



Universidade Federal  
do Rio de Janeiro  
**Escola Politécnica**



**UFRJ**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO**

**ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**Projeto de Robótica Relacionado com Lógica Fuzzy e Práticas de Engenharia de Produção, Estudo de Caso: Quantificação de BRS através de NMP utilizando uma Estufa Robótica.**

**LUIZ CEZAR NACIF JUNIOR**

**RUB BARBOSA DE AGUIAR**

**RIO DE JANEIRO, ABRIL DE 2013**

**Projeto de Robótica Relacionado com Lógica Fuzzy e Práticas de Engenharia de Produção, Estudo de Caso: Quantificação de BRS através de NMP utilizando uma Estufa Robótica.**

**LUIZ CEZAR NACIF JUNIOR**

**RUB BARBOSA DE AGUIAR**

Projeto de Graduação apresentado ao  
Curso de Engenharia de Produção da  
Escola Politécnica, Universidade  
Federal do Rio de Janeiro, como parte  
dos requisitos necessários à obtenção do  
título de Engenheiro de Produção.

Orientador:

Armando Gonçalves Neto, D.Sc.

**RIO DE JANEIRO**

**ABRIL DE 2013**

**Projeto de Robótica Relacionado com Lógica Fuzzy e Práticas de Engenharia de Produção, Estudo de Caso: Quantificação de BRS através de NMP utilizando uma Estufa Robótica.**

**LUIZ CEZAR NACIF JUNIOR**

**RUB BARBOSA DE AGUIAR**

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA À OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO DE PRODUÇÃO.

Aprovado por:

---

D.Sc. Armando Celestino Gonçalves Neto

---

D.Sc. Carlos Alberto Nunes Cosenza

---

Ph.D. César das Neves

**Rio de Janeiro, RJ – Brasil**

**Abril de 2013**

NACIF JUNIOR, Luiz Cezar e DE AGUIAR, Rub Barbosa

Projeto de Robótica Relacionado com Lógica Fuzzy e  
Práticas de Engenharia de Produção, Estudo de Caso:  
Quantificação de BRS através de NMP utilizando uma Estufa  
Robótica / Luiz Cezar Nacif Junior e Rub Barbosa de Aguiar –  
Rio de Janeiro: UFRJ / Escola Politécnica, 2013.

xv, 90p.: il.; 29,7 cm

Orientador: Armando Celestino Gonçalves Neto

Projeto de Graduação – UFRJ / Escola Politécnica /  
Curso de Engenharia de Produção, 2013.

Referências Bibliográficas: 84 – 87.

1. Robótica 2. Lógica Fuzzy 3. Reconhecimento de  
Imagem. I. Gonçalves Neto, Armando Celestino *et al.* II .  
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica,  
Engenharia de Produção. III. Título

“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**

### **Luiz Cezar Nacif Junior:**

Agradeço primeiramente a Deus que me deu muita força para continuar a graduação 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 mãe, Ingrid salgado Nacif, ao meu pai, Luiz Cezar Nacif, à minha irmã, Karinne Salgado Nacif, à minha esposa, Thatiane Toledo Ferreira de Souza, 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, pelo apoio carinho e paciência que demonstraram em todos os momentos.

### **Rub Barbosa de Aguiar:**

Agradeço à minha mãe, Odaleia Aguiar, e ao meu pai, Mucio Aguiar, por sempre lutarem para que eu tivesse as melhores oportunidades de estudo e sempre me incentivaram a busca pelo conhecimento. Apesar das barreiras inevitáveis que surgiram ao longo dos anos de curso, saber que todo esforço gera resultado é imensuravelmente gratificante. Agradeço também a meus outros familiares, por viverem comigo o sonho de batalhar por uma graduação em engenharia e servirem como fonte de inspiração e orgulho.

Gostaríamos de agradecer também, ao apoio daqueles que de alguma forma nos ajudaram na elaboração desta monografia. Principalmente aos professores do curso de Engenharia de Produção da UFRJ pelos ensinamentos abordados ao longo do curso, nosso orientador Armando Celestino Gonçalves Neto e Ana Cristina de Mello pela belíssima orientação e paciência durante o desenrolar da monografia. Finalmente não poderíamos esquecer todos os nossos colegas de classe que muito nos ajudaram.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica / UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro de Produção.

## **Projeto de Robótica Relacionado com Lógica Fuzzy e Práticas de Engenharia de Produção, Estudo de Caso: Quantificação de BRS através de NMP utilizando uma Estufa Robótica.**

**Luiz Cezar Nacif Junior**

**Rub Barbosa de Aguiar**

**Abril / 2013**

**Orientador:** Armando Celestino Gonçalves Neto

**Curso:** Engenharia de Produção

O Projeto em questão se propõe a desenvolver tecnologia de automação para o processo de análise Número Mais Provável (NMP), voltado à detecção 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. O seu objetivo é automatizar (aumentar a confiabilidade e agilizar) a coleta de dados e a transformação de dados em informação durante a incubação, utilizando a metodologia da lógica fuzzy no reconhecimento do padrão de imagens e na robótica, assim 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.

Palavras-chave – Biocorrosão, Bactérias Redutoras de Sulfato, Lógica Fuzzy, aplicações ambientais.

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Industrial Engineer.

## **Project Robotics related Fuzzy Logic and Practice of Industrial Engineering, Case Study: Quantification of BRS by NMP using a Stove Robotics.**

**Luiz Cezar Nacif Junior**

**Rub Barbosa de Aguiar**

**April / 2013**

**Advisor:** Armando Celestino Gonçalves Neto

**Course:** Industrial Engineering

The project in question aims to develop technology for automating the process of analyzing Most Probable Number (MPN), focused on the detection of Sulfate Reducing Bacteria (SRB) to control biocorrosion and other environmental applications, including human health, so optimize the process of analysis of samples and results. Your goal is to automate (increase reliability and speed) data collection and transformation of data into information during incubation, using the methodology of fuzzy logic in pattern recognition of images and robotics, thus concentrating the human effort in the process for the most part, in area of intellectual analysis and interpretation of reports and graphs generated automatically by the system.

**Keywords -** Biocorrosion, Sulfate Reducing Bacteria, Fuzzy Logic, environmental applications.



# Sumário

<b>1. Introdução .....</b>	<b>1</b>
1.1 – Motivação.....	2
1.2 - Objetivos – Metodologia.....	2
1.3 – Descrição do Projeto.....	5
<b>2. Revisão Bibliográfica.....</b>	<b>7</b>
2.1 – Petróleo.....	7
2.1.1 – Origem.....	8
2.1.2 - As Etapas da Produção de Petróleo.....	9
2.1.3 - A Exploração do petróleo no Brasil.....	10
2.1.4 - A perfuração no mar.....	13
2.1.5 - Introdução geral do Processo Petrolífero.....	15
2.1.5.1 Extração do Petróleo e Onde é encontrado a BRS.....	17
2.2 – Bactéria Redutora de Sulfato (BRS).....	20
2.2.1 – Introdução à BRS.....	21
2.2.2 – Material e Métodos.....	24
2.2.2.1 - Preparação dos Meios de Cultivos.....	24

2.2.2.2 - Amostragem/Inóculo.....	25
2.2.2.3 - Diluição em série.....	25
2.2.2.4 - Número Mais Provável (NMP).....	25
2.2.3 - Resultados e Discussão.....	26
2.2.4 - Conclusão dessa pesquisa de BRS.....	29
2.3 – Robótica.....	29
2.3.1 - Classificação Geral dos Robôs.....	32
2.3.2 - Benefícios da Automação.....	33
2.3.3 - Robô industrial.....	34
2.3.3.1 - Tipos de robôs industriais.....	35
2.3. 4 - Desenvolvimentos recentes, futuros e o que será aplicado no projeto.....	36
2.3.5 - Controle autônomo de um robô utilizando fuzzy e algoritmos Genéticos.....	36
2.4 – Lógica Fuzzy.....	38
2.4.1 - Noções básicas.....	40

2.4.2 - Inferência fuzzy.....	42
2.4.3 - Conjuntos fuzzy.....	43
2.4.4 - Raciocínio fuzzy.....	44
2.5 - Processamento de imagens e Reconhecimento de padrões.....	46
2.5.1 - Métodos de processamento.....	46
2.5.2 – Técnicas mais usadas.....	47
2.5.2.1 - Técnicas unidimensionais.....	48
2.5.2.2 - Técnicas bidimensionais.....	49
2.5.2.3 - Aplicações e Conceitos relacionados.....	49
2.5.3 - Reconhecimento de padrões.....	50
2.6 – Relatórios de Gestão e Disponibilização de resultados.....	52
2.6.1 - Papel de monitorização de desempenho.....	53
<b>3. Trabalhos Anteriores e Proposta do Novo Projeto (Aparelho).....</b>	<b>55</b>
3.1 – Trabalhos Anteriores.....	55
3.1.1 – Relevância dos artigos na monografia.....	61
3.2 – Descrição do Projeto (aparelho) – Método de Funcionamento.....	62

3.2.1 – Esboço do Projeto.....	62
3.2.2 – Especificações, o Projeto e Apresentação da Estufa.....	62
3.2.3 - Metodologia da lógica Fuzzy para o Reconhecimento de imagem no Projeto.....	70
3.2.4 - Metodologia da lógica Fuzzy para o melhor posicionamento da câmera fotográfica no grid no Projeto.....	71
3.3 – Objetivos do Projeto.....	72
3.4 – Comparação com existentes(qualidade / custos).....	73
3.5 - Modelo já existente de quantificação de BRS.....	77
<b>4. Resultados da Inovação.....</b>	<b>78</b>
<b>5. Conclusão.....</b>	<b>80</b>
<b>6. Trabalhos Futuros.....</b>	<b>82</b>
<b>7. Referências Bibliográficas.....</b>	<b>84</b>
<b>8. Anexos .....</b>	<b>88</b>
Anexo I.....	88

