



Universidade Federal de Uberlândia  
Faculdade de Engenharia Elétrica  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica

**JOÃO CLÁUDIO FERREIRA SOARES ALVES**

**ANÁLISE DE DADOS DE MANUTENÇÃO PARA AVALIAÇÃO DA  
DISPONIBILIDADE DE EQUIPAMENTOS DE RESSONÂNCIA  
MAGNÉTICA EM ESTABELECIMENTOS ASSISTENCIAIS DE SAÚDE**

Uberlândia - MG

2019

**JOÃO CLAUDIO FERREIRA SOARES ALVES**

**ANÁLISE DE DADOS DE MANUTENÇÃO PARA AVALIAÇÃO DA  
DISPONIBILIDADE DE EQUIPAMENTOS DE RESSONÂNCIA  
MAGNÉTICA EM ESTABELECIMENTOS ASSISTENCIAIS DE SAÚDE**

**Dissertação** apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para a obtenção do título de **MESTRE EM ENGENHARIA BIOMÉDICA**.

Orientadora: Profa. Dr. Selma Terezinha Milagre

---

Assinatura do Orientador

Coorientador: Prof. Dr. Fernando Pasquini Santos

---

Assinatura do Coorientador

Uberlândia - MG

2019

26/08/2019

SEI/UFU - 1493464 - Ata de Defesa - Pós-Graduação



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

**ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO**

Programa de Pós-Graduação	Engenharia Biomédica				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico, 051, PPGEb.				
Data:	vinte e três de agosto de dois mil e dezenove	Hora de início:	14:30	Hora de encerramento:	16:20
Matrícula do Discente:	11812EBI004				
Nome do Discente:	João Cláudio Ferreira Soares Alves				
Título do Trabalho:	ANÁLISE DE DADOS DE MANUTENÇÃO PARA AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE EQUIPAMENTOS DE RESSONÂNCIA MAGNÉTICA EM ESTABELECIMENTOS ASSISTENCIAIS DE SAÚDE				
Área de concentração:	Engenharia Biomédica				
Linha de pesquisa:	Engenharia de Sistemas de Saúde				
Projeto de Pesquisa de vinculação:	Caracterização de sinais motores da doença de Parkinson por meio de sensores capacitivos sem contato.				

Reuniu-se no Anfiteatro do Bloco 1E, Campus Santa Mônica, da Universidade Federal de Uberlândia, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Biomédica, assim composta: Professores Doutores: Fernando Pasquini Santos - FEELT/UFU (coorientador); Adriano de Oliveira Andrade - FEELT/UFU; Maria Fernanda Soares de Almeida - IFTM; Selma Terezinha Milagre FEELT/UFU orientadora do candidato.

Iniciando os trabalhos o(a) presidente da mesa, Dra. Selma Terezinha Milagre, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato, agradeceu a presença do público, e

concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ul mada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado, considerando o(a) candidato(a):

Aprovado(a).

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do tulo de Mestre.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação per nente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.

[https://www.sei.ufu.br/sei/controlador.php?acao=documento\\_imprimir\\_web&acao\\_origem=arvore\\_visualizar&id\\_documento=1694532&infra\\_siste...](https://www.sei.ufu.br/sei/controlador.php?acao=documento_imprimir_web&acao_origem=arvore_visualizar&id_documento=1694532&infra_siste...) 1/2 26/08/2019 SEI/UFU - 1493464 - Ata de Defesa - Pós-Graduação



Documento assinado eletronicamente por **Adriano de Oliveira Andrade, Professor(a) do Magistério Superior**, em 23/08/2019, às 16:21, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Maria Fernanda Soares de Almeida, Usuário Externo**, em 23/08/2019, às 16:22, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fernando Pasquini Santos, Professor(a) do Magistério Superior**, em 23/08/2019, às 16:22, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Selma Terezinha Milagre, Professor(a) do Magistério Superior**, em 23/08/2019, às 16:23, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [h ps://www.sei.ufu.br/sei/controlador\\_externo.php?](https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?)

[acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](#), informando o código verificador **1493464** e o código CRC **231A3D29**.

**Referência:** Processo nº 23117.075411/2019-65

SEI nº 1493464

[https://www.sei.ufu.br/sei/controlador.php?acao=documento\\_imprimir\\_web&acao\\_origem=arvore\\_visualizar&id\\_documento=1694532&infra\\_siste...](https://www.sei.ufu.br/sei/controlador.php?acao=documento_imprimir_web&acao_origem=arvore_visualizar&id_documento=1694532&infra_siste...)

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

A474	Alves, João Cláudio Ferreira Soares, 1993-
2019	<p>ANÁLISE DE DADOS DE MANUTENÇÃO PARA AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE EQUIPAMENTOS DE RESSONÂNCIA MAGNÉTICA EM ESTABELECIMENTOS ASSISTENCIAIS DE SAÚDE</p> <p>[recurso eletrônico] / João Cláudio Ferreira Soares Alves. - 2019.</p> <p>Orientadora: SELMA TEREZINHA MILAGRE.</p> <p>Coorientadora: FERNANDO PASQUINI SANTOS.</p> <p>Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Pós-graduação em Engenharia Biomédica.</p> <p>Modo de acesso: Internet.</p> <p>Disponível em: <a href="http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2019.2347">http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2019.2347</a></p> <p>Inclui bibliografia. Inclui ilustrações.</p> <p>1. Engenharia biomédica. I. TEREZINHA MILAGRE, SELMA, 1962, (Orient.). II. PASQUINI SANTOS, FERNANDO, 1990-, (Co-orient.). III. Universidade Federal de Uberlândia. Pós-graduação em Engenharia Biomédica. IV. Título.</p> <p>CDU: 62:61</p>

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091

Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074

*“Não se deve ir atrás de objetivos que sejam fáceis, é preciso buscar o que só pode ser alcançado por meio dos maiores esforços”.*

Albert Einstein.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradecer sempre e em todos os momentos a Deus e a Jesus Cristo. Sempre soube que não seria fácil alcançar o título de “Mestre” em Engenharia Biomédica, e ainda assim muitas das vezes nossa própria mente e, consequentemente, o medo que há dentro de nós, nos levam a momentos a acreditar que algumas coisas não serão possíveis mas, sempre soube de onde recorrer as minhas forças, minhas energias e pensamentos positivos, Sua presença foi fundamental para a conclusão deste.

A meus queridos e amados pais, Cláudia Ferreira Soares Alves e João Alves Neto, existem momentos na vida em que não se consegue achar vocábulos suficientemente grandiosos para agradecê-los pelos apoios, conselhos e algumas vezes as lições que a vida lhes ensinou. Gratidão a vocês, obrigado.

Quero agradecer também a uma pessoal que sempre esteve ao meu lado, a mulher que segurou na minha mão muitas das vezes em que não merecia, a ela que muitas vezes me ensinou que para tudo nesta vida se há um tempo, não o meu tempo mas, o tempo de aprender a ter sabedoria para esperar, Katherine Fernandes Januário Neves. Obrigado meu amor.

Ao meu Professor Doutor Fernando Pasquini Santos, obrigado professor pela pessoa que é o Sr. e, pude obter a vantagem e o privilégio de trabalhar ao teu lado. Muito a mim foi ensinado, muito do Sr. pude observar e aprender, espero levar a sua amizade sempre comigo. Gratidão.

A minha professora Doutora Selma Terezinha Milagre, que muito me ajudou nesta jornada, muitas dúvidas me sanaram e sempre ao seu lado aprendi, obrigado professora Selma por dar a mim a chance de trabalhar ao teu lado.

Aos meus familiares (Avós, Avôs (In Memoriam), Irmãs (Maria Laura Ferreira Soares Alves e Marcella Soares Fernandes)), que direto ou indiretamente me ajudaram, sempre me dando motivação para continuar neste caminho dos estudos o meu maior respeito, obrigado.

Dedico este trabalho também a meu afilhado, João Henrique. Saiba que mesmo você ainda sendo apenas um bebê, o amor que sinto como seu padrinho a cada dia



cresce mais e mais dentro de mim, espero que um dia você possa ler este parágrafo que dedico especialmente a você. Amo-te.

ALVES, J. C. F. S. **ANÁLISE DE DADOS DE MANUTENÇÃO PARA AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE EQUIPAMENTOS DE RESSONÂNCIA MAGNÉTICA EM ESTABELECIMENTOS ASSISTENCIAIS DE SAÚDE**. 2019. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

## RESUMO

A Ressonância Magnética (RM) é um dos equipamentos mais importantes em diagnósticos por imagem e em pesquisas biomédicas encontrada no mercado. Entretanto, este equipamento está sujeito à paradas indesejadas, afetando a disponibilidade do aparelho e, conseqüentemente, ocasionando uma redução na quantidade de exames realizados pelos Estabelecimentos Assistenciais de Saúde (EASs), além, dos altos custos operacionais que são gastos. O objetivo do trabalho foi realizar um estudo sobre os principais fatores que afetam à disponibilidade e custos de operação de equipamentos de ressonância magnética em EASs públicos e privados, e por meio destes valores verificar a sua viabilidade. O método adotado inicialmente foi a busca pelos dados em campo, ou seja, a obtenção dos dados pertinentes aos históricos de ocorrências de cinco equipamentos de RM diferentes, além disso, buscou-se analisar os dados referentes aos históricos de custos, sendo, receita e despesas de um equipamento de RM de um EAS. A priori por meio dos históricos de ocorrências pode-se constatar que existem categorias de interrupções no serviço que de fato afetam a disponibilidade dos equipamentos de RM e, conseguinte, a quantidade de exames realizados, acarretando, conseqüentemente, perdas econômicas por parte dos EASs. Além disso, constata-se que para o EAS analisado os valores de despesas com o equipamento estavam operando em quantidades significativamente maiores quando comparados aos valores de receita recebido pelo EAS. Os dados mostram que existem categorias de interrupção no serviço que afetam a disponibilidade dos equipamentos de RM, sendo prejudicial aos cofres dos EASs, ademais, por meio dos dados pode constatar-se que para o EAS analisado não é viável a prestação do serviço de RM.

---

Palavras Chave: Ressonância Magnética. Disponibilidade. Custos. Estabelecimento Assistencial de Saúde. Equipamentos.

ALVES, J. C. F. S. **ANÁLISE DE DADOS DE MANUTENÇÃO PARA AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE EQUIPAMENTOS DE RESSONÂNCIA MAGNÉTICA EM ESTABELECIMENTOS ASSISTENCIAIS DE SAÚDE**. 2019. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

## **ABSTRACT**

Magnetic Resonance Imaging (MRI) or only Magnetic Resonance (MR) is one of the most important imaging diagnostic and biomedical equipment on the market. However, this equipment is subject to unwanted downtime, affecting the availability of the device and, consequently, causing a reduction in the number of examinations performed by Health Care Establishments (HCEs), in addition to the high operating costs that are spent. The objective of this work was to conduct a study on the main factors affecting the availability and operating costs of magnetic resonance imaging equipment in public and private EASs, and through these values to verify their viability. The method initially adopted was the search for data in the field, that is, to obtain the pertinent data to the historical of occurrences of five different MR equipment. In addition, we tried to analyze the data related to the historical of costs, being, income and expenses for an EAS RM equipment. A priori from the history of occurrences it can be seen that there are categories of service interruptions that actually affect the availability of MRI equipment and, consequently, the amount of examinations performed, leading to economic losses by EASs. In addition, it can be seen that for the analyzed EAS the equipment expense amounts were operating at more than four times the revenue received by the EAS. The data show that there are categories of service interruption that affect the availability of MRI equipment, being detrimental to the safes of the EASs. Moreover, through the data it can be seen that for the analyzed EAS the provision of the MRI service is not feasible.

---

Key-words: Magnetic Resonance. Availability. Costs. Health Care Establishment. Equipment.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Ressonância Magnética Campo Fechado (formato túnel) .....	39
Figura 2:Próton de hidrogênio como um dipolo magnético .....	44
Figura 3: Ressonância Magnética analisada do EAS I .....	82

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Linha do tempo das gerações da manutenção .....	30
Quadro 2: Espectro Eletromagnético .....	51
Quadro 3: Cronograma de coletas de dados .....	83
Quadro 4: Quantidade de exames de RM mensais realizados no ano de 2016 referente ao EAS I .....	89
Quadro 5: Quantidade de exames de RM mensais realizados no ano de 2017 referente ao EAS I .....	90
Quadro 6: Quantidade de exames de RM mensais realizados no ano de 2018 referente ao EAS I .....	92
Quadro 7: Quantidade de exames de RM mensais realizados no ano de 2016 referente ao EAS II .....	95
Quadro 8: Quantidade de exames de RM mensais realizados no ano de 2017 referente ao EAS II .....	97
Quadro 9: Quantidade de exames de RM mensais realizados no ano de 2018 referente ao EAS II .....	99
Quadro 10: Quantidade de exames de RM mensais realizados no ano de 2017 referente ao EAS III .....	102
Quadro 11: Quantidade de exames de RM mensais realizados no ano de 2018 referente ao EAS III .....	105
Quadro 12: Quantidade de exames de RM mensais realizados no ano de 2016 referente ao EAS IV, Equipamento IV .....	110
Quadro 13: Quantidade de exames de RM mensais realizados no ano de 2017 referente ao EAS IV, Equipamento IV .....	111
Quadro 14: Quantidade de exames de RM mensais realizados no ano de 2018 referente ao EAS IV, Equipamento IV .....	112
Quadro 15: Quantidade de exames de RM mensais realizados no ano de 2016 referente ao EAS IV, Equipamento V .....	115
Quadro 16: Quantidade de exames de RM mensais realizados no ano de 2017 referente ao EAS IV, Equipamento V .....	117
Quadro 17: Quantidade de exames de RM mensais realizados no ano de 2018 referente ao EAS IV, Equipamento V .....	118

Quadro 18: Gastos com operação do equipamento de RM .....	128
Quadro 19: Gastos com manutenção na Ressonância Magnética no ano de 2017	129
Quadro 20: Gastos com manutenção na Ressonância Magnética no ano de 2018	130
Quadro 21: Valores por exame pagos pelo SUS .....	131
Quadro 22: Quantidade de exames realizado com o respectivo valor pago pelo SUS no ano de 2017.....	132
Quadro 23: Quantidade de exames realizado com o respectivo valor pago pelo SUS no ano de 2018.....	133

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Equipamentos <i>de RM</i> analisados com seus respectivos EASs.....	84
Tabela 2: Período dos históricos de ocorrências dos equipamentos de RM.....	84
Tabela 3: Setores do EAS I analisado com os respectivos dados de pesquisa .....	86

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Categoria de interrupções no serviço para o Equipamento I – EAS I.....	93
Gráfico 2: Quantidade de exames x período, Equipamento I - EAS I.....	94
Gráfico 3: Categoria de interrupções no serviço, Equipamento II - EAS II.....	101
Gráfico 4: Quantidade de exames x período, Equipamento II - EAS II .....	102
Gráfico 5: Categoria de interrupções no serviço, Equipamento III – EAS III.....	108
Gráfico 6: Quantidade de exames x período, Equipamento III – EAS III .....	109
Gráfico 7: Categoria de interrupções no serviço, Equipamento IV – EAS IV.....	114
Gráfico 8: Categoria de interrupções no serviço, Equipamento V – EAS IV.....	120
Gráfico 9: Ocorrências totais por categoria de interrupções no serviço .....	121
Gráfico 10: Trocas de componentes .....	122
Gráfico 11: Relação entre as categorias de interrupções no serviço e os EASs estudados.....	123
Gráfico 12: Valores totais referentes ao equipamento de RM do EAS I nos anos de 2017 e 2018 .....	134
Gráfico 13: Custos totais de operação mais manutenção, comparados com os valores pago pelo SUS, nos anos de 2017 e 2018 .....	135



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

*DFT – Discret Fourier Transform*

EASs – Estabelecimentos Assistenciais de Saúde

EMAs – Equipamentos Médico-Assistenciais

*FIDs – Free Induction Decay*

IRM – Imagem por Ressonância Magnética

MC – Manutenção Corretiva

MP – Manutenção Preventiva

*MRI – Magnetic Resonance Imaging*

NAAH – Associação Norte Americana de Hospitais

PCS – Prestação de Contrato de Serviço

PIB – Produto Interno Bruto

RF – Radiofrequência

RI – Região de Interesse

RM – Ressonância Magnética

RMf – Ressonância Magnética Funcional

RMN – Ressonância Magnética Nuclear

RSR – Relação Sinal Ruído

SUS – Sistema Único de Saúde

TC – Tomografia Computadorizada

TI – Tecnologia da Informação

TPM – Manutenção Produtiva Total

*UCP – Pulse Control Unit*

UFU – Universidade Federal de Uberlândia

## SUMÁRIO

<b>SUMÁRIO .....</b>	<b>18</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>20</b>
1.1 JUSTIFICATIVA.....	21
1.2 OBJETIVOS .....	22
1.2.1 OBJETIVO GERAL.....	22
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	22
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	23
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>25</b>
2.1 MANUTENÇÃO .....	25
2.1.1 DEFINIÇÕES DE MANUTENÇÃO .....	26
2.1.2 EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA MANUTENÇÃO .....	28
2.1.3 TIPOS DE MANUTENÇÃO.....	30
2.1.3.1 MANUTENÇÃO CORRETIVA.....	31
2.1.3.2 MANUTENÇÃO PREVENTIVA .....	32
2.1.3.3 MANUTENÇÃO PREDITIVA.....	33
2.1.3.4 MANUTENÇÃO DETECTIVA.....	34
2.1.4 ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO.....	34
2.1.5 MANUTENÇÃO DE EMAs EM EAS .....	35
2.2 O EQUIPAMENTO DE RESSONÂNCIA MAGNÉTICA .....	37
2.2.1 EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA RESSONÂNCIA MAGNÉTICA.....	40
2.2.2 PRINCÍPIO FÍSICO EM RESSONÂNCIA MAGNÉTICA.....	48
2.2.2.1 SPIN OU MOMENTO ANGULAR .....	49
2.2.2.2 PRECESSÃO.....	50
2.2.2.3 FENÔMENO DE RESSONÂNCIA .....	51
2.2.2.4 APLICAÇÃO DO PULSO DE RADIOFREQUÊNCIA .....	52
2.2.2.5 RELAXAÇÃO DO VETOR MAGNÉTICO, $T_1$ E $T_2$ .....	53
2.2.3 INSTRUMENTAÇÃO.....	54
2.2.3.1 MAGNETISMO .....	55
2.2.3.2 MAGNETOS DE RM .....	55
2.2.3.3 BOBINAS DE RM .....	58
2.2.3.4 BOBINAS DE RADIOFREQUÊNCIA (RF).....	60
2.2.3.5 COLD HEAD DE RM .....	62

2.2.3.6 SISTEMAS DE COMPUTADORES DE RM .....	63
2.2.4 RESSONÂNCIA MAGNÉTICA CONTEMPORÂNEA.....	64
2.3 CONTRATO DE PRESTAÇÃO DE SERVIÇO DE MANUTENÇÃO .....	64
2.3.1 OUTSOURCING.....	67
2.3.2 INSOURCING.....	68
2.4 DISPONIBILIDADE.....	70
2.4.1 DISPONIBILIDADE DE EQUIPAMENTOS MÉDICO-ASSISTENCIAIS.....	71
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>73</b>
3.1 IMPORTÂNCIA DOS EQUIPAMENTOS MÉDICO-ASSISTENCIAIS .....	73
3.2 MANUTENÇÃO DE RM E FATORES QUE AFETAM SUA DISPONIBILIDADE.....	74
3.3 CUSTOS COM RM .....	77
3.4 OUTSOURCING E INSOURCING DE RM.....	78
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>81</b>
4.1 MÉTODOS UTILIZADOS .....	81
4.2 COLETA DOS DADOS .....	83
4.3 ANÁLISE DOS DADOS .....	86
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>87</b>
5.1 ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE MANUTENÇÃO E OS DESCRÉSCIMOS NO NÚMERO DE EXAMES .....	87
5.1.1 OCORRÊNCIAS EM EQUIPAMENTOS.....	88
5.1.2 DISCUSSÃO.....	120
5.2 ANÁLISE DE CUSTOS COM O EQUIPAMENTO DE RM PARA O EAS L .....	127
5.2.1 CUSTOS COM OPERAÇÃO DO EQUIPAMENTO DE RM DO EAS I .....	128
5.2.2 CUSTOS COM MANUTENÇÃO DO EQUIPAMENTO DE RM DO EAS I.....	129
5.2.3 VALOR MONETÁRIO PAGO AO EAS I PELO SISTEMA ÚNICO DE SAÚDE (SUS).....	131
5.2.4 DISCUSSÃO.....	133
<b>7 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>141</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Com a evolução tecnológica, surgiu no mercado na década de 1970 um novo método de imagens biomédicas chamado imagem por ressonância magnética (MRI), ou apenas ressonância magnética (RM), que trouxe diversos avanços significativos para diagnósticos e pesquisas [1].

A Ressonância Magnética é uma das ferramentas mais importantes em diagnósticos por imagem e em pesquisas biomédicas [2]. A mesma utiliza de técnicas que transformam a medicina, trazendo a possibilidade de visualização dos mais diversos processos do corpo, sejam eles fisiológicos, bioquímicos, celulares ou moleculares. Deste modo, a RM diagnóstica sinais fisiológicos e informações claras sobre interação cérebro-corpo, por exemplo. A utilidade da RM na expansão do conhecimento é cada vez mais evidente nos sistemas cardiovascular, respiratório, e principalmente nos processos neurais. A evolução dessas técnicas tem como consequência o aprimoramento dos equipamentos, em paralelo aos métodos de análise dos dados, provocando assim a detecção precoce de doenças, proporcionando aos pacientes mais facilidade no tratamento, aumentando então a possibilidade de melhora clínica [3].

A RM é um método não invasivo de mapear as estruturas internas e certos aspectos da função dentro do corpo. É um método de diagnóstico que não utiliza de radiações ionizantes eletromagnéticas e devido a isto, não apresenta perigo à saúde do paciente, diferentemente do método de diagnóstico por tomografia computadorizada (TC), onde existe maiores riscos de câncer como resultado da radiação que um paciente é exposto [4].

A técnica se baseia na utilização de rádio frequência (RF) juntamente com campos magnéticos cuidadosamente controlados, a fim de produzir imagens transversais de alta qualidade do corpo em qualquer plano. A imagem da ressonância magnética é construída colocando inicialmente o paciente dentro de um grande magneto, na qual induz um campo magnético externo relativamente forte. Assim, os átomos presentes no organismo humano, como o hidrogênio, se alinham com o campo magnético aplicado e posteriormente, sendo aplicado um sinal de RF, a energia desses átomos são liberadas, detectada e reconstruídas via *software* [5].

O equipamento de RM é um aparelho de alta complexidade, devido, à grande quantidade de componentes envolvidos, tanto em *hardware* como em *software*. Sendo

assim, pela complexidade do equipamento, a manutenção do mesmo pode ser dispendiosa tanto em tempo como em recursos, ocasionando perdas tanto para as empresas como para os pacientes que necessitam do exame [6].

Nesse sentido, para o êxito de um gerenciamento de um estabelecimento assistencial de saúde (EAS) sendo ele qual for, a gestão em manutenção hospitalar necessita minimizar ao máximo a descontinuidade (impacto) nos serviços que serão prestados, exemplo este, a parada de um aparelho de RM [7].

## **1.1 JUSTIFICATIVA**

A técnica de Imagem por Ressonância Magnética, é nos tempos de hoje considerado uma ferramenta importante na área de diagnóstico por imagem. Para os estabelecimentos assistenciais de saúde, a paralisação de um equipamento deste porte, minimiza seus faturamentos, fazendo com que exista a perda da confiabilidade por parte do cliente pelo fato da empresa não prestar o serviço [6].

Diante disso, os EASs procuram por melhores estratégias de gerenciamento, seja em âmbito público ou privado, para buscar a maximização dos recursos disponíveis e com isto, obter uma otimização nos seus resultados. Juntamente com as transformações tecnológicas, há um aumento considerável nos custos, o que causa preocupação para os estabelecimentos, devido ao aumento nos preços de serviços prestados [8].

Assim, é fundamental conhecer os problemas que levam à indisponibilidade deste equipamento o que leva à diminuição dos exames realizados, deixando os pacientes sem atendimento. Importante também é conhecer os custos de operação desta tecnologia para buscar alternativas de maximização do custo/benefício para o setor privado ou custo efetividade para o setor público.

Por fim, percebeu-se a necessidade pela busca de uma análise de averiguação os valores gastos com custos com manutenção e os valores gastos com custos com operação no EAS I, a partir destes dados, verificar se estes valores gastos são superiores ou inferiores aos valores recebidos pela EAS I do SUS, para realização dos diferentes exames de RM, portanto, após analisar estes dados, verificar se para este estabelecimento é viável ou não a prestação do serviço de imagem por ressonância magnética.

Registre-se que, especialmente para o meio acadêmico, a justificativa encontra respaldo pelo fato de existirem poucos estudos sobre a temática, haja vista sua complexidade e importância para a área da saúde e, conseqüentemente, seus fins.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 OBJETIVO GERAL**

O objetivo geral deste trabalho foi realizar um estudo sobre a disponibilidade e os custos com equipamentos de ressonância magnética em estabelecimentos assistenciais públicos e privados.

### **1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Os objetivos específicos deste estudo foram:

- Verificar se as ocorrências relacionadas aos equipamentos de RM analisados afetam a disponibilidade do equipamento de maneira a afetar diretamente na quantidade de exames realizados;
- Encontrar alternativas para que os Estabelecimentos Assistenciais de Saúde (EASs) que trabalham com o equipamento de Ressonância Magnética, possam minimizar a indisponibilidade do mesmo;
- Sugerir alternativas que possam reduzir paradas indesejadas;
- Analisar os dados de custos e receitas e verificar se o EAS está ganhando ou perdendo capital com seu equipamento;
- Avaliar se para o EAS é viável a prestação de serviço de diagnóstico por Imagem de Ressonância Magnética;
- Sugerir alternativas para solucionar problemas relacionados a custos com o equipamento.

Portanto, procurou-se reunir dados/informações com o propósito de responder os seguintes problemas de pesquisa: como os problemas no equipamento de RM

afetam sua disponibilidade? Quais as categorias de interrupções no serviço de RM são mais recorrentes? Sendo assim, é viável ao EAS a prestação do serviço de RM?

### **1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

O segundo capítulo desta dissertação, traz a parte de referencial teórico, onde apresenta-se a teoria sobre a manutenção de equipamentos e seus detalhes específicos para o equipamento de ressonância magnética, bem como, o processo físico que faz com que ocorra o processamento da imagem ao fim do exame, os detalhes de construção e operação do equipamento e detalhes sobre os contratos de manutenção para esta máquina. Por fim, neste mesmo capítulo discute-se o conceito de disponibilidade, e como a mesma afeta um equipamento de ressonância magnética.

No terceiro capítulo é redigido sobre a revisão da literatura, por meio dos principais trabalhos realizados sobre o equipamento de RM e suas aplicabilidades nos EASs. Além disso, neste mesmo capítulo é lavrado sobre os trabalhos referentes a importância da disponibilidade dos aparelhos de RM e operações envolvendo seus custos. Por fim redige-se os trabalhos envolvendo alternativas para solucionar problemas envolvendo o equipamento.

O quarto capítulo trata-se do método empregado para a realização do trabalho. Neste capítulo é abordado passa a passo como foi realizado a coleta dos dados obtidos, dos diferentes equipamentos de ressonância magnética de diferentes EASs. Ainda neste ponto, discorre-se sobre a quantidade de exames realizados nos equipamentos analisados, no decorrer de aproximadamente 2 anos. Além disso é abordado o método empregado para a obtenção do material envolvendo custos do equipamento de RM analisado.

O quinto capítulo apresenta os resultados e discussões obtidos através dos dados analisados. Neste capítulo pode-se observar o impacto da baixa disponibilidade do serviço de RM nos números de exames. Neste mesmo capítulo ainda são analisados os valores gastos pelo EAS I com todos os tipos de reparo realizado no aparelho de RM.

O sexto capítulo desta dissertação conclui o trabalho, apontando que a disponibilidade dos equipamentos de RM está diretamente ligada a quantidade de exames realizados. Mostra-se ainda que, por meio da análise de custos do EAS que

não é viável a prestação do serviço do exame de RM, considerando o fato de que este aparelho tem custos altos quando relacionados a suas manutenções e operações, e visto ainda que os valores recebidos pelo estabelecimento deveriam ser maiores que os gastos para que se possa haver uma compensação por parte dos EASs.



## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Este capítulo aborda os fundamentos teóricos necessários para desenvolvimento do trabalho, são eles: abordagem a respeito de manutenção, manutenção em equipamento de Ressonância Magnética, princípios físicos e instrumentação de Ressonância Magnética, estudo a respeito do conceito de disponibilidade, e disponibilidade para equipamentos médico-assistenciais.

### **2.1 MANUTENÇÃO**

Embora não perceptível, a manutenção desde os tempos primórdios é existente e utilizada. Por volta do século XVI, a manutenção passou a ser habitual na Europa central, principalmente após a descoberta dos relógios mecânicos e alguns outros objetos, houve então a necessidade da utilização de alguma forma de reparação para estes objetos, aliado a isto surgiram os primeiros técnicos em montagem e assistência técnica [9].

Com o passar do tempo, com o surgimento de equipamentos, máquinas e instalações, houve a necessidade de se buscar por meios que mantivessem o regular desempenho dos mesmos, isto devido a degradações que estes normalmente sofrem, seu estado usual, e modificações no seu processo. A partir deste ponto é que a manutenção intervém, são feitas reparações, calibrações, lubrificações, de forma com o objetivo que não haja a interrupção ou falha do equipamento para com o processo de produção [10].

Neste século, as pessoas que projetavam as máquinas e equipamentos treinavam os operários que iriam manusear os mesmos, mediando apenas em casos mais complexos, onde os operários não tinham tal conhecimento ou treinamento para manter a atividade dos equipamentos. Até aquele momento, os operários eram incumbidos apenas para realizar manutenções caso houvesse alguma falha [11].

A utilização de tal método, operários produzindo e dando manutenções nos próprios equipamentos, prevaleceu até a Primeira Guerra Mundial, onde Henry Ford introduziu linhas de montagem (linhas de produções) que necessitavam de manutenções rápidas e eficazes, afim de se obter lucros para a empresa. A este método empregado se denomina manutenção corretiva [12].

Com a chegada da Revolução Industrial, um marco importante para com o processo tecnológico, a manutenção incorporou-se como um processo benéfico para com os equipamentos e firmou-se como necessidade absoluta na Segunda Guerra Mundial. Após a Segunda Guerra Mundial, países como Itália, Alemanha e principalmente o Japão embasaram-se na utilização da manutenção e da engenharia para suas indústrias [9].

Para atender a grande demanda de materiais utilizados em guerra, bens de clientes e para compensar a escassez de mão de obra, a tecnologia foi forçada a desenvolver mecanismos mais eficientes. Custos, longevidade e disponibilidade eram agora considerados importantes fatores para descobrir os objetivos dos negócios e sendo assim, a manutenção era considerada como uma maneira técnica e tornou-se uma tarefa para os departamentos de manutenções [13].

Mesmo com a existência de pessoas que realizavam manutenções nas indústrias, esses eram capacitados apenas para a realização de manutenções chamadas emergenciais, ou seja, manutenções que ocorriam apenas caso o equipamento viesse a falhar ou ser danificado e com isto, implicava no seu reparo após a falha. Em meados da década de 30 e, conseqüentemente, com a aparição de produções cada vez mais eficazes e ágeis, é que se iniciou a prática da utilização de monitoramento de máquinas e equipamentos visando a rápida produtividade das linhas de produção, caracterizando o que hoje é conhecida como manutenção preventiva. Portanto, neste período as manutenções corretivas e preventivas viriam a ser fundamentais dentro das indústrias [12].

### **2.1.1 DEFINIÇÕES DE MANUTENÇÃO**

Inicialmente ao se conceituar manutenção, a busca pela palavra no dicionário da língua portuguesa traz manutenção como sendo o ato ou o efeito de manter(-se), sustentar ou defender algo ou alguma coisa. Ainda assim, manutenção pode ser definida no campo da engenharia como sendo o efeito de sustentar aparelhos, equipamentos com suas mesmas características originais, ou seja, os atributos que os mesmos foram construídos [14].

Segundo a norma NP EN 13306 de 2007 [15], manutenção é definida como:

Manutenção é a combinação de todas as ações técnicas, administrativas e de gestão, durante um ciclo de vida de um determinado bem, destinadas a mantê-lo ou repô-lo num estado em que ele possa desempenhar a função requerida.

Em uma outra definição, [16] define manutenção como sendo:

O termo manutenção tem sua origem no vocabulário militar, cujo sentido era manter nas unidades de combate o efetivo e o material num nível constante de aceitação.

Manutenção pode ser compreendida como sendo um conjunto de cuidados técnicos que devem ser indispensáveis ao funcionamento estável e contínuo de máquinas, equipamentos, ferramentas e instalações. Tais cuidados técnicos englobam reparação, conservação, adaptação, harmonização [9].

A manutenção pode ser definida como um aglomerado conjunto de ações que visam manter ou reatar um determinado bem em um determinado estado representativo, ou seja, garantindo uma determinada atividade [10].

A gestão da manutenção é o termo utilizado para descrever as atividades para garantir que os ativos operem no estado requerido e que a manutenção é realizada a fim de alcançar contínuas melhorias na confiabilidade, manutenção e disponibilidade [17].

Existe ainda, uma norma britânica [18] que define o gerenciamento da manutenção como sendo:

Todas as atividades de gerenciamento que determina os objetivos da manutenção, estratégias e responsabilidades, e a implementação deles tais que implicam como planejamento de manutenção, controle de manutenção, e melhoria das atividades de manutenção e economia.

Sendo assim, nota-se que existe diferentes definições para com o termo da utilização da palavra manutenção, entretanto nota-se também que para todos os termos utilizados para definir manutenção, direciona a mesma para um objetivo final análogo, ou seja, os termos empregados têm um mesmo fim para com todas as definições.

## 2.1.2 EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA MANUTENÇÃO

Os primeiros passos para a evolução da manutenção se deram aproximadamente nos anos de 1940. As primeiras abordagens relacionadas com manutenção eram chamadas de “*Run to failure*” (correr para o fracasso) ou ainda estratégia de manutenção corretiva, um outro termo frequentemente utilizado na época [19].

A partir dos anos de 1940, a manutenção pode ser descrita em três gerações distintas:

A primeira geração descrita inicia-se no período que antecede a segunda guerra mundial, onde as indústrias eram pouco mecanizadas e a diligência de falhas não era uma prioridade dentro da indústria. Neste período a manutenção baseava-se apenas na recuperação da tecnologia, ou seja, nesta época apenas uma manutenção corretiva era suficiente para o bom cumprimento das tarefas tecnológicas [20].

Apesar do surgimento dos equipamentos tecnológicos, os mesmos ainda eram muito simples, eram projetados com uma maior precisão contribuindo para que suas reparações fossem mais fáceis. No período da primeira geração também era comum que a pessoa que projetava o equipamento também o manuseasse, conseqüentemente, o operador era responsável pela produção que seu equipamento realizava e caso o mesmo apresentasse danos o operador também era responsável pela sua reparação, isto fazia com que o funcionário conhecesse como ninguém o aparelho, deste a ocorrência de uma adversidade até a reparação da mesma [20].

A segunda geração para a evolução da manutenção, ocorre após a segunda guerra mundial, entre os anos de 1950 e 1975. Tal geração é caracterizada pela dissipação das linhas de produção contínuas, fazendo com que houvesse dependência da sociedade para com os produtos e os sistemas industriais [21].

No período dos anos de 1970, as instalações de fabricação, tornaram-se cada vez mais automatizadas e complexas. Reabilitação, disponibilidade e manutenção, tão importante quanto qualidade, segurança, desenvolvimento e multicompetência. Condições de monitoramentos, condições baseadas em manutenções e sistemas de informação de gestão de manutenção começaram a ser utilizadas na indústria. Condições baseadas em monitoramento tornaram-se mais fáceis para se utilizar na

indústria devido à automatização e o desenvolvimento de informações tecnológicas, e a manutenção tornou-se mais integralizada e não era tão lenta como antes [13].

Alguns fatores acarretaram a sociedade a realizar novas técnicas de manutenções orientadas para uma minimização de adversidades dos equipamentos nas linhas de produção, a partir deste ponto, houve a necessidade do desenvolvimento de técnicas para tais adversidades, e aí então, é que se iniciam os primórdios da manutenção preventiva e preditiva [21].

Tais critérios que previam falhas tornou-se fundamental na indústria acarretando a minimização das ocorrências de falhas, fazendo assim com que as empresas tivessem uma maior linha de produção e sucessivamente maior produção de itens. Com isso, a utilização de computadores e alguns processadores, em combinação com técnicas de fabricação permitiu prever a aproximação de falhas nos equipamentos [20].

No mesmo período que engloba a segunda geração da manutenção, introduziu-se também uma nova técnica que seria crucial para a prevenção antecipada de falhas, a Microeletrônica. Tal disciplina possibilitaria a utilização de itens de medição com alta capacidade de monitorar em tempo real o estado em que o equipamento utilizado se encontra, conseguindo então aferir tais parâmetros de funcionamento e consequentemente extrair os dados do aparelho mostrando o momento da falha [20].

Com o surgimento dos microcomputadores a custos reduzidos e compreensão simples da utilização do mesmo, as indústrias passaram a adquirir maior independência para criar e aplicar programas nas suas linhas de produção, sem a utilização de terceiros para analisar estes programas. Tal avanço, foi fundamental para o manejo das informações e diagnóstico dos dados em que a produção da indústria era envolvida, houve então uma grande proximidade entre otimizar a qualidade da produção e sua produtividade [12].

A terceira geração, também caracterizada pela grande demanda de trabalho das linhas de produção, surge em um momento crucial, momento das chamadas paralizações da produção. Existem alguns fatores que acarretaram ao surgimento da terceira geração como: as perspectivas relacionadas à confiabilidade dos equipamentos, sua disponibilidade, as causas que tais equipamentos poderiam ocasionar ao meio ambiente, a segurança dos seus funcionários e ao aumento dos custos de manutenções [20].

O desenvolvimento de computadores baseados em instrumentação ou microprocessadores forneceu os meios para gerenciar a operação de manutenção, devido a isto, tornaram-se mais acessíveis as condições de operação das plantas dos equipamentos e dos sistemas. Com isto, houve a redução de manutenções desnecessárias ou até mesmo eliminação da mesma [13].

Para [22], a evolução da manutenção pode ser dividida em três gerações e em distintas épocas, como descrita no Quadro 1. Percebe-se no mesmo, que para diferentes épocas houve-se alguma necessidade vinculada à indústria, e aliado a este fator, existiu a necessidade dos conceitos voltados aos tipos de manutenções e como estes poderiam ser classificados.

Quadro 1: Linha do tempo das gerações da manutenção

1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010
<b>Primeira Geração:</b> - Concerto após avaria.			<b>Segunda Geração:</b> - Revisões gerais programadas; - Gestões de planejamentos, e controle nas linhas de produções; - Utilização de computadores grandes e lentos.		<b>Terceira Geração:</b> - Projetos utilizando confiabilidade e manutenibilidade; - Monitoramento das condições; - Estudos aprofundados sobre riscos; - Computadores cada vez menores e com processamentos mais velozes; - Eficiência nas linhas de produções; - Estudos dos tipos de falhas e a análise dos respectivos efeitos causado.		

Fonte: Adaptado de [22].

Portanto, com o passar do tempo e consequentemente com a evolução tecnológica e industrial, enxergou-se que haveria a necessidade de encontrar meios que pudessem tornar as linhas de produções mais rápidas e eficazes, isto posto, surgiram os diferentes tipos de manutenção.

### 2.1.3 TIPOS DE MANUTENÇÃO

Na Seção 2.1.2, pode-se observar que a manutenção passou a ser uma estratégia fundamental para com as indústrias de um modo geral. Com o passar dos anos e consequentemente com a inovação e o avanço tecnológico, houve a

necessidade da criação de técnicas de manutenções. Até os dias atuais, se percebe que existe ainda uma confusão por parte das pessoas com relação a nomenclatura utilizada para se definir quais são os tipos existentes de manutenção. O que se vê, é que existem diferentes nomes para as técnicas de manutenções, porém o que se deve ser compreendido é seu conceito.

Para uma empresa é fundamental a escolha adequada de um determinado tipo de manutenção (preditiva, preventiva, corretiva), seja para com determinado equipamento, sistema ou até mesmo instalação, fazendo com que haja a maximização do rendimento e, conseqüentemente, a maximização dos resultados da empresa [23].

Nas Seções 2.1.3.1 a 2.1.3.5, são conceituados os tipos mais comuns de manutenções existentes e quais são seus principais objetivos para com as indústrias em geral e seus respectivos equipamentos.

#### **2.1.3.1 MANUTENÇÃO CORRETIVA**

É a manutenção mais antiga e primaria que se conhece, este tipo de manutenção permite ao equipamento que o mesmo trabalhe até a sua avaria, falha ou anomalia e apenas a partir deste ponto que se inicia a sua reparação, em uma tentativa rápida para que o equipamento volte a operar, sem que afete diretamente na sua produção [20].

