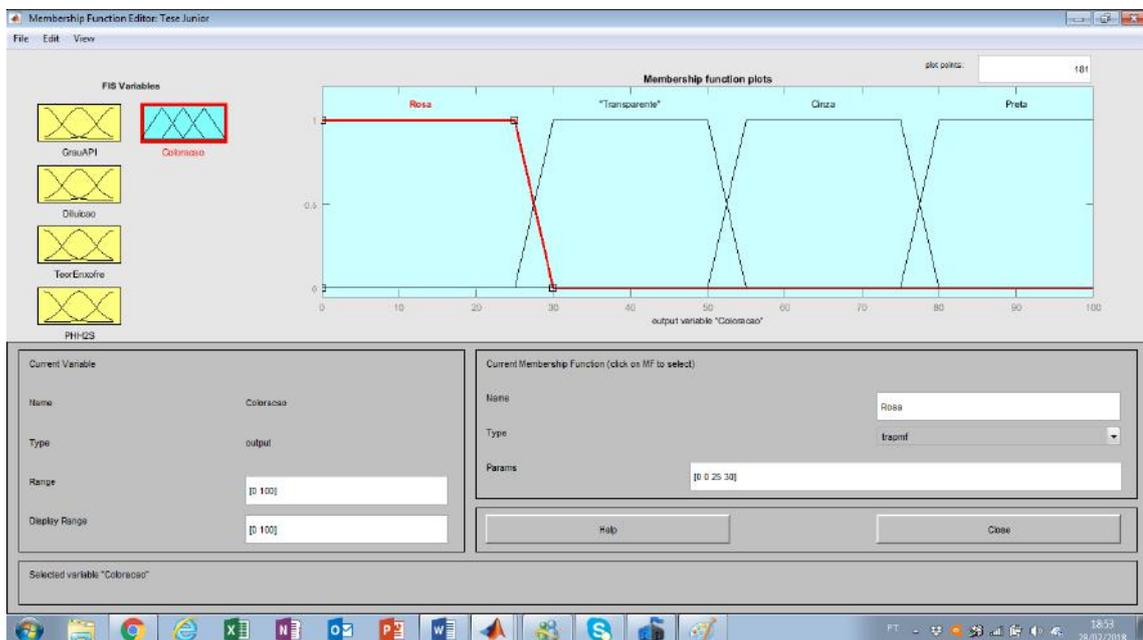


Fig. 48 – Tela com gráfico da função de Pertinência do *Output* Coloração no MatLab.

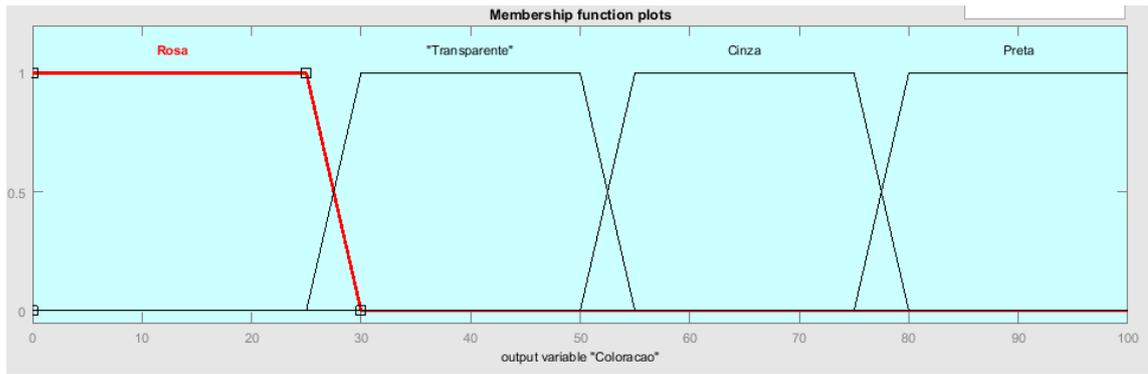


Fig. 49 – Zoom do Gráfico da função de Pertinência do *Output* Coloração no MatLab.

Matematicamente a variável Coloração (COL), está representada pelas funções (6.7) abaixo.

$$\begin{aligned} \mu_{\text{Rosa}}(\text{COL}) = & \{ 1; \text{COL} \leq 25 \\ & \{ -0,2 \text{ COL} + 6; 25 < \text{COL} \leq 30 \\ & \{ 0; \text{COL} > 30 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_{\text{"Transparente"}}(\text{COL}) = & \{ 0; \text{COL} \leq 25 \\ & \{ 0,2 \text{ COL} - 5; 25 < \text{COL} \leq 30 \\ & \{ 1; 30 < \text{COL} \leq 50 \\ & \{ -0,2 \text{ COL} + 11; 50 < \text{COL} \leq 55 \\ & \{ 0; \text{COL} > 55 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_{\text{Cinza}}(\text{COL}) = & \{ 0; \text{COL} \leq 50 \\ & \{ 0,2 \text{ COL} - 10; 50 < \text{COL} \leq 55 \\ & \{ 1; 55 < \text{COL} \leq 75 \\ & \{ -0,2 \text{ COL} + 16; 75 < \text{COL} \leq 80 \\ & \{ 0; \text{COL} > 80 \end{aligned}$$

$$\mu_{\text{Preta}}(\text{COL}) = \begin{cases} 0; & \text{COL} \leq 75 \\ 0,2 \text{ COL} - 15; & 75 < \text{COL} \leq 80 \\ 1; & \text{COL} > 80 \end{cases} \quad (6.7)$$

Abaixo temos a definição das 256 regras com as combinações entre as 4 entradas e seus 4 itens de saídas. As regras são escritas com a condicional **Se-Então (If-Then)** e todas as 4 entradas são ligadas pelo conectivo **e (and)**, e para finalizar os **pesos** das entradas têm valor 1.

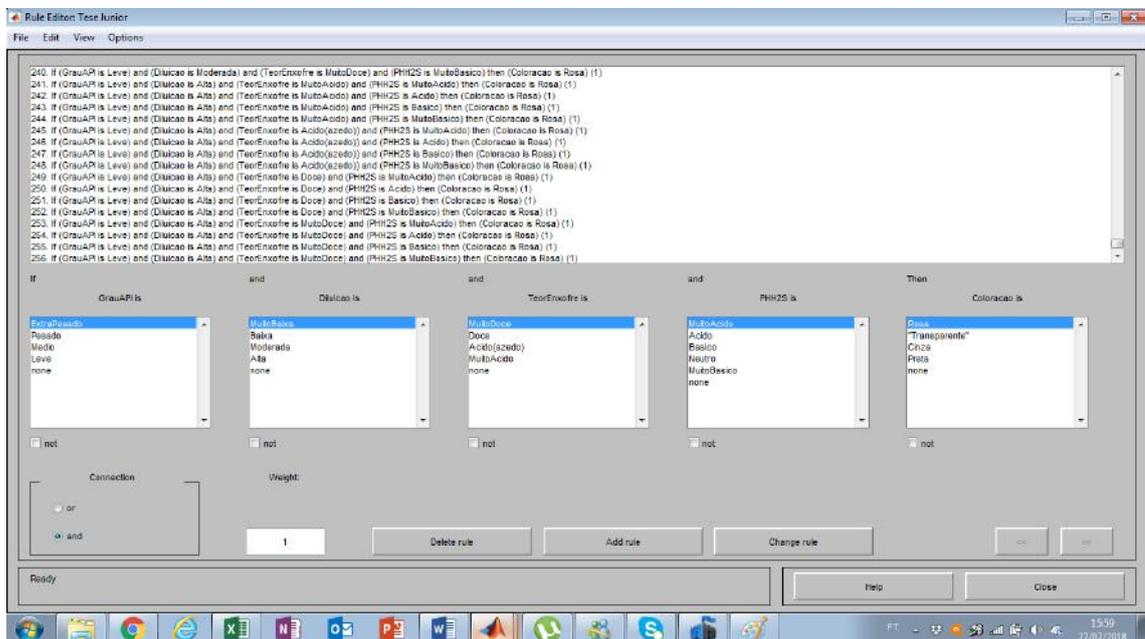


Fig. 50 – Tela com a Edição das 256 regras, com os respectivos Inputs e itens do Output no MatLab.

Na figura abaixo temos a tabela feita no Excel de Inputs (Entradas) com os termos linguísticos escolhidos.

INPUTS				
	1. Coluna Grau API	2. Coluna Diluição	3. Coluna Teor de Enxofre	4. Coluna PHH2S
1	ExtraPesado	Muito Baixa	Muito Ácido (Muito Azedo)	Muito Ácido
2	Pesado	Baixa	Ácido (Azedo)	Ácido
3	Médio	Moderada	Doce	Básico
4	Leve	Alta	Muito Doce	Muito Básico

Tabela 2 – Tabela com os *Inputs* no Excel.

Na figura abaixo temos a tabela feita no Excel dos itens dos Outputs (Saídas) com os termos linguísticos escolhidos.

	%	OUTPUTS
1	$75 < X \leq 100$	PRETA
2	$50 < X \leq 75$	CINZA
3	$25 < X \leq 50$	"TRANSPARENTE"
4	$0 < X \leq 25$	ROSA

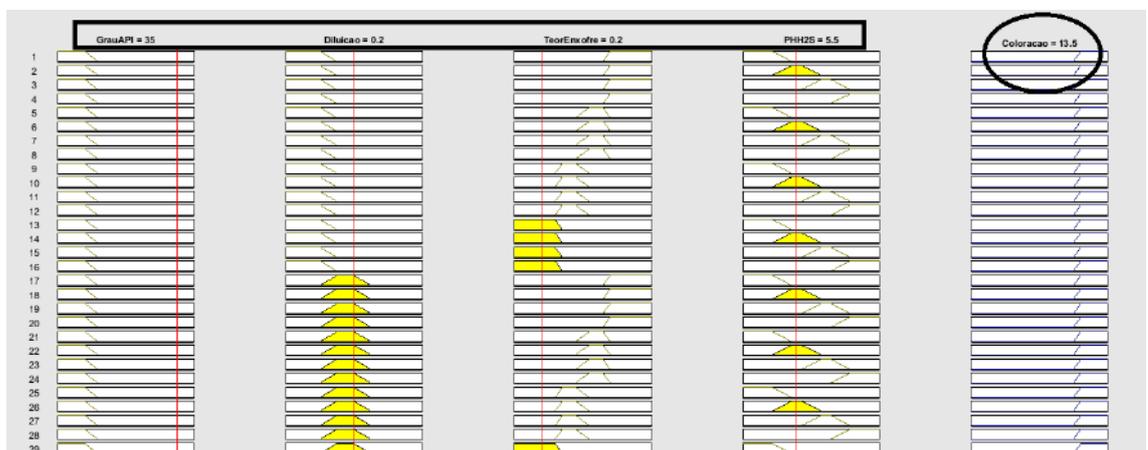
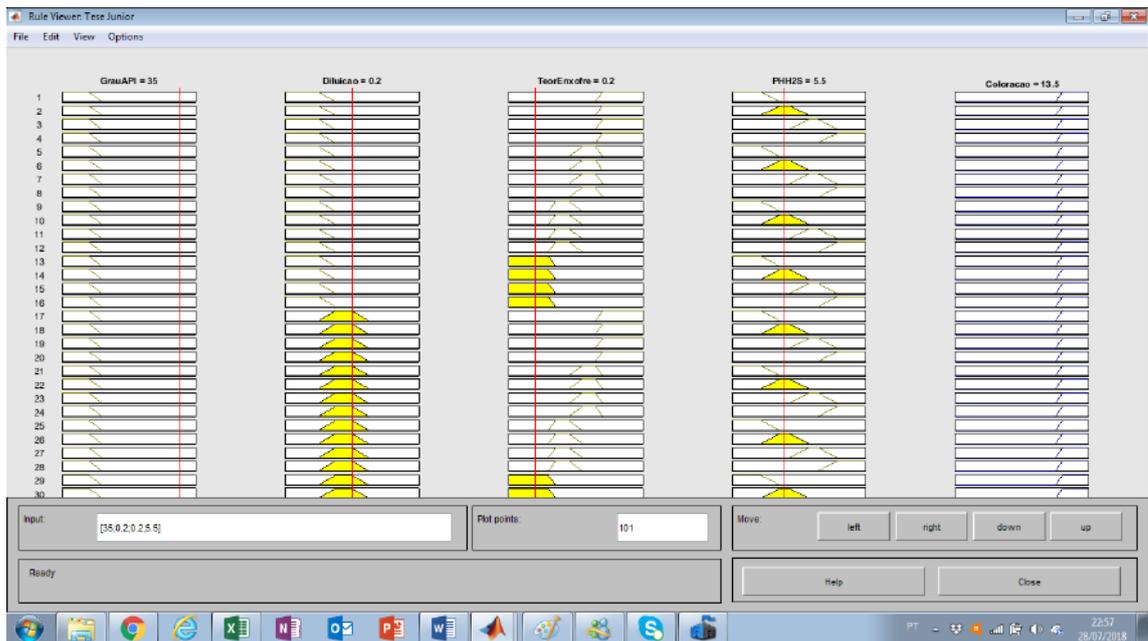
Tabela 3 – Tabela com os Itens do *Output* Coloração no Excel.

Abaixo na figura temos a tabela com escolhas de Inputs (Entradas) aleatórios e respectivas respostas de Outputs (Saídas) também feita no Excel. Esses termos linguísticos dos inputs foram escolhidos eventualmente para gerarem respostas dos outputs que são as colorações das amostras, com isso é demonstrado a precisão da abordagem Fuzzy.

INPUTS	1	2	3	4	%	OUTPUTS
Entradas (Fatores)	Grau API	Diluição	Teor de Enxofre	PHH2S	Valores	Saídas (Coloração)
1 2 4 1	ExtraPesado	Baixa	Muito Doce	Muito Ácido	89	PRETA
2 2 3 3	Pesado	Baixa	Doce	Básico	65	CINZA
3 2 3 3	Médio	Baixa	Doce	Básico	40	"TRANSPARENTE"
4 2 4 2	Leve	Baixa	Muito Doce	Ácido	13,5	ROSA

Tabela 4 – Tabela com escolhas de *Inputs* aleatórios e respectivas respostas do *Output* Coloração no Excel.

Nas figuras abaixo, em conjunto com os valores de entradas, são estimados os valores de saída através do gráfico conjunto de regras, com os *Inputs* escolhidos aleatoriamente, Fuzzyficação: Grau °API – 35; Diluição – 0,2; Teor de Enxofre – 0,2; Ph do H_2S do meio – 5,5. Combinações de regras fuzzy e com as setas representando a resposta “coloração Rosa” e a Defuzzyficação resultando a “porcentagem 13,5%” do *Output*.





GrauAPI = 35 Diluicao = 0.2 TeorEnxofre = 0.2 PHH2S = 5.5

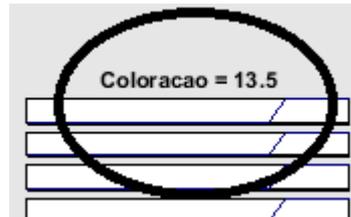


Fig. 51 – Conjunto de regras com os *Inputs* escolhidos aleatoriamente, com as setas representando a resposta “coloração Rosa” e a “porcentagem 13,5%” do *Output*.

Na tela abaixo temos a superfície em 3D, das entradas Grau °API e Diluição, e a saída Coloração.