Anexo II.....	89
Anexo III.....	90

## Sumário de Figuras

<b>Fig. 1</b> - Extração de petróleo em Okemah, Oklahoma, Estados Unidos 1922.....	7
<b>Fig. 2</b> – Amostra de Petróleo.....	8
<b>Fig. 3</b> - Instalação petrolífera.....	9
<b>Fig. 4</b> - Mossoró, segunda maior cidade do estado do Rio Grande do Norte, é maior produtor de petróleo em terra do Brasil.....	12
<b>Fig. 5</b> - Depósito petrolífero.....	12
<b>Fig. 6</b> - Plataforma marinha de extração do petróleo.....	13
<b>Fig. 7</b> - Exploração de petróleo em alto mar.....	15
<b>Fig. 8</b> – Quadro com composição de meios de cultivo para BRS.....	24
<b>Fig. 9</b> - Frascos de cultivo de BRS: (a) e (b).....	26
<b>Fig. 10</b> – Meios de Cultivo analisados.....	27
<b>Fig. 11</b> - Um robô humanóide da Toyota, robôs são sempre associados aos estudos da robótica.....	30

<b>Fig. 12</b> – Frase sobre lógica de Bertrand Arthur William Russell.....	38
<b>Fig. 13</b> - Precisão e significância no mundo real.....	38
<b>Fig. 14</b> - A representação na forma de conjuntos da altura de uma pessoa.....	40
<b>Fig. 15</b> – Imagem Binária.....	46
<b>Fig. 16</b> – Detecção de Bordas.....	47
<b>Fig. 17</b> - Os canais de cor vermelho, verde e azul de uma fotografia.....	48
<b>Fig. 18</b> – Etapas de um sistema de reconhecimento de padrões.....	51
<b>Fig. 19</b> - Em imagens coloridas têm-se 3 cores associada a cada <i>pixel</i> da imagem.....	51
<b>Fig. 20</b> - Imagem original (a) e sua segmentação baseada em semelhança de cores (b) e em fronteiras ou bordas (c).....	52
<b>Fig. 21</b> - Exemplo de como é feito um relatório de Gestão.....	54
<b>Fig. 22</b> - Exemplo de um relatório, com gráficos estatísticos.....	54
<b>Fig. 23</b> – Esboço do Projeto.....	62
<b>Fig. 24</b> – Vista Geral da Estufa.....	64
<b>Fig. 25</b> – Vista frontal da Estufa.....	64
<b>Fig. 26</b> – Vista da Estufa aberta.....	65

<b>Fig. 27</b> – Foto demonstrando o número de prateleiras da Estufa, no caso são cinco.....	65
<b>Fig. 28</b> – Imagem do Frasco utilizado no projeto.....	66
<b>Fig. 29</b> – Imagem frontal do frasco utilizado no projeto.....	66
<b>Fig. 30</b> – Garras onde os frascos serão colocados.....	67
<b>Fig. 31</b> – Exemplo de um frasco na garra.....	67
<b>Fig. 32</b> – Vista superior da posição dos frascos na prateleira.....	68
<b>Fig. 33</b> – Vista frontal da posição dos frascos na prateleira.....	68
<b>Fig. 34</b> – Imagem em 3D da posição da câmera fotográfica para coler as imagens dos frascos.....	69
<b>Fig. 35</b> – Posição da câmera fotográfica de perfil para tirar foto dos frascos.....	70
<b>Fig. 36</b> – Metodologia Fuzzy para Reconhecimento de Imagem.....	70
<b>Fig. 37</b> – Metodologia Fuzzy para melhor posicionamento da Câmera.....	71

# 1. Introdução

O crescimento da atividade comercial mundial é impactante atualmente, levando os países desenvolvidos e em via de desenvolvimento a vivenciarem esse cenário [1], portanto, qualquer inovação tecnológica é interessante para o mercado mundial.

O projeto de inovação em Gestão e Automação surge com o intuito de suprir uma importante lacuna de mercado no que diz respeito à integração entre duas áreas fundamentais em tecnologia: **gestão** e **automação**. Através do forte viés em gestão de operações, gerenciamento de informações, finanças e gestão de projetos apresentado pelo curso de Engenharia de Produção da UFRJ, dando embasamento para os autores explorarem essa área de grande interesse e importância para o mundo da tecnologia, utiliza-se de sólidos conhecimentos em robótica, automação e tecnologia para oferecer soluções e consequentemente executá-las, nos termos de tecnologia (robótica / automação) como suporte à gestão de operações e processos.

A ideia de empreender esse projeto ganhou força após assistirmos 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 por nossa parte sobre como mudar essa situação que impacta a todos e é tão pouco divulgada, além do mais quais pessoas seriam mais adequadas para realizar essa transformação. Chegamos à conclusão que nós, jovens empreendedores com formação de excelência nos mais importantes centros de desenvolvimento tecnológico (UFRJ) do



país somos os mais indicados a assumir, com o auxílio de professores orientadores de alto nível, uma importante parcela desta responsabilidade.

## **1.1 – Motivação**

De forma pessoal, o nosso estímulo em empreender se relaciona a uma busca constante por retornar à sociedade tudo aquilo o que ela investiu diretamente em nossa formação de excelência. Devemos retorno para a nossa sociedade, temos consciência disso e assumimos a responsabilidade de transformar todo o conhecimento que aprendemos durante nossa formação em benefícios para o Brasil e principalmente para os brasileiros que lutam diariamente para sobreviver com grande dificuldade. A nossa posição é a de que não há forma mais efetiva e duradoura de retornarmos todo esse investimento em nossa formação do que criarmos um novo projeto que dê certo, voltada a gerar empregos, fluxo de recursos, inovações e impactando positivamente o dia a dia de pessoas e funcionários. O projeto adota os mais avançados métodos de gestão de inovações e de novas tecnologias em comunicação com o mundo corporativo, contribuindo para elevar o nome de nossa instituição e de nosso país aos mais elevados níveis.

Neste sentido, 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 nossa maior motivação.

## **1.2 Objetivos e Metodologia**

O objetivo do projeto pode ser descrito em otimizar processos através do uso avançado de tecnologia da informação, automação (controle e robótica) e gestão de

operações, incluindo uma ferramenta muito útil e utilizada que é a lógica fuzzy. O projeto é focado no desenvolvimento de soluções inovadoras e resolução de problemas complexos relacionados, dentre outros, a 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, simularemos o impacto operacional micro e macro que a solução exercerá na operação e, através de futuras redes de fornecedores e colaboradores.

O projeto será na Área de **Automação Laboratorial - Setor de Petróleo**; Com o aumento das exigências da qualidade, os laboratórios veem-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 resposta sem incrementos na equipe, mantendo tão baixo quanto possível o custo operacional do laboratório.

Os benefícios e as vantagens competitivas são que não há nenhuma solução no mercado destinada a otimizar especificamente o problema de quantificação da Bactéria Redutora de Sulfato (BRS). Atualmente, existem outras metodologias destinadas à quantificação da bactéria, só que mais caras e complexas. O processo NMP, destinado à quantificação da bactéria, 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 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. 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 detectados em decorrência de inalação do gás) e, pelo aumento de pressão interna em tanques ou poços, pode gerar 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.

O sistema de automação a ser desenvolvido no projeto agilizará todo o processo de análise durante os 28 dias de incubação dos tubos. Através da utilização de robôs e tecnologia de reconhecimento de imagem, captaremos diariamente informações sobre cada tubo sem intervenção humana, 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 grande ganho de produtividade e acuracidade da análise, já que mais amostras poderão ser analisadas por tanque e mais tanques poderão ser analisados ao longo do tempo. Com relação 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, consequentemente, tornam-se nossos clientes potenciais.

Os Maiores desafios que o projeto enfrentará será conseguir reduzir custos para a produção de soluções (tecnologia e robótica) personalizadas e inicialmente em baixa escala. Conseguir lidar bem com o *trade-off* (personalização X produção em escala). Já

os Fatores críticos de sucesso seria a capacidade técnica e operacional dos autores e orientadores e o grau de inovação de nossas soluções.

### 1.3 – Descrição do Projeto

Será desenvolvido uma tecnologia de automação para o processo de análise Número Mais Provável (NMP), voltado à detecção de Bactérias Redutoras de Sulfato (BRS), para controle de biocorrosão e outras aplicações ambientais, de forma a otimizar o processo de análise das amostras e obtenção de resultados. Automatizaremos a coleta de dados e a transformação de dados 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 NMP de BRS provenientes de diferentes poços, tanques e oleodutos.

As seguintes tecnologias serão desenvolvidas:

- **Robótica:** Desenvolver um protótipo 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. Onde atuará a ferramenta lógica fuzzy nessa fase do projeto será apresentada no decorrer do trabalho.
- **Reconhecimento de Imagem e TI:** As imagens coletadas a partir de cada frasco de cultivo BRS serão enviadas automaticamente a uma central de inteligência

computacional, sendo armazenadas em um banco de dados seguro.

Desenvolveremos sistema de reconhecimento de imagens que identificará de forma precisa os diferentes padrões de coloração do conteúdo de cada frasco, associando automaticamente a cada coloração visualizada os seus respectivos resultados tabelados. Após cada análise realizada pelo sistema, o banco de dados daquela amostra será atualizado automaticamente. Onde atuará a ferramenta lógica fuzzy nessa fase do projeto será apresentada no decorrer do trabalho.