É definida como sendo as ações realizadas para trazer de volta o maquinário que deixou de cumprir suas condições adequadas de trabalho após a identificação e diagnóstico do problema. A manutenção é identificada por uma condição de sistema de monitoramento ou devido à avaria [24].

O principal objetivo da manutenção corretiva é que os reparos realizados sejam feitos de forma adequada e integralmente em todos os problemas emergenciais com uma base de necessidades. E que todos os reparos sejam realizados por pessoas capacitadas e que o equipamento esteja em estado de trabalho antes do seu retorno às atividades [24].

Dois tipos de manutenção corretiva são [25]:

- Manutenção corretiva planejada: É a manutenção que se faz através de um acompanhamento preditivo, detectivo, ou seja, é uma correção que se faz quando existe a possibilidade de uma decisão planejada de

operar o equipamento até a sua falha. Sendo assim, pode-se dizer ainda que é uma forma de reparação que é feita para minimizar uma falha ou ainda para reparar alguns defeitos encontrados durante as manutenções preventivas e preditivas;

- **Manutenção corretiva não planejada:** É a manutenção corretiva clássica, ou seja, é a correção da falha de maneira aleatória, ou ainda quando ocorre alguma irregularidade com o equipamento tal que, resulta na parada do mesmo através de eventos como: pane no sistema, falha de operação, mau funcionamento, irregularidades no seu desempenho.

### **2.1.3.2 MANUTENÇÃO PREVENTIVA**

É a manutenção cuja objetivo é a minimização da probabilidade de ocorrer algum tipo de falha, pane no equipamento de tal modo que este tipo de manutenção é realizado através de parâmetros pré-definidos, assegurando que o mesmo venha a desempenhar regularmente suas funções [26].

Existe ainda uma subclassificação para com a manutenção preventiva, as chamadas manutenção preventiva sistemática e a manutenção preventiva condicionada. A primeira é conhecida por ser realizada periodicamente, ou seja, realizam-se inspeções, diagnósticos e algumas intervenções rotineiras que possibilitam verificar em qual o estado se encontra o equipamento, consequentemente, minimizando a probabilidade da ocorrência. A manutenção preventiva condicionada ou também conhecida como manutenção inteligente, é realizada apenas quando um determinado componente do equipamento venha a falhar, ou seja, a manutenção ocorre apenas se algum parâmetro do equipamento já esteja em algum estado de desgaste, sendo que a este tipo de acontecimento é predeterminado [26].

Diferentemente da manutenção preditiva, a manutenção preventiva baseia-se na produção de TPM (Manutenção Produtiva Total) onde existe a utilização de lubrificantes, reaperto de componentes e limpeza do equipamento de trabalho. Ainda assim, existe também o fato de que na manutenção preventiva não se considera os



dados históricos particulares do equipamento, havendo prazos determinados pelos fabricantes dos equipamentos para que haja a troca de determinadas peças [27].

### **2.1.3.3 MANUTENÇÃO PREDITIVA**

O termo manutenção preditiva refere-se à política de manutenção que aciona as atividades de manutenção por previsões de falhas. Para se obter a acurácia da previsão, a manutenção preditiva está tipicamente baseada em um conjunto de atividades que informam (o proprietário, prestador de serviços ou operador) sobre o atual estado do equipamento, e de preferência também o futuro estado de seus ativos físicos. Para isto, a manutenção preditiva emprega análises, métodos e técnicas que utilizam dados de ativos, tal como condições e dados de carregamentos ou experiência, para detectar ou encontrar predições nos componentes físicos do equipamento [28].

Manutenção preditiva é conceituada como sendo uma manutenção do tipo moderna. Com este tipo de manutenção, pode-se ser identificada funcionamentos anormais em determinado elementos do equipamento, ou seja, pode-se determinar antecipadamente alguma avaria em determinada peça específica do equipamento, e através da identificação da avaria fazer com que o reparo seja feito de modo correto sem que, algum elemento indevido do equipamento seja desmontado para o reparo. Um exemplo prático muito utilizado para a compreensão deste tipo de manutenção é acompanhar o nível de ruído de um rolamento de um motor, e através deste nível de ruído realizar a substituição do elemento de modo a ser realizado, somente quando necessário [29].

Existe ainda uma definição para manutenção preditiva, que se baseia no conhecer do estado ou condição em que se encontra o equipamento, realizando manutenções periódicas de alguns elementos significativos para o desempenho do aparato. A esta manutenção tem como objetivo, encontrar antecipadamente a busca da avaria de tal modo que, consiga a intervenção precoce da falha. Existem ainda outras nomenclaturas para este tipo de manutenção, sendo elas: manutenção baseada no estado, manutenção baseada na condição ou manutenção condicional [23].

#### **2.1.3.4 MANUTENÇÃO DETECTIVA**

Manutenção Detectiva trabalha em sistemas de proteção com o objetivo de auxiliar no diagnóstico precoce de mau funcionamento que estão escondidos ou que não são perceptíveis para se operar ou para uma pessoa que irá realizar a manutenção. A introdução da técnica de manutenção preventiva e detectiva são apresentadas como uma alternativa efetiva, não apenas para reduzir os níveis de parada indesejados por imprevistos de manutenção, mas também pela possibilidade de antecipar o pedido de algum tipo de peça para possa ser substituído em uma manutenção agendada [30].

A manutenção detectiva diferentemente das outras três manutenções citadas acima (corretiva, preventiva e preditiva), é aplicada apenas para dispositivos que necessitam e trabalham em condições especiais, condições estas que as outras três manutenções não conseguem identificar a avaria, por isso de se dizer que este tipo de manutenção trabalha em condições especiais. Normalmente a manutenção detectiva é realizada periodicamente para que se possa detectar a falha, um exemplo deste tipo de manutenção são os sistemas de alarme de incêndio [31].

Em outra referência de estudo, complementa ainda que quanto maior a demanda da utilização de instrumentações que utilizam de comando, controle e automação, maior será a necessidade da utilização desta manutenção para assegurar a confiabilidade dos sistemas e plantas dos equipamentos. Neste mesmo estudo, mostra-se ainda que a utilização da manutenção detectiva é vantajosa devido ao fato de que, mesmo que o equipamento esteja em funcionamento, a busca pela falha ou avaria no sistema pode ser encontrada, fazendo então com que a linha de produção não pare [29].

#### **2.1.4 ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO**

Com o surgimento da manutenção preditiva e conseqüentemente a isto, o início da prática da Engenharia de Manutenção, a mesma passou a ser considerada como uma quebra de paradigma, devido às alterações na rotina das atividades contínuas [12].

A Engenharia de Manutenção, também conhecida como manutenção de melhoria, é uma nova técnica moderna baseada na procura de *benchmarks* (técnica conhecida como sendo essencial para se obter uma melhoria contínua), tem como objetivo minimizar as reparações repetidas, conhecendo-se então quais são as causas básicas do problema. A estes problemas básicos, inclui-se: mau desempenho do sistema, exclusão de problemas crônicos, desenvolvimento de técnicas de manutenção, fazer análises críticas, retorno aos projetos, e por fim redigir planos de atividades compatíveis a seus custos [25].

Muitas indústrias nos tempos atuais, praticam a utilização de Engenharia de Manutenção, e em consequência a isto, o acompanhamento preditivo dos seus equipamentos, porém, além da utilização destes acompanhamentos, a Engenharia de Manutenção estará proporcionando que os dados de manutenções e informações sejam analisados através de estudos para implementar uma melhoria no futuro [12].

De acordo com [25] a manutenção é classificada a depender do objetivo da ocorrência das tarefas que serão executadas e a depender também da sua forma de programação.

### **2.1.5 MANUTENÇÃO DE EMAs EM EAS**

Percebe-se nos dias de hoje, século XXI, que o crescente avanço tecnológico e seu ritmo acelerado, tem favorecido que novas tecnologias e produtos que surjam para melhorar a qualidade de vida humana. Alguns exemplos como: procedimentos cada vez menos invasivos, produtos e equipamentos mais sensíveis com menos chance de falhas, aparelhos mais eficazes e seguros, mostram que o avanço tecnológico tem sido benéfico para com a humanidade, e consequentemente, para área da saúde. Porém, para a aquisição destas tecnologias um preço deve ser pago e na maioria das vezes estes valores são altos quando associados às novas tecnologias [32].

Por volta dos anos 80, uma associação norte americana chamada Associação Norte Americana de Hospitais (*North American Association of Hospitals - NAAH*) declarava que a indústria voltada para a área da saúde, seria um dos grandes setores existenciais que iria haver naquele país, declaração que se confirmou logo após o passar de alguns anos [33].

Com o avanço tecnológico os Estabelecimentos Assistenciais de Saúde (EASs), visam cada vez mais a procura por estratégias de gerenciamento, sejam estes estabelecimentos assistenciais públicos ou privados de forma que os mesmos, utilizem de suas próprias ferramentas existenciais para que se possa obter uma maximização dos seus resultados. Porém, para que estes EASs acompanhem as tecnologias existentes no mercado, é necessário desembolsar grandes quantias, preocupando EASs que prestam os serviços ou até mesmo as EASs que se alto gerenciam [33].

Existe pelo mundo, diversos países que praticam ações eficientes para que façam uma boa gestão do uso de suas tecnologias. Ações estas como por exemplo: criação de normas legais para o gerenciamento e regulamentação dos custos, criação de sistemas computacionais que realizam gerenciamentos dos Equipamentos Médico-Assistenciais (EMAs), ou também denominado Equipamentos Médico-Assistenciais e treinamentos de equipes técnicas para amparar qualquer avaria. Estes exemplos de gerenciamentos, proporcionam à população melhoria na qualidade dos serviços oferecidos, e a minimização nos custos com manutenções e na aquisição de tecnologia [34].

Para que os EASs possam obter uma maximização dos seus recursos disponíveis, muitos utilizam-se de planos de gerenciamentos de manutenção, fazendo com que, a vida útil de seus equipamentos e aparelhos em geral torne-se mais duradoura possível, tentando fazer com que não ocorra nenhuma avaria ou falha, que resultará ainda na paralisação dos equipamentos e consequentemente, nas linhas de produção [32].

Pode-se dizer que no geral há dois tipos distintos de manutenções que são comuns de se fazer em EMAs, são as manutenções corretivas (manutenção que ocorre após a avaria ou falha) e preventivas (minimiza ou impede a falha de ocorrer, ou seja, se da manutenção na avaria ou na falha antes mesmo da mesma ocorrer). Sendo assim, após a aquisição de novas tecnologias, os EASs devem fazer o planejamento destes dois tipos de manutenções, para que se possa tirar o máximo proveito possível de seus investimentos e diminuir os custos e as perdas [32].

A Ressonância Magnética é considerada hoje uma ferramenta existencial de grande importância para com a imagiologia médica. Porém o custo da realização deste exame muitas vezes é considerado elevado devido a sua alta complexidade [6].

## 2.2 O EQUIPAMENTO DE RESSONÂNCIA MAGNÉTICA

Assim como qualquer outro equipamento, a Ressonância Magnética surgiu através de uma descoberta básica da ciência, projetada para um determinado fim, porém, se tornaria relevante para outros ramos do conhecer [35].

MRI é a sigla em inglês que significa *Magnetic Resonance Imaging* ou no português Imagem por Ressonância Magnética (IRM). É um tipo de equipamento onde o paciente é posto sob uma maca e está se desliza para o interior do aparelho. No interior do equipamento existem cilindros onde ímãs potentes fazem com que os átomos que estão disposto no corpo humano tendem a se alinhar ao longo da direção de um campo magnético aplicado. O equipamento libera pulsos de radiofrequência (RF), estes pulsos fazem com que os átomos de hidrogênios, presentes no corpo humano absorvam energia e posterior os reemitam. Esta energia será detectada e mapeada por um computador e consequentemente irá produzir a imagem [36].

O equipamento de Ressonância Magnética é um aparelho da imagiologia, cujo método de diagnóstico é não ionizante, ou seja, não altera a matéria da molécula. Além disto, este equipamento está em um processo de evolução gradativo, devido a sua alta capacidade de diferenciar os diferentes tipos de tecidos que existem no corpo humano, tanto a forma anatômica quanto a funcionais [37].

A nomenclatura utilizada para o fenômeno físico que é a base tanto estrutural como física da Imagem por Ressonância Magnética é Ressonância Magnética Nuclear (RMN). Este nome se dá, devido ao fato das características dos núcleos de alguns elementos, que quando posto sob efeito de um campo magnético externo e a dada frequência específica, são sensíveis ao mesmo, ou seja, são ressonantes. O termo RMN é ainda muito utilizado ainda, porém, convencionou-se que o termo “nuclear” não deveria ser utilizado, devido a ideia que se dá ao risco radioativo, sendo que na IMR não se é utilizado radiação ionizante [3].

Por meio da técnica de utilização da RM, pode-se gerar imagens seccionadas em 2 dimensões (2D) em qualquer orientação, gera-se também imagens chamadas de volumétricas 3D, e existe ainda imagens chamadas de 4D, que são imagens de distribuições espaço-espectral ou espaço-temporal [38].

A RM é fundamental para o diagnóstico em imagens e suas aplicações são variadas como por exemplo: identificar misturas, elucidação de substâncias (macromoléculas, polímeros e biopolímeros), estudo da flexibilidade e mobilidade de

moléculas, estudo de reações químicas, estudo de biossínteses e metabolismos sendo utilizados núcleos magnéticos como marcadores, caracterização de estruturas de sólidos, obtenção de imagens detalhada de órgãos internos e tecidos [35].

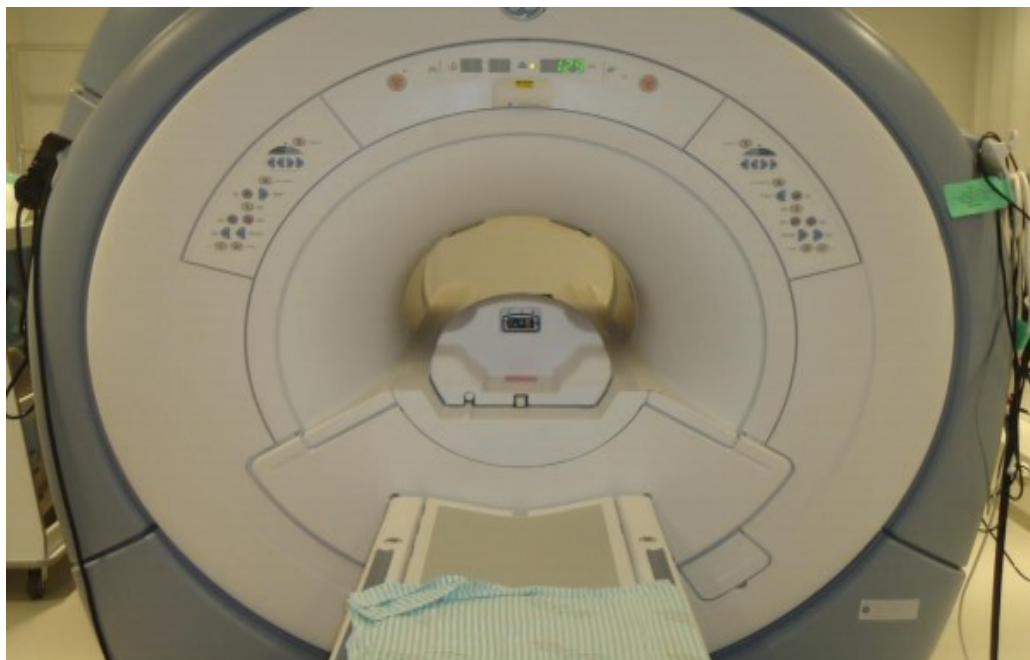
Os equipamentos de RM, são comercializados nas seguintes características de campos: alto campo magnético, médio campo magnético e baixo campo magnético. Existem duas formas físicas para os campos magnéticos dos equipamentos de RM, os chamados campo fechado (formato de túnel), e o campo aberto (formato de C), porém, para os chamados campo aberto somente são comercializados com campos magnéticos médio e baixo, enquanto para o campo fechado se encontra no mercado todos os três tipos de campo magnético [39].

A vantagem do campo aberto é que existem pacientes claustrofóbicos (pacientes que tem medo mórbido de permanecer em ambientes fechados) que podem realizar o exame sem nenhuma adversidade, além, de fornecer uma melhor visibilidade para o paciente. E sua desvantagem é que este tipo de exame limita a qualidade da imagem, além, de um maior tempo de exame [39].

O exame de Ressonância Magnética se comparado a qualquer outro tipo de exame por imagem é considerado o exame mais completo devido a visão que o mesmo fornece do interior do corpo humano. Este exame é considerado o favorito para que os médicos possam diagnosticar distintos tipos de traumas e doenças, isto devido a sua alta capacidade de diferenciação dos tecidos que existem no corpo humano. Este método, é de total relevância para quem irá diagnosticar uma doença, podendo dizer se há alguma patologia ou não. Além disso, o equipamento consegue projetar imagens do sistema circulatório de uma pessoa, permitindo com que se possa realizar estudo do sistema arterial do corpo sem mostrar o tecido que o envolve [40].

Na Figura 1, ilustra-se um equipamento de RM de campo fechado, ou também chamado de campo de formato túnel:

Figura 1: Ressonância Magnética Campo Fechado (formato túnel)



Fonte: Autoria própria.

Há ainda, equipamento de Ressonância Magnética com o campo magnético aberto, ou também chamado de campo formato C. Na realização do exame, independente se o campo é fechado ou aberto, o paciente que for se submeter a este procedimento, deverá ficar em um posicionamento de máxima imobilidade, por um período de tempo que pode variar, a depender de alguns fatores como: tipo de membro que irá ser escaneado, habilidade do profissional que irá proceder o exame, entre outros [39].

Para melhor se compreender como o aparelho de RM funciona, inicialmente tem-se que compreender o significado da palavra “magnética”. O principal componente de um aparelho de RM é o chamado magneto, além, de ser o maior componente do equipamento. A unidade de medida de um magneto é classificada como tesla ou gauss. 1 tesla equivale a 10 mil gauss (1 tesla = 10 mil gauss) [40].

Portanto, nesta secção se foi descrita o que é um equipamento de RM, e qual a sua finalidade para com as pessoas que irão realizar o exame, além de, relatar os dois principais tipos de campo que se existe no mercado para a sua comercialização. Como o intuito do trabalho é fazer um estudo para identificar as possíveis causas que fazem com que os EASs tenham uma queda na quantidade de exames, e o estudo do contrato de manutenção para o equipamento, não se tem a necessidade de um aprofundamento das técnicas de como é realizado este exame.

### 2.2.1 EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA RESSONÂNCIA MAGNÉTICA

Como visto na Seção 2.2, sabe-se que diferentes tecnologias utilizadas nos tempos atuais foram descobertas através da contribuição de estudos passados. Com o equipamento de Ressonância Magnética não foi diferente, a história do desenvolvimento da RM, como muitas outras descobertas constitui-se de maneiras de descobertas básicas das ciências, direcionada para um objetivo a fim, mas que posteriormente tornara-se importante a outros ramos do saber.

Os primórdios da imagiologia se dá há muitas décadas, com o estudo mais aprofundado da física, química e da biologia. Porém, seu verdadeiro início se dá pelos anos de 1895, com o físico alemão Wilhelm Conrad Roentgen, que faz uma grande descoberta incidental, descoberta está que viria a mudar o rumo da história da imagiologia. Roentgen incidentalmente em seu laboratório descobriu a propagação da radiação X, que posteriormente viria a ser chamado de Raios-X. Com o passar de muitas décadas, o Raio-X foi a grande pioneira da imagiologia e nos anos de 1930 este era o principal meio de se visualizar grandes partes do corpo humano [38].

Muitos foram os cientistas e pesquisadores que contribuíram para o que se conhece do equipamento de RM. Existem alguns estudos que foram de importante relevância e devem ser destacados, estudos como: em 1902 o Efeito Zeeman, a descoberta da Frequência de Larmor em 1897, em 1943 Stern-Gerlach (a descoberta do momento magnético), o estudo e entendimento do Spin 1926 (Kronig) e em 1927 (Pauli), entendimento do  $J$  total em 1937 por T. Schmidt (acoplamento spin-órbita), Constante Magnetogírica (1949, Gardner e Purcell), séries e transformadas de Fourier, e alguns pioneiros da RM como: Isidor Isaac Rabi, Immanuel Estermann, Otto Stern, Kellogg, J.R. Zacharias, Bloch (um dos principais pioneiros), Luis Walter Alvarez, Zavoisky, Henry Cutler Torrey, W. W. Hansen, Pound, John Elliot Nafe, Edward B. Nelson, Anatole Abragam, E. L. Hahn. Portanto, se pode perceber que a evolução da RM se deve a vários pesquisadores que contribuíram significativamente [41].

A importância dos estudos de cada pesquisador para contribuição para com os equipamentos de RM é de grande relevância para o que atualmente se sabe a respeito do equipamento, logo para uma melhor compreensão do aparelho de RM, serão



citados os principais pioneiros que contribuíram para com a ressonância Magnética e, conseqüentemente, que se entenda melhor o funcionamento do aparelho.

Os holandeses Pieter Zeeman (1865-1943) e Hendrick Antoon Lorentz (1853-1928) receberam o prêmio Nobel de física em 1902 pelos seus trabalhos sobre o efeito do magnetismo sobre a radiação eletromagnética. Inicialmente Lorentz observou em um trabalho publicado em 1895 com o título *Versuch einer Theorie der elektrischen und optischen Erscheinungen in bewegten Körpern*, onde seu trabalho tratava da teoria das partículas carregadas, que por ele era intitulado de íons. Lorentz afirmava que se um campo magnético fosse colocado sobre tais partículas, as mesmas sofreriam alterações que, conseqüentemente a isto, provocaria modificações no espectro luminoso, segundo ainda o cientista, a linha espectral emitida quando não havia a influência de um campo magnético seria decomposta em outras três linhas, linhas estas que seria interferência deste referido campo. Lorentz afirmou ainda que quando este espectro luminoso era colocado na direção do campo magnético existia a aparição de duas linhas polarizadas circularmente e ainda assim que uma linha tinha sentido inverso à outra [41]

Continuando ainda com seus estudos, Lorentz observou que quando o espectro luminoso era colocado perpendicularmente ao campo magnético existia a aparição de três outras linhas, onde a linha central estava no mesmo sentido (linearmente) do campo magnético (componente  $\pi$ ) e as outras duas linhas (extremas) encontravam-se perpendicularmente ao campo (componente  $\sigma$ ) [41].

Zeeman, porém em 1896 através de seus experimentos publicou seu trabalho na *Verhandlungen der physikalischen Gesellschaft zu Berlin 7 (p.128)*, onde comprovava a teoria do seu amigo e professor Lorentz de 1895, fazendo então que os mesmos posteriormente recebessem o prêmio Nobel pela respectiva descoberta [41].

Aproximadamente um ano após Zeeman ter demonstrado seu teorema, no ano de 1897, o físico inglês Joseph Larmor (1857-1942) através de experimentos descobriu e demonstrou que quando um campo magnético externo é submetido a partículas carregadas que descrevem órbitas circulares, as mesmas eram de superpor a frequência precessional em torno do campo externo, ou seja, a precessão acontece para cada tipo de átomo em uma certa frequência, frequência esta que ficou intitulada de frequência de Larmor [41].

Quando átomos de hidrogênios são submetidos a um campo magnético consideravelmente forte (Ex: 1.5 Tesla), os mesmos irão precessar a uma frequência  $\omega$ , determinado através da equação de Larmor (Equação 2.1):

$$\omega = \gamma * B_0 \quad (2.1)$$

onde,

$\omega$ : frequência de precessão (quantidade de giros por segundos)

$\gamma$ : razão giromagnética;

$B_0$ : valor do campo magnético externo aplicado.

Para o átomo de hidrogênio sabe-se que a razão giromagnética é de 42,58 MHz/T, logo se considerarmos um campo magnético de 1.5T a frequência de precessão do átomo de hidrogênio será de 63,87. Contudo, se a o campo magnético for alterado, a frequência de precessão também irá ser alterada [42].

Outro importante descoberto que posteriormente viria a ser fundamental para agregar ao que hoje se conhece do equipamento de RM foi o experimento de Stern-Gerlach. O físico alemão Otto Stern (1888-1969) foi premiado em 1943 com o Prêmio Nobel de Física por seus trabalhos precursores envolvendo feixe atômico e consequentemente a isto a descoberta do momento magnético do próton [41].

Stern juntamente com seu colega, o físico alemão Walther Gerlach (1899-1979), realizaram os primeiros experimentos envolvendo feixes atômicos, os ajudando então a mensurar o momento magnético de átomos. Em seu trabalho os colegas conseguiram com que um feixe de átomos de prata (Ag) passasse por uma região com um determinado campo magnético não uniforme. Consequentemente pode-se notar então que, quando um campo magnético externo era submetido aos átomos, os mesmos se dirigiam para um lado quando o momento magnético  $\mu$  fosse paralelo ao campo aplicado, ou seja, os átomos que tiverem momento magnético paralelo ao campo magnético externo, estes átomos iriam para um determinado sentido (direção), da mesma maneira, os átomos que tiverem momento magnético antiparalelo a um campo magnético externo, iriam para o sentido oposto dos átomos que tem momento magnético paralelo ao campo magnético externo. Os físicos ainda conseguiram verificar através de experimentos que o momento magnético da prata através do

afastamento entre as marcas deixadas pelos átomos de Ag em uma placa situada em uma da extremidade do equipamento que gerava o campo magnético [41].

Sendo assim, tal experimento ficou conhecido como experiência de Stern-Gerlach, o mesmo foi publicado em 1921 na *Zeitschrift Für Physik* 7;8 (p.249;110) e em 1922 publicado no mesmo periódico (p.349; 353). Anos depois da experiência o mesmo Stern, agora com o físico alemão Immanuel Estermann publicaram um trabalho na mesma *Zeitschrift Für Physik* 85 (p.17), onde mostravam a medição do momento magnético do próton em que utilizaram a mesma técnica de desvio de um feixe molecular por campos magnéticos não uniforme [41].

No experimento realizado por [41], os físicos conseguiram verificar que havia a existência de um campo magnético, devido ao afastamento entre duas placas localizadas em duas extremidades distintas, esta causada pelos átomos de prata (Ag) e, conseqüentemente, o momento magnético da prata (Ag).

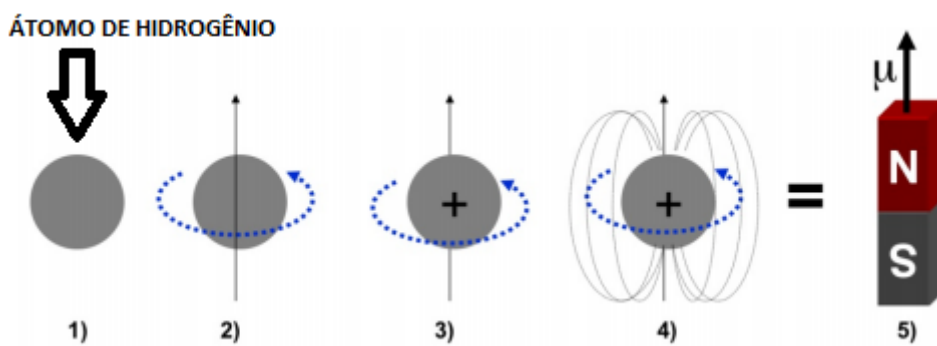
Após a experiência realizada por Stern-Gerlach, que muito contribuiu para com a física quântica e para sucessivamente o surgimento da hipótese do spin elétrico, Wolfgang Ernst Pauli (1900-1958) um físico austríaco que ficou conhecido por seu trabalho na teoria do spin elétrico ou ainda, spin do elétron. Pauli no ano de 1927 publicou um trabalho na *Zeitschrift Für Physik* 43 (p. 601) que altera a equação de Erwin Rudolf Josef Alexander Schrödinger (1887-1961) de forma *ad hoc*, o spin elétrico [41].

W. E. Pauli deu continuidade ao estudo da função da onda de Schrödinger, onde o elétron depende do spin e de coordenadas espaciais. Neste mesmo trabalho Pauli representou o spin do elétron em uma matriz 2x2. Com este trabalho Pauli consegue dar uma resposta coerente à interpretação quântica do spin, mas quando combinado com a relatividade restrita a mesma falhava. Após anos de estudos e várias tentativas de se demonstrar a teoria de Pauli, hoje se visualiza a ideologia do pesquisador onde mostra que, além de ser uma quantia quântica das partículas elementares mostra-se também propriedade associada a um movimento e rotação intrínseco da partícula. O momento angular neste caso pode-se ser mensurado em unidade  $h/2\pi$ . Hoje o que se conhece é que as partículas podem ter spin fracionário ou spin inteiro. Bósons são as primeiras partículas elementares conhecidas e férmions as segundas. Existem ainda partículas que podem apresentar spin nulo, a estas dá-se o nome de mésons ( $\pi$ ). O spin do elétron, próton, nêutron ou ainda o neutrino é de  $\frac{1}{2}$ ; há também os fótons cujo spin é de 1 e os grávitons cujo spin é de 2 [41].

Então, sabe-se que o átomo de hidrogênio é o mais simples átomo da tabela periódica, devido ao fato de que este, possui em seu núcleo o próton. Os prótons são partículas carregadas positivamente, e logo, foi descoberto que a mesma possui uma propriedade chamada *spin* ou nomeada ainda como momento angular. Para o próton de hidrogênio, seu spin pode ser de  $-1/2$  ou  $+1/2$ , onde isto pode significar analogicamente um próton girando para um lado ou para outro [42].

Na Figura 2, pode-se ilustrar a analogia clássica utilizada para se demonstrar o movimento que um próton de hidrogênio realiza.

Figura 2: Próton de hidrogênio como um dipolo magnético



Fonte: Adaptado de [42].

Na Figura 2, pode-se notar que o próton de hidrogênio pode ser enxergado como uma esfera (1), e que este mesmo próton de hidrogênio possui um movimento de giro conhecido como spin ou ainda, como momento angular. Este movimento de giro é em torno do seu próprio eixo (2). Conhece-se que o próton de hidrogênio é uma partícula carregada positivamente (3), e que por ser uma partícula carregada positivamente irá se gerar um campo magnético ao seu redor (4), fazendo então com que esta partícula se comporte como um pequeno ímã (5), onde existirá ainda um momento magnético associado ( $\mu$ ) [42].

T. Schmidt no ano de 1937, utilizando o estudo das camadas fechadas atômicas para comprovar que as forças nucleares podem fazer com que haja um acoplamento entre spin-órbita, utilizando este experimento para entender e explicar os momentos de dipolos magnéticos dos núcleos empregando núcleos ímpares, pois, em núcleos onde o número de neutros é par e ou número de prótons também seja par, não existe momento magnético nuclear. Este estudo ficou conhecido como limites

ou linha de Schmidt, pois o acoplamento impunha limites para o número quântico angular ( $J$  total) [41].

Neste mesmo ano (1937), o professor S. J. Barnett apresentou na revista *The American Physics Teacher* 5 a ilustração dos efeitos magnetogíricos e, o momento de inércia do elétron. Ilustra-se abaixo o modelo utilizado pelo professor S. J. Barnett [41].

Em 1822 o matemático e físico francês Jean-Baptiste Joseph Fourier (1768-1830) fizera uma publicação em seu livro chamado *Théorie Analytique de la Chaleur*, que significa a teoria analítica do calor. Nesta publicação, Fourier fizera pela primeira vez uma equação física sob o estudo da consistência das unidades físicas das grandezas nela envolvida. Também fizera pela primeira vez um estudo matemático de um fenômeno físico, isto através de uma equação diferencial, conhecida como séries e transformadas de Fourier [41].

A transformada de Fourier, voltada para MRS (*Magnetic Resonance Spectroscopy*), foram de grande importância para o equipamento, pois, os sinais adquiridos pela RM conhecidos como FID's (*Free Induction Decay*) são adquiridos no domínio temporal. Para que estes sinais FID's sejam transformados para o domínio da frequência, uma conversão deve ser feita, e é então que a transformada de Fourier discreta é aplicada [43].

No ano de 1939, dando continuidade aos estudos de Stern e Gerlach, o físico estadunidense Isidor Isaac Rabi (1898-1988) fizera um experimento onde foi submetido um feixe de moléculas de hidrogênio em um campo magnético não homogêneo e sucessivamente aplicou novamente o campo magnético a um campo homogêneo, isto ao mesmo tempo que aplicavam radiações de radiofrequência, após aplicar ambos os campos magnéticos distintos, Isaac Rabi e seus colaboradores observaram que quando o valor da frequência era bem definido, o feixe molecular absorvia energia. Acredita-se que este tenha sido a primeira observação do fenômeno de ressonância magnética [44].

Em outro experimento, Isaac Rabi apresentou em 1937 para *Physical Review* 51 (p.652) sua maneira de medir momentos magnéticos nucleares [41].

Em seu experimento Isaac Rabi, introduziu dois fortes campos magnéticos não homogêneos (A, B), onde estes ainda desviavam seus feixes moleculares em sentidos opostos, fazendo com que haja um efeito de focalização. Porém, entre os dois campos magnéticos não homogêneos, existe um conjunto de bobinas que produzem um terceiro forte campo magnético (C) que oscila com a frequência, porém, este

homogêneo. Se a frequência estiver distinta da frequência de precessão dos átomos, os spins não irão se alterar, entretanto, se a frequência introduzida sob o campo magnético for aproximadamente igual ou igual a frequência de precessão dos átomos, observa-se que existe uma diminuição da corrente no detector, logo, fala-se que a frequência introduzida sob o campo magnético está em ressonância com a frequência de precessão dos átomos [44].

No ano de 1949, o estadunidense Edward Mills Purcell (1912-1997), tornou-se professor de física na Universidade de Harvard. Justamente com Felix Bloch (1905-1983), receberam o Prêmio Nobel em 1952 (desenvolvimento de novos métodos de mediação precisa do magnetismo nuclear e descobertas afins) pelos seus estudos sobre campo magnético. Ambos submeteram determinado núcleo sob o efeito de um campo magnético intenso, e observaram que o campo magnético podia absorver energia de radiofrequência e, conseqüentemente, após absorver este sinal, gerar um sinal de radiofrequência, em que este ainda poderia ser captado com a utilização de uma antena captadora. Este fenômeno ficou conhecido como o fenômeno de ressonância magnética [45].

Portanto, nota-se que até a descoberta do equipamento de RM, diferentes estudos foram realizados. Isaac Rabi teria descoberto o primeiro fenômeno de ressonância magnética já registrado, mas como visto o fenômeno da ressonância magnética primeiramente fora descrito por Felix Bloch e Edward Purcell nos anos de 1950.

Outro importante cientista que contribuiu para com a RM, foi o físico americano Erwin L. Hahn (1921-2016). Poucos meses após receber seu título de Doutor, Hahn estava pesquisando mutações transitórias em RM com o uso de pulsos de rádio quando ele observou o que ele chama de “*annoying glitch*” (falha irritante) em seu osciloscópio. Ele se livrou do sinal do sinal que o incomodava, porém, quando ele retornou uma semana depois, ele investigou ainda mais o problema e descobriu o que ele chama de “*spin echoes*,” uma ferramenta fundamental em ressonância magnética química analítica e química. Portanto, ele contribuirá muito para o desenvolvimento de alta resolução em RM [46].

Pode-se perceber então que, em casos clássicos de consequências não intencionais muitos foram os pesquisadores e cientistas que contribuíram para com a descoberta e o funcionamento do equipamento de Ressonância Magnética. A seguir,

irá ser investigado a primeira pessoa que conseguiria fazer uma imagem por RM, Raymond Vahan Damadian.

Raymond V. Damadian é um físico americano, médico profissional e o inventor da primeira imagem de ressonância magnética, nasceu em Nova York em 1936. Recebeu seu título de Doutor em Medicina pela Faculdade de Medicina Albert Einstein em 1960 e fez sua residência de 1961 a 1962 na Downstate Medical Center [47].

De 1962 a 1967 Damadian fizera seu pós-doutorado na Washington University School of Medicine e na Harvard Medical School. Em 1967 entrou para a faculdade de Downstate na seção de biofísica do Departamento de Medicina [47].

No ano de 1977, Damadian criou a primeira imagem por RM, dando o nome ao equipamento de “*Indomitable*,” no português Indomável. Hoje o equipamento está preservado no Instituto Smithsonian em Washington, D.C. A primeira tentativa de varredura do corpo humano inteiro, baseado no relaxamento dos diferentes tecidos entre o corpo humano, foi feito com Damadian dentro do equipamento [47].

Foram gastas quatro horas e quarenta e cinco minutos para que fosse gerada a primeira imagem por ressonância magnética, e comparados com os padrões da atualidade, a qualidade da imagem era considerada ruim. O Dr. Raymond Damadian juntamente com seus colegas Dr. Larry Minkoff e o Dr. Michael Goldsmith, trabalharam durante sete (7) anos para que se chegasse ao primeiro equipamento de RM [40].

A primeira varredura de imagem por RM teve como voluntário o Dr. Minkoff que teve que se ajustar em 106 posições diferentes com 20 a 30 sinais tomados de cada posição para se obter a imagem da secção transversal do peito, e ainda teve revelado imagem do coração, pulmões, vertebbras e musculatura. Após quase longas 5 horas, com os dados alimentados em um computador, conseguiu-se gerar a primeira imagem do vivo corpo humano, chamada de “Mink 5” [46].

Assim, após o entendimento do surgimento do pioneirismo em RM e o estudo dos principais cientistas responsáveis pela contribuição do desenvolver do aparelho, será apresentado o princípio físico de funcionamento de Ressonância Magnética.

## 2.2.2 PRINCÍPIO FÍSICO EM RESSONÂNCIA MAGNÉTICA

Os princípios básicos de RM formam a base para se compreender a complexidade do equipamento. É importante que essas ideias sejam totalmente compreendidas antes de serem aplicadas às áreas mais complicadas. Portanto, irão ser estudados os princípios de funcionamento físico que fazem com que se gere a imagem de RM.

Todas as coisas que se conhecem são formadas por átomos, inclusive o corpo humano. Átomos são extremamente pequenos, e são organizados em moléculas, que são de dois ou mais átomos dispostos juntos. O átomo mais abundante que se tem no corpo humano é o átomo de hidrogênio. São comuns em moléculas de água (onde dois átomos de hidrogênio são arranjados com um de oxigênio) [48].

O átomo consiste de um núcleo central e elétrons orbitando. O núcleo é muito pequeno, um milionésimo de um bilionésimo do volume total do átomo. A massa vem principalmente de partículas chamadas de núcleo, que são subdivididas em prótons e nêutrons. Os átomos são caracterizados de duas maneiras. O número atômico é a soma dos prótons no núcleo. Existe também a número de massa, onde a mesma é a soma dos prótons e os nêutrons no núcleo. Átomos de elemento com mesmo número de prótons, mas com diferente número de nêutrons são chamados de isótopos. Núcleos com número de massa ímpar são muito importantes para a RM [48].

Os elétrons são partículas que giram em torno do núcleo. De fato, os elétrons existem em torno do núcleo na nuvem. A dimensão mais externa da nuvem é a borda do átomo. A posição de um elétron na nuvem não é previsível como depende da energia de um elétron individual em algum momento no tempo (físicos chamam isto de *Heisenberg's Uncertainty Principle*). O número de elétrons, entretanto, é geralmente o mesmo que o número de prótons no núcleo [48].

Os prótons têm carga elétrica positiva, os nêutrons não têm carga elétrica e os elétrons tem cargas negativas. Logo, os átomos são eletricamente estáveis se o número de elétrons de cargas elétricas negativamente é igual ao número de prótons de carga elétricas positivamente. Este balanço é as vezes alterado pela aplicação de uma energia externa para eliminar os elétrons do átomo. Isto faz com que haja um déficit no número de elétrons comparado com os prótons causando uma instabilidade elétrica. Átomos no qual isto acontece são chamados de íons [48].



Assim, ao redor do núcleo existe o movimento dos elétrons. Estes movimentos podem ser dos elétrons girando sobre seu próprio eixo ou ainda, pode ser o núcleo girando também em torno do seu eixo [49].

### 2.2.2.1 SPIN OU MOMENTO ANGULAR

No exame de Ressonância Magnética, os núcleos ativos de RM são caracterizados pela tendência de alinhar seus eixos de rotação quando submetidos a aplicação de um campo magnético externo. Isto acontece porque esses núcleos ativos tem um momento angular ou *spin* e, como eles contém prótons de cargas positiva, eles possuem cargas elétricas. A lei da indutância eletromagnética (Michael Faraday em 1833) refere-se a três forças individuais: movimento, magnetismo e carga e, o estado em que dois desses são presentes, então o terceiro é automaticamente induzido. Núcleos ativos de RM que têm uma carga líquida e estão em movimento (*spinning*), automaticamente adquirem um momento magnético e podem-se alinhar com um campo magnético externo [48].

O núcleo mais simples que se conhece é o núcleo de hidrogênio, pois o mesmo constitui-se apenas de um único próton. Como já visto, os prótons e os nêutrons têm uma propriedade chamada *spin*, ou seja, possuem uma rotação parecida com a rotação da terra sob seu próprio eixo. No próton existe ainda um momento magnético que faz com que o mesmo se comporte como um ímã [50].

