

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

DRIELY CANDIDO SANTOS

**MÉTODO INTELIGENTE BASEADO EM SISTEMAS IMUNOLÓGICOS
ARTIFICIAIS APLICADO AO MONITORAMENTO DE FALHAS EM UM QUADRO
DE BICICLETAS**

**Ilha Solteira
2020**

DRIELY CANDIDO SANTOS

**MÉTODO INTELIGENTE BASEADO EM SISTEMAS IMUNOLÓGICOS
ARTIFICIAIS APLICADO AO MONITORAMENTO DE FALHAS EM UM QUADRO
DE BICICLETAS**

Dissertação apresentada à Faculdade de
Engenharia de Ilha Solteira – UNESP como parte
dos requisitos para obtenção do título de Mestre
em Engenharia Elétrica.

Área de Conhecimento: Automação

Prof.^a Dra. Mara Lúcia Martins Lopes
Orientadora

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

S237m Santos, Driely Candido.
Método inteligente baseado em sistemas imunológicos artificiais aplicado ao monitoramento de falhas em um quadro de bicicletas / Driely Candido Santos. -
- Ilha Solteira: [s.n.], 2020
77 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de Conhecimento: Automação, 2020

Orientador: Mara Lúcia Martins Lopes

Inclui bibliografia

1. Sistemas Imunológicos Artificiais. 2. Algoritmo de Seleção Negativa. 3. Monitoramento de Integridade Estrutural. 4. Bicicletas. 5. Estruturas Mecânicas.



Raiane da Silva Santos
Supervisora Técnica de Seção
Serviço Técnico de Referência, Atendimento ao usuário e Documentação
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação
CRB 8 - 9999



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Ilha Solteira

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

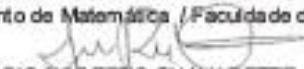
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: MÉTODO INTELIGENTE BASEADO EM SISTEMAS IMUNOLÓGICOS ARTIFICIAIS APLICADO AO MONITORAMENTO DE FALHAS EM UM QUADRO DE BICICLETA

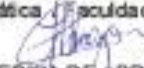
AUTORA: DRIELY CANDIDO SANTOS

ORIENTADORA: MARA LUCIA MARTINS LOPES

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em ENGENHARIA ELÉTRICA, área: Automação pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. MARA LUCIA MARTINS LOPES
Departamento de Matemática / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP


Prof. Dr. FABIO ROBERTO CHAVARETTE
Departamento de Matemática / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP


Prof. Dr. THAYS APARECIDA DE ABREU SANTOS
Campus de Hortolândia / Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo - IFSP

Ilha Solteira, 24 de agosto de 2020

DEDICO

À minha família, a minha mãe **Nilma Maria Queiroz Candido**,
minha avó **Vilma Queiroz**, meu noivo **Allan dos Santos Silva** e
a minha irmã **Dayrine Candido Silva** por todo apoio e
compreensão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por me dar esta oportunidade, forças para perseverar, pelo cuidado e misericórdia para comigo.

Agradeço a minha família, mãe Nilma, vó Vilma, irmã Dayrine, noivo Allan por acreditarem em mim, por todo apoio e dedicação que me foram transmitidos, agradeço por toda a compreensão nestes dois anos.

Agradeço aos meus amigos, Hugo Motta, João Victor, Kelry Mayara e Claudia Oka, por todo o incentivo, carinho e amizade.

Agradeço a minha orientadora Prof.^a Dra. Mara Lúcia Martins Lopes, pela oportunidade que me foi dada, por toda compreensão ao longo desses dois anos, pois sei que não foi fácil lidar com as minhas trapalhadas, agradeço também pela sua amizade, por me ouvir, me incentivar e pela sua orientação, muito obrigada!

Agradeço ao Prof. Dr. Fabio Roberto Chavarette, pela disponibilidade, pela motivação, pelo apoio em geral e pelas orientações dadas para a conclusão deste trabalho.

Aos professores do PPGEE da UNESP de Ilha Solteira em especial aos professores, Carlos Minussi e Ana Diva por compartilhar conosco parte de seus conhecimentos e sabedoria ao longo do curso.

Aos meus colegas do PPGEE e do Laboratório de Sistemas Inteligentes – SINTEL pelo companheirismo, pela amizade e por todo apoio.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

“A melhor maneira de transformar sonhos em realidade é acordar e realiza-los com audácia e valentia.” Mae C Jemison.

RESUMO

As bicicletas se tornaram populares atualmente, seja no esporte, nas ruas como meio de transporte ou como objeto de lazer e qualidade de vida. A mobilidade urbana é um assunto constantemente discutido nos dias modernos. De maneira geral o avanço social fez com que os consumidores exigissem mais das empresas tanto em qualidade como em segurança, isto não foi diferente com o setor de produção de bicicletas, assim o avanço de técnicas de aperfeiçoamento de qualidade e segurança de seus produtos é imprescindível. Este trabalho propõe a aplicação de um método para detecção de falhas baseado em Sistemas Imunológicos Artificiais para avaliar o desempenho deste método foram utilizadas a modelagem e simulação dos sinais de um quadro de bicicleta composto por fibra de carbono. Utiliza-se o Algoritmo de Seleção Negativa como ferramenta na identificação e caracterização de amostras de falhas, esta metodologia pode ser útil para auxiliar profissionais de inspeção e manutenção facilitando a tomada de decisões. Nos testes o algoritmo foi aplicado de duas formas, a primeira utiliza seleção sequencial para a escolha das cadeias da matriz de comparação com desvio de 3% como proposto em trabalhos presentes na literatura, depois variou-se o desvio em 2% e 5%. Os resultados obtidos por esse modelo se mostraram satisfatórios, quando utilizado desvio de 3% apresentando precisão e robustez.

Palavras-chave: Sistemas Imunológicos Artificiais. Algoritmo de Seleção Negativa. Monitoramento de Integridade Estrutural. Estruturas Mecânicas. Bicicletas.

ABSTRACT

Bicycles have become popular today, whether in sport, on the streets as a means of transport or as an object of leisure and quality of life. Urban mobility is a subject constantly discussed in modern days. In general, social advancement has led consumers to demand more from companies both in quality and safety, this was no different with the bicycle production sector, so the advancement of techniques to improve the quality and safety of their products is essential . This work proposes the application of a method for fault detection based on Artificial Immune Systems to evaluate the performance of this method. The modeling and simulation of the signals of a bicycle frame composed of carbon fiber were used. The Negative Selection Algorithm is used as a tool in the identification and characterization of fault samples, this methodology can be useful to assist inspection and maintenance professionals facilitating decision making. In the tests, the algorithm was applied in two ways, the first uses sequential selection to choose the comparison matrix chains with a 3% deviation as proposed in studies in the literature, then the deviation was varied by 2% and 5%. The results obtained by this model proved to be satisfactory, when a 3% deviation was used, presenting precision and robustness.

Keywords: Artificial Immune Systems. Negative Selection Algorithm. Structural Integrity Monitoring. Mechanical Structures. Bicycles.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Corrosão Galvânica.....	18
Figura 2 - Trinca em Parede de Alvenaria.....	18
Figura 3 - Elaboração de um SHM.....	21
Figura 4 - Estrutura do Sistema Imunológico Biológico.....	25
Figura 5 - Fluxograma da Fase de Censoriamento do ASN.....	28
Figura 6 - Fluxograma da Fase de Monitoramento do ASN.....	28
Figura 14 - Arduino UNO.....	41
Figura 16 - Conexão Arduino - MPU6050.....	43
Figura 21 - Módulo Censoriamento do ASN.....	47
Figura 22 - Módulo Monitoramento do ASN.....	48
Figura 23 - Comparação entre os Resultados obtidos através da Variação de Desvio...	55
Figura 25 - Órgãos Linfóides.....	67
Figura 26 - Princípio de Aprendizagem do Sistema Imunológico Biológico.....	70
Figura 27 - Réplica do Celerífico.....	72
Figura 28 - Bicicleta Draisiana.....	73
Figura 30 - Velocípede.....	74
Figura 31 - Bicicleta Ordinarie.....	75
Figura 32 - Rover - Safety.....	76
Figura 33 - Evolução das Bicicletas.....	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Projeções da Produção de Bicicletas por Categorias.....	38
Tabela 2 - Classificação por Altura de Selim.....	38
Tabela 3 - Resultados Obtidos para Configuração 1 - Desvio 3%.	50
Tabela 4 - Resultados Obtidos para a configuração 2 - Desvio 3%.	51
Tabela 5 - Resultados Obtidos para Configuração 3 - Desvio 3%.	51
Tabela 6 - Resultados Obtidos para Configuração 1 - Desvio 2%.	52
Tabela 7 - Resultados Obtidos para Configuração 2 - Desvio 2%.	52
Tabela 8 - Resultados Obtidos para Configuração 3 - Desvio 2%.	52
Tabela 9 - Resultados Obtidos para Configuração 1 - Desvio 5%.	53
Tabela 10 - Resultados Obtidos para Configuração 2 - Desvio 5%.	53
Tabela 11 - Resultados Obtidos para Configuração 3 - Desvio 5%.	53

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRACICLO	Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas, Motonetas, Bicicletas e Similares.
APC	Célula Apresentadora de Antígeno
ASN	Algoritmo de Seleção Negativa
END	Ensaio Não Destrutivo
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
MHC	Complexo Principal de Histocompatibilidade (<i>Major Histocompatibility Complex</i>)
PIM	Polo Industrial de Manaus
SAI	Sistema Imunológico Artificial
SHM	<i>Structural Health Monitoring</i>
SIB	Sistema Imunológico Biológico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	JUSTIFICATIVA	14
1.2	OBJETIVO	15
1.3	ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	15
2	MONITORAMENTO DA INTEGRIDADE ESTRUTURAL	17
2.1	DEFINIÇÕES	17
2.2	MONITORAMENTO DA INTEGRIDADE ESTRUTURAL	19
2.2.1	Implementação de um SHM	20
2.3	Revisão Bibliográfica	22
3	SISTEMAS IMUNOLÓGICOS	24
3.1	Sistemas Imunológicos Biológicos	24
3.2	Sistemas Imunológicos Artificiais	26
3.2.1	Algoritmo de Seleção Negativa	26
3.2.2	Taxa de Afinidade	29
4	BICICLETAS E SEUS COMPONENTES	32
4.1	QUADRO	35
4.2	FIBRA DE CARBONO	38
5	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	40
6	METODOLOGIA	46
7	RESULTADOS	50
7.1	RESULTADOS PARA DESVIO DE 3%	50
7.2	RESULTADOS PARA DESVIO DE 2%	51
7.3	RESULTADOS PARA DESVIO DE 5%	53
7.4	DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	54
8	CONCLUSÕES	57
8.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	58
	REFERÊNCIAS	59
	APÊNDICE A- INTRODUÇÃO A IMUNOLOGIA	64
	A.1.Breve Histórico das Pesquisas em Imunologia	64

A.2. Introdução a Imunologia	66
A.3.Sistema Imunológico Biológico.....	67
A.4.Princípios Básicos de Funcionamento do Sistema Imunológico Biológico	69
APÊNDICE B – BREVE HISTÓRICO E EVOLUÇÃO DAS BICICLETAS..	72

1 INTRODUÇÃO

Nos dias de hoje com o avanço da sociedade, os consumidores de maneira geral, tem cobrado das companhias produtos cada vez melhores, tanto em tecnologia como em qualidade e preços, mas principalmente em segurança. Eles exigem da indústria, o aperfeiçoamento e a modernização em seus processos produtivos e de controle de qualidade, garantindo assim, sua confiança e fidelidade.

Assim como outros setores, nas últimas décadas as bicicletas ganharam popularidade. Consideradas um meio de transporte de baixo custo, quase não impactam ao meio ambiente quando comparadas aos modos de transporte tradicionais (TEIXEIRA, 2016).

Este veículo de transporte sustentável recebe atenção especial, pois repercute diretamente na melhora do sistema de mobilidade do transporte urbano, principalmente nas grandes cidades, além de ser de baixo custo e de logística inteligente (BRINKMANN, 2020).

Além de transporte ecoeficiente, a bicicleta contribui na melhora da qualidade de vida das pessoas, como na prática de exercícios físicos, lazer, desta e contribui para a diminuição dos carros em circulação. Ao se utilizar a bicicleta é possível observar que os músculos do corpo humano são solicitados continuamente, por meio da contração e relaxação, condicionados de forma isométrica, portanto, é uma maneira perfeita de fazer exercícios e de se manter saudável (WHITT; WILSON, 1995).

Antes de saírem das fabricas e serem colocadas no mercado, às bicicletas são submetidas a avaliações e testes de integridade, e seu quadro é um dos principais componentes a passar por rigorosos testes. Para isto, foram criadas normas com o propósito de regularizar os limiares de esforço mecânico suportados por um quadro, e alguns órgãos como a ISO (*International Organization for Standardization*), e ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) estabelecem normas para realização de testes e ensaios dinâmicos.

No entanto, esses ensaios não são suficientes para representar todos os cenários de fadiga possíveis. Por exemplo, no ciclismo urbano e de estrada é possível perceber que, as principais forças que geram estresse mecânico ao quadro são o torque aplicado aos pedais e as componentes criadas pelo peso do ciclista (MEIJAARD *et al.*, 2007).

Nas modalidades como o Mountain Bike e o BMX são frequentes os impactos por queda livre e a intensidade destes impactos é dependente do terreno que se atravessa

e isso pode ultrapassar os limites normatizados. A constante submissão de uma estrutura a esforços variados gera fadiga e o dano por fadiga aumenta de modo cumulativo e pode levar a falhas como trincas ou quebra por cisalhamento (FATEMI; YANG, 1998).

Para um ciclista tais falhas significam uma possível queda em alta velocidade, podendo causar desde ferimentos leves até a morte. Neste sentido buscam-se tecnologias que favoreçam a longevidade e resistência de uma bicicleta.

Nas últimas décadas têm se investido no desenvolvimento de novas tecnologias destinadas ao Monitoramento da Integridade de Estruturas, que faz parte da manutenção preditiva e detecção de falhas. (HALL, 1999). Exemplos destas estruturas são, grandes máquinas, veículos terrestres, aviões, edifícios, plataformas, etc. Tais falhas podem interferir no desempenho geral da estrutura causando efeitos catastróficos.

As técnicas tradicionais de avaliação da integridade estrutural são boas ferramentas, no entanto, existe a necessidade de novas técnicas especialmente quando atribuídas à detecção de falhas em tempo real. Desta maneira destacam-se novas tecnologias baseadas no conceito de Sistemas Inteligentes, como as Redes Neurais Artificiais, Algoritmos Genéticos, Sistemas Imunológicos Artificiais entre outros.

Nesta dissertação, é aplicado um método baseado em Sistemas Imunológicos Artificiais, no qual se utiliza o Algoritmo de Seleção Negativa (ASN), para o Monitoramento da Integridade da Estrutura de um quadro de bicicleta, composto por fibra de carbono. Foi utilizado o ASN por ter como característica a capacidade de reconhecimento de padrões e por apresentar bom desempenho e eficiência em outras aplicações (LIMA *et al.*, 2013).

JUSTIFICATIVA

A evolução dos meios de transporte, maquinários, sistemas produtivos, sistemas de comunicação e muitos outros, exigem que as novas tecnologias sejam capazes de prever falhas e apresentar respostas rápidas e confiáveis, para tomadas de decisões eficazes. Principalmente nas situações em tempo real quando estas estruturas estão em operação, a diversificação e o emprego de novas tecnologias nesta e em outras áreas da atualidade mostram-se necessárias.

Neste contexto, o estudo de novas técnicas contribui para a evolução, aperfeiçoamento e descoberta de novas tecnologias, capazes de solucionar ou chegar

mais próximo de solucionar problemas relacionados a falhas de estruturas, de maneira que evite ou amenize erros. Desenvolver soluções inspiradas em processos naturais e/ou biológicos (redes neurais artificiais, lógica fuzzy e sistemas imunológicos artificiais, etc.) favorece o processamento de dados e acelera a tomada de decisões por parte de Sistemas de Monitoramento de Integridade Estruturais (ZHANG; HOU, 2014).

OBJETIVO

Nesta dissertação, propõe-se o uso do Algoritmo de Seleção Negativa a um Sistema de Monitoramento de Integridade Estrutural, a partir de dados de um quadro de bicicleta composto por fibra de carbono. O objetivo é analisar o desempenho do Algoritmo proposto por Forrest *et al.*, (1994), como ferramenta aplicada à diferenciação de sinais de características normais e de falha, produzidos a partir do quadro de bicicleta em laboratório.

Como objetivos desta dissertação, tem-se:

- Atestar a eficiência do ASN, para distinção dos sinais produzidos a partir do quadro de bicicleta, utilizando o modelo de desvio de 3% como proposto na literatura;
- Comparar o desempenho do Algoritmo ao variar-se o desvio;
- Contribuir para a pesquisa de Sistemas de Monitoramento da Integridade de Estruturas, baseados em Sistemas Inteligentes.

ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Para facilitar a compreensão, esta dissertação está organizada em oito capítulos.

Capítulo 1: Introdução

Apresentam-se a introdução em relação ao tema e conceitos que serão discutidos, a justificativa e o objetivo deste trabalho.

Capítulo 2: Monitoramento da Integridade Estrutural

São apresentados os conceitos de falhas estruturais, Monitoramento da Integridade de Estruturas, definem-se algumas expressões relacionadas ao tema abordado e são apresentadas algumas técnicas comumente utilizadas em SHMs. Explana-se a motivação e a implementação de um Sistema de Monitoramento de Estruturas. Apresenta-se uma revisão bibliográfica onde se encontram alguns dos trabalhos presentes na literatura, que tratam de métodos e técnicas de Monitoramento da Integridade de Estruturas, salientando-se os baseados em sistemas inteligentes.

Capítulo3: Sistemas Imunológicos

Aborda o conceito de Sistema Imunológico Biológico, apresenta as definições de Sistemas Imunológicos Artificiais, e descreve-se o Algoritmo de Seleção Negativa utilizado na elaboração desta dissertação.

Capítulo 4: Bicicletas e seus Componentes

Faz uma breve apresentação do histórico da produção de bicicletas, expõe principais componentes de uma bicicleta, os componentes de um quadro de bicicleta e sua importância assim como algumas informações sobre a fibra de carbono. Ressalta-se que este material foi utilizado na composição do quadro de bicicleta empregado no desenvolvimento desta dissertação.