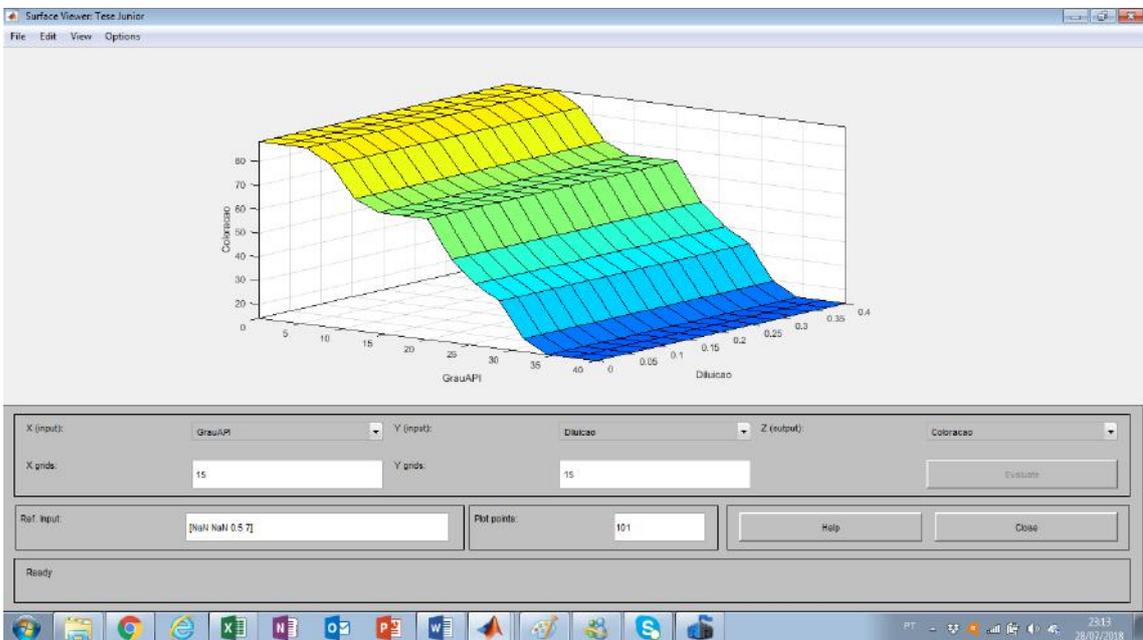
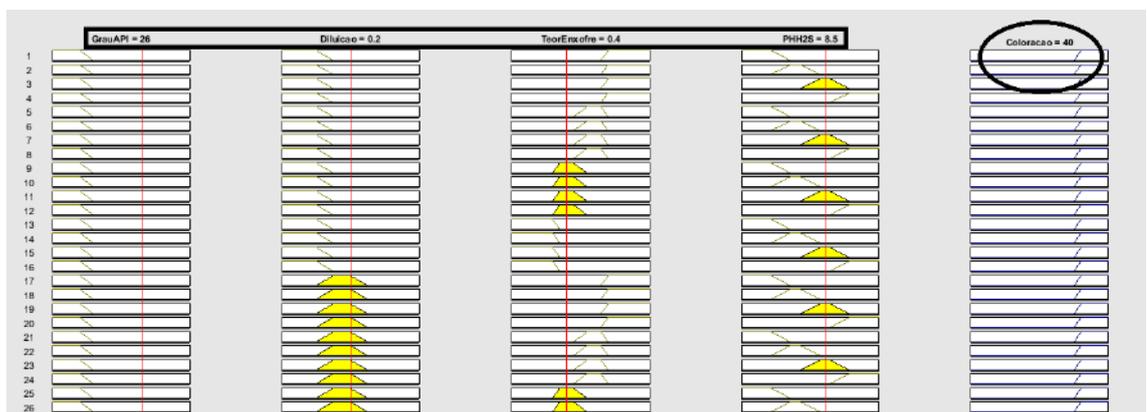
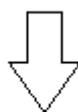
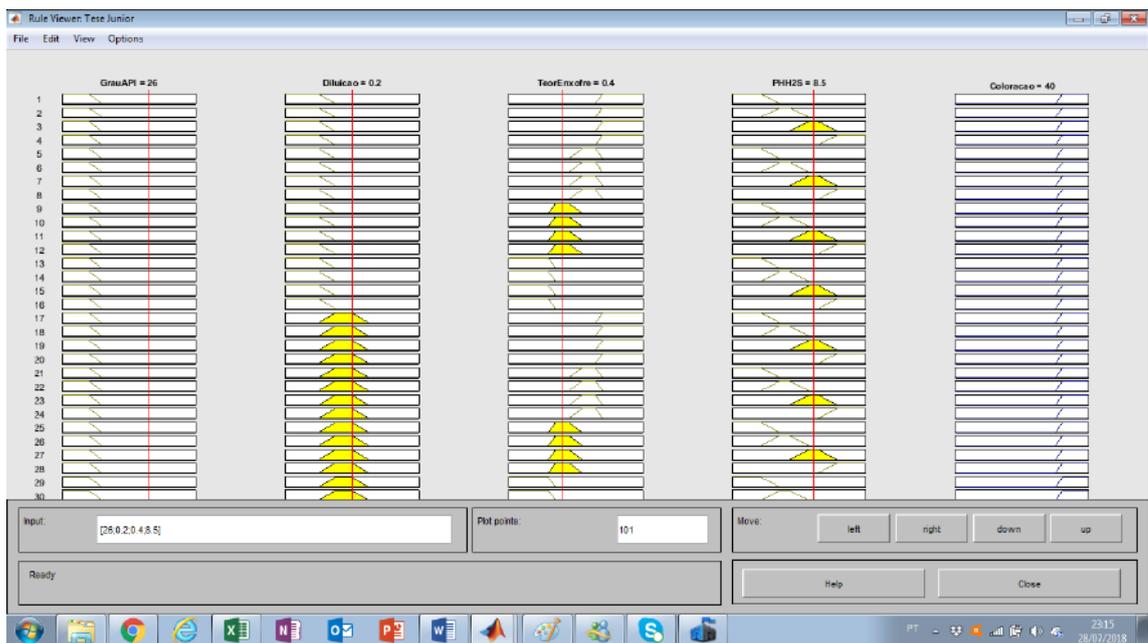


Fig. 52 – Gráfico 3D para representação dos *Inputs* Grau °API e Diluição e *Output*

Coloração, para a porcentagem 13,5% e Cor Rosa.

Nas figuras abaixo, em conjunto com os valores de entradas, são estimados os valores de saída através do gráfico conjunto de regras, com os *Inputs* escolhidos aleatoriamente, Fuzzyficação: Grau °API – 26; Diluição – 0,2; Teor de Enxofre – 0,4; Ph do H_2S do meio – 8,5. Combinações de regras fuzzy e com as setas representando a resposta “coloração Transparente” e a Defuzzyficação resultando a “porcentagem 40%” do *Output*.



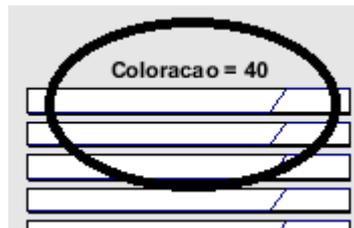
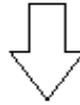


Fig. 53 – Conjunto de regras com os *Inputs* escolhidos aleatoriamente, com as setas representando a resposta “coloração Transparente” e a “porcentagem 40%” do *Output*.

Na tela abaixo temos a superfície em 3D, das entradas Teor de Enxofre e Grau °API, e a saída Coloração.

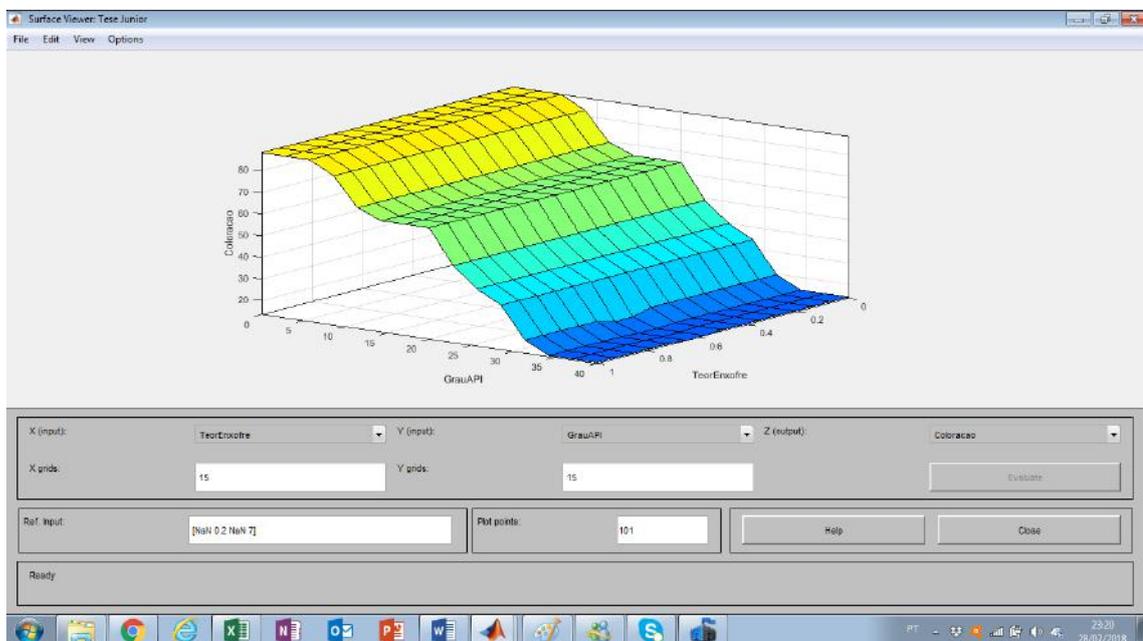
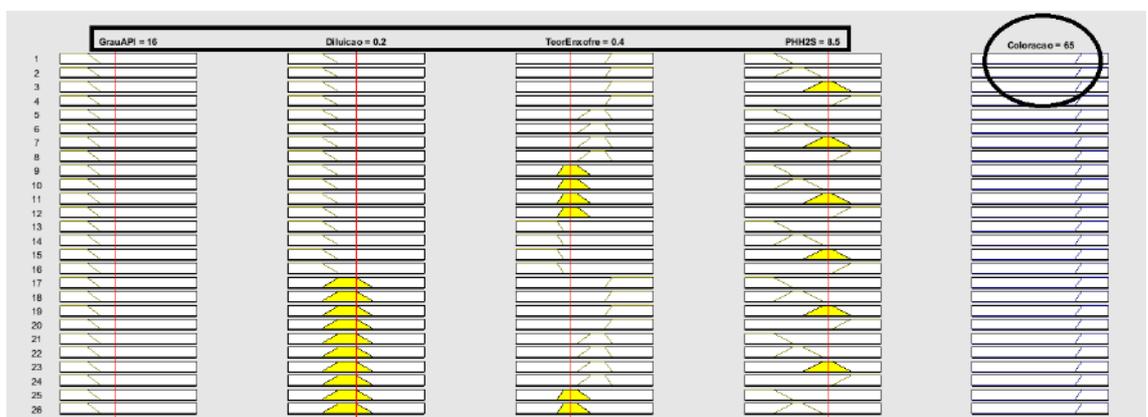
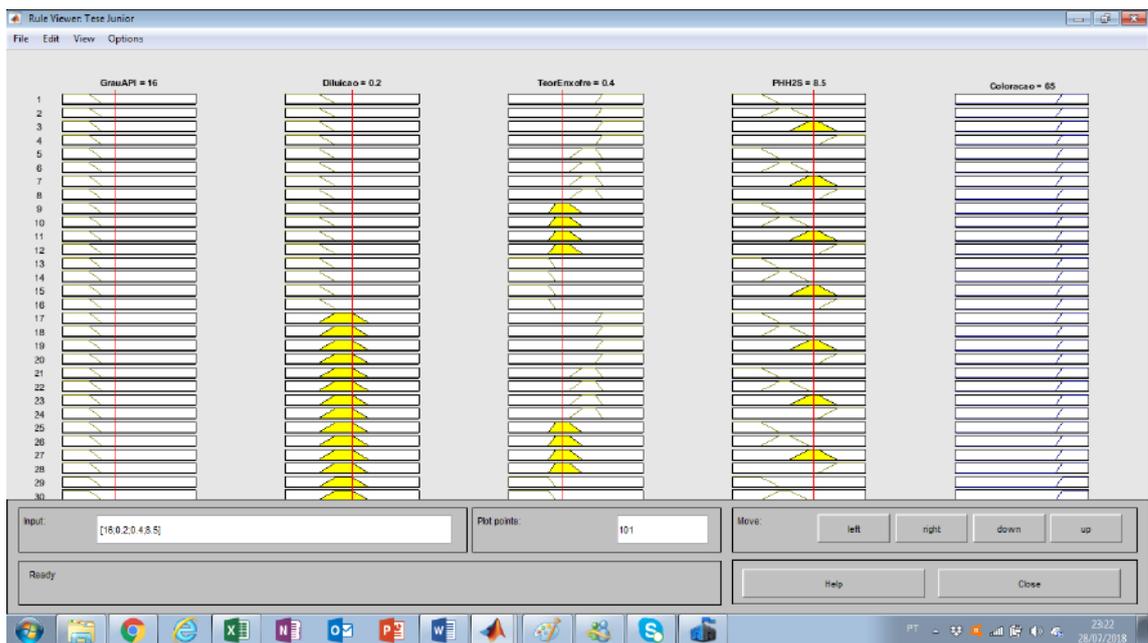


Fig. 54 – Gráfico 3D para representação dos *Inputs* Teor de Enxofre e Grau °API e *Output* Coloração, para a porcentagem 40% e Cor “Transparente”.

Nas figuras abaixo, em conjunto com os valores de entradas, são estimados os valores de saída através do gráfico conjunto de regras, com os *Inputs* escolhidos aleatoriamente, Fuzzyficação: Grau °API – 16; Diluição – 0,2; Teor de Enxofre – 0,4; Ph do H_2S do meio – 8,5. Combinações de regras fuzzy e com as setas representando a resposta “coloração Cinza” e a Defuzzyficação resultando a “porcentagem 65%” do *Output*.



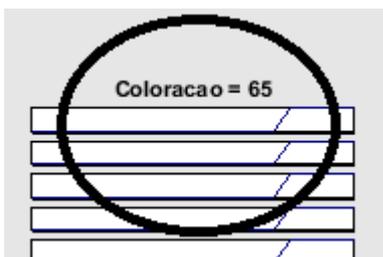


Fig. 55 – Conjunto de regras com os *Inputs* escolhidos aleatoriamente, com as setas representando a resposta “coloração Cinza” e a “porcentagem 65%” do *Output*.

Na tela abaixo temos a superfície em 3D, das entradas Ph do H_2S do meio e Grau $^{\circ}$ API, e a saída Coloração.

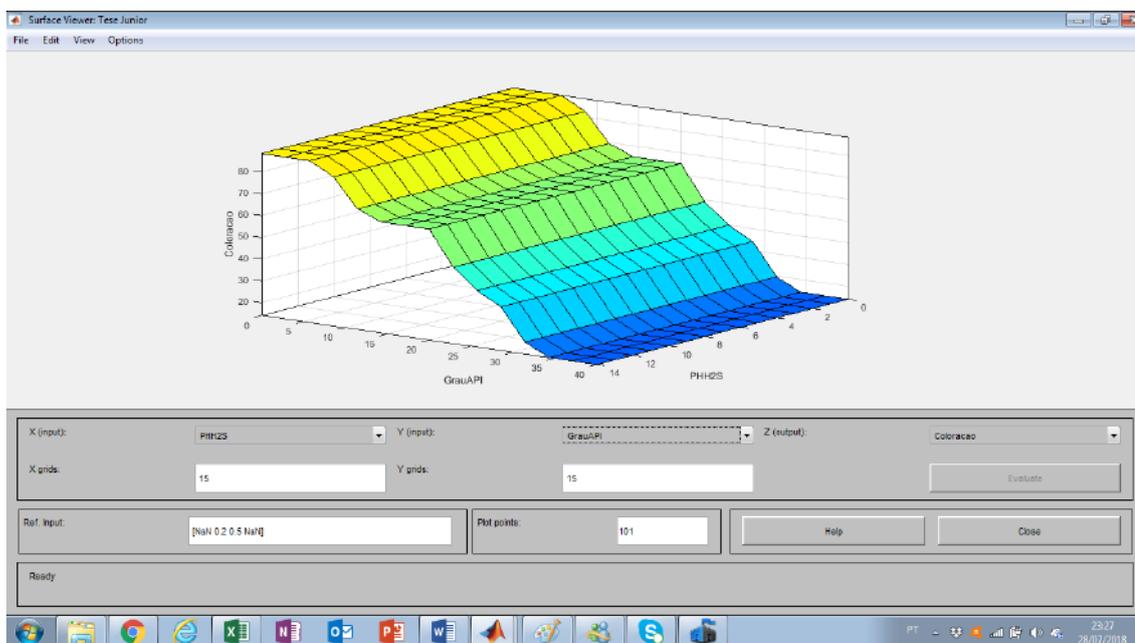
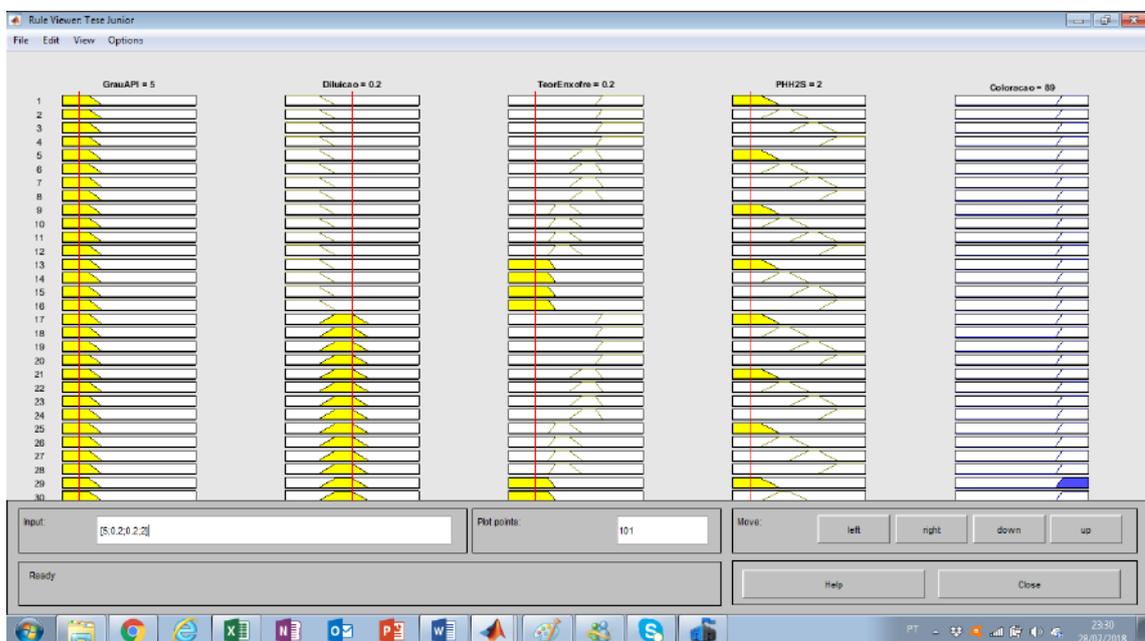


Fig. 56 – Gráfico 3D para representação dos *Inputs* Ph do H_2S do meio e Grau °API

e *Output* Coloração, para a porcentagem 65% e Cor Cinza.