Se conhece duas razões pela qual o próton pode ser considerado como um pequeno ímã, sendo elas: no próton existe uma carga elétrica e este ainda gira sob seu próprio eixo no movimento chamado *spin*, quando qualquer objeto move-se em torno de si próprio, resultará em um campo magnético sob si e, quando qualquer movimento de *spin* (movimento) o próprio objeto é caracterizado como um dipolo elétrico. Portanto, pode-se concluir que um próton é um pequeno ímã [50].

Conhece-se que os seres humanos que habitam no planeta terra, estão sujeitos a um pequeno campo magnético terrestre de 0,3 gauss, que equivale a 0,00003 Tesla ( $1\text{T}=10.000\text{G}$ ) e, que ainda a temperatura média do corpo humano é de 36,5 °C. Os momentos magnéticos são distribuídos de forma aleatória, ou seja, não possuem uma orientação espacial, isto faz com que, se somada a magnetização resultante de um volume qualquer será igual a zero [42].

Sabe-se que o corpo humano em sua anatomia tem como principal átomo o hidrogênio, quando uma pessoa é colocada sob o efeito de um campo magnético externo, os prótons de hidrogênio irão se orientar de acordo com este próprio campo magnético externo, como se fosse uma pequena bússola. Os prótons de hidrogênio irão se alinhar paralelamente ao campo magnético ou então, antiparalelamente a depender da orientação do campo. Estas duas orientações, representam o estado de energia que um próton pode atingir, sendo que quando o próton se alinha paralelamente ao campo e é chamado de estado de baixa energia (nível de baixa energia) ou ainda *spin-up* e, quando os prótons se alinham antiparalelamente ao campo magnético aplicado, são chamados de estado de alta energia (nível de maior energia) ou ainda *spin-down* [42].

Existe uma pequena quantidade a mais de prótons alinhados paralelamente ao campo magnético  $B_0$  (nível baixo de energia), isto se dá pois, em equilíbrio térmico sempre há menos núcleos de alta energia em relação ao de baixa energia, assim sendo, os momentos magnéticos dos núcleos alinhados paralelamente ao campo magnético aplicado, cancelam o menor número de momentos magnéticos alinhados antiparalelamente. Como há um grande número alinhado paralelamente, sempre haverá um pequeno excesso na mesma direção do campo magnético aplicado [48].

Portanto, de uma outra forma de compreensão, quando uma pessoa é colocada sob um campo magnético, os átomos de hidrogênio do corpo da pessoa, irão se alinhar paralelo ou antiparalelo ao campo aplicado. Um pequeno excesso alinha paralelamente ao  $B_0$  e constitui-se um vetor magnetização do paciente. A diferença de energia entre as duas populações aumenta à medida que o campo  $B_0$  aumenta. Em um campo magnético forte, poucos são os núcleos que terão forças suficientes para se juntar com a população de alta energia e alinhar seus momentos magnéticos em oposição ao campo magnético  $B_0$  aplicado [48].

### 2.2.2.2 PRECESSÃO

Cada núcleo de hidrogênio está girando sob seu eixo. A influência do campo  $B_0$  produz um *spin* adicional ou oscilação dos momentos magnéticos do hidrogênio ao redor do campo. Este segundo *spin* é chamado de precessão e faz com que os momentos magnéticos sigam um caminho circular ao redor do campo. Este caminho é chamado *precessional path* (caminho de precessão). A unidade para a frequência

precessional é o mega-hertz (MHz), onde 1 Hz equivale a 1 ciclo ou rotação por segundo e, 1 MHz equivale a 1 milhão de ciclos ou rotações por segundos. A frequência precessional pode ser calculada pela equação de Larmor [48].

### 2.2.2.3 FENÔMENO DE RESSONÂNCIA

Para se entender o equipamento de RM, deve-se ter o entendimento da base teórica dos fenômenos físicos aplicados a este equipamento. Existe um outro fenômeno, conhecido como fenômeno da ressonância, que é de importância para a interação dos sistemas e o funcionamento do equipamento.

Basicamente, o fenômeno de ressonância é uma forma de interação entre dois sistemas. Um exemplo de interação entre dois sistemas seria, um sistema elástico em vibração por ocorrência de uma onda sonora, se fala que o sistema elástico está em ressonância com o som. Para que isto aconteça deve-se haver no som, uma frequência e uma determinada amplitude. Em outras palavras, o fenômeno de ressonância ocorre quando um objeto é exposto a uma perturbação de oscilação que tem uma frequência próxima a sua frequência natural de oscilação [51].

Em RM, energia na frequência precessional de hidrogênio em todas as forças de campo, corresponde à banda de radiofrequência (RF) do espectro eletromagnético (Quadro 2). Para a ressonância do átomo do hidrogênio acontecer, um pulso de RF exatamente na frequência de hidrogênio de Larmor deve acontecer. Alguns outros núcleos ativos da RM que se alinham com o  $B_0$  não ressoam, pois, suas frequências de precessão são diferentes das do hidrogênio. Isto é porque as proporções giromagnéticas são diferentes da do hidrogênio [48].

Quadro 2: Espectro Eletromagnético

Frequência em Hertz (Hz)					
$10^1$ - $10^5$	$10^5$ - $10^9$	$10^9$ - $10^{13}$	$10^{13}$ - $10^{15}$	$10^{15}$ - $10^{17}$	$10^{17}$ - $10^{21}$
Linhas de energia	<b>Ondas de R Rádio</b>	Micro-ondas	Luz	Raios ultra-violetas	Raios-X

Fonte: [52].

A aplicação de um pulso de radiofrequência que causa a ressonância à ocorrer é chamada de excitação. Esta absorção de energia é causada por um aumento no número de populações *spin-down* do núcleo de hidrogênio como alguns de *spin-up* ganham energia via ressonância e tornam-se núcleos de alta energia [48].

A diferença de energia entre as duas populações (*spin down* e *spin up*), corresponde à energia requerida para produzir a ressonância via excitação. À medida que a força do campo aumenta, a diferença de energia entre as duas populações também aumenta para que mais energia (altas frequências) sejam necessárias para produzir a ressonância [48].

#### 2.2.2.4 APLICAÇÃO DO PULSO DE RADIOFREQUÊNCIA

No processo da ressonância existe ainda um processo chamado de *flip angle*, onde o que ocorre é que o ângulo do vetor magnetização se desalinha do campo magnético aplicado. A magnitude do *flip angle* (ângulo de inclinação) depende da amplitude e da duração do pulso de RF. Geralmente o *flip angle* é de  $90^\circ$ , isto faz com que, o vetor magnetização tenha energia suficiente para percorrer  $90^\circ$  em relação ao campo magnético  $B_0$ . Porém, mesmo se o ângulo de inclinação for utilizado em  $90^\circ$ , há sempre um componente de magnetização no plano perpendicular ao campo magnético aplicado [48].

Em outras palavras, para que haja em uma bobina posicionada de forma perpendicular ao plano transversal à indução de uma corrente elétrica, deve-se ocorrer que o vetor magnetização esteja no plano transversal e possua coerência de fase. Sendo assim, se forem pegos todos os momentos magnéticos existentes e os mesmos forem deslocados em  $90^\circ$  para o plano transversal e, ainda onde todos estiverem precessando em mesma fase, haverá o máximo de sinal induzido existente na bobina. Para que o vetor magnetização seja reorientado, existe a necessidade da aplicação de um segundo campo magnético, campo este de curta duração de pulso. Existe ainda a necessidade de que este campo seja, perpendicular ao campo magnético externo  $B_0$  e, ainda o mesmo deve estar em fase com a frequência de precessão [51].

Em Ressonância Magnética, um dos pulsos de radiofrequência mais utilizados é o que faz com que o vetor magnetização se desloque para o plano transversal, ângulo este de  $90^\circ$ . Há ainda, pulsos de radiofrequência de  $180^\circ$ , porém, estes são

frequentemente menos utilizados. Estes pulsos de  $180^\circ$  podem ser ainda chamados de pulsos de inversão [51].

Para que a emissão do pulso de radiofrequência ocorra, existe um componente existente no equipamento de RM, chamado de bobina de corpo. Existe também, outra bobina responsável pela detecção do sinal, conhecida como bobina local. Estas distintas bobinas são responsáveis para emissão e detecção dos pulsos de RF que ocorre na RM. Portanto, a aplicação de um pulso de RF irá fazer com que haja alguns efeitos, transferência de energia para o vetor magnetização fazendo com que este se desloque, o aumento da quantidade de spins antiparalelos e, irá fazer com que os spins fiquem em fase [51].

#### 2.2.2.5 RELAXAÇÃO DO VETOR MAGNÉTICO, $T1$ E $T2$

Com a aplicação de um pulso de radiofrequência, sabe-se que o vetor magnético que se encontra paralelo ao vetor campo magnético aplicado  $B_0$  (eixo longitudinal), se deslocará para o plano transversal, tornando-o perpendicular ao vetor  $B_0$ . Entretanto, após a ocorrência do pulso de RF o vetor magnético que está girando no plano transversal, irá retornar a sua posição inicial progressivamente. A este fenômeno se dá o nome de relaxação do vetor magnético ou ainda, aumento do grau de liberdade do vetor magnético [51].

O receptor de RF, registrará uma voltagem indutiva que ocorre devido o movimento de precessão da magnetização transversal em torno do campo magnético, que irá oscilar de acordo com a frequência de Larmor e ainda, cuja amplitude irá diminuindo gradativamente. Este fenômeno é conhecido como *Free Induction Decay* (*FID*) ou Decaimento de Indução Livre (DIL) [53].

A regressão do vetor magnetização ao seu estado inicial é representada por duas diferentes constantes de tempo  $T1$  e  $T2$ . Ambas as constantes de tempo, se diferem apenas pela energia que é transferida [51].

A primeira constante de tempo é conhecida como recuperação  $T1$  e, é causada por o núcleo dando sua energia para o ambiente circundante ou treliça e, este termo é chamada de relaxação *spin lattice*. Energia liberada para a rede circundante causa os momentos magnéticos do núcleo recuperar sua magnetização longitudinal (magnetização no plano longitudinal). A razão da recuperação é um processo exponencial, com uma recuperação de tempo constante chamada tempo de relaxação

$T_1$ . Este tempo leva cerca de 63% da magnetização longitudinal para recuperar no tecido [48].

A segunda constante também conhecida como decaimento  $T_2$  é causada pelo campo magnético da vizinhança do núcleo interagindo entre si. A este termo se conhece como relaxação *spin-spin* e o resultado é o decaimento ou a perda de coerência da magnetização transversal (magnetização no plano transversal). A razão é também um processo exponencial, em que o tempo de relaxação  $T_2$  do tecido é uma constante de decaimento [48].

Outro ponto que se deve ser enfatizado é que o vetor magnetização é uma grandeza vetorial. É criado por dois componentes a  $90^\circ$  um do outro. Estas duas componentes são magnetizações no plano longitudinal e no plano transversal. Antes da ressonância, a magnetização longitudinal está cheia, paralelo ao campo  $B_0$ . Após a aplicação de um pulso de RF e assumindo um ângulo de inclinação de  $90^\circ$ , o vetor magnetização é totalmente invertido no plano transversal. Agora há uma nova magnetização transversal cheia e uma magnetização longitudinal zerada [48].

### 2.2.3 INSTRUMENTAÇÃO

Em instrumentação de RM, excluindo o monitor que realiza a visualização das imagens, utilizado por profissionais da área e, o computador propriamente dito, que realiza a programação e armazenamento dos dados, todos os outros componentes são considerados como componentes de instrumentação da RM, exemplo disto são: os ímãs permanentes responsáveis pelos campos magnéticos, as bobinas de gradiente e as bobinas transmissoras e receptoras de RF [54].

Um equipamento de RM é constituído de um magneto e a mesa de exames onde o paciente irá se deitar. Grande parte dos magnetos que existem no aparelho de RM são do tipo supercondutores, ou seja, são constituídos de fios condutores. O aparelho de RM tem como função, produzir um campo magnético de tal forma que o mesmo seja uniforme, evitando assim com que a imagem que irá ser produzida não se distorça (distorções geométricas) e, que não haja perda na resolução espacial. Há também a necessidade da criação de um campo magnético homogêneo, isto, garantido pelo hélio líquido (criogénios líquidos) que tem como função o resfriamento das bobinas devido ao alto aquecimento das mesma [54].

### 2.2.3.1 MAGNETISMO

Assim como a massa e a carga elétrica de uma substância de uma partícula, magnetismo é uma propriedade fundamental da matéria. Todas as substâncias irão interagir com um campo magnético aplicado, mesmos aqueles considerados não magnéticos. O caminho que os materiais percorrem na presença de um campo magnético externo é determinado por uma propriedade conhecida como *magnetic susceptibility* (susceptibilidade magnética) [48].

A palavra susceptibilidade se refere a como alguma coisa pode ser facilmente influenciada por um fator externo. Elétrons presentes em camadas de energia dos átomos podem ser descritas como spin-up ou spin-down, dependendo da direção em que seus “spins” estão. Geralmente, existem números iguais de cada tipo em uma camada de elétrons totalmente preenchida. As polaridades opostas desses elétrons se anulam sem deixar nenhum momento magnético. Em alguns átomos com camadas parcialmente preenchidas, haverá elétrons desemparelhados, a presença irá criar um efeito de um vetor magnético no átomo [48].

Portanto, o magnetismo de um átomo é ditado por uma configuração dos elétrons orbitando. Os elementos podem ser classificados como pertencendo a uma das quatro principais categorias, dependendo da configuração do elétron. Em ordem crescente de força magnética as categorias são diamagnéticas, paramagnéticos, superparamagnéticos e, ferromagnéticos [48].

### 2.2.3.2 MAGNETOS DE RM

Uma vez que materiais ferromagnéticos sejam expostos a um campo magnético externo eles retêm magnetização e, portanto, se magnetizam. Como este campo permanece em um local onde o campo magnético externo não é longo, isto é conhecido como ímãs permanentes. Ímãs permanentes frequentemente têm dois polos, polo norte e sul. Um campo magnético externo quando exposto por um ímã permanente produz linhas de campo magnético ou linhas de forças se deslocando do polo sul para o polo norte do ímã. O campo magnético que existe no planeta terra, também ilustra este fenômeno, que pode ser demonstrado utilizando um compasso. A

agulha magnética do compasso se alinha com as linhas de força da terra que se direciona para o polo norte magnético [48].

A força de um campo magnético é mensurada por duas diferentes unidades de força: gauss (G), ou tesla (T). Geralmente gauss é utilizado para mensurar campo de força baixo. Por exemplo, a força do campo magnético da terra é aproximadamente 0.6G (a depender da localização relativa). Em ressonância magnética, gauss é a unidade usada para medir o campo magnético de franja que se estende além do diâmetro do magneto principal. Em RMI, as forças de campo magnético são geralmente expressas em tesla [48].

Após visto que os magnetos são relevantes para o estudo do equipamento de RMI, serão descritas as diferentes propriedades magnéticas que podem haver, os diferentes tipos de ímãs que podem ser utilizados no aparelho de RM, entre os magnetos existentes em RM, sendo eles: magnetos permanentes, eletroímãs (solenoides), magnetos resistivos e, magnetos supercondutores.

- MAGNETO PERMANENTE

O Magneto permanente são aqueles cuja característica é apresentar indução magnética mesmo após a retirada da força magnetizante. Estes ímãs ainda possuem a característica de possuírem fluxo magnético, ou seja, medida do campo magnético que atravessa uma área. São conhecidos também, por possuírem uma forma física dura, ou seja, estes materiais apresentam características de laço de histerese e, conseqüentemente, por serem materiais considerados duros têm um largo ciclo de histerese [55].

Os magnetos permanentes podem ser classificados quanto a três grandes famílias, sendo elas: alnicos, cerâmicos e terras-raras. Em RM, o material mais comum geralmente para produzir ímãs permanentes são ligas de alumínio, níquel e, cobalto [55].

A principal vantagem de se utilizar ímãs permanentes são que eles não necessitam de alimentação e nem refrigeração criogênica e, portanto, são relativamente mais baratos. Além disso, o campo magnético criado por ímãs permanentes tem linhas de fluxo de correm verticalmente do polo sul para o polo norte do ímã, mantendo o campo magnético vertical dentro das bordas do sistema (entre o plano mais alto e mais baixo) e, conseqüentemente, dentro da sala de digitalização.



Como um resultado, sistemas com ímãs permanentes quase não têm campo de franja discernível. Isto significa que eles têm menor segurança em consideração sobre os campos marginais (que pode causar projeteis na sala de digitalização) comparado com os altos campos do sistema [48].

- ELETROÍMÃS (SOLENÓIDES)

Eletroímã é considerado como sendo um conjunto de solenoides com um núcleo de material ferromagnético. Os eletroímãs são um dos tipos de ímãs que utilizam de corrente elétrica como fonte de alimentação, isto para que possa se gerar um campo magnético sobre o mesmo. Geralmente este tipo de ímã é constituído por fios elétricos em volta de algum material condutor de eletricidade, como por exemplo: aço, cobalto, ferro, ou até mesmo ferromagnéticos ligados a alguma alimentação. Os eletroímãs atuam de forma com que, os elétrons do polo negativo de alguma alimentação, serão atraídos pelo polo positivo da alimentação, isto fará com que os elétrons percorram o fio condutor gerando assim um campo magnético sob este [56].

- MAGNETO RESISTIVO

A força do campo magnético em um magneto resistivo depende da corrente que passa através de suas bobinas de fio. A direção do campo magnético em um magneto resistivo irá seguir a regra da mão direita e, pode ser na horizontal ou na vertical a depender da configuração do ímã. Por exemplo, se as espirais forem configurados de tal forma que produz no sistema linhas de campo magnético correndo das mãos para os pés do ímã, a direção do campo é horizontal. A direção do campo em um sistema resistivo pode ser tanto na horizontal como na vertical, dependendo da orientação dos ímãs das bobinas [48].

Como em um sistema resistivo consiste principalmente do transporte da corrente pelas aspiras do fio, é mais leve que os grandes polos ferromagnéticos usados em um fixador permanente. Também, apesar do custo ser consideravelmente baixo, o custo de operação dos magnetos resistivos é bastante alto devido as grandes quantidades de energia necessária para manter o campo magnético. Para se manter o campo magnético ligado, a energia para o sistema deve estar ligada [48].

- MAGNETO SUPERCONDUTORES

Também conhecido como supercondutores, este fenômeno tem como principal característica de obter uma resistência elétrica zero e ainda a capacidade de eliminar completamente campos magnéticos de seu interior. Materiais supercondutores têm ainda como característica sua mudança de Fase Supercondutora, que irá acontecer a depender do tipo de material e de temperatura que será aplicado sobre o mesmo, isto se dá pois, a depender da temperatura aplicada sobre o material, o mesmo durante a transição de fase, irá sofrer variações bruscas [57].

Um material supercondutor, quando em sua transição de fase a uma determinada temperatura, podem perder suas características, porém, se este mesmo material for submetido a um determinado campo magnético relativamente alto e, uma corrente elétrica também alta, podem voltar ao seu estado normal [57].

Em RM os magnetos supercondutores geralmente são os mais utilizados, este ainda tem semelhança com um magneto resistivo, onde, sua característica é de um enrolado de fios por onde se passa uma determinada quantidade de corrente elétrica e, conseqüentemente, se gera um campo magnético. A diferença entre estes dois tipos de magnetos é que, o magneto supercondutor é banhado geralmente por hélio líquido a uma temperatura em torno de  $-233,5^{\circ}\text{C}$ . Este líquido é isolado a vácuo. Como redigido, devido a esta elevada temperatura do hélio líquido, a resistência do fio irá a zero, tornando o sistema mais econômico. Devido a estes líquidos que têm elevado preço comercial, este tipo de sistema ainda é muito caro, mas, estes sistemas podem gerar campos magnéticos de 0,5T a 2,0T gerando imagens de qualidade para o sistema [40].

### 2.2.3.3 BOBINAS DE RM

- BOBINAS HOMOGENIZADORAS (*SHIM COILS*)

Este tipo de bobina é muito comum no equipamento de RM, estes são utilizados para compensar as imperfeições do campo magnético, ou seja, imperfeições que podem ser acarretadas devido ao magneto ou por influência de algum objeto externo próximo do campo magnético [58].

Existe um processo que faz a correção destas imperfeições que ocorrem ao magneto, e o nome dado é *shimming*. Existem ainda imperfeições que são acarretadas devido ao meio externo, como redes elétricas próximas ao equipamento, ou ainda, aparelhos eletrônicos. Esta técnica faz também com que, seja corrigido essas imperfeições e fazendo com que a imagem permaneça homogênea [58].

São conhecidos dois tipos de *shimming*, sendo eles o *shimming* ativo e o *shimming* passivo. *Shimming* ativo é constituído de 18 a 30 pequenas *shim coils* no interior do magneto. Por meio da utilização de programações, se ajusta a corrente das *shim coils* para que possa haver assim, o ajuste da melhor forma para que haja a homogeneização e, conseqüentemente, uma resolução melhor da imagem. O *shimming* passivo é constituído de pequenos pedaços de ferro no interior do magneto de tal forma que, os pontos devem ser específicos de maneiras diferentes a depender do tipo de magneto e das atribuições de utilização do fabricante [58].

- BOBINAS DE GRADIENTE (*GRADIENTE COILS*)

Existem no aparelho de RM três diferentes conjuntos de bobinas, onde estas, não são refrigeradas pelo hélio líquido, responsável pelo esfriamento do sistema. As três bobinas farão com que haja uma variação no campo magnético, onde, esta variação deverá ser ainda o mais linear possível na direção X, Y e Z. Estas três diferentes orientações, são necessárias para que haja a codificação da origem espacial do sistema, ou seja, a localização espacial, e assim se obter a imagens bidimensional (2D), ou ainda, tridimensional (3D) [59].

No processo de aquisição das imagens em RM, a depender do acionamento combinado dos gradientes no interior do magneto, permitirão com que se possa criar cortes em diferentes planos, sendo eles: plano convencional, axial, sagital e coronal. Estes diferentes tipos de gradientes serão utilizados em momentos específicos durante o processo de obtenção das imagens, fazendo ainda que seja fácil identifica devido ao fato do ruído que ocorre durante seu funcionamento. O ruído é ocasionado devido a passagem de corrente elétrica que passa através dos fios, onde estes ainda sofrem dilatação e acarreta a propagação de uma onda sonora [59].

Existem características biológicas do corpo humano, que fará com que seja afetado o desempenho dos sistemas de gradiente, visto que, no equipamento de RM ocorre uma rápida variação do campo magnético e, farra ainda com que produza uma

corrente elétrica em superfície condutora como a pele, e isto pode ressaltar em choques elétricos. Correntes como estas, chamadas de correntes indesejadas, ou ainda, correntes parasitas que pode ocorrer ao ser acionado os gradientes do equipamento. Deve-se então, haver após o acionamento do gradiente um sistema de bobinas desenhadas especificamente para isso, daí se surge as chamadas blindagem ativa das bobinas de gradiente [59].

Nas bobinas independentes passa-se uma alta intensidade de corrente elétrica, fazendo com que nesses sistemas seja necessária a utilização de água ou até mesmo o ar para que possa ocorrer a refrigeração do mesmo [59].

Por terminologia, as três bobinas conhecidas por gradientes (X, Y e Z), que nada mais são que três magnetos auxiliares com potência inferior ao do magneto principal. O gradiente X é responsável pelos cortes do eixo sagital, além de alterar o campo magnético. O gradiente Y é responsável pelos cortes do eixo coronal, além de também alterar o campo magnético. Por último existe o gradiente Z, este é responsável pelos cortes no eixo axial e, assim como os outros gradientes, também altera o campo magnético. Há ainda, os cortes chamados de oblíquos, este é a combinação de dois gradientes associados [60].

#### **2.2.3.4 BOBINAS DE RADIOFREQUÊNCIA (RF)**

Na instrumentação de um equipamento de RM, normalmente se utiliza diferentes geometrias de bobinas de RF para que ocorra a transmissão e recepção do sinal de radiofrequência. Um fator com que faz com que isto tenha que ocorrer é, a necessidade de obtenção a máxima Relação Sinal Ruído (RSR) durante cada exame. Logo, diferentes tipos de bobinas de RF para trabalhar como transmissoras e receptoras são relevantes neste estudo [61].

Para produzir imagens, energia tem que ser adicionada ao sistema para o mesmo ocorrer. A energia requerida para se produzir a ressonância dos spins dos átomos é expressa como uma frequência e pode ser calculada pela equação da frequência de Larmor. Os altos campos utilizados em RM, energia dentro da banda de RF do espectro eletromagnético é necessária para excitar os spins [48].

Para o processo de transmissão do sinal de RF, a bobina transmissora tem como função principal a elaboração de um campo magnético com alta homogeneidade, isto, dentro de uma dada Região de Interesse (RI) [61].

A energia é transmitida na frequência ressonante do hidrogênio na forma de explosões intensas curtas da radiação eletromagnética conhecida como pulsos de RF. Esta descoberta por um transmissor de RF que envia ondas de rádio com energia suficiente para criar fases coerentes e alguns giros de spins no estado de baixa energia para o estado de alta energia. Este pulso de RF transfere o vetor magnetização de uma posição ao longo do eixo Z no X transversal, plano Y. Tal que, um pulso, entretanto, é chamado de pulso de RF de 90°. O pulso de RF de 90° é criado por um campo magnético secundário de oscilação, formado como resultado da corrente alternada que flui através de um laço de fio chamado Bobina Transmissora de RF. O envio de RF pode ser chamado também de campo B1 [48].

O transmissor de RF primário em um sistema de RM de furo fechado, é o componente mais próximo do furo do ímã. Este é conhecido como bobina de corpo, esta matriz cilíndrica de bobina de condição é capaz de transmitir e receber sinais de RF. Este transceptor está conectado em um sintetizador de RF, um dispositivo controlado por um computador que constrói digitalmente uma onda senoidal de alta frequência, que é então passada por um conversor digital-analógico. O resultado é uma oscilação de corrente no transceptor, que em torno cria um pulso de RF de 90° no campo magnético principal. Está é uma onda eletromagnética [48].

A transmissão de RF não está apenas confinada a bobina de corpo, em um sistema principal há bobinas de volume que também são capazes de transmitir RF [48].

Em resumo existem:

- Bobinas de Corpo (*Body Coils*): Uma matriz cilíndrica condutora eletricamente posicionada em volta da circunferência interna do furo. A bobina de corpo é o principal transmissor e receptor de RF para a maioria dos exames que são adquiridos sem uma bobina de transmissão/recepção [48].

A bobina de corpo está localizada na carcaça do aparelho de RM, esta está sendo utilizada a cada dia mais como uma única bobina transmissora [62];

- Bobinas de Cabeça (*Head Coils*): Conhecida também como bobina de volume ou transceptoras. Bobina de cabeça que pode ser também bobina

de sela, ou tipo de configuração de gaiola, ou uma bobina de multicanais (bobinas de cabeça de multicanais são geralmente de apenas captação) [48];

- Bobinas de Extremidade (*Extremity Coils*): Bobinas de extremidades geralmente são do tipo sela e são configurados para acomodar o tamanho do joelho adulto. Bobinas de extremidades geralmente são utilizadas para imagens de baixa extremidades (joelho, tornozelos, pés), porém, pode ser usada para imagens de altas extremidades (cotovelos, pulsos) [48].

### 2.2.3.5 COLD HEAD DE RM

O equipamento de RM tem um sistema denominado *Cold Head*, ou também conhecido por sistema de refrigeração. Este sistema tem como principal função extrair calor dos magnetos, isto para reduzir a evaporação do hélio líquido [63].

[64] realiza um trabalho a respeito do monitoramento do *cold head* de uma RM, onde os autores afirmam sobre a importância do mecanismo e os componentes críticos que existem nesse sistema, garantindo ainda que a ineficiência de um *cold head* ou a própria falha deste componente, pode causar danos irreparáveis ao sistema de RM ou à perda de hélio líquido que por sua vez têm alto custo.

O estudo de [65] define *cold head* como sendo um sistema utilizado para remover calor da blindagem, isto com a utilização de um sistema de condensação, onde os magnetos do equipamento necessitam instalar calefatos com o intuito de manter uma pressão positiva, além disso, o autor afirma os novos projetos de *cold head* são eficientes em remoção de calor.

Portanto, de modo com que o sistema atinja baixas temperaturas devido a supercondutividade, deve-se realizar o resfriamento do magneto. Para que isso ocorra, deve-se inserir no interior do magneto materiais criogênicos (hélio líquido) fazendo com que altas correntes elétricas passem pelas bobinas supercondutoras, para a geração do campo magnético do equipamento. Além do mais é importante ressaltar que este procedimento tem altos custos devido aos valores do hélio líquido, além de grande risco a vida das pessoas que operam com este produto [66].

### 2.2.3.6 SISTEMAS DE COMPUTADORES DE RM

Para se fazer a imagem de RM, todos os componentes que já foram discutidos até este ponto, precisam estar direcionados ou programados para funcionarem devidamente. Este encaminhamento é oferecido por um sistema de computador e supervisionado por um programador, e então implementado para ser utilizado. A funcionalidade do sistema é inicialmente configurada ou programada por um programador de computador e o sistema é operado dia após dia por um profissional técnico, radiologista ou um físico. Sistemas computacionais de RM varia a depender do fabricante [48].

Durante a aquisição de imagem por RM, a sequência de RF e pulsos de gradientes são aplicados no paciente dentro do *scanner* do equipamento. Estas sequências de pulsos de RF e gradientes é conhecida com uma sequência de pulsos. A corrente passa pelas bobinas de gradiente e as bobinas de RF são ligadas rapidamente em tempos preciosos durante a sequência de pulso. Isto permite pulsos de gradiente e pulsos de RF. A força, ordem e o tempo de pulsos de gradiente determinam a resolução da imagem de RM. A força, ordem e tempo de pulsos de RF determinam o contraste da imagem por RM ( $T1$ ,  $T2$ ). A unidade de controle de pulso (*pulse control unit*) ou controla a ordem e tempo de RF e/ou pulsos de gradiente, e o programador de pulso atribui ou programa aquelas bases de pulso nos fatores técnicos selecionados pelo usuário [48].

O *pulse control unit* é também responsável pela coordenação dos transmissores e amplificadores de RF. O sinal de RF na frequência de ressonância é transmitido pelo transceptor de RF para o amplificador de RF e, em seguida, através do monitor de RF, que garante que os níveis seguros da RF sejam entregues aos pacientes. A força, ordem e tempo do pulso de RF determina o contraste da imagem que os amplificadores de RF supervisionam a energia das bobinas de transmissão de RF. O *pulse control unit* coordena as funções do amplificador de RF e a bobina, tal que, eles possam ser ligados e desligados no local apropriado e pelo período apropriado [48].

## 2.2.4 RESSONÂNCIA MAGNÉTICA CONTEMPORÂNEA

A imagem por ressonância magnética funcional (RMf) é uma técnica específica do uso da imagem por RM. Embora inovadora, esta técnica ainda é considerada relativamente nova. A RMf tem significativa relevância para com o estudo da neurociência cognitiva, porém, mesmo tendo relativa significância o estudo ainda permanece limitado. Entretanto, não existem dúvidas que para o estudo da epilepsia (lateralização cerebral) a RMf tem uma grande importância [67].

A RMf também vem sendo estudada e considerada como uma ferramenta essencial para a neuroreabilitação pós acidente vascular cerebral e, em biomarcador de doenças neurológicas, principalmente em partículas neurodegenerativas [67].

Como pode ser notado, o aparelho de RM pode ainda ser considerado um equipamento que está engatinhando, isto, se comparado a outras tecnologias. O futuro deste tipo de equipamento ainda pode ser limitado pela imaginação das pessoas que as projetam e até mesmo os profissionais que com este trabalham. A RM tem sido utilizada de maneira abrupta em um período de menos de vinte anos [40].

Outro avanço do equipamento de RM, é relacionando com a prática urológica, principalmente, o método de imagem de próstata. A princípio, a prática da utilização de RM relacionado a próstata era apenas para o estadiamento locorregional de neoplasia. No entanto, com o passar dos anos e, conseqüentemente, o avanço tecnológico do equipamento, o que ocorreu foi a maximização da acurácia do método de detecção da doença, com significativa relevância de valores, que segundo a literatura chegam a 74% de sensibilidade de 88% de especificidade [68].

## 2.3 CONTRATO DE PRESTAÇÃO DE SERVIÇO DE MANUTENÇÃO

Nos primórdios da prestação de serviços, os romanos utilizavam de duas principais técnicas de prestação de serviços, sendo elas a denominada *locatio conductio operarum* que se referia a locação de serviços gerais, onde os trabalhadores através de remunerações, trocavam a prestação do seu serviço durante certo período, porém, com o passar dos anos, esta técnica foi relacionada com o serviço escravo e logo a mesma foi abolida. Existia ainda outra técnica chamada de



*locatio conductio operis* que se referia a locação de obra, na qual hoje é conhecida como locação de serviços de empreiteiras [69].

A prestação de serviços no Brasil tem ganhado importante relevância devido principalmente aos ganhos na economia. Além de alavancar o PIB (Produto Interno Bruto) brasileiro, o mesmo ainda cria grandes oportunidades de empregos para a população. Devido a fatores como estes, investimentos nos setores públicos e privados são gerados cada vez mais para que se possa haver empreendimentos na prestação de serviços, tornando os mais relevantes [70].

No atual cenário socioeconômico, existem diferentes atividades relacionadas a prestação de serviço. De modo simples, o que acontece na prestação de serviço é uma atividade que uma determinada pessoa irá realizar, onde o mesmo deve ser capacitado para a efetuar o serviço. Assim sendo, a realização da prestação de serviço depreende as atividades existentes como sendo de ofício (exemplo: eletricitista, operários de manutenção, marceneiros etc.), a de profissional liberal (exemplo: médico, engenheiro etc.), e a exercida por empresas que exercem de uma determinada especialização (exemplo: serviços computacionais, empregadas domésticas etc.) [69].

Em se tratando de gerenciamento de um Estabelecimento Assistencial de Saúde e, conseqüentemente, de um departamento de Engenharia Clínica, um dos grandes objetivos deste departamento é relacionado com os serviços de contrato. O entendimento a respeito de contratos é de grande relevância para com estes estabelecimentos e essencial para garantir o gerenciamento de serviços contratados [70].

Os principais serviços existentes no mercado são de três tipos distintos, sendo eles: o contrato, o contratante e o contratado. Em um contrato deve haver a concordância de vontade entre as partes envolvidas. O contratante é aquele que cuja parte deverá pagar pelo serviço que será prestado ou o bem que o mesmo irá receber. E por fim, o contratado, este tem como propósito fornecer o serviço ou o bem, e sendo assim receber por isto [70].

São várias as etapas de execução dos serviços de manutenção, sendo desde a estruturação e organização dos planos de manutenção, passando por inspeções, análises e diagnósticos, por buscas de recursos necessário para execução do serviço, até o último passo do processo que é a efetivação do serviço [71].

De acordo com [72], existem cláusulas que são mais desejáveis quando tratado entre hospitais e Prestadores de Contrato de Serviços (PCS), sendo: prazo, reparos, melhorias de engenharia, peças e ferramentas, tempo de resposta, os chamados *uptime*, manutenção e reparo, adicionar ou remover equipamentos, preço e condições de pagamento, responsabilidades do hospital, limitação do serviço, rescisão de contrato, indenização, limitação de responsabilidade, seguro, contrato integral, lei aplicável, cessão e renúncia. Os contratos são de diferentes tipos, sendo ainda diferentes a depender do país em que os mesmos serão aplicados.

Existem diferentes tipos de contratos de serviços, dentre os vários contratos os mais utilizados são: contrato de serviço por período determinado, onde deve ser estabelecido o período em que determinado serviço deve ser finalizado, neste ainda, não se deve existir denúncia parcial de ambas as partes. Contrato de serviço completo, este contrato é considerado o mais completo, visto em relação aos outros, isto se dá devido ao fato que neste tipo de contrato é incluso uma determinada quantidade de manutenções preventivas, onde ainda, estas manutenções são realizadas em intervalos regulares [70].

No contrato de serviço com hora limitada há uma quantidade de chamadas específica (com período inicial e final) de manutenção preventiva isto em intervalos regulares. Contrato de serviço limitado, assim como o serviço com hora limitada, tem uma quantidade de chamadas específica de manutenção preventiva, isto em intervalos regulares. No contrato são inclusos todos os componentes necessários para o reparo (com exceção de componentes de consumo) além de, arcar com os custos de viagem, com um número máximo de viagens estipulado no contrato. No contrato de serviço sob demanda, inicialmente este tipo de contrato é feito de forma formal com um prestador de serviço, neste contrato é incluso manutenção preventiva além, de qualquer tipo de reparo quando solicitado. Os custos são baseados a depender do componente que será trocado, ou substituído e o tempo de execução, este tipo de contrato, além de ter grande vantagem referente a custo e qualidade é pouco realizado no Brasil [70].

Em [73] faz-se um estudo dos vários tipos de contrato externos, porém, se tratando de equipamentos sofisticados como o de RM, os mesmos são direcionados a utilização de contrato de serviços por período determinado. Neste contrato existem diferentes modalidades que podem ser aplicáveis a depender da gestão utilizada pelo EAS, como contrato de serviço completo: onde neste se cobre uma quantidade de MP

que devem ser realizados em períodos de tempo, contrato de serviço com hora limitada: onde nestes há uma quantidade específica de MP com períodos regulares de tempo, e o serviço limitado: onde neste assim como no serviço completo são inclusos uma quantidade específica de MP.

Em [69] é citado que um contrato de prestação de serviço, pode transparecer de ser realizado em um determinado período ou pode ser feito de maneira onde não há um prazo determinado para efetuação, e que todas as exigências devem ser especificadas no contrato.

Os contratos de prestação de serviços funcionam de forma que, deve-se estabelecer níveis de responsabilidade entre ambas as partes (prestador do serviço e o contratante). No contrato então, se deve ter todas as obrigações e direitos de quem irá contratar tal serviço, além disso, deve haver no contrato toda a metodologia que será executada de tal forma que, se houver prejuízo para uma das partes, este consiga receber tudo por tal prejuízo. Portanto, se pode concluir que um contrato de prestação de serviço determina que contratante possa receber pelos benefícios que o mesmo pagou para obter e, que o prestador de serviço cumpra com todas as suas responsabilidades que fora prometido [74].

### **2.3.1 OUTSOURCING**

Desde o final dos anos 90, é notória as evidências de que as organizações sejam elas públicas ou privadas têm optado pelos chamados serviços de *outsourcing* no Brasil. A justificativa para isto é que as empresas visam transferir para outras empresas serviços considerados não essenciais aos negócios, tornando então mais vantajosas as condições de competição com outras empresas de mesmo negócio [71].

Essencialmente, *outsourcing* é definido como sendo a transferência de qualquer operação comercial ou responsabilidade de outra organização. Nos termos da Engenharia Clínica, poderia envolver transferências de responsabilidade por partes selecionadas do serviço de equipamentos, compras, ou programas de manutenção para uma entidade de negócios externo ou organizacional, tudo por um acordado ou para não exceder o preço. Geralmente, a companhia providencia o serviço de *outsourcing*, fazendo todos as decisões de serviços e assumindo as responsabilidades por todos os resultados, mesmos estes sem bons ou ruins [75].

Tendo como objetivo a competitividade e a minimização dos custos, as empresas buscam cada vez mais, focar seus bens em atividades consideradas básicas e que proporcionam valores aos negócios, e dando a terceiros a execução de serviços complementares. A manutenção corretiva, de fato, é um acontecimento indesejado pelas empresas que, atrapalham a produtividade e, conseqüentemente, rendendo prejuízos aos mesmos. Porém, o cenário que se vê hoje é diferente, pois as organizações procuram incorporar estratégias organizacionais para proporcionar menor tempo e menor custo de produção ao evitar a parada para a manutenção corretiva [71].

No momento em que as empresas optam pelo serviço de outsourcing de manutenção dos equipamentos, estas buscam por reflexos de que os custos sobre o faturamento e despesas com materiais sejam significativos no futuro. Esta minimização dos custos a depender do tipo de serviço pode apresentar significativas diferenças entre os custos indiretos com mão de obra própria e a contratada. Porém, dependendo da qualidade do serviço realizado pela empresa contratada, a vida útil dos equipamentos pode a longo prazo, levar à parada do mesmo [71].

Dentre as razões pelas quais as empresas se utilizam hoje de programas de *outsourcing* estão: desejo pela minimização na quantidade de empregados que são direcionados para a folha de pagamento do hospital, poupança de custos, acesso a recursos que não são disponibilizados pelas organizações (equipes treinadas), soluções de termos curtos para problemas de serviços *insourcing* (internos) e, custos indiretos internos reduzidos relacionados ao processamento de faturas [75].

### **2.3.2 INSOURCING**

*Insourcing* é denominada como sendo o oposto de *Outsourcing*. Em [76] são demonstradas as aplicações práticas da gestão da cadeia de suprimentos no local de trabalho nos dias de hoje, contém ainda, uma definição concisa de *insourcing* onde afirma que a organização deve começar a realizar internamente alguma atividade que anteriormente era terceirizada. Há ainda a definição de que *insourcing* onde diz que o trabalho deve ser delegado a alguém de dentro da empresa, em oposição a alguém de fora da empresa (terceirização).