Capítulo 5: Procedimento Experimental

Descreve-se o experimento realizado para a obtenção do banco de dados utilizado e os equipamentos usados.

Capítulo 6: Metodologia

É descrita a metodologia adotada nesta dissertação, implementação do algoritmo assim como as configurações utilizadas para os testes.

Capítulo7: Resultados

Apresentam-se os resultados obtidos a partir dos testes realizados, dispostos em tabelas divididas por condições pré-estabelecidas em cada teste.

Capítulo 8: Conclusões

Expõem as considerações finais relativas a esta dissertação e as sugestões para trabalhos futuros.

Por fim, no Apêndice A têm-se um breve histórico sobre os primeiros conceitos relacionados à Imunologia e no Apêndice B a história da bicicleta e sua evolução até os dias atuais.

1 MONITORAMENTO DA INTEGRIDADE ESTRUTURAL

2.1 DEFINIÇÕES

Antes de prosseguir, são definidas algumas expressões utilizadas ao longo deste texto.

Manutenção preditiva: Antecipa as condições de equipamentos baseada na alteração de padrões de condição ou desempenho. Utiliza-se do monitoramento para determinar a condição da estrutura ou equipamento (KARDEC; NASSIF, 2001).

Dano: Definido como diminuição da potência de algum elemento, que pode ser causado por condições no ambiente, falha humana ou sobrecargas externas. Tecnicamente as estruturas são projetadas para suportar alguma quantidade de dano (PAWAR; GANGULI, 2011). No entanto a detecção precoce de danos pode impedir a evolução para uma falha estrutural.

Falha estrutural: Falhas são caracterizadas pelo acúmulo de danos na estrutura, que acarretam alterações permanentes em suas propriedades que leve a ineficiência no funcionamento esperado de uma estrutura ou máquina (PAWAR; GANGULI, 2011). Exemplos de falhas em estruturas são trincas causadas por fadiga ou impacto, flambagem, incrustação, fissuras, corrosão, deformação permanente, vibração, fratura, etc. As Figuras 1 e 2 mostram dois tipos de falhas comumente vistas. Na Figura 1 tem-se a deterioração do aço causada pela ação corrosiva e na Figura 2 apresenta-se uma trinca numa parede de alvenaria, possivelmente causada pela ação do tempo.

Figura 1 - Corrosão Galvânica.



Fonte: Mecânica Industrial (2020)

Figura 2 - Trinca em Parede de Alvenaria.



Fonte: Quatzolit (2020)

Diagnostico de falhas: Método de análise de danos, que consiste em monitorar alterações nas condições da estrutura. Desta maneira, é possível garantir que o dano iniciado não se expanda e coloque toda estrutura em risco (TEBALDI; COELHO; LOPES, 2006)

Prognóstico de danos: Definido como a antecipação em tempo real da vida útil restante em um sistema (PAWAR; GANGULI, 2011).

2.2 MONITORAMENTO DA INTEGRIDADE ESTRUTURAL

O Monitoramento da Integridade Estrutural descrito nesta dissertação será nomeado por SHM (em referência ao termo em inglês Structural Health Monitoring), é considerado uma das categorias da manutenção preditiva abordada na engenharia.

O objetivo da manutenção preditiva é identificar falhas em estágios iniciais, baseado na variação das propriedades da estrutura, por meio da amostragem de suas características, obtidas a partir de sensores. A análise do comportamento destes dados possibilita determinar o estado atual de integridade do sistema (FARRAR; LIEVEN; BEMENT, 2005).

Conforme Pawar e Ganguli (2011) o SHM pode ser aplicado em diversas áreas, como indústrias mecânicas, aeroespaciais e engenharia civil, na execução e na avaliação de uma estrutura em funcionamento. O desenvolvimento de um SHM com bom desempenho é importante para garantir segurança, além disso, assegurar redução do “tempo de parada”, maior vida útil dos componentes, testes reduzidos, isto tudo impacta diretamente na economia, dos custos com a manutenção.

Conhecer a integridade das estruturas em tempo real é um dos maiores objetivos dos fabricantes e equipes de manutenção. A motivação para o uso do SHM é permitir a execução ideal da estrutura, isto evita falhas catastróficas, possibilita substituir a inspeção de manutenção programada pela baseada em desempenho (manutenção baseada em condições), igualmente aperfeiçoa o trabalho de manutenção atual, reduz o tempo de inatividade e erros humanos, ampliando a segurança e confiabilidade das estruturas (BALAGEAS; FRITZEN; GUEMES, 2006).

Para Farrar e Worden (2007) caracterizar o dano apresentado numa estrutura, “pode ser realizado a partir dos seguintes passos”:

1. *Identificação:* indica se ocorreu dano ou não;
2. *Localização:* permite realizar a possível localização do dano;

3. *Avaliação*: fornece um diagnóstico do dano, bem como localiza e quantifica a dimensão do dano;
4. *Prognóstico*: fornece informações sobre a confiabilidade, como a vida útil da estrutura (tempo antes da falha).

Segundo Louzada (2013) a partir de experimentos, foi possível elaborar alguns princípios básicos para o desenvolvimento de um SHM:

1. A presença de falhas ou defeitos característicos é apresentada em qualquer tipo de material;
2. É necessário que se faça a comparação entre pelo menos dois estados da estrutura, para analisar algum tipo de dano.
3. Não há necessidade de conhecimento prévio do tipo de falha, para comprovar sua existência e localização, no entanto para identifica-la e classifica-la o conhecimento prévio é indispensável;
4. Para aquisição de informações pertinentes é necessário à obtenção e processamento dos dados coletados. Sensores não possuem a capacidade de quantificar danos numa estrutura;
5. Recursos inteligentes garantem cálculos menos vulneráveis, aos danos e a condições ambientais;
6. As informações necessárias para o SHM são baseadas no início e evolução do dano;
7. A sensibilidade de um algoritmo pode estar diretamente relacionada ao dano e ao ruído;
8. A dimensão do dano pode estar associada a alterações na dinâmica do sistema.

Louzada (2013) complementa que todo material está sujeito a apresentar falhas, portanto existe a necessidade de inspeção prévia dos materiais das estruturas. E ainda é abordada a necessidade de inspeção prévia da estrutura sem defeitos, uma vez que estes dados serão referencia para a comparação (LOUZADA, 2013).

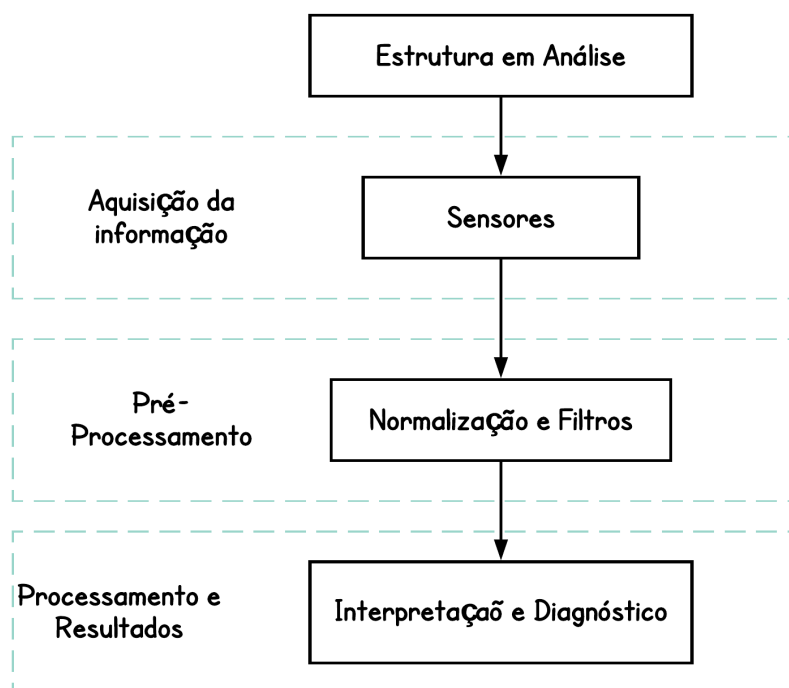
2.2.1 Implementação de um SHM

Worden e Dulieu-Barton (2004), “julgam necessárias quatro etapas para a resolução deste problema”:

- *Investigação operacional*: questionam-se alguns pontos relativos à efetivação de um sistema de monitoramento como, justificativas econômicas ou de segurança, a definição do dano para o sistema, as condições de operação do sistema, entre outros;
- *Aquisição da informação*: define-se o tipo de sensores utilizados, o tipo de processamento e armazenamento dos sinais e o tempo de monitoramento;
- *Seleção das características*: obtenção das informações que mostrem as diferenças entre as propriedades apresentadas por um sinal com falhas e um sinal que não apresente falhas;
- *Estruturação de um modelo estatístico para identificação da característica*: são introduzidos algoritmos capazes de classificar e identificar danos no material, isto possibilita determinar a situação da integridade da estrutura.

Conforme apresentado em Louzada (2013) um SHM pode ser elaborado em quatro etapas, como mostrado na Figura 3.

Figura 3 - Elaboração de um SHM.



Fonte: Adaptado de Louzada (2013).

1. A primeira etapa é resumida na obtenção das informações, que podem ser através de sensores, atuadores ou qualquer outro dispositivo capaz de coletar os sinais que carreguem as características da estrutura (LOUZADA, 2013);
2. Uma vez coletados, os dados passam por um processo de refinamento, a partir de filtros, normalização, para reduzir ruídos. Ressalta-se a importância do tratamento de dados, para o aumento da confiabilidade de todo SHM (LOUZADA, 2013);
3. Esta etapa, refere-se à transferência dos dados coletados, visto que nem sempre o sistema de processamento e interpretação de dados está efetivamente próximo a coleta. Assim considera-se a maneira de transferência mais eficaz para cada caso, seja por meio de cabos ou comunicação sem fio (LOUZADA, 2013);
4. Nesta ultima etapa, são empregados os algoritmos que interpretaram e classificarão os dados adquiridos em todo o processo. As técnicas utilizadas nesta etapa podem ser redes neurais, algoritmos genéticos, algoritmos estatísticos, sistemas imunológicos artificiais entre outros. Sua escolha advém da necessidade específica para cada problema. Ainda nesta etapa é expresso o diagnóstico obtido a partir do processamento dos dados (LOUZADA, 2013).

2.3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta revisão são apresentados alguns trabalhos desenvolvidos relacionados e aplicados ao estudo de SHM, e enfatizam-se aqueles que tratam de técnicas inteligentes como ferramenta de processamento de dados no Monitoramento da Integridade de Estruturas.

Dasgupta e Forrest (1999) apresentam um método que utiliza o Algoritmo de Seleção Negativa, aplicado à detecção da possível quebra de ferramentas de corte em operações de moagem.

Dasgupta *et al.* (2004) propõe um método para detectar falhas de operação em aeronaves, o método é baseado no Algoritmo de Seleção Negativa, e possibilita detectar qualquer comportamento anormal do sistema (incluindo danos e falhas). O experimento foi conduzido usando dados coletados por um simulador de voo em condições normais e em condições simuladas de falhas.

No artigo de Tebaldi; Coelho; Lopes (2006) os autores sugerem a caracterização de falhas em estruturas, baseada na impedância elétrica, responsável pela localização da região onde se encontra o dano e de um método de otimização para quantificar a extensão das falhas na estrutura.

Xiang-jun; Zhan-Feng; Qiang (2010) propõe um modelo utilizando transformada Wavelet para avaliar a integridade de estruturas de pontes através dos sinais de vibração.

Zhang; Hou (2014) expõe um método baseado em Sistemas Imunológicos Artificiais para monitorar a saúde de estruturas civis. Neste modelo os parâmetros específicos não são levados em consideração, para que haja um bom comportamento do SHM.

Balli; Sem (2014) mostram um sistema fuzzy para predição de falhas em lâminas reforçadas com fibras de vidro.

Lima *et al.* (2014a) sugerem um método de Monitoramento da Integridade de Estruturas, que utiliza Sistemas Imunológicos artificiais para análise de dados e aplica este método na análise de um edifício.

Lima *et al.* (2015) apresenta um método para monitoramento da integridade de estruturas aeronáuticas, baseado nos Sistemas Imunológicos Artificiais, para caracterizar amostras de falhas de sinais simulados, a partir de um modelo matemático utilizado numa viga de alumínio.

De Oliveira; Inman, (2015), descrevem um método de análise baseada na técnica de impedância eletromecânica, aplicada a uma estrutura composta por fibra de carbono revestida pela resina epóxi, utiliza-se uma rede neural ARTMAP-Fuzzy simplificada para realizar a análise dos dados estruturais.

Anaya; Tibaduiza; Pozo, (2015) abordam uma metodologia, que se baseia em Sistemas Imunológicos Artificiais, para o reconhecimento de padrões. O método é capaz de diagnosticar o grau do dano presente na estrutura analisada.

Oliveira; Chavarette; Lima (2020) apresentam uma metodologia que utiliza os algoritmos de Seleção Negativa e Seleção Clonal, no diagnóstico de configurações de danos apresentados a um rotor.

3 SISTEMAS IMUNOLÓGICOS

3.1 SISTEMAS IMUNOLÓGICOS BIOLÓGICOS

O sistema imunológico biológico (SIB) corresponde a um conjunto de mecanismos presentes no organismo, que são os principais defensores contra infecções, responsável por dar uma resposta rápida e eficiente contra organismos invasores. (CASTRO, 2001).

Assim que agentes infecciosos invadem o organismo, o SIB deve reagir rapidamente em resposta a esta ameaça. No sistema imunológico biológico existem dois tipos de respostas: resposta imune inata e a resposta imune adaptativa.

Basicamente a resposta imune inata, também chamada de imunidade natural ou imunidade nativa é a primeira defesa do organismo, encarregada pelas primeiras medidas contra invasores, e é caracterizada por células dendríticas (APC, responsáveis por apresentar o invasor), por células fagocitárias (granulócitos, macrófagos etc.) que ingerem partículas estranhas ao organismo e por barreiras externas como a pele. (ABBAS; LICHTMAN; PILLAI, 2014).

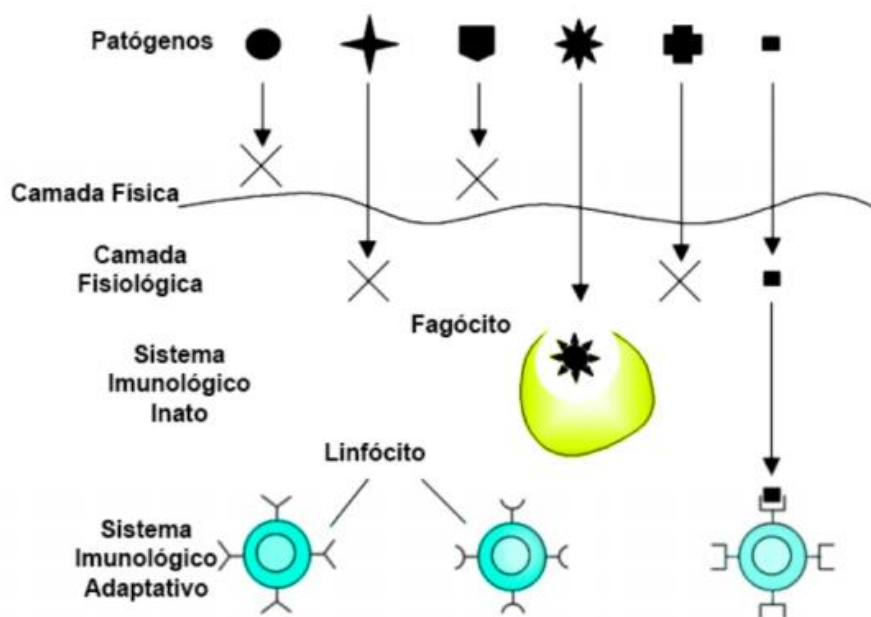
A resposta imune adaptativa também chamada de imunidade adquirida ou específica é a camada secundária responsável pelo reconhecimento de microrganismos como vírus, bactérias, etc. É nela que o corpo adquire as informações sobre o agente invasor desde o primeiro contato e também é a incumbida de armazenar as características dos agentes invasores, isto garante uma resposta mais rápida e eficiente caso haja uma nova infecção pelo mesmo agente (ABBAS; LICHTMAN; PILLAI, 2014).

A habilidade de reconhecimento e neutralização de agentes infecciosos do SIB é decorrente da capacidade em detectar elementos não próprios que possam causar danos ao organismo, e alguns fatores podem exemplificar a complexidade deste sistema de reconhecimento, como por exemplo:

- A disponibilidade de recursos para eliminar agentes invasores é pequena;
- O organismo precisa continuar em funcionamento em todo processo;
- O número de padrões próprio é bem menor que o número de padrões não próprios.

Estima-se que os padrões próprios presentes no organismo sejam 30% de todos os padrões do sistema, por este motivo o mecanismo de defesa do SIB é dividido em camadas, como mostrado na Figura 4, estas camadas exercem funções específicas para identificação de elementos não próprios (CASTRO, 2001). As camadas físicas e fisiológicas, como a pele e barreiras bioquímicas, juntamente com os sistemas imune e adaptativo, formam a defesa do corpo humano.

Figura 4 - Estrutura do Sistema Imunológico Biológico.



Fonte: Castro (2001).

Segundo CASTRO (2001) o SIB é capaz de reconhecer 100% dos antígenos presentes no organismo, caso o sistema imunológico não apresentasse a capacidade de realizar esta diferenciação, acarretaria uma resposta imune contra os próprios elementos, o que desencadearia doenças autoimunes. Os mecanismos responsáveis por essa função são conhecidos por seleção positiva e seleção negativa, eles evitam que os linfócitos sejam acionados para neutralizar elementos próprios do organismo (CASTRO, 2001).

3.2 SISTEMAS IMUNOLÓGICOS ARTIFICIAIS

Há muito tempo os pesquisadores são inspirados pelos fenômenos da natureza, para o desenvolvimento de tecnologias eficientes para solução de diferentes problemas e áreas de conhecimento, exemplos disto estão técnicas como os algoritmos evolutivos, as redes neurais e muitos outros. Os Sistemas Imunológicos Artificiais (SIA), como o próprio nome sugere, são algoritmos computacionais inspirados nos mecanismos de defesa disponíveis no corpo humano (LIMA *et al.*, 2015).