Nas figuras abaixo, em conjunto com os valores de entradas, são estimados os valores de saída através do gráfico conjunto de regras, com os *Inputs* escolhidos aleatoriamente, Fuzzyficação: Grau °API – 5; Diluição – 0,2; Teor de Enxofre – 0,2; Ph do H_2S do meio – 2. Combinações de regras fuzzy e com as setas representando a resposta “coloração Preta” e a Defuzzyficação resultando a “porcentagem 89%” do *Output*.



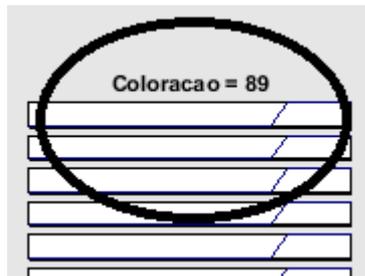
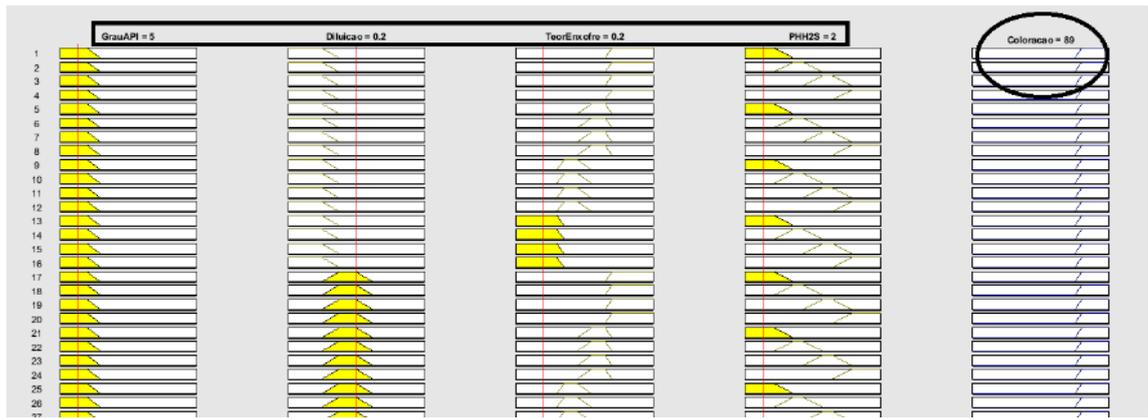


Fig. 57 – Conjunto de regras com os *Inputs* escolhidos aleatoriamente, com as setas representando a resposta “coloração Preta” e a “porcentagem 89%” do *Output*.

Na tela abaixo temos a superfície em 3D, das entradas Diluição e Grau °API, e a saída Coloração.

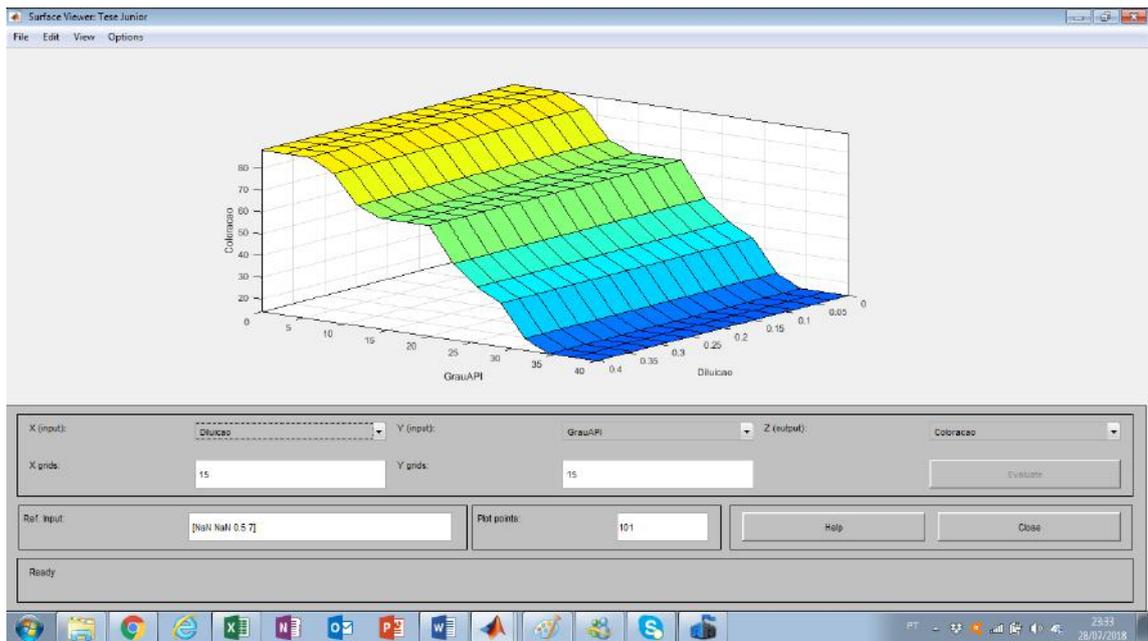


Fig. 58 – Gráfico 3D para representação dos *Inputs* Diluição e Grau °API e *Output*

Coloração, para a porcentagem 89% e Cor Preta.

6.3.1. Breve conclusão do Sistema de Inferência Fuzzy (FIS) do projeto no MatLab

Com os resultados apurados dos *inputs* escolhidos aleatoriamente no Sistema de Inferência Fuzzy, foram bastante significativos e precisos os valores dos *outputs*. Então foi comprovado que com a ferramenta lógica fuzzy esse projeto de pesquisa chegou com êxito a resultados satisfatórios.

7. Possibilidade de Aplicação da Pesquisa

Embora os procedimentos descritos na presente tese possam ter aplicações em diferentes áreas em que seja necessário o reconhecimento de padrão de cores para fim de decisão, uma aplicação, que aliás inspirou e motivou o autor durante essa pesquisa, se apresenta de maneira óbvia e clara: automação do atual processo de decisão.

Essa automação, a rigor, constitui um verdadeiro projeto de robótica em que, elementos de Inteligência artificiais, entre os quais o reconhecimento fuzzy de padrão de cores e a mecanização de movimentos espaciais para diferentes finalidades (movimentação pantográfica de injetores; e outros), requerem o desenvolvimento de um protótipo com a finalidade de calibrar os diversos e diferentes componentes de um sistema complexo como esse. Um projeto dessa dimensão, por si só, pode ser desenvolvido em um trabalho de pós-Doutoramento, perfeitamente afinado com os objetivos que a presente tese procurou apresentar. O motivo disso é que os estudos envolvem procedimentos, hoje, realizados pelo ser humano, compreendendo toda complexidade característica da atuação humana.

A seguir apresenta-se uma descrição geral de como esse projeto pode ser desenvolvido, incluindo as partes constituintes e os processos envolvidos (mecanismo de robótica, de inferência e outros), já anteriormente e parcialmente descritos nesta tese.

7.1 – Esboço do Projeto e Método de Funcionamento

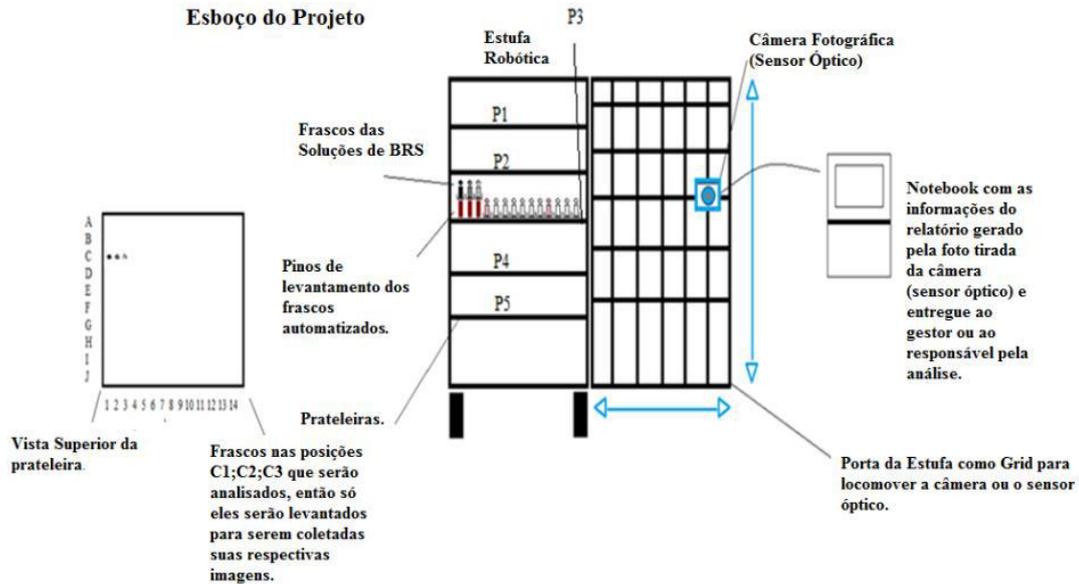


Fig. 59 – Esboço do Projeto. Fonte: [Autor]

7.2- Especificações, o Projeto e Apresentação da Estufa.

- Câmera fotográfica (Sensor Óptico) – Percéptron de cor - Mecanismo pantográfico motor de passo.

- Dados Técnicos da Estufa:

- Marca: Nova Ética Incubadora B.O.D. 411 D (Exemplo)

- * Profundidade: 66cm;

- * Largura: 64,5cm;

- * Altura: 1,80m;

- * Altura dos pés de suporte: 8,5cm;

- * Temperatura: 30°C;

- * 5 prateleiras e 6 espaços;
- * 140 frascos por prateleira;
- * Tamanho do frasco: 5,5cm
- * Diâmetro do frasco: 2,5cm
- * Altura entre as prateleiras: 15cm;
- * Largura da prateleira 54cm;
- * Profundidade da prateleira: 39cm;
- * Espessura da Porta: 7cm.

No projeto será desenvolvido uma tecnologia de automação para o processo de análise qualitativa de BRS das diferentes amostras, através da sua coloração, voltado à detecção de Concentração de Bactérias Redutoras de Sulfato (BRS), para controle de biocorrosão e outras aplicações ambientais, inclusive na saúde humana, de forma a otimizar o processo de análise das amostras e obtenção de resultados. Será automatizado a coleta de dados e a transformação dos mesmos em informação durante a incubação, utilizando a lógica fuzzy no reconhecimento do padrão de imagens e na robótica, concentrando o esforço humano, no processo, em sua maior parte na área intelectual de análise e interpretação de relatórios e gráficos gerados automaticamente pelo sistema. Também faz parte do objetivo integrar a base de dados e proporcionar o acesso remoto em tempo real, por parte da equipe gestora, através de relatórios, dados e estatísticas relacionados à análise de BRS provenientes de diferentes poços, tanques e oleodutos. Dessa forma podemos definir se vale a pena ou não continuar explorando e produzindo no poço de petróleo estudado.

A figura 60 e a figura 61 demonstra a estufa que será utilizada no projeto. Nessas fotos a estufa aparece sem estar automatizada.



Fig. 60 – Vista Geral da Estufa. Fonte: [Autor]



Fig. 61 – Vista frontal da Estufa. Fonte: [Autor]



Fig. 62 – Vista da Estufa aberta, demonstrando algumas soluções em frascos diferentes das utilizadas no projeto e uma ideia de como poderá ser colocada a câmera fotográfica no grid para coletar as imagens. Fonte: [Autor]



Fig. 63 – Foto demonstrando o número de prateleiras da Estufa, no caso são cinco. Fonte: [Autor]



Fig. 64 – Imagem do Frasco utilizado no projeto. Fonte: [Autor]



Fig. 65 – Imagem frontal do frasco utilizado no projeto. Fonte: [Autor]

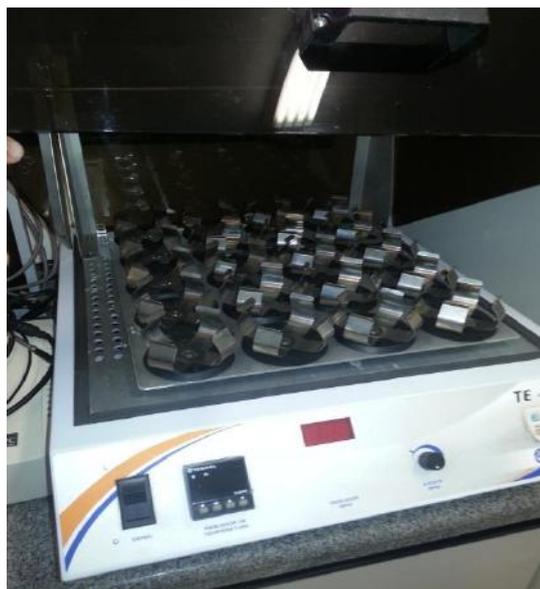


Fig. 66 – Garras onde os frascos serão colocados. Fonte: [Autor]

Nas visitas ao laboratório do Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD) observou-se que os frascos ficam livres na prateleira da incubadora, passíveis de acidentes durante as manipulações, situação essa que pode ser melhorada por meio de, por exemplo, um sistema pneumático de elevação dos frascos, adaptando o sistema de garras presente em outros aparelhos para manter os frascos firmes e sem risco de queda ou danos.



Fig. 67 – Exemplo de um frasco na garra. Fonte: [Autor]

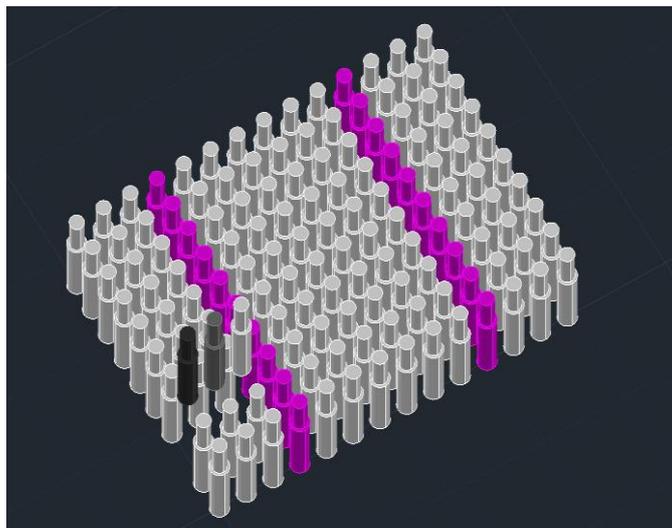


Fig. 68 – Vista superior da posição dos frascos na prateleira. Fonte: [Autor]

Na figura 68 acima, encontra-se um exemplo de como seriam dispostos os frascos em cada prateleira. No primeiro dia, os três primeiros frascos, correspondentes a uma amostra, são inoculados com uma amostra de nutrientes (coluna rosa) que permitirá a BRS, se presente, se reproduzir. Os frascos em linhas posteriores recebem uma pequena porcentagem das amostras anteriores, tornando-se compostos cada vez mais diluídos. Tais diluições constituem a informação de base de um dos Inputs do FIS (Sistema de Inferência Fuzzy) da tese para análise de concentração de BRS existente na amostra.

A figura a seguir mostra a configuração espacial dos frascos na prateleira a serem fotografados ou visualizados.

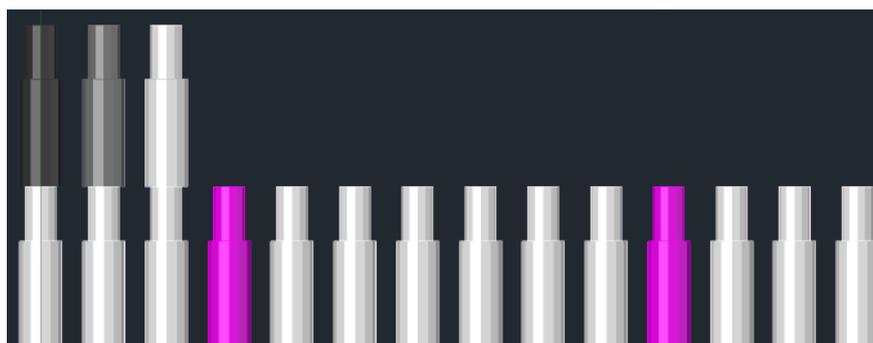


Fig. 69 – Vista frontal da posição dos frascos na prateleira. Fonte: [Autor]

De fato, na figura 69 acima percebe-se o ângulo de visão frontal da câmera e como o sistema pneumático elevaria os frascos, permitindo que seja tirada a foto.