- **Relatórios de Gestão e Disponibilização dos Resultados:** Tendo os resultados de análise BRS (reconhecimento de imagem) sendo construídos continuamente e automaticamente pelo sistema durante o período de incubação, desenvolveremos junto aos pesquisadores que utilizam a técnica relatórios de análise e gestão (ex: gráficos de níveis de concentração da bactéria na amostra, análise estatística...), que serão construídos continuamente ao longo da incubação, 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 e combustível de aviação. 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 é 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. 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 reinjetado 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, sete são exclusivamente marítimas e as nove 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 Petrobras, 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 Petrobras 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 Petrobras 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 n.º 9.478/97, denominada a "Nova Lei do Petróleo", a Petrobras 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 Petrobras 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.

#### **2.1.4 – A perfuração no mar**



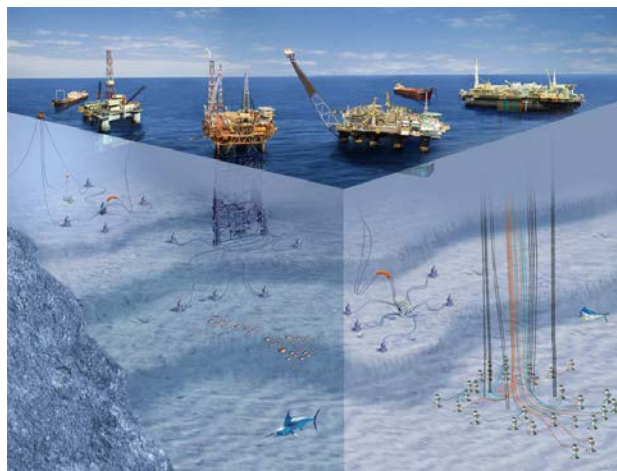
**Fig. 6** - Plataforma marinha de extração do petróleo. Fonte: [7]

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 Petrobras 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.

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. Conquanto 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.

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  $H_2S$  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.

#### **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 ( $H_2S$ ) (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  $30 \text{ mmol}^{-1}$ ) quando a água do mar é injetada em operações *offshore*. Uma vez que grandes volumes de água do mar são injetados (tipicamente  $10000 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ , dependendo do reservatório), grandes quantidades de sulfeto biogênico podem ser produzidas (acima de  $1100 \text{ Kg dia}^{-1}$ ) (Hubert & Voordouw, 2007). Apesar de também ser produzido quimicamente pela dissolução dos sulfetos metálicos da rocha nos reservatórios, a maior parte do  $H_2S$  produzido em oleodutos origina-se da atividade metabólica de bactérias redutoras de sulfato (Mougin *et al.*, 2007).

A produção de  $H_2S$  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  $H_2S$  na indústria petroquímica (Antônio *et al.*, 2000). Além disso, esse gás é tóxico ao homem (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 (biossulfetogênese), 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 o grupo bacteriano mais comumente estudado em águas de campo de petróleo. 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 morfologicamente 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 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 ( $\text{H}_2\text{S}$ ), 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 morfologicamente 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 comoceptor 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  $\text{CO}_2$ . 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  $\text{CH}_2\text{O}$  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 no projeto. 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 monografia 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 17), entre outros, são demonstrado como exemplo de meio de cultivo.

Componente	Concentração (g/l)				
	Meio B	Meio C	Meio D	Starkey	Butlin*
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	---	---	---	0.5	0.5
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0.5	0.5	0.5	---	---
NH <sub>4</sub> Cl	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
CaCO <sub>4</sub>	1.0	---	---	---	---
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	---	4.5	---	0.5	2.0
MgSO <sub>4</sub> .7 H <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> .2 H <sub>2</sub> O	---	0.06	0.1	0.1	0.067
MgCl <sub>2</sub>	---	---	1.6	---	---
FeSO <sub>4</sub> .7 H <sub>2</sub> O	0.5	0.004	0.004	---	0.004
Fe(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> 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 O<sub>2</sub> dissolvido; meio incolor, anaeróbio com precipitado ou não (Figura 9b).

#### **2.2.2.2 - Amostragem/Inóculo**

As amostras foram coletadas de sedimento de manguezal e lodo anaeróbio 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**

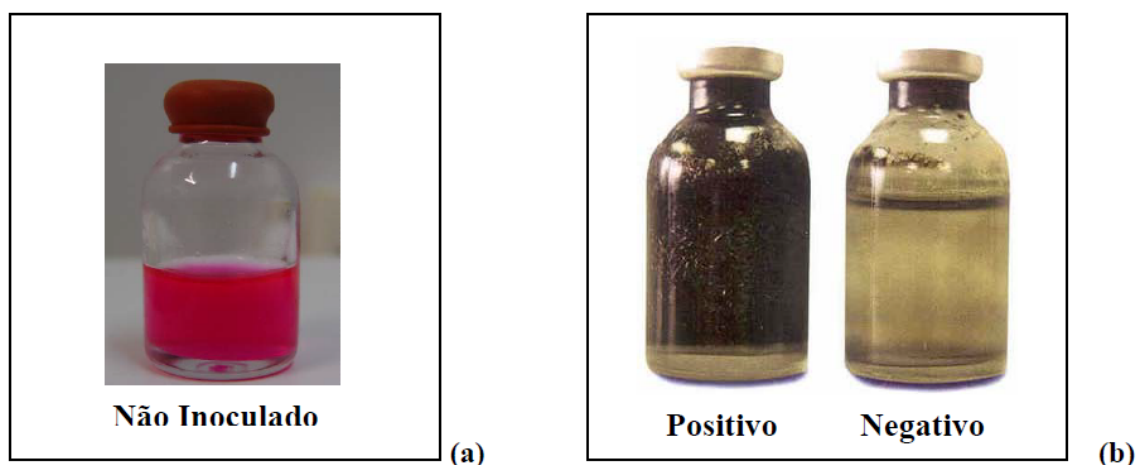
Alíquotas de 1,0 ml de amostra (água ou sedimento, 10,0 g diluído em 90 ml de água fosfatada), com uma seringa ou pipeta estéreis, são injetadas imediatamente em tubos de 16 ml (Bellco, 16 x 125 mm) contendo 9,0 ml de solução de diluição estéril (água fosfatada). Em frascos com tampa de borracha, o O<sub>2</sub> é removido purgando gás livre de oxigênio (N<sub>2</sub>). Mistura-se o tubo por cerca de 3 mim, transferindo 1,0 ml do conteúdo da mistura para outra solução de diluição, assim sucessivamente, variando de 10<sup>-1</sup> a 10<sup>-12</sup>, 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  $O_2$  livre purgando  $N_2$ . Em seguida os meios foram conduzidos ao autoclave por 15 min a  $121^\circ C$ . 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. 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  $30^\circ C$ , 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).

### 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 microrganismos.

Para os meios em que o precipitado foi formado, houve diferenças quanto a concentração de sulfeto ferroso ( $\text{FeS}$ ), 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 o projeto. 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 e com o projeto o custo diminuirá mais ainda.

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 microorganismos. 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 o projeto**

Os meios de cultivo analisados para servir como exemplo do projeto 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 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 tradicional. [10] Na implantação do projeto esses dados, gráficos e análises estatísticas, já serão gerados e enviados para os computadores de gestores envolvidos no mesmo.

### **2.3– Robótica**

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 "dummys" 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 do projeto, 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 (início de 2007), 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, 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 (efetuador) do robô ainda ser pouco flexível, aplicaremos prateleiras e fileiras automatizadas na estufa robótica do projeto, pois com esse procedimento poderemos “levantar” os frascos que serão analisados e tirar foto dos mesmos.

### **2.3.5 - Controle autônomo de um robô utilizando fuzzy e algoritmos genéticos**

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 atingí-los sem colidir com qualquer obstáculo que estivesse no seu caminho [14]. No projeto uma das ideias é utilizar essa rede neural fuzzy para posicionar a câmera fotográfica no local

preciso do grid, para a “melhor” coleta de imagem. No próximo item das referências bibliográficas vem demonstrando conceitos de Lógica fuzzy para serem definidas algumas pendências conceituais.

## 2.4 – Lógica Fuzzy

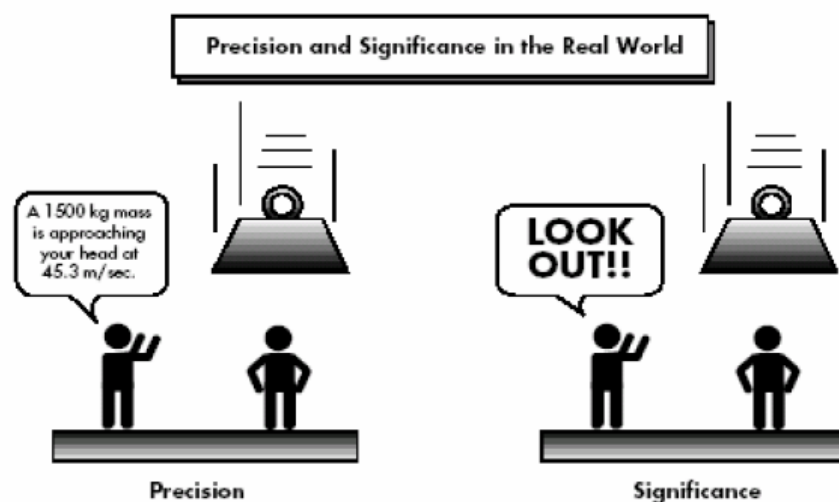
*Toda linguagem é vaga.*

*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.