O conceito de sistemas imuno-inspirados tem apresentado bom desempenho em inúmeras aplicações como na segurança computacional, memórias associativas, controle, robótica, aprendizagem de máquina, reconhecimento de padrões entre outras (CASTRO, 2001).

Segundo Castro (2001) poucos autores apresentam uma definição formal para o tema, a seguir têm-se as seguintes definições:

Definição: Os sistemas imunológicos artificiais constituem-se de métodos inteligentes, para solução de problemas do mundo real com inspirações no sistema imunológico biológico (DASGUPTA, 1998) (DASGUPTA, 1998).

Definição: O sistema imunológico artificial é proposto como uma metáfora para o sistema imunológico biológico (TIMMIS, 2000).

3.2.1 Algoritmo de Seleção Negativa

O Algoritmo de Seleção Negativa (ASN) foi desenvolvido por Forrest *et al.*, (1994) inicialmente para detecção de anormalidades em sistemas computacionais, baseado no princípio da discriminação do próprio, desempenhado a partir das células T que através de seus receptores são capazes de identificar proteínas incomuns (Antígenos) no organismo. O processo de seleção negativa ocorre no timo no qual existem exclusivamente moléculas particulares do corpo, que são chamadas de próprio, desta maneira, é responsável por eliminar qualquer célula portadora de anticorpos, que sejam capazes de reconhecer antígenos próprios. Após este processo as células T

maturadas são liberadas e atuarão no reconhecimento de antígenos agressores, que são denominados não próprios (FORREST *et al.*, 1994).

Baseado na distinção entre o próprio e o não próprio, o ASN é executado em duas fases (CASTRO, 2001):

1. *Censoriamento*

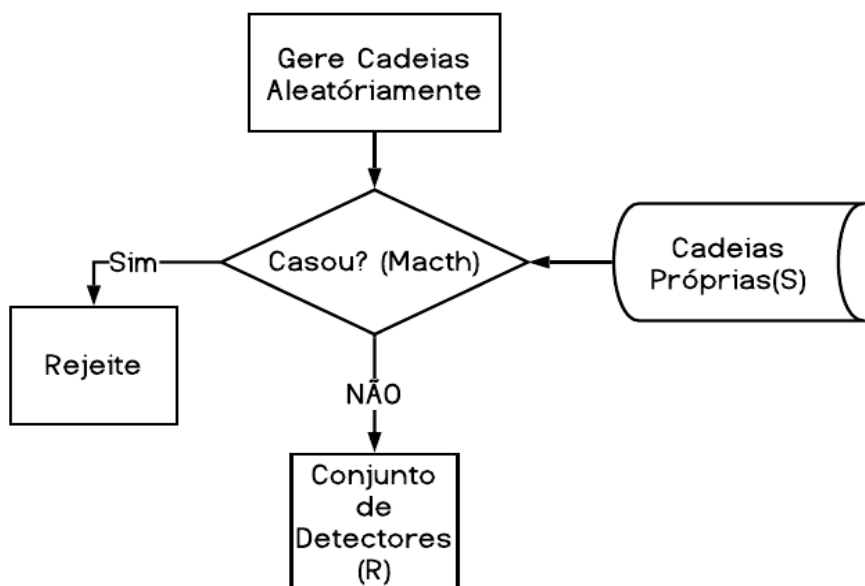
- a) Definir o conjunto de cadeias próprias (S) que se deseja proteger;
- b) Gerar cadeias aleatoriamente e avaliar a afinidade (*match*) entre cada uma delas e as cadeias próprias. Caso a afinidade seja superior a um limiar pré-determinado, rejeita a cadeia. Caso contrário, armazena-a em um conjunto de detectores (R).

2. *Monitoramento*

- a) Dado o conjunto de cadeias que se deseja proteger (cadeias protegidas), avalia a afinidade entre cada uma delas e o conjunto de detectores. Se a afinidade for superior a um limiar preestabelecido, então um elemento não próprio é identificado.

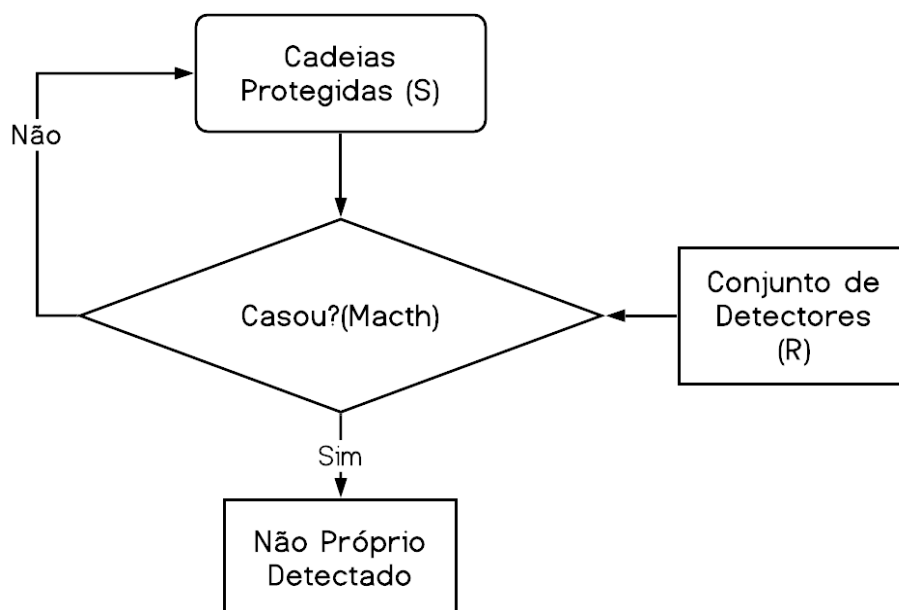
Nas Figuras 5 e 6 estão representados, respectivamente, os fluxogramas das fases de censoriamento e monitoramento do ASN.

Figura 5 - Fluxograma da Fase de Censoriamento do ASN.



Fonte: Adaptado Lima *et al.* (2014b).

Figura 6 - Fluxograma da Fase de Monitoramento do ASN.



Fonte: Adaptado Lima *et al.* (2014b).

Na etapa de sensoriamento os detectores próprios são definidos, e estes caracterizam a conjectura normal do sistema, reconhecidas também como cadeias

próprias (S). Nesta fase o objetivo é gerar um conjunto de detectores padrões (R), capazes de distinguir algum padrão não próprio na próxima fase.

Desta maneira é feita a leitura dos dados, e as cadeias são escolhidas de maneira randômica (aleatória). Uma vez escolhidas, estas cadeias são comparadas com o conjunto de cadeias próprias (S) e verifica-se a afinidade entre elas. Se a afinidade entre elas for superior a um limiar predeterminado (taxa de afinidade) a cadeia é desprezada, quando não, esta cadeia é incluída ao conjunto de detectores (R), aplicado na fase de monitoramento. Estes detectores se assemelham as células T maturadas, que possuem a capacidade de reconhecimento de agentes invasores, ou seja, possui capacidade de identificar qualquer elemento não próprio, que pode ser uma alteração ou erro nos dados em monitoramento (LIMA *et al.*, 2014b).

Na fase de monitoramento o objetivo é monitorar possíveis modificações no comportamento das amostras, e assim categorizar estas mudanças a partir do conjunto de detectores gerados na fase de sensoriamento. Desta forma, as cadeias protegidas (S) são analisadas e comparadas com o conjunto de detectores (R), e a afinidade entre cada uma destas cadeias é avaliada.

No caso da afinidade entre elas superar um limiar preestabelecido um elemento não próprio é encontrado e classificado (CASTRO, 2001).

A fase de sensoriamento é executada de maneira *off-line* e propõe apenas construir um conjunto de detectores de anomalias. O monitoramento é realizado em tempo real, de modo que cada cadeia identificada por um detector é caracterizada como uma anormalidade no sistema.

Analogamente ao sistema biológico, os detectores são comparados às células T maturadas capazes de reconhecer agentes patogênicos (FORREST *et al.*, 1994).

Neste trabalho utiliza-se o critério de afinidade proposto por Bradley; Tyrrell (2002).

3.2.2 Taxa de Afinidade

Para qualificar a afinidade entre as cadeias e definir se são semelhantes, emprega-se um critério conhecido como casamento ou combinação. Este casamento pode ser perfeito ou parcial (LIMA *et al.*, 2014).

No casamento perfeito as duas cadeias em análise devem ser iguais, neste trabalho foi utilizado o casamento parcial, no qual uma quantidade de pontos entre os

padrões deve ter o mesmo valor, e para que se confirme o casamento esta quantidade (taxa de afinidade) deve ser previamente definida.

A taxa de afinidade representa o grau de semelhança necessário, para que ocorra o casamento entre as duas cadeias em análise e é definida a partir da equação (1) (BRADLEY; TYRRELL, 2002):

$$TAf = \left(\frac{A_n}{A_t} \right) \times 100 \quad (1)$$

Sendo:

TAf : Taxa de afinidade;

A_n : número de cadeias normais no problema (cadeias próprias);

A_t : número total de cadeias no problema (cadeias próprias e não próprias).

A equação (1) é responsável por quantificar de maneira correta o valor da taxa de afinidade, para o problema em questão, em que existe uma relação estatística entre as amostras do problema.

Para melhorar a eficiência do processo e torna-lo mais dinâmico, sugeriu-se um desvio vinculado ao padrão detector (anticorpo), de modo que houvesse uma tolerância para mais ou para menos com o intuito de possibilitar a combinação entre os padrões na avaliação da afinidade (BRADLEY; TYRRELL, 2002).

Conforme a equação (2), o desvio é empregado de maneira individual em cada posição i do vetor, o que possibilita avaliar o casamento ponto a ponto (LIMA *et al.*, 2015).

$$\underline{Ab_i} \leq Ag_i \leq \overline{Ab_i} \quad (2)$$

Sendo:

$\underline{Ab_i}$: Valor nominal da posição i menos o desvio adotado no anticorpo (padrão detector);

Ag_i : Valor nominal da posição i do antígeno (padrão em análise);

$\overline{Ab_i}$: Valor nominal da posição i mais o desvio adotado no anticorpo (padrão detector).

No caso da posição i do antígeno estar no intervalo expresso na equação (2) considera-se o casamento nesta posição. Logo analisando posição a posição é possível quantificar a afinidade entre os padrões (BRADLEY; TYRRELL, 2002).

Na equação (1) propõe-se uma relação estatística entre todas as amostras do problema para o cálculo da taxa de afinidade, com o propósito de quantificar a afinidade total entre os padrões utiliza-se a relação mostrada na equação (3) (BRADLEY; TYRRELL, 2002).

$$Af_T = \frac{\sum_{i=1}^L Vc}{L} \times 100 \quad (3)$$

Sendo:

Af_T : relação percentual de afinidade entre os padrões analisados;

L : quantidade total de variáveis;

Vc : variáveis casadas;

$\sum_{i=1}^L Vc$: somatória (quantidade) de variáveis casadas.

Assim, se Af_T for maior ou igual a TAf acontece o casamento entre os padrões, isto é, os dois padrões são semelhantes e os sinais analisados são considerados idênticos, desta maneira o sinal é classificado como normal, pois apresenta traços do conjunto de detectores próprios. No caso de Af_T ser menor que TAf não existe casamento entre os sinais, pois o detector (anticorpo) não reconhece o antígeno.

4 BICICLETAS E SEUS COMPONENTES

Criadas por volta do século XIX, as bicicletas transformaram-se em um meio de transporte popular e econômico, e são consideradas o primeiro “veículo mecânico” para transporte individual. Segundo a ABRACICLO (Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas, Motonetas, Bicicletas e Similares) grande parte das bicicletas vendidas no Brasil é direcionada para locomoção e transporte. Estima-se que a frota nacional seja de aproximadamente 70 milhões de unidades em todo país (ABRACICLO, 2019).

O Brasil detém o título de 4º maior produtor de bicicletas do mundo. Com aproximadamente 2,5 milhões unidades produzidas em 2019, destas quase 920.000 unidades produzidas por fabricantes instaladas na zona franca de Manaus (PIM). Isto corresponde a um faturamento de aproximadamente 650.000.000 de reais.

Para 2020 a expectativa é o aumento de 7,3% em relação à produção de 2019, pelas fabricantes do PIM. Na Tabela 1 apresenta-se a produção por categorias no ano de 2019 e as projeções para 2020 antes da Pandemia causada pela COVID-19 (ABRACICLO, 2020)

Tabela 1 - Projeções da Produção de Bicicletas por Categorias.

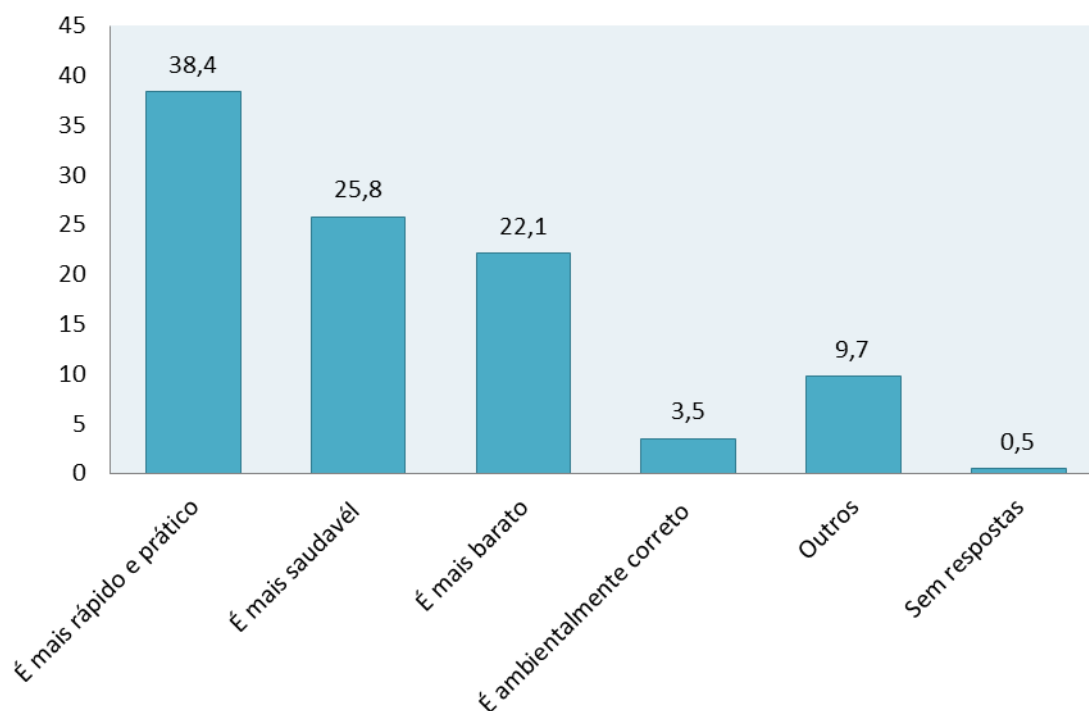
CATEGORIAS	2019	PROJEÇÃO 2020	VARIAÇÃO %	VARIAÇÃO UNIDADES
MTB	436.795	456.000	4,4%	19.205
URBANA/LAZER	337.849	355.000	5,1%	17.151
ESTRADA	9.102	11.000	20,9%	1.898
ELÉTRICA	2.958	11.000	271,9%	8.042
INFANTO JUVENIL	133.220	154.000	15,6%	20.780
TOTAL	919.924	987.000	7,3%	67.076

Fonte: Adaptado de Abraciclo (2020).

Uma pesquisa realizada pela ONG Transporte Ativo em parceria com a UFRJ, mostra que, em média 38,4% dos entrevistados utilizam a bicicleta como principal meio de transporte. Ainda segundo o estudo 55% destas pessoas procuram bicicletas para trajetos curtos de 3 km a 8 km, o qual foram entrevistadas cerca de 7 mil pessoas (ATIVO; LABMOB-UFRJ, 2015).

A Figura 7 aponta que a principal motivação dos brasileiros para começarem a utilizar a bicicleta como transporte, é por ser um meio de transporte rápido e prático. Em segundo lugar está por proporcionar hábitos mais saudáveis, depois por ser mais barato (ATIVO; LABMOB-UFRJ, 2015).

Figura 7 - Motivação para o uso de Bicicletas como Meio de Transporte.