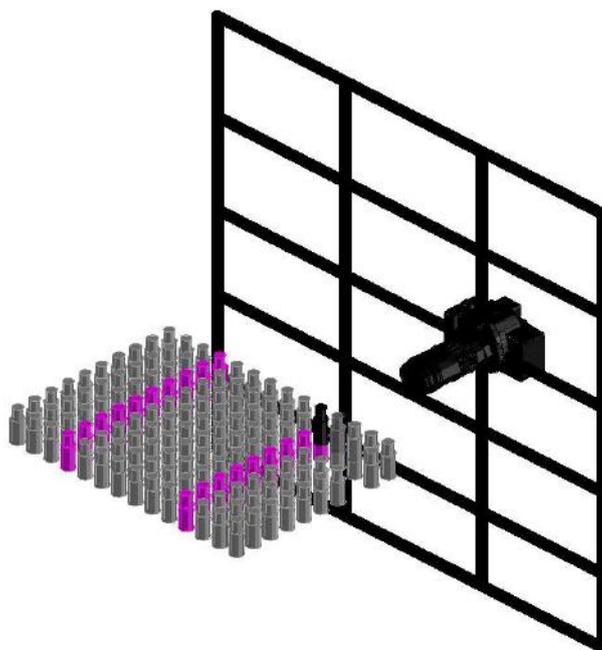


Fig. 70 – Imagem em 3D da posição do sensor óptico para colher as imagens dos frascos. Fonte: [Autor]

Na figura 70, temos uma representação tridimensional de como funcionaria o GRID para movimentação da câmera, onde um motor elétrico de passo permitiria o sensor, movimentos na vertical e na horizontal para o melhor posicionamento para a foto. Esse posicionamento em Grid poderá futuramente sofrer um tratamento dinâmico espacial utilizando a ferramenta fuzzy, flexibilizando sua movimentação para posicionamentos diferentes das interseções do grid. Conforme será melhor visto no item 7.4.

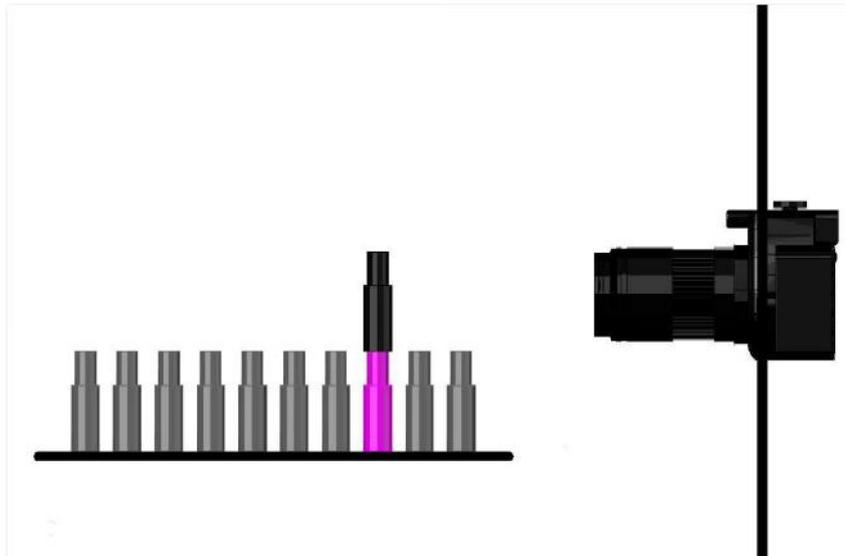


Fig. 71 – Posição da câmera fotográfica de perfil para tirar foto dos frascos. Fonte: [Autor]

7.3 – Metodologia da lógica Fuzzy para o Reconhecimento de imagem

no Projeto

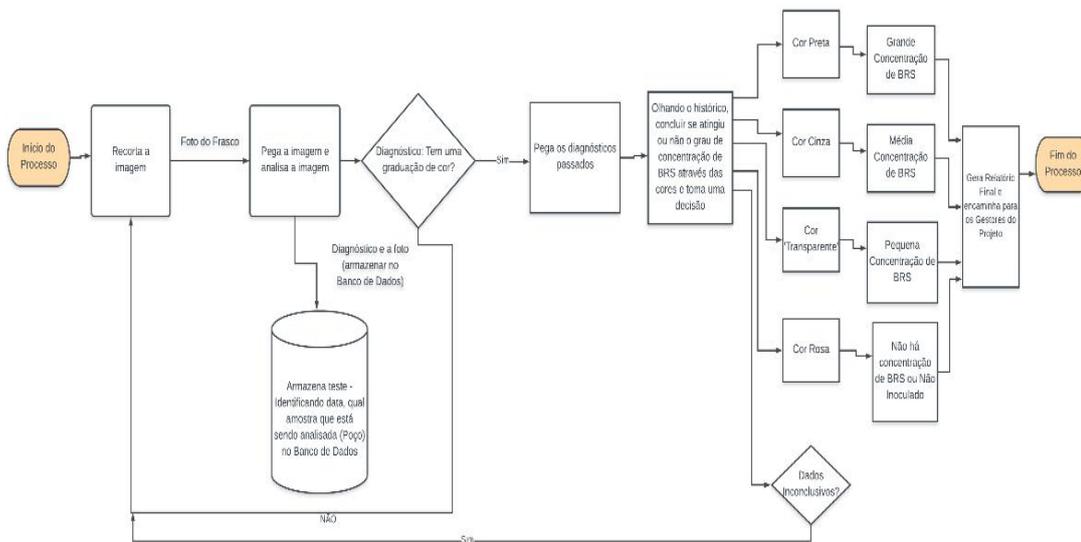


Fig. 72 – Metodologia Fuzzy para Reconhecimento de Imagem. Fonte: [Autor]

Para o reconhecimento de imagem no Projeto de pesquisa, a proposta será a criação de um método de lógica Fuzzy onde o sistema teria início com o recorte da imagem do frasco na foto. A imagem então é armazenada em um banco de dados e uma análise é feita a partir deste mesmo, graduando a cor da amostra com diagnósticos passados e permitindo ao sistema chegar a uma decisão. A decisão é se há presença ou não de BRS em concentrações acima do limite e após é gerado um relatório, que será encaminhado ao gestor. Caso os dados sejam considerados inconclusivos, o processo é reiniciado, realizando-se um novo recorte da imagem do frasco na foto.

7.4 - Metodologia da lógica Fuzzy para o melhor posicionamento da câmera fotográfica no grid no Projeto

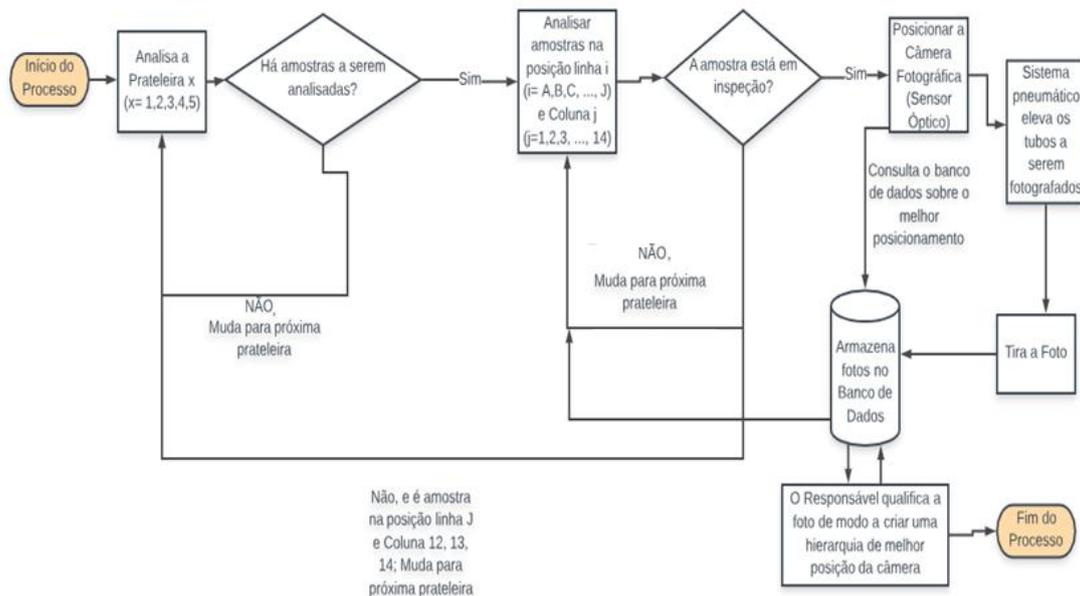


Fig. 73 – Metodologia Fuzzy para melhor posicionamento da Câmera. Fonte: [Autor]

Para o posicionamento da câmera, uma ideia inicial é utilizar neurofuzzy, pois ela passa a aprender com as etapas de reconhecimentos, onde a localização ideal da câmera

para foto funcionaria como um processo de aprendizado pelo sistema. A análise começa pelas prateleiras, questionando se lá existe ou não amostra a ser estudada. Caso existam, o sistema irá questionar em um modelo matricial baseado em linhas e colunas cada amostra, até a última, onde deverá se migrar para a próxima prateleira. Como nem todos os frascos em uma prateleira podem conter amostra inoculada, haverá também um questionamento do sistema sobre quais devem ser estudados. Em presença de amostra inoculada, o sensor se posiciona, utilizando o banco de dados para a melhor posição ao respectivo frasco. O sistema pneumático então eleva os tubos a serem fotografados/visualizados e a foto é tirada, permitindo seu armazenamento. Em seguida o responsável analisa a imagem da foto, possibilitando ao banco de dados criar uma hierarquia que será levada em consideração sempre que o sensor for se posicionar. Em primeira instância, o posicionamento do sensor no grid somente ocorreria nas interseções das horizontais com verticais, como já foi dito anteriormente. Porém, a ideia de aprendizado de uma melhor localização do sensor óptico pelo sistema, já mencionado anteriormente, sugere a considerar a sensibilidade de posicionamento, com vistas a possibilitar que a câmera pare em qualquer lugar do grid, para melhores imagens das amostras.

7.5 – Objetivos do Projeto

A ideia do projeto é fundamentada na possibilidade de aplicação de inovação tecnológica, caracterizada por uso de conhecimentos de robótica, reconhecimento de padrão de imagem e lógica Fuzzy, para fins de análise de concentração de BRS, elementos críticos para decisão quanto a exploração e produção ou não de poços de petróleo.

Analisando-se de maneira macro, o aumento de produtividade, qualidade e autonomia dos processos operacionais são temas em destaque atualmente em todos os

setores do mercado. Ao alinhar gestão de processos com automação e tecnologia, concentra-se o foco de atenção e interesses em uma oportunidade de mercado que tende a crescer nos próximos anos: Soluções inovadoras para a otimização de processos do setor de petróleo através de automação, tecnologia e inovação. A opção pelo setor do petróleo oferece as maiores oportunidades de crescimento contínuo e consistente para o projeto, tendo em vista todas as notícias positivas referentes ao pré-sal brasileiro e aos grandes investimentos em infraestrutura e pesquisa previstos pelo setor no país. Analisando-se de forma micro, o produto proposto pelo autor se enquadra nesse nicho de oportunidade descrito anteriormente, focalizado em sua específica área de atuação. O sistema de automação para a análise da BRS contempla outro setor em grande expansão e, por isso, oferecedor de grandes oportunidades no mercado: Otimização de processo em análises laboratoriais do setor de petróleo. Esse produto é um importante composto de tecnologia, hardware, software, automação, dentre outros, tudo integrado em uma solução inovadora de otimização processual. Ao englobar diversas características, como as citadas anteriormente, essa solução se destaca frente aos métodos tradicionais utilizados atualmente pelas empresas do setor e também frente à concorrência que atua de forma local, não oferecendo uma solução de aplicação global integrada.

Por fim, cumpre salientar que, além do elevado potencial apresentado pela inovação detalhada nesta tese de doutorado, o projeto apresenta excelentes perspectivas de aproveitamento em um mercado que está em plena expansão. Para isso, o projeto procura utilizar as mais avançadas técnicas de gestão, foco em inovação e qualidade, oferecendo oportunidades para desenvolvimento de outras soluções inteligentes e criativas.

7.6 – Atuais Tecnologias Empregadas

Um dos principais motivadores para o estudo e pesquisa do projeto foi a inexistência no mercado de um produto automatizado para o caso proposto. O trabalho humano é capaz de cometer erros e gerar incertezas, o que nos leva a crer que a automatização pode funcionar para o aumento da qualidade e redução dos erros presentes. Os custos relativamente altos de instalação de sistemas robóticos seriam compensados no médio à longo prazo pela melhor qualidade, eficiência, eficácia e também pela redução da necessidade de mão-de-obra, um dos custos mais onerosos.

Os principais concorrentes desse projeto são os desenvolvedores de soluções direcionadas ao setor de petróleo, focalizadas na automação e otimização de processos, redução de custos e integração de informações. Tem duas classes de concorrentes. A primeira consiste de empresas multinacionais do setor com operações no Brasil, direcionadas a atender as demandas por soluções tecnológicas das grandes petroleiras. Dentre elas temos a Schlumberger e a Halliburton que, como principais vantagens frente a este projeto, possuem a rede de fornecedores e clientes já desenvolvida, capital para pesquisa e desenvolvimento, além de abrangência internacional. Como principal desvantagem destas empresas, estão a sua maior aversão a riscos, a maior dificuldade em desenvolver soluções personalizadas e a maior dificuldade em se adaptar às mudanças ágeis de mercado e necessidade de inovações (devido ao seu porte, hierarquização e burocratização). Para superar as vantagens desses concorrentes, pode-se começar a desenvolver parcerias locais para o desenvolvimento de tecnologia, buscar apoio de universidades, agências de fomento (CAPES, CNPQ) e órgãos financiadores do governo (FINEP, FAPERJ, etc...), criar soluções personalizadas, realizando parcerias de médio-longo prazo e desenvolvendo soluções nas áreas menos focalizadas pelos concorrentes.

A segunda classe de concorrentes constitui-se dos laboratórios associados a universidades voltados ao desenvolvimento de automação e tecnologia para o setor de petróleo. Recentemente (mais especificamente no final de 2008), a Petrobrás investiu capital para o estabelecimento de pelo menos dois pólos de automação no país. O primeiro chama-se LAUT (laboratório de Automação em Petróleo) criado junto à Universidade Federal do Rio Grande do Norte, em Natal. Esse laboratório está voltado principalmente para o desenvolvimento de tecnologia e automação para a exploração petrolífera em terra ("OnShore"). Outro centro de desenvolvimento tecnológico recém apoiado pela Petrobrás é o Centro de Excelência em Tecnologia de Aplicação em Automação Industrial (CETAI) localizado em São Paulo e associado à Universidade de São Paulo (USP). Como principais vantagens destes concorrentes, temos a credibilidade das instituições de ensino que oferecem suporte físico e científico aos mesmos, incluindo recursos humanos qualificados, visibilidade, acesso a fontes de financiamento governamental, dentre outros. As principais desvantagens destes concorrentes se referem aos mesmos abordarem apenas a fase de pesquisa e desenvolvimento dos projetos, não entrando na parte de produção, comercial, análise de mercado, dentre outros. Em outras palavras, esses concorrentes não desenvolvem a parte corporativa do negócio, restringindo-se às atividades ligadas a P&D. Como consequência, surgem as dificuldades destes centros em transformar em resultados as tecnologias desenvolvidas pelos mesmos, comercializando os produtos, planejando sua inserção no mercado, dentre outros. Para superar as vantagens destes concorrentes, diferencia-se justamente em suas desvantagens competitivas. Assim, se fortalece o setor comercial, de planejamento, de análise do mercado, produção, dentre outros para que, além de realizar a pesquisa e desenvolvimento de soluções inovadoras, se tenha as competências necessárias para transformá-las em resultados concretos.

Com relação ao setor de petróleo, temos projeções bastante positivas para os mercados brasileiro e mundial nas próximas décadas. Falando especificamente do Brasil, o megacampo do petróleo e gás de Tupi, descoberto pela Petrobrás na Bacia de Santos, provocou uma mudança estrutural na indústria brasileira. Um cálculo preliminar do Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) indica que a capacidade da indústria fornecedora do setor terá de aumentar duas vezes e meia para atender à expansão do setor entre 2013 e 2025. Em 2008, a Agência Nacional de Petróleo divulgou que a Petrobrás teria descoberto o terceiro maior campo de petróleo do mundo, chamado Carioca, ou BM-S-9. Segundo o diretor-geral da ANP, Haroldo Lima, o bloco BM-S-9 seria cinco vezes maior que o megacampo de Tupi, com reservas em torno de 33 bilhões de boe (barris de óleo equivalente), representando a maior descoberta no mundo nos últimos 30 anos no setor. A camada pré-sal brasileira, apesar de ainda não se possuir dados mais concretos sobre seus volumes, é considerada um marco para o setor de petróleo brasileiro e mundial, representando enorme oportunidade para todos os envolvidos no setor, inclusive neste projeto. Neste cenário, além da Petrobrás, diversas outras empresas petrolíferas privadas estão fortalecendo suas operações no país, investindo em infraestrutura, capital humano e montando sua rede de fornecedores especializados. Como exemplos, temos a Schlumberger (especializada no desenvolvimento de inovações tecnológicas para a área de petróleo/gás e prospecção geofísica) e a FMC Technologies (fabricante há 30 anos de diversos equipamentos para sistemas submarinos de produção de óleo e gás em águas profundas) que já se instalaram com suas novas unidades operacionais no Parque Tecnológico do Rio (UFRJ - Ilha do Fundão). Fica evidente o efeito de rede que estas e outras iniciativas em conjunto com a Petrobrás e o Parque Tecnológico do Rio causarão no setor de desenvolvimento

tecnológico do país, principalmente no estado do Rio de Janeiro, beneficiando o surgimento de novos empreendimentos tecnológicos do setor de petróleo.