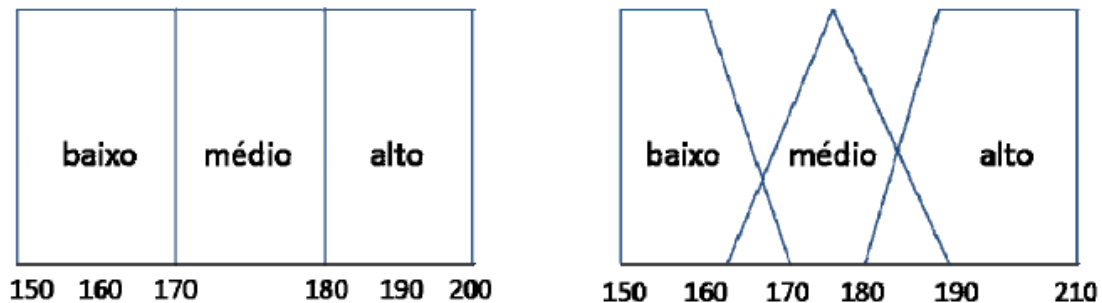
As implementações da lógica fuzzy permitem que estados indeterminados possam ser tratados por dispositivos de controle. Desse modo, é possível avaliar conceitos não quantificáveis através de variáveis linguísticas. Casos práticos: avaliar a temperatura (*quente, morno, médio, etc...*), o sentimento de 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:

- $\text{NÃO-fuzzy}(x) = 1 - x$
- $\text{E-fuzzy}(x,y) = \text{Mínimo}(x,y)$
- $\text{OU-fuzzy}(x,y) = \text{Máximo}(x,y)$

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:

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

Usando os operadores acima descritos, podemos escrever sentenças como:



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

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. 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, 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 máximo e mínimo 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 abruptos.

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:  $x \text{ é } A$ ;
- Regra: se  $x \text{ é } A$  então  $y \text{ é } B$ ;
- Conclusão:  $y \text{ é } B$

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:

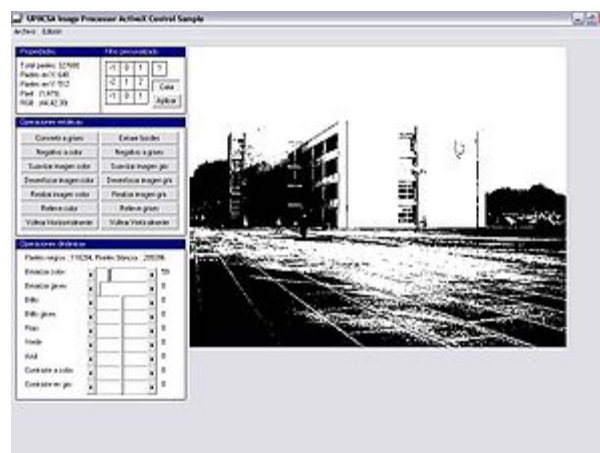
- Fato:  $x \text{ é } A'$  (quase A)
- Regra: se  $x \text{ é } A$  então  $y \text{ é } B$
- Conclusão:  $y \text{ é } B'$  (quase B)

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. [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]



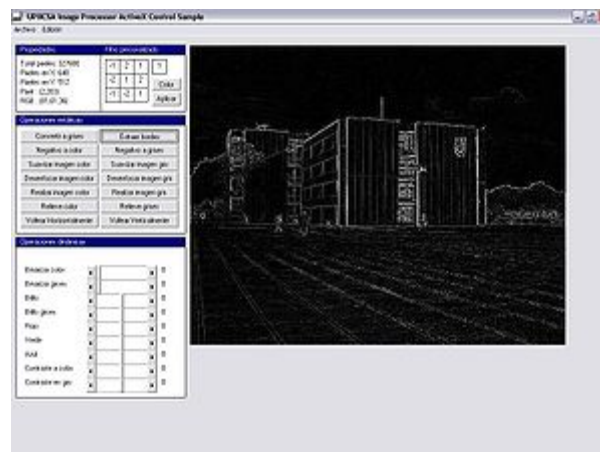
**Fig. 15** – Imagem Binária. Fonte: [20]

### 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 usadas

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;
- Reconhecimento de padrões;
- Projeção;
- Modelo escondido de Markov;
- **Rede neural;**
- **Lógica fuzzy.**

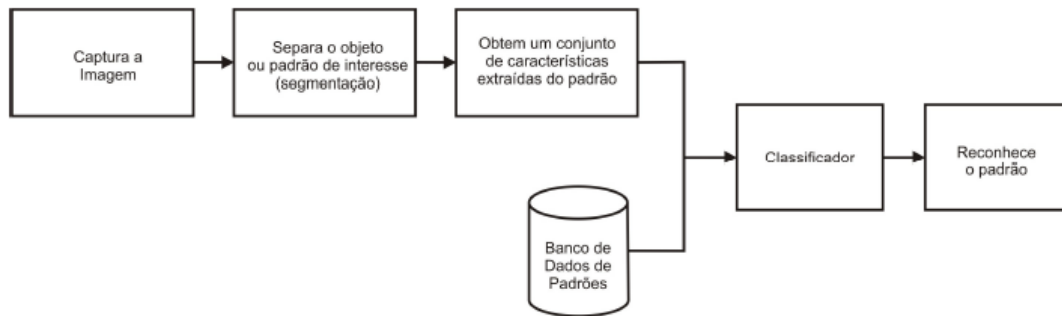
### 2.5.3 - Reconhecimento de padrões

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.

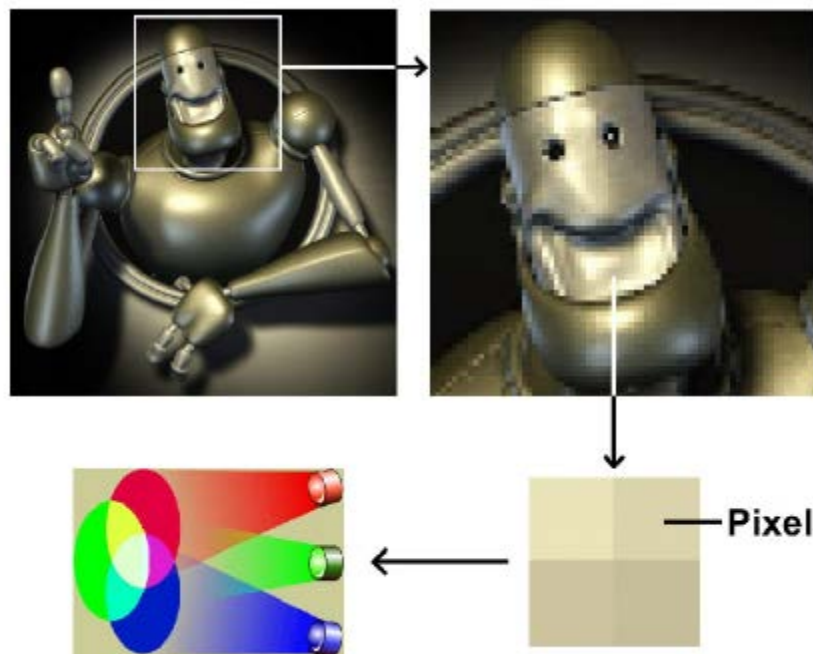
Um sistema completo de reconhecimento de padrões consiste de um sensor que obtém observações a serem classificadas ou descritas; um mecanismo de extração de características que computa informações numéricas ou simbólicas das observações; e um esquema de classificação das observações, que depende das 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. Os últimos dois temas são tópicos do campo de processamento de imagens, que já foi citado. [21]

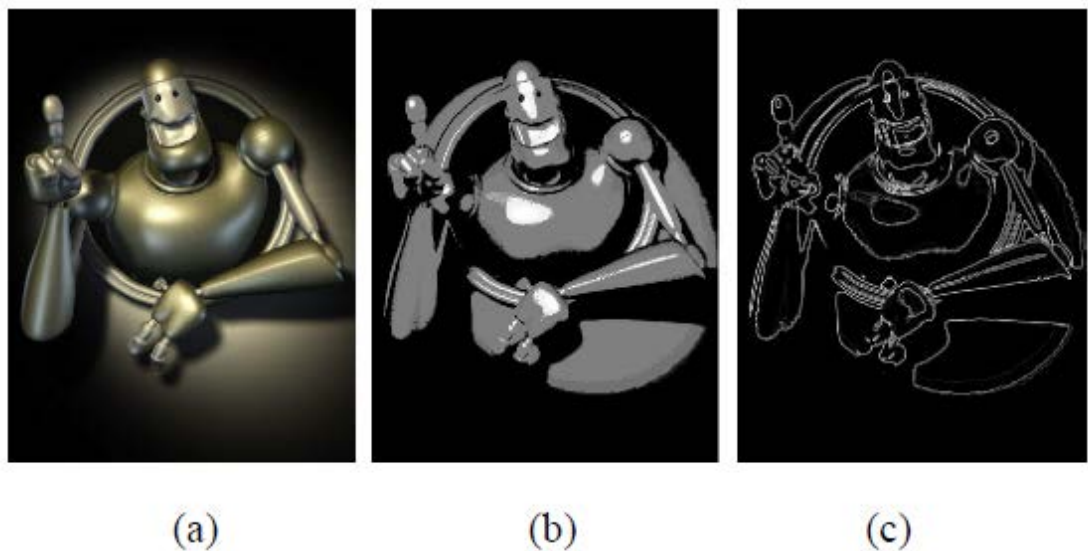


**Fig. 18** – Etapas de um sistema de reconhecimento de padrões. Fonte: [21]



**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.


No contexto laboratorial, os sistemas de informação ajudam os processos de operações, estratégia e tomadas de decisão.