Fonte: Adaptado ATIVO; LABMOB-UFRJ, (2015)

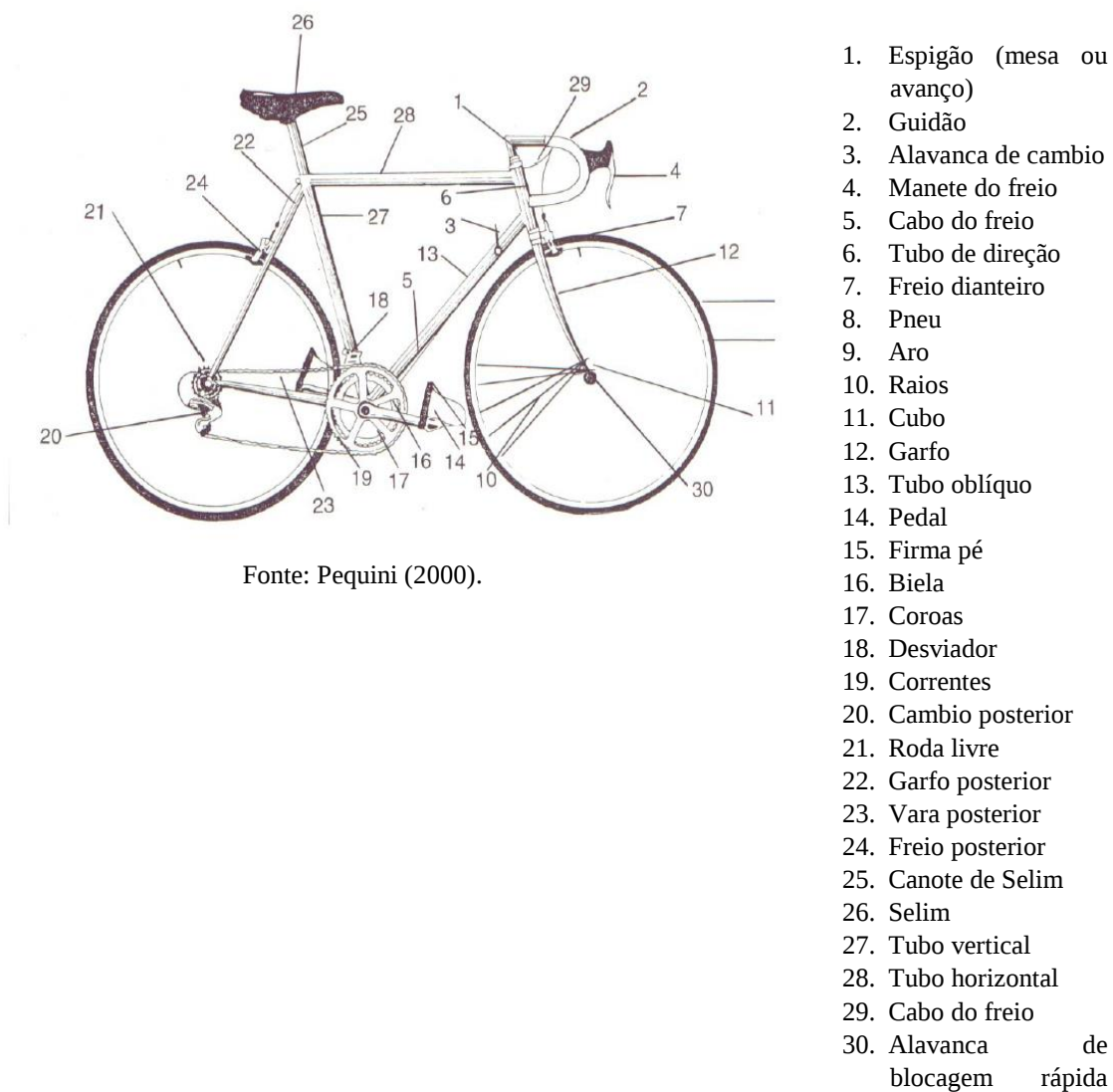
A pesar de ser um ótimo meio de transporte, as bicicletas também estão presentes no cenário esportivo, os primeiros relatos de competição datam de 1868 em St. Cloud Park - Paris e em 1870 foram criados alguns clubes de ciclismo que logo começaram a organizar corridas (BALLANTINE, 2000; GUPTA; RAO, 2016).

Genericamente, uma bicicleta é composta por rodas, guidão, um quadro, assento e uma relação de catraca, pedais e corrente, sua estrutura é dependente do quadro que é o responsável pelo sustento de todos os outros componentes. Em nível de curiosidade

no Apêndice B é realizada uma breve descrição da história e evolução das bicicletas até os dias de hoje.

A Figura 8 apresenta alguns dos componentes que fazem parte das bicicletas mais atuais.

Figura 8 - Componentes de uma Bicicleta Moderna.



Fonte: Pequini (2000).

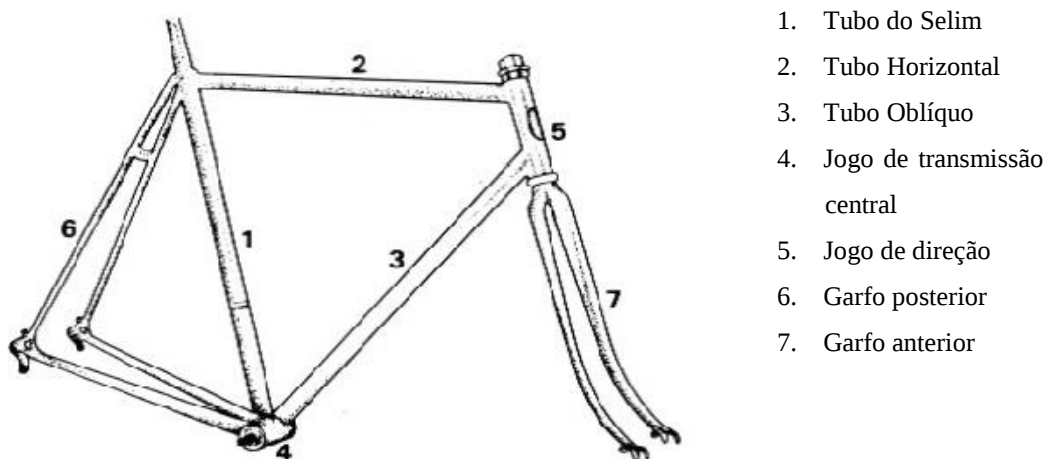
4.1 QUADRO

O quadro é apontado como principal componente da estrutura de uma bicicleta, é considerado a “alma da bike”, e representa quase um quarto do peso da bicicleta e é o responsável por converter a força do pedal em movimento para frente, guiando as rodas na direção indicada pelo ciclista.

O bom desempenho de uma estrutura depende dos materiais utilizados em sua construção, do projeto e método de construção, não há como resolver ou atualizar a estrutura de um quadro de maneira barata, peças como as rodas são fáceis de substituir, mas o quadro exige prioridade ao considerar uma bicicleta (BALLANTINE, 2000).

Um dos fatores mais importantes a se considerar em uma bicicleta é o peso, principalmente em bikes de competição, quanto mais leve é o quadro, melhor é a bicicleta, que mantém a mesma autonomia ou superior, isto é atribuído aos materiais utilizados na fabricação. Em sua maioria as bicicletas em circulação atualmente são construídas de metal, basicamente aço e alumínio, porém existem quadros fabricados em titânio, ligas de diferentes aços e de carbono, mas também há quadros de bambu, madeira e até plástico (BALLANTINE, 2000). Na figura 9 estão apontados os componentes básicos de qualquer quadro de bicicleta.

Figura 9 - Composição de um Quadro de Bicicletas.



Fonte: Pequini (2000).

Em resumo, os quadros menos rígidos podem dobrar, enquanto os quadros com mais rigidez não apresentam conforto suficiente. As estruturas feitas de tubos muito pesados podem ser rígidas, enquanto as estruturas feitas de tubos muito leves e rígidos podem ser fracas (PEQUINI, 2000).

O *design* de um quadro de bicicleta inclui a tentativa de encontrar o melhor equilíbrio entre força, rigidez e peso. No passado, o aço era o material escolhido para a armação, e havia dois tipos diferentes: o pesado para bicicletas usinadas de baixo custo e as ligas leves para bicicletas caras. O aço de alta qualidade é forte, mas requer tecnologia de processamento sensível. Com o crescimento do uso das bicicletas na década de 1970, chegou o desenvolvimento de aços de liga leve adequados para a tecnologia de produção em massa, quase ao mesmo tempo, houve desenvolvimento semelhante na tecnologia de processamento de alumínio, e o alumínio é agora, segundo Ballantine (2000) o principal material para produzir as melhores bicicletas.

Bicicletas avançadas como as empregadas em competições são feitas de fibra de carbono, aramida, titânio e outros materiais compósitos. O processo de fabricação de um quadro pode variar conforme o material utilizado, mas simplificarmente um quadro é a junção de vários tubos, que são fabricados separadamente e variam de acordo com o material e o tipo de bicicleta que será fabricada. Nas bicicletas mais simples os tubos podem ser produzidos por terceiros (REVISTA BICICLETA, 2019).

Para quadros de carbono, não existem tubos prontos, são utilizadas folhas de fibra de carbono, que podem apresentar diferentes padrões no agrupamento de fios e variados níveis de resistência e rigidez. A preparação do carbono inclui cortar as folhas em formatos que encaixem corretamente ao molde dos tubos ou do quadro, as folhas de carbono são dispostas em volta dos moldes do quadro, que podem ser de peças individuais ou de um quadro inteiro, depois as folhas de fibras recebem resina e são colocadas em um molde de metal, parecido com moldes de injeção de plástico, que prensa as folhas e as aquece, permitindo que a resina una todas elas e as transforme em uma só peça rígida (REVISTA BICICLETA, 2019).

A Figura 10 exemplifica um quadro de bicicleta encontrado no mercado confeccionado em fibra de carbono.

Figura 10 - Quadro de Fibra de Carbono Mountain Bike Ellite Aro 26.



Fonte: Site Mercado Livre.

Antes de ser colocado em uso, todo quadro deve ser submetido a avaliações e testes de integridade, realizados a partir de ensaios de impacto e de queda seguindo aos requisitos definidos pela norma brasileira ABNT NBR 14714:2013 (Veículo de duas rodas- Bicicleta- Quadro e garfo rígido- Requisitos de Segurança) e a norma internacional ISO 4210 (International Organization for Standardization, 2015), que se refere aos ensaios dinâmicos realizados.

A norma ABNT NBR 14714: 2013 estipulam os requisitos de segurança para o quadro e o garfo dianteiro de bicicletas de uso geral, a distância entre o centro do eixo da roda traseira e o centro do eixo da pedivela deve ser superior a 320 mm.

O conjunto de normas ISO 4210 foi criado em virtude da alta demanda de produção de bicicletas em todo o mundo, com a finalidade de garantir que as bicicletas fabricadas conforme estes requisitos sejam as mais seguras possíveis. Os testes descritos nessas normas foram projetados para assegurar a resistência e durabilidade das peças individuais e das bicicletas como um todo, exigem a consideração de aspectos de segurança e de qualidade. A ISO caracteriza os tipos de bicicletas por altura de selim, que corresponde à altura máxima (mm) do chão até o topo do acento, de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2 - Classificação por Altura de Selim.

Tipo de bicicleta	Bicicletas da cidade e trekking	Bicicletas para adultos jovens	Bicicletas de montanha	Bicicletas de corrida
Altura máxima do selim (mm)	635 ou mais	635 ou mais e menos de 750	635 ou mais	635 ou mais

Fonte: Adaptado de ISO.org.

4.2 FIBRA DE CARBONO

Fibras de carbono apresentam ótimas propriedades para uso na engenharia, tem sido empregada nas indústrias como aeroespacial, automotiva e de equipamentos esportivos, principalmente porque possuem altas propriedades mecânicas, como resistência e rigidez, baixo peso e fácil combinação com outros materiais. Usada para aumentar a rigidez e resistência de materiais compósitos, o termo “fibra de carbono” usualmente refere-se a produtos filamentosos produzidos por pirólise de Poliacrilonitrila (PAN), rayon ou piche, consistindo em mais de 90% de carbono (CALLISTER, 2002).

A fibra de carbono é um material utilizado como reforço em diversos compostos, suas propriedades são atribuídas a natureza anisotrópica do cristal de grafite, o qual apresenta inúmeras camadas de átomos de carbono dispostas a uma distância de 0.335 nm, estas camadas são mantidas por ligações covalentes de alta intensidade, o que garante ao grafite uma estrutura forte e com alta rigidez (FITZER; MANOCHA, 1998).

Assim, os compostos de fibra de carbono têm ganhado espaço no mercado de componentes ciclísticos, a combinação da fibra com resinas possibilitou o surgimento de quadros com maior resistência à tração, altos módulos de elasticidade e baixa massa específica (quadros mais leves). O carbono é um material de fibra de alto desempenho que é mais comumente usado em componentes avançados com uma matriz polimérica (ou seja, sem fibras de vidro). A tecnologia de processamento variará dependendo do precursor, assim como as propriedades da fibra resultante também serão alteradas (CALLISTER, 2002). A figura 11 apresenta um tecido de fibras de carbono.

Figura 11 - Tecido de Fibra de Carbono.



Fonte: Lester.

5 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Nesta sessão estão descritos os procedimentos experimentais desenvolvidos para obtenção dos sinais utilizados, para análise da situação estrutural do quadro de bicicleta. Os dados reconhecidos por sinais bons (apresentam características normais da estrutura) e sinais ruins (características de falhas apresentadas pela estrutura).

Neste trabalho utilizou-se o banco de dados obtidos a partir de um quadro de bicicleta composto por fibra de carbono, que apresenta uma falha mecânica (trinca), apresentado na Figura 12, o banco de dados foi gerado, manipulado e cedido para este trabalho pelo Laboratório de Sistemas Complexos - SISPLEXOS.

Figura 12 - Quadro de Carbono com a Trinca.



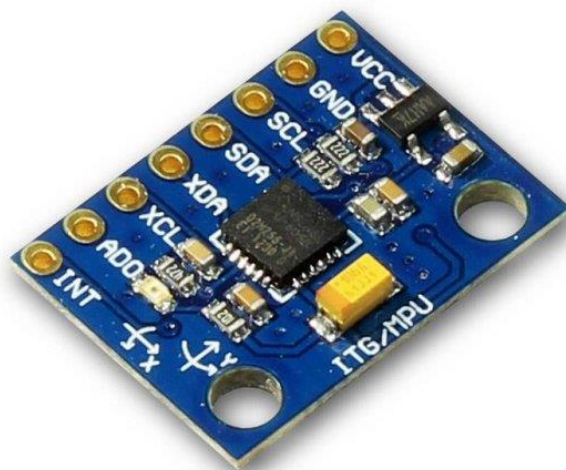
Fonte: Laboratório de Sistemas Complexos-SISPLEXOS (2019).

Para realizar a captação dos sinais foram utilizados:

- *Motor vibracall*, similar a um motor utilizado em telefones celulares, responsável pelo processo de excitação randômica do sistema.
- *Um acelerômetro MPU6050*, um instrumento utilizado para aferir a vibração ou *aceleração* do movimento de uma estrutura, relativo á aceleração da gravidade. Os tipos mais comuns são os por indução magnética, piezoelétrico e o acelerômetro de

capacitância, o tipo utilizado para este trabalho foi o MPU6050 idêntico ao mostrado na Figura 13, um acelerômetro e giroscópio capaz de medir a aceleração e rotação nos três eixos, coordenada (x, y, z).

Figura 13 - Acelerômetro MPU6050.



Fonte: RS Robótica (2020)

- *Uma placa Arduino Uno* (Figura 14), microcontrolador, que possui a capacidade de programação, para processamento de entradas e saídas entre dispositivos e componentes externos, conectados a ele, possibilita a interação do seu ambiente por meio de hardware e software. Utilizado dentre outras funções para recuperação e/ou envio de dados de alguns sensores para sites e computadores.

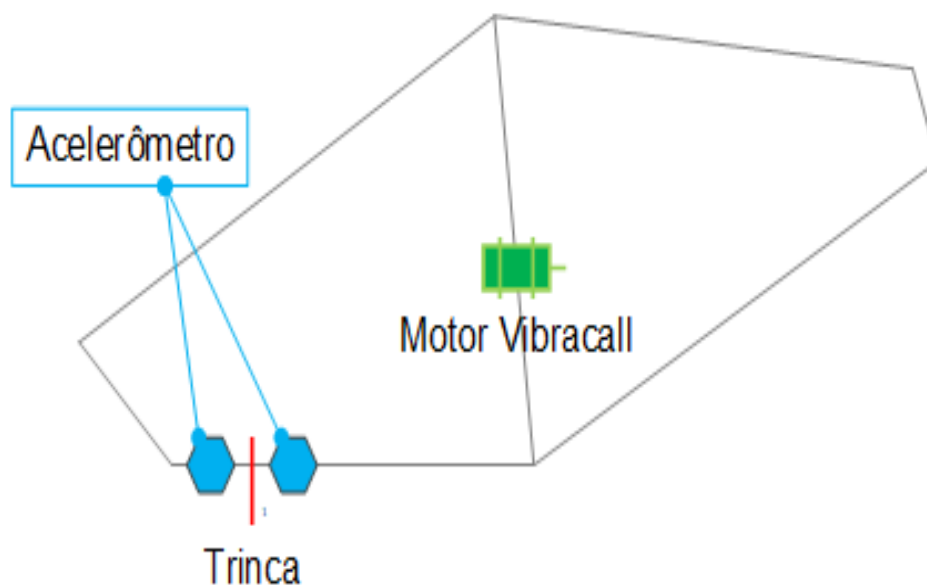
Figura 74 - Arduino UNO.



Fonte: RS Robótica (2020)

Para iniciar o processo de aquisição dos sinais, o quadro da bicicleta foi suspenso por cabos, e o motor vibracall posicionado como mostrado na Figura 15, de maneira que a propagação da onda de vibração percorresse por toda a estrutura. Foram utilizados diferentes intensidades de vibração, no entanto a variação de intensidade não foi especificada.

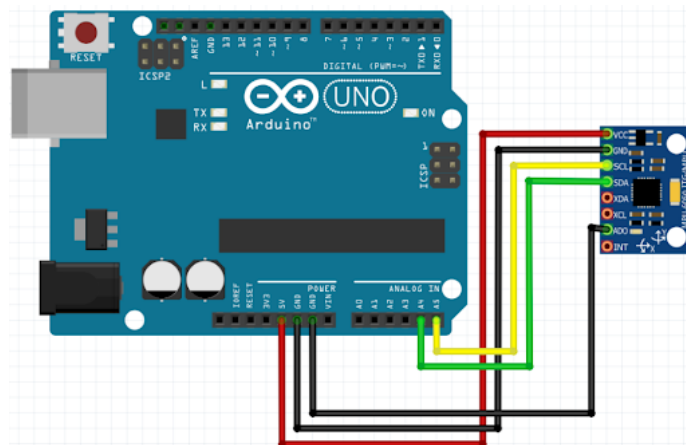
Figura 15 - Desenho Esquemático da Posição dos Sensores.



Fonte: Laboratório de Sistemas Complexos-SISPLEXOS (2019)

O acelerômetro foi fixado em duas posições distintas, sendo inicialmente localizada antes da trinca, para captura de sinais caracterizados como normais da estrutura e a frente da trinca onde foram captados sinais específicos da falha em questão. A conexão da placa Arduino e o acelerômetro fixado no quadro podem ser vistas no esquema apresentado na Figura 16.

Figura 86 - Conexão Arduino - MPU6050.



Fonte: Site Mundo Projetado (2020)

Uma vez conectada ao acelerômetro a placa é conectada a um computador como indicado na Figura 17, e por meio dela os sinais capturados pelo acelerômetro são transformados em valores numéricos e transmitidos para o computador para a montagem do banco de dados.