Há em [77] uma definição para a prática de utilização do método de *insourcing* como sendo o arranjo de fornecer serviços internos, utilizando recursos próprios.

De acordo com [76] *insourcing* é a cessação por uma empresa de contratar uma função de negócios e o início de sua execução internamente, ou seja, toda a definição está voltada no trabalho atribuído a alguém que esteja dentro da empresa em vez de alguém de fora da empresa.

Em [78] a definição de *insourcing* é de uma fonte interna de atividades comerciais, ou seja, *insourcing* pode ser visto como uma alocação ou realocação de recursos internamente dentro da mesma organização, mesmo se a alocação estiver em diferentes localizações geográficas.

Existem duas organizações básicas que compõem um acordo de terceirização, sendo: a empresa que procura terceirizar suas atividades internas de negócios será chamada de empresa terceirizada de clientes e, a empresa que presta os serviços de *outsourcing* à empresa cliente será denominada terceirizada fornecedor [78].

De acordo com o conceito dado por [79] *Insourcing* é a retomada da entrega interna de serviços provisionados externamente, ou seja, este tipo de serviço utiliza dos seus próprios funcionários ou outros recursos para realizar uma determinada tarefa. Geralmente confuso, *insourcing* automaticamente não significa a entrega de um serviço local, o *insourcing* pode ser realizado perto ou longe da costa de sua localização.

*Insourcing* é um recente conceito que está definido como uma alternativa para o *outsourcing*. Apoiadores da utilização do *insourcing* acreditam que conduziram melhor os controles de manutenção e criações de empregos em nível local. *Insourcing* também é visto como a solução para os problemas de controle e altos custos com *outsourcing* [80].

Segundo [81] *insourcing* é a prática de negócios em que o trabalho que seria realizado fora da empresa (*out*) é realizado internamente, isto com a contratação de pessoas capacitadas para a realização das tarefas, conseguinte, a criação de um setor interno para a realização destas.

A prática pela utilização de serviços *insourcing* parecem ser mais predominantes com as companhias manufaturadas que contratam mão de obra e serviços para organizações externas na ordem e cortar custos e minimizar suas taxas tributárias. *Insourcing* pode também significar uma construção organizacional para

novos centros de negócios ou instalações que se especializam em um serviço particular ou produto [80].

*Insourcing* também parece ser popular entre essas companhias que estão insatisfeitas ou mesmo sem sucesso com a prática do *outsourcing*. Isto é também empregado quando trabalhadores temporários ocupam cargos dentro das organizações por um curto prazo de tempo [80].

## 2.4 DISPONIBILIDADE

Para um EAS, a paralização de um equipamento de RM, faz com que o EAS minimize seus lucros, além do descontentamento por parte das pessoas que deste necessitam. Tendo como propósito a minimização destes problemas, os EASs buscam por contratos de manutenções que façam com que estes equipamentos fiquem o menor período possível indisponível. Sendo assim, tanto os EASs que buscam por empresas que prestam estes serviços, como os fabricantes (que realiza a manutenção), ambos visam a maximização da disponibilidade do aparelho [6].

Em Engenharia Clínica e em seu âmbito, é natural que ocorra alguma avaria relacionada com os equipamentos médicos, sendo assim, quando feita a distinção entre os sistemas que são considerados reparáveis, ou seja, aqueles que podem ser feito o reparo para que este volte a ser colocado em estado de funcionamento, estes (reparáveis) devem ser divididos em duas diferentes grandezas, Disponibilidade e a Manutenibilidade, além da Confiabilidade que é o resultado da disponibilidade e da manutenibilidade [82].

A manutenibilidade segundo [83], refere-se a característica de um aparelho, equipamento ou instalação de permitir uma maximização na facilidade no momento da execução dos serviços envolvendo manutenções.

Se tratando de um sistema, é de grande relevância que quando se trata de Disponibilidade, deve-se relacionar a Confiabilidade, a depender da operação que deverá ser realizada no serviço e de como se ocorrerá os procedimentos nos aparelhos. Então, pode-se dizer que os elementos destes são afetados diretamente em decorrência das atividades de manutenções [82].

O conceito para Disponibilidade pode ser empregado como sendo a capacidade de um ou mais item estarem em condições de realizar sua devida função de modo com que, este ainda, consiga desempenhar sua função durante um período

pré-determinado. Sendo assim, disponibilidade está relacionada com os aspectos de Confiabilidade, Manutenibilidade e assistência de manutenção, considerando que os recursos externos (componentes, mão de obra etc.) que forem necessários estejam assegurados [7].

Outra definição para Disponibilidade, é a probabilidade de que o processo esteja operando e disponível, quando o mesmo for requisitado de forma aleatória em um dado ponto do tempo. A Disponibilidade está em função juntamente com a Confiabilidade e a Manutenibilidade, portanto, pode-se apresentar três circunstâncias diferentes para representar a Disponibilidade, sendo elas: Disponibilidade Inerente, Disponibilidade Obtida e por último a Disponibilidade Operacional [84].

Disponibilidade inerente segundo [83], leva em conta apenas o tempo em que um equipamento é reparado, ou seja, implica no tempo de reparo do aparelho, não levando em conta alguns fatores como: tempo de espera dos técnicos, tempo com logística, deslocamentos seja ele qual for, entre outros. Este tipo de disponibilidade leva em consideração apenas manutenções corretivas.

Segundo [85] Disponibilidade Obtida é a probabilidade de um equipamento ou sistema funcionar satisfatoriamente em um determinado lapso de tempo, isto quando, o mesmo é utilizado sob condições definidas em um ambiente de suporte ideal (isto é, trabalhadores envolvidos, ferramentas etc. estão instantaneamente disponíveis).

Já Disponibilidade Operacional, é denominado como sendo a probabilidade de um equipamento ou sistema estar disponível, apto, isto quando o mesmo de uma maneira aleatória for acionado funcionalmente em um lapso de tempo [86].

Em se tratando de Disponibilidade, há de fato algumas expressões que podem ser associadas a esta, exemplos destas expressões são: manutenibilidade e confiabilidade, desempenho regular, cumprimento das funções para qual o mesmo foi projetado etc. Expressões como estas estão presentes no cotidiano das definições de manutenção [87].

#### **2.4.1 DISPONIBILIDADE DE EQUIPAMENTOS MÉDICO-ASSISTENCIAIS**

Engenharia Clínica segundo [88] têm como objetivo principal implementar atividades através de conhecimentos baseados em engenharia e gestão aplicadas às

tecnologias referentes a saúde e, conseqüentemente, aos equipamentos médico-assistenciais.

Engenharia de Manutenção é uma ramo da engenharia clínica e, é conceituado como a capacidade de manter a disponibilidade dos seus equipamentos médico-assistenciais de tal forma que, possa ser sempre empregada a utilização de uma técnica eficaz e com o menor custo possível. Para que isso ocorra, o Engenheiro de Manutenção juntamente com o gestor, determina estratégias de manutenções para que possam ocorrer menos avarias aos mesmos e ainda, evitar que ocorram acidentes dentro dos EASs [7].

Para um EAS, é de fato interessante e oportuno que possa ser estudado o porque no âmbito da existência de uma minimização da disponibilidade dos seus equipamentos, e com isto, averiguar quais são os reais motivos desta minimização para que, sucessivamente possa-se tentar neutralizar e corrigir as principais causas que levam a acarretar este fator. Entre as principais ocorrências que se leva à minimização dos equipamentos médico-assistenciais, estão: erros de operação, falhas internas de infraestruturas, manutenções imperfeitas, projetos internos com inexatidões [7].

Portanto, neste contexto, para que possa haver o êxito de um EAS, relacionado com a produção e, conseqüentemente, com regulação de uma linha de produção é fundamental que haja a disponibilidade dos equipamentos. Com o intuito do bom desempenho dos mesmo é imprescindível que haja a averiguação das ocorrências de falhas que faz com que, haja a indisponibilidade destes, gerando descontentamento para os EASs [54].

Tratando-se de equipamentos médico-assistenciais que são utilizados na área da saúde, a realização de manutenções é de fato imprescindível para o bom desempenho e qualidade de atendimento à população, além de, afetar a capacidade de realização dos trabalhos dos profissionais da área. Ademais, o papel da manutenção dos equipamentos médico-assistenciais é fundamental para a disponibilidade e custos dos mesmos [89].



### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 IMPORTÂNCIA DOS EQUIPAMENTOS MÉDICO-ASSISTENCIAIS

O estudo realizado por [90] trata a importância dos equipamentos médico-assistenciais como uma ferramenta de nível de excelência para as gestões hospitalares. Além disso, acrescenta que a introdução de novas tecnologias para os EASs, trouxe grandes avanços nos serviços relacionados a saúde. Ainda em seu trabalho, os autores acreditam que a maior complexidade se tratando de serviços médicos impulsionados por inovações tecnológicas são as adoções de administrações eficazes.

Um exemplo do crescimento de novas tecnologias é visualizado no trabalho de [91] onde os autores levantaram dados referentes a sistemas informatizados relacionados a Tecnologia da Informação (TI) no auxílio da área da saúde. No trabalho pode-se perceber que um sistema de tecnologia da informação bem ordenado é capaz de trazer grandes benefícios para a gestão hospitalar.

De acordo com [34] a falta de sistemas de gestões eficazes, afetam diretamente o desenvolvimento de administrações na área da saúde e, conseqüentemente, os equipamentos médico-assistenciais, fazendo ainda com que o acesso a população a estes equipamentos seja afetado.

Para [90] uma gestão ordenada dos equipamentos médico-assistenciais pode levar a processos mais eficientes, mesmo que seja pela adoção de equipamentos médicos antigos ou por meio de novas tecnologias. Além disso, a tecnologia dirige-se o propósito de aumentar a segurança dos equipamentos dos EASs e propor tratamentos eficientes aos pacientes.

Segundo [92], a gestão de equipamentos médico-assistenciais é a junção entre saberes relacionados a engenharia e as práticas voltadas as tecnologias de saúde, isto com o intuito final da maximização dos resultados dos EASs. Entre as principais características de gestões de equipamentos médicos encontram-se, processos relacionados a aquisições destes equipamentos, inspeções e monitoramentos acerca das manutenções preventivas, além da calibração eficaz dos equipamentos.

Logo, percebe-se que a prática de utilização de gestão de equipamentos médico-assistenciais vem sendo adotada por diversos EASs em diferentes lugares do

mundo. Entre estas práticas, há também a incrementação de normas vigentes legais, elaboração de equipes técnicas capacitadas, entre outras [93].

### **3.2 MANUTENÇÃO DE RM E FATORES QUE AFETAM SUA DISPONIBILIDADE**

A Disponibilidade de um equipamento muitas vezes é relacionada à manutenções que é prestada a este. Antes vista como um mal necessário a manutenção é uma ferramenta utilizada com o objetivo de garantir a disponibilidade de um equipamento [94].

Em [95] foi realizado um estudo a respeito dos impactos gerados na indisponibilidade de um equipamento de RM devido a fatores como infraestrutura e técnicos (manutenções etc.). Os autores ao término do trabalho puderam identificar que por meio de gerenciamentos planejados, o EAS reduziu a indisponibilidade do equipamento, além de terem notado que a indisponibilidade estava sendo diretamente afetada por causas humanas (operacionais) e falhas de infraestrutura, acarretando ainda prejuízos ao EAS, logo, os autores afirmam que com uma gestão continuada minimiza-se a indisponibilidade do equipamento de RM por erros operacionais.

Visando então à disponibilidade de equipamentos médico-assistenciais e, conseqüentemente, de uma RM, [96] elaborou um trabalho a respeito de falhas, manuseio inadequado, além de avarias recorrentes da própria tecnologia, com o objetivo de prever o processo dinâmico da disponibilidade de equipamentos médico-assistenciais, isto utilizando de uma ferramenta estatística (probabilístico). Em seus resultados, pode-se observar que os dados probabilísticos utilizados permitiram identificar incertezas na previsão da indisponibilidade dos equipamentos, ou seja, identificaram através dos algoritmos fatores que poderiam afetar a disponibilidade dos equipamentos.

Utilizando também de uma outra ferramenta estatística [97] produz um estudo para analisar o ciclo de vida de equipamentos, entretanto, os autores analisam equipamentos médico-assistenciais, além do mais, o trabalho teve um objetivo fundamentado em analisar a confiabilidade destes equipamentos. A ferramenta estatística ao fim do estudo demonstrou ser objetiva para com os resultados positivos, contribuindo para a maximização da confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos, incluindo o equipamento de RM.

Um estudo sobre a percepção da gestão de materiais médico-assistenciais no processo de trabalho foi feito por [98]. Ao decorrer do trabalho, os autores puderam identificar que uma das principais causas de uma gestão insatisfatória é a ausência de manutenções de equipamentos médico-assistenciais rápidas e eficaz.

O estudo de [99] destaca que além de fatores como segurança, manutenções em equipamentos têm papel fundamental na minimização de custos, isto, devido ao aumento na disponibilidade dos equipamentos e aumento da vida útil dos mesmos, garantindo a redução de custos relacionados a investimentos com novas tecnologias.

Portanto, acredita-se que fatores como boas gestões e disponibilidades de equipamentos médicos estão diretamente ligadas. [89] define que a manutenção preventiva de um equipamento médico-assistencial procura objetivar principalmente a disponibilidade dos equipamentos, e reforça ainda que para atingir tal feito é indispensável promover programas de gerenciamentos de manutenções.

Em outro estudo realizado, [100] reforça a importância da utilização de manutenções na vida útil de um equipamento médico, entretanto, para realização do trabalho os autores utilizaram a manutenção preditiva e ao fim do trabalho, puderam identificar que por meio deste método de gestão, é possível diagnosticar a avaria de um equipamento ainda no início, acarretando ao aumento da vida útil do equipamento.

Além do mais, [101] reforça em seu trabalho a importância da decisão de priorização dos equipamentos médicos e estabelecer diretrizes para tomada de decisão de gestões apropriadas de manutenção. Os autores observaram que equipamentos complexos como uma RM, devem ser investigados detalhadamente, tais equipamentos foram classificados com pontuações altas, enquanto equipamentos menos complexos, com pontuações menores, isto para se encontrar as principais razões de criticidade para tomada de decisão apropriada. Ainda no estudo notou-se que ações como manutenção preventiva é uma estratégia de manutenção apropriada.

A estratégia de manutenção desempenha um papel fundamental no aumento da disponibilidade de equipamentos médicos e, conseqüentemente, de um aparelho de RM. Um trabalho a respeito destas estratégias foi realizado por [102] e os autores puderam notar através de uma metodologia de tomada de decisão de vários critérios que, para calcular a criticidade de cada dispositivo médico e classificar estas estratégias, eles teriam que selecionar qual estratégia de manutenção seria mais apropriada para cada caso, além de levar em base alguns critérios adicionais,

entretanto, os autores puderam observar que esta estratégia pode ser aplicada à outros EASs.

Em [103] os autores desenvolveram um *software* de cadastros e manutenções, sendo o *software* uma ferramenta de auxílio para as manutenções. O resultado do trabalho demonstra que um *software* de gerenciamento de manutenção de equipamentos é uma alternativa viável para solucionar problemas com paradas longas, entretanto, nota-se no trabalho que a criação de um *software* de gerenciamento não é a solução para todos os problemas, percebe-se que há problemas envolvendo treinamentos de funcionários devido o avanço rápido da tecnologia.

Além disso, outra metodologia fortemente empregada é a de planos de avaliação de equipamentos médico-assistencial. Um trabalho com o objetivo de quantificar o desempenho dos equipamentos de acordo com a regulamentação de cada um, com o intuito ainda de oferecer informações concretas e objetivas a partir de parâmetros de funcionamento dos equipamentos foi feito por [104]. Ao fim do estudo os autores puderam notar que um protocolo de gerenciamento destes equipamentos seria praticável sendo que os equipamentos mudam de marca e modelo e com isto existe há restrições em atender a todas as exigências requeridas pelos fabricantes.

Um estudo da estratégia de manutenção, aplicada ao equipamento de RM foi realizado em [105]. Neste estudo o planejamento da execução das diferentes manutenções eram realizados em prazos muitos elevados (semanas ou até mesmo meses, a depender da manutenção), a depender da procura pela utilização do equipamento, levando o mesmo à avaria. Para que a manutenção no equipamento fosse realizada, o planejamento era feito de modo que o equipamento ficasse o menor período possível indisponível, como por exemplo o planejamento da troca de um componente que faz com que o equipamento pare. Condições como estas devem ser levadas em consideração pelos EASs para a realização da manutenção no equipamento de RM.

Ainda neste mesmo trabalho, foi realizado um estudo pela análise HAZOP (análise de risco onde se visa identificar os reais e principais perigos e problemas de operabilidade na instalação), para que se pudesse identificar as prováveis falhas ou condições que ocorreram as falhas no equipamento. Após a realização desta análise, na seção conclusão do trabalho, notou-se que o equipamento estava com um

desempenho melhor do que se esperava, pois se acreditava que o aparelho não estava realizando devidamente sua função, e ainda que, a manutenção preventiva era o principal responsável pelo bom desempenho da máquina [105].

Portanto, percebe-se que a adoção de planos de gerenciamentos de manutenções é de fato uma boa alternativa para os EASs e com suas respectivas tecnologias, fazendo ainda com que estes EASs a depender da metodologia empregada, maximizem seus recursos existências de modo a fazer com que o EAS aumente a confiabilidade e a disponibilidade dos seus equipamentos.

### **3.3 CUSTOS COM RM**

Com o intuito pela redução dos custeios com equipamentos de RM, os EASs procuram cada vez mais por alternativas viáveis. Fatores como manutenções de equipamentos médico-assistenciais e, conseqüentemente, aparelhos de RM, mostram-se sendo grandes encadeadores nos custos dos EASs. Prova deste fato é o estudo realizado por [8] com o objetivo de realizar uma análise dos fatores que influenciam a prestação do serviço de RM. Os autores realizaram um estudo comparativo entre dois EASs, e em seus resultados observaram que na aquisição de novas tecnologias de RM, fatores como manutenção impactam os EAS com elevados custos, além do mais, constatou-se ainda que, a operacionalidade do equipamento é outro fator que afeta diretamente os custos com o equipamento, ou seja, quando os equipamentos estavam operando, realizando exames em sua capacidade máxima, os valores cobriam os gastos do equipamento.

O trabalho de [106] cujo objetivo foi elaborar critérios na tomada de decisão quanto a incorporação de um equipamento de RM, observou que a depender da quantidade de exames realizados em um EAS, fatores como custos podem ser equilibrados na operação do serviço, trazendo bons investimentos a longo prazo, ou seja, com uma alta quantidade de exames realizados, os custos com operação do equipamento de RM, podem ser sanados.

Em seu estudo, [107] afirma que o gerenciamento dos custos nos EASs precisa de sua máxima eficiência, isto diante dos desafios financeiros encontrados na economia brasileira principalmente na área da saúde. Outro estudo realizado por [108] redige que muitas das vezes a gestão hospitalar prefere aderir pela utilização de contratos de manutenções, principalmente EASs que utilizam de equipamentos

complexos, isto com o intuito de obter uma disponibilidade maior dos equipamentos e redução com os gastos indevidos.

Em seu trabalho [109] também afirma que devido a máxima complexidade de alguns equipamentos médico-assistenciais, alguns EASs sentem a necessidade de contratar, isto através de contratos de manutenção, representantes capacitados para a realização de tal feito, isto devido a fatores que podem levar a alto custos.

### **3.4 OUTSOURCING E INSOURCING DE RM**

De modo a não afetar a disponibilidade de um equipamento de RM devido a fatores como manutenções, problemas indesejados com o aparelho ou até mesmo falhas humanas por falta de treinamento por exemplo, acredita-se que a prática de utilização de *outsourcing* ou *insourcing* podem ser alternativas para aparar estes problemas descritos.

No início dos anos 90, o conceito de *outsourcing* estava recebendo atenção no mundo corporativo, uma vez que esta estratégia é eficaz para alcançar metas e os objetivos da organização pode se concentrar nas principais atividades [110]. De fato, na literatura é apontada a influência da terceirização no custo de manutenção. Portanto, o fornecimento de serviços de manutenção em EASs (*outsourcing* e *insourcing*) e a estrutura de contratos de manutenção são de particular importância [111].

A prática de utilização de *Outsourcing* do serviço é utilizada por diversos EASs. As principais vantagens, *outsourcing* incluem ganhos em eficiência e custo benefício, acesso a conhecimentos e recursos externos de última geração e redução da carga de trabalho para equipes internas [111]. Um estudo investigativo feito por [112] demonstra a eficácia da gestão de um EAS público que realizam exames de diagnóstico por imagem (RM). Os autores puderam notar através de indicadores, que a prática de gerenciamento de *outsourcing* demonstrou-se sendo benéficos para com o custo-benefício do EAS, visando ainda atendimento melhorado e qualidade nos diagnósticos à população.

Um estudo realizado por [72] fornece procedimento para definir estratégias de manutenção de equipamentos médico-assistenciais, no entanto, os autores utilizaram de cálculos de criticidade baseados em 5 critérios definidos por eles, sendo grau de complexidade da manutenção que será realizada, função, o risco, nível da importância

da missão e por último a idade do equipamento, além do mais, os autores utilizaram seis subcritérios sendo taxa de uso do equipamento, disponibilidade de dispositivos alternativos, frequência de ocorrências de falhas, defectibilidade, impacto na produção e impacto na segurança. Ao fim do estudo os autores puderam identificar a prática *outsourcing* ou *insourcing* de manutenção para equipamentos médico-assistenciais pode ser definida por meio de níveis (critérios e subcritérios), além de contratos apropriados para cada equipamento médico-assistencial também com base em níveis de critério e subcritério.

O custo benefício de *outsourcing* de serviço interno em um EAS foi estudado em [113]. Os autores puderam constatar que a utilização da prática de *outsourcing* é de fato eficiente desde que o EAS tenha habilidades na sua gestão, sendo apoiadas por dados de referência (banco de dados) e monitoramento de qualidade adequados para agilizar as operações, alcançar valores monetários e melhorar a prestação de serviços.

Acredita-se que uma alternativa viável é a prática de *Insourcing*. O trabalho realizado por [114] cujo objetivo foi pesquisar a prática de *insourcing* na manutenção de três hospitais universitários. O resultado da pesquisa aponta que duas das três universidades optaram pela utilização de *insourcing* em todos os seus serviços de manutenção, classificando ainda suas práticas como sendo muito boa e boa, respectivamente.

O trabalho de [115] objetivou realizar um eficiente procedimento para tomar as decisões apropriadas para manutenção de equipamentos, como gerenciamento para estratégia de manutenção, utilizou-se a prática de *insourcing* e *outsourcing*, além de contratos de manutenção. Ao percorrer do estudo, os autores perceberam que se eles concentrassem no desenvolvimento de modelos matemáticos, isto minimizaria os custos futuros e então poderiam concentrar a redução dos custos em contratos de manutenção com o intuito de aumentar a disponibilidade do equipamento.

Logo, acredita-se fortemente que a depender da prática de gestão utilizada pelo EAS, *insourcing* pode ser considerada uma boa opção na otimização dos custos do EAS, prova disto é o trabalho realizado por [116] onde os autores procuraram analisar os custos e benefícios de *outsourcing* e *insourcing* na prestação de serviço de uma EAS. Após realizada a análise de custo-benefício, os autores puderam identificar que a utilização da prática de *outsourcing* era mais cara financeiramente ao EAS, quando comparada a prática de *insourcing*.





## **4 MATERIAIS E MÉTODOS**

Este capítulo apresenta a caracterização da pesquisa, os materiais e métodos utilizados para a análise das principais categorias de interrupções no serviço obtidos dos históricos de ocorrências dos equipamentos analisados, juntamente a seus respectivos dados de exames realizados. Além disso, será transcrita a metodologia proposta para a realização da análise dos custos com o equipamento de ressonância magnética de um dos EASs pesquisados.

### **4.1 MÉTODOS UTILIZADOS**

O presente trabalho está dividido em duas distintas partes. Com o intuito de analisar quais as principais categorias de interrupções no serviço de RM, a primeira parte desta pesquisa será realizada de forma qualitativa, ou seja, buscara-se por um referencial teórico para a construção do objeto de pesquisa e para a análise do material coletado no trabalho de campo, neste caso recorreu-se aos dados relacionados aos históricos de ocorrências dos equipamentos dos EASs pesquisados, isto para que posteriormente possa haver uma análise minuciosa.

A segunda parte, centrada na análise dos custos com um equipamento de RM do EAS I (Figura 3), será realizada de forma quantitativa, isto é, buscou-se por todos os dados referentes aos custos com o equipamento de RM.

Figura 3: Ressonância Magnética analisada do EAS I



Fonte: Autoria própria

Para alcançar-se o objetivo proposto nesta pesquisa, o método adotado foi a realização de coletas de dados em campo, ou seja, a obtenção dos dados pertinentes inicialmente aos históricos de ocorrência dos equipamentos e os dados referentes aos custos com um equipamento de RM de um EAS.

Além disto, foram definidas tarefas pré-determinadas pelo pesquisador, ou seja, no caso desta pesquisa utilizou-se de cronogramas para a viabilização da coleta dos dados, representada no Quadro 3. Pode-se observar que para o EAS I a coleta foi realizada em quadro diferentes setores, denominados aqui de Setor I, Setor II, Setor III e Setor IV. É importante ser descrito que diferentemente do EAS I, os outros EASs não estão separados por Setores, ou seja, apenas para o EAS I houve a necessidade da denominação dos setores, pois os dados a respeito do Equipamento I foram coletados em diferentes locais (setores).

Quadro 3: Cronograma de coletas de dados

PERÍODO / ATIVIDADE	1º SEMESTRE 2018	2º SEMESTRE 2018	1º SEMESTRE 2019
EAS I, Coletas de dados (Setor I)			X
EAS I, Coletas de dados (Setor II)	X		X
EAS I, Coletas de dados (Setor III)		X	
EAS I, Coletas de dados (Setor IV)			X
EAS II, Coletas de dados	X	X	
EAS III, Coletas de dados		X	X
EAS IV, Coletas de dados		X	X
EAS V, Coletas de dados		X	X

Fonte: Autoria própria.

É importante evidenciar que após as coletas dos dados, houve a necessidade da classificação das principais categorias de interrupções no serviço, pois, foi constatado através da observação dos históricos de ocorrências que existem componentes no equipamento de RM que ao serem danificados necessitam da troca de todo o sistema, por exemplo a queima de um circuito impresso de uma placa de uma bobina de gradiente do equipamento, levando à necessidade da troca de toda a placa, e não apenas do componente queimado.

Sendo assim, houve a necessidade de classificar problemas deste tipo com a denominação “troca de componente” para a categoria de interrupções no serviço, isto para uma análise mais esclarecedoras dos dados.

## 4.2 COLETA DOS DADOS

Como visto, a pesquisa está dividida em duas partes centrais. Para primeira parte da pesquisa referente aos históricos de ocorrências do equipamento, foi relevante para a pesquisa à investigação de todos os dados dos equipamentos de ressonância magnética no período analisado.

Inicialmente o propósito do trabalho era realizar a pesquisa relacionada a sete diferentes equipamentos de RM, entretanto, após contactados os EASs que contribuiriam para com a pesquisa, dois EASs, por motivo de privacidade interna decidiram não participar da pesquisa.

Portanto, os dados coletados são referentes a cinco equipamentos de RM de quatro diferentes EASs públicos e privados. A Tabela 1 traz os equipamentos de RM analisados com seus respectivos EASs. Observa-se que, em um mesmo EAS (EAS IV), existem duas diferentes máquinas. Por motivos de sigilo de privacidade, os respectivos equipamentos de RM serão denominados de Equipamentos I, Equipamento II e assim sucessivamente até o Equipamento V. A mesma aplicabilidade se dá aos EASs analisados, os mesmos serão denominados EAS I, II, III e IV.

Tabela 1: Equipamentos de RM analisados com seus respectivos EASs

EAS ANALISADO	EQUIPAMENTO DE RM N°	MARCA DO EQUIPAMENTO
EAS I	EQUIPAMENTO I	A
EAS II	EQUIPAMENTO II	B
EAS III	EQUIPAMENTO III	C
EAS IV	EQUIPAMENTO IV	C
EAS IV	EQUIPAMENTO V	C

Fonte: Autoria própria.

As marcas dos equipamentos serão denominadas A, B e C, de modo a não expor as mesmas. É importante frisar que serão analisadas as interrupções no serviço do equipamento de RM por meio dos históricos de ocorrências dos EASs.

Os dados referentes à operação e manutenção dos equipamentos normalmente se encontram com os responsáveis pelos EASs ou os responsáveis pelo setor onde se encontram os equipamentos pesquisados. Após contactado seus representantes, buscou-se obter os dados referentes aos históricos de ocorrências dos equipamentos, bem como os dados dos exames realizados, além da previsão de demanda que cada EAS espera realizar ao longo de um mês.

Para uma análise minuciosa e ordenada, o período proposto pelo pesquisador dos históricos de ocorrências dos equipamentos, foram entre 2016 e 2018. O período dos dados de manutenção dos equipamentos de RM dos EASs analisados são transcritos na Tabela 2, para melhor visualização.

Tabela 2: Período dos históricos de ocorrências dos equipamentos de RM

EQUIPAMENTO ANALISADO	PERÍODO ANALISADO
EQUIPAMENTO I	JANEIRO DE 2016 A AGOSTO DE 2018
EQUIPAMENTO II	JANEIRO DE 2016 A AGOSTO DE 2018

Continua

EQUIPAMENTO III	JANEIRO DE 2017 A NOVEMBRO DE 2018
EQUIPAMENTO IV	JANEIRO DE 2016 A AGOSTO DE 2018
EQUIPAMENTO V	JANEIRO DE 2016 A AGOSTO DE 2018

---

Fonte: Autoria própria.

O período para as coletas dos dados dos históricos de ocorrências, foi diferente para cada EAS. Os dados dos históricos de ocorrências referentes aos equipamentos foram obtidos pelos representantes de cada EAS no primeiro e segundo semestre de 2018 e primeiro semestre de 2019.

Descrevendo apenas sobre o EAS I, para o Setor I deste EAS os dados foram adquiridos no período de março de 2019 e abril do mesmo ano (1º semestre de 2019).

Para o Setor II, os dados foram coletados no período maio de 2018 (1º semestre de 2018), sendo que o houve ainda mais coleta neste mesmo setor no mês de junho de 2019 (1º semestre de 2019).

O Setor III do EAS I, os dados foram coletados no mês de dezembro do ano de 2018 (2º semestre de 2018).

As coletadas dos dados do Setor IV são referentes ao mês de maio de 2019 (1º semestre de 2019), finalizando a coleta de dados do EAS I.

Após a obtenção de todos os dados necessários, foi feita uma análise minuciosa dos históricos de ocorrências nos equipamentos de RM dos EASs, para averiguação das principais categorias de interrupções no serviço, ou seja, para identificar quais eram as ocorrências, falhas que ocorreram em um número maior de vezes.

A segunda parte da pesquisa é concernente aos custos com o Equipamento I do EAS I. O EAS analisado é composto de diferentes setores, sendo que para o presente estudo os setores envolvidos estão descritos separadamente na Tabela 3.

Os dados referentes aos diferentes setores do EAS I são dados de custos referentes ao equipamento de RM, sendo estes, dados referentes aos gastos com operação, dados de gastos com manutenções e os dados dos valores de receitas. De tal maneira, esses dados foram obtidos por meio de planilhas enviadas do EAS I ao pesquisador.

Na Tabela 3 estão contidos os setores pertinentes ao EAS I que participaram da pesquisa contribuindo com os dados.

Tabela 3: Setores do EAS I analisado com os respectivos dados de pesquisa

SETOR DO EAS I	DADOS OBTIDOS
Setor I	Gastos com operação do equipamento de RM.
Setor II	Gastos com Ressonância Magnética.
Setor III	Receita da Ressonância Magnética; Valores pago pelo SUS ao EAS I por tipo de exame de RM.
Setor IV	Dados relativos à previsão de demanda de exames por mês.

Fonte: Autoria própria.

### 4.3 ANÁLISE DOS DADOS

A priori, os dados que foram analisados foram dispostos em quadros, para melhor visualização. Em relação à análise dos dados referentes aos históricos de ocorrências com os equipamentos de RM dos EASs analisados, cada equipamento de RM será pesquisado de forma individual, os quadros foram descritos por meio do ano analisado, quantidade de exames realizados ao longo de cada mês, previsão de demanda por EAS analisado, os históricos e as ocorrências do equipamento e por último a categoria de interrupções no serviço.

Após a exposição de cada quadro, foram transcritas as discussões obtidas através dos dados e juntamente com os resultados obtidos. Ao final dos resultados e discussões de cada equipamento pesquisado e, conseqüentemente, cada EAS, foram elaborados gráficos a fim de facilitar a visibilidade dos resultados.

Os dados referentes aos custos com o equipamento de RM do EAS I, foram analisados de forma comparativa, sendo que inicialmente foram expostos os dados relativos aos gastos com manutenção com o equipamento e, após expostos estes dados, foram dispostos os gastos com operação com o equipamento de RM e, ao fim destes dados, foram exibidas as receitas com o equipamento do EAS I, receitas estas pagas pelo SUS ao EAS analisado.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Inicialmente, após apresentados os aspectos teóricos e os procedimentos utilizados para o desenvolvimento do trabalho, são relevante a apresentação dos resultados obtidos e a partir destes resultados, traçar discussões.

É relevante traçar que umas das limitações encontradas é envolvendo a disponibilização de estudos sobre manutenção de RM uma vez que os equipamentos são resultados de grandes projetos de empresas privadas e muita das vezes suas manutenções se dão através de contratos e serviços especializados. Sendo assim, a discussão se volta principalmente a decisões de gestão relacionados a estes contratos do que a técnicas de manutenção propriamente ditas.

Porém, a principal limitação encontrada, foi a respeito da disponibilização dos dados envolvendo a máquina, isto pois, as empresas que possuem o equipamento para a realização de, muitas vezes são empresas que optam por obter sigilo de dados, isto porque estas empresas trabalham com dados pessoais de seus pacientes.

### 5.1 ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE MANUTENÇÃO E OS DESCRÉSCIMOS NO NÚMERO DE EXAMES

Nos Quadros 4 a 17, serão descritos os dados coletados, onde cada quadro contém quatro diferentes colunas, separadas em: ano que o exame de RM foi realizado, quantidade de exames realizados no mês, histórico de ocorrências do equipamento, e a categoria de interrupções no serviço.

Sendo assim, será realizada uma classificação das principais ocorrências, o nome empregado será “Categoria de Interrupções no Serviço”, ou seja, quando existir nos históricos de ocorrências dos equipamentos dos EASs apenas uma ocorrência de problema, está ocorrência não será inserida na Categoria de Interrupções no Serviço, isto para que possa haver uma discussão clara e compreensível dos dados analisados.

É importante ressaltar que existem históricos de ocorrências que ocorreram apenas uma única vez em um único equipamento, dos cinco analisados, caso do Equipamento IV do EAS IV que apresentou problema em seu componente denominado *Quench*, logo, ocorrências como esta não serão apresentadas nas

categorias de interrupções do serviço, pois acredita-se que há ocorrências que afetam os equipamentos e que ocorrem em maior frequência.

Como redigido um dos propósitos do trabalho e identificar as prováveis causas que afetam a disponibilidade dos equipamentos de RM analisados, com isto, foi utilizado uma terminologia com o propósito de existir uma clara discussão sobre os resultados. A categoria de interrupção no serviço troca de componente (outros componentes) foi utilizada para históricos em que ocorreram nos equipamentos em pequenas quantidades. Um exemplo do redigido é para um problema envolvendo a troca do compressor do equipamento que ocorreu em um dos equipamentos com pequena frequência, logo, problemas como estes foram denominados “troca de componente (outros componentes)”

Para a interrupção no serviço troca de componente (não determinado) foi utilizada para ocorrências em que não houve a determinação específica do local de troca de componente.

Portanto, após analisados todos os históricos de ocorrências de todos os equipamentos de RM de todos os EASs, haverá uma classificação das principais ocorrências cometidas. Fara-se este procedimento para que possa haver uma análise ordenada e verificar quais as categorias de interrupções no serviço mais ocorreram.

### **5.1.1 OCORRÊNCIAS EM EQUIPAMENTOS**

#### **EQUIPAMENTO I – EAS I**

O primeiro equipamento de Ressonância Magnética que foi estudado está localizado em um Estabelecimento Assistencial de Saúde (EAS) público. Os Quadros 4, 5 e 6 mostram, nos anos de 2016, 2017 e 2018, a quantidade de exames realizados no período (mês), previsão de demanda, o histórico de ocorrências do equipamento e a categoria de interrupções no serviço. O EAS I opera com um equipamento de Ressonância Magnética de 1,5 T, da Marca A, sendo ainda que este equipamento foi fabricado no ano de 2011.

Ressalta-se que, de acordo com os dados obtidos no Setor IV, a demanda programada para exames de RM nos anos de 2016, 2017 e 2018 era de 190 exames mensais.



Quadro 4: Quantidade de exames de RM mensais realizados no ano de 2016 referente ao EAS I

Ano – 2016	Quantidade de exames realizados por mês	Previsão de demanda	Histórico de ocorrências do equipamento	Categorias de interrupções no serviço
Janeiro	177	190	Foi realizado no equipamento uma manutenção preventiva e após a manutenção nenhuma não-conformidade foi identificada.	Manutenção preventiva
Fevereiro	157	190		Sem ocorrências
Março	187	190	Foi realizado no equipamento uma manutenção preventiva e após a manutenção nenhuma não-conformidade foi identificada.	Manutenção preventiva
Abril	155	190		Sem ocorrências
Maiο	187	190		Sem ocorrências
Junho	190	190	Foi realizado no equipamento uma manutenção preventiva e uma caneta esferográfica foi encontrada no trilho da mesa do equipamento.	Manutenção preventiva
Julho	157	190	Aparelho de RM ficou parado do dia 25/07 ao dia 09/08.	Não especificado
Agosto	135	190	O equipamento não estava realizando o lançamento do comando direto automático para o programa “efilme”.	Software
Setembro	182	190	As bobinas do equipamento estavam apresentando artefatos de ruídos	Bobinas (não especificado)
Outubro	129	190	As bobinas do equipamento estavam apresentando artefatos de ruídos;  Manutenção Preventiva	Bobinas de RF; Manutenção preventiva
Novembro	131	190		Sem ocorrências
Dezembro	124	190	Falha no gradiente do equipamento	Bobinas de gradiente
Total: 1911				

Analisando os dados referentes à quantidade de exames realizados pelo equipamento de RM do EAS I, pode-se constatar que no período de 25/07/16 a 09/08/16, o aparelho de Ressonância ficou inoperante, e constatou-se no mesmo mês de agosto de 2016 o mesmo estava apresentando falhas no lançamento do comando direto automático para o programa “efilme”. Pode-se ainda, observar que no mês de

agosto de 2016 houve uma queda expressiva na quantidade de exames realizados, isto, comparado a todos os outros meses do ano de 2016.

Continuando com a análise dos dados, percebe-se que no mês de setembro detectou-se que as bobinas apresentavam ruídos. Observando-se os dados e analisando minuciosamente, pode-se constatar que o equipamento apresentou problemas em sua bobina de RF em setembro e, permaneceu com o problema no mês seguinte, logo, quando analisado a quantidade de exames realizados nota-se que existe uma redução comparado a previsão de demanda esperada para o ano de 2016, portanto, acredita-se fortemente que a bobina de RF do equipamento acarretou a uma minimização na quantidade de exames.

No último mês do ano de 2016, o equipamento de RM apresentou problema nas bobinas de gradiente, sendo que no histórico de ocorrência não se especifica qual queria a ocorrência acometida, e percebendo-se a quantidade de exames realizados nota-se que a avaria pode ser relacionada diretamente ao problema. Entretanto, percebe-se que no mês de novembro mesmo o aparelho não apresentando nenhum problema, a quantidade de exames foi abaixo da previsão esperada.