### **2.6.1 - Papel de monitorização de desempenho**

Os SIG não se resumem à análise de dados e estatísticas: [25] precisam ser utilizados como ferramenta de administração por objetivos (MBO - *management by objectives*), e ajudam a:

- Estabelecer objetivos relevantes e quantificados
- Monitorizar resultados e desempenhos (taxas de sucesso)
- Enviar alertas, em alguns casos diariamente, aos gestores de cada nível da organização, no caso do projeto, no laboratório, em todas as variações entre resultados e objetivos pré-estabelecidos e orçamentos.

Para o projeto em questão, enviaremos relatórios de gestão, gráficos e disponibilização de resultados para seus gestores. Na figura 21, um exemplo de como é feito um relatório e na figura 22, um exemplo de relatório, com gráficos estatísticos.

D.O. PUBLICAÇÕES DE TERCEIROS				QUINTA-FEIRA, 31-JANEIRO-2013		21	
Tabela 6 - Demonstrativo dos Restos a Pagar							
DEMONSTRATIVO DOS RESTOS A PAGAR							
ORÇAMENTOS FISCAL E DA SEGURIDADE SOCIAL							
PERÍODO DE REFERÊNCIA: JANEIRO/2012 A DEZEMBRO/2012							
R\$ 1,00							
RPF - ANEXO V LRF, art. 53, inciso III, item "b"							
DESTINAÇÃO DE RECURSOS	RESTOS A PAGAR		DISPONIBILIDADE DE CAIXA DA INSCRIÇÃO EM RESTOS A PAGAR NÃO PROCESSADOS DO EXERCÍCIO	EMPENHOS NÃO LIQUIDADOS CANCELADOS OU INSCRITOS POR INSUFICIÊNCIA FINANCEIRA			
	Liquidados e Não Pagos (Processados)	Empenhados e Não Liquidados (Não Processados)					
	De Exercícios Anteriores	De Exercícios Anteriores	De Exercícios Anteriores				
- Identificação do Resto							
Vencida	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
TOTAL DOS RECURSOS VENCIDOS (I)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
- Identificação do Resto Não Vencida							
TOTAL DOS RECURSOS NÃO VENCIDOS (II)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
TOTAL (III = I + II)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
RECURSOS PROPRIO DE PREVIDÊNCIA DOS SERVIDORES	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
FONTE: SCPL CAMARA MUNICIPAL DE RAPOSA							
Nota: A disponibilidade de caixa do RPF está complementada com o Passivo Ativo.							
Tabela 7 - Demonstrativo Simplificado do Relatório de Gestão Fiscal							
DEMONSTRATIVO SIMPLIFICADO DO RELATÓRIO DE GESTÃO FISCAL							
ORÇAMENTOS FISCAL E DA SEGURIDADE SOCIAL							
PERÍODO DE REFERÊNCIA: JANEIRO/2012 A DEZEMBRO/2012							
R\$ 1,00							
APLICÁVEL SOMENTE AO ÚLTIMO SEMESTRE QUADRIMESTRE							
RPF, art. 16, Anexo VII						R\$ 1,00	
DESPESA COM PESSOAL		VALOR		% SOBRE A RCL			
Despesa Total com Pessoal - DTP		678.342,18		2,80			
Limite Máximo (artigos 16 e 17 da LRF) - "%"		1.988.118,81		6,00			
Limite Prorrogatório (artigo 16, art. 17 da LRF) - "%"		1.850.507,68		5,70			
RESTOS A PAGAR		INSCRIÇÃO EM RESTOS A PAGAR NÃO PROCESSADOS DO EXERCÍCIO		DISPONIBILIDADE DE CAIXA - LIQUIDA (ANTES DA INSCRIÇÃO EM RESTOS A PAGAR NÃO PROCESSADOS DO EXERCÍCIO)			
Valor Total		0,00		0,00			
FONTE: SCPL CAMARA MUNICIPAL DE RAPOSA							
DEMONSTRATIVO DAS INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES							
ORÇAMENTOS FISCAL E DA SEGURIDADE SOCIAL							
PERÍODO DE REFERÊNCIA: JANEIRO/2012 A DEZEMBRO/2012							
RPF		VALOR					
DEFAZES DA PREFEITURA ATÉ O PERÍODO		R\$ 283,91					
SOMA DOS CREDITOS ADICIONAIS DA CAMARA ATÉ O PERÍODO		15.000,00					
SOMA DAS ANULAÇÕES DE DOTAÇÕES DA CAMARA ATÉ O PERÍODO		21.000,00					
DESPESA TOTAL DO LEGISLATIVO ATÉ O PERÍODO		R\$ 1.120,82					
DESPESA TOTAL COM FOLHA DE PAGAMENTO, INCLUINDO GASTOS COM VENCIMENTOS DOS VEREADORES ATÉ O PERÍODO		111.400,00					
REMUNERAÇÃO TOTAL DOS VEREADORES ATÉ O PERÍODO		R\$ 220,70					
CONVOCACÃO EXTRAORDINÁRIA		0,00					
REMUNERAÇÃO INDIVIDUAL DE VEREADOR ATÉ O PERÍODO		VALOR					
		Mês atual		3.000,00			
		Mês atual - 1		3.000,00			
		Mês atual - 2		3.000,00			
		Mês atual - 3		3.000,00			
		Mês atual - 4		3.000,00			
		Mês atual - 5		3.000,00			
		Mês atual - 6		3.000,00			
		Mês atual - 7		3.000,00			
		Mês atual - 8		3.000,00			
		Mês atual - 9		3.000,00			
		Mês atual - 10		3.000,00			
		Mês atual - 11		3.000,00			
EXECUÇÃO TOTAL DO MUNICÍPIO NO EXERCÍCIO ANTERIOR		R\$ 21.212,70					
FONTE: SCPL CAMARA MUNICIPAL DE RAPOSA							
EUDES DA SILVA BARROS							
Presidente							

**Fig. 21-** Exemplo de como é feito um relatório de Gestão. Fonte: [24]



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

### **3. Trabalhos Anteriores e Proposta do Novo Projeto**

#### **(Aparelho)**

#### **3.1 – Trabalhos Anteriores**

A seguir, são comentados detalhadamente alguns trabalhos importantes da literatura.

*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 poda, 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 do 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 16x 16 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 a FNN tem sido experimentados pelos padrões de 36 exemplares, o FNN “lembra” de todos dos 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 reconhecer 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 têm sido escolhido

como dados sensoriais. Os dados de treinamento foram coletados durante as corridas do operador-piloto do veículo. Os mesmos dados têm sido 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 comportamento 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 especificada pelo usuário para deslocamentos por 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 segundo trabalho, apresenta-se um controlador de robô de lógica fuzzy que não necessita de equações de cinemática inversa para controlar o robô.

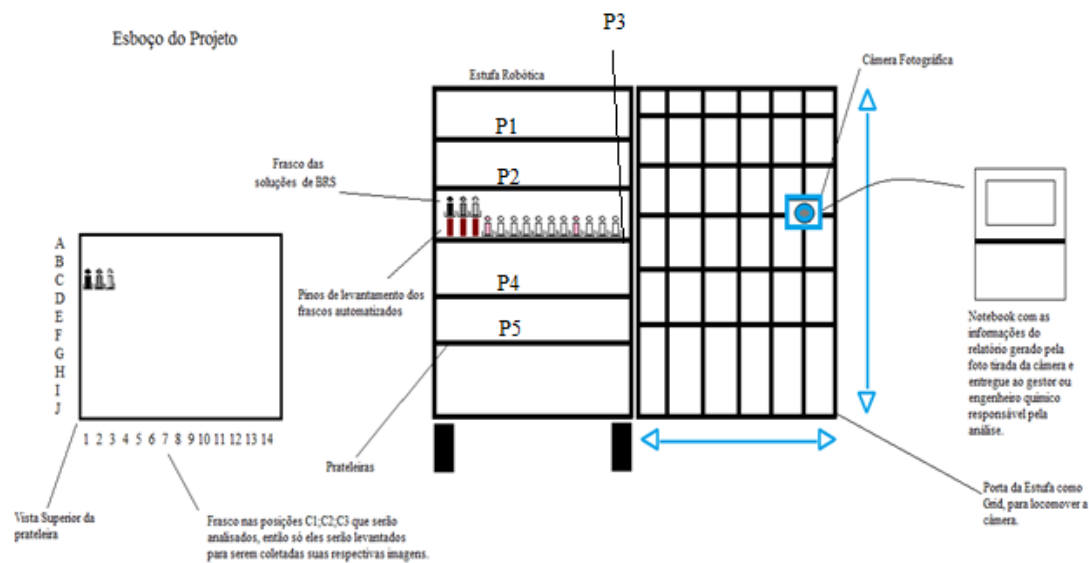
### **3.1.1 – Relevância dos Artigos na Monografia**

A leitura e a compreensão destes artigos acrescentaram e aperfeiçoaram a base desta monografia, mostrando estudos comprovados que auxiliaram nas pesquisas de robótica 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 contribui com assuntos necessários para a realização desta monografia.

## 3.2 – Descrição do Projeto (Aparelho) – Método de Funcionamento

### 3.2.1 – Esboço do Projeto



**Fig. 23** – Esboço do Projeto. Fonte: [Autores]

### 3.2.2- Especificações, o Projeto e Apresentação da Estufa.

- Dados Técnicos da Estufa:

- Marca: Nova Ética Incubadora B.O.D. 411 D

- \* 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 Número Mais Provável (NMP), voltado à detecção 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. Automatizaremos a coleta de dados e a transformação de dados 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 NMP de BRS provenientes de diferentes poços, tanques e oleodutos.