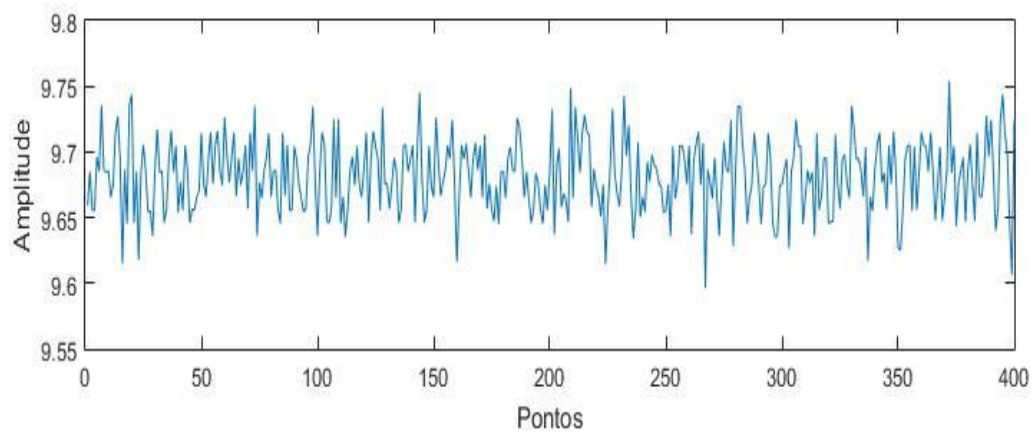
Figura 17 - Conexão Arduino - Computador.



Fonte: Própria Autoria.

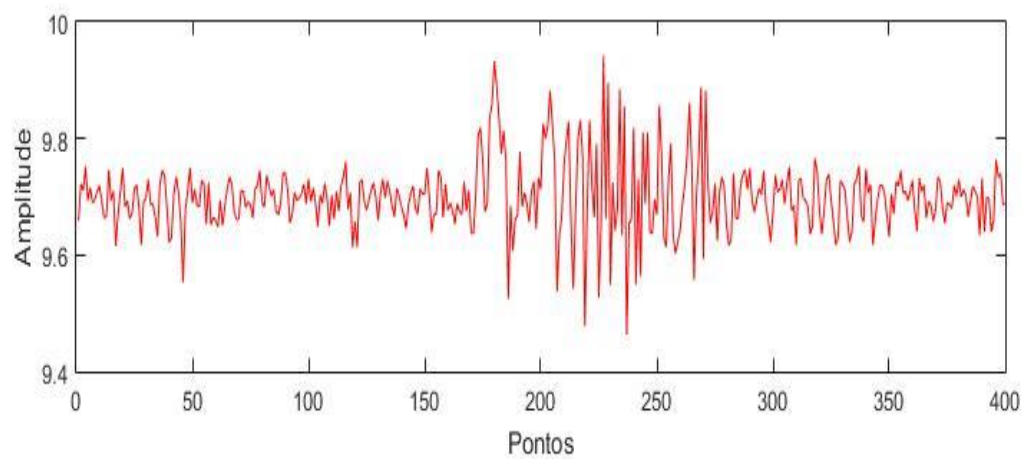
Os sinais coletados são de tamanho de 400 amostras e foram divididos em: sinal bom, coletado com o sensor posicionado antes da trinca, e sinal ruim, coletado após a trinca, ao todo foram coletados 25 sinais, sendo 15 sinais bons e 10 sinais ruins, sendo cada sinal de tamanho 1x400. Nas Figuras 18 e 19 estão representadas as características físicas dos sinais normais e dos sinais que apresentam falhas respectivamente, no qual é possível observar a variação entre sinais no comportamento e na amplitude. A Figura 20 mostra a diferença dos dois sinais inseridos num mesmo eixo.

Figura 18 - Representação do Sinal Emitido pela Estrutura em Condições Normais.



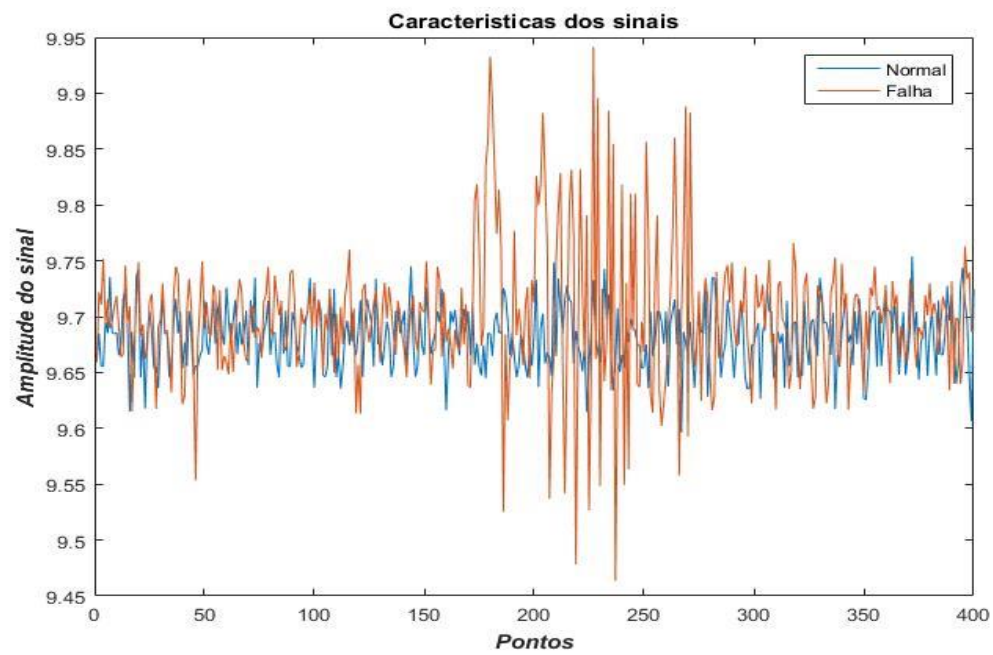
Fonte: Própria Autoria.

Figura 19 - Representação do Sinal Emitido pela Estrutura em Condições de Falha.



Fonte: Própria Autoria.

Figura 20 - Características dos Sinais.



Fonte: Própria Autoria.

6 METODOLOGIA

Foram realizados experimentos para atestar o desempenho do ASN, quando empregados diferentes desvios aplicados a sistemas de monitoramento e detecção de falhas para o quadro de bicicleta utilizado. O modelo proposto dividiu-se em duas etapas.

Esta primeira fase foi dividida em três partes: a aquisição dos dados, fase de sensoriamento e módulo de monitoramento:

- *Aquisição dos dados*

Os dados utilizados foram obtidos por simulação em laboratório no capítulo 5 e disponibilizados para este trabalho pelo Laboratório de Sistemas Complexos-SISPLEXOS.

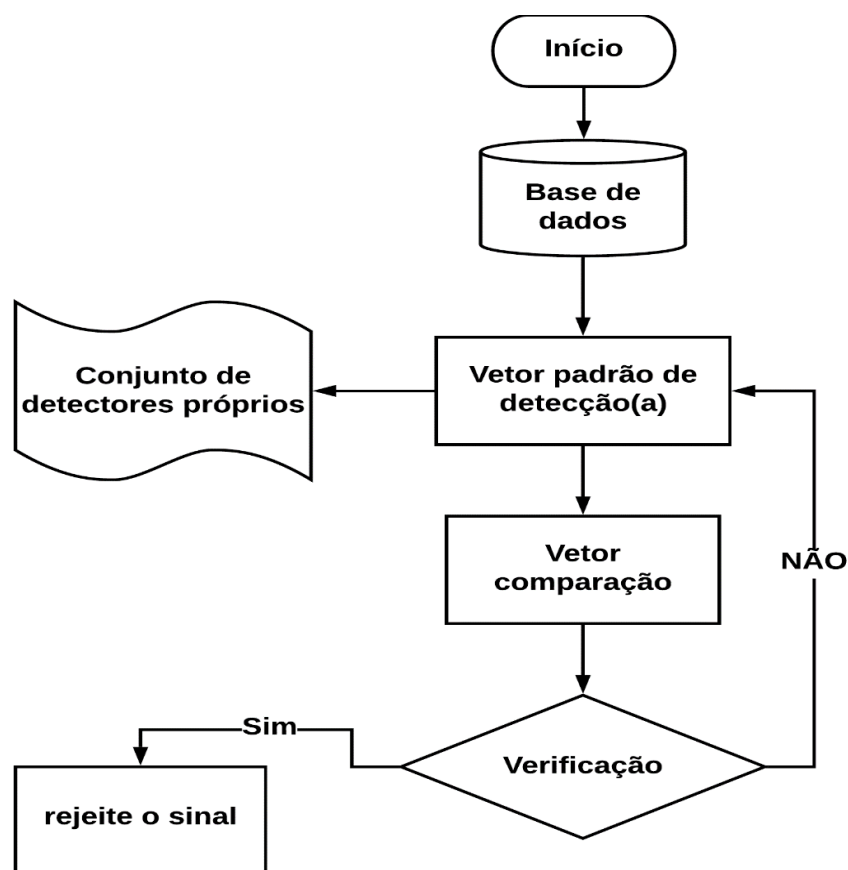
- *Censoriamento*

No módulo sensoriamento, os detectores próprios são gerados e todo o processo é executado em modo *off-line*, são definidos os sinais que devem ser protegidos, ou seja, os sinais da estrutura que não apresentam falhas (*base-line*).

Neste contexto o conjunto de detectores próprios é gerado entre sinais normais. Os sinais são comparados ponto a ponto, se o casamento entre o vetor gerado e um vetor próprio for identificado, este será rejeitado, caso contrário será aceito como um detector e armazenado num conjunto de detectores de falhas, esta sequência será repedita até que se atinja um número esperado de detectores. Uma análise probabilística é empregada para estimar o número de detectores necessários para fornecer um determinado nível de confiabilidade (DASGUPTA; FORREST, 1999).

Este processo é responsável por extrair as características normais da estrutura, armazená-las numa memória para realização das detecções e garantir que não haja cadeias repetidas. O fluxograma do módulo sensoriamento é apresentado na Figura 21 (LIMA, 2014).

Figura 91 - Módulo Censoriamento do ASN.



Fonte: Adaptado LIMA *et al.* (2015).

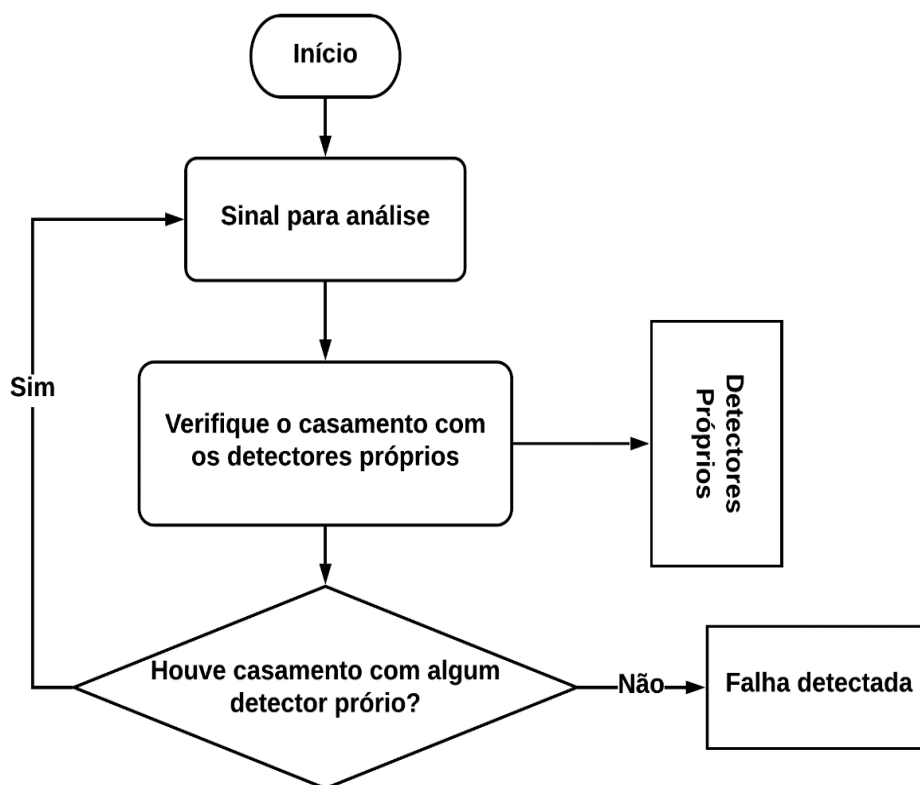
- Monitoramento

No módulo monitoramento é calculada a taxa de afinidade, que nesta fase utiliza-se do critério proposto por Bradley; Tyrrell (2002) que emprega o desvio de 3% para os detectores, os vetores para análise são gerados e assim é feita uma verificação entre eles e o conjunto de detectores próprios, se não houver casamento entre estes, uma falha é detectada como ilustra o fluxograma na Figura 22. A construção do conjunto de cadeias a serem comparadas é realizada de maneira sequencial, isto quer dizer que uma vez escolhida a quantidade de sinais normais e com falhas que serão analisados, o algoritmo escolhe cada um destes sinais de maneira sequencial no banco de dados.

Por exemplo, se são utilizados 6 sinais normais e 4 sinais que apresentem falhas, na fase de monitoramento o algoritmo deve construir um conjunto que contenham estes 10 sinais, que serão comparados posteriormente com o conjunto de detectores próprios criados na etapa de censoriamento. Desta maneira são escolhidos os 6 primeiros sinais

do conjunto MN e os 4 primeiros do conjunto MF que significam respectivamente, sinais normais e de falha. Assim é criada a matriz para análise.

Figura 102 - Módulo Monitoramento do ASN.



Fonte: Adaptado de Lima *et al.*(2015).

Os testes foram realizados em três diferentes configurações, foi utilizada uma taxa mínima de afinidade com valor de 70% calculado a partir da equação (1) como parâmetro, optou-se por realizar os testes a partir de três conjuntos de detectores próprios, utilizando 10%, 20% e 30% das amostras disponíveis, para cada configuração foi definido o padrão de 1, 3, 4 detectores, respectivamente.

A configuração1 foi composta por 10%, 20% e 30%, respectivamente, das amostras de sinais normais disponíveis e adicionados apenas um sinal de falha aos testes para avaliação do sistema.

Na segunda configuração utilizou-se a mesma quantidade de sinais normais descrita anteriormente, entretanto foram aplicados todos os sinais de anormalidade disponíveis no banco de dados; ao total de dez sinais característicos de falhas.

A terceira configuração empregada utilizou-se 30% dos sinais normais disponíveis e 10%, 20% e 30%, respectivamente, dos sinais característicos de falhas, que representam respectivamente 1,2 e 3 sinais.

Na segunda etapa deste trabalho foram realizados testes com as mesmas configurações descritas anteriormente, entretanto resolveu-se alterar os valores aplicados ao desvio. Na fase inicial de testes foi utilizado o desvio proposto e utilizado por Lima *et al.*, (2013) de 3%, este desvio corresponde à margem de tolerância aceita em relação à afinidade dentre os padrões em análise. A escolha de 3% mostrou-se satisfatória, porém para avaliar o comportamento do algoritmo aplicado a este trabalho e também ao banco de dados utilizado, decidiu-se variar este desvio de duas maneiras, com as mesmas configurações utilizadas inicialmente aplicou-se o algoritmo com desvio de 2% e depois variou-se para 5%. Os resultados destes testes e a relação entre eles estão descritas no próximo capítulo.

7 RESULTADOS

Neste capítulo apresentam-se os resultados obtidos, através da aplicação da metodologia proposta para a base de dados apresentada no capítulo 5. Todas as simulações foram realizadas em linguagem MATLAB, utilizando um computador Intel Core i5 8th Gen., 8GB de memória RAM, sistema operacional Windows 10, 64 bits. O conjunto de dados utilizados, nos testes para avaliação do SHM proposto nesta dissertação, é composto pelos sinais gerados a partir dos experimentos realizados em laboratório, cedidos para este trabalho pelo Laboratório de Sistemas Complexos-SISPLEXOS, assim como distrito no capítulo 5.

7.1 RESULTADOS PARA DESVIO DE 3%

Para a obtenção dos resultados, foram realizados testes em três configurações diferentes de uso de sinas, assim como descrito anteriormente. A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos na primeira fase de testes utilizando a primeira configuração, com desvio de 3%. Com essa configuração, é avaliada a eficiência do algoritmo quando se apresentam pequena quantidade de sinais de anormalidades, observa-se que ocorre a variação da taxa de afinidade de acordo com a quantidade de conhecimento agregada ao algoritmo.

Tabela 3 - Resultados Obtidos para Configuração 1 - Desvio 3%.

	Amostras testadas	Próprio	Não próprio	Classificação do Próprio	Acerto (%)	Taxa de Afinidade	Tempo de processamento
10%	2	1	1	1	100	70	0,078
20%	4	3	1	3	100	75	0,092
30%	5	4	1	4	100	80	0,087

Fonte: Própria Autoria.

A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos na primeira fase de testes utilizando a configuração 2, com desvio de 3%. Neste modelo, avalia-se a eficiência do algoritmo, e a relação entre o processamento e conhecimento a respeito dos sinais com falhas.

Tabela 4 - Resultados obtidos para a configuração 2 - Desvio 3%.

	Amostras testadas	Próprio	Não próprio	Classificação do Próprio	Acerto (%)	Taxa de Afinidade	Tempo de Processamento
10%	11	1	10	1	100	70	3,100
20%	13	3	10	3	100	70	2,800
30%	14	4	10	4	100	70	2,750

Fonte: Própria Autoria.

A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos nos testes realizados utilizando a configuração 3. Esta configuração verifica a eficiência do algoritmo quando os padrões entre os sinais de falhas são variados. Para estes resultados, utilizou-se o desvio de 3% assim como nos resultados obtidos anteriormente.

Tabela 5 - Resultados Obtidos para Configuração 3 - Desvio 3%.

	Amostras testadas	Próprio	Não próprio	Classificação do Próprio	Acerto (%)	Taxa de afinidade	Tempo de Processamento
30%	5	4	1	4	100	70	0,081
30%	6	4	2	4	100	70	0,107
30%	7	4	3	4	100	70	0,119

Fonte: Própria Autoria.