Quadro 5: Quantidade de exames de RM mensais realizados no ano de 2017 referente ao EAS I

<b>Ano – 2017</b>	<b>Quantidade de exames realizados no mês</b>	<b>Previsão de demanda</b>	<b>Histórico de ocorrências do equipamento</b>	<b>Categorias de interrupções no serviço</b>
Janeiro	188	190	Foi realizada a troca do eixo “x” do equipamento, devido à falha do gradiente do mesmo;  O equipamento apresentou problemas na transmissão das imagens para serem gravadas em CDs.	Bobinas de gradiente; Troca de componente (bobinas de gradiente)
Fevereiro	175	190	Após falha do equipamento, houve a necessidade da troca da bobina, porém após a visita da terceirizada responsável pelas manutenções, notou-se que não havia necessidade da troca da bobina e logo após a manutenção o equipamento funcionou normalmente.	Bobina de RF; Troca de componente (bobina de RF)
Março	229	190	Foi relatado que o equipamento estava travado, após a verificação da informação, viu-se que o mesmo estava em perfeita operação.	Sem ocorrências
Abril	174	190		Sem ocorrências

Continua

Continuação Quadro 5

Maio	209	190		Sem ocorrências
Junho	65	190	Foi verificada falha no gradiente do equipamento, sendo assim após visita da equipe terceirizada viu-se a necessidade da troca do mesmo.	Bobinas de gradiente; Troca de componente (bobinas de gradiente)
Julho	9	190	Equipamento inoperante.	Bobinas de gradiente
Agosto	17	190	Equipamento estava sem contrato de manutenção com a terceirizada e estava esperando pela aquisição de um novo contrato de prestação de serviço;  Verificou-se que o equipamento após visita dos técnicos, estava com o amplificador do gradiente do eixo Z com defeito;  Equipamento inoperante após constatado o problema.	Bobinas de gradiente
Setembro	14	190	Equipamento inoperante.	Bobinas de gradiente
Outubro	10	190	Equipamento inoperante.	Bobinas de gradiente
Novembro	20	190	Equipamento inoperante.	Bobinas de gradiente
Dezembro	148	190	Execução da troca do amplificador do gradiente do eixo Z	Bobinas de gradiente; Troca de componente (bobinas de gradiente)
Total: 1258				

No mês de janeiro de 2017, o dispositivo apresentou falha na transmissão das imagens para que estas fossem transferidas para a gravação em CDs, no entanto, não houve queda na quantidade de exames em comparação à média de exames em que o equipamento estava funcionando normalmente.

No mês de fevereiro de 2017, foi detectado que foi aberta uma chamada para a RM, onde a mesma estava apresentando problemas na bobina de RF, e ainda, que a mesma necessitava ser trocada. Porém, após realização de uma visita técnica dos funcionários da manutenção do equipamento (equipamento estava no período de garantia), foi averiguado que não havia a necessidade da troca da mesma.

No mês de março de 2017, foi aberta uma chamada de manutenção para a RM constatando que esta estava apresentando travamento em seu funcionamento, no entanto, após visita técnica viu-se que o aparelho estava funcionando normalmente.

A partir do mês de junho de 2017, a máquina apresentou problemas na bobina do gradiente do eixo X, levando a mesma a uma abrupta redução na quantidade de exames para apenas 65 exames no mês de junho.

Após a avaria detectada no mês de junho, o equipamento de RM permaneceu quase que inoperante, chegando a apenas 9 exames realizados no mês de julho.

No mês de agosto do mesmo ano, foi detectado que a RM apresentava defeito em seu amplificador da bobina de gradiente do eixo Z, e a partir disto, a mesma ainda permaneceu quase que inoperante com uma quantidade de 17 exames, permanecendo assim no mês de setembro, outubro, novembro e dezembro, no qual foi realizado a troca do componente.

Quadro 6: Quantidade de exames de RM mensais realizados no ano de 2018 referente ao EAS I

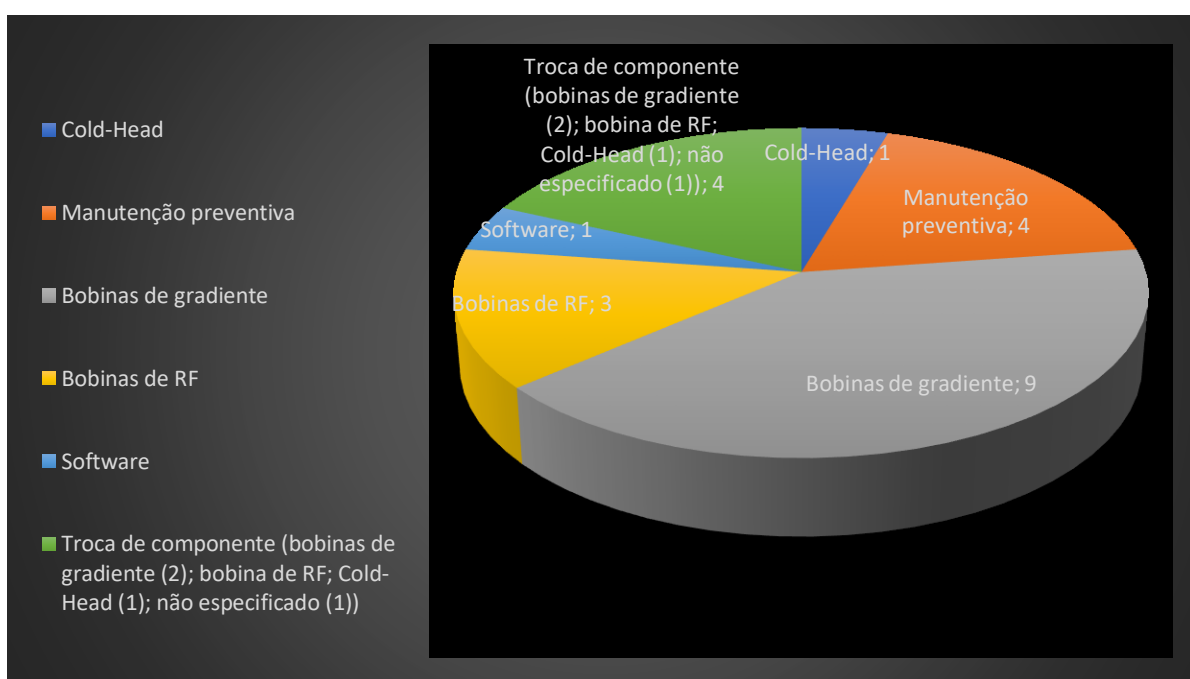
Ano – 2018	Quantidade de exames realizados no mês	Previsão de demanda	Histórico de ocorrências do equipamento	Categorias de interrupções no serviço
Janeiro	205	190	Equipamento sem contrato de manutenção	Sem ocorrência
Fevereiro	172	190	Equipamento sem contrato de manutenção	Sem ocorrência
Março	224	190	Equipamento sem contrato de manutenção	Sem ocorrência
Abril	219	190	Equipamento sem contrato de manutenção	Sem ocorrência
Maio	226	190	Equipamento sem contrato de manutenção	Sem ocorrência
Junho	197	190	Equipamento sem contrato de manutenção	Sem ocorrência
Julho	231	190	Equipamento sem contrato de manutenção	Sem ocorrência
Agosto	222	190	Houve a necessidade da troca do <i>Cold-Head</i> do equipamento devido à perda de eficiência.	<i>Cold-Head</i> de Troca de componente ( <i>Cold-Head</i> )
Total: 1696				

Verificando o software de gestão de manutenção do EAS I (sistema cuja função é a organização de abertura e encerramento de chamadas de manutenção), em janeiro do ano de 2018 até julho do mesmo ano, constatou-se que a máquina não apresentou nenhum problema. Porém, neste mês de agosto após visita dos técnicos encontrou-se na mesma a necessidade da troca do seu *Cold-Head*, isto, devido à perda da eficiência da mesma, porém, apesar do problema a quantidade de exames realizados ainda foi superior à demanda programada.

Nota-se ainda que, segundo os dados coletados, o aparelho se encontrava sem garantia e sem contrato de manutenção desde o segundo semestre de 2017, portanto, a partir deste período, qualquer reparo, manutenção, troca de componente etc., referente ao equipamento deveria ser pago pelo EAS I.

O Gráfico 1 mostra as principais categorias de interrupções no serviço que ocorreram no equipamento no decorrer dos anos de 2016, 2017 e 2018, sendo que, para o ano de 2018 os dados coletados são referentes até o mês de agosto.

Gráfico 1: Categoria de interrupções no serviço para o Equipamento I – EAS I

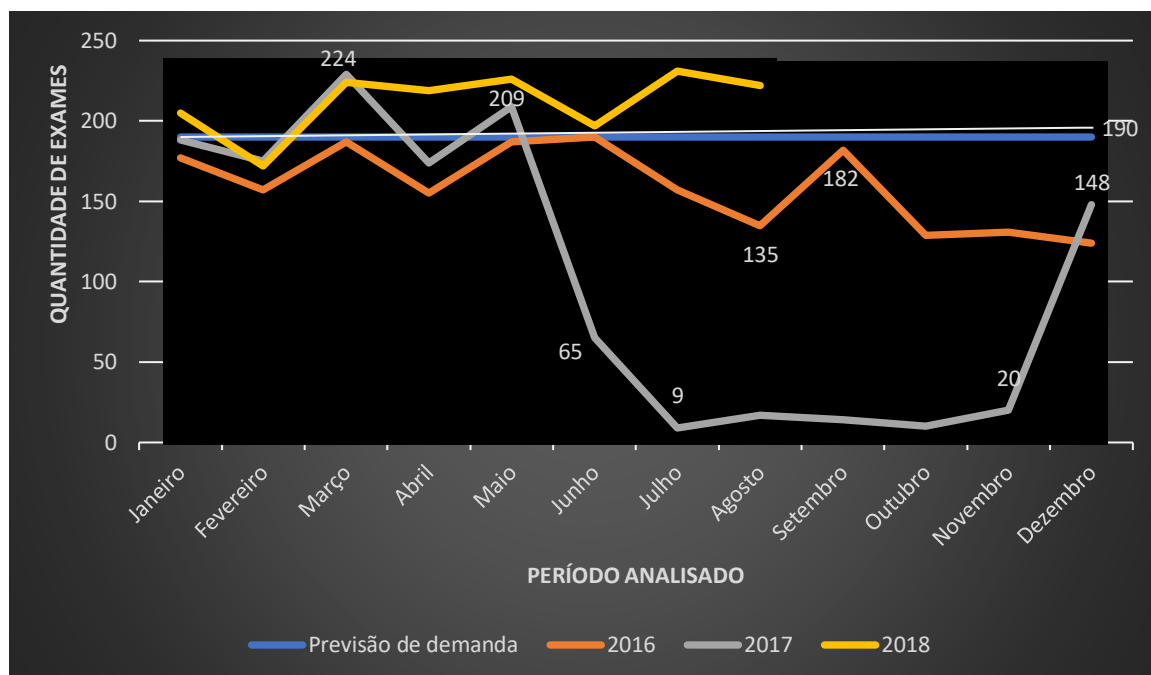


Nota-se que para o EAS I, no decorrer dos anos analisados (2016, 2017 e 2018) a categoria de interrupção com maior número de ocorrências foi referente as bobinas de gradiente do equipamento, com nove ocorrências. As bobinas de RF do aparelho obtiveram três ocorrências, e MP quatro ocorrências.

Houve no equipamento também quatro troca de componente, sendo duas nas bobinas de gradiente, uma na bobina (não especificado qual bobina) e uma no *cold-Head* do aparelho.

No Gráfico 2 mostra-se a quantidade de exames realizados por período do Equipamento I do EAS I.

Gráfico 2: Quantidade de exames x período, Equipamento I - EAS I



Como redigido, este trabalho visa apontar quais as principais causas que levam à parada, ou ainda, à indisponibilidade do equipamento de RM, porém, é fundamental para uma RM que seja realizada a MP, mas o que grande parte das empresas e indústrias procuram são MPs rápidas e eficazes, que não atrapalhe o andamento das mesmas.

No Gráfico 2 é feita uma análise entre a quantidade de exames que foi realizado pelo período em que os mesmos aconteceram. Percebe-se que entre os meses de maio e junho do ano de 2017, houve um acentuado decréscimo na quantidade de exames realizados, que se estendeu pelos meses de agosto, setembro, outubro e novembro. Uma razão para este acontecimento pode ser relacionada à garantia do equipamento que acabou neste período, logo, nestes meses o aparelho já se encontrava sem garantia e sem contrato de manutenção. Porém, existe ainda outro fator que levou a parada do equipamento, o amplificador da bobina do gradiente do eixo Z da RM. Logo, pode-se afirmar que para este período em que o equipamento obteve uma queda na quantidade de exames realizados, houve fatores que contribuísse para a redução no número de exames e, portanto, as avarias recorrentes ao equipamento e que afetam a mesma, podem ser relacionadas a queda na quantidade de exames realizados.

É importante ser descrito que há para este EAS, duas maneiras de se fazer o pedido para a realização do exame, sendo sem a utilização de sedativos e, com a utilização de sedativos (neste caso para crianças e idosos que não permanecem imóveis dentro do equipamento para a realização do exame). Esta descrição é de fato importante para que haja uma compreensão detalhada a respeito da previsão de demanda para este EAS, pois a partir destes dados que são realizados os cálculos do mesmo.

## EQUIPAMENTO II – EAS II

Os dados do equipamento de RM do EAS II no período de 2016, 2017 e 2018 com a quantidade de exames realizados por mês, previsão de demanda, o histórico de ocorrências do equipamento e a categoria de interrupções no serviço são apresentados nos Quadros 7, 8 e 9. Sendo ainda que o EAS II opera com uma RM de 1.5T da Marca B, sendo ainda que este equipamento foi fabricado no ano de 2014.

Quadro 7: Quantidade de exames de RM mensais realizados no ano de 2016 referente ao EAS II

Ano – 2016	Quantidade de exames realizados no mês	Previsão de demanda	Histórico de ocorrência do equipamento	Categorias de interrupções no serviço
Janeiro	174	270	Vazamento de água no radiador. Equipamento parado;  Se trocou o armário ICS.PN (gabinete de refrigeração);  Verificação por vazamento do equipamento ok.	Troca de componente
Fevereiro	159	270	Identificado fusível aberto na placa, que foi substituído e o equipamento voltou a funcionar normalmente. Diante do histórico de queima de fusível na placa original do aparelho, a placa foi instalada. Logo o aparelho está funcionando com a placa original do mesmo, e foi solicitada uma nova placa para substituição;  Trocada a placa, fusível foi queimado esporadicamente, houve a necessidade da troca e posteriormente realizado testes, equipamento com funcionamento normal (não especificado qual fusível).	Troca de componente

Continua

Continuação Quadro 7

Março	190	270		Sem ocorrência
Abril	235	270	Chamada em aberto para placa de circuito impresso RFIS 60, fusível queimado esporadicamente. Após troca, realizados testes, equipamento com funcionamento normal;  Manutenção preventiva.	Troca de componente; Manutenção preventiva
Maio	175	270		Sem ocorrência
Junho	208	270		Sem ocorrência
Julho	187	270		Sem ocorrência
Agosto	229	270		Sem ocorrência
Setembro	220	270		Sem ocorrência
Outubro	217	270		Sem ocorrência
Novembro	238	270		Sem ocorrência
Dezembro	205	270	Equipamento estava apresentando erros. Conectores trocados de forma preventiva, conectores antigos estavam nitidamente danificados por uso normal do equipamento. Foram feitos testes e exames acompanhados. Máquina liberada para uso.	Troca de componente; Manutenção preventiva
Total: 2437				

Iniciando a verificação dos dados obtidos, é notório que para o mês de fevereiro, o equipamento apresentou uma quantidade inferior em relação aos outros meses analisados, uma quantidade de 159 exames no mês. Em janeiro a máquina apresentou vazamento de água (não foi informado pelo EAS II, em qual exato local teria ocorrido este vazamento). Porém, o vazamento foi estancado, após a troca do componente que estava causando o problema, o equipamento voltou a operar normalmente. Porém, pode-se notar que para estes meses averiguados o aparelho apresentou uma quantidade de exames abaixo da demanda esperada.

No mês de abril, um fusível queimou na RM. A placa de circuito impresso do aparelho apresentava queima em seu fusível, porém, após análise constata-se que mesmo com a parada do equipamento para a troca do fusível, a quantidade de exames foi a segunda maior quantidade de exames realizados no ano. Logo, acredita-se fortemente que a depender da ocorrência no equipamento, seu reparo pode ser rápido, de modo a não prejudicar o desempenho da máquina. Ainda neste mês, após



a troca da placa, uma manutenção preventiva foi realizada e não se detectou nenhuma adversidade.

Em maio de 2016, ao contrário do mês anterior o aparelho apresentou baixa na sua quantidade de exames, porém, neste mês o mesmo não apresentou nenhuma adversidade. Após contatado o EAS II, acredita-se que a redução na quantidade de exames é proveniente pela pouca procura do exame de RM.

Ainda na análise dos históricos de ocorrência do equipamento, do mês de maio até o mês de novembro, a máquina não voltou a apresentar nenhum outro tipo de defeito. Nota-se que não existe um perfil de demanda para a RM nos meses em que não houve nenhuma ocorrência, que na média ficou em 208 exames mês.

Porém no mês de dezembro ainda do ano de 2016, o equipamento estava apresentando erros, após análise técnica, foi diagnosticado que os conectores estavam desgastados devido à vida útil do mesmo. Após troca destes conectores, o aparelho voltou a trabalhar normalmente, não causando baixa na média de exames para este mês.

Como já redigido anteriormente, o EAS II não atribui a redução no número de exames realizados às ocorrências, porém, com exceção do mês de abril todos os meses onde houve ocorrência, a quantidade de exames realizados ficou abaixo da média dos meses sem ocorrência que foi de 208 exames.

Quadro 8: Quantidade de exames de RM mensais realizados no ano de 2017 referente ao EAS II

Ano – 2017	Quantidade de exames realizados no mês	Previsão de demanda	Histórico de ocorrências do equipamento	Categorias de interrupções no serviço
Janeiro	190	270	Manutenção preventiva realizada.	Manutenção preventiva
Fevereiro	196	270		Sem ocorrência
Março	281	270		Sem ocorrência
Abril	200	270	Há sinais de vazamento na junção do cano que vem do gradiente e na rosca do cano que vai para o gradiente. Como não seja possível estancar o vazamento para o cano danificado a troca do armário todo é necessária;  Máquina liberada para uso, porém com vazamento. Verificado por vazamentos e realizado testes.	Bobinas de gradiente; Troca de componente (bobinas de gradiente)
Maio	265	270		Sem ocorrência

Continua

Continuação Quadro 8

Junho	278	270	<p>Equipamento apresentou falha na RF / falha de BOOT do HOST;</p> <p>Foi trocado no equipamento a bateria da BIOS, instalou-se CD de BIOS;</p> <p>Manutenção preventiva realizada.</p>	Software; Manutenção preventiva; Troca de componente (computador)
Julho	269	270		Sem ocorrência
Agosto	213	270	<p>O equipamento estava apresentando falha no receptor de RF, houve-se a necessidade da troca da placa de circuitos 1,5T, após troca da placa não houve mais problemas;</p> <p>Foi realizado na máquina manutenção preventiva, nenhum problema diagnosticado.</p>	Troca de componente (Bobina); Manutenção preventiva
Setembro	241	270		Sem ocorrência
Outubro	255	270	<p>Scanner não fica pronto para funcionar. Computador de reconstrução está pronto, mas as placas estão sem alimentação;</p> <p>Fonte com defeito, será trocada;</p> <p>Em visita ao cliente foi substituído a fonte de alimentação. Equipamento voltou a ficar on-line. Durante testes o computador reconstrutor desligou algumas vezes de forma esporádica. Será necessário a substituição do computador reconstrutor. Equipamento permanece parado;</p> <p>Recebida fonte de alimentação, instalada, mas não funcionou. Pedida nova fonte e mais placas que são alimentadas pela mesma fonte. Aguardar chegada dos materiais e trocar;</p> <p>O problema foi resolvido com o upgrade realizado. Continuação de upgrade, chegaram as peças e foram trocadas.</p>	Troca de componente (computador)
Novembro	280	270	<p>Manutenção preventiva;</p> <p>Houve problemas com <i>chiller</i> e compressor/<i>cold-head</i>, ambos estavam parados. Clínica havia acionado pessoal técnico do <i>chiller</i>, que observaram que o mesmo, se encontrava perfeito para operação. Se ligou o equipamento e vi que ele inicializou normalmente e estava disponível para uso;</p>	Manutenção preventiva; Software; Troca de componente (computador)

Continua

## Continuação Quadro 8

			Desligou-se o sistema e iniciei a atualização de <i>hardware</i> , trocando computador de controle e computador de reconstrução de imagem. Trocado modulo de interface e instalados novos cabeamentos.	
Dezembro	211	270		Sem ocorrência
	Total: 2879			

De acordo com o Quadro 8, no ano de 2017, o mês de janeiro foi o que apresentou ocorrência de manutenção preventiva e a menor quantidade de exames realizados, porém não foi possível obter a especificação de qual seria a manutenção preventiva realizada.

Ainda, analisando o Quadro 8 pode-se notar que nos meses de fevereiro, março, maio, julho, setembro e dezembro o equipamento de RM não apresentou nenhuma avaria. Como em 2016, nota-se que não existe um perfil de demanda para a RM nos meses em que não houve nenhuma ocorrência, que na média ficou em 244 exames mês. Porém, em 2017, apenas os meses fevereiro e setembro ficaram abaixo da média de 244 exames mês, o que, de acordo com o EAS II foi devido à redução na procura pelo exame de RM.

No mês de junho a máquina apresentou problemas no seu software e ainda foi realizada manutenção preventiva, porém, percebe-se por meio da quantidade de exames realizados que ainda assim, foi superior à quantidade de exames previstos para o mês.

Ainda no ano de 2017 constatou-se que o mês de abril foi o que apresentou menor quantidade de exames realizados entre os meses onde houve troca de componentes, que foram abril, agosto e outubro. E, no mês de agosto além da troca de componente, houve a realização de manutenção preventiva, porém, não foi especificada.

Quadro 9: Quantidade de exames de RM mensais realizados no ano de 2018 referente ao EAS II

Ano – 2018	Quantidade de exames realizados no mês	Previsão de demanda	Histórico de ocorrências do equipamento	Categorias de interrupções no serviço
Janeiro	289	270	Ao ligar o equipamento e testar funcionou normalmente, após isso iniciou-se o <i>Dot Upgrading</i> do equipamento;	Sem ocorrência

Continua

Continuação Quadro 9

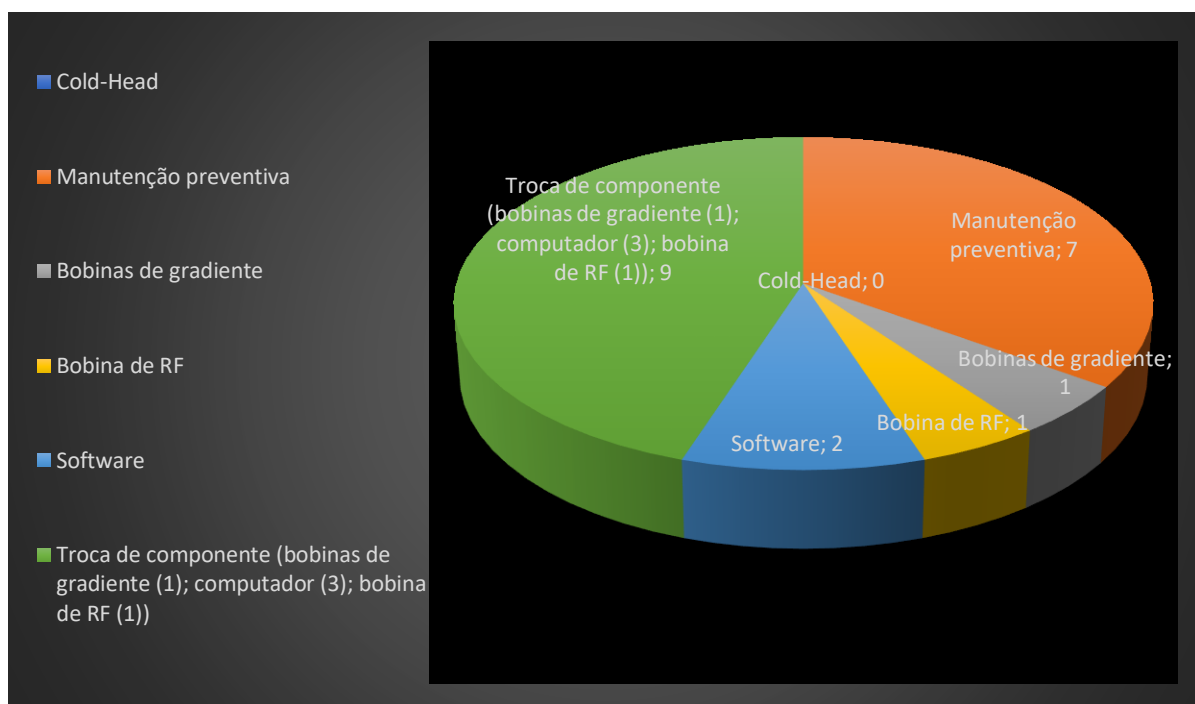
			Não apareceu nenhum material pedido para destinação;  Equipamento estava realizando suas funções normalmente sem apresentar erros.	
Fevereiro	209	270	Foi aberto um chamado para instalação de placa de seleção de bobina TAS 3TM, bobina da coluna RM;  Houve neste mês a realização de uma manutenção preventiva.	Bobina; Manutenção Preventiva
Março	296	270		Sem ocorrência
Abril	314	270		Sem ocorrência
Maio	254	270		Sem ocorrência
Junho	319	270		Sem ocorrência
Julho	279	270		Sem ocorrência
Agosto	275	270		Sem ocorrência
Total: 2235				

No Quadro 9, referente ao ano de 2018, pode-se notar que nos meses analisados somente no mês de fevereiro o equipamento de RM apresentou ocorrências. Também em 2018 nota-se que não existe um perfil de demanda para a RM nos meses em que não houve nenhuma ocorrência, onde a média ficou em torno de 289 exames mês e apenas os meses fevereiro e maio ficaram abaixo da demanda esperada.

Para o mês de fevereiro de 2018, nota-se que a sua quantidade de exames foi abaixo da previsão de demanda, e isto se deu ao fato de que, neste mês, a máquina de RM apresentou problema na placa de seleção da bobina de RF, sendo que, a placa desta bobina estava apresentando avaria e a mesma não estava desempenhando sua função esperada, além da realização de uma manutenção preventiva. Portanto, acredita-se que queda na quantidade de exames pode estar diretamente ligada às ocorrências (avaria) detectada no aparelho.

O Gráfico 3 mostra as principais categorias de interrupções no serviço que ocorreram no Equipamento II do EAS II no decorrer dos anos de 2016, 2017 e 2018, sendo que, para o ano de 2018 os dados coletados são referentes até o mês de agosto.

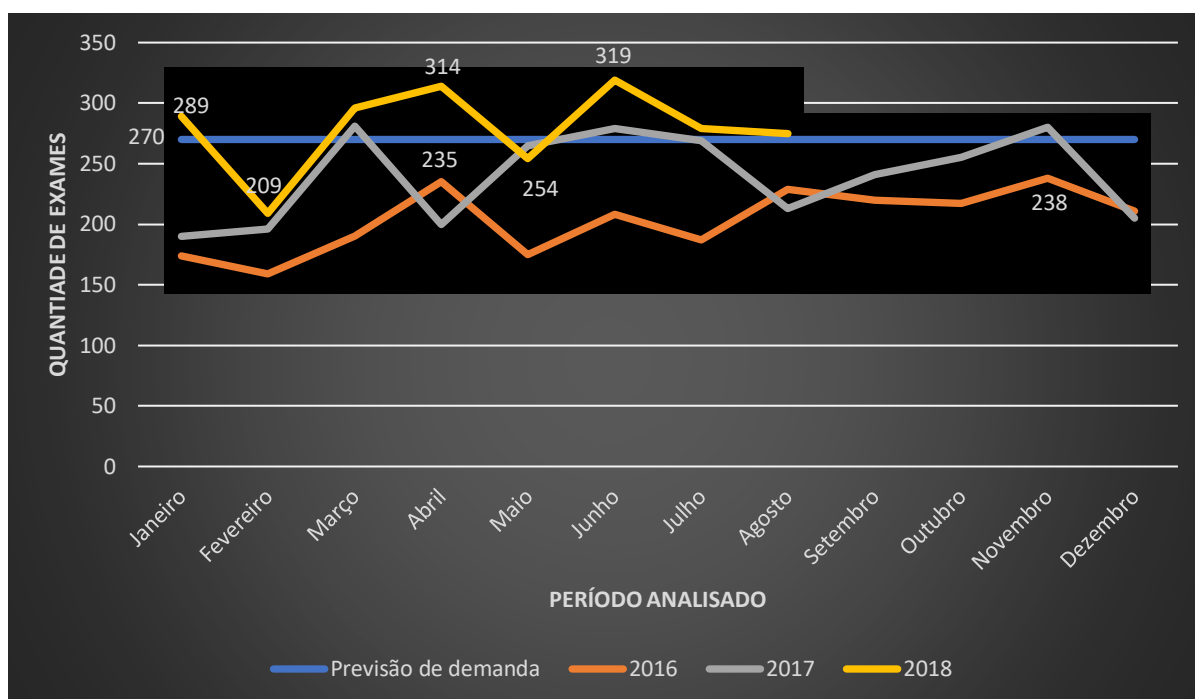
Gráfico 3: Categoria de interrupções no serviço, Equipamento II - EAS II



Após análise de todos os dados referentes ao EAS II, ao decorrer dos anos de 2016, 2017 e 2018, constatou-se que a categoria de interrupções no serviço que ocorreu com uma maior frequência foi troca de componentes com nove ocorrências, sendo destas nove, uma relacionada a bobina do receptor de RF do equipamento, uma com as bobinas de gradiente do aparelho e duas relacionadas a problemas no computador que opera o equipamento, sendo ainda que quatro outras trocas de componentes não foram especificadas em qual parte do equipamento teria ocorrido esta substituição.

No Gráfico 4 é possível notar que houve, no geral, um aumento na quantidade de exames ao decorrer dos anos, ou seja, a quantidade de exames realizados foi aumentando de 2016 para 2017 e de 2017 para o ano de 2018 (até o momento analisado).

Gráfico 4: Quantidade de exames x período, Equipamento II - EAS II



Por fim, por meio dos dados do EAS II, não foi possível afirmar que a indisponibilidade e a quantidade de exames realizados, foram diretamente influenciadas pelas ocorrências de avarias que aconteceram no equipamento de RM, pois segundo informações do EAS a queda na quantidade de exames realizados foi devida à redução de demanda.

### EQUIPAMENTO III – EAS III

Serão analisados os dados referentes a RM do EAS III com o respectivo período, quantidade de exames realizados por mês, previsão de demanda, o histórico de ocorrências do equipamento e as categorias de interrupções no serviço. Sendo ainda que o EAS III opera com uma RM de 1.5T, da Marca C, sendo este equipamento fabricado no ano de 2010.

Quadro 10: Quantidade de exames de RM mensais realizados no ano de 2017 referente ao EAS III

Ano – 2017	Quantidade de exames realizados no mês	Previsão de demanda	Histórico de ocorrências do equipamento	Categorias de interrupções no serviço

Continua

Janeiro	144	200		Sem ocorrência
Fevereiro	153	200		Sem ocorrência
Março	247	200	Foi identificado que o <i>chiller</i> está funcionando com os dois compressores direto, como a temperatura está ficando muito baixa foi solicitado que deixasse apenas o pequeno ligado direto;  As bobinas de gradientes apresentam temperaturas abaixo (frias) do normal, enxergou-se a necessidade da troca do mesmo.	<i>Chiller</i> ; Bobinas de gradiente; Troca de componente (bobinas de gradiente)
Abril	152	200		Sem ocorrência
Maio	219	200		Sem ocorrência
Junho	225	200		Sem ocorrência
Julho	240	200		Sem ocorrência
Agosto	167	200	Realizada a troca do <i>Cold Head</i> ;  Foi trocado adsorver do compressor.	<i>Cold Head</i> ; Troca de componente (outros componentes)
Setembro	216	200	Realizada manutenção preventiva;  Realizada limpeza interna e externa da cama, verificado movimento horizontal e vertical da mesa;  Realizada limpeza, verificação da pressão do magneto, troca do filtro do blower no magneto;  Verificadas as lâmpadas da sala. (foram trocadas todas as lâmpadas por lâmpadas incandescentes);  Realizada substituição da caixa de som que fica próxima ao magneto, testado todo o sistema de áudio, funcionando corretamente, ficando faltando apenas o fone para adaptar na ponta da mangueira.	Manutenção preventiva; Troca de componentes (magneto)
Outubro	188	200	Realizada a manutenção preventiva do equipamento;  Substituídos os filtros de ar do amplificador de RF, <i>blower</i> do magneto;	Manutenção preventiva; Troca de componente (magneto)

			Efetuada limpeza em toda parte externa do magneto e da mesa;  Verificadas correntes de válvula e potência transmitida do RF;  Limpeza da parte interna e externa do SCANNER XP1000;  Realizada as calibrações center frequency e gradiente offset.	
Novembro	199	200		Sem ocorrência
Dezembro	182	200		Sem ocorrência
Total: 2332				

Ao se analisar os dados referente aos meses de janeiro, fevereiro, abril e dezembro do ano de 2017, nota-se que apesar de não ter existido nenhum histórico de ocorrência no equipamento de RM, a quantidade de exames nesses meses foi abaixo da previsão de demanda. Assim como em outros casos, foi constatado que a queda na quantidade de exames é consequência da procura pelo exame.

No mês de março de 2017, o EAS apresentou uma quantidade de exames realizados acima da previsão de demanda, entretanto, não se esperava por este ocorrido, isto devido a um histórico de ocorrência do aparelho referente ao seu *chiller*. Nota-se ainda que neste mesmo mês a quantidade de exames realizados foi a maior quantidade, isto quando comparando com todos os outros meses deste ano.

Outro ponto que deve ser discutido é que nos meses de maio, junho, julho e novembro (um exame abaixo da previsão de demanda, logo, considera-se entre os valores esperados), mesmo o equipamento não apresentando nenhuma ocorrência em seus históricos, o mesmo obteve uma quantidade de exames realizados dentro da previsão de demanda.

Em agosto de 2017, como mostrado no Quadro 10, o aparelho de RM do EAS III apresentou algumas avarias. Após a verificação dos problemas encontrados, pode-se realizar uma análise embasada entre ambos os dados (quantidade de exames realizados e problema), pois, nota-se que para este mês o equipamento realizou 167 exames, abaixo da previsão de demanda. Portanto, acredita-se que as ocorrências provenientes dos históricos do EAS referentes ao equipamento, fez com que a



disponibilidade do equipamento fosse afetada, porém não foi possível confirmar esta possibilidade no EAS.

Em setembro, a sala onde a máquina se encontra, passou por alguns reparos como, troca de lâmpadas incandescentes e uma caixa de som. A máquina ainda passou uma manutenção preventiva. É interessante ser descrito que mesmo com a troca de componentes e a manutenção preventiva, o equipamento apresentou uma quantidade de exames realizados acima da previsão demanda, o que não se espera ocorrer.

Logo, assim como em outubro, espera-se que a quantidade de exames realizados seja afetada diretamente pelos históricos de ocorrências do equipamento.

No Quadro 11 mostra-se os históricos de ocorrências referentes ao ano de 2018, juntamente com suas categorias de interrupções no serviço, além da quantidade de exames realizados e a previsão de demanda do EAS.

Quadro 11: Quantidade de exames de RM mensais realizados no ano de 2018 referente ao EAS III

Ano – 2018	Quantidade de exames realizados no mês	Previsão de demanda	Históricos de ocorrências do equipamento	Categorias de interrupções no serviço
Janeiro	171	200	Falha no gradiente do eixo Z	Bobinas de gradiente
Fevereiro	201	200	Realizada manutenção preventiva;  Realizada limpeza do magneto, e substituição do filtro do blower;  Limpeza e ajustes nos movimentos horizontal e vertical da cama;  Realizada limpeza no armário de RF;  Realizada limpeza dos armários da sala de máquinas;  Realizada substituição do computador SCANNER, de uma XP1000 para uma HP4100;  Realizada substituição das presilhas da bobina de joelho;  Manutenção nas bobinas CTL e Flex, sendo que ficaram outras no lugar das originais;  Calibrações no gradiente OffSet e FatSat, após calibração houve significativo melhoramento na imagem.	Manutenção preventiva; Troca de componente (magneto; computador; bobina)

Continua

Março	212	200		Sem ocorrência
Abril	208	200	Foi verificado que existia uma tecla presa no teclado direito do magneto, após destravar a tecla foi possível realizar a calibração da cama;  Falha no gradiente do eixo Z, houve a necessidade da troca do PD do gradiente do eixo Z.	Manutenção preventiva; Bobinas de gradiente; Troca de componente (bobinas de gradiente)
Maio	187	200		Sem ocorrência
Junho	209	200		Sem ocorrência
Julho	218	200		Sem ocorrência
Agosto	209	200	Substituição dos filtros de ar do Blower, Scan/RECON e bobina de RF;  Retirado BIN para verificação de presença de metais para que houvesse a limpeza;  Limpeza de toda a parte externa e interna do magneto e mesa;  Substituição dos conectores e da base das conexões com as bobinas na mesa.	Manutenção preventiva; Bobina; Troca de componente (bobina)
Setembro	212	200		Sem ocorrência
Outubro	228	200	Equipamento apresentou avaria no movimento horizontal da mesa. Após manutenção preventiva verificou-se que o equipamento estava liberado para uso	Manutenção preventiva
Novembro	213	200		Sem ocorrência
Total: 2268				

Analisando os dados do equipamento III, percebe-se que o mês de janeiro do ano de 2018, o aparelho apresentou falha na bobina do gradiente do eixo Z. Observar-se, que a quantidade de exames realizados foi abaixo da previsão de demanda esperada para o mês e ainda que, foi o mês do ano onde houve a menor quantidade de exames realizados, portanto, é possível que a avaria da bobina do gradiente Z do equipamento de RM pode ter sido um fator que afetou a disponibilidade e, conseqüentemente, a quantidade de exames realizados.

Realizando a mesma análise do mês de janeiro, porém agora para o mês de maio, a quantidade de exames realizados foi abaixo da previsão de demanda,

entretanto, observando através dos históricos de ocorrências, o equipamento não apresentou nenhum problema.

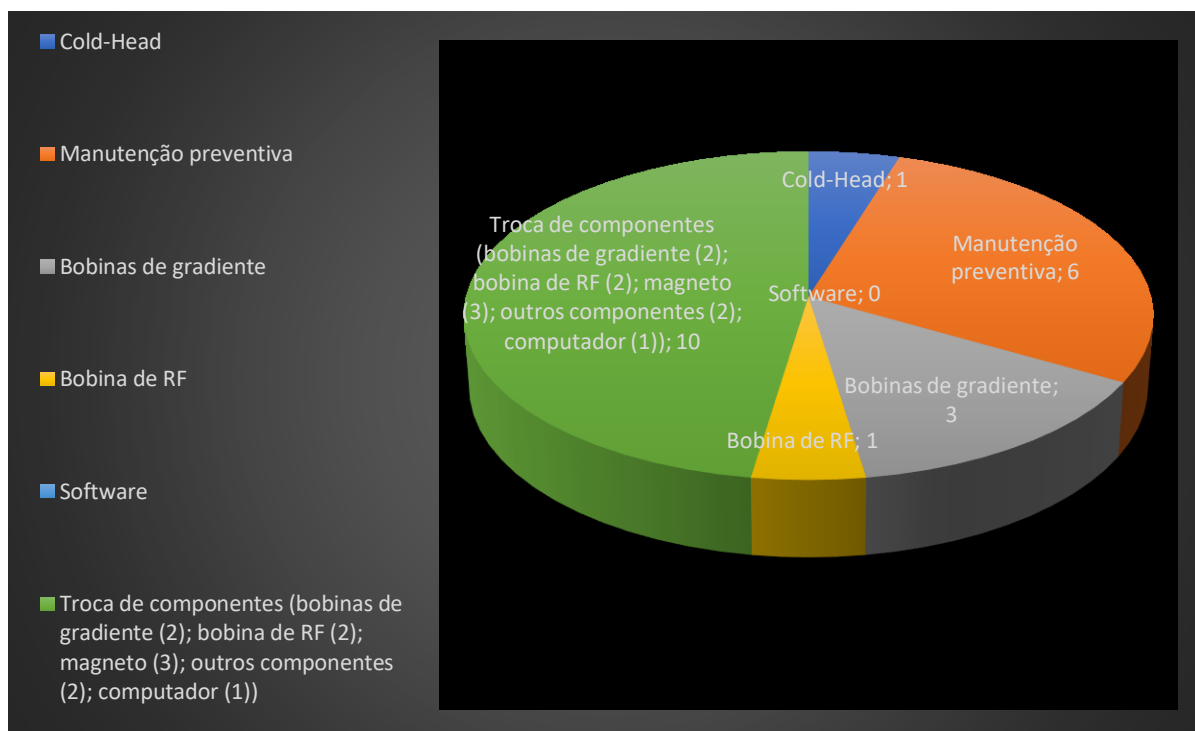
No mês de fevereiro, observa-se que mesmo com a manutenção preventiva que foi realizada no equipamento além de limpezas da cama e dos magnetos, calibração e trocas de componentes, a RM não apresentou queda na sua quantidade de exames, sendo que para este mês atingiu-se a previsão de demanda esperada, logo, pode-se dizer que neste mês não foi afetada a quantidade de exames realizado, mesmo o equipamento apresentando um histórico de categorias de interrupções no serviço. Além disso, neste mesmo mês houve no equipamento três diferentes trocas de componentes, sendo as trocas realizadas em partes distintas do equipamento (bobina, computador e magneto).