A figura 24 e a figura 25 demonstra a estufa que será utilizada no projeto.

Nessas fotos a estufa aparece sem estar automatizada.



**Fig. 24** – Vista Geral da Estufa. Fonte: [Autores]



**Fig. 25** – Vista frontal da Estufa. Fonte: [Autores]



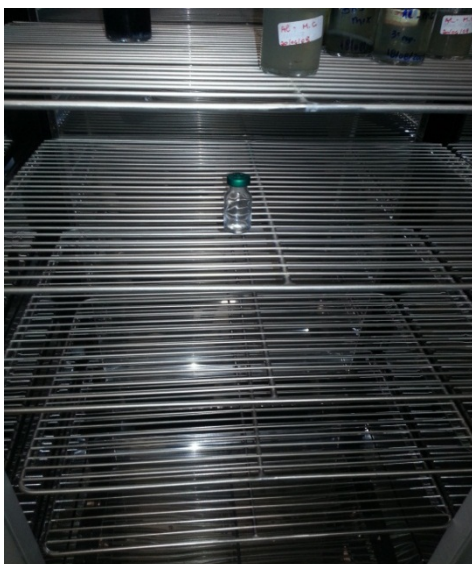
**Fig. 26** – Vista da Estufa aberta, demonstrando algumas soluções em frascos diferentes das utilizadas no projeto e uma ideia de como poderá ser colocada a câmera fotográfica no grid para coletar as imagens. Fonte: [Autores]



**Fig. 27** – Foto demonstrando o número de prateleiras da Estufa, no caso são cinco.

Fonte: [Autores]

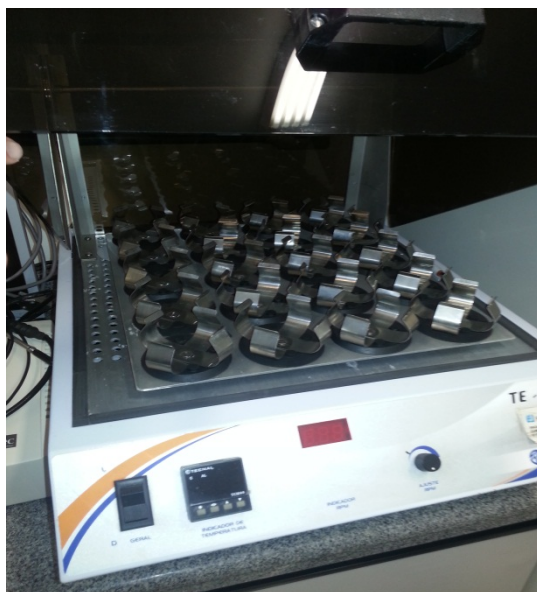




**Fig. 28** – Imagem do Frasco utilizado no projeto. Fonte: [Autores]



**Fig. 29** – Imagem frontal do frasco utilizado no projeto. Fonte: [Autores]

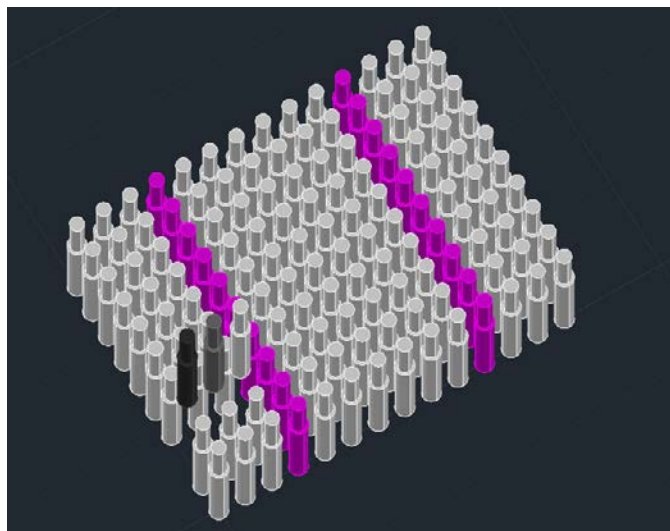


**Fig. 30** – Garras onde os frascos serão colocados. Fonte: [Autores]

Nas visitas ao laboratório do Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD) percebemos que os frascos ficam livres na prateleira da incubadora. Para nossa proposta de sistema pneumático de elevação dos frascos, achamos interessante adaptar o sistema de garras presente em outros aparelhos para manter os frascos firmes e sem risco de queda ou dano.

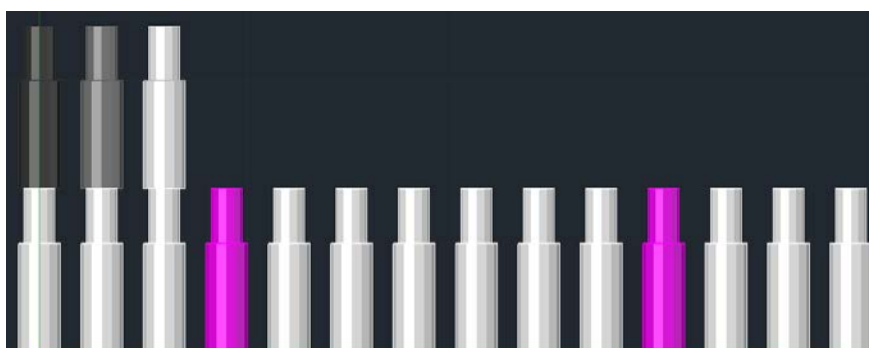


**Fig. 31** – Exemplo de um frasco na garra. Fonte: [Autores]



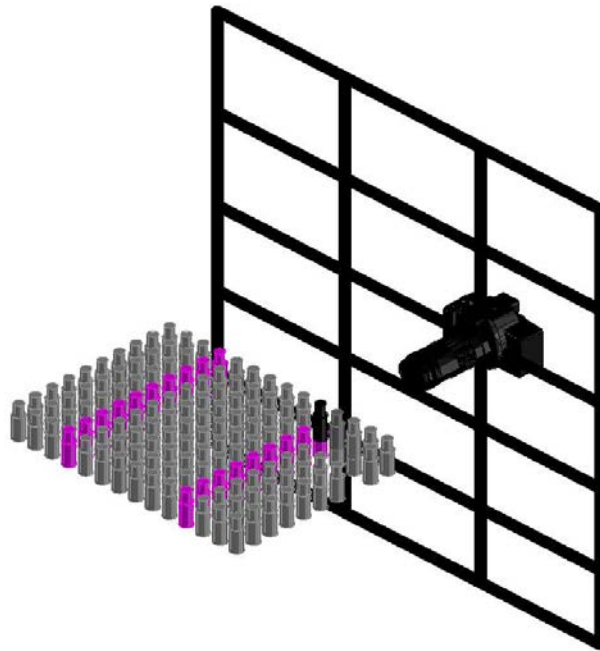
**Fig. 32** – Vista superior da posição dos frascos na prateleira. Fonte: [Autores]

Na figura 32 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 ao BRS, se presente, se reproduzir. Os frascos em linhas posteriores recebem uma pequena porcentagem das amostras anteriores, tornando-se em compostos cada vez mais diluídos. Através dessas práticas somos capazes de utilizar o método de NMP para quantificação de BRS existente na amostra.



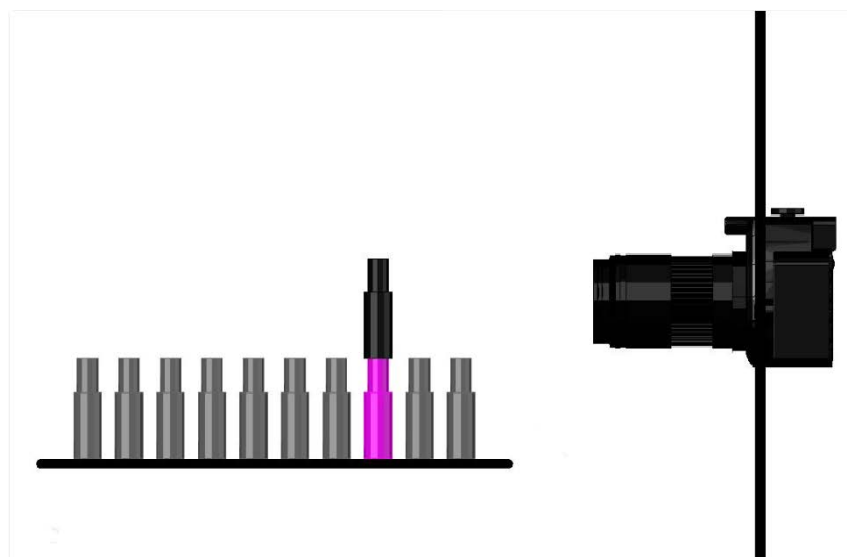
**Fig. 33** – Vista frontal da posição dos frascos na prateleira. Fonte: [Autores]

Na figura 33 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. 34** – Imagem em 3D da posição da câmera fotográfica para coler as imagens dos frascos. Fonte: [Autores]

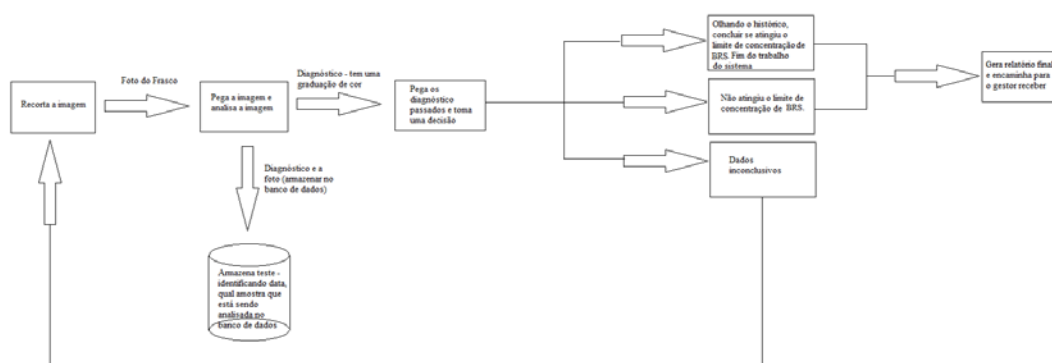
Na figura 34 acima temos uma representação tridimensional de como funcionaria o GRID para movimentação da câmera, onde um motor elétrico permitiria à câmera movimentos na vertical e na horizontal para o melhor posicionamento para a foto.