Concentrando-se mais especificamente sobre o mercado de automação aplicada ao setor de petróleo, a Petrobrás recentemente investiu capital no desenvolvimento do LAUT (Laboratório de Automação em Petróleo) em parceria com a UFRN, especializado em automação para o setor "on-shore". Além disso, deu suporte recentemente para a construção e aparelhagem do Centro de Excelência em Tecnologia de Aplicação em Automação Industrial (Cetai) em parceria com a USP.

Há pouco tempo, em estudo de 2009 realizado pela consultoria Económica, a Petrobrás se destacou como a maior empresa em vendas da América Latina e a terceira maior das Américas. O ranking das 10 maiores empresas das Américas apresenta 3 empresas do setor de petróleo: Exxon Mobil (primeiro lugar), Petrobrás (terceiro lugar) e Texaco/Chevron (sétimo lugar), o que indica que este setor possui ainda enorme potencial de evolução, sendo um interessante mercado para as novas empresas de tecnologia e automação.

● **Oportunidades**

O desafio tecnológico do pré-sal brasileiro implica grandes oportunidades para empresas desenvolverem inovações destinadas a otimizar processos laboratoriais e de produção de petróleo. Muitos recursos estão previstos para o apoio a empresas do setor que desenvolvam tecnologias inovadoras e otimizem processos de trabalho. Outra linha de oportunidades se refere aos recentes investimentos realizados pela Petrobrás em pólos de desenvolvimento tecnológico em automação para o setor de petróleo.

● Ameaças

A recente crise econômica do Brasil, a crise Subprime, o desaquecimento da economia global e consequente redução do consumo de combustível como potenciais redutores do preço do barril de petróleo apresentam-se como ameaças, inviabilizando e postergando momentaneamente os grandes investimentos previstos para a exploração do pré-sal brasileiro.

7.7 – Modelo já existente de quantificação de BRS

O processo NMP (Número Mais Provável), destinado à quantificação da bactéria, além de ser altamente impreciso e com grandes incertezas associadas da tabela de quantificação, é hoje realizado inteiramente por humanos, que precisam preparar manualmente os tubos com materiais provenientes de diferentes tanques de navios e oleodutos, identificá-los com etiquetas, arrumá-los na estufa a 30 graus Celsius e diariamente comparar a coloração de cada tubo com uma graduação de cor padrão. Esse processo é moroso, sujeito a falha humana na determinação da cor exata (por causa de diferenças individuais de percepção) e até possíveis acidentes com a queda dos tubos. Para piorar, os relatórios estatísticos são confeccionados apenas após 28 dias de incubação pelos pesquisadores, retardando o acesso às informações e a tomada de decisão por parte dos responsáveis pela análise. É importante salientar que os 28 dias são necessários para a completa incubação das bactérias, a automação não mudará isto, porém a tendência das concentrações de BRS, através das cores, são o suficiente para o objetivo do projeto de pesquisa.

8. Resultados da Inovação

O projeto de pesquisa oferece simultaneamente inovações de produtos e processos, tornando-se diferenciado em um mercado cada vez mais direcionado a busca por inovações tecnológicas relevantes. A proposta de valor agregado do projeto se baseia em oferecer soluções inovadoras e integradas que visem reduzir custos de produção ou de distribuição, melhorar a qualidade de processos, integrar a comunicação ou ainda produzir ou distribuir produtos significativamente melhorados. Como suporte ao desenvolvimento de novas metodologias de trabalho, baseados na busca contínua pelo aumento da eficiência e eficácia de processos, este projeto inovador fará com que a estufa robótica personalizada integrada ao sistema de informação participe da totalidade ou parte dos processos problemáticos, eliminando atividades que não agreguem valor, aumentando a produtividade e diminuindo potenciais riscos de acidente, contaminação ou avarias nos produtos analisados e transformados. Um importante diferencial do projeto quanto ao mercado se refere à aliança em uma mesma área de conhecimentos relacionados à alta tecnologia e conhecimentos relacionados à engenharia de produção, processos e gestão. Esse viés em gestão traz ao projeto uma visão de Qualidade na gestão por processos, clientes, pessoas e, principalmente, gestão estratégica da corporação. Essa característica multidisciplinar nos dá base para desenvolver competências relacionadas a "*know why*" simultaneamente a "*know how*", ou seja, desenvolver uma orientação voltada ao mercado (foco no cliente e nas suas necessidades) ao invés de uma orientação voltada ao produto (muito comum atualmente nos competidores e, na opinião de diversos profissionais de renome, ultrapassada).

Falando especificamente do produto, todas as soluções criadas no trabalho estarão ajustadas a conceitos de projeto dos produtos, ergonomia, custos, design econômico, otimização da produção, de forma que consiga produzi-las em larga escala para

atendermos a demanda de mercado. Além disso, serão adotados os preceitos de "Produção Verde" no produto desenvolvido e fabricado pelo projeto, desde a seleção de materiais dos mesmos, métodos de produção, recolhimento junto a clientes e reaproveitamento/reciclagem. Acredita-se que, mais do que ser uma valiosa vantagem competitiva frente a concorrentes, é dever desenvolver um projeto limpo e acima de tudo sustentável. Esta postura diferenciada focada na criação constante de inovações, respeito ao meio ambiente e no *mix* complementar de competências do autor e orientador em tecnologia e gestão representam o grande diferencial competitivo do projeto de pesquisa.

No caso da inovação desenvolvida pelo projeto, temos uma inovação de processo (otimização qualitativa da análise de coloração das concentrações das bactérias BRS e o óleo nos poços de petróleo através de lógica fuzzy). O sistema robótico de otimização da análise da bactéria BRS apresenta, de forma exclusiva no mercado, uma proposta de automação, integração de informações e disponibilização das mesmas de forma online para os gestores da operação. Afirma-se que, pelo caráter inovador das soluções e pela alta demanda atual, de projetos que envolvam “algo novo” como: a análise qualitativa da concentração pela coloração da bactéria BRS e o óleo nos poços de petróleo (causadora de grandes prejuízos relacionados à corrosão, contaminação de mares, envenenamento e perigo de explosão), a solução apresenta elevado potencial de mercado, representando importante diferencial competitivo do projeto frente a outros concorrentes.

9. Conclusão

A percepção da inovação de trazer a lógica fuzzy para analisar a coloração dos óleos com as bactérias BRS foi altamente produtiva, pois com os Inputs, fuzzyficação, regras e conjuntos fuzzy e defuzzyficação do sistema de inferência fuzzy (FIS) aumentou a precisão da análise de cores, podendo gerar relatórios mais precisos sobre a concentração de BRS nos poços analisados.

O Sistema de Automação para a análise qualitativa da concentração pela coloração da bactéria BRS e o óleo nos poços de petróleo foi desenvolvido para atender empresas de exploração e produção de petróleo "OffShore", que necessitam controlar o teor de concentração BRS em seus poços e tanques de forma a combater riscos de corrosão, intoxicação e explosão.

Atualmente temos no Brasil, mais especificamente no Rio de Janeiro, a empresa de petróleo mais desenvolvida mundialmente em tecnologias de exploração para águas profundas: a Petrobrás. Além desta, temos outras multinacionais do setor atuantes na área de exploração no Brasil: Shell, Exxon, Devon (americana), British Gas, Móbil, Petrogal, Repsol, todas associadas à Petrobrás. Para completar, temos novas empresas sendo formadas recentemente em nosso país (sede no Rio de Janeiro) para atuar especificamente no setor. Com a projeção de exploração do pré-sal brasileiro, a demanda por embarcações e plataformas sofrerá nos próximos anos um acréscimo muito grande no Brasil. Conseqüentemente, a demanda por tecnologia e inovação destinada a otimizar as atividades neste tipo de ambiente se elevará. Ainda nesse sentido, com a intensificação das atividades offshore no país, consolidando-nos como uns dos maiores produtores de petróleo offshore do mundo, elevará a demanda por tecnologias de otimização laboratorial para análises químicas e biológicas operacionais, como o Sistema de Automação para análise de BRS.

Neste cenário de demanda crescente por tecnologia e inovações especificamente para o setor de petróleo Brasileiro, o projeto de pesquisa se propõe a atender de forma diferenciada e qualificada as exigências desse mercado em ebulição, com soluções criativas e de qualidade, baseadas no binômio gestão e automação.

Outro mercado consumidor potencial para esse produto são os grandes players mundiais do setor, que poderão adotar soluções desenvolvidas pelo projeto em suas operações fora do Brasil.

10. Trabalhos Futuros

Essa tese de doutorado consiste em um sistema de inferência fuzzy aplicado em reconhecimento de imagem que funciona através da criação e implementação de equações e funções de lógica fuzzy para permitir as operações precisas de imagens que necessitamos.

Ideias para trabalhos futuros seriam construir e testar protótipos em laboratório e "*in loco*" de forma a minimizar custos e trazer o máximo de retorno aos clientes. Por fim, produzir em escala o produto de forma a atender a demanda de mercado.

O projeto poderia viabilizar uma consultoria de mercado e esta detalharia as oportunidades existentes atualmente no setor de automação e inovação em petróleo, desenvolvendo plano de marketing (mapeamento do mercado e estratégias de lançamento dos produtos);

Quanto a consultoria em gestão, duas são as áreas que se desenvolvem com estes recursos. A primeira diz respeito à propriedade intelectual, através da qual contrata-se consultoria jurídica especializada em marcas e patentes de forma a desenvolver framework jurídico para o projeto de pesquisa. Estipula-se com o auxílio de analistas e advogados o modelo de proteção à propriedade intelectual do projeto, além dos modelos de contrato que nortearão a relação do projeto com seus interessados: Clientes, parceiros e fornecedores. A segunda diz respeito à consultoria especializada em gestão da inovação que ajudará a modelar/padronizar o processo de inovação contínua dentro do projeto (empresa).

O apoio concedido por empresas interessadas no projeto será fundamental para o *start-up* do projeto, já que esse capital servirá para remunerar os sócios durante pelo menos um ano de forma que não se precisa desenvolver atividades paralelas destinadas a complementar a renda mensal. Além disso, possibilitará a contratação de consultorias de

mercado, jurídica e inovação, fundamentais para um crescimento tecnológico sólido e contínuo. Desta forma, acredita-se que se aproveite todo eventual capital investido neste projeto, transformando-o em resultados e multiplicando o valor de cada centavo investido.

A expansão da automação no processo de análise de BRS também seria interessante, porque fornece margem a outros ramos na indústria petroquímica que poderiam ser estudados e neles aplicados métodos semelhantes de análise, com forte uso de reconhecimento de imagem, redes neurais, robótica, Lógica Fuzzy e outra ferramenta dentro do *Fuzzy Logical ToolBox* que é o *Simulink*.

Outras áreas de aplicação seriam em química e biologia com diferentes colorações para análises de diferentes bactérias ou substâncias que necessitam ser avaliadas através da cor.

Na Inteligência Artificial (IA), que um dos ramos é a própria Lógica Fuzzy, temos como aplicar diferentes programações e diferentes *Layout* de configuração da garra (Efetuador), como por exemplo um braço robótico para colocar e manipular os óleos nas amostras.

11. Referências:

- [1] *Nottebom, T. Container shipping and ports: An overview. Review of Network Economics, 2004.* Os limites do preço petróleo - 2016
<http://www.ipea.gov.br/desafiosdodesenvolvimento>
- [2] *OPEP, About Us, Brief History* [em linha].
- [3] Filipe de Barros (20 de abril de 2009). **Teoria orgânica da formação do petróleo.** Página visitada em 22 de dezembro de 2012.
- [4] **Cepa. A origem do petróleo.** Página visitada em 22 de dezembro de 2012.
- [5] **A origem inorgânica do petróleo.** Página visitada em 22 de dezembro de 2012.
- [6] **Cursos da área de Petróleo e Gás na UnP ajudam no desenvolvimento do Estado.** Universidade Potiguar (14/09/2011). Página visitada em 19/09/2011.
- [7] <http://www.clickmacae.com.br/?sec=368&pag=pagina&cod=210>
- [8] Almeida Leão, Bruna – **Agentes Inibidores da Atividade Metabólica e do Processo de adesão de Desulfotomaculum nigrificans Em Superfície de Aço inoxidável.** Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2009.
- [9] <http://congressos.ifal.edu.br/index.php/connepi/CONNAPI2010/paper/viewFile/1357/910>.
- [10] <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes23/X-006.pdf> (Modificado).
Bissa Lima, Wagner; Franci Gonçalves, Ricardo; Túlio Alves Cassini, Sérgio.
Desenvolvimento de Sistema de Detecção de Bactérias Redutoras de Sulfato (BRS) Para Controle de Biocorrosão.

- [11] **Robotics (em inglês)**. *Oxford University*. Oxford Dictionaries. Página visitada em 23 de agosto de 2012.
- [12] Zunt, Dominik. **Who did actually invent the word "robot" and what does it mean?**. The Karel Čapek website. Página visitada em 2010-03-08.
- [13] Nof, Shimon Y. (editor) (1999). **Handbook of Industrial Robotics, 2nd ed.** John Wiley & Sons. 1378 pp. ISBN 0-471-17783-0. A comprehensive reference on the categories and applications of industrial robotics.
- [14] [GOM94] www.din.uem.br/ia/robotica/biblio.htm.
- [15] http://pensador.uol.com.br/autor/bertrand_russell.
- [16] W. Pedrycz and F. Gomide; **“Fuzzy Systems Engineering : Toward Human-Centric Computing”**; Wiley/IEEE Press, 2007 ; ISBN 978-0-471-78857-7.
- [17] C. J. Harris, C. G. Moore & M. Brown; **“Intelligent control : Aspects of Fuzzy Logic and Neural Nets”**; World Scientific, 1993; ISBN 981-02-1042-6.
- [18] Kosko, Bart; **“Neural networks and fuzzy systems: a dynamical systems approach to machine intelligence”**; Prentice-Hall International, 1992; ISBN 0-13-612334-1.
- [19] Earl Cox; **“The Fuzzy Systems Handbook : a Practitioner's Guide to Building, Using and Maintaining Fuzzy Systems”**; Professional, 1994 ; ISBN 0-12-194270-8.
- [20] **Fundamentals of Image Processing** por Ian T. Young, Jan J. Gerbrands, Lucas J. Van Vliet, Paperback, ISBN 90-75691-01-7 (1995).
- [21] C.M. van der Walt e E. Barnard. **Data characteristics that determine classifier performance. Proceedings of the Sixteenth Annual Symposium of the Pattern Recognition Association of South Africa**: [s.n.], 2006. 160-165 p. ISBN 34523432.

- [22] <http://computacaografica.ic.uff.br/transparenciasvol2cap6.pdf>.
- [23] <http://www.occ.treas.gov/handbook/mis.pdf>.
- [24] O'BRIEN, J. *Management Information Systems – Managing Information Technology in the Internetworked Enterprise*. Boston: Irwin McGraw-Hill, 1999. ISBN 0071123733.
- [25] KOTLER, Philip; Keller, Kevin Lane. *Marketing Management*. 12 ed. [S.l.]: Pearson Education, 2006.
- [26] *A Survey of Fuzzy Clustering Algorithms for Pattern Recognition - Part I*, de Andrea Baraldi and Palma Blonda, *Member, IEEE*, 1999.
- [27] *A Survey of Fuzzy Clustering Algorithms for Pattern Recognition—Part II*, de Andrea Baraldi and Palma Blonda, *Member, IEEE*, 1999.
- [28] *A Fuzzy Neural Network and its Application to Pattern Recognition*, de Hon Keung Kwan, *Senior Member, IEEE* and Yaling Cai, *Student Member, IEEE*. 1994.
- [29] *Uncertainty, fuzzy logic, and signal processing*, de Jerry M. Mendel. *Signal and Image Processing Institute, Department of Electrical Engineering Systems, University of Southern California, Los Angeles, CA 90089-2564, USA, Received 30 April 1999; received in revised form 15 November 1999*.
- [30] *Fuzzy Systems in Instrumentation: Fuzzy Signal Processing*, de Fabrizio Russo, D.E.E.I. - *University of Trieste* & +39-40-6763015 FAX: +39-40-6763460-Email: rusfiib@univ.trieste.it, Via A. Valerio 10, Trieste, 1-34127, ITALY. 1995.
- [31] *Automatic generation of rules for a fuzzy robotic controller*, de G. Castellano, G. Attolico, E. Stella, A. Distante, Istituto Elaborazione Segnali ed Immagini - C.N.R., Via

Amendola, 166/5 - 70126 Bari – ITALY, Phone (39) 80-5481969 /Fax (39) 80-5484311, att olico@iesi.b a. cnr .i t, Proc. IROS 96 0-7803-3213-X/96. *IEEE*.1996.

[32] *The uses of fuzzy logic in autonomous robot navigation*, de A. Saffiotti. 1997.

[33] *A Novel Approach to Robot Control Using Fuzzy Logic*, de Ashok Nedungadi, Dennis J. Wenzel. Robotics & Automation Department, Southwest Research Institute, 6220 Culebra Road, San Antonio, TX 78228-0510. 1991.