Em março, junho, julho, setembro e novembro a máquina de RM do EAS não apresentou nenhum histórico de ocorrências, além de ter atingido a previsão de demanda esperada pelo EAS. No entanto, em abril foi detectado que o aparelho apresentou problema em sua componente mesa, e ainda que, esta avaria estava sendo ocasionada devido a uma tecla de computador que estava presa sobre os trilhos da cama. Após destravar a tecla foi possível realizar a calibração da cama, sendo solucionado o problema. Neste mesmo mês ainda, o equipamento apresentou falha na bobina do gradiente do eixo Z, fazendo com que existisse a necessidade da troca da mesma. Mesmo com a avaria das bobinas de gradiente que geralmente é um fator que ocasiona a queda da quantidade de exames, neste mês o EAS teve uma quantidade de exames pouco acima da previsão de demanda, o que de fato é satisfatório para o EAS.

Assim como em abril, no mês de agosto não houve queda na quantidade de exames realizados, isto quando comparado à previsão de demanda, todavia, mesmo o aparelho apresentando problemas a meta de quantidade de exames realizados foi realizada pelo EAS.

Os dados coletados referentes aos históricos de ocorrências do equipamento de RM do EAS III, foram até o mês de novembro do ano 2018. No Gráfico 5 pode-se observar as categorias de interrupções no serviço para os anos de 2017 e 2018.

Gráfico 5: Categoria de interrupções no serviço, Equipamento III – EAS III

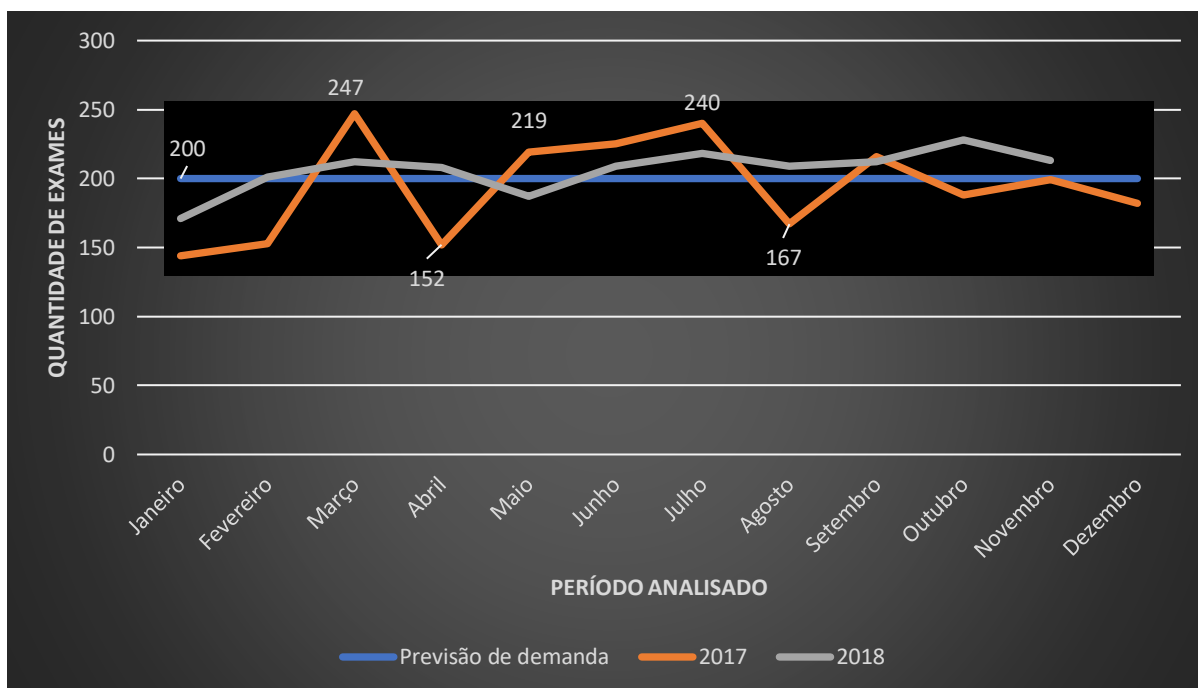


Pode-se notar que a categoria de interrupção no serviço “troca de componente” ocorreu em maior vezes quando comparada as outras categorias de interrupções, sendo que duas troca ocorreu nas bobinas de gradiente do equipamento, uma troca no compressor, três no magneto, duas nas bobinas do aparelho, duas no compressor do equipamento e uma troca no computador.

A análise do Gráfico 5, quando associada aos EAS I e EAS II, apresentam resultados diferentes entre si. Para o EAS III, a categoria de interrupção no serviço, troca de componente foi a ocorrência que ocorreu com maior frequência, o que difere entre o EAS I, sendo a categoria de interrupção bobinas de gradiente do equipamento e, o EAS II com a categoria de interrupção, manutenção preventiva.

O Gráfico 6 traz a análise entre a quantidade de exames realizados entre os períodos de janeiro a dezembro do ano de 2017 e, de janeiro a novembro do ano de 2018.

Gráfico 6: Quantidade de exames x período, Equipamento III – EAS III



Inicialmente, pode ser analisado que existe uma discrepância significativa entre os meses de fevereiro, março e abril do ano de 2017. A mesma análise pode ser feita para os meses de julho e agosto, onde existe uma queda abrupta na quantidade de exames. Portanto, observando novamente os dados, constata-se que no ano de 2017 no mês de julho o equipamento não apresentou avaria, porém, em agosto o equipamento passou por reparos e manutenção, o que se acredita que tenha ocasionado a redução na quantidade de exames.

Por conseguinte, analisando o Gráfico 6 observa-se que não existem picos discrepantes entre os dados dos exames realizados, mesmo que o equipamento de RM do EAS tenha realizado manutenções preventivas e trocas de componentes.

Portanto, acredita-se que para o EAS III, a paralisação do aparelho de RM devido as interrupções no serviço, afetou diretamente na demanda de quantidade de exames realizados e, conseqüentemente, na disponibilidade do equipamento, mesmo que em alguns caso isto não tenha se mostrado.

## EQUIPAMENTO IV – EAS IV

O Equipamento IV do EAS IV é uma Ressonância Magnética de 1.5T, da marca C. É relevante para este estudo ressaltar que o Equipamento 4 e Equipamento 5, são aparelhos que pertencem ao mesmo EAS, o EAS IV. Não foi passado por parte do EAS qual seria o ano de fabricação do presente equipamento em análise.

Inicialmente, assim como para os outros equipamentos de RM analisados, foram realizadas as coletas referentes a todos os históricos de ocorrências do equipamento. Os dados obtidos são referentes aos períodos de janeiro do ano de 2016 até agosto do ano de 2018. No Quadro 12, Quadro 13 e Quadro 14 serão transcritas as principais ocorrências relacionadas ao Equipamento IV do EAS IV e, para identificação das principais ocorrências relacionadas ao aparelho.

Neste aparelho não se conhece exatamente a quantidade de exames realizados por mês, porém, foi passado ao pesquisador através do EAS que o equipamento trabalha de segunda a sexta feiras com uma média de 25 a 30 exames por dia, sendo que o estabelecimento onde se encontra o equipamento, opera das 7 horas da manhã até as 23 horas. Aos sábados e domingos a máquina tem uma média de 20 exames a cada dia, sendo que o equipamento inicia suas atividades as 7 horas da manhã e encerra as 19 horas.

É importante frisar que para este EAS a previsão de demanda foi realiza por meio de um cálculo de estimativa.

Quadro 12: Quantidade de exames de RM mensais realizados no ano de 2016 referente ao EAS IV, Equipamento IV

Ano – 2016	Quantidade de exames realizados no mês	Previsão de demanda	Histórico de ocorrências do equipamento	Categorias de interrupções no serviço
Janeiro	Média de 700 a 720	765		Sem ocorrência
Fevereiro	Média de 725 a 745	765		Sem ocorrência
Março	Média de 775 a 795	765		Sem ocorrência
Abril	Média de 725 a 745	765		Sem ocorrência
Maio	Média de 750 a 770	765		Sem ocorrência
Junho	Média de 725 a 745	765		Sem ocorrência
Julho	Média de 765 a 785	765		Sem ocorrência

Continua

## Continuação Quadro 12

Agosto	Média de 775 a 795	765	Queima da placa do gradiente do equipamento. Observação: não há no relatório especificado qual gradiente foi danificado.	Bobinas de gradiente
Setembro	Média de 750 a 770	765		Sem ocorrência
Outubro	Média de 775 a 795	765		Sem ocorrência
Novembro	Média de 750 a 770	765		Sem ocorrência
Dezembro	Média de 770 a 790	765	Foi realizado no aparelho a troca da placa queimada do gradiente.	Troca de componente (bobinas de gradiente)

Analisando o Quadro 12 verifica-se que as ocorrências pertinentes ao equipamento de RM, referentes ao ano de 2016 ocorreram apenas em dois meses distintos, sendo nos meses de agosto e dezembro.

Ao mês de agosto, o aparelho de RM apresentou problema na bobina de gradiente, onde a placa do mesmo veio a queimar, entretanto, não conhece qual das bobinas de gradientes (X, Y, Z) do equipamento queimou. Porém, sabe-se ao certo que a queima vou ocasionada na data do dia 04/08/2016. Houve por parte do pesquisador, a procura por respostas detalhadas a respeito do ocorrido, todavia, não houve resposta por parte do EAS IV.

Em dezembro do mesmo ano, após aproximadamente cinco meses da queima da placa do equipamento, a mesma foi trocada, mais precisamente no dia 09/12/2016. É importante analisar que, o equipamento apresentou um problema na bobina de gradiente e o mesmo operou por aproximadamente cinco meses, porém, fica a indagação de como é possível o equipamento manter sua operacionalidade, apresentando problema em um componente fundamental para a geração da imagem, logo, não se descarta a hipótese de que possa ter ocorrido outro problema com o componente do equipamento cinco meses após a primeira avaria.

Quadro 13: Quantidade de exames de RM mensais realizados no ano de 2017 referente ao EAS IV, Equipamento IV

Ano – 2017	Quantidade de exames realizados no mês	Previsão de demanda	Histórico de ocorrências do equipamento	Categorias de interrupções no serviço
Janeiro	Média de 770 a 790	765		Sem ocorrência

Continua

## Continuação Quadro 13

Fevereiro	Média de 700 a 720	765	O equipamento apresentou avaria com a refrigeração ocasionada por problema no LCC <i>Chiller</i> .	<i>Chiller</i>
Março	Média de 775 a 795	765		Sem ocorrência
Abril	Média de 740 a 760	765		Sem ocorrência
Maio	Média de 775 a 795	765	Houve no equipamento a atualização do seu <i>software</i> que ocasionou na paralisação do mesmo, neste dia.	<i>Software</i>
Junho	Média de 750 a 770	765	Necessitou que o equipamento de RM fosse reabastecimento com hélio líquido.	Troca de componente (outros componentes)
Julho	Média de 765 a 785	765		Sem ocorrência
Agosto	Média de 775 a 795	765		Sem ocorrência
Setembro	Média de 745 a 765	765		Sem ocorrência
Outubro	Média de 770 a 790	765		Sem ocorrência
Novembro	Média de 750 a 770	765		Sem ocorrência
Dezembro	Média de 765 a 785	765		Sem ocorrência

No Quadro 13 nota-se que em fevereiro foi diagnosticado problema referente a refrigeração do equipamento. Após visita técnica constatou-se que o problema foi ocasionado no *Chiller*, no dia 10/02/2017.

No mês de maio, mais precisamente no dia 04/05/2017, o aparelho de RM não operou devido a atualização do seu *software* que ocasionou na paralisação do mesmo apenas neste dia.

Ainda analisando o Quadro 13, constata-se que no dia 29/06/2017 a RM teve que ser reabastecida com o hélio líquido. Entretanto, não se pode afirmar que houve uma queda na quantidade de exames e consequentemente, na disponibilidade do equipamento.

Quadro 14: Quantidade de exames de RM mensais realizados no ano de 2018 referente ao EAS IV, Equipamento IV

Ano – 2018	Quantidade de exames realizados no mês	Previsão de demanda	Histórico de ocorrências do equipamento	Categorias de interrupções no serviço
Janeiro	Média de 775 a 790	765		Sem ocorrência

Continua



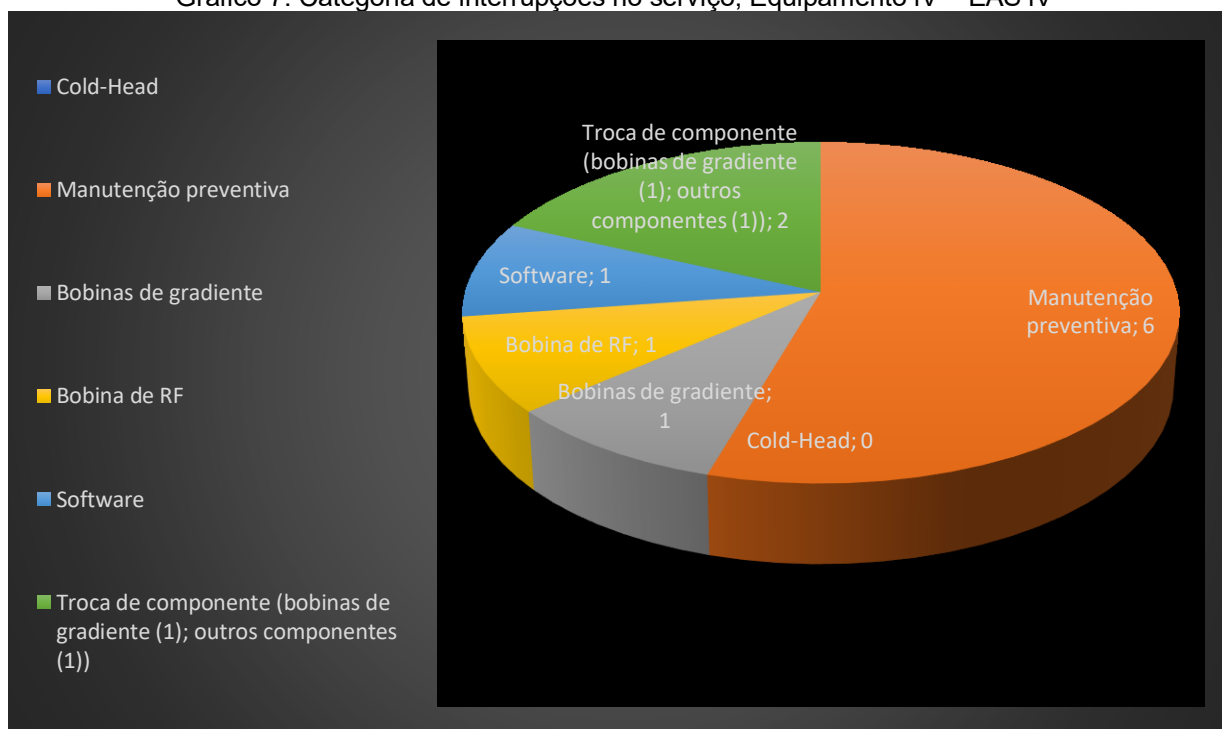
Fevereiro	Média de 700 a 720	765		Sem ocorrência
Março	Média de 765 a 785	765		Sem ocorrência
Abril	Média de 745 a 765	765		Sem ocorrência
Maio	Média de 775 a 795	765		Sem ocorrência
Junho	Média de 765 a 785	765	<p>O equipamento de RM apresentou problema no seu magneto (bobinas), onde a mesma estava apresentando altos níveis de pressão;</p> <p>A RM também apresentou avaria no <i>Quench</i> (duto de escapatória do hélio líquido caso o equipamento venha a perder o campo magnético gerado pelas bobinas). Observação: não foi especificado qual a avaria no <i>Quench</i>.</p>	Bobina; <i>Quench</i>
Agosto	Média de 775 a 795	765		Sem ocorrência

Os últimos dados coletados referentes ao EAS IV, do ano de 2018, o equipamento apresentou problema no seu Quench (duto de escapatória do hélio líquido caso o equipamento venha a perder o campo magnético gerado pelas bobinas) no dia 19/06/2018. Neste mesmo dia ainda, observou-se que a máquina de RM apresentou outro problema, porém, agora com as bobinas que estavam apresentando altas pressões.

É importante ser enfatizado que este equipamento passou por seis manutenções preventivas, entretanto, não se conhece ao certo as datas específicas que estes procedimentos foram realizados e, devido a isto não se pode preencher nas tabelas (categorias de interrupções no serviço).

No Gráfico 7 são apresentadas as principais categorias de interrupções no serviço presentes no equipamento de RM do EAS IV.

Gráfico 7: Categoria de interrupções no serviço, Equipamento IV – EAS IV



Pode notar-se através do Gráfico 7 que o EAS IV obteve interrupções principalmente, quando o mesmo passava por manutenção preventiva, logo, assim como nos EAS II está foi a categoria que em mais vezes ocorreu no equipamento.

Ainda sobre o aparelho de RM do EAS IV, constata-se que as categorias de interrupções no serviço apresentaram poucas ocorrências, quando relacionado com outros equipamentos analisados, fato este é que interrupções como troca de componentes, que em outros EASs mostraram-se ocorrem em maior quantidade, não ocorreram em grandes números no Equipamento IV.

Por não se conhecer ao certo os valores referentes as quantidades de exames realizados, não se pode afirmar que as categorias de interrupções diagnosticadas para este equipamento afetaram a disponibilidade do equipamento. O que se conhece é que este equipamento permaneceu inoperante por 25 dias, isto, entre os períodos analisados, sendo que não há em seus históricos as datas em que estas paralizações ocorreram.

## EQUIPAMENTO V – EAS IV

O Equipamento V do EAS IV é uma Ressonância Magnética de 3T, da Marca C. Não foi passado por parte do EAS qual seria o ano de fabricação do presente

equipamento em análise. Assim como para o Equipamento IV da EAS IV, a quantidade de exames realizados na rotina deste estabelecimento é de aproximadamente 25 a 30 exames ao dia sendo que a mesma trabalha de segunda-feira a sexta-feira das sete horas da manhã até as 23 horas. Aos sábados e domingos o aparelho realiza em torno de 40 exames (para cada dia 20 exames) sendo que para estes dias, o estabelecimento trabalha das 7 horas da manhã até as 19 horas.

Assim como para o Equipamento IV do EAS IV, foi realizado um cálculo de previsão de demanda para o Equipamento V. Sabe-se que EAS realiza em média 25 a 30 exames ao dia, sendo de segunda a sexta feira, isto multiplicado por 22 dias úteis que é a média de dias úteis que há em um mês, têm-se uma quantidade aproximada de 550 a 660 exames. Sabe-se ainda que o EAS realiza uma média de 20 exames aos sábados e 20 aos domingos, totalizando 40 exames em um final de semana, logo, sabendo-se que geralmente em um mês há quatro finais de semanas, a média é de aproximadamente 160 exames ao mês. Portanto, a estimativa da previsão de exames ao mês para este EAS é de aproximadamente 710 a 820, sendo sua média 765 exames ao mês.

No Quadro 15, Quadro 16 e Quadro 17, são transcritos todos os históricos de ocorrências da máquina de RM do EAS IV, conseqüentemente, será redigido as categorias de ocorrência mais relevante.

Quadro 15: Quantidade de exames de RM mensais realizados no ano de 2016 referente ao EAS IV, Equipamento V

Ano – 2016	Quantidade de exames realizados no mês	Previsão de demanda	Histórico de ocorrências do equipamento	Categorias de interrupções no serviço
Janeiro	Média de 700 a 720	765	Foi detectado no equipamento a queima da placa do gradiente	Bobinas de gradiente; Troca de componente (bobinas de gradiente)
Fevereiro	Média de 725 a 745	765		Sem ocorrência
Março	Média de 775 a 795	765		Sem ocorrência
Abril	Média de 725 a 745	765	Novamente foi detectado no equipamento a queima da placa do gradiente	Bobinas de gradiente; Troca de componente (bobinas de gradiente)

Continua

Continuação Quadro 15

Maio	Média de 750 a 770	765		Sem ocorrência
Junho	Média de 725 a 745	765		Sem ocorrência
Julho	Média de 765 a 785	765		Sem ocorrência
Agosto	Média de 775 a 795	765		Sem ocorrência
Setembro	Média de 750 a 770	765		Sem ocorrência
Outubro	Média de 775 a 795	765		Sem ocorrência
Novembro	Média de 750 a 770	765	Houve a necessidade de uma manutenção (não informado qual tipo de manutenção foi feita) no <i>Cold-Head</i> devido à uma avaria.	<i>Cold-Head</i>
Dezembro	Média de 770 a 790	765	A queima da placa do gradiente tornou a ocorrer;  Houve a necessidade de uma manutenção (não informado qual tipo de manutenção foi feita) do <i>Cold-Head</i> .	Bobinas de gradiente; Troca de componente (bobinas de gradiente); <i>Cold-Head</i>

Em janeiro de 2016, o equipamento de RM apresentou problemas, a queima de uma placa da bobina de gradiente fazendo com que a máquina ficasse 18 dias inoperante, sem realizar qualquer tipo de exame. Após a troca da placa, o mesmo problema tornou a ocorrer no dia 03/04/2016 fazendo com que o aparelho ficasse inoperante por mais 46 dias. Logo, nota-se que o Equipamento V ficou inoperante por 64 dias em um período de quatro meses. Após as duas ocorrências descritas as bobinas de gradiente do equipamento tornaram a apresentar problemas, novamente devido a queima de sua placa. Esta ocorrência foi registrada no dia 08/12/2016.

Em novembro ocorreu a queima de uma fonte, entretanto, após análise dos dados obtidos, nos mesmos não se consta a especificidade da fonte. O problema ocorreu no dia 04/11/2016.

No mês de dezembro houve na RM do EAS V a realização de duas manutenções, todavia, não se consta nos dados, assim como para o ano de 2016, qual os tipos de manutenções foram realizados (corretiva, preventiva etc.). Porém, acredita-se por todos os históricos de ocorrências analisados que as manutenções tenham sido do tipo preventiva. As manutenções realizadas no equipamento, foram feitas no *Cold-Head* nas datas dos dias 23/11/2016 e 27/12/2016.

Quadro 16: Quantidade de exames de RM mensais realizados no ano de 2017 referente ao EAS IV, Equipamento V

Ano – 2017	Quantidade de exames realizados no mês	Previsão de demanda	Histórico de ocorrências do equipamento	Categorias de interrupções no serviço
Janeiro	Média de 770 a 790	765		Sem ocorrência
Fevereiro	Média de 700 a 720	765	Foi detectado no equipamento a queima da placa do gradiente.	Bobinas de gradiente; Troca de componente (bobinas de gradiente)
Março	Média de 775 a 795	765		Sem ocorrência
Abril	Média de 740 a 760	765		Sem ocorrência
Maiο	Média de 775 a 795	765	O equipamento apresentou problemas em seu <i>software</i> .	<i>Software</i>
Junho	Média de 750 a 770	765	O equipamento apresentou problemas em seu <i>software</i> ;  Foi detectado no equipamento a queima da placa do gradiente.	<i>Software</i> ; Bobinas de gradiente; Troca de componente (bobinas de gradiente)
Julho	Média de 765 a 785	765	Foi detectado no equipamento a queima da placa do gradiente.	Gradiente; Troca de componente (bobinas de gradiente)
Agosto	Média de 775 a 795	765	Queima do HD do computador.	Troca de componente (computador)
Setembro	Média de 745 a 765	765	Foi detectado no equipamento a queima da placa do gradiente	Gradiente; Troca de componente (bobinas de gradiente)
Outubro	Média de 770 a 790	765		Sem ocorrência
Novembro	Média de 750 a 770	765	Foi detectado no equipamento a queima da placa do gradiente	Gradiente; Troca de componente (bobinas de gradiente)
Dezembro	Média de 765 a 785	765		Sem ocorrência

No Quadro 16 pode-se perceber que em maio de 2017, o equipamento de RM do EAS V apresentou problemas em seu software mais precisamente no dia 20/05/2017, entretanto, não foi passado pelo EAS o tempo em que o aparelho

permaneceu indisponível para realização dos exames. Analisando os dados, no dia 26/06/2017 o aparelho apresentou problema mais uma vez em seu software, não se conhece ao exato se o equipamento já estava inoperante deste o diagnóstico do primeiro problema ocorrido no dia 20/05 ou se o aparelho foi reparado e posteriormente voltou a apresentar problema.

Em agosto foi detectado na RM a queima de um componente do equipamento, logo, após o diagnóstico do problema, viu-se a necessidade da troca do componente

Assim como apresentado no ano de 2016 (Quadro 15), os principais históricos de ocorrências são referentes a categoria de interrupção bobinas de gradiente. O mesmo voltou a apresentar problemas no equipamento no decorrer do ano de 2017, sendo precisamente nos dias nos dias 10/02/2017; 02/06/2017; 28/06/2017; 13/07/2017; 22/09/2017 e 08/11/2017.

Porém, acredita-se fortemente que estas causas tenham acarretado o equipamento a reduzir abruptamente a sua quantidade de exames realizados durante o ano analisado, logo, afetando a disponibilidade do equipamento.

Quadro 17: Quantidade de exames de RM mensais realizados no ano de 2018 referente ao EAS IV, Equipamento V

Ano – 2018	Quantidade de exames realizados no mês	Previsão de demanda	Histórico de ocorrências do equipamento	Categorias de interrupções no serviço
Janeiro	Média de 775 a 790	765		Sem ocorrência
Fevereiro	Média de 700 a 720	765		Sem ocorrência
Março	Média de 765 a 785	765		Sem ocorrência
Abril	Média de 745 a 765	765		Sem ocorrência
Maio	Média de 775 a 795	765		Sem ocorrência
Junho	Média de 765 a 785	765	Queima da placa do gradiente	Gradiente; Troca de componente (bobinas de gradiente)
Agosto	Média de 775 a 795	765	Queima da placa do gradiente	Gradiente; Troca de componente (bobinas de gradiente)

Nos meses de junho e julho do ano de 2018, a RM do EAS IV voltou a apresentar o problema com a bobina de gradiente, sendo novamente a queima da placa do mesmo, atribuída a categoria de interrupção no serviço, como visto no Quadro 17.

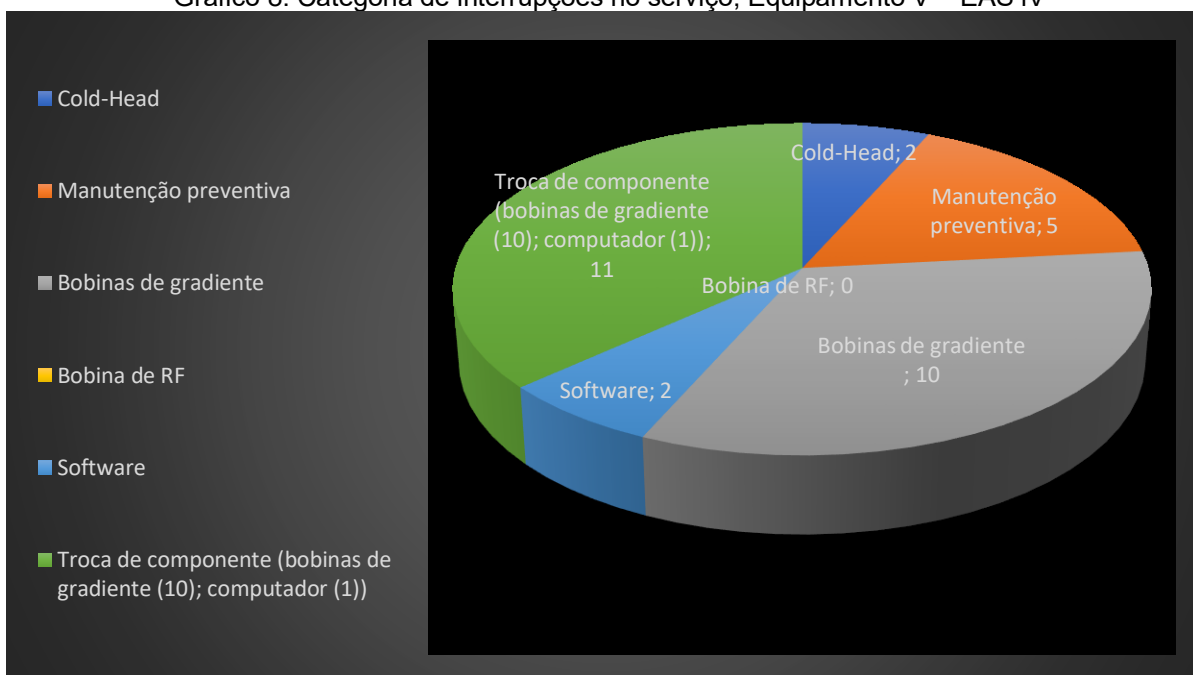
Então pode-se concluir através dos dados analisados, que a RM do EAS IV apresentou 10 problemas relacionados a mesma categoria de interrupção no serviço, acredita-se que queima da placa da bobina de gradiente do equipamento e, conseqüentemente, a troca deste componente, levou o mesmo a uma redução na quantidade de exames realizados, mesmo não se sabendo precisamente a quantidade desses exames.

Devido ao problema descrito, a RM ficou inoperante para utilização durante 116 dias. Portanto, nota-se que para este equipamento em questão, o componente bobinas de gradiente foi a uma das principais razões pela qual o Equipamento V ficou indisponível para realizar sua função. Entretanto, pode-se notar também que houve 11 problemas relacionados a troca de componentes, sendo 10 ocasionados devido a queima de bobinas de gradiente do equipamento.

Através dos dados fornecidos pelo EAS em questão, no equipamento foram realizadas uma quantia de cinco manutenção preventiva, sendo que não se conhece os períodos específicos em que estas manutenções teriam ocorridos.

Assim como o Equipamento I analisado, o Equipamento V apresentou um maior número de históricos de ocorrências na categoria de interrupções no serviço bobinas de gradiente.

Gráfico 8: Categoria de interrupções no serviço, Equipamento V – EAS IV



A categoria de interrupção no serviço “troca de componente” teve 11 ocorrências no Equipamento V, no entanto, destas 11 ocorrências dez ocorreram devido à queima da bobina de gradiente do equipamento e uma devido a um problema no computador que opera a máquina.

O EAS V apresentou cinco manutenção preventiva, sendo uma das categorias de interrupções no serviço que mais afetou o equipamento, logo, acredita-se que a manutenção preventiva seja um fator que afeta diretamente todos os aparelhos de ressonância magnética, isto pelo princípio de que todos os equipamentos apresentaram ocorrências nesta categoria de interrupção.

Ainda, nota-se que as categorias de interrupções no serviço *Cold-Head* e *Software* também afetaram o equipamento, sendo duas interrupções para cada categoria.

### 5.1.2 DISCUSSÃO

Tendo como hipótese do estudo a verificação da relação entre disponibilidade dos equipamentos de RM analisados e as ocorrências de manutenções realizadas nas mesmas, notou-se neste estudo que a maior parte das ocorrências nos aparelhos, afetaram diretamente a quantidade de exames realizados. Ainda no estudo, foi

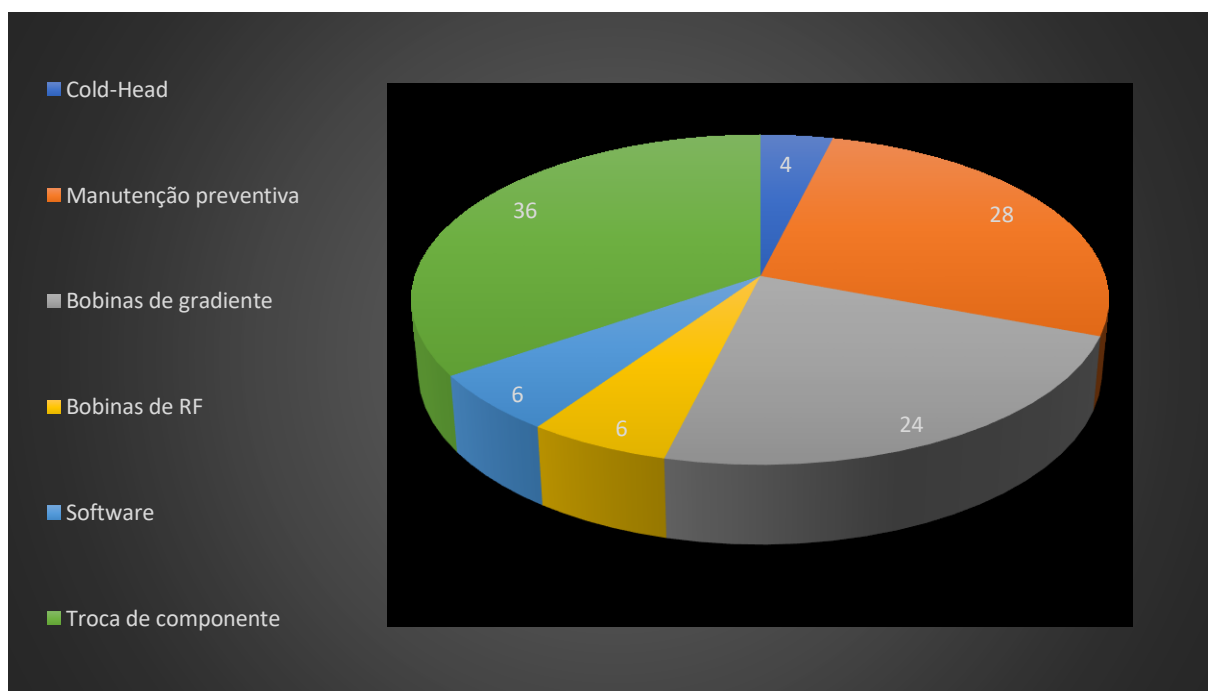


possível verificar através de todos os dados analisados, quais foram as principais categorias de interrupções no serviço.

É importante ser frisado que os fabricantes dos equipamentos de RM indicam que seja feito as manutenções preventivas numa periodicidade de a cada 90 dias, isto para fins do máximo funcionamento dos equipamentos.

No Gráfico 9 pode-se observar que a categoria de interrupções “troca de componente” foi a categoria com o maior número de ocorrências totalizando 36 trocas. Manutenção preventiva consiste na categoria com alto número de ocorrências, consequentemente, afetando a disponibilidade do equipamento com um total de 28 ocorrências para todos os EASs. A categoria de interrupções no serviço bobinas de gradiente do equipamento obteve um total de 24 ocorrências. As categorias bobinas receptores e transmissoras de RF e *Software* obtiveram seis ocorrências cada, seguida por quatro ocorrências relacionadas ao *Cold-Head*.

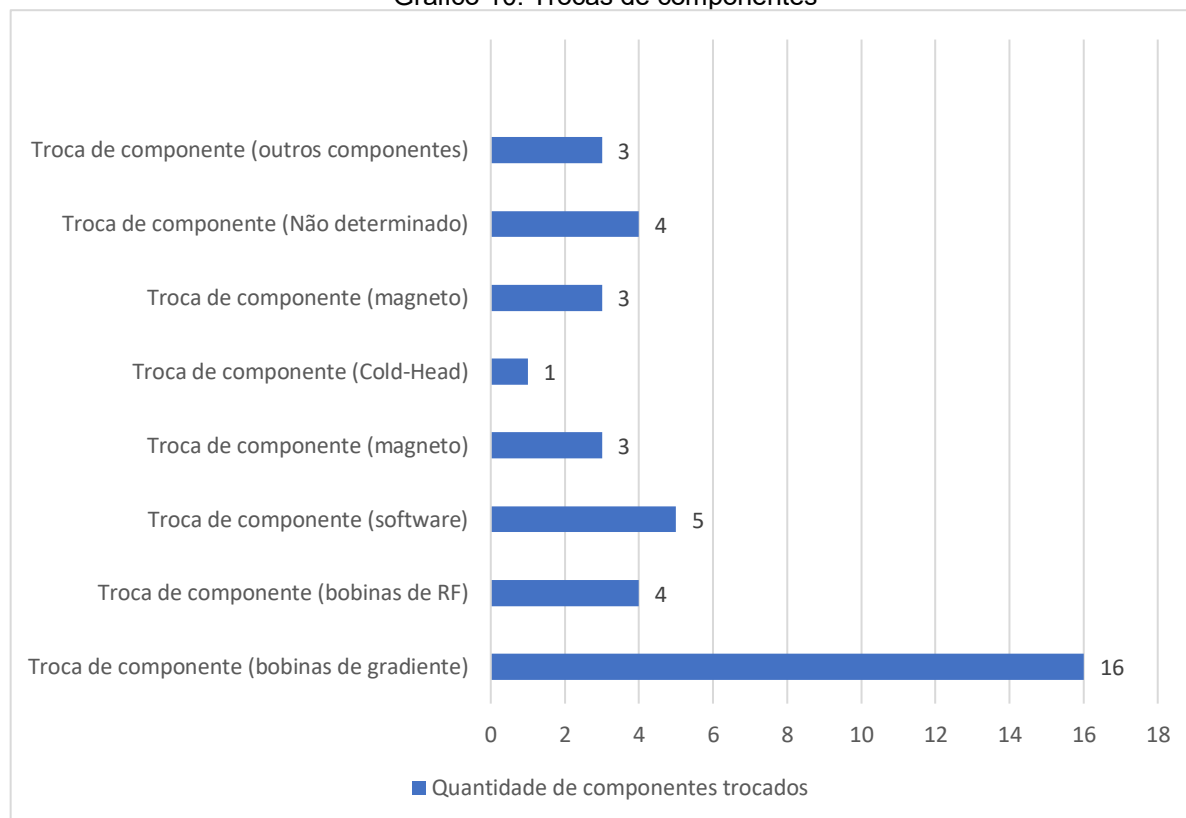
Gráfico 9: Ocorrências totais por categoria de interrupções no serviço



Nota-se que a categoria de interrupção no serviço troca de componente é uma das ocorrências que com maior frequência ocorrem. Entretanto, esta categoria de interrupção no serviço não ocorre em apenas um componente específico, e sim em diferentes locais do equipamento, logo, para melhor visualização e entendimento, está

categoria de interrupção no serviço será dividida a depender do local (componente) que houve a realização de troca.

Gráfico 10: Trocas de componentes



Analisando o Gráfico 10 pode-se constatar que para a categoria de interrupção no serviço troca de componente das bobinas de gradiente é o que com maior frequência apresentou trocas.

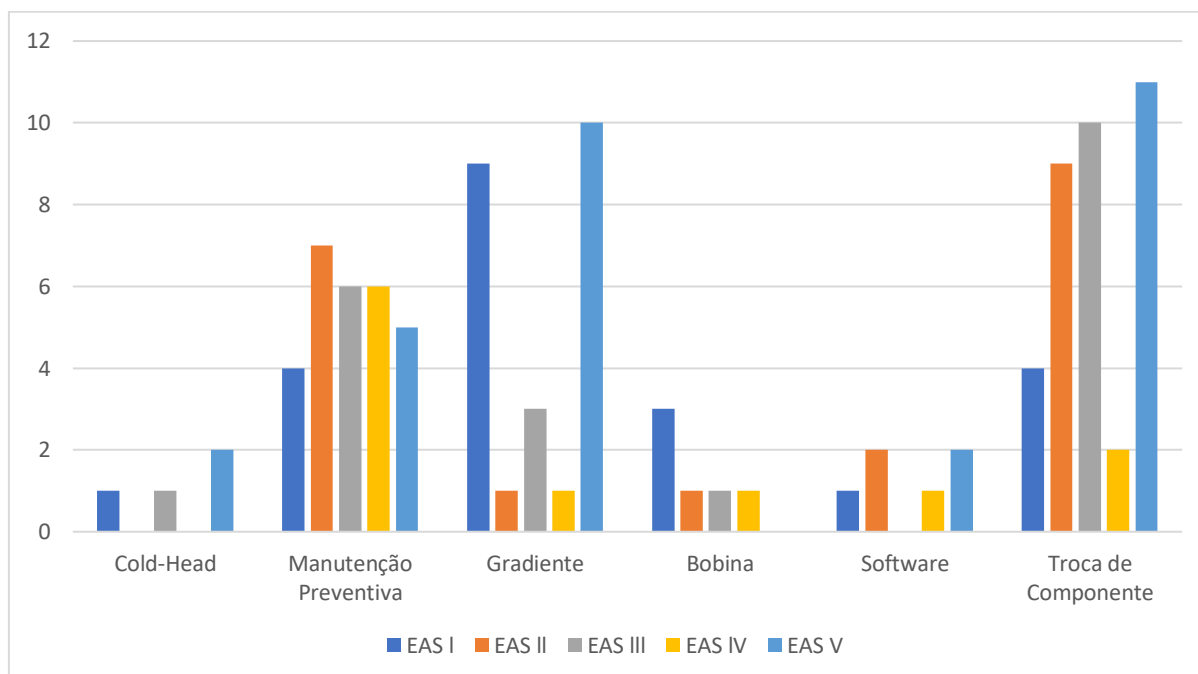
Portanto, acredita-se que a categoria de interrupção no serviço “troca de componente” está diretamente relacionada a manutenção que é dada ao equipamento, pois, para haver a troca, a manutenção deve ocorrer. Sabendo da importância da manutenção preventiva dentro do espoco das manutenções, principalmente com a finalidade de permitir a maximização da disponibilidade de um equipamento [117], com isto, fica a indagação do que seria um tempo aceitável para que a disponibilidade do equipamento não seja afetada diretamente pela MP.