**Fig. 35** – Posição da câmera fotográfica de perfil para tirar foto dos frascos. Fonte:

[Autores]

### 3.2.3 – Metodologia da lógica Fuzzy para o Reconhecimento de imagem no Projeto

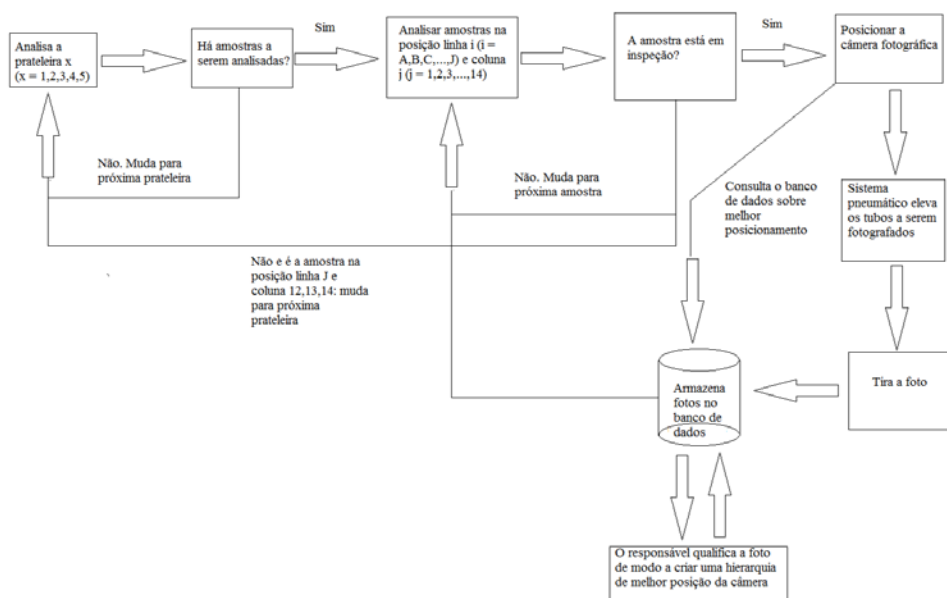


**Fig. 36** – Metodologia Fuzzy para Reconhecimento de Imagem. Fonte: [Autores]

Para o reconhecimento de imagem no Projeto, nossa proposta foi 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.

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



**Fig. 37** – Metodologia Fuzzy para melhor posicionamento da Câmera. Fonte: [Autores]

Para o posicionamento da câmera, nos baseamos na ideia de algoritmos genéticos (GA), 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, a câmera se posiciona, utilizando o banco de dados para a melhor posição ao respectivo frasco. O sistema pneumático então eleva os tubos a serem fotografados e a foto é tirada. A mesma é armazenada e o responsável qualifica a imagem da foto, permitindo ao banco de dados criar uma hierarquia que será levada em consideração sempre que a máquina for se posicionar. Em primeira instância, o posicionamento da máquina no GRID somente ocorreria nas interseções das horizontais com verticais, mas a ideia de aprendizado pelo sistema de melhor localização nos levou a incrementar a sensibilidade de posicionamento, permitindo que a câmera pare em qualquer ponto do GRID.

### **3.3 – Objetivos do Projeto**

A ideia do projeto é fundamentada na possibilidade de inovação tecnológica, por uso de conhecimentos de robótica, reconhecimento de padrão de imagem e lógica Fuzzy, no sistema de análise de presença de BRS e sua quantificação.

Analizando-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 alinharmos gestão de processos com automação e tecnologia, focalizamos 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. Focalizamos no setor de petróleo por considerarmos que atualmente o mesmo oferece as maiores oportunidades de crescimento contínuo e consistente para o projeto, tendo em vista todas as notícias positivas referente ao pré-sal brasileiro e aos grandes investimentos em infraestrutura e pesquisa previstos pelo setor no país. Analizando-se de forma micro, o produto proposto pelos autores se enquadra nesse nicho de oportunidade descrito anteriormente, focalizado em sua específica área

de atuação. O sistema de automação para a quantificação 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. Importante salientar que esse produto é um composto de tecnologia, hardware, software, automação, dentre outros, tudo integrado em uma solução inovadora de otimização processual. Por englobar diversas características, como as citadas anteriormente, nossa 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 global e integrada.

Por fim, é bom salientar que, além do elevado potencial apresentado pela inovação detalhada nessa monografia, o projeto apresenta excelentes perspectivas de crescimento em um mercado que está em plena expansão. Para isso, utiliza-se as mais avançadas técnicas de gestão, foco em inovação e qualidade, buscando continuamente surpreender nossos clientes com soluções inteligentes e criativas.

### **3.4 – Comparação com existentes (qualidade / custos)**

Um dos principais motivadores para nosso estudo 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 iniciais de instalação de sistemas robóticos seriam compensados no médio à longo prazo pela melhor qualidade, eficiência e 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. Temos 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 ao nosso negócio, possuem a rede de fornecedores e clientes já desenvolvida, capital para pesquisa e desenvolvimento, além de abrangência internacional. Como principal desvantagem destas empresas, temos a 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, podemos começar a desenvolver parcerias locais para o desenvolvimento de tecnologia, buscar apoio de universidades e órgãos financiadores do governo (FINEP, FAPERJ, etc...), atender de forma personalizada nossos clientes, criando parcerias de médio-longo prazo com os mesmos e desenvolver 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 Petrobras 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). Com principais vantagens destes concorrentes, temos a credibilidade

das instituições de ensino que oferecem suporte físico aos mesmos, além de 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 para a empresa.

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 de 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 Petrobras 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 esse projeto. Neste cenário, além da Petrobrás, diversas outras empresas petrolíferas privadas estão fortalecendo suas operações no país, estruturando sua infraestrutura, investindo em 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 diversos equipamentos para sistemas submarinos de produção de óleo e gás em águas profundas) que já confirmaram instalação de suas novas unidades operacionais no Parque Tecnológico do Rio (UFRJ - Ilha do Fundão). Importante salientar o efeito de rede que estas e outras iniciativas em conjunto com a Petrobras 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 (2007) 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 (2008) para a construção e aparelhagem do Centro de Excelência em Tecnologia de Aplicação em Automação Industrial (Cetai) em parceria com a USP. Recentemente, em estudo de 2009 realizado pela consultoria Economatica, a Petrobras 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), Petrobras (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 em 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 Petrobras em pólos de desenvolvimento tecnológico em automação para o setor de petróleo.

**Ameaças:** como a crise Subprime, o desaquecimento da economia global e consequente redução do consumo de combustível como potenciais redutores do preço do barril de petróleo, inviabilizando momentaneamente e postergando os grandes investimentos previstos para a exploração do pré-sal brasileiro.

### **3.5 – Modelo já existente de quantificação de BRS**

O processo NMP, destinado à quantificação da bactéria, 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 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.

## 4. Resultados da Inovação

O projeto oferecerá simultaneamente a seus clientes inovações de produtos e processos, tornando-se diferenciada em um mercado cada vez mais direcionado a busca por inovações tecnológicas relevantes. A proposta do projeto de valor se baseia em oferecer aos clientes 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 dos autores desenvolver um projeto limpo e que acima de tudo respeita o meio ambiente. Esta postura diferenciada focada na criação constante de inovações, respeito ao meio ambiente e no mix complementar de competências dos autores em tecnologia e gestão representam o grande diferencial competitivo do projeto.

No caso da inovação desenvolvida pelo projeto, temos uma inovação de processo (otimização da quantificação de bactérias BRS). O sistema robótico de otimização da análise NMP para quantificar a 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. Afirmamos que, pelo caráter inovador das soluções e pela alta demanda atual, de projetos que envolvam “algo novo” como: a quantificação da bactéria BRS (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.

## 5. Conclusão

O Sistema de Automação para Quantificação de BRS foi desenvolvido para atender empresas de exploração e produção de petróleo "offshore", que necessitam controlar o teor de 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, como a OGX. 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. Consequentemente, 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 Quantificação de BRS.

Neste cenário de demanda crescente por tecnologia e inovações especificamente para o setor de petróleo Brasileiro, o projeto 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.



## 6. Trabalhos Futuros

Esse projeto de graduação consiste em um desenho metodológico da lógica Fuzzy de como funcionaria o sistema. O próximo passo seria criar e implementar equações de lógica difusa para permitir as operações de reconhecimento de imagem e de robótica.