Para garantir a veracidade dos resultados, os testes foram executados 20 vezes para cada configuração. Verificou-se que o *ASN* apresenta um bom comportamento, (com índice de acerto é igual a 100%) quando utilizado o desvio de 3%. E que a quantidade de detectores apesar de não apresentar influencia direta no reconhecimento das falhas, interferiu na taxa de afinidade.

7.2 RESULTADOS PARA DESVIO DE 2%

Nesta etapa testou-se, o mesmo banco de dados, juntamente com as mesmas configurações descritas antecipadamente, porém utilizou-se o desvio de 2%, como citado na metodologia desta dissertação. As tabelas 6, 7 e 8 respectivamente apresentam

os resultados obtidos para o desvio de 2% para as três configurações definidas inicialmente.

Tabela 6 - Resultados Obtidos para Configuração 1 - Desvio 2%.

	Amostras testadas	Próprio	Não próprio	Classificação do Próprio	Acerto (%)	Taxa de Afinidade	Tempo de processamento
10%	2	1	1	1	100	70	2,120
20%	4	3	1	3	100	75	2,500
30%	5	4	1	4	100	80	2,000

Fonte: Própria Autoria.

Tabela 7- Resultados Obtidos para Configuração 2 - Desvio 2%.

	Amostras testadas	Próprio	Não próprio	Classificação do Próprio	Acerto (%)	Taxa de Afinidade	Tempo de processamento
10%	11	1	10	1	100	70	4,400
20%	13	3	10	3	100	70	2,900
30%	14	4	10	4	100	70	3,000

Fonte: Própria Autoria.

Tabela 8 - Resultados Obtidos para Configuração 3 - Desvio 2%.

	Amostras testadas	Próprio	Não próprio	Classificação do Próprio	Acerto (%)	Taxa de Afinidade	Tempo de processamento
30%	5	4	1	4	100	80	2,120
30%	6	4	2	4	100	70	3,300
30%	7	4	3	4	100	70	2,200

Fonte: Própria Autoria.

Para garantir a veracidade dos resultados, os testes foram executados 20 vezes para cada configuração. Verificou-se que o *ASN* apresenta um comportamento semelhante ao quando se utiliza o desvio de 2%, no entanto é possível identificar um aumento significativo no tempo de processamento do sistema, considerando que o banco de dados é relativamente pequeno, não se pode concluir que a taxa de acerto será mantida caso seja aplicado a um banco de dados com um número maior de informações.

7.3 RESULTADOS PARA DESVIO DE 5%

Nesta parte do trabalho é testado, o mesmo banco de dados, juntamente com as mesmas configurações descritas antecipadamente, porém utilizou-se do desvio de 5%, como citado na metodologia. As tabelas 9, 10 e 11 respectivamente apresentam os resultados obtidos para o desvio de 5% para as três configurações definidas inicialmente.

Tabela 9 - Resultados Obtidos para Configuração 1 - Desvio 5%.

	Amostras testadas	Próprio	Não próprio	Classificação do Próprio	Acerto (%)	Taxa de Afinidade	Tempo de processamento
10%	2	1	1	1	100	70	1,900
20%	4	3	1	3	100	75	3,600
30%	5	4	1	4	100	80	2,000

Fonte: Própria Autoria.

Tabela 10 - Resultados Obtidos para Configuração 2 - Desvio 5%.

	Amostras testadas	Próprio	Não próprio	Classificação do Próprio	Acerto (%)	Taxa de Afinidade	Tempo de processamento
10%	11	1	10	5	64	70	3,100
20%	13	3	10	7	69,2	70	2,800
30%	14	4	10	8	71,4	70	2,750

Fonte: Própria Autoria.

Tabela 11 - Resultados Obtidos para Configuração 3 - Desvio 5%.

	Amostras testadas	Próprio	Não próprio	Classificação do Próprio	Acerto em (%)	Taxa de Afinidade	Tempo de processamento
30%	5	4	1	4	100	80	2,800
30%	7	4	2	5	84	70	3,900
30%	8	4	3	6	72	70	2,760

Fonte: Própria Autoria.

Para garantir a veracidade dos resultados, os testes foram executados 20 vezes para cada configuração assim como anteriormente. Para estes testes foi utilizado o

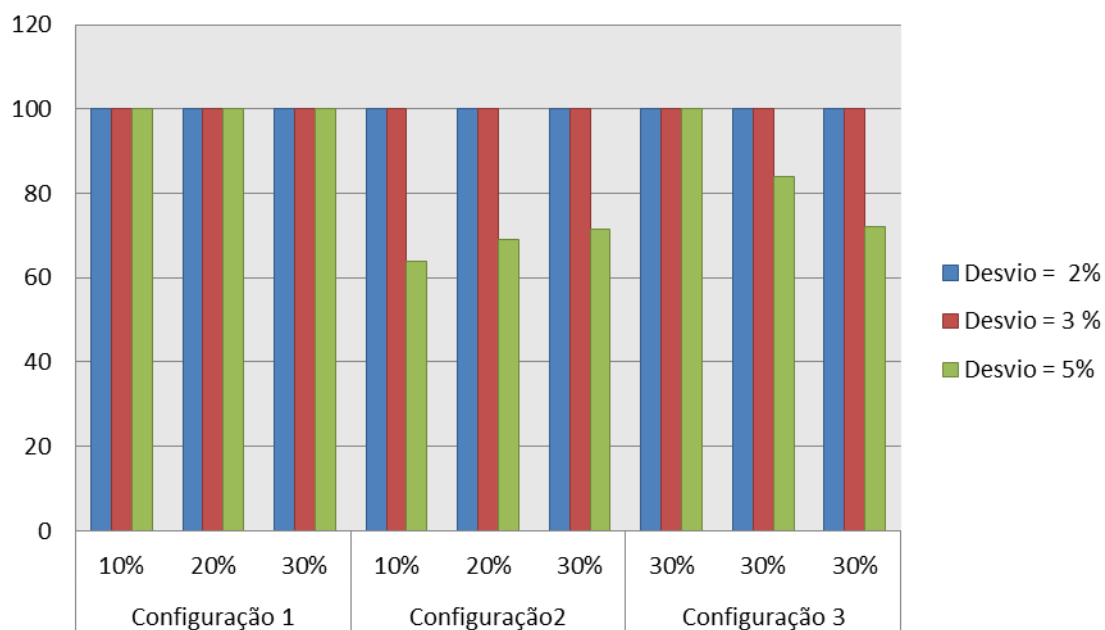
desvio de 5%, considerando os resultados é possível destacar a queda na eficiência do sistema, uma vez que o índice de acerto atinge 64% de acerto em seu pior desempenho e 100% de acerto em sua melhor interpretação. Desta maneira se pode concluir que quando a margem de erro atribuída ao desvio é aumentada, o sistema tende a “confundir” os pontos em análise, isto acarreta o erro na discriminação entre sinais de característica normais e sinais que apresentem características de falhas, não apresentando consistência nos resultados. Observa-se também que os resultados considerados satisfatórios para este desvio, são obtidos apenas quando há menor quantidade de sinais de falha, o que pode indicar que o conhecimento das características normais tem influencia direta para este caso em específico.

7.4 DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados alcançados para os testes realizados nesta dissertação são satisfatórios e assegura a eficiência do SHM proposto baseado em Sistemas Imunológicos Artificiais, especificamente o Algoritmo de Seleção Negativa, que foi empregado neste trabalho.

No entanto essa afirmação se confirma pelo uso do desvio de 3% como proposto em Lima *et al.*, (2013) e em Bradley; Tyrrell, (2002), pois uma vez que houve a variação do desvio de 3% para 5% identificou-se uma diminuição considerável na taxa de acerto do algoritmo. Essa relação de variação no acerto é possível ser visualizada na Figura 23 que mostra a comparação dos resultados entre as três maneiras de testes apresentadas nesta dissertação.

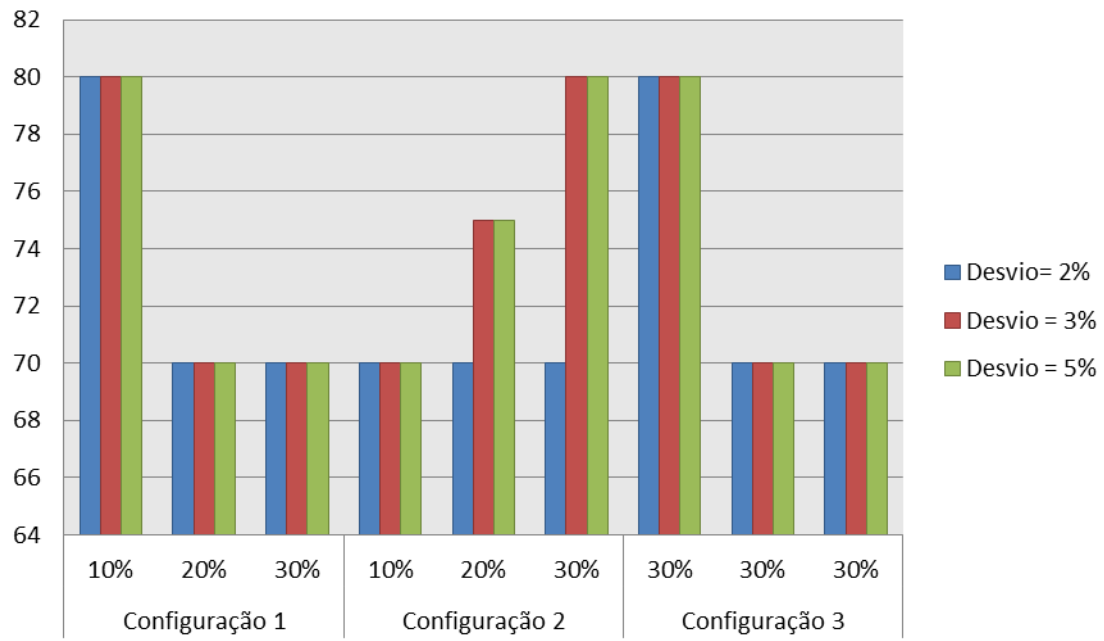
Figura 113 - Comparação entre os Resultados obtidos através da Variação de Desvio.



Fonte: Própria Autoria.

Verificou-se que o ASN apresenta um bom comportamento, (com índice de acerto igual a 100%) com desvio menor ou igual a 3%, e que a quantidade de detectores apesar de não apresentar influência direta no reconhecimento das falhas, interferiu na taxa de afinidade para o desvio em 3%. Uma vez que é possível observar que a afinidade é maior quando se tem um número maior de informação da *base-line* disponíveis. Sugere-se utilizar 30% das informações do banco de dados (Lima *et al.*, 2014b) para gerar o conjunto de detectores, tendo em vista a robustez do sistema. Pode-se observar a partir da Figura 24 que a taxa de afinidade entre os padrões de detecção, também são alteradas quando ocorre a variação de desvio.

Figura 24 - Variação da Taxa de Afinidade em Relação à Variação de Desvio.



Fonte: Própria Autoria.

8 CONCLUSÕES

Nesta dissertação foi apresentado um método para detecção de falhas em estruturas mecânicas, especificamente foi utilizado um quadro de bicicleta composto por fibra de carbono, o método apresentado é baseado em Sistemas Imunológicos Artificiais, particularmente no Algoritmo de Seleção Negativa, abordaram-se as principais características dos *SHM* e do *ASN*.

O SHM proposto foi testado com três parâmetros de desvio diferentes, 3%, 2% e 5% respectivamente, os testes iniciais foram para explorar a eficiência do algoritmo como sugerido em outros trabalhos presentes na literatura, aplicando um desvio de 3%. Os testes com a variação dos desvios foram realizados para acompanhar o comportamento do algoritmo, em relação à classificação das categorias de padrões analisados.

Após realizar os testes foi possível concluir que algoritmo proposto apresentou bons resultados, obtendo um índice de acerto de 100% em todas as configurações testadas, em que foi utilizado o desvio de 3% como sugerido em Lima *et al.*, (2013). A fase de sensoriamento dos dados e geração dos detectores é a que demanda maior tempo computacional, no entanto é efetuado de maneira off-line, o que não acarreta prejuízo ao sistema. O monitoramento, com base na aquisição de dados é executado rapidamente (menos de 100 milésimos de segundo) o que qualifica o algoritmo para utilização em tempo real.

Ainda assim quando se varia o desvio a 2% pôde-se perceber que a eficiência do sistema não é afetada, ao menos não foi constatada mudanças no desempenho do algoritmo quando aplicado ao banco de dados empregado; a considerar que o banco de dados possui pequena quantidade de sinais.

Entretanto aplicando o desvio de 5% foi possível observar uma mudança no comportamento do algoritmo a partir da segunda configuração, a taxa de acerto diminuiu consideravelmente o que implica diretamente na confiabilidade do sistema. Nota-se que quanto menos informação o sistema possui das características dos padrões normais da estrutura, maior é a probabilidade do algoritmo categorizar um padrão de falha como padrão normal, ou seja, quando se amplia muito tolerância de compatibilidade entre os padrões em análise, maior é a chance do algoritmo “confundir” os pontos e desta maneira realizar uma classificação errada de padrões.

A partir dos resultados obtidos, chegou-se a conclusão que os SIA, baseados no ASN, apresentam desempenho satisfatório nos testes propostos onde são empregados desvios entre 2% e 3%, o que garante a confiabilidade do método para detecção de falhas em estruturas mecânicas. Conclui-se que, para o algoritmo em discussão, ao empregar-se desvio maior que 3% como o sugerido na literatura, acarreta erro na classificação dos padrões.

8.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para trabalhos futuros incluem-se:

- Aplicar o SHM baseado em sistemas imunológicos artificiais, a um banco de dados maior, com diferentes características de falhas, a fim de classificar níveis de falha, e condição real da estrutura;
- Integrar a este método proposto, outras técnicas, por exemplo, lógica *fuzzy* ou redes neurais a fim de aperfeiçoar suas aplicações;
- Aplicar o SHM proposto a outras estruturas.

REFERÊNCIAS

- ABBAS, A. K.; LICHTMAN, A. H.; PILLAI, S. **Imunologia Básica: Funções e distúrbios do sistema imunológico**. [S. l.]: Saunders Elsevier, 2014.
- ABRACICLO. **A produção de bicicletas deve crescer 7,3% em 2020**. [S. l.: s. n.], 2020. Disponível em: <https://www.abraciclo.com.br/site/producao-de-bicicletas-deve-crescer-73-em-2020/>. Acesso em: 10 jan. 2020.
- ABRACICLO. **Anuario da Indústria Brasileira de Duas Rodas Yearbook of Brazil's Two Wheel Industry 2019**. [S. l.: s. n.], 2019. Disponível em: <https://www.abraciclo.com.br/site/anuario-2019-2/>. Acesso em: 30 nov. 2019.
- ABRACICLO. **Produção de bicicletas**. [S. l.: s. n.], 2019. Disponível em: <https://www.abraciclo.com.br/site/producao-de-bicicletas-deve-crescer-73-em-2020/>. Acesso em: 30 nov. 2019.
- ANAYA, M.; TIBADUIZA, D. A.; POZO, F. A Bioinspired Methodology Based on an Artificial Immune System for Damage Detection in Structural Health Monitoring. **Shock and Vibration**, Washington, v. 2015, n. i, 2015.
- ATIVO, TR.; LABMOB-UFRJ. **Parceria Nacional pela Mobilidade por Bicicleta Pesquisa Perfil do Ciclista 2018**. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: http://transporteativo.org.br/ta/?page_id=11570. Acesso em: 7 maio 2020.
- BALAGEAS, D.; FRITZEN, C.-P.; GUEMES, A. Introduction to Structural health Monitoring. In: **Structural health Monitoring**. London, [s.n.], 2006. p. 13–43.
- BALLANTINE, R. **Richard 21st Century Bicycle Book**. [S. l.: s. n.], 2000.
- BALLI, S.; SEN, F. Failure Prediction of Cross-Ply Laminated Double-Serial Mechanically Fastened Composites using Fuzzy Expert System. **Strojnikski Vestnik - Journal of Mechanical Engineering**, Londonv. 61, p. 123–130, 2014.
- BLOG.GOBIKE.COM. **História da bicicleta: tudo sobre rodas**. [S. l.: s. n.], 2015. Disponível em: <http://blog.gobybike.eu/historia-da-bicicleta/>. Acesso em: 15 jun. 2020.
- BRADLEY, D. W.; TYRRELL, A. M. Immunotronics - Novel finite-state-machine architectures with built-in self-test using self-nonsel self differentiation. **IEEE Transactions on Evolutionary Computation**, New York, v. 6, n. 3, p. 227–238, 2002.
- BRINKMANN, J. **Active balancing of bike sharing systems**. Switzerland ed. Cham: Springer International, 2020.
- CALICH, V.; VAZ, C. **Imunologia**. 2.ed. Rio de Janeiro: [s. n.], 2009.
- CALLISTER, W. D. J. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 5. ed. [S. l.: s. n.], 2002.

CASTRO, L. N. DE. **Engenharia imunológica: desenvolvimento e aplicação de ferramentas computacionais inspiradas em sistemas imunológicos artificiais**. 2001. 286 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

DASGUPTA, D. **Artificial immune systems and their application**. [S. l.: s. n.], 1998.

DASGUPTA, D. *et al.* Negative selection algorithm for aircraft fault detection. **Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)**, v. 3239, n. May 2014, p. 1–13, 2004.

DASGUPTA, D.; FORREST, S. Artificial immune systems in industrial applications. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT PROCESSING AND MANUFACTURING OF MATERIALS, IPMM, 2nd, 1999, [s. l.]. **Proceedings [...]** [S. l.: s. n.], 1999. v. 1, p. 257–267.

DE OLIVEIRA, M. A. .; INMAN, D. J. Implified fuzzy ARTMAP network-based method for assessment of structural damage applied to composite structures. **Journal of Composite Materials**, Lancaster, v. 50, n. 25, 2015.

FARRAR, C. R.; LIEVEN, N. A. J.; BEMENT, M. T. An introduction to damage prognosis. In: **Damage Prognosis**. Chichester: John Wiley & Sons, 2005. p. 1–12.

FARRAR, C. R.; WORDEN, K. An introduction to structural health monitoring. **Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, London, v. 365, n. 1851, p. 303–315, 2007.