Um estudo feito por [118] estimou o que seria considerado um tempo formidável para uma política empregando manutenção preventiva periódica, sendo que no estudo, são coletados os custos sistemáticos referentes a manutenção preventiva e a chamada manutenção corretiva decorrente de algum tipo de avaria

aleatória, o estudo separa as ocorrências de avarias aleatórias em grupos de características distintas, fazendo com que posteriormente possa-se então classificar as avarias aleatórias a depender da sua causa. Ao fim do estudo percebeu-se que o método é aplicável a qualquer tipo de equipamento, e ainda que os resultados deverão ser obtidos através equipamentos onde a indisponibilidade esteja associada aos custos com reparo.

Em outro estudo [119] redige sobre a hipótese de que o tempo para manutenção, o custo de manutenção e o número de manutenções, aumentam diretamente proporcional a idade do equipamento. Neste estudo foi utilizado indicadores primários por faixa de idade para que se pudesse separar os equipamentos em classes que representam o desempenho esperado. O método utilizado baseia-se na hipótese de que a idade do equipamento é critério importante para o aumento dos indicadores estudados. Ao final do estudo, pode-se observar que a hipótese era verdadeira e ainda que o método pode ser aplicável para grupos distintos de equipamentos.

Gráfico 11: Relação entre as categorias de interrupções no serviço e os EASs estudados



No Gráfico 11 percebe-se que as categorias de interrupção no serviço bobinas de gradiente, manutenção preventiva e troca de componente são as que ocorreram para todos os EASs, sendo, as principais categorias de interrupções que de fato em

que se acredita que afetaram a disponibilidade e, conseqüentemente, a quantidade de exames realizados. As categorias de interrupção no serviço software e bobina (exceto bobinas de gradiente) ocorreram em quatro EASs distintos. A categorias de interrupção que menos vezes ocorreu foi *Cold-Head* afetando três EASs diferentes.

Portanto, a partir dos resultados coletados e analisados, constata-se que para os EASs analisados seria relevante a procura por métodos rápidos e eficazes, principalmente de manutenção preventiva com o intuito de manter os equipamentos o maior tempo possível operando, isto posto, uma maximização na quantidade dos exames por ressonância magnética realizados.

Inicialmente é relevante levantar o estudo de [72] que propõe implementar uma gestão para tomada de decisões eficazes para manutenção de equipamentos médico, para isto, os autores utilizaram como estratégia a prática de *insourcing* ou *outsourcing*. Ao fim do estudo puderam notar que se a prática utilizada for de *outsourcing*, contratos de manutenção devem ser utilizados a depender da gestão empregada pelo EAS.

Entretanto, acredita-se que exista alternativas que faça com que categorias de interrupção no serviço como as bobinas de gradiente e troca de componente afetem menos os equipamentos. Logo, acredita-se fortemente que existem alternativas que possam solucionar o problema que afeta a redução na quantidade de exames, alternativas como:

#### 1) *Outsourcing* ou *Insourcing* do serviço de Ressonância Magnética

A prática da utilização de *insourcing* ou *outsourcing* de manutenção tem vantagens e desvantagens a depender dos recursos utilizados, sejam estes recursos materiais e custos total de atividade. A decisão de *insourcing* ou *outsourcing* da terceirização depende de habilidades internas. Outros critérios são considerados relacionados a equipamentos, hospital e subcontratos (qual tipo de contrato a ser utilizado). Se tratando de contratos, o mesmo geralmente é assinado por mais de um ano e gerido pelo serviço interno (*in-house*) em coordenação com subcontratantes [72].

Um estudo feito por [120] a respeito da terceirização (*outsourcing*) do exame de RM, onde o objetivo da pesquisa era examinar a reação dos pacientes ao serem encaminhadas para as unidades de radiologias privadas, quando os seus encaminhamentos de fator eram para *outsourcing* do exame de RM em hospitais

universitários. Ao fim do estudo, pode-se notar que 91% das pessoas que foram sujeitas ao estudo, ficaram satisfeitos com o nível de atendimento que receberam tanto do hospital universitário, quanto de um departamento de radiologia privado, portanto, constatou-se que o método de *outsourcing* do serviço foi eficaz tanto para hospital público quanto para o privado.

Há razões de porque os EASs devem considerar a prática da utilização da metodologia de *outsourcing*. [75] mostra que a utilização de *outsourcing* tem como razão o desejo de reduzir o número de empregados que contribuem para o aumento da folha de pagamento e, conseqüentemente, contribui para a redução do lucro interno do EAS.

Em [121] foi realizado um estudo que trata da utilização da pratica de *outsourcing* versus a utilização de *insourcing* (*in-house*), o estudo teve como objetivo determinar quais fatores têm uma influência significativa no desempenho da terceirização (*outsourcing* ou *insourcing*) de manutenção de equipamentos médico-assistenciais e determinar se o desempenho das estruturas externas de terceirização difere-se a depender do EAS, ou seja, um EAS privado ou público. Ao fim do estudo o autor pode constatar que em instituições públicas, a utilização de seus funcionários foi mais eficiente do que a utilização das metodologias de *outsourcing*, ou seja, utilizou-se a metodologia de *insourcing*. Logo, o estudo mostra que os gestores de saúde devem reconsiderar a tendência de eliminar a equipe interna (prática de *insourcing*) de manutenção em instituições públicas de saúde, que de fato seria uma outra alternativa (*insourcing*) para o bom desempenho dos EASs do presente estudo.

Portanto, é interessante para os EASs a prática da utilização de *outsourcing* em seus estabelecimentos, não descartando também a depender do EAS a metodologia *insourcing*, visando a maximização da quantidade dos seus exames e a satisfação por parte de seus pacientes.

## 2) *Outsourcing* da manutenção do serviço de ressonância magnética através de contratos de manutenção

Além da utilização do método de *outsourcing* ou ainda, *insourcing*, na prestação de serviços para ressonância magnética, existem contratos que podem ser utilizados na manutenção da prestação de serviços do equipamento.

Em [70] mostra-se que a depender do tipo de contrato utilizado na manutenção, seu valor será diretamente proporcional a quantidade de exigências contidas nele, e ainda que os pontos-chaves de um contrato são as exigências que neste são contidos. Logo, quando um contrato de manutenção é realizado, o EAS deve certificar-se das exigências que serão atribuídas ao contrato.

O estudo de [122] descreve como o processo de inovação de equipamentos médico-assistenciais pode contribuir para a melhoria da aquisição do mesmo, para que isto ocorra, foi realizado no estudo, um modelo de uma contratação de prestação de serviços de manutenção de equipamentos médico-assistenciais com a utilização de contrato com aquisição de peças por demanda no lugar de contrato com cobertura total de peças. O resultado do trabalho mostra que o processo de uma metodologia de contratação de prestação de serviços de manutenção por contrato com aquisição de peças por demanda, pode ser demorado e longo, porém, com a obtenção de resultados relevantes apenas futuramente.

A prática de uma boa gestão, voltada ao gerenciamento de equipamentos médico-assistenciais é relevante para um EAS. [123] realiza um estudo de verificação se existe influência de gerenciamento de equipamentos médico-assistenciais para um EAS. Após a análise dos dados, o mesmo pode observar que a influência da contratação de um serviço terceirizado para manutenção dos seus equipamentos, é de fato importante e ainda, ajudou a ampliar a gestão de gerenciamento do EAS.

Logo, acredita-se que a prática da utilização do método de contrato de manutenção para o serviço de ressonância magnética pode ser uma boa alternativa para o melhor gerenciamento de um EAS e, conseqüentemente, uma maior disponibilidade dos equipamentos, juntamente com uma maximização na quantidade dos seus exames.

### 3) Eficácia da Manutenção Preventiva

Acredita-se fortemente que a utilização de Manutenção Preventiva (MP) eficiente é uma alternativa para sanar os problemas a respeito da redução da quantidade de exames.

A gestão da manutenção em equipamentos hospitalares tem se mostrado primordiais para os EASs. [124] elabora um estudo de caso com o objetivo de solucionar as principais causas que levam as frequentes quebras dos equipamentos

hospitalares e ainda trazer formas para solucionar estes problemas. No trabalho um dos métodos utilizado pelo autor foi a execução de MP. Em seus resultados foi possível observar que com a prática da utilização da MP reduziu a frequência da quebra dos equipamentos médico-assistenciais, além de agregar ao EAS um aumento da confiabilidade no equipamento.

Segundo [125] a MP é um trabalho cujo objetivo é prevenir desgastes ou avarias de um equipamento, através de planejamentos pré-determinados. Ainda em seu trabalho, o autor cita que a MP colabora para minimizar prejuízos, reduzir tempo de indisponibilidade do equipamento, reduzir custos com substituições, além da colaboração com a prolongação da vida útil do aparelho.

Outro estudo, realizado por [126] sobre gestão da manutenção preventiva para uma empresa, com o objetivo de analisar a eficácia dos métodos de manutenção. O autor ao fim do seu estudo, percebeu que através da prática da MP a empresa apresentava baixos índices de falhas e paradas, além de uma maior lucratividade por parte da empresa devido ao desempenho apresentado pela mesma de acordo com a utilização da manutenção preventiva, ou seja, notou-se que a prática da MP traz a empresa um custo benefício alto.

É importante frisar ainda que, no estudo de [127] referente a práticas médico-assistenciais a utilização de manutenções se prima pela disponibilidade dos equipamentos que no ambiente hospitalar se encontra, logo, a prática por MP apresentam-se viáveis quando tratado de gestão de manutenção.

## **5.2 ANÁLISE DE CUSTOS COM O EQUIPAMENTO DE RM PARA O EAS I**

Neste tópico serão analisados os dados relativos aos custos com operação do equipamento de RM, juntamente com os custos com manutenção que existem no EAS I.

É importante frisar que os dados analisados são referentes após o término da garantia do equipamento, sendo os dados de abril de 2017 a dezembro de 2018. Juntamente aos dados de operação e manutenção do aparelho, serão analisados os dados referentes aos valores pagos ao EAS I pelo SUS pela realização dos exames de RM. Após a análise destes dados, serão discutidos os dados, ou seja, será verificado se o EAS I perde dinheiro ou lucra com a prestação de serviço com RM e,

consequentemente, a discussão de possíveis métodos para amenizar, reduzir o problema.

Para melhor entendimento e compreensão serão analisados separadamente os dados referentes ao EAS I, ou seja, inicialmente irão ser analisados os valores referentes aos custos com operação do equipamento, após a análise destes dados, serão analisados são valores referentes aos custos com a manutenções do aparelho do EAS I, e por conseguinte, os valores pagos pelo SUS ao EAS I pela prestação de serviços referentes ao exame de ressonância magnética.

### 5.2.1 CUSTOS COM OPERAÇÃO DO EQUIPAMENTO DE RM DO EAS I

Nesta Seção será analisado todos os dados recebidos do EAS I, dados referentes aos custos de operação que o mesmo teve, com o aparelho de RM.

É relevante enfatizar que os dados obtidos pelos setores, são relativos aos históricos de ocorrências dos anos de 2017 e 2018. Os dados obtidos são referentes a valores com gastos e receitas com o equipamento de RM do EAS I.

O equipamento de Ressonância Magnética do EAS I, tinha a garantia do mesmo até o mês 04 de 2017, a partir de onde o equipamento saiu de sua garantia, e totalizou R\$ 28.780,00 com gastos de mão de obra, R\$ 376.264,92 com gastos de peças para o aparelho. O equipamento ainda apresenta uma previsão de gasto de R\$ 11.320,00 referente a visita técnica para troca de um módulo de gradiente, ou seja, apenas com mão de obra, e R\$ 164.378,42 da peça, portanto, o custo total com operação para a máquina desde o término do contrato de manutenção é de R\$ 580.743,34. O Quadro 18 traz os gastos descritos.

Quadro 18: Gastos com operação do equipamento de RM

<b>TÍTULO</b>	<b>REALIZADO</b>
GASTOS COM MÃO DE OBRA	R\$ 28.780,00
GASTOS DE PEÇAS	R\$ 376.264,92
VISITAS TÉCNICA	R\$ 11.320, 00
TROCA DE MÓDULO DE GRADIENTE	R\$ 164.378,42
<b>GASTO TOTAL (de 04 de 2017 a 12 de 2018)</b>	<b>R\$ 580.743,34</b>

Fonte: Setor I do EAS I

Por conseguinte, os valores até o presente momento gastos com o equipamento ultrapassaram meio milhão de reais, sendo ainda que estes valores são



apenas com custos de operação, que envolve: insumos para que haja a produção, valores pagos às visitas técnicas, despesas com viagens, hospedagens, entre outros.

### 5.2.2 CUSTOS COM MANUTENÇÃO DO EQUIPAMENTO DE RM DO EAS I

No Quadro 19, serão apresentados todos os gastos com o EAS I com custos de manutenção relacionados ao equipamento de RM para o ano de 2017.

Quadro 19: Gastos com manutenção na Ressonância Magnética no ano de 2017

TÍTULO	REALIZADO
DESPESAS PESSOAL (função)	R\$ 280.014,28
SALÁRIOS	R\$ 156.828,18
ADICIONAIS	R\$ 35.860,52
FÉRIAS	R\$ 21.409,86
13º SALÁRIO	R\$ 16.057,39
ENCARGOS FOLHA	R\$ 20.714,04
BENEFÍCIOS ALIMENTAÇÃO	R\$ 19.020,00
PLANTÕES	R\$ 0
DIVERSOS PJ	R\$ 9.344,30
DESPESAS MATERIAIS (função)	R\$ 50.684,65
MATERIAL HOSPITALAR PADRONIZADO	R\$ 7.923,36
ESCRITÓRIO	R\$ 327,91
PROCESSO DE DADOS	R\$ 462,60
HOSPITALAR	R\$ 6.322,50
REAGENTES LABORATÓRIO	R\$ 1,75
LIMPEZA	R\$ 175,19
CONSUMO GERAL	R\$ 20,34
IMPRESSOS	R\$ 156,04
COPA E COZINHA	R\$ 457,03
MATERIAL MEDICAMENTO PADRONIZADO	R\$ 21.467,01
MATERIAL NÃO-PADRONIZADO	R\$ 21.294,28
MEDICAMENTO NP	R\$ 3.335,20
HOSPITALAR NP	R\$ 204,91
MANUTENÇÃO MOVEIS E EQUIPAMENTO NP	R\$ 17.754,14
<b>GASTOS TOTAIS (ANO 2018)</b>	<b>R\$ 690.615,51</b>

Fonte: Setor II do EAS I

Todos os gastos citados no Quadro 19, são referentes ao equipamento analisando, sendo de abril a dezembro do ano de 2017. Consta-se os valores referentes a gastos que a Fundação teve com a manutenção do equipamento de RM direta ou indiretamente. Percebe-se que os valores gastos pelo EAS I com o aparelho, mesmo que não diretamente referente ao equipamento, chegam aos aproximados R\$ 700.000,00.

No Quadro 20, serão apresentados todos os gastos com o EAS I com custos de manutenção relacionados ao equipamento de RM para o ano de 2018.

Quadro 20: Gastos com manutenção na Ressonância Magnética no ano de 2018

<b>TÍTULO</b>	<b>REALIZADO</b>
DESPESAS PESSOAL (função)	R\$ 273.538,86
SALÁRIOS	R\$ 153.117,95
ADICIONAIS	R\$ 41.673,39
FÉRIAS	R\$ 21.721,26
13º SALÁRIO	R\$ 16.290,95
ENCARGOS FOLHA	R\$ 21.015,32
BENEFÍCIOS ALIMENTAÇÃO	R\$ 19.020,00
PLANTÕES	R\$ 700,00
DIVERSOS PJ	R\$ 0
DESPESAS MATERIAIS (função)	R\$ 164.626,27
MATERIAL HOSPITALAR PADRONIZADO	R\$ 13.088,84
ESCRITÓRIO	R\$ 337,33
PROCESSO DE DADOS	R\$ 224,59
HOSPITALAR	R\$ 11.406,90
REAGENTES LABORATÓRIO	R\$ 8,76
LIMPEZA	R\$ 317,59
CONSUMO GERAL	R\$ 160,47
IMPRESSOS	R\$ 169,96
COPA E COZINHA	R\$ 463,25
MATERIAL MEDICAMENTO PADRONIZADO	R\$ 34.343,62
MATERIAL NÃO-PADRONIZADO	R\$ 117.193,81
MEDICAMENTO NP	R\$ 159,51
HOSPITALAR NP	R\$ 5.742,50
MANUTENÇÃO MOVEIS E EQUIPAMENTO NP	R\$ 111.291,80
<b>GASTOS TOTAIS (ANO 2018)</b>	<b>R\$ 1.006.486,26</b>

Fonte: Setor II do EAS I

Nota-se que os valores são referentes aos gastos que a Fundação teve com a máquina direta ou indiretamente. Consta-se que os valores gastos pelo EAS I referente ao equipamento de RM ultrapassam o um milhão de reais, lembrando que estes dados são referentes apenas ao ano de 2018.

Somando os valores de custos com manutenção do EAS I, desde o término da garantia do equipamento de RM (abril de 2017), chegam ao valor de R\$ 1.697.101,77. Após a somatória dos valores referentes aos custos com manutenção do aparelho, serão tratados os valores que o SUS paga ao EAS I pela realização de cada exame de RM, isto para que posteriormente, possa-se analisar se para o EAS I é viável a prestação do serviço de imagem por ressonância magnética.

### 5.2.3 VALOR MONETÁRIO PAGO AO EAS I PELO SISTEMA ÚNICO DE SAÚDE (SUS)

Os dados contidos no Quadro 21, são referentes aos valores que o SUS paga ao EAS I. Os dados foram obtidos através do setor de estatística do EAS I.

É importante frisar que se tratando de RM, existe para o exame diferentes regiões do corpo na qual pode ser realizado o exame. No Quadro 21 é contido todos os tipos de exames de RM existentes no EAS I e que são pagos pelo SUS ao mesmo.

Quadro 21: Valores por exame pagos pelo SUS

NOME DO EXAME	VALOR PAGO PELO SUS
ANGIORESSONÂNCIA CEREBRAL	R\$ 268,75
RM DE ARTICULAÇÃO TEMPOROMANDIBULAR (BILATERAL)	R\$ 268,75
RM DE COLUNA CERVICAL/PESCOÇO	R\$ 268,75
RM DE COLUNA LOMBO-SACRA	R\$ 268,75
RM DE COLUNA TORÁCICA	R\$ 268,75
RM DE CRÂNIO	R\$ 268,75
RM DE SELA TÚRCICA	R\$ 268,75
RM DE CORAÇÃO / AORTA	R\$ 361,25
RM DE MEMBRO SUPERIOR (UNILATERAL)	R\$ 268,75
RM DE TÓRAX	R\$ 268,75
RM DE ABDÔMEN SUPERIOR	R\$ 268,75
RM DE BACIA / Pelve / ABDÔMEN INFERIOR	R\$ 268,75
RM DE MEMBRO INFERIOR (UNILATERAL)	R\$ 268,75
RM DE VIAS BILIARES / COLANGIORESSONÂNCIA	R\$ 268,75

Fonte: Setor II do EAS I

Percebe-se que com exceção da ressonância magnética de coração, todos os demais valores relacionados ao Quadro 21 são análogos. Há, porém, apenas distinção no valor referente a RM de coração, sendo de R\$ 361,25 enquanto para os demais exames de RM, o valor é de R\$ 268,75.

No Quadro 22 são transcritos todos os exames de RM realizados pelo EAS I, sendo que, são mostrados os tipos de exames, a quantidade de exames que foram realizados por cada tipo de exame e os valores que foram pagos pelo SUS ao EAS I. Os dados são de abril a dezembro de 2017.

Quadro 22: Quantidade de exames realizado com o respectivo valor pago pelo SUS no ano de 2017

NOME DO EXAME	VALOR PAGO PELO SUS	QUANTIDADE DE EXAMES REALIZADOS	VALOR TOTAL
ANGIORESSONÂNCIA CEREBRAL	R\$ 268,75	6	R\$ 1.612,50
RM DE ARTICULAÇÃO TEMPORO-MANDIBULAR (BILATERAL)	R\$ 268,75	3	R\$ 806,25
RM DE COLUNA CERVICAL/PESCOÇO	R\$ 268,75	39	R\$ 10.481,25
RM DE COLUNA LOMBO-SACRA	R\$ 268,75	76	R\$ 20.425,00
RM DE COLUNA TORÁCICA	R\$ 268,75	12	R\$ 3.225,00
RM DE CRÂNIO	R\$ 268,75	120	R\$ 32.250,00
RM DE SELA TÚRCICA	R\$ 268,75	27	R\$ 7.256,25
RM DE CORAÇÃO	R\$ 361,25	0	R\$ 0
RM DE MEMBRO SUPERIOR (UNILATERAL)	R\$ 268,75	50	R\$ 13.437,50
RM DE TÓRAX	R\$ 268,75	0	R\$ 0
RM DE ABDÔMEN SUPERIOR	R\$ 268,75	58	R\$ 15.587,50
RM DE BACIA / PELVE / ABDÔMEN INFERIOR	R\$ 268,75	91	R\$ 24.456,25
RM DE MEMBRO INFERIOR (UNILATERAL)	R\$ 268,75	112	R\$ 30.100,00
RM DE VIAS BILIARES / COLANGIORESSONÂNCIA	R\$ 268,75	27	R\$ 7.256,25
		<b>TOTAL: 621</b>	<b>TOTAL: R\$166.896,75</b>

Fonte: Setor III do EAS I

Nota-se que o exame de ressonância magnética de coração é o exame com maior valor financeiro, no EAS I, entretanto, não ocorreu nenhum exame de RM de coração. Após entrar em contato com o EAS I, obteve-se a resposta de que foi realizado exames de RM de coração, porém, os funcionários não souberam responder o motivo de não haver nos dados os valores e quantidades de ocorrências.

Pode ser observado, que os valores pagos pelo SUS ao EAS I no ano de 2017 chegam ao valor de R\$ 166.896,75, entretanto, nota-se ainda que existe uma grande procura pelos exames ressonância magnética de crânio e membro inferior, sendo 120 e 112 a quantidade de exames.

No Quadro 23 mostra-se a quantidade de exames realizados na máquina de RM no período de janeiro de 2018 a dezembro de 2018, ainda no gráfico, constata-se os valores que são pagos pelo SUS ao EAS I, juntamente com a

quantidade de exames realizados no ano de 2018 e, a soma total dos valores financeiros da realização dos exames de RM por cada tipo de exame.

Quadro 23: Quantidade de exames realizado com o respectivo valor pago pelo SUS no ano de 2018

NOME DO EXAME	VALOR PAGO PELO SUS	QUANTIDADE DE EXAMES REALIZADOS	VALOR TOTAL
ANGIORESSONÂNCIA CEREBRAL	R\$ 268,75	11	R\$ 2.956,25
RM DE ARTICULAÇÃO TEMPORO-MANDIBULAR (BILATERAL)	R\$ 268,75	6	R\$ 1.612,50
RM DE COLUNA CERVICAL/PESCOÇO	R\$ 268,75	128	R\$ 34.400,00
RM DE COLUNA LOMBO-SACRA	R\$ 268,75	140	R\$ 37.625,00
RM DE COLUNA TORÁCICA	R\$ 268,75	56	R\$ 15.050,00
RM DE CRÂNIO	R\$ 268,75	215	R\$ 57.781,25
RM DE SELA TÚRCICA	R\$ 268,75	26	R\$ 6.987,50
RM DE MEMBRO SUPERIOR (UNILATERAL)	R\$ 268,75	150	R\$ 40.312,5
RM DE TÓRAX	R\$ 268,75	20	R\$ 5.375,00
RM DE ABDÔMEN SUPERIOR	R\$ 268,75	117	R\$ 31.443,75
RM DE BACIA / PELVE / ABDÔMEN INFERIOR	R\$ 268,75	195	R\$ 52.406,25
RM DE MEMBRO INFERIOR (UNILATERAL)	R\$ 268,75	215	R\$ 57.781,25
RM DE VIAS BILIARES / COLANGIORESSONÂNCIA	R\$ 268,75	54	R\$ 14.512,50
		Total de exames: 1.333	Valor total: R\$ 358.243,75

Fonte: Setor III do EAS I

Por meio dos dados é possível verificar que os valores pagos pelo SUS ao EAS I, chegam aos R\$ 358.243,75, sendo perceptível ainda notar que, assim como para o Quadro 22 e Quadro 23 obteve-se uma maior procura pelos exames de RM de crânio e membro inferiores, sendo 215 exames realizados durante o ano de 2018 para cada diferente exame.

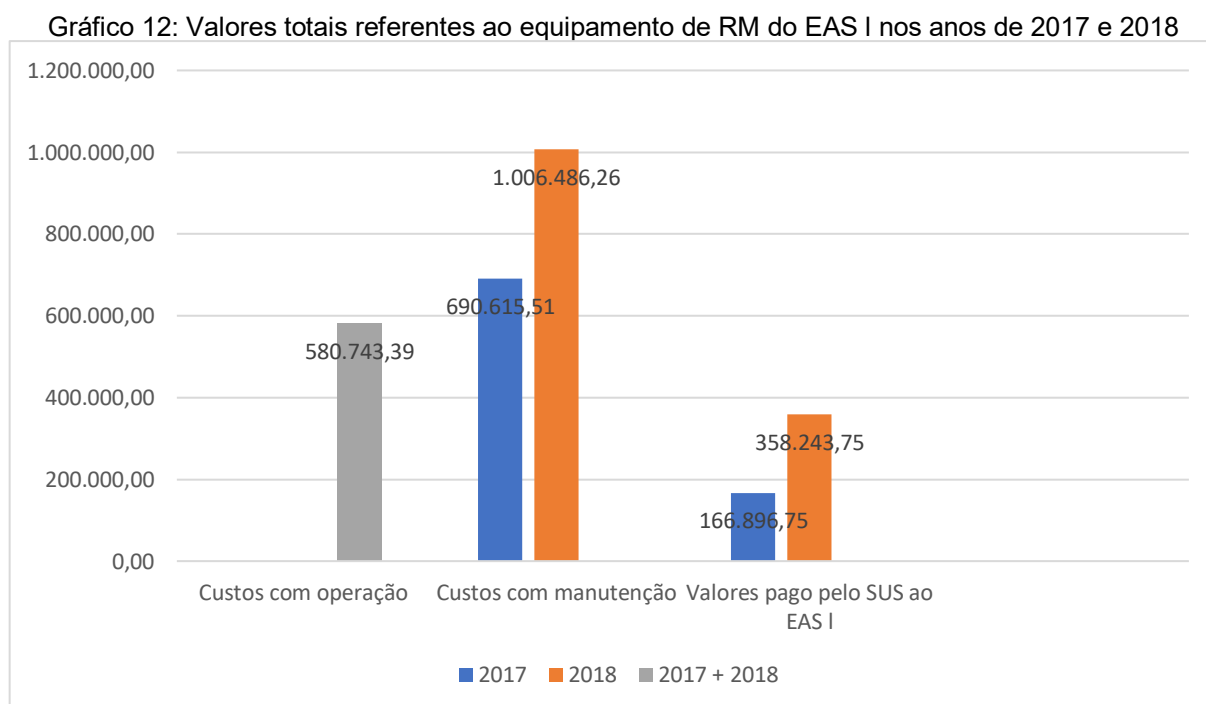
Após a realização da soma dos anos de 2017 e 2018, pode-se chegar ao valor de R\$ 525.140,50, sendo estes os valores que foram pagos pelo SUS ao EAS I para a realização dos distintos exames de RM.

#### 5.2.4 DISCUSSÃO

Tendo como hipótese do estudo a verificação dos custos do equipamento de RM do EAS I com operação e manutenção, após o término da garantia do

equipamento, e a análise da viabilidade da prestação do serviço de RM, serão discutidos os resultados obtidos, juntamente a opções para solucionar o problema.

Para que haja um melhor entendimento, no Gráfico 12 serão representados os valores totais relacionados aos custos com operações e aos custos com manutenções, e por conseguinte, os valores totais que foram pagos pelo SUS ao EAS I nos anos de 2017 (a partir de abril) e 2018.

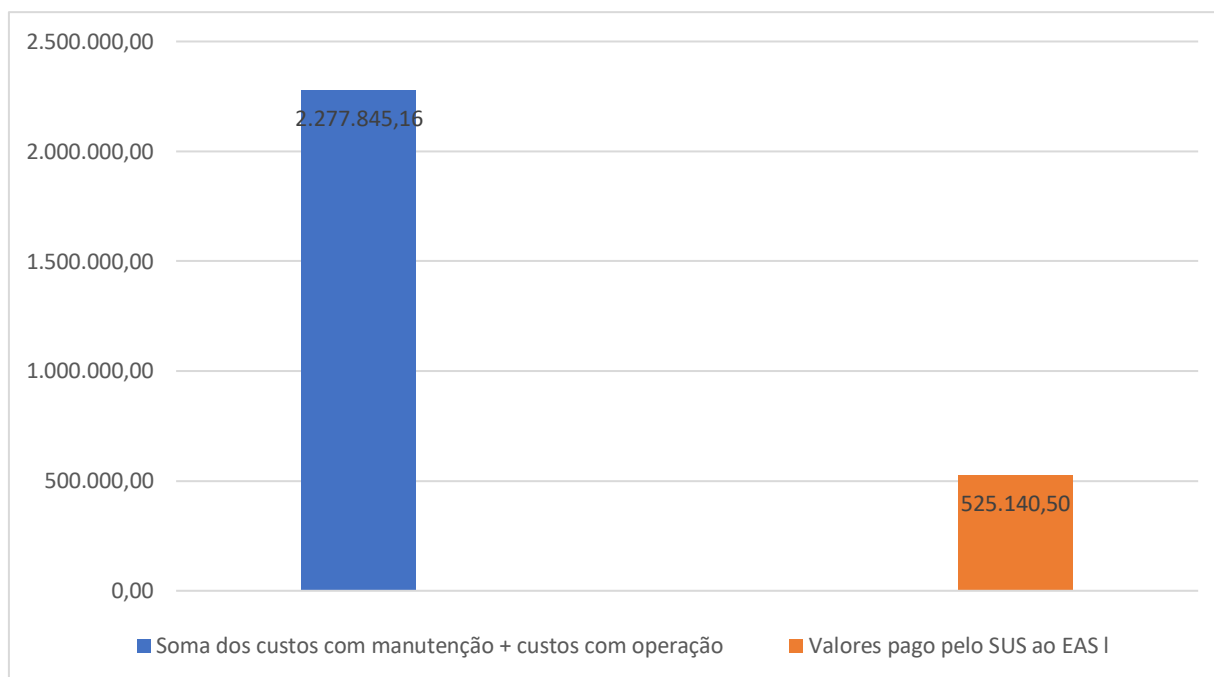


No Gráfico 12, os dados de custos com manutenção e valores pago pelo SUS ao EAS I, estão separados em períodos (2017 e 2018), já os dados referentes aos custos de operação, não foi possível realizar o mesmo método, pois, os mesmos não tinham os períodos em que ocorreram, logo, o que se sabe através dos dados e através de informação do EAS I, é que os valores dos dados de custos com operação estão agrupados para o ano de 2017 e 2018.

Pode-se observar através do mesmo gráfico, que os valores referentes aos custos de manutenção no ano 2018 ultrapassaram um milhão de reais. Portanto, constata-se que os valores de custos do EAS I quando comparados aos valores que são pagos ao EAS I pelo SUS nos anos de 2017 e 2018, não cobrem as despesas referente ao equipamento, sendo então, um déficit ao EAS.

No Gráfico 13 para melhor ilustrar, mostra-se os valores dos custos com operação mais custos com manutenções, estes comparados com os valores pagos pelo SUS ao EAS.

Gráfico 13: Custos totais de operação mais manutenção, comparados com os valores pago pelo SUS, nos anos de 2017 e 2018



No Gráfico 13 nota-se que os dados referentes aos valores pago pelo SUS ao EAS I são mais que quatro vezes os valores da soma dos custos com manutenção mais custos com operação, constatando que para o equipamento de RM do EAS I há valores de despesas superiores, quando comparado as receitas.

O trabalho traz como hipótese se é viável a prestação do serviço do exame de ressonância magnética para o EAS I, tendo como propósito os valores de despesas e receitas do mesmo.

Um estudo realizado por [128] cujo objetivo foi mensurar os custos que seriam agregados a atividade do hospital com a aquisição de um equipamento de RM, para isto, buscou-se analisar qual deveria ser a produção do hospital para cobrir os custos com o aparelho. Os autores mostraram que a implantação do equipamento de RM pode ser não viável se o mesmo, não atingir um ponto de equilíbrio, ou seja, em termos de quantidade de exames realizados por mês.

Logo, acredita-se que para o EAS I a quantidade de exames realizados ao mês é relevante para que haja no EAS I uma receita aproximadamente equilibrada aos valores de despesas, o que de fato não ocorre para o EAS I pois existe um déficit de mais de quatro vezes os valores de receita, portanto, os custos envolvendo o equipamento, seja em despesa ou em receita, estão diretamente relacionados a disponibilidade do equipamento, ou seja, a quantidade de exames que o mesmo realiza.

O estudo realizado por [33] é centrado nos elevados custos para obtenção de um equipamento de RM, analisando se para o EAS existem benefícios na aquisição de um equipamento, quando comparado aos custos que o mesmo gera, além disto, fez-se uma análise se existe demanda para realização do serviço de maneira que possa se evitar perda de capital, principalmente em EASs públicos.

Em outro estudo [32] avalia os custos e gastos envolvendo manutenções de equipamentos médico-assistenciais de um EAS, ainda neste trabalho foi possível fazer um levantamento do mapeamento de todos os equipamentos que no estabelecimento operavam, além disso estes equipamentos foram agrupados em famílias e a busca também em regiões metropolitanas. Ao fim do estudo após realização do cálculo de custo de manutenção, observou-se que equipamentos de diagnóstico por imagem tornam a assistência técnica de alto custo, quando comparado a outros equipamentos.

Gasto pode ser entendido como um termo genérico que representa tanto despesa como um custo [129]. Logo, [130] executa um trabalho de composição dos gastos que ocorrem em um procedimento de RM, portanto, o objetivo do trabalho foi elaborar um relatório de custos de um equipamento de RM, seja com custos diretos ou indiretos. Ao fim do trabalho percebeu-se que por se tratar de um EAS público, os valores pagos pelo SUS não cobriam todos os custos envolvidos, ou seja, solvia-se apenas custos referentes a procedimentos do exame.

Em um estudo realizado por [131] é feita a análise da influência tecnológica sobre a formação do custo do serviço de um equipamento de RM, no estudo foi verificado como a utilização da tecnologia pode influenciar na formação do custo da prestação de um serviço hospitalar, o estudo foi aplicado sob dois hospitais. Ao fim do estudo constatou-se que variáveis como manutenções no equipamento de RM, afetaram ambos os hospitais, comprovando a influência tecnológica na formação dos custos.



Na literatura trabalhos como o de [132] onde o autor realiza um estudo sobre os custos associados a aquisição de equipamentos são de grande relevância para o presente estudo, além disso, são relevantes para a totalização dos custos, os valores referentes a uso do equipamento e manutenções que são realizadas nas mesmas. As principais relevâncias levantadas dos equipamentos foram: custos com mão de obra, suprimentos operacionais, tempo de inatividade e espaço entre as manutenções, as pendências desses custos para a demanda esperada, o número de dispositivos e horários de funcionamento. Ao fim do estudo o autor chegou a conclusão de que existe uma máximo de horas que o EAS deve estar em funcionamento, segundo deve existir uma solução para atender a demanda esperada de pacientes, e por fim determina que um dispositivo só deve ser retirado do EAS em caso de depreciação.

Em outro estudo realizado por [133] foi realizado de maneira a calcular os chamados custos totais de prestação de serviços de saúde em uma referência, um distrito e um EAS de Gana. Para isto, foram utilizadas ferramentas padrão de análise de custos e de descobertas de custos recomendados pela OMS (Organização Mundial de Saúde). Os custos foram calculados levando em consideração despesas não monetárias e alocando custos indiretos, centros intermediários e finais de atendimento ao paciente. Ao fim do estudo os autores puderam constatar que despesas como salários de funcionários são os principais componentes de custos. Além disso, custos indiretos constituem importantes parte dos custos hospitalares.

Com o objetivo de analisar os custos com procedimentos de RM e Tomografia Computadorizada [134] realizou um trabalho incluindo ainda os custos com componentes que estão envolvidos nos exames. Em suas conclusões os autores notaram que os valores envolvendo RM ultrapassavam os U\$1.000,00 com a utilização de contraste, trazendo significativas descobertas para a gestão do EAS em termos de financiamentos e os recursos que no mesmo são utilizados.

Serviços de programas de custos são muito importantes para EASs que querem verificar valores econômicos de seus equipamentos. [135] desenvolveu um programa de custos cujo objetivo era determinar a eficácia financeira deste programa. Em seu programa o autor leva em conta a tecnologia e o custo para manter este equipamento. Este programa de custos é calculado através da divisão entre o custo anual total com operação do equipamento (horas em laboratórios, reparos e contratos externos) pelo valor de aquisição do equipamento.

A viabilidade da prestação de serviço de um equipamento de RM de fato é imprescindível para com os ganhos financeiros de um EAS. [136] faz um modelo para estimar como as atividades afetam a lucratividade. Utilizando destes modelos os EASs podem interpretar possíveis estratégias para investigar a viabilidade dos custos envolvendo equipamentos. Com a utilização da classificação das principais ordem de chamadas como por exemplo: ordem de chamada de serviço, localização da ordem de serviço, performasse da manutenção, serviço de manutenção realizado, ordem de serviço concluído. Ao fim do estudo os autores concluíram que a metodologia apresentada é viável para a gestão de manutenção de equipamentos médico-assistenciais.

Levando em considerações estes aspectos, acredita-se fortemente que assim como discutido na Seção 5.1.2, que existem métodos como a prática de *insourcing* ou ainda, *outsourcing* do contrato de manutenção do serviço de ressonância magnética ou *outsourcing* do serviço de ressonância magnética que podem maximizar os resultados para o EAS I.

## 6 CONCLUSÃO

Em vista dos argumentos mencionados, de modo a finalizar o trabalho as seguintes conclusões podem ser descritas:

O presente estudo tem como contribuição, expor as principais ocorrências envolvendo o aparelho de RM, avarias que ocorrem com maior frequência, avarias que afetam a disponibilidade da máquina e traz gastos financeiros ao hospital. Acredita-se que com este estudo, se possa expor alternativas econômicas benéficas, o EAS de estudo poderia então aplicar fundos capitais em outros setores e estar economizando com o equipamento.

A princípio parte do trabalho avaliou as principais ocorrências envolvendo o equipamento de Ressonância Magnética e que afetam sua disponibilidade, uma tarefa relevante para os EASs que trabalham com o equipamento. Considerando os cinco diferentes equipamentos de RM analisados, constatou-se que as interrupções no serviço, principalmente, troca de componente das bobinas de gradiente, manutenções preventivas e as bobinas de gradiente são as principais interrupções no serviço que afetaram a disponibilidade dos aparelhos, reduzindo consequentemente a quantidade de exames realizados.

Posteriormente avaliou-se na outra parte do estudo, os custos referentes ao equipamento de RM do EAS I e por meio dos dados analisados pode-se constatar que existe no EAS I maiores valores com gastos do que valores com receita, constatando-se então que para o EAS I não é viável a prestação do serviço de RM. Acredita-se fortemente que a terceirização do serviço de manutenção da RM ou ainda, a terceirização do serviço do exame são alternativas que podem fazer com que o EAS I tenha uma redução dos valores gastos com o aparelho.

Admite-se que para uma busca minuciosa e detalhada de todos os dados, necessitar-se-ia de um maior intervalo de tempo. Esperava-se pelas análises de dados obter as ocorrências específicas, ou seja, detalhadas dos históricos dos equipamentos, desde uma pequena peça até uma outra maior, isto pois, existem nos equipamentos componentes (peças) internos e externos que a depender da avaria não podem ser trocados individualmente, ou seja, a depender do problema deve ser trocado todo um conjunto de componentes que o engloba, o que dificultou na identificação e classificação das categorias de interrupções no serviço.

A respeito dos dados referentes a custos com o equipamento de RM do EAS I, seria considerável que houvesse uma quantidade maior de amostras (hospitais públicos), para que assim se possa obter uma outra perspectiva de resultados, fazendo com que as entidades públicas possam desfrutar do mesmo e, possam investir em alternativas de gerenciamento.

Seria interessante ainda que a coleta das amostras de dados tivesse um período maior, visto que no presente estudo os valores coletados referentes aos gastos e custos com o EAS I, foram de 2017 e de 2018. Acredita-se que com um período maior, haja uma análise mais criteriosa a respeito da viabilidade da terceirização do serviço ou do equipamento.

Para futuros estudos seria relevante avaliar formas e quantidades ideais de manutenções preventivas, com o propósito de maximizar a disponibilidade do equipamento e, conseqüentemente, a quantidade de exames realizados. Além disso, seria relevante buscar na literatura estudos sobre as bobinas de gradientes que é outro componente que teve uma grande quantidade de ocorrências.

Como possível trabalho futuro, pode-se avaliar também os contratos de serviço de RM e os contratos de manutenção para com a RM de modo a analisar se para os EASs a prestação destes são viáveis, considerando as possíveis ocorrências.