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 do cliente/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 nosso plano de marketing (mapeamento do mercado e estratégias de lançamento dos produtos);

Quanto a consultoria em gestão, duas são as áreas que desenvolveremos com estes recursos. A primeira diz respeito à propriedade intelectual, através da qual contrataremos consultoria jurídica especializada em marcas e patentes de forma a desenvolver framework jurídico para o projeto. Estipularemos com o auxílio de analistas e advogados o modelo de proteção à propriedade intelectual da empresa, além dos modelos de contrato que nortearão a relação da empresa com seus 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 da 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 precisemos desenvolver atividades paralelas destinadas a complementar a renda mensal. Além disso, possibilitará a contratação de consultorias de mercado, jurídica e inovação, fundamentais para o crescimento sólido e contínuo de nossa empresa, o que seria inviável para nós sem o apoio dessas empresas. Desta forma, acredita-se que se aproveite em sua plenitude todo o capital nos fornecido por essas empresas, transformando-o em resultados e multiplicando o valor de cada centavo investido por empresas no lançamento do projeto.

A expansão da automação no processo de análise e quantificação 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 lógica Fuzzy, reconhecimento de imagem e robótica.

## 7. Referências Bibliográficas:

[1] Nottebom, T. Container shipping and ports: An overview. Review of Network Economics, 2004.

[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/CONNEPI2010/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](http://www.din.uem.br/ia/robotica/biblio.htm).

[15] [http://pensador.uol.com.br/autor/bertrand\\_russell](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 JEmail: rusfiib@univ.trieste.it, Via A. Valerio 10, Trieste, I-34127, ITALY. 1995.

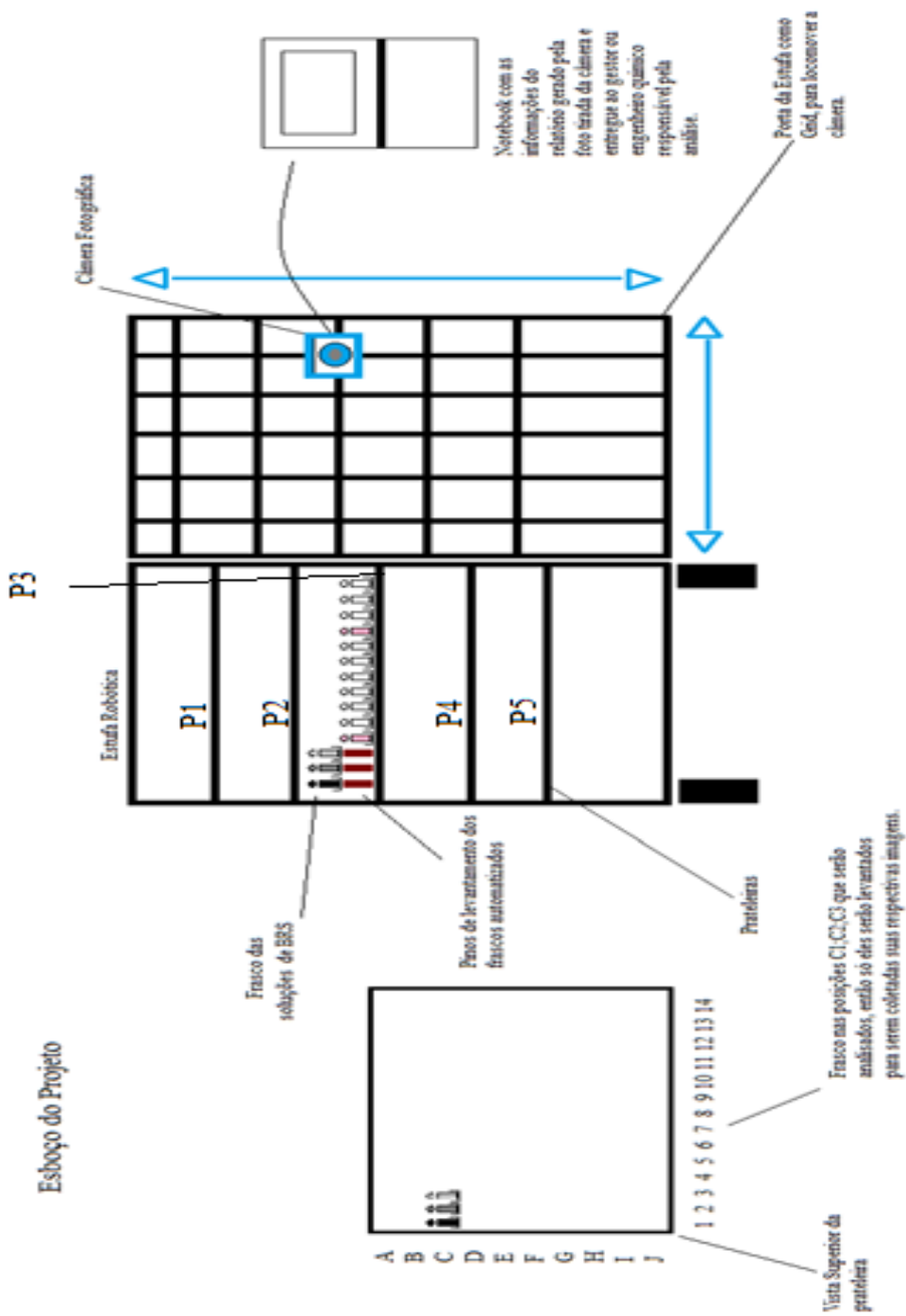
[31] *Automatic generation of rules for a fuzzy robotic controller*, de G. Castellano, G. Attolico, E. Stella, A. Distanti, Istituto Elaborazione Segnali ed Immagini - C.N.R., Via Amendola, 166/5 - 70126 Bari – ITALY, Phone (39) 80-5481969 /Fax (39) 80-5484311, attolico@iesi.b a. cnr .i t, Proc. IROS 96 0-7803-3213-X/96. *IEEE*.1996.

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

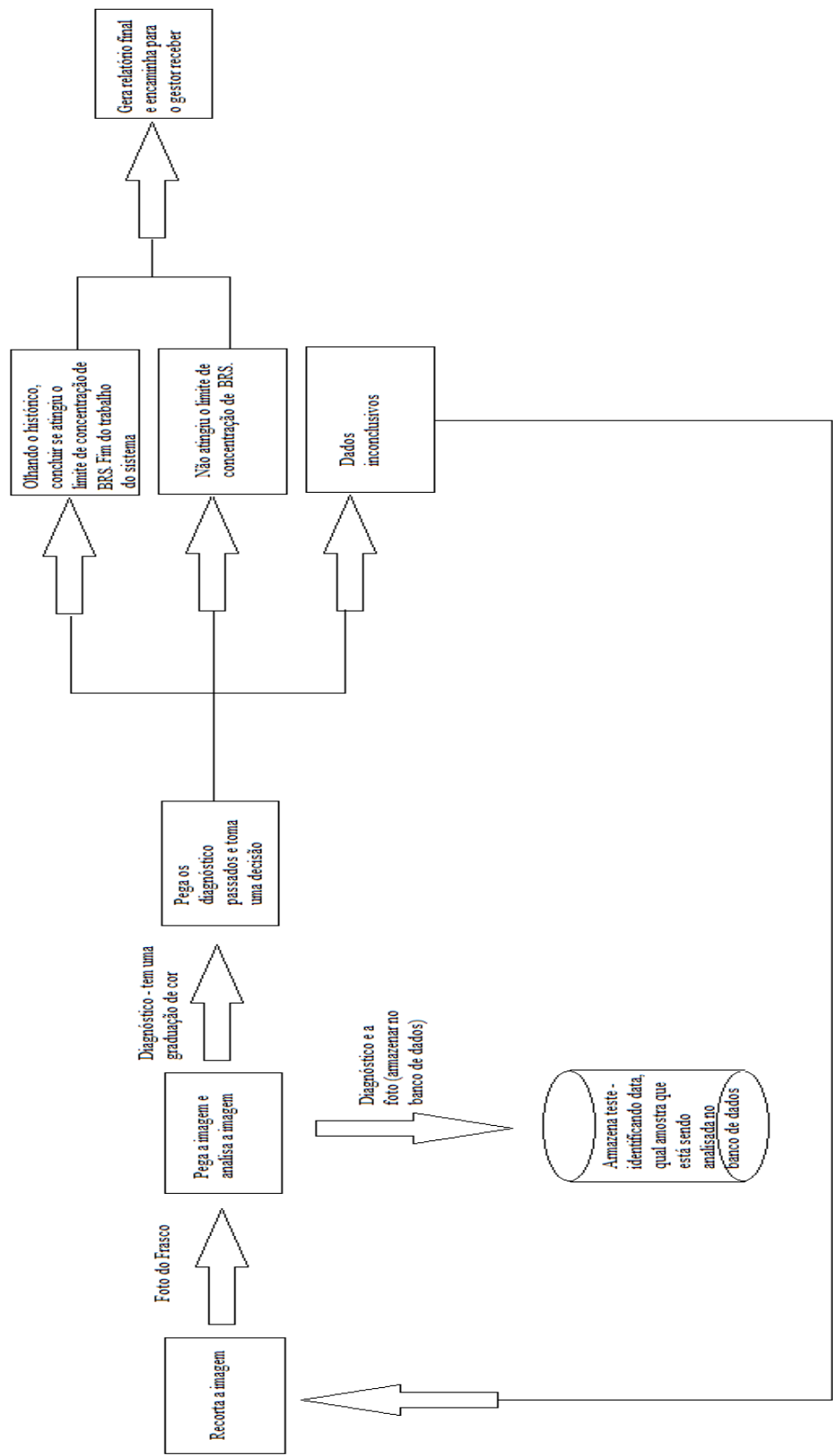
[33] *A NOVEL APPROACH TO ROBOT CONTROL USING FUZZY LOGIC*, de Ashok Nedungadi, Dennis J. Wenzel. Robotics & Automation Department, Southwest Research Institute, 6220 Culebra Road, San Antonio, TX 78228-0510. 1991.

8. Anexos

Anexo I



Anexo II





Anexo III