[34] **Detecção de Faces Humanas em Imagens Digitais: Um Algoritmo Baseado em Lógica Nebulosa (Fuzzy)**, de Andréia Vieira do Nascimento e Adilson Gonzaga. Laboratório de Visão Computacional – LAVI, Departamento de Engenharia Elétrica – SEL Universidade de São Paulo – USP.

[35] *Biogenic Production of Sulfides in Water-Oil Samples and Its Correlation With the Deterioration of Storage Tanks - 2012*, de Cortás, L.C.; Carreira, M. V.; Costa, A.C.A. Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Programa de Pós-Graduação em Química, Rio de Janeiro, Brazil. E Departamento de Tecnologia de Processos Bioquímicos, Laboratório de Bioprocessos, Rio de Janeiro, Brazil.

[36] *A Novel Approach to Detect Sulphate-Reducing Bacteria – Main Contributor of Microbiologically Influenced Corrosion - 2015*, de Earn Tzeh Tan e Zaini Abdul Halim.

[37] *Fuzzy Sensor for the Perception Color - 2007*, de Eric Benoit; Laurent Foulloy; Sylvie Galichet; Gilles Mauris.

[38] *Dynamic Color Object Recognition Using Fuzzy Logic - 2003*, de Napoleon H. Reyes e Elmer P. Dadios.

[39] **Bactéria Redutora de Sulfato: Bioprocessos e Medidas de Controle**, de Erisvaldo Bitencourt de Jesus, 2011.

- [40] **Aplicando Lógica Fuzzy no Controle de Robôs Móveis Usando Dispositivos Lógicos Programáveis e a Linguagem VHDL** - 2013, de Maycon Mariano Nogueira.
- [41] **Corrosão: Colunas de Perfuração de Poços de Petróleo**, Jéssica Souza Moura, Mickael D. F. da Silva, Pedro Paulo O. P. de Miranda, Thainara P. S. Ferro, Jaceguai S. da Silva e Givanildo S. da Silva, 2015.
- [42] **Estudo de Sequestrantes de H₂S para Sistemas de Produção de Óleo e Gás**, Vanessa Moura de Souza, 2011.
- [43] **Microbiologia do Petróleo: Acidulação Biogênica de um Campo de Produção**, Diogo Grosso de Souza, 2017.
- [44] **O Sulfeto de Hidrogênio (H₂S) e o Meio Ambiente**, Fernando B. Mainier e Eliana Delaidi Monteiro Viola, 2005.
- [45] **Análise da Metodologia de Cálculo do Preço Mínimo das Correntes de Petróleo no Brasil**, Jeferson de Souza Cunha, 2013.
- [46] **Avaliação da Biogênese de Sulfeto Sob Diferentes Concentrações de Bactérias Redutoras de Nitrato, Bactérias redutoras de Sulfato e Nitrato**, Kally Alves de Sousa, 2009.
- [47] *Bacteriological Analytical Manual Online, 2001*
- [48] **Lógica Fuzzy: Conceitos e aplicações**. Alessandro Assi Marro, Alyson Matheus de Carvalho Souza, Everton R. de Sousa Cavalcante, Giuliana Silva Bezerra, Rômulo de Oliveira Nunes. Departamento de Informática e Matemática Aplicada (DIMAp) Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) Natal – RN – Brasil.
- [49] https://pt.wikipedia.org/wiki/Grau_API
- [50] **Materiais e Métodos**. https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/12465/12465_5.PDF.

[51] **O Petróleo e seu Teor de Enxofre**

<https://newscentercursos.files.wordpress.com/2009/12/texto-da-aula-3-partes-1-e-2.pdf>

[52] **Estudo da Correlação do Teor de Enxofre com Parâmetros de Caracterização**

de Petróleos de uma Bacia Sedimentar da Costa Brasileira. Ketlin Recla Cancian¹

(IC), Paulo R. Filgueiras (IC), Cristina M. S. Sad (PQ), Maristela de Araújo Vicente (PQ),

Milton K. Morigaki (PQ) Eustáquio V. R. Castro (PQ). * ket_jolie@yahoo.com.br

Universidade Federal do Espírito Santo, Departamento de Química, Laboratório de

Pesquisa e Desenvolvimento de Metodologias para a Análises de Petróleos, Av. Fernando

Ferrari s/n, Goiabeiras, Vitória-ES, CEP:29060-900.

12. APÊNDICE I

CÓDIGO DE PROGRAMAÇÃO DO SISTEMA ESPECIALISTA FUZZY NO PROGRAMA MATLAB

I.1 - Código MATLAB (Toolbox Fuzzy)

```
[System]

name: 'Tese Junior'
Type: 'Mamdani'
Version: 2.0
NumInputs: 4
NumOutputs: 1
NumRules: 256
AndMethod='min'
ImpMethod='min'
AggMethod='max'
DefuzzMethod='centroid'

[Input1]
Name='Grau API'
Range=[0 40]
NumMFs=4
MF1='ExtraPesado':'trapmf',[0 0 8 12]
MF2='Pesado':'trapmf',[8 12 20 24]
MF3='Medio':'trapmf',[20 24 28 32]
MF4='Leve':'trapmf',[28 32 40 40]

[Input2]
Name='Diluicao'
Range=[0 0.4]
NumMFs=4
MF1='Muito Baixa':'trapmf',[0 0 0.1 0.15]
MF2='Baixa':'trapmf',[0.1 0.15 0.2 0.25]
MF3='Moderada':'trapmf',[0.2 0.25 0.3 0.35]
MF4='Alta':'trapmf',[0.3 0.35 0.4 0.4]

[Input3]
Name='Teor Enxofre'
Range=[0 1]
NumMFs=4
MF1='Muito Doce':'trapmf',[0 0 0.3 0.35]
MF2='Doce':'trapmf',[0.3 0.35 0.45 0.55]
MF3='Acido':'trapmf',[0.45 0.55 0.65 0.7]
MF4='Muito Acido':'trapmf',[0.65 0.7 1 1]

[Input4]
Name='PHH2S'
Range=[0 14]
NumMFs=4
MF1='Muito Acido':'trapmf',[0 0 3 5]
MF2='Acido':'trapmf',[3 5 6 8]
```

```
MF3='Basico':'trapmf',[6 8 9 11]
MF4='Muito Basico':'trapmf',[9 11 14 14]
```

```
[Output1]
Name='Coloracao'
Range=[0 100]
NumMFs=4
MF1='Rosa':'trapmf',[0 0 25 30]
MF2='Transparente':'trapmf',[25 30 50 55]
MF3='Cinza':'trapmf',[50 55 75 80]
MF4='Preta':'trapmf',[75 80 100 100]
```

```
[Rules]
1 1 1 1 4 (1) : 1
1 1 1 2 4 (1) : 1
1 1 1 3 4 (1) : 1
1 1 1 4 4 (1) : 1
1 1 2 1 4 (1) : 1
1 1 2 2 4 (1) : 1
1 1 2 3 4 (1) : 1
1 1 2 4 4 (1) : 1
1 1 3 1 4 (1) : 1
1 1 3 2 4 (1) : 1
1 1 3 3 4 (1) : 1
1 1 3 4 4 (1) : 1
1 1 4 1 4 (1) : 1
1 1 4 2 4 (1) : 1
1 1 4 3 4 (1) : 1
1 1 4 4 4 (1) : 1
1 2 1 1 4 (1) : 1
1 2 1 2 4 (1) : 1
1 2 1 3 4 (1) : 1
1 2 1 4 4 (1) : 1
1 2 2 1 4 (1) : 1
1 2 2 2 4 (1) : 1
1 2 2 3 4 (1) : 1
1 2 2 4 4 (1) : 1
1 2 3 1 4 (1) : 1
1 2 3 2 4 (1) : 1
1 2 3 3 4 (1) : 1
1 2 3 4 4 (1) : 1
1 2 4 1 4 (1) : 1
1 2 4 2 4 (1) : 1
1 2 4 3 4 (1) : 1
1 2 4 4 4 (1) : 1
1 3 1 1 4 (1) : 1
1 3 1 2 4 (1) : 1
1 3 1 3 4 (1) : 1
1 3 1 4 4 (1) : 1
1 3 2 1 4 (1) : 1
1 3 2 2 4 (1) : 1
1 3 2 3 4 (1) : 1
1 3 2 4 4 (1) : 1
1 3 3 1 4 (1) : 1
1 3 3 2 4 (1) : 1
1 3 3 3 4 (1) : 1
1 3 3 4 4 (1) : 1
1 3 4 1 4 (1) : 1
1 3 4 2 4 (1) : 1
1 3 4 3 4 (1) : 1
1 3 4 4 4 (1) : 1
```

1 4 1 1 4 (1) : 1
1 4 1 2 4 (1) : 1
1 4 1 3 4 (1) : 1
1 4 1 4 4 (1) : 1
1 4 2 1 4 (1) : 1
1 4 2 2 4 (1) : 1
1 4 2 3 4 (1) : 1
1 4 2 4 4 (1) : 1
1 4 3 1 4 (1) : 1
1 4 3 2 4 (1) : 1
1 4 3 3 4 (1) : 1
1 4 3 4 4 (1) : 1
1 4 4 1 4 (1) : 1
1 4 4 2 4 (1) : 1
1 4 4 3 4 (1) : 1
1 4 4 4 4 (1) : 1
2 1 1 1 3 (1) : 1
2 1 1 2 3 (1) : 1
2 1 1 3 3 (1) : 1
2 1 1 4 3 (1) : 1
2 1 2 1 3 (1) : 1
2 1 2 2 3 (1) : 1
2 1 2 3 3 (1) : 1
2 1 2 4 3 (1) : 1
2 1 3 1 3 (1) : 1
2 1 3 2 3 (1) : 1
2 1 3 3 3 (1) : 1
2 1 3 4 3 (1) : 1
2 1 4 1 3 (1) : 1
2 1 4 2 3 (1) : 1
2 1 4 3 3 (1) : 1
2 1 4 4 3 (1) : 1
2 2 1 1 3 (1) : 1
2 2 1 2 3 (1) : 1
2 2 1 3 3 (1) : 1
2 2 1 4 3 (1) : 1
2 2 2 1 3 (1) : 1
2 2 2 2 3 (1) : 1
2 2 2 3 3 (1) : 1
2 2 2 4 3 (1) : 1
2 2 3 1 3 (1) : 1
2 2 3 2 3 (1) : 1
2 2 3 3 3 (1) : 1
2 2 3 4 3 (1) : 1
2 2 4 1 3 (1) : 1
2 2 4 2 3 (1) : 1
2 2 4 3 3 (1) : 1
2 2 4 4 3 (1) : 1
2 3 1 1 3 (1) : 1
2 3 1 2 3 (1) : 1
2 3 1 3 3 (1) : 1
2 3 1 4 3 (1) : 1
2 3 2 1 3 (1) : 1
2 3 2 2 3 (1) : 1
2 3 2 3 3 (1) : 1
2 3 2 4 3 (1) : 1
2 3 3 1 3 (1) : 1
2 3 3 2 3 (1) : 1
2 3 3 3 3 (1) : 1
2 3 3 4 3 (1) : 1
2 3 4 1 3 (1) : 1

2 3 4 2 3 (1) : 1
 2 3 4 3 3 (1) : 1
 2 3 4 4 3 (1) : 1
 2 4 1 1 3 (1) : 1
 2 4 1 2 3 (1) : 1
 2 4 1 3 3 (1) : 1
 2 4 1 4 3 (1) : 1
 2 4 2 1 3 (1) : 1
 2 4 2 2 3 (1) : 1
 2 4 2 3 3 (1) : 1
 2 4 2 4 3 (1) : 1
 2 4 3 1 3 (1) : 1
 2 4 3 2 3 (1) : 1
 2 4 3 3 3 (1) : 1
 2 4 3 4 3 (1) : 1
 2 4 4 1 3 (1) : 1
 2 4 4 2 3 (1) : 1
 2 4 4 3 3 (1) : 1
 2 4 4 4 3 (1) : 1
 3 1 1 1 2 (1) : 1
 3 1 1 2 2 (1) : 1
 3 1 1 3 2 (1) : 1
 3 1 1 4 2 (1) : 1
 3 1 2 1 2 (1) : 1
 3 1 2 2 2 (1) : 1
 3 1 2 3 2 (1) : 1
 3 1 2 4 2 (1) : 1
 3 1 3 1 2 (1) : 1
 3 1 3 2 2 (1) : 1
 3 1 3 3 2 (1) : 1
 3 1 3 4 2 (1) : 1
 3 1 4 1 2 (1) : 1
 3 1 4 2 2 (1) : 1
 3 1 4 3 2 (1) : 1
 3 1 4 4 2 (1) : 1
 3 2 1 1 2 (1) : 1
 3 2 1 2 2 (1) : 1
 3 2 1 3 2 (1) : 1
 3 2 1 4 2 (1) : 1
 3 2 2 1 2 (1) : 1
 3 2 2 2 2 (1) : 1
 3 2 2 3 2 (1) : 1
 3 2 2 4 2 (1) : 1
 3 2 3 1 2 (1) : 1
 3 2 3 2 2 (1) : 1
 3 2 3 3 2 (1) : 1
 3 2 3 4 2 (1) : 1
 3 2 4 1 2 (1) : 1
 3 2 4 2 2 (1) : 1
 3 2 4 3 2 (1) : 1
 3 2 4 4 2 (1) : 1
 3 3 1 1 2 (1) : 1
 3 3 1 2 2 (1) : 1
 3 3 1 3 2 (1) : 1
 3 3 1 4 2 (1) : 1
 3 3 2 1 2 (1) : 1
 3 3 2 2 2 (1) : 1
 3 3 2 3 2 (1) : 1
 3 3 2 4 2 (1) : 1
 3 3 3 1 2 (1) : 1
 3 3 3 2 2 (1) : 1

3 3 3 3 2 (1) : 1
 3 3 3 4 2 (1) : 1
 3 3 4 1 2 (1) : 1
 3 3 4 2 2 (1) : 1
 3 3 4 3 2 (1) : 1
 3 3 4 4 2 (1) : 1
 3 4 1 1 2 (1) : 1
 3 4 1 2 2 (1) : 1
 3 4 1 3 2 (1) : 1
 3 4 1 4 2 (1) : 1
 3 4 2 1 2 (1) : 1
 3 4 2 2 2 (1) : 1
 3 4 2 3 2 (1) : 1
 3 4 2 4 2 (1) : 1
 3 4 3 1 2 (1) : 1
 3 4 3 2 2 (1) : 1
 3 4 3 3 2 (1) : 1
 3 4 3 4 2 (1) : 1
 3 4 4 1 2 (1) : 1
 3 4 4 2 2 (1) : 1
 3 4 4 3 2 (1) : 1
 3 4 4 4 2 (1) : 1
 4 1 1 1 1 (1) : 1
 4 1 1 2 1 (1) : 1
 4 1 1 3 1 (1) : 1
 4 1 1 4 1 (1) : 1
 4 1 2 1 1 (1) : 1
 4 1 2 2 1 (1) : 1
 4 1 2 3 1 (1) : 1
 4 1 2 4 1 (1) : 1
 4 1 3 1 1 (1) : 1
 4 1 3 2 1 (1) : 1
 4 1 3 3 1 (1) : 1
 4 1 3 4 1 (1) : 1
 4 1 4 1 1 (1) : 1
 4 1 4 2 1 (1) : 1
 4 1 4 3 1 (1) : 1
 4 1 4 4 1 (1) : 1
 4 2 1 1 1 (1) : 1
 4 2 1 2 1 (1) : 1
 4 2 1 3 1 (1) : 1
 4 2 1 4 1 (1) : 1
 4 2 2 1 1 (1) : 1
 4 2 2 2 1 (1) : 1
 4 2 2 3 1 (1) : 1
 4 2 2 4 1 (1) : 1
 4 2 3 1 1 (1) : 1
 4 2 3 2 1 (1) : 1
 4 2 3 3 1 (1) : 1
 4 2 3 4 1 (1) : 1
 4 2 4 1 1 (1) : 1
 4 2 4 2 1 (1) : 1
 4 2 4 3 1 (1) : 1
 4 2 4 4 1 (1) : 1
 4 3 1 1 1 (1) : 1
 4 3 1 2 1 (1) : 1
 4 3 1 3 1 (1) : 1
 4 3 1 4 1 (1) : 1
 4 3 2 1 1 (1) : 1
 4 3 2 2 1 (1) : 1
 4 3 2 3 1 (1) : 1

4 3 2 4 1 (1) : 1
4 3 3 1 1 (1) : 1
4 3 3 2 1 (1) : 1
4 3 3 3 1 (1) : 1
4 3 3 4 1 (1) : 1
4 3 4 1 1 (1) : 1
4 3 4 2 1 (1) : 1
4 3 4 3 1 (1) : 1
4 3 4 4 1 (1) : 1
4 4 1 1 1 (1) : 1
4 4 1 2 1 (1) : 1
4 4 1 3 1 (1) : 1
4 4 1 4 1 (1) : 1
4 4 2 1 1 (1) : 1
4 4 2 2 1 (1) : 1
4 4 2 3 1 (1) : 1
4 4 2 4 1 (1) : 1
4 4 3 1 1 (1) : 1
4 4 3 2 1 (1) : 1
4 4 3 3 1 (1) : 1
4 4 3 4 1 (1) : 1
4 4 4 1 1 (1) : 1
4 4 4 2 1 (1) : 1
4 4 4 3 1 (1) : 1
4 4 4 4 1 (1) : 1