FATEMI, A.; YANG, L. Cumulative fatigue damage and life prediction theories: A survey of the state of the art for homogeneous materials. **International Journal of Fatigue**, Guildford, v. 20, n. 1, p. 9–34, 1998.

FITZER, E. .; MANOCHA, L. M. **Carbon Reinforcements and Carbon/Carbon Composites**. Berlin: Springer, 1998.

FORREST, S. *et al.* Self-nonsel self discrimination in a computer. In: COMPUTER SOCIETY SYMPOSIUM ON RESEARCH IN SECURITY AND PRIVACY, 1994, [s. l.]. **Proceedings [...]** [S. l.]: IEEE, 1994. p. 202–212.

GUPTA, R.; RAO, G. V. R. S. Analysis of Mountain Bike Frame. **IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering Ver. II**, v. 13, n. 2, p. 2278–1684, 2016.

GUPTA, V. The Bicycle Story. p. 40+iv, 2015.

HALL, S. R. The effective management and use of structural health data. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON STRUCTURAL HEALTH MONITORING, 1999, [s. l.]. **Proceedings [...]** [S. l.: s. n.], 1999. p. 265– 275.

ISO.ORG. **ISCyCles**: Safety requirements for bicycles: Part 1: Terms and definitions. [S. l.: s. n.], 2020. Disponível em: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:4210:-1:ed-1:v1:en>. Acesso em: 05 jul. 2020.

KARDEC, A.; NASSIF, J. **Manutenção: função estratégica**. [S. l.: s. n.], 2001.

LESTER. **Tecido fibra de carbono**. [S. l.: s. n.], 2020. Disponível em: <http://www.liderborrachas.com.br/tecido-fibra-de-carbono>. Acesso em: 06 maio 2020.

LIMA, F. P. A. *et al.* Artificial immune systems with negative selection applied to health monitoring of aeronautical structures. **Advanced Materials Research**, Hong King, v. v. 871, p. 283–289, 2013.

LIMA, F. P. A. *et al.* **Monitoramento da integridade de estruturas aeronáuticas utilizando um método inteligente baseado em sistemas imunológicos artificiais**. [S. l.: s. n.], 2015.

LIMA, F. P. DOS A. **Diagnóstico de distúrbios de tensão em sistemas de distribuição baseado num sistema imunológico artificial com aprendizado continuado**. [S. l.] Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Ilha Solteira, 2016.

LIMA, F. P. DOS A. *et al.* Artificial immune systems applied to the analysis of structural integrity of a building. **Applied Mechanics and Materials**, [s. l.], v. 472, p. 544–549, 2014a.

LIMA, F. P. DOS A. **Monitoramento e identificação de falhas em estruturas aeronáuticas e mecânicas utilizando técnicas de computação inteligente**. 2014. 72 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Ilha Solteira, 2014b.

LINHARES, R. **O conforto da bicicleta de estrada em competições de longa distância: uma abordagem ergonômica**. 2006. Dissertação (Mestrado) Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2006.

LOUZADA, D. R. **Deteção e caracterização de danos estruturais através de sensores a rede de Bragg e Redes Neurais Artificiais**. 2013. Tese (Doutorado em Engenharia mecânica). Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2013.

MEIJAARD, J. P. *et al.* Linearized dynamics equations for the balance and steer of a bicycle: A benchmark and review. **Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, [s. l.], v. 463, n. 2084, p. 1955–1982, 2007.

OLIVEIRA, D. C.; CHAVARETTE, F. R.; LIMA, F. P. DOS A. Structural Health Monitoring using Artificial Immune System. **Brazilian Journal of Development**, [s. l.], v. 6, n. 4, p. 16948–16963, 2020.

OYAMADA, R. S. **Deteção de anomalias em redes sdn utilizando algoritmo baseado em sistemas imunológicos artificiais**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso – Versão Preliminar (Bacharelado em Ciência da Computação) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2018.

PAWAR, P. M.; GANGULI, R. **Structural Health Monitoring Using Genetic Fuzzy Systems**. London: Springer London, 2011.

PEQUINI, S. M. **A evolução tecnológica da bicicleta e suas implicações ergonômicas para a máquina humana**: problemas da Coluna Vertebral X Bicicletas dos tipos Speed e Mountain Bike. 2000. Tese (mestrado) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

REVISTA BICICLETA. **O quadro da bicicleta**. [S. l.: s. n.], 2019. Disponível em: <https://revistabicicleta.com/mountain-biking/o-quadro-da-bicicleta/>. Acesso em: 5 out. 2019.

RSROBÓTICA.COM. **Acelerômetro MPU6050**. [S. l.: s. n.], 2020. Disponível em: <https://www.rsrobotica.com.br/acelerometro-mpu6050>. Acesso em: 15 maio 2020.

SITE MECÂNICAINDUSTRIAL.COM. **Técnicas de prevenção à corrosão**. [S. l.: s. n.], 2020. Disponível em: <https://www.mecanicaindustrial.com.br/tecnicas-de-prevencao-corrosao/>. Acesso em: 19 mar. 2020.

SITE MERCADOLIVRE.COM. **Quadro**. [S. l.: s. n.], 2020. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-816984697-quadro-fibra-carbono-mountain-bike-ellite-aro-26-tam-17-_JM. acesso em: 29 jun. 2020.

SITE MTBBRASILIA.COM. **Linha do tempo**: a história da bicicleta. [S. l.: s. n.], 2014. Disponível em: <https://www.mtbbrazilia.com.br/2014/02/27/linha-do-tempo-a-historia-da-bicicleta/>. Acesso em: 08 jul. 2020.

SITE MUNDO PROJETADO.COM. **Circuito com um MPU6050**. [S. l.: s. n.], 2020. Disponível em: <http://mundoprojetado.com.br/acelerometro-com-o-arduino/>. Acesso em: 12 fev. 2020.

SITE QUARTZOLIT.WEBER. **Como fechar trincas nas paredes de forma rápida e fácil**. Disponível em: <https://www.quartzolit.weber/blog/dicas/como-fechar-trincas-nas-paredes-de-forma-rapida-e-facil>. Acesso em: 19 mar. 2020.

TEBALDI, A.; COELHO, L. DOS S.; LOPES, V. Detecção de falhas em estruturas inteligentes usando otimização por nuvem de partículas: Fundamentos e estudo de casos. **Controle y Automacao**, [s. l.], v. 17, n. 3, p. 312–330, 2006.

TEIXEIRA, I. P. [UNESP]. **Impacto da implementação de ciclofaixas na utilização da bicicleta como meio de transporte**. [S. l.: s. n.], 2016. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/148811>. Acesso em: 19 mar. 2020.

TIMMIS, J. **Artificial Immune Systems: A Novel Data Analysis Technique Inspired by the Immune Network Theory**. 2000. Tese (Doutorado) - Department of Computer Science, University of Whales, [s. l.], 2000.

WHITT, R. R.; WILSON, D. . **Bicycling science**. 2 ed. London: MIT, 1995.

WORDEN, K.; DULIEU-BARTON, J. M. An Overview of Intelligent Fault Detection in Systems and Structures. **Structural Health Monitoring**, [s. l.], v. 3, n. 1, p. 85–98, 2004.

XIANG-JUN, C. .; ZHAN-FENG, G. .; QIANG, G. Application of Wavelet Analysis in Vibration Signal Processing of Bridge Structure. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MEASURING TECHNOLOGY AND MECHATRONICS AUTOMATION, 2010, [s. l.]. **Proceedings** [...] [S. l.: s. n.], 2010. p. 671–674.

ZHANG, J.; HOU, Z. Application of Artificial Immune System in Structural Health Monitoring. **Journal of Structures**, [s. l.], v. 2014, n. 2, p. 1–14, 2014.

APÊNDICE A- INTRODUÇÃO A IMUNOLOGIA

A.1. Breve Histórico das Pesquisas em Imunologia

Segundo Calich; Vaz (2009) a primeira referência atribuída a imunidade foi descrita em 430 a.C. por Tucídides, um historiador grego que após uma praga em Atenas, descreveu a resistência adquirida pelos indivíduos que já haviam sido infectados anteriormente. Após muitos anos, apenas no século XV, é que se voltou a descrever processos para proteção contra a varíola, infecção letal na época, as técnicas utilizadas por chineses e turcos, baseava-se na inoculação deliberada de crostas secas de pústulas de varíola nas narinas ou em pequenos cortes na pele de pessoas saudáveis, a fim de imuniza-las.

Em 1796, o médico inglês Edward Jenner descobriu através de conhecimento popular, que mulheres ordenhadoras de vacas acabavam desenvolvendo um tipo de varíola mais branda, pois se infectaram com o vírus da varíola da vaca, dessa maneira Jenner deduziu que o contato prévio com o agente infeccioso atenuado, poderia levar a uma manifestação mais leve ou até mesmo manifestação nenhuma da doença quando houvesse uma nova infecção pelo mesmo agente. Desse modo Jenner inoculou o líquido de pústulas de varíola de vaca em um indivíduo saudável e, posteriormente o inoculou deliberadamente com o vírus da varíola humana obtendo como esperado ausência da doença. O processo utilizado por Jenner foi denominado anos depois por vacinação (*vaccínia*), pois era utilizado material da doença desenvolvida pelas vacas (CALICH; VAZ, 2009).

De acordo com Castro (2001), Jenner introduziu a vacinação, porém seu conhecimento sobre os agentes causadores da doença era bastante limitado, no entanto no século XIX, Robert Koch demonstrou que as doenças infecciosas eram causadas por *microrganismos patogênicos* e que cada um desses era responsável por determinada doença. Nos dias de hoje é possível categorizar os patógenos ou microrganismos causadores de doença em: *vírus, bactérias, fungos e os parasitas*.

As descobertas dessa época propiciaram o grande desenvolvimento da imunologia, ampliando a vacinação para outras doenças. Por volta de um século depois da vacinação de Jenner, foi que Louis Pasteur desenvolveu uma técnica de imunização

contra a cólera aviária, ele utilizou culturas envelhecidas da bactéria para imunizar galinhas. Em 1885 Pasteur desenvolveu a vacina antirrábica e então realizou a primeira vacinação em humanos, obtendo sucesso, onde inoculou o vírus atenuado da raiva em um menino mordido por um cão raivoso; os bons resultados práticos sucederam a busca pelos mecanismos de proteção imunológica (CALICH; VAZ, 2009).

Embora Pasteur tenha sido bem-sucedido no desenvolvimento de suas vacinas, seu conhecimento sobre os mecanismos do processo de imunização não era suficiente, ele argumentava que os organismos na vacina poderiam remover nutrientes essenciais do corpo, dessa maneira impossibilitar o crescimento dos agentes causadores da doença.

Porém em 1890 Emil von Behring e Shibasaburo Kitasato demonstraram que a proteção induzida pela vacinação, não removia os nutrientes, e sim soro sanguíneo que estava associado a fatores de proteção dos indivíduos vacinados; estas substâncias “protetoras” tiveram diversas denominações, mas em 1930, Elvin Kabat demonstrou que essas substâncias eram proteínas de baixa mobilidade eletroforética, desde então são chamadas de anticorpos ou imunoglobulinas. Em 1901 Emil Von Behring recebeu o primeiro Prêmio Nobel de medicina, atribuído a pesquisas de imunologia (CASTRO, 2001).

Também no século XX Paul Ehrlich descreveu a importância das antitoxinas na imunidade contra o botulismo, nesse período Ehrlich desenvolveu a teoria das cadeias laterais, que sugeriu que as células participantes na imunidade apresentam em suas superfícies cadeias laterais semelhantes aos anticorpos que o antígeno estimularia secreção destas; e que Karl Landsteiner desenvolveu a definição de antígeno como toda substância capaz de induzir a produção de anticorpos (CALICH; VAZ, 2009).

Na França Elie Metchnikoff pesquisador russo, demonstrou em 1883, que as células além de produzir anticorpos também tinham participação do processo de imunidade; as células brancas possuíam a capacidade de ingerir microrganismos e garantir a proteção dos indivíduos. Desta maneira Elie pode supor a teoria celular da imunidade, que anos depois foi atribuída a outras células brancas, denominadas linfócitos, na maioria das vezes em colaboração dos fagócitos. Posteriormente em 1940 Merrill Chase conseguiu produzir a imunidade contra a tuberculose inoculando leucócitos sanguíneos saudáveis, mas apenas em 1950 é que se pode demonstrar os diferentes tipos de linfócitos envolvidos na imunidade, alguns relacionados ao desenvolvimento de anticorpos e imunidade humoral e outros associados à imunidade celular, onde o linfócito tem a função de eliminar o agente anormal (CALICH; VAZ, 2009).

Segundo de Castro (2001), nos últimos anos estudos da imunologia tem-se baseado a problemas de memória imunológica, apresentação de antígenos, vacinas de DNA entre outros; alguns dos desafios para o estudo da imunologia para o século XXI, é o avanço no entendimento dos mecanismos de controle da resposta imune adaptativa, para que se possa modificá-la de um estado agressivo para uma forma benigna, em resposta aos antígenos próprios como é o caso das doenças auto-imunes e de tecidos transplantados. E ainda no aumento da eficiência de respostas a vírus como o HIV, tuberculose, de acordo com ele essa eficiência poderia ser alcançada por meio da manipulação da resposta imune adaptativa.

A.2. Introdução a Imunologia

A imunidade é um conceito antigo, referente aos sistemas de defesa desenvolvidos pelo organismo dos vertebrados. Quando esses são infectados por microrganismos patogênicos que podem colocar sua vida e saúde em risco. Esses mecanismos são chamados de resposta imune, são complexos e envolvem a ação combinada. Controlados por elementos solúveis (humorais) e celulares que fazem parte do sistema imunológico. O contato dos elementos do sistema imunológico com os patógenos leva a eliminação dos mesmos e aumenta da resistência do organismo caso ocorra uma nova infecção pelo mesmo patógeno (CALICH; VAZ, 2009)

Segundo Calich; Vaz (2009) o conhecimento do sistema imune é importante para entender os processos fisiológicos. Que possibilitam ao organismo o reconhecer a si mesmo (o próprio) e responder apenas ao estranho (não próprio). No desenvolvimento do sistema, é importante que não se estabeleça a reatividade aos próprios elementos (tolerância imunológica). E que ocorra reatividade apenas ao estranho (resposta imune) de maneira que não cause danos aos próprios tecidos. Porém que se elimine ou contenha o desenvolvimento de patógenos de naturezas muito distintas (p.ex., vírus e helmintos); do mesmo modo seja capaz de impedir ou controlar o crescimento de células próprias alteradas.

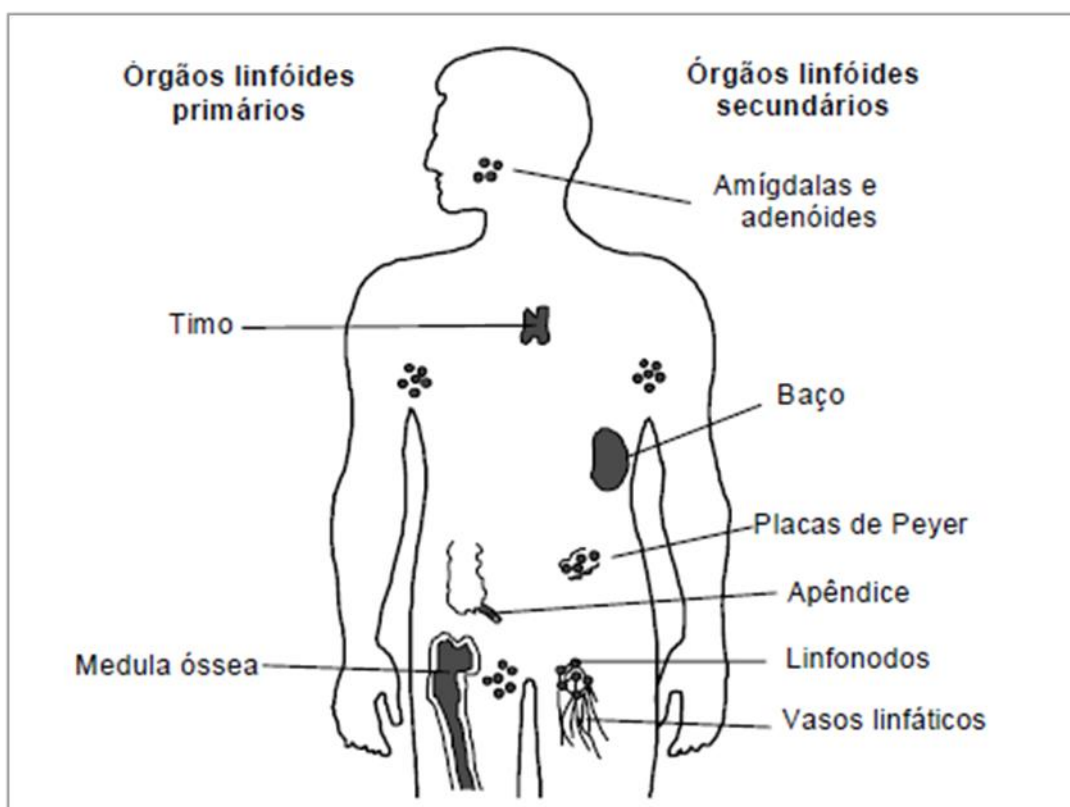
A.3. Sistema Imunológico Biológico

O sistema imunológico é formado por células, tecidos e órgãos que compõem o chamado sistema linfóide e estão distribuídos por todo nosso corpo (CALICH; VAZ, 2009).

O timo e a medula óssea são denominados órgãos linfóides primários ou geradores, neles são diferenciados suas subpopulações de linfócitos, os linfócitos T e B, que migrarão para os chamados órgãos linfóides secundários, como baço, linfonodos e outros tecidos linfóides que descreveremos mais à frente (CALICH; VAZ, 2009).

Na Figura 25, temos uma representação dos órgãos linfóides primários e secundários e suas respectivas funções.

Figura 125 - Órgãos Linfóides.



Fonte: CASTRO 2001.

A medula óssea e o timo são os chamados órgãos linfóides primários.