## 7 REFERÊNCIAS

- [1] GALVÃO, Cristine Norwing. Magnetic Resonance Imaging in the Preoperative Evaluation of Breast Cancer Patients. **Radiologia Brasileira**. v.5, n.2, 2017. <https://doi.org/10.1590/0100-3984.2017.50.2e2>
- [2] MERBACH, André; HELM, Lothar; TÓTH, Éva. The Chemistry of Contrast Agents in Medical Magnetic Resonance Imaging. **WILEY**. v.2, p.497, 2013. <https://doi.org/10.1002/9781118503652>
- [3] MADUREIRA, L. C. A.; *et al.* Importância da Imagem por Ressonância Magnética nos Estudos dos Processos Interativos dos Órgãos e Sistemas. **Revista de Ciências Médicas e Biológicas**. v.9, 2010. <https://doi.org/10.9771/cmbio.v9i2.4947>
- [4] KIM, In. *Et al.*; Benefits of Brain Magnetic Resonance Imaging Over Computed Tomography in Children Requiring Emergency Evaluation of Ventriculoperitoneal Shunt Malfunction: Reducing Lifetime Attributable Risk of Cancer. **Pediatric Emergency Care**. 2014. <https://doi.org/10.1097/PEC.0000000000000248>
- [5] ARA, Syeda Arshiya; KATTI, Girish; SHIRREN, Ayesha.; Magnetic Resonance Imaging (MRI) – A Review. **International Journal of Dental Clinics**. v.3, p.65-70, 2011.
- [6] A. F. Souza. Análise da Disponibilidade em Equipamentos de Ressonância Magnética Baseada em Indicadores de Manutenção. In: XXI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA BIOMÉDICA. 2008, Salvador/BA. **Anais. Philips Healthcare**, Rio de Janeiro, 2008.
- [7] SILVA, G. L. **Análise da Relação entre Disponibilidade e Manutenção dos Mamógrafos e Tomógrafos do HCU-UFU**. Trabalho de Conclusão de Curso (Departamento de Engenharia Elétrica – Biomédica). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2015. p.72.

- [8] SANTIAGO, J. S. **Análise das Variáveis que Impactam no Custo do Serviço de Ressonância Magnética nas Entidades Hospitalares: Um Estudo Comparativo nos Hospitais da UnB e da UFRN**. Dissertação (Mestre em Ciências Contábeis). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2007. p.154.
- [9] A. L. Pereira; F. L. Neves. **Gestão da Manutenção**. Curso Técnico, SENAI-CFP “ALVIMAR CARNEIRO DE REZENDE”, Contagem, Minas Gerais.
- [10] J. M. A. Da Costa. **Sistematização da Gestão e do Controlo das Atividades de Manutenção numa Empresa de Válvulas Industriais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal. Setembro, 2016. p.5.
- [11] P. Nancabú. **Procedimento para Manutenção Preventiva na Empresa de Resíduos Sólidos Urbanos do Centro “ERSUC”**. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial). Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal. 2011. p.13 a 23.
- [12] M. A. Costa. **Gestão Estratégica da Manutenção: Uma Oportunidade para Melhorar o Resultado Operacional**. Curso de Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, Minas Gerais, 2013. p.20 a 22.
- [13] FREDRIKSSON. Gustav; LARSSON. Hanna. **Na Analysis of Maintenance Strategies and Development of a Model for Strategy Formulation – A Case Study**. Master of Science Thesis in the master’s degree Programme – Production Engineering. Department of Product and Production Development. Chalmers University of Technology. Goteborg, Sweden. 2012. p.133.
- [14] **MANUTENÇÃO INDUSTRIAL**. Apostila de Manutenção Industrial. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2011. (Apostila).
- [15] PARREIRAS, G. C. V.; Osciloscópio Digital como Ferramenta de Manutenção Preditiva em Equipamentos Móveis de Construção. In: Faculdade Ietec, 2017. **Anais**

**eletrônicos.** Disponível em: < <https://www.ietec.com.br/clipping/2018/01-janeiro/Osciloscopio-Digital-como-ferramenta-de-manutancao-preditiva-em-equipamentos-m%C3%B3veis-de-constru%C3%A7%C3%A3o.pdf>>. Acesso em: 20 de maio de 2019.

[16] GOMES, G. R. S. Revisão de Política de Manutenção de Uma Unidade Fabril com Base em Parâmetros de Confiabilidade e Processo de Poisson. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 19., 2012, Bauru. **Anais eletrônicos.** Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/280239188\\_REVISAO\\_DA\\_POLITICA\\_D\\_E\\_MANUTENCAO\\_DE\\_UMA\\_UNIDADE\\_FABRIL\\_COM\\_BASE\\_EM\\_PARAMETROS\\_DE\\_CONFIABILIDADE\\_E\\_PROCESSO\\_DE\\_POISSON](https://www.researchgate.net/publication/280239188_REVISAO_DA_POLITICA_D_E_MANUTENCAO_DE_UMA_UNIDADE_FABRIL_COM_BASE_EM_PARAMETROS_DE_CONFIABILIDADE_E_PROCESSO_DE_POISSON)>. Acesso em: 20 de maio de 2019.

[17] R. Milje. **Engineering Methodology for Selecting Condition Based Maintenance.** University of Stavanger, Faculty of Science and Technology. Master's Thesis. Norway, Stavanger, 2011. p.9.

[18] British Standards Institution (BSI). **BS EM 13306:2010.** Brussel, 2010. Disponível em: <<http://irma-award.ir/wp-content/uploads/2017/08/BS-EN-13306-2010.pdf>>. Acesso em: 19 de maio de 2019.

[19] T. Nowakowski.; *et al.* Evolution of Technical Systems Maintenance Approaches – Review and a Case Study. **Intelligent Systems in Production Engineering and Maintenance.** v.835, p.161-174, 2018. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-97490-3\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-319-97490-3_16)

[20] Í. S. C. Dias. **Aplicações de Técnicas de Fiabilidade e Gestão de Manutenção numa Linha de Pesquisa de Tratamento de Frigoríficos em Fim de Vida: Caso de Estudo Recielectric.** Dissertação para grau de Mestre. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, setembro, 2015, p.15.

[21] P. S. D. Freire, **A Manutenção Centrada na Confiabilidade (MMC) Aplicada em um Ambiente Organizacional Gerenciado pela Manutenção Produtiva Total (MPT).** Trabalho de Conclusão de Curso. Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, 2012. p.15.

[22] TROJAN, Flavio.; *et al.* **Classificação dos Tipos de Manutenção pelo Método de Análise Multicritério ELECTRE TRI**. Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. Natal, Rio Grande do Norte. 2013.

[23] BASQUES, M. A. **Indicadores de Desempenho em Empresas de Logística de Movimentação de Cargas e Locação de Equipamentos: Um Estudo de Caso**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2003. p.75.

[24] MAURINE A. Otieno. **Corrective Maintenance Practices and Operational Performance of Manufacturing Firms Listed in the Nairobi Securities Exchange**. Dissertação (Mestrado). University of Nairobi – School of Business. Nairobi. Quênia. 2016. p.57.

[25] ALBUQUERQUE DE OLIVEIRA, Marcelo. **Sistema de Gestão da Manutenção Baseada no Grau de Maturidade da Organização no Âmbito da Manutenção**. Tese (Doutoramento em Engenharia Industrial e Sistemas). Escola de Engenharia da Universidade do Minho. Braga, Portugal. 2017. p.255.

[26] SOFIA COELHO COIMBRA, Diana. **A Importância da Manutenção Preventiva e Corretiva na Gestão de Energia em Grandes Edifícios de Serviços (Campus do LNEG Alfragide)**. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente). Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa. Lisboa. Portugal. 2015. p.224.

[27] BRASIL. Ministério da Educação. **Plano de Manutenção Predial Preventiva e Corretiva 2016**. Universidade Federal de São Paulo. UNIFESP – Campus Osasco. Disponível em:  
 <<https://www.unifesp.br/campus/osa2/images/PDF/Infraestrutura/ANEXO%202.pdf>>.  
 Acesso em: 11 setembro 2018.

[28] TIDDENS. Wieger. **Setting Sail Towards Predictive Maintenance. Developing Tools to Conquer Difficulties in the Implementation of Maintenance Analytics**.



Tese de Doutorado. Universidade de Twente. Enschede. The Netherlands. 2018. p.146.

[29] M. L. Peres. **Sistema de Planejamento e Controle de Manutenção Baseado nos Índices de Controle de Processo numa Empresa de Telecomunicações**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Faculdade de Tecnologia. Universidade Federal do Amazonas. Manaus, Brasil. 2011. p.77.

[30] J. C. A. Júnior; R. B. Parra. Predictive and Detective Maintenance: Effective tools in the Management of Aeronautical Products. In: Congress of International Council of the Aeronautical Sciences. 31., setembro de 2018, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: FUMEC University. 2018. p.4.

[31] L. C. R. Morengi. **Proposta de um Sistema Integrado de Monitoramento para Manutenção**. Dissertação (Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos). Universidade de São Paulo. 2005. São Carlos. p.115.

[32] M. A. Nascimento; H. Tanaka. Análise e Mapeamento do Custo de Manutenção de Equipamentos Médicos no Estado de São Paulo. In: XXIV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA BIOMÉDICA. 2014, Uberlândia. **Anais**. Universidade Federal do ABC, Santo André, 2014.

[33] SANTIAGO, J. S; SILVA, C. A. T. Análise Custo x Benefício: Tecnologia e Custo no Serviço Hospitalar Universitário de Ressonância Magnética. **Registro Contábil**. Maceió/Al. v.5, n.1, p.108-127, 2013.

[34] A. S. Amorim; *et al.* O Desafio da Gestão de Equipamentos Médico-Hospitalares no Sistema Único de Saúde. **Saúde Debate**. v.39, n.105, p.350-362, 2015. <https://doi.org/10.1590/0103-110420151050002004>

[35] FERREIRA, I. L. **Ressonância Magnética Nuclear**. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física). Instituto de Física da Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia. 2009. p.12.

- [36] R. N. N. Reis; A. G. Dickman. Oficina Sobre Bases Físicas da Ressonância Magnética. 2017. Disponível em: <[http://www1.pucminas.br/imagedb/documento/DOC\\_DSC\\_NOME\\_ARQUI20170302151829.pdf](http://www1.pucminas.br/imagedb/documento/DOC_DSC_NOME_ARQUI20170302151829.pdf)>. Acesso em: 18 de outubro de 2018. <https://doi.org/10.31012/978-65-5016-120-0>
- [37] FELICIANO, M. R.; *et al.* Ressonância Magnética na Avaliação Funcional do Encéfalo. In: Jornada Científica e Tecnológica (JORNACITEC). 5, 2016, Botucatu, São Paulo. **Anais**. Faculdade Tecnológica de Botucatu.
- [38] QUEIRÓS, G. C. P. **Análise Computacional de Imagens de Ressonância Magnética Funcional**. Dissertação (Engenharia Biomédica). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto. 2011. p. 13.
- [39] CUNHA, D. A. **Experiência Subjetiva de Pacientes com Dificuldades na Realização do Exame de Ressonância Magnética**. Dissertação (Psicologia). Programa de Pós-Graduação em Psicologia pela Universidade Federal do Amazonas. 2014. p.109.
- [40] Gould, T. **Como Funciona a Geração de Imagens por Ressonância Magnética**. Universidade Federal do ABC. Disponível em: <[http://ebm.ufabc.edu.br/wp-content/uploads/2011/10/Como-funciona-a-gera%C3%A7%C3%A3o-de-imagens-por-resson%C3%A2ncia-magn%C3%A9tica.pdf?fbclid=IwAR1QUWtuYFbTEsAP\\_aAHdG2B-FexvhWvcvRHou8xRn3vixKxxZIKYNGGZAg](http://ebm.ufabc.edu.br/wp-content/uploads/2011/10/Como-funciona-a-gera%C3%A7%C3%A3o-de-imagens-por-resson%C3%A2ncia-magn%C3%A9tica.pdf?fbclid=IwAR1QUWtuYFbTEsAP_aAHdG2B-FexvhWvcvRHou8xRn3vixKxxZIKYNGGZAg)>. Acesso em: 25 de fevereiro de 2019.
- [41] A. L. B. B. e Silva. **Elementos Históricos de Ressonância Magnética Nuclear**. Instituto de Física de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004. p.7.
- [42] A. A. Mazzola. Ressonância magnética: princípios de formação da imagem e aplicações em imagem funcional. **Revista Brasileira de Física Médica**. v.3, p.119, 2009.

[43] PEREIRA, D. R. **Método para Seleção Automática de Espectros de Interesse em Espectroscopia Multi-voxel por Ressonância Magnética**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica na Área de Engenharia de Computação). Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação. Universidade Estadual de Campinas. Campinas. 2017. p.66.

[44] Datas e Personagens na História da Espectroscopia de Ressonância Magnética. Coordenação de Professor Doutor José Pedro Donoso. Universidade de São Paulo. Instituto de Física de São Carlos. Disponível em: <  
[http://www.ifsc.usp.br/~donoso/seminarios/Historia\\_Espectroscopia\\_RM.pdf](http://www.ifsc.usp.br/~donoso/seminarios/Historia_Espectroscopia_RM.pdf)>.

Acesso em: 28 nov.2019.

[45] TORRES, J. M. **Utilização da Ressonância Magnética Nuclear no Ensino de Física**. Trabalho de Conclusão de Curso (Instituto de Física). Instituto de Física da Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, Brasil. p.12-19. 2012.

[46] Kauffman, G. Nobel Prize for MRI Imaging Denied to Raymond V. Damadian a Decade Ago. **Chem. Educator**. v. 19, p. 73-90, 2014.

[47] DR. RAYMOND Damadian-originator of the concept of whole-body NMR scanning (MRI) and discoverer of the NMR tissue relaxation differences that made it possible. Disponível em: <  
<https://www.downstate.edu/brooklynhistoryofmedicine/pdf/exhibits/damadian.pdf>>.

Acesso em: 07 de março de 2019.

[48] WESTBROOK, Catherine; ROTH, Carolyn Kaut; TALBOT, John. **MRI in Practice**. 4.ed. Cambridge: Wiley-Blackwell, 2011.

[49] CRUZ, M. L. S. **Elaboração de um Protocolo de Ressonância Magnética para Exames de Coluna Cervical em Pacientes que Utilizam Aparelhos Ortodônticos**. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Tecnologia em Radiologia do Departamento Acadêmico de Física). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Curitiba, Curitiba. 2017. p.66.

[50] HAGE, M. C. F. N, IWASAKI, M.; Imagem por Ressonância Magnética: Princípios Básicos. **Ciência Rural**. v.39, n.4, p.1275-1283, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782009005000041>

[51] OLIVEIRA, G. A; BORDUQUI, T. **Física de Ressonância Magnética (The Physics of Magnetic Resonance)**. Curso de Física da Universidade Federal de Brasília. Disponível em: <<http://www.ucb.br/sites/100/118/TCC/1%C2%BA2012/AFisicadaRessonanciaMagnetica.pdf>>. Acesso em: 13 março de 2019.

[52] MUSICAEADORAÇÃO. Coordenado pelo Professor Luiz Netto. Disponível em: <<https://musicaeadoracao.com.br/25393/correspondencia-entre-sons-e-luz/>>. Acesso em: 13 de março de 2019.

[53] L. S. Lemos; W. C. Silva. **Avaliação do Fator de Qualidade de Imagem por Ressonância Magnética Nuclear Correlacionado com GAP (CROSSTALK)**. Universidade de Mogi das Cruzes. Disponível em: [http://www.umc.br/img/diversos/pesquisa/pibic\\_pvic/XVI\\_congresso/artigos/Leticia%20Souza%20Lemos.pdf](http://www.umc.br/img/diversos/pesquisa/pibic_pvic/XVI_congresso/artigos/Leticia%20Souza%20Lemos.pdf). Acesso em: 26 de março de 2019.

[54] VENTURA, S. M. R. **A Utilização da Ressonância Magnética na Característica Funcional da Fala**. Dissertação (Dissertação submetida ao Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores para satisfação parcial dos requisitos do Programa Doutoral em Engenharia Biomédica). Universidade do Porto, Porto. 2012.

[55] Luciano. B. A; Silva. S. A. **Sobre os Ímãs Permanentes e Suas Aplicações na Eletroeletrônica**. Departamento de Engenharia Elétrica, Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba. Artigo disponível em: <[http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/nogueira/materiais/Sobre\\_IMAS\\_Permanentes\\_Artigo.pdf](http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/nogueira/materiais/Sobre_IMAS_Permanentes_Artigo.pdf)>. Acesso em: 28 de março de 2019.

[56] Blogger. Coordenação de Nicole Righi Assef e Rhony Caetano Guimarães de Souza, 2011. Apresenta o texto sobre Eletroímãs. Disponível em: <

<http://trabalhoeleetroimadb.blogspot.com/2011/09/introducao.html>>. Acesso em: 28 de março de 2019.

[57] SUPERCONDUTIVIDADE. Universidade Federal do Paraná, Instituto de Física. Supercondutividade dos materiais. Disponível em: <http://fisica.ufpr.br/grad/supercondutividade.pdf>. Acesso em: 01 de abril de 2019.

[58] OLIVEIRA, S. C. **Revisão Bibliográfica Acerca dos Princípios de Ressonância Magnética Nuclear**. Monografia (Projeto final de Graduação em Engenharia Elétrica). Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia. 2008. p.97.

[59] ROSATTI, S. F. C. **Ressonância Magnética de Tórax em Portadores de Dispositivos Cardíacos Eletrônicos Implantáveis Condicionais para RM: Contraindicação Clássica ou Exame Seguro**. Tese (Doutorado em Biotecnologia). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. 2015. p.103.

[60] Radiology: O site da Imagem. Portal dedicado a veiculação de notícias, informações científicas e educacionais do setor de Diagnóstico por Imagem em Medicina. Disponível em: <  
[http://www.radiology.com.br/materias/rad\\_materias.asp?flag=1&id\\_materia=141](http://www.radiology.com.br/materias/rad_materias.asp?flag=1&id_materia=141)>. Acesso em: 02 de abril de 2019.

[61] PAPOTI, D.; *et al.* Bobinas de RF Transmissoras/Receptoras com Desacoplamento Passivo para Experimentos de Imagens por RMN em Pequenos Animais. **Revista Brasileira de Física Médica**. v.4, p.49-51, 2012.

[62] TÉCNICO EM RADIOLOGIA, SISTEMAS DE IMAGENS POR RM. Coordenado pelo Ministério da Saúde, realizado pelas Escolas Técnicas do SUS (ETSUS). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em: <http://rle.dainf.ct.utfpr.edu.br/hipermidia/index.php/ressonancia-magnetica/sistemas-de-imagem-por-rm>. Acesso em: 01 de abril de 2019.

- [63] Ribeiro, H. S. **Ressonância Magnética e seu Funcionamento Mecânico para Gerar Imagens**. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Elétrica). Centro Universitário do Sul de Minas. 2018.
- [64] Beyer, Jan; Krug, Johannes; Friebe, Michael. Monitoring the Coldhead of Magnetic Resonance Imaging Systems by Means of Vibration Analysis. **Journal of Sensor Technology**. v.7, p.39-51. 2017. <https://doi.org/10.4236/jst.2017.73003>
- [65] De Oliveira, S. C. **Revisão Bibliográfica Acerca dos Princípios de Ressonância Magnética**. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Elétrica). Universidade de Brasília. 2008.
- [66] Brasil, Ministério da Educação. Reabastecimento de Hélio Para RMN. **Termo de Referência**. 2016. Disponível em: [http://www2.ebserh.gov.br/documents/22765/1409596/TERMO+DE+REFER%C3%84NCIA+-+REABASTECIMENTO+DE+H%C3%89LIO+PARA+RMN+HUFS\\_FINAL.pdf/131952ce-93c1-4bad-8240-b98e132b7bac](http://www2.ebserh.gov.br/documents/22765/1409596/TERMO+DE+REFER%C3%84NCIA+-+REABASTECIMENTO+DE+H%C3%89LIO+PARA+RMN+HUFS_FINAL.pdf/131952ce-93c1-4bad-8240-b98e132b7bac). Acesso em: 16 de junho de 2019.
- [67] BRANCO, M. C; *et al*. Ressonância Magnética Cerebral Funcional: Qual o Impacto e que Limites. **Acta Radiológica Portuguesa**. v.2, n.1, 2017.
- [68] MUSSI, T. C. A Ressonância Magnética Multiparamétrica de Próstata nos Dias Atuais. **Publicação Oficial do Instituto Israelita de Ensino e Pesquisa Albert Einstein**. Disponível em: [http://www.scielo.br/pdf/eins/v16n2/pt\\_1679-4508-eins-16-02-eMD4408.pdf](http://www.scielo.br/pdf/eins/v16n2/pt_1679-4508-eins-16-02-eMD4408.pdf). Acesso em: 04 de abril de 2019.
- [69] SALOMO, J. L. Contratos de Prestação de Serviços. In: De Oliveira, J. **Contratos de Prestação de Serviços: Manual Teórico e Prático**. 3. ed. Juarez de Oliveira. 2005. p.1-10.
- [70] BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Gestão de Investimentos em Saúde. Projeto REFORSUS. **Equipamento Médico-Hospitalares e o Gerenciamento da Manutenção: Capacitação a Distância**. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2002.

- [71] SARAIVA, L. A. S; MERCÊS, R. E. Terceirização na Gestão da Manutenção: Estudo de Caso de Uma Mineradora. **Revista de Administração Da UNIMEP**. v.11, n.1, 2013. <https://doi.org/10.15600/1679-5350/rau.v11n1p1-24>
- [72] Masmoudi, Malek; *et al.* Multicriteria Decision Making for Medical Equipment Maintenance: Insourcing, Outsourcing and Service Contract. **Proceedings**. International Conference on Control, Decision and Information Technologies, 2014. <https://doi.org/10.1109/CoDIT.2014.6996905>
- [73] ARKMEDS. **Gestão de Contratos de Manutenção**. Disponível em: <[https://blog.arkmeds.com/2016/10/27/gestao-de-seus-contratos-de-manutencao/#Quais\\_sao\\_os\\_tipos\\_de\\_contratos\\_de\\_manutencao\\_de Equipamento\\_s](https://blog.arkmeds.com/2016/10/27/gestao-de-seus-contratos-de-manutencao/#Quais_sao_os_tipos_de_contratos_de_manutencao_de Equipamento_s)>. Acesso em: 26 de maio de 2019.
- [74] Saiba o que deve ter em um Contrato de Prestação de Serviços. Coordenado por Renato Mesquita, jornalista. Blog Saia do lugar e a Rock Content. Apresenta textos sobre as maneiras de se empregar contratos de prestação de serviço. Disponível em: <<https://saiadolugar.com.br/contrato-de-prestacao-de-servicos/>>. Acesso em: 03 de abril de 2019.
- [75] DYRO, J. The Clinical Engineering Handbook. 36° Chapter. **Outsourcing Clinical Engineering Service**. In: The Clinical Engineering Handbook. Disponível em: <[http://www.hl7.com.br/wp-content/uploads/2014/07/The\\_Clinical\\_Engineering\\_Handbook\\_Joseph\\_Dyro.pdf](http://www.hl7.com.br/wp-content/uploads/2014/07/The_Clinical_Engineering_Handbook_Joseph_Dyro.pdf)>. Acesso em: 03 de abril de 2019.
- [76] CHUDZICKA, Jadwiga. Insourcing a New Trend in Global Business. **Foundations of Management**. v.5, n.2, p.7-24, 2014. <https://doi.org/10.2478/fman-2014-0009>
- [77] Faremi, O., Adenuga, O., Ameh, J. Maintenance Management Sourcing Strategies and the Condition of Tertiary Institution Buildings in Lagos and Ogun States, Nigeria. **Ethiopian Journal of Environmental Studies and Management**. v.10, n.1, p.64-74, 2017. <https://doi.org/10.4314/ejesm.v10i1.7>

[78] SCHNIEDERJANS, M. J; *et al.* Outsourcing and Insourcing in an International Context. **Routledge**. 1.ed. Nova York: Nova York, 2015. p.3-208. <https://doi.org/10.4324/9781315701936>

[79] BearingPoint. Insourcing – The end of the Classic Outsourcing Deal. Apresenta textos sobre insourcing. Disponível em: <  
[https://www.bearingpoint.com/files/BECH14\\_0929\\_WP\\_EN\\_Insourcing\\_final\\_web.pdf](https://www.bearingpoint.com/files/BECH14_0929_WP_EN_Insourcing_final_web.pdf)  
>. Acesso em: 03 de abril de 2019.

[80] Outsourcing vs Insourcing: What's Best for Your Organization. Coordinated by: Flatworld Solutions Ltd, 2002-2019. Apresenta textos sobre a o entendimento a respeito da insourcing. Disponível em: <  
[https://www.outsource2india.com/why\\_india/articles/outsourcing-versus-insourcing.asp](https://www.outsource2india.com/why_india/articles/outsourcing-versus-insourcing.asp)>. Acesso em: 03 de abril de 2019.

[81] Lee, Keelin. **Is Outsourcing or Insourcing E-Waste Regulatory Compliance Effective**. Ed. Dublin Business School, 2016. Disponível em: <  
[https://esource.dbs.ie/bitstream/handle/10788/3090/ba\\_cox-kearns\\_I\\_2016.pdf?s-quence=1&isAllowed=y](https://esource.dbs.ie/bitstream/handle/10788/3090/ba_cox-kearns_I_2016.pdf?s-quence=1&isAllowed=y)>. Acesso em: 16 de junho de 2019.

[82] PASCHOAL, D. R. S. Disponibilidade e Confiabilidade: Aplicação da Gestão da Manutenção na Busca de Maior Competitividade. **Revista da Engenharia de Instalações no mar da FSMA**. n.03. jan./jun. 2009. Disponível em: <  
[http://www.fsma.edu.br/EP/Artigos/REV\\_ENG\\_3\\_artigo\\_3.pdf](http://www.fsma.edu.br/EP/Artigos/REV_ENG_3_artigo_3.pdf)>. Acesso em: 03 de abril de 2019.

[83] LIMA, N. C. S; *et al.* Análise e Proposição de Melhorias na Área de Manutenção: Um Estudo de Caso em uma Fábrica de Embalagens Plásticas. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção. 37. **Anais**. Joinville, SC, Brasil, 2017. [https://doi.org/10.14488/ENEGEP2017\\_TN\\_STO\\_238\\_381\\_34542](https://doi.org/10.14488/ENEGEP2017_TN_STO_238_381_34542)

[84] Berquó, J. E. Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade: O Trinômio da Operacionalidade. Apresentado como publicação avulsa, out. 2014. Disponível em: <



[http://www.dcabr.org.br/download/artigos/msc\\_49.pdf](http://www.dcabr.org.br/download/artigos/msc_49.pdf)>. Acesso em: 03 de abril de 2019.

[85] Katukoori, Vamshi. K. Standardizing Availability Definition. Disponível em: <[https://www.plant-maintenance.com/articles/Availability\\_Definition.pdf](https://www.plant-maintenance.com/articles/Availability_Definition.pdf)>. Acesso em: 29 de junho de 2019.

[86] Malinovski, R. A; *et al.* Análise das Variáveis de Influência na Produtividade das Máquinas de Colheita de Maneira em Função das Características Físicas do Terreno, do Povoamento e do Planejamento Operacional Florestal. **Revista Florestal**. v.36, n.2, 2006. <https://doi.org/10.5380/rf.v36i2.6459>

[87] J. C. Vaz. **Manutenção de Sistemas Produtivos: Um Estudo sobre a Gestão da Disponibilidade de Equipamentos**. Dissertação (Mestre em Engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2003. p.203.

[88] Marquez, P. B. *et al.* Proposta de Medidas de Avaliação de Desempenho para o Centro de Engenharia Clínica e Bioequipamentos do HCFMRP-USP. In: Simpósio de Gestão em Organizações de Saúde. **Revista: Medicina (Ribeirão Preto. Online)**. v.48, n.1, 2015. <https://doi.org/10.11606/issn.2176-7262.v48i1p65-76>

[89] C. M. Godoi. **Análise da Disponibilidade de Equipamentos Médico-Assistenciais após Reestruturação da Programação de Manutenção Preventiva em um Hospital Público de Grande Porte e Alta Complexidade**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica). Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia. 2016. p.162.

[90] FREIRE, Renata Pascoal. *Et al.* Gestão de Equipamentos Médicos: O Papel das Práticas de Qualidade em um Hospital de Excelência Brasileiro. **Revista de Administração Hospitalar e Inovações em Saúde**. v.8, n.8, 2012.

[91] Pereira, Samáris Ramiro; *et al.* Sistemas de Informação para Gestão Hospitalar. **Journal of Health Informatics**. v.4, n.4, 2012.

- [92] MANSO, J. M. D. **Práticas de Gestão de Equipamentos Médicos no Hospital da Luz**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica). Universidade de Lisboa. Faculdade de Ciências, Departamento de Física. 2012.
- [93] AMORIM, A. S; JUNIOR, V. L. P; SHIMIZU, H. E. O Desafio da Gestão de Equipamentos Médico-Hospitais no Sistema Único de Saúde. **Saúde Debate**. v.39, n.105, 2015. <https://doi.org/10.1590/0103-110420151050002004>
- [94] Coelho, R. R; *et al.* Influência das Estratégias de Manutenção na Disponibilidade Física de Equipamentos de Moagem de uma Mineradora. **Anais**. In: Simpósio de Engenharia de Produção. 14. Bauru. 2017.
- [95] Souza, A. F; Coelli, F. C. Redução da Indisponibilidade de Equipamentos de RM Através de Política de Treinamento. **Revista Brasileira de Inovação Tecnológica em Saúde**. v.1, n.3, 2011.
- [96] Tabares, Z. E. M; Silva, E. V. Algorithm for Prediction of the Technical Availability of Medical Equipment. **Mathematical Sciences**. v.9, n.135, p.6735-6746, 2015. <https://doi.org/10.12988/ams.2015.55400>
- [97] Dos Reis, C. S. **Metodologia de Análise de Confiabilidade de Equipamentos Médico-Assistenciais na Fase de Utilização**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal de Santa Catarina. 2014.
- [98] Garcia, Domingues; *et al.* Gestão de Material Médico-Hospitalar e o Processo de Trabalho em um Hospital Público. **Revista Brasileira de Enfermagem**, v.65, n.2, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0034-71672012000200021>
- [99] Amorim, A. S. **Equipamento Médico-Hospitalar: Aspectos de Financiamento e Gestão no Ministério da Saúde**. Dissertação (Mestrado em Saúde). Universidade de Brasília. Brasília, 2014.

- [100] Marques, A. C; Brito, J. N. Importância da Manutenção Preditiva para Diminuir o Custo em Manutenção e Aumentar a Vida Útil dos Equipamentos. **Brazilian Journal of Development**. v.5, n.7, 2019. <https://doi.org/10.34117/bjdv5n7-095>
- [101] S. Taghipour, D. Banjevic and A. K. S. Jardine. Prioritization of medical equipment for maintenance decisions. **Journal of the Operational Research Society**. v.62. p.1666-1687, 2011. <https://doi.org/10.1057/jors.2010.106>
- [102] Houria, Z. B; *et al.* Maintenance Strategy Selection for Medical Equipments Using Fuzzy Multiple Criteria Decision Making Approach. In: International Conference on Computers and Industrial Engineering. 45. October 2015.
- [103] Silva, L. M; Ferreira, A. C. M. Sistemas de Cadastro e Manutenção de Equipamento Médico-Hospitalar: Proposta para o Desenvolvimento como uma Ferramenta para Auxiliar a Gestão de Manutenção da Engenharia Clínica nos Hospitais. **Fatec Bauru**. Disponível em: <  
<http://fatecbauru.edu.br/mtg/source/Sistema%20de%20cadastro%20de%20equipamento%20m%C3%A9dico-hospitalar%20.pdf>>. Acesso em: 09 de julho de 2019.
- [104] Correa, M; Villalba, M. P; Garcia, J. H. Protocolos para Evaluación de Desempeno en Equipos Médicos. **Revista Ingeniería Biomédica**. v.11. n.22. p.65-71, 2017. <https://doi.org/10.24050/19099762.n22.2017.1185>
- [105] CARVALHO, J. J. A. D. **Estratégias de Manutenção Hospitalar: Aplicação à Ressonância Magnética Nuclear**. Dissertação (Mestrado em Manutenção Industrial). Departamento de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, 2007. p.83-95.
- [106] SILVA, M. L. **Critérios Norteadores para a Tomada de Decisão Quanto à Incorporação de um Equipamento de Ressonância Magnética em um Hospital Pediátrico, da Rede Pública Estadual, em Santa Catarina**. Dissertação (Mestrado em Epidemiologia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2012.

- [107] Blanski, M. B. S; Da Silva, C. L; Oliveira, A. G. Sistemas de Custo na Gestão Hospitalar. **UTFPR**. 1. ed. Curitiba. 2015. p.158.
- [108] BISPO, P. J. M. **Manutenção de Sistemas de Monitorização e Apoio à Vida**. Dissertação (Mestrado em Automação e Comunicações para Sistemas de Energia). Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal. 2013.
- [109] Silva, D. R. C. **Engenharia Clínica: Manutenção de Equipamentos de Eletromedicina**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica). Instituto Superior de Engenharia de Coimbra. Coimbra, 2015.
- [110] Baba, Maizan; Abdullah, Shahabudin. Facility Services Delivery. First Edition. Universiti Teknologi Malaysia, 2008.
- [111] Nasiri, Fuzhan; Moselhi, Osama. Healthcare Facilities Maintenance Management: A Literature Review. **Journal of Facilities Management**. v.15, n.4, p.352-375, 2017. <https://doi.org/10.1108/JFM-10-2016-0040>
- [112] Do Nascimento, J. O *et al*. Gestão Privada na Saúde Pública em São Paulo: Um Estudo de Caso da Utilização de Organização Social de Saúde. **Revista Práticas de Administração Pública**. v.1, n.2, 2017. <https://doi.org/10.5902/2526629226491>
- [113] Cali, J; *et al*. Cost-Benefit Analysis of Outsourcing Cleaning Services at Mahalapye Hospital, Botswana. **Journal of Hospital Administration**. v.5, n.1, 2016. <https://doi.org/10.5430/jha.v5n1p114>
- [114] Liteef, O. A. A; *et al*. Appraisal of the Building Maintenance Management Practices of Malaysian Universities. **Journal of Building Appraisal**. v.6, n.4, p.261-275. 2011. <https://doi.org/10.1057/jba.2011.3>
- [115] Masmoudi, Malek; *et al*. Decision Support Procedure for Medical Equipment Maintenance Management. **Journal of Clinical Engineering**. v.41, n.1, p.19-29. 2016. <https://doi.org/10.1097/JCE.000000000000135>

- [116] Mujasi, P. N; Nkosi, Z. Z. A Comparative Analysis of the Costs and Benefits of Outsourcing Vs. Insourcing Cleaning Services in a Rural Hospital in Uganda. **The Open Pharmacoeconomics and Health Economics Journal**. v.6, p.9-20, 2018. <https://doi.org/10.2174/1876824501806010009>
- [117] Grossl, J. S, *et al*. Aplicações de Ações Gerenciais de Gestão Ambiental no Curso Superior em Tecnologia de Manutenção Industrial. Instituto Federal Fluminense, 2017. Disponível em: <<http://bd.centro.iff.edu.br/bitstream/123456789/1917/1/Texto.pdf>>. Acesso em: 26 de maio de 2019.
- [118] Santos, W. B; *et al*. Tempo Ótimo entre Manutenções Preventivas para Sistemas Sujeitos a mais de um Tipo de Evento Aleatório. **Gest. Prod.**, São Carlos, v.14, n.1, p.193-202, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0104-530X2007000100016>
- [119] A.C. Silveira, N. F. Oshiyama, J. W. M. Bassani. Gerenciamento de Tecnologia para Saúde: Classificação de Equipamentos Médico-Hospitalares. In: Muller-Karger C.; Wong S.; La Cruz A. (eds) IV Latin American Congress in Biomedical Engineering 2007, Bioengineering Solutions for Latin American Health. IFMBE Proceedings, v.18 Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-74471-9\\_192](https://doi.org/10.1007/978-3-540-74471-9_192)
- [120] Olofsson, P. T; *et al*. Patients Experience of Outsourcing and care Related to Magnetic Resonance Examinations. **Uppsala Journal of Medical Science**. v.9, n.6, 2016. Published online.
- [121] Miguel-Cruz. A, Rios-Rincón. A, Haugan. G. L. Outsourcing versus in-house maintenance of medical devices: a longitudinal, empirical study. **Panam Salud Publica**. v.35, 2014.
- [122] Santos, A. L. T. *et al*. Modelo de contratação aplicado à prestação de serviços de manutenção preventiva e corretiva de equipamentos médico-hospitalares: inovação a partir da experiência do Instituto Nacional de Câncer. **Administração Hospitalar e Inovação em Saúde**. v.14, n.1, 2017. <https://doi.org/10.21450/ra-his.v14i1.3974>

[123] De Souza, A. C. **Gerenciamento de equipamentos médico-hospitalares: avaliação da sua influência na área assistencial**. Especialista em Gestão de Negócios. Universidade do Vale do Rio dos Sinos. Porto Alegre, Rio Grande do Sul. 2013.

[124] Da Silva Gerônimo, Maycon; Cardoso Costa Leite, Bruno; Daher Oliveira, Ricardo. Gestão da Manutenção em Equipamentos Hospitalares: Um estudo de Caso. **Exacta**. v.15, n.4, p.167-183, 2017. <https://doi.org/10.5585/exactaep.v15n4.7144>

[125] Moraes, Janinne Mabel Oliveira; *et al.* Análise e Otimização da Gestão da Manutenção em uma Empresa do Setor de Transporte Urbano do Interior Potiguar. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 21. **Inovação Tecnológica e Propriedade Intelectual: Desafios da Engenharia de Produção na Consolidação do Brasil no Cenário Econômico Mundial**. Belo Horizonte, MG, Brazil. 2011.

[126] Maffi, Douglas; *et al.* Estudo de Campo em Gestão de Manutenção. **Anais da Engenharia de Produção**. v.1, n.1, p.74-85, 2017.

[127] Da Costa, Acácio Vieira; Nascimento, Guilherme Marquezan. Gestão da Manutenção Hospitalar com Foco no Sistema de Ar Comprimido Medicinal. In: Simpósio Nacional de Ciências e Engenharias, 3. **Ciência para a redução das desigualdades**. n.3. v.2. 2018.

[128] Nedeff, Maurício Caetano. Custos da Adoção de Novas Tecnologias em Saúde: Ressonância Magnética. In: Congresso Virtual Brasileiro, 9. 2012. **Convibra Administração**. Disponível em: [http://www.convibra.com.br/upload/paper/2013/38/2013\\_38\\_7568.pdf](http://www.convibra.com.br/upload/paper/2013/38/2013_38_7568.pdf). Acesso em: 13 de junho de 2019.

[129] CREPALDI, Silvio Aparecido. **Contabilidade rural**: uma abordagem decisória. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2005. p.97.

[130] Coutinho, Franciane Silva. **Composição de Gastos por Procedimento: Ressonância Magnética.** Relatório. Disponível em: <  
<http://www2.ebserh.gov.br/documents/222346/2238592/RELAT%C3%93RIO+ +Composi%C3%A7%C3%A3o+de+Gastos+por+Procedimento+-+Resson%C3%A2ncia+Magn%C3%A9tica.pdf/072455f8-1feb-4272-b68b-a17baf0caff5>>. Acesso em: 15 de junho de 2019.

[131] Santiago, J. S; Silva, C. A. T. Análise da Influência Tecnológica sobre a Formação do Custo do Serviço de Ressonância Magnética em Entidades Hospitalares: Um Estudo Comparativo. In: Congresso Brasileiro de Custos, 15. **Anais.** Vitória, Espírito Santo. 2018.

[132] L. M. Fredriks. **Optimizing the Number of Medical Devices Based on the Total Cost of Ownership. A case Study at Siemens Healthcare Nederland B. V.** Dissertação, 2015, 124 f. University of Twente.

[133] A. Q. Q. Aboagye; A. N. K. Degboe; A. A. D. Obuobi. Estimating the Cost of Healthcare Delivery in Three Hospitals in Southern Ghana. **Ghana Medical Journal.** v.44, n.3, 2010. <https://doi.org/10.4314/gmj.v44i3.68890>

[134] R. Ibrahim; *et al.* Cost of Magnetic Resonance Imaging (MRI) and Computed Tomography (CT) Scan in UKMMC. In: International Casemix Conference. n. 6. **BMC Health Services Research.** v.12, 2012. <https://doi.org/10.1186/1472-6963-12-S1-P11>

[135] V. Laktash. Medical Equipment Maintenance. Performing an Audit to Improve Efficiency and Saving. **Health Facilities Management.** Disponível em: <  
<https://www.hfmmagazine.com/articles/1493-medical-equipment-maintenance>>.

Acesso em: 27 de julho de 2019.

[136] L. S. Rocha; J. W. Bassani. Cost Management of Medical Equipment Maintenance. In: Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. **Engineering in Medicine and Biology Society.** v.5, 2004.