13. APÊNDICE II

SISTEMA INFERÊNCIA FUZZY NO PROGRAMA

EXCEL

II.1 Sentenças da Base de Regras: *Inputs* e *Outputs* do Sistema de Inferência Fuzzy

INPUTS				1	2	3	4	%	OUTPUTS
Entradas(Fatores)				Grau API	Diluição	Teor de Enxofre	PHH2S	Valores	Saídas(Coloração)
1	1	1	1	ExtraPesado	Muito Baixa	Muito Ácido	Muito Ácido	100	PRETA
1	1	1	2	ExtraPesado	Muito Baixa	Muito Ácido	Ácido	99,61	PRETA
1	1	1	3	ExtraPesado	Muito Baixa	Muito Ácido	Básico	99,22	PRETA
1	1	1	4	ExtraPesado	Muito Baixa	Muito Ácido	Muito Básico	98,83	PRETA
1	1	2	1	ExtraPesado	Muito Baixa	Ácido	Muito Ácido	98,44	PRETA
1	1	2	2	ExtraPesado	Muito Baixa	Ácido	Ácido	98,05	PRETA
1	1	2	3	ExtraPesado	Muito Baixa	Ácido	Básico	97,66	PRETA
1	1	2	4	ExtraPesado	Muito Baixa	Ácido	Muito Básico	97,27	PRETA
1	1	3	1	ExtraPesado	Muito Baixa	Doce	Muito Ácido	96,88	PRETA
1	1	3	2	ExtraPesado	Muito Baixa	Doce	Ácido	96,49	PRETA
1	1	3	3	ExtraPesado	Muito Baixa	Doce	Básico	96,1	PRETA
1	1	3	4	ExtraPesado	Muito Baixa	Doce	Muito Básico	95,71	PRETA
1	1	4	1	ExtraPesado	Muito Baixa	Muito Doce	Muito Ácido	95,32	PRETA
1	1	4	2	ExtraPesado	Muito Baixa	Muito Doce	Ácido	94,93	PRETA
1	1	4	3	ExtraPesado	Muito Baixa	Muito Doce	Básico	94,54	PRETA
1	1	4	4	ExtraPesado	Muito Baixa	Muito Doce	Muito Básico	94,15	PRETA
1	2	1	1	ExtraPesado	Baixa	Muito Ácido	Muito Ácido	93,76	PRETA
1	2	1	2	ExtraPesado	Baixa	Muito Ácido	Ácido	93,37	PRETA
1	2	1	3	ExtraPesado	Baixa	Muito Ácido	Básico	92,98	PRETA
1	2	1	4	ExtraPesado	Baixa	Muito Ácido	Muito Básico	92,59	PRETA
1	2	2	1	ExtraPesado	Baixa	Ácido	Muito Ácido	92,2	PRETA
1	2	2	2	ExtraPesado	Baixa	Ácido	Ácido	91,81	PRETA
1	2	2	3	ExtraPesado	Baixa	Ácido	Básico	91,42	PRETA
1	2	2	4	ExtraPesado	Baixa	Ácido	Muito Básico	91,03	PRETA
1	2	3	1	ExtraPesado	Baixa	Doce	Muito Ácido	90,64	PRETA
1	2	3	2	ExtraPesado	Baixa	Doce	Ácido	90,25	PRETA
1	2	3	3	ExtraPesado	Baixa	Doce	Básico	89,86	PRETA
1	2	3	4	ExtraPesado	Baixa	Doce	Muito Básico	89,47	PRETA
1	2	4	1	ExtraPesado	Baixa	Muito Doce	Muito Ácido	89	PRETA
1	2	4	2	ExtraPesado	Baixa	Muito Doce	Ácido	88,69	PRETA
1	2	4	3	ExtraPesado	Baixa	Muito Doce	Básico	88,3	PRETA
1	2	4	4	ExtraPesado	Baixa	Muito Doce	Muito Básico	87,91	PRETA
1	3	1	1	ExtraPesado	Moderada	Muito Ácido	Muito Ácido	87,52	PRETA
1	3	1	2	ExtraPesado	Moderada	Muito Ácido	Ácido	87,13	PRETA
1	3	1	3	ExtraPesado	Moderada	Muito Ácido	Básico	86,74	PRETA
1	3	1	4	ExtraPesado	Moderada	Muito Ácido	Muito Básico	86,35	PRETA
1	3	2	1	ExtraPesado	Moderada	Ácido	Muito Ácido	85,96	PRETA
1	3	2	2	ExtraPesado	Moderada	Ácido	Ácido	85,57	PRETA
1	3	2	3	ExtraPesado	Moderada	Ácido	Básico	85,18	PRETA
1	3	2	4	ExtraPesado	Moderada	Ácido	Muito Básico	84,79	PRETA
1	3	3	1	ExtraPesado	Moderada	Doce	Muito Ácido	84,4	PRETA
1	3	3	2	ExtraPesado	Moderada	Doce	Ácido	84,01	PRETA
1	3	3	3	ExtraPesado	Moderada	Doce	Básico	83,62	PRETA
1	3	3	4	ExtraPesado	Moderada	Doce	Muito Básico	83,23	PRETA
1	3	4	1	ExtraPesado	Moderada	Muito Doce	Muito Ácido	82,84	PRETA

1	3	4	2	ExtraPesado	Moderada	Muito Doce	Ácido	82,45	PRETA
1	3	4	3	ExtraPesado	Moderada	Muito Doce	Básico	82,06	PRETA
1	3	4	4	ExtraPesado	Moderada	Muito Doce	Muito Básico	81,67	PRETA
1	4	1	1	ExtraPesado	Alta	Muito Ácido	Muito Ácido	81,28	PRETA
1	4	1	2	ExtraPesado	Alta	Muito Ácido	Ácido	80,89	PRETA
1	4	1	3	ExtraPesado	Alta	Muito Ácido	Básico	80,5	PRETA
1	4	1	4	ExtraPesado	Alta	Muito Ácido	Muito Básico	80,11	PRETA
1	4	2	1	ExtraPesado	Alta	Ácido	Muito Ácido	79,72	PRETA
1	4	2	2	ExtraPesado	Alta	Ácido	Ácido	79,33	PRETA
1	4	2	3	ExtraPesado	Alta	Ácido	Básico	78,94	PRETA
1	4	2	4	ExtraPesado	Alta	Ácido	Muito Básico	78,55	PRETA
1	4	3	1	ExtraPesado	Alta	Doce	Muito Ácido	78,16	PRETA
1	4	3	2	ExtraPesado	Alta	Doce	Ácido	77,77	PRETA
1	4	3	3	ExtraPesado	Alta	Doce	Básico	77,38	PRETA
1	4	3	4	ExtraPesado	Alta	Doce	Muito Básico	76,99	PRETA
1	4	4	1	ExtraPesado	Alta	Muito Doce	Muito Ácido	76,6	PRETA
1	4	4	2	ExtraPesado	Alta	Muito Doce	Ácido	76,21	PRETA
1	4	4	3	ExtraPesado	Alta	Muito Doce	Básico	75,82	PRETA
1	4	4	4	ExtraPesado	Alta	Muito Doce	Muito Básico	75,43	PRETA
2	1	1	1	Pesado	Muito Baixa	Muito Ácido	Muito Ácido	75	CINZA
2	1	1	2	Pesado	Muito Baixa	Muito Ácido	Ácido	74,61	CINZA
2	1	1	3	Pesado	Muito Baixa	Muito Ácido	Básico	74,22	CINZA
2	1	1	4	Pesado	Muito Baixa	Muito Ácido	Muito Básico	73,83	CINZA
2	1	2	1	Pesado	Muito Baixa	Ácido	Muito Ácido	73,44	CINZA
2	1	2	2	Pesado	Muito Baixa	Ácido	Ácido	73,05	CINZA
2	1	2	3	Pesado	Muito Baixa	Ácido	Básico	72,66	CINZA
2	1	2	4	Pesado	Muito Baixa	Ácido	Muito Básico	72,27	CINZA
2	1	3	1	Pesado	Muito Baixa	Doce	Muito Ácido	71,88	CINZA
2	1	3	2	Pesado	Muito Baixa	Doce	Ácido	71,49	CINZA
2	1	3	3	Pesado	Muito Baixa	Doce	Básico	71,1	CINZA
2	1	3	4	Pesado	Muito Baixa	Doce	Muito Básico	70,71	CINZA
2	1	4	1	Pesado	Muito Baixa	Muito Doce	Muito Ácido	70,32	CINZA
2	1	4	2	Pesado	Muito Baixa	Muito Doce	Ácido	69,93	CINZA
2	1	4	3	Pesado	Muito Baixa	Muito Doce	Básico	69,54	CINZA
2	1	4	4	Pesado	Muito Baixa	Muito Doce	Muito Básico	69,15	CINZA
2	2	1	1	Pesado	Baixa	Muito Ácido	Muito Ácido	68,76	CINZA
2	2	1	2	Pesado	Baixa	Muito Ácido	Ácido	68,37	CINZA
2	2	1	3	Pesado	Baixa	Muito Ácido	Básico	67,98	CINZA
2	2	1	4	Pesado	Baixa	Muito Ácido	Muito Básico	67,59	CINZA
2	2	2	1	Pesado	Baixa	Ácido	Muito Ácido	67,2	CINZA
2	2	2	2	Pesado	Baixa	Ácido	Ácido	66,81	CINZA
2	2	2	3	Pesado	Baixa	Ácido	Básico	66,42	CINZA
2	2	2	4	Pesado	Baixa	Ácido	Muito Básico	66,03	CINZA

2	2	3	1	Pesado	Baixa	Doce	Muito Ácido	65,64	CINZA
2	2	3	2	Pesado	Baixa	Doce	Ácido	65,25	CINZA
2	2	3	3	Pesado	Baixa	Doce	Básico	65	CINZA
2	2	3	4	Pesado	Baixa	Doce	Muito Básico	64,47	CINZA
2	2	4	1	Pesado	Baixa	Muito Doce	Muito Ácido	64,08	CINZA
2	2	4	2	Pesado	Baixa	Muito Doce	Ácido	63,69	CINZA
2	2	4	3	Pesado	Baixa	Muito Doce	Básico	63,3	CINZA
2	2	4	4	Pesado	Baixa	Muito Doce	Muito Básico	62,91	CINZA
2	3	1	1	Pesado	Moderada	Muito Ácido	Muito Ácido	62,52	CINZA
2	3	1	2	Pesado	Moderada	Muito Ácido	Ácido	62,13	CINZA
2	3	1	3	Pesado	Moderada	Muito Ácido	Básico	61,74	CINZA
2	3	1	4	Pesado	Moderada	Muito Ácido	Muito Básico	61,35	CINZA
2	3	2	1	Pesado	Moderada	Ácido	Muito Ácido	60,96	CINZA
2	3	2	2	Pesado	Moderada	Ácido	Ácido	60,57	CINZA
2	3	2	3	Pesado	Moderada	Ácido	Básico	60,18	CINZA
2	3	2	4	Pesado	Moderada	Ácido	Muito Básico	59,79	CINZA
2	3	3	1	Pesado	Moderada	Doce	Muito Ácido	59,4	CINZA
2	3	3	2	Pesado	Moderada	Doce	Ácido	59,01	CINZA
2	3	3	3	Pesado	Moderada	Doce	Básico	58,62	CINZA
2	3	3	4	Pesado	Moderada	Doce	Muito Básico	58,23	CINZA
2	3	4	1	Pesado	Moderada	Muito Doce	Muito Ácido	57,84	CINZA
2	3	4	2	Pesado	Moderada	Muito Doce	Ácido	57,45	CINZA
2	3	4	3	Pesado	Moderada	Muito Doce	Básico	57,06	CINZA
2	3	4	4	Pesado	Moderada	Muito Doce	Muito Básico	56,67	CINZA
2	4	1	1	Pesado	Alta	Muito Ácido	Muito Ácido	56,28	CINZA
2	4	1	2	Pesado	Alta	Muito Ácido	Ácido	55,89	CINZA
2	4	1	3	Pesado	Alta	Muito Ácido	Básico	55,5	CINZA
2	4	1	4	Pesado	Alta	Muito Ácido	Muito Básico	55,11	CINZA
2	4	2	1	Pesado	Alta	Ácido	Muito Ácido	54,72	CINZA
2	4	2	2	Pesado	Alta	Ácido	Ácido	54,33	CINZA
2	4	2	3	Pesado	Alta	Ácido	Básico	53,94	CINZA
2	4	2	4	Pesado	Alta	Ácido	Muito Básico	53,55	CINZA
2	4	3	1	Pesado	Alta	Doce	Muito Ácido	53,16	CINZA
2	4	3	2	Pesado	Alta	Doce	Ácido	52,77	CINZA
2	4	3	3	Pesado	Alta	Doce	Básico	52,38	CINZA
2	4	3	4	Pesado	Alta	Doce	Muito Básico	51,99	CINZA
2	4	4	1	Pesado	Alta	Muito Doce	Muito Ácido	51,6	CINZA
2	4	4	2	Pesado	Alta	Muito Doce	Ácido	51,21	CINZA
2	4	4	3	Pesado	Alta	Muito Doce	Básico	50,82	CINZA
2	4	4	4	Pesado	Alta	Muito Doce	Muito Básico	50,43	CINZA
3	1	1	1	Médio	Muito Baixa	Muito Ácido	Muito Ácido	50	"TRANSPARENTE"
3	1	1	2	Médio	Muito Baixa	Muito Ácido	Ácido	49,61	"TRANSPARENTE"
3	1	1	3	Médio	Muito Baixa	Muito Ácido	Básico	49,22	"TRANSPARENTE"

3	1	1	4	Médio	Muito Baixa	Muito Ácido	Muito Básico	48,83	"TRANSPARENTE"
3	1	2	1	Médio	Muito Baixa	Ácido	Muito Ácido	48,44	"TRANSPARENTE"
3	1	2	2	Médio	Muito Baixa	Ácido	Ácido	48,05	"TRANSPARENTE"
3	1	2	3	Médio	Muito Baixa	Ácido	Básico	47,66	"TRANSPARENTE"
3	1	2	4	Médio	Muito Baixa	Ácido	Muito Básico	47,27	"TRANSPARENTE"
3	1	3	1	Médio	Muito Baixa	Doce	Muito Ácido	46,88	"TRANSPARENTE"
3	1	3	2	Médio	Muito Baixa	Doce	Ácido	46,49	"TRANSPARENTE"
3	1	3	3	Médio	Muito Baixa	Doce	Básico	46,1	"TRANSPARENTE"
3	1	3	4	Médio	Muito Baixa	Doce	Muito Básico	45,71	"TRANSPARENTE"
3	1	4	1	Médio	Muito Baixa	Muito Doce	Muito Ácido	45,32	"TRANSPARENTE"
3	1	4	2	Médio	Muito Baixa	Muito Doce	Ácido	44,93	"TRANSPARENTE"
3	1	4	3	Médio	Muito Baixa	Muito Doce	Básico	44,54	"TRANSPARENTE"
3	1	4	4	Médio	Muito Baixa	Muito Doce	Muito Básico	44,15	"TRANSPARENTE"
3	2	1	1	Médio	Baixa	Muito Ácido	Muito Ácido	43,76	"TRANSPARENTE"
3	2	1	2	Médio	Baixa	Muito Ácido	Ácido	43,37	"TRANSPARENTE"
3	2	1	3	Médio	Baixa	Muito Ácido	Básico	42,98	"TRANSPARENTE"
3	2	1	4	Médio	Baixa	Muito Ácido	Muito Básico	42,59	"TRANSPARENTE"
3	2	2	1	Médio	Baixa	Ácido	Muito Ácido	42,2	"TRANSPARENTE"
3	2	2	2	Médio	Baixa	Ácido	Ácido	41,81	"TRANSPARENTE"
3	2	2	3	Médio	Baixa	Ácido	Básico	41,42	"TRANSPARENTE"
3	2	2	4	Médio	Baixa	Ácido	Muito Básico	41,03	"TRANSPARENTE"
3	2	3	1	Médio	Baixa	Doce	Muito Ácido	40,64	"TRANSPARENTE"
3	2	3	2	Médio	Baixa	Doce	Ácido	40,25	"TRANSPARENTE"
3	2	3	3	Médio	Baixa	Doce	Básico	40	"TRANSPARENTE"
3	2	3	4	Médio	Baixa	Doce	Muito Básico	39,47	"TRANSPARENTE"
3	2	4	1	Médio	Baixa	Muito Doce	Muito Ácido	39,08	"TRANSPARENTE"
3	2	4	2	Médio	Baixa	Muito Doce	Ácido	38,69	"TRANSPARENTE"
3	2	4	3	Médio	Baixa	Muito Doce	Básico	38,3	"TRANSPARENTE"
3	2	4	4	Médio	Baixa	Muito Doce	Muito Básico	37,91	"TRANSPARENTE"
3	3	1	1	Médio	Moderada	Muito Ácido	Muito Ácido	37,52	"TRANSPARENTE"
3	3	1	2	Médio	Moderada	Muito Ácido	Ácido	37,13	"TRANSPARENTE"
3	3	1	3	Médio	Moderada	Muito Ácido	Básico	36,74	"TRANSPARENTE"
3	3	1	4	Médio	Moderada	Muito Ácido	Muito Básico	36,35	"TRANSPARENTE"
3	3	2	1	Médio	Moderada	Ácido	Muito Ácido	35,96	"TRANSPARENTE"
3	3	2	2	Médio	Moderada	Ácido	Ácido	35,57	"TRANSPARENTE"
3	3	2	3	Médio	Moderada	Ácido	Básico	35,18	"TRANSPARENTE"
3	3	2	4	Médio	Moderada	Ácido	Muito Básico	34,79	"TRANSPARENTE"
3	3	3	1	Médio	Moderada	Doce	Muito Ácido	34,4	"TRANSPARENTE"
3	3	3	2	Médio	Moderada	Doce	Ácido	34,01	"TRANSPARENTE"
3	3	3	3	Médio	Moderada	Doce	Básico	33,62	"TRANSPARENTE"
3	3	3	4	Médio	Moderada	Doce	Muito Básico	33,23	"TRANSPARENTE"
3	3	4	1	Médio	Moderada	Muito Doce	Muito Ácido	32,84	"TRANSPARENTE"
3	3	4	2	Médio	Moderada	Muito Doce	Ácido	32,45	"TRANSPARENTE"