- *Medula óssea*, órgão responsável pela produção dos elementos encontrados nas células sanguíneas, com as hemácias, os monócitos, os

leucócitos polimorfonucleares (granulócitos), os linfócitos B e as plaquetas; Nos mamíferos a medula também é fonte onde são desenvolvidas as células e as células-tronco que darão origem aos linfócitos T quando estas migrarem para o timo (CASTRO, 2001).

- *Timo* é uma glândula endócrina linfática onde ocorre a maturação e seleção das células migradas da medula óssea que se desenvolvem e multiplicam - se dando origem as células T. No corpo humano o timo está localizado na porção superior do mediastino e posterior ao esterno (CASTRO, 2001).

As Amígdalas, adenoides, linfonodos, apêndices, baço, placas de Peyer e vasos linfáticos são os chamados órgãos linfoides secundários; na medula óssea os precursores linfoides se diferenciam em linfócitos B, os ascendentes linfoides deslocam-se para o timo onde se diferenciam nas subpopulações de linfócitos T. Quando maduros os linfócitos T e B maduros migram, para os órgãos linfoides periféricos sob influência do antígeno vão se ativar e multiplicar dando origem às células efetoras da imunidade (CALICH; VAZ, 2009).

- *Amígdalas e Adenoides* são agregados de tecido de células linfoides associadas a mucosas ou ao intestino que ajudam o organismo a combater infecções (CASTRO, 2001);
- *Linfonodos* pode ser considerado uma rede de ductos por onde são coletados fluidos extracelulares dos tecidos, que o fazem retornarem para o sangue, este fluido celular é produzido a partir da filtração do sangue e é chamado de linfa, é também o ambiente onde acontece a resposta imune adaptativa (CASTRO, 2001);
- *Apêndice e Placas de Peyer* são uma espécie de linfonodos específicos de células imunológicas produzidas para proteção do sistema gastrointestinal (CASTRO, 2001);
- *Baço*, responsável pelo armazenamento de sangue, contém uma polpa vermelha que destrói as células sanguíneas envelhecidas e uma polpa branca que responsável pela resposta imune aos antígenos levados pelo sangue (CASTRO, 2001);
- *Vasos linfáticos* são os ductos que transportam a linfa para o sangue e órgãos linfoides, os vasos aferentes são os responsáveis por levarem as células portadoras de antígenos dos locais de infecção para os linfonodos; nos

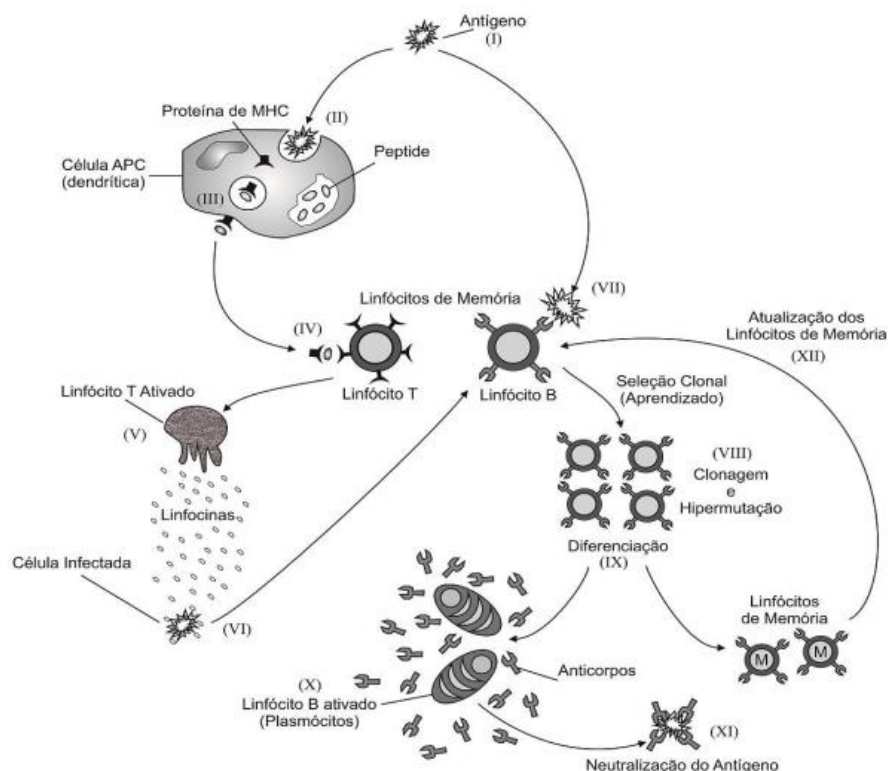
linfonodos o antígeno é apresentado aos linfócitos que estão em circulação, assim os linfócitos específicos são ativados, passam pelo processo de proliferação e diferenciação e deixam os linfonodos como células efetoras através dos vasos eferentes (CASTRO, 2001).

O sistema imunológico é o principal defensor contra infecções, ele é o responsável por dar uma resposta rápida e eficiente contra organismos invasores, dentro deste sistema também ocorre outro tipo de resposta imune, essa mais lenta, porém possui memória duradoura capaz de reconhecer o patógeno invasor numa outra possível infecção, os responsáveis por esses dois tipos de resposta imune respectivamente são os sistemas imunes inatos e adaptativos (CASTRO, 2001).

A.4. Princípios Básicos de Funcionamento do Sistema Imunológico Biológico

O sistema biológico humano é composto por diferentes células e moléculas, que atuam de maneira equilibrada para garantir sua defesa contra agentes invasores que possam causar doenças. O funcionamento básico dos mecanismos de defesa desempenhado pelo SIB está apresentado na Figura 26 (DASGUPTA, 1998; LIMA, 2016).

Figura 136 - Princípio de Aprendizagem do Sistema Imunológico Biológico.



Fonte: Retirado de Lima (2016), adaptado de Castro (2001).

No passo (I) o sistema imunológico é exposto ao agente infeccioso (antígeno), logo após a exposição o organismo responde de duas maneiras. (II) Quando a resposta imune inata é solicitada, significa que o invasor é um agente desconhecido pelo organismo, desta maneira é necessário identifica-lo e sinalizar a célula infectada, para que posteriormente o sistema imune adaptativo possa agir. O agente infeccioso é ingerido por células dendríticas (APC) e fragmentado em peptídeos antigênicos. Em (III) Os fragmentos de peptídeos antigênicos se unem a moléculas MHC que os apresentam na superfície celular. (IV) Os linfócitos T possuem moléculas receptoras capazes de identificar ligações diferentes antígenos MHC/peptídeos processados, uma vez reconhecido o antígeno os linfócitos passam a ser ativados, então ocorre a diferenciação entre o próprio e não próprio. (V) Os linfócitos T ativados sinalizam aos demais componentes do SIB que um antígeno foi encontrado. (VI) Uma vez sinalizadas às células infectadas os linfócitos B as reconhecem e iniciam o processo de aprendizagem. (VII) Os linfócitos B reconhecem os antígenos sem a necessidade de ingestão e digestão das células APC, reconhecido o antígeno se inicia o processo de

seleção clonal. (VIII) Os linfócitos passam pelo processo de clonagem gerando um conjunto de linfócitos B no organismo. (IX) Processo de diferenciação. Os linfócitos B são categorizados em conjunto de memória, os que possuem maior afinidade, e os que serão ativados e transformados em plasmócitos. (X) Os plasmócitos secretam anticorpos aos antígenos detectados. (XI) Antígenos neutralizados e eliminados pelos anticorpos gerados. (XII) Os novos linfócitos de memória passam a circular pelo organismo, para garantir uma resposta rápida e eficiente caso ocorra uma nova exposição pelo mesmo tipo de antígeno.

APÊNDICE B – BREVE HISTÓRICO E EVOLUÇÃO DAS BICICLETAS

Os primeiros relatos sobre a bicicleta que se tem é de um “brinquedo” criado pelo conde de Sivrac da França em meados de 1790 e batizado de Celerífico. Construído todo em madeira, a máquina dispunha de duas rodas alinhadas uma atrás da outra, ligadas por uma viga de madeira. O Celerífico não possuía direção, desta maneira, a brincadeira era apenas sentar-se sobre a viga e impulsionar o brinquedo com os pés até pegar velocidade e divertir-se com a viagem. A Figura 27 é um protótipo de como seria o Celerífico criado pelo conde (GUPTA, 2015).

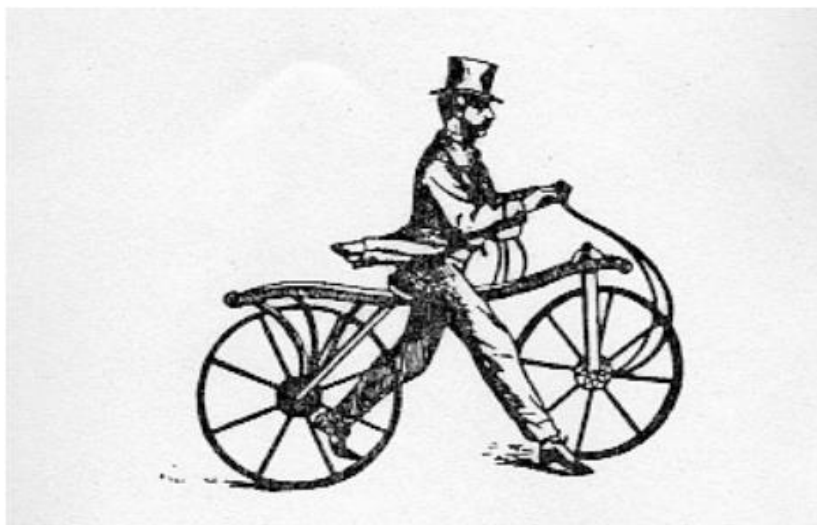
Figura 147 - Réplica do Celerífico.



Fonte: Blog gobike.

No entanto as primeiras modificações significativas, só são descritas a partir de 1817. As Draisianas como ficaram conhecidas, (em virtude da posse de criação e patente do Barão Alemão Karl Friedrich Drais Von Sauerbronn) eram essencialmente duas rodas e uma barra de madeira, se diferenciavam do celerífico, pois a roda dianteira podia ser dirigida, o que permitiu realizar curvas. As pessoas sentavam-se sobre a barra e impulsionava com pés, uma curiosidade é que para adquirir estabilidade, a Draisiana precisava de bastante velocidade, o que vez ou outra ocasionara alguns acidentes uma vez que na época não existiam freios. A partir daí o motorista levanta os pés até que seja necessária mais energia para manter a velocidade e o equilíbrio (GUPTA, 2015). A Figura 28 apresenta uma bicicleta de Draisiana.

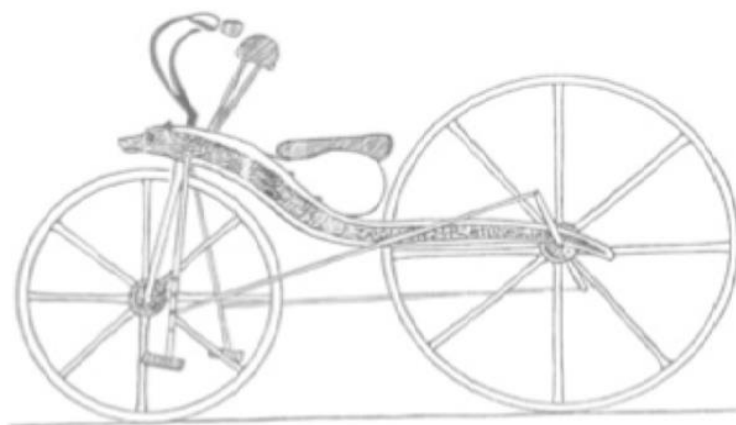
Figura 158 - Bicicleta Draisiana.



Fonte: Linhares (2006).

A primeira bicicleta verdadeiramente, parecida com a que temos atualmente, uma máquina que podia ser montada com os dois pés inteiramente fora do chão, apareceu em 1830. O ferreiro escocês chamado Kirkpatrick Mcmillan empregava o poder dos músculos das pernas para girar a roda traseira diretamente. Em vez de arrastar a máquina empurrando com os pés no chão. O mecanismo usou duas barras suspensas ligadas a extremidade frontal do quadro. As extremidades inferiores dessas barras, conhecidas como pedais, carregavam pedais acionados alternadamente pelos pés através de arcos curtos. Como os pedais utilizados nas máquinas de costura. O movimento desses pedais foi transportado através de um par de bielas para a roda traseira onde eles moveram duas manivelas. As manivelas converteram o movimento de empurrar e puxar das hastes no disco movimento da roda traseira. Porém este estilo não teve muita aceitação, pois ao que tudo indica não era lá muito estável, uma vez que se utilizava de manivelas para a impulsão (GUPTA, 2015). A Figura 29 apresenta a bicicleta aprimorada por Mc Millan.

Figura 29 - A Bicicleta de Mc Millan.



Fonte: Linhares (2006).

A primeira bicicleta comercialmente bem-sucedida apareceu em 1863. Tinha um par de pedais conectados à roda dianteira e foi montado da mesma maneira que os triciclos básicos das crianças de hoje. Suas rodas de madeira (com pneus de ferro) nas estradas de paralelepípedos do dia deram ao cavaleiro um passeio tão difícil que recebeu o apelido de agitador de ossos. No entanto, o agitador de ossos era mais elegante que seus ancestrais. Era mais leve, mais rápido e muito mais confortável do que o cavalo do hobby. Esse conforto foi alcançado com a fixação do assento através de uma mola de lâmina que corria da frente pega na roda traseira. A Figura 30 apresenta a chamada Velocípede.

Figura 160 - Velocípede.

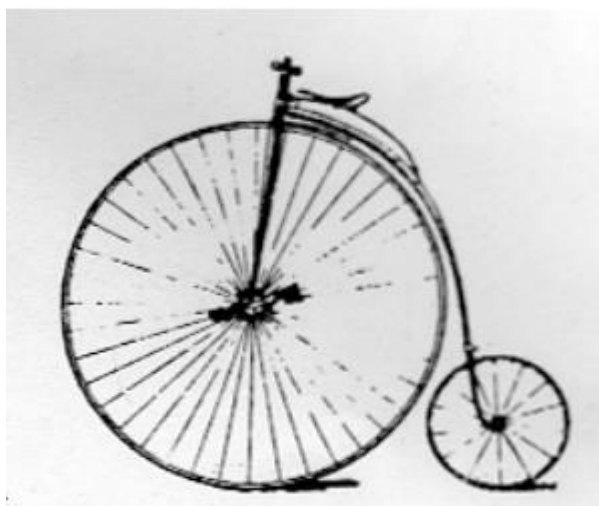


Fonte: Linhares (2006).

Mais adiante surgiram as chamadas Ordinárias, com rodas frontais gigantes, com diâmetro entre 36, 54 chegando até a 64 polegadas, esse tamanho de roda facilitava o ganho de velocidade, mantendo o mínimo de conforto ao piloto. No entanto o alto centro de gravidade ocasionava frequentes quedas. Foi nesta época que as bicicletas ficaram populares, pois tornara um meio de transporte capaz de percorrer grandes distâncias, mesmo em terrenos prejudicados como os da época.

Ainda no século XIX é criado o que seria o primeiro sistema de freios, que consistia em uma alavanca que acionava uma sapata de metal contra o pneu, assim causando fricção para parar a bicicleta. Na figura 31 tem-se a bicicleta Ordinarie, um marco para a evolução da bicicleta, tornou-se bastante popular entre os anos de 1870 e 1890.

Figura 171 - Bicicleta Ordinarie.

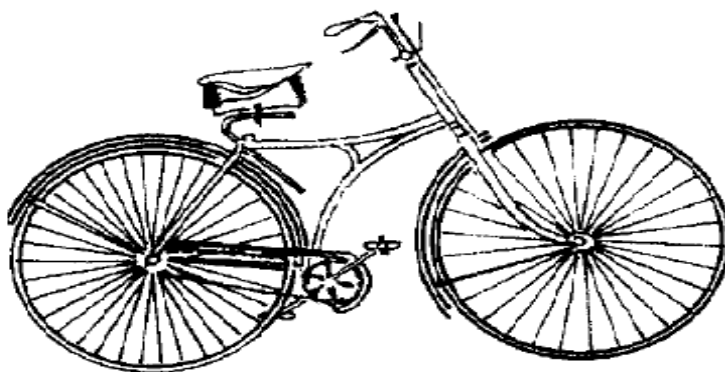


Fonte: Linhares (2006).

A “Máquina de Segurança” primeira máquina que se parecia muito com a bicicleta moderna chegaram às estradas em 1879. Nessas máquinas baixas, o piloto sentou-se entre as duas rodas e remou uma manivela baixa que dirigia a roda traseira através de uma corrente. Uma grande relação de transmissão foi obtida usando uma roda de corrente grande e um pinhão pequeno preso à roda traseira. O tamanho da roda não determinou mais a velocidade, que pode variar, alterando o tamanho das rodas da corrente. O ciclista poderia alcançar a perna no chão, caso perdesse o equilíbrio.

Apesar da segurança demonstrada, esta bicicleta encontrou muita resistência. As peças de segurança com pneus sólidos vibraram mais do que as rodas altas correspondentes e pedalar tão perto do chão despreparado embaçavam os pés. Porém com algumas melhorias e experiência, a 'segurança' conquistou quase todo mundo em 10 anos. A Figura 32 apresenta a bicicleta Rover criada em 1889.

Figura 182 - Rover - Safety.



Fonte: Gupta (2015).

Outro marco importante na evolução das bicicletas foi a invenção dos pneus com câmaras de ar. Inventado em 1888 por Jon Boyd Dunlop, os pneus sem dúvida proporcionaram mais conforto e estabilidade aos ciclistas.

Também houve inovações em outros recursos de design. A moldura tubular de diamante apareceu em 1885 e tem sido uma característica essencial, praticamente inalterada até hoje. Isso reduziu significativamente o peso da bicicleta.

A bicicleta mudou pouco nos últimos 100 anos. A figura 33 mostra a evolução das bicicletas até os modelos mais atuais. Houve algumas mudanças, sem dúvida, o uso de materiais mais leves e mais fortes, rolamentos de esferas, freio mais eficazes. E a bicicleta passou a ser não só um meio de transporte como também estilo de vida, hobby e esporte nos dias atuais.

Figura 193 - Evolução das Bicicletas.



Fonte: Site MTB Brasília.