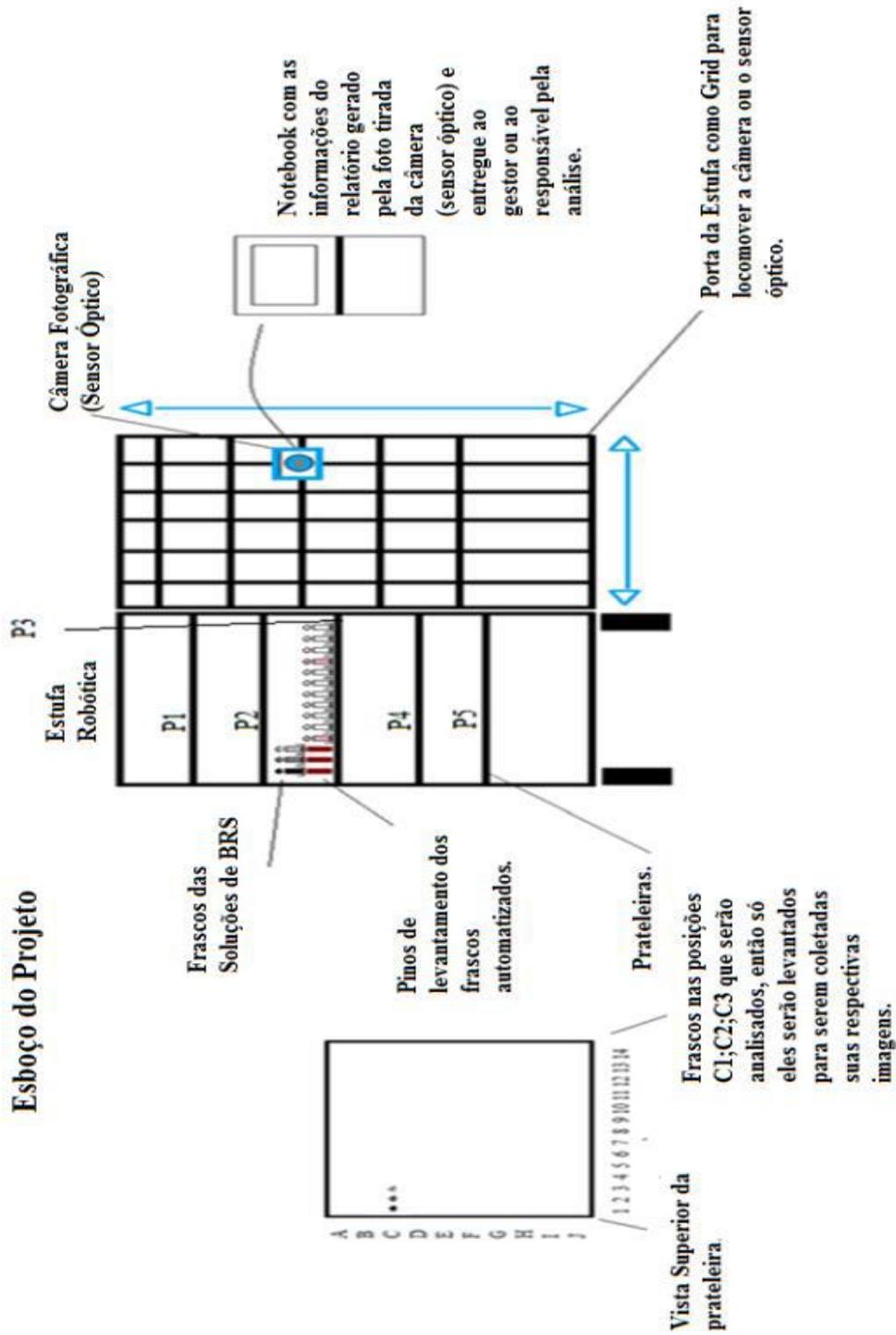
3	3	4	3	Médio	Moderada	Muito Doce	Básico	32,06	"TRANSPARENTE"
3	3	4	4	Médio	Moderada	Muito Doce	Muito Básico	31,67	"TRANSPARENTE"
3	4	1	1	Médio	Alta	Muito Ácido	Muito Ácido	31,28	"TRANSPARENTE"
3	4	1	2	Médio	Alta	Muito Ácido	Ácido	30,89	"TRANSPARENTE"
3	4	1	3	Médio	Alta	Muito Ácido	Básico	30,5	"TRANSPARENTE"
3	4	1	4	Médio	Alta	Muito Ácido	Muito Básico	30,11	"TRANSPARENTE"
3	4	2	1	Médio	Alta	Ácido	Muito Ácido	29,72	"TRANSPARENTE"
3	4	2	2	Médio	Alta	Ácido	Ácido	29,33	"TRANSPARENTE"
3	4	2	3	Médio	Alta	Ácido	Básico	28,94	"TRANSPARENTE"
3	4	2	4	Médio	Alta	Ácido	Muito Básico	28,55	"TRANSPARENTE"
3	4	3	1	Médio	Alta	Doce	Muito Ácido	28,16	"TRANSPARENTE"
3	4	3	2	Médio	Alta	Doce	Ácido	27,77	"TRANSPARENTE"
3	4	3	3	Médio	Alta	Doce	Básico	27,38	"TRANSPARENTE"
3	4	3	4	Médio	Alta	Doce	Muito Básico	26,99	"TRANSPARENTE"
3	4	4	1	Médio	Alta	Muito Doce	Muito Ácido	26,6	"TRANSPARENTE"
3	4	4	2	Médio	Alta	Muito Doce	Ácido	26,21	"TRANSPARENTE"
3	4	4	3	Médio	Alta	Muito Doce	Básico	25,82	"TRANSPARENTE"
3	4	4	4	Médio	Alta	Muito Doce	Muito Básico	25,43	"TRANSPARENTE"
4	1	1	1	Leve	Muito Baixa	Muito Ácido	Muito Ácido	25	ROSA
4	1	1	2	Leve	Muito Baixa	Muito Ácido	Ácido	24,61	ROSA
4	1	1	3	Leve	Muito Baixa	Muito Ácido	Básico	24,22	ROSA
4	1	1	4	Leve	Muito Baixa	Muito Ácido	Muito Básico	23,83	ROSA
4	1	2	1	Leve	Muito Baixa	Ácido	Muito Ácido	23,44	ROSA
4	1	2	2	Leve	Muito Baixa	Ácido	Ácido	23,05	ROSA
4	1	2	3	Leve	Muito Baixa	Ácido	Básico	22,66	ROSA
4	1	2	4	Leve	Muito Baixa	Ácido	Muito Básico	22,27	ROSA
4	1	3	1	Leve	Muito Baixa	Doce	Muito Ácido	21,88	ROSA
4	1	3	2	Leve	Muito Baixa	Doce	Ácido	21,49	ROSA
4	1	3	3	Leve	Muito Baixa	Doce	Básico	21,1	ROSA
4	1	3	4	Leve	Muito Baixa	Doce	Muito Básico	20,71	ROSA
4	1	4	1	Leve	Muito Baixa	Muito Doce	Muito Ácido	20,32	ROSA
4	1	4	2	Leve	Muito Baixa	Muito Doce	Ácido	19,93	ROSA
4	1	4	3	Leve	Muito Baixa	Muito Doce	Básico	19,54	ROSA
4	1	4	4	Leve	Muito Baixa	Muito Doce	Muito Básico	19,15	ROSA
4	2	1	1	Leve	Baixa	Muito Ácido	Muito Ácido	18,76	ROSA
4	2	1	2	Leve	Baixa	Muito Ácido	Ácido	18,37	ROSA
4	2	1	3	Leve	Baixa	Muito Ácido	Básico	17,98	ROSA
4	2	1	4	Leve	Baixa	Muito Ácido	Muito Básico	17,59	ROSA
4	2	2	1	Leve	Baixa	Ácido	Muito Ácido	17,2	ROSA
4	2	2	2	Leve	Baixa	Ácido	Ácido	16,81	ROSA
4	2	2	3	Leve	Baixa	Ácido	Básico	16,42	ROSA
4	2	2	4	Leve	Baixa	Ácido	Muito Básico	16,03	ROSA
4	2	3	1	Leve	Baixa	Doce	Muito Ácido	15,64	ROSA

4	2	3	2	Leve	Baixa	Doce	Ácido	15,25	ROSA
4	2	3	3	Leve	Baixa	Doce	Básico	14,86	ROSA
4	2	3	4	Leve	Baixa	Doce	Muito Básico	14,47	ROSA
4	2	4	1	Leve	Baixa	Muito Doce	Muito Ácido	14,08	ROSA
4	2	4	2	Leve	Baixa	Muito Doce	Ácido	13,5	ROSA
4	2	4	3	Leve	Baixa	Muito Doce	Básico	13,3	ROSA
4	2	4	4	Leve	Baixa	Muito Doce	Muito Básico	12,91	ROSA
4	3	1	1	Leve	Moderada	Muito Ácido	Muito Ácido	12,52	ROSA
4	3	1	2	Leve	Moderada	Muito Ácido	Ácido	12,13	ROSA
4	3	1	3	Leve	Moderada	Muito Ácido	Básico	11,74	ROSA
4	3	1	4	Leve	Moderada	Muito Ácido	Muito Básico	11,35	ROSA
4	3	2	1	Leve	Moderada	Ácido	Muito Ácido	10,96	ROSA
4	3	2	2	Leve	Moderada	Ácido	Ácido	10,57	ROSA
4	3	2	3	Leve	Moderada	Ácido	Básico	10,18	ROSA
4	3	2	4	Leve	Moderada	Ácido	Muito Básico	9,79	ROSA
4	3	3	1	Leve	Moderada	Doce	Muito Ácido	9,4	ROSA
4	3	3	2	Leve	Moderada	Doce	Ácido	9,01	ROSA
4	3	3	3	Leve	Moderada	Doce	Básico	8,62	ROSA
4	3	3	4	Leve	Moderada	Doce	Muito Básico	8,23	ROSA
4	3	4	1	Leve	Moderada	Muito Doce	Muito Ácido	7,84	ROSA
4	3	4	2	Leve	Moderada	Muito Doce	Ácido	7,45	ROSA
4	3	4	3	Leve	Moderada	Muito Doce	Básico	7,06	ROSA
4	3	4	4	Leve	Moderada	Muito Doce	Muito Básico	6,67	ROSA
4	4	1	1	Leve	Alta	Muito Ácido	Muito Ácido	6,28	ROSA
4	4	1	2	Leve	Alta	Muito Ácido	Ácido	5,89	ROSA
4	4	1	3	Leve	Alta	Muito Ácido	Básico	5,5	ROSA
4	4	1	4	Leve	Alta	Muito Ácido	Muito Básico	5,11	ROSA
4	4	2	1	Leve	Alta	Ácido	Muito Ácido	4,72	ROSA
4	4	2	2	Leve	Alta	Ácido	Ácido	4,33	ROSA
4	4	2	3	Leve	Alta	Ácido	Básico	3,94	ROSA
4	4	2	4	Leve	Alta	Ácido	Muito Básico	3,55	ROSA
4	4	3	1	Leve	Alta	Doce	Muito Ácido	3,16	ROSA
4	4	3	2	Leve	Alta	Doce	Ácido	2,77	ROSA
4	4	3	3	Leve	Alta	Doce	Básico	2,38	ROSA
4	4	3	4	Leve	Alta	Doce	Muito Básico	1,99	ROSA
4	4	4	1	Leve	Alta	Muito Doce	Muito Ácido	1,6	ROSA
4	4	4	2	Leve	Alta	Muito Doce	Ácido	1,21	ROSA
4	4	4	3	Leve	Alta	Muito Doce	Básico	0,82	ROSA
4	4	4	4	Leve	Alta	Muito Doce	Muito Básico	0,43	ROSA

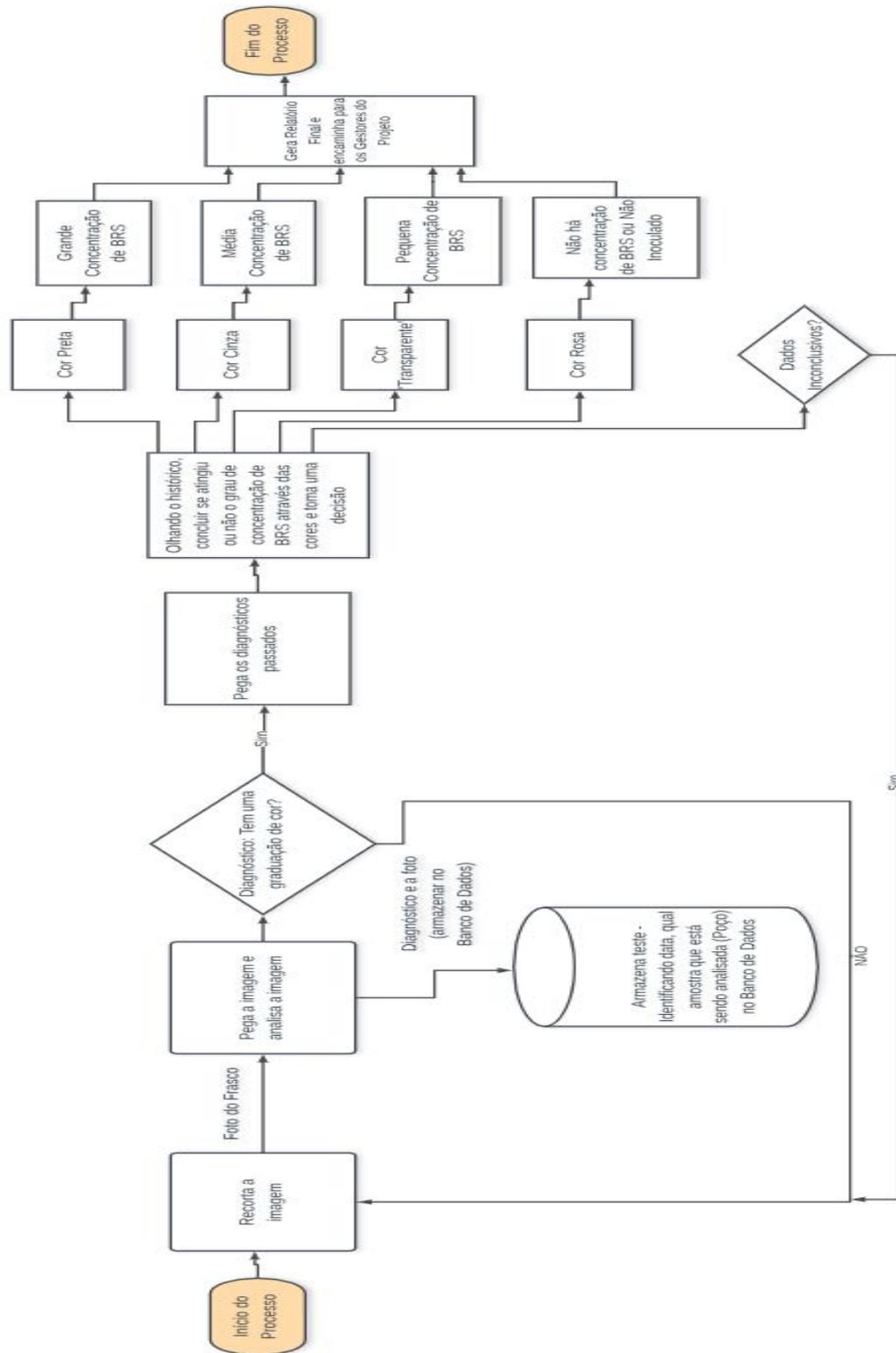
⁴ Obs: A rigor o terceiro Input (Teor de Enxofre) tem quatro termos linguísticos, porém dois deles (Muito Ácido e Ácido) são chamados também de Muito Azedo e Azedo, respectivamente. Não foi colocado na tabela pelo fato unicamente de formatação do Word.

14. Anexos

14.1. Anexo I



14.2. Anexo II



14.3. Anexo III

