

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
ENGENHARIA ELÉTRICA

IGOR VALENTIM DE OLIVEIRA

**ANÁLISE COMPARATIVA DA QUALIDADE DO SISTEMA ELÉTRICO
PREDIAL E DE EQUIPAMENTOS ELETROMÉDICOS EM
ESTABELECIMENTOS DE SAÚDE DE PONTA GROSSA - PR**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA

2019

IGOR VALENTIM DE OLIVEIRA

**ANÁLISE COMPARATIVA DA QUALIDADE DO SISTEMA ELÉTRICO
PREDIAL E DE EQUIPAMENTOS ELETROMÉDICOS EM
ESTABELECIMENTOS DE SAÚDE DE PONTA GROSSA - PR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica, do Departamento de Engenharia Elétrica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Daiane Maria de Genaro Chirolí

PONTA GROSSA

2019



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Ponta Grossa
Diretoria de Graduação e Educação
Profissional
Departamento Acadêmico de Eletrônica
Engenharia Elétrica



TERMO DE APROVAÇÃO

ANÁLISE COMPARATIVA DA QUALIDADE DO SISTEMA
ELÉTRICO PREDIAL E DE EQUIPAMENTOS ELETROMÉDICOS
EM ESTABELECIMENTOS DE SAÚDE DE PONTA GROSSA - PR

por

IGOR VALENTIM DE OLIVEIRA

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 25 de junho de 2019 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel(a) em Engenharia Elétrica. O(A) candidato(a) foi arguido(a) pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof(a). Dr^a. Daiane Maria de Genaro Chiroli
Orientador(a)

Prof(a). Dr. Hugo Valadares Siqueira
Membro Titular

Prof(a). Dr. Sergio Luiz Stevan Junior
Membro Titular

Prof. Dr. Josmar Ivanqui
Responsável pelo TCC

Prof. Dr. Sergio Okida
Coordenador do Curso

– O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso –

Dedico este trabalho ao Grande Arquiteto
do Universo por dar-me sabedoria,
potencial e resiliência, e aos meus pais
por todo apoio e ensinamentos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos bons espíritos por me guiarem até aqui, não apenas academicamente, mas em todos os aspectos da minha vida.

Aos meus pais Moisés e Rosângela sou eternamente grato por me auxiliarem tanto financeira, quanto emocionalmente o que resultou em um grande impulso para chegar ao fim dessa jornada.

Aos meus professores, os quais me transmitiram o conhecimento e sabedoria necessários para conclusão do curso de Engenharia.

À minha orientadora Prof^a. Daiane Chioli, a qual acreditou em meu potencial e não poupou esforços para me auxiliar nas dificuldades encontradas.

E por fim ao meu irmão e amigos, que continuam sempre me fortalecendo.

“Não existe triunfo sem perda, não há vitória sem sofrimento, não há liberdade sem sacrifício.”

(Tolkien, John R. R; 2001)

RESUMO

Oliveira, Igor V. de. **ANÁLISE COMPARATIVA DA QUALIDADE DO SISTEMA ELÉTRICO PREDIAL E DE EQUIPAMENTOS ELETROMÉDICOS EM ESTABELECIMENTOS DE SAÚDE DE PONTA GROSSA - PR: 2019. 99p.**
Trabalho de Conclusão de Curso – Bacharelado em Engenharia Elétrica – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2019.

Os equipamentos eletromédicos tem sido cada vez mais utilizados nos estabelecimentos assistenciais de saúde, sendo componentes de suma importância para garantir a integridade física dos pacientes. Nos hospitais e clínicas particulares busca-se manter o estado de conservação dos mesmos, sendo assim, a não conformidade acarreta não só a inutilização do equipamento, mas lucros cessantes. Em busca de melhores resultados dos serviços prestados por instituições de saúde, esta pesquisa tem por objetivo prover a comparação entre a conservação dos equipamentos e instalações elétricas nas instituições de saúde da cidade de Ponta Grossa, Paraná, com auxílio de métodos de análise multicritério, provendo melhorias a serem aplicadas. Para que haja o entendimento básico das características de tais EAS, primeiramente conceitua-se a Engenharia Clínica em âmbito global, explorando as responsabilidades da profissão com relação ao uso da energia elétrica e seus utensílios, posteriormente expõe-se o sistema de instalação elétrica predial utilizado nas EAS, destacando as normas vigentes para tais espaços. Busca-se adquirir dados relacionados ao controle da manutenção de forma geral através de questionários aplicados nas EAS do estado do Paraná e pôr fim, efetua-se a aplicação dos métodos de análise DEMATEL-BWM e TOPSIS com o intuito de avaliar tais instituições. Como resultado evidencia-se as melhores instituições com relação ao sistema elétrico encontrado, alterações propostas e adequações de melhorias diante das imperfeições encontradas.

Palavras-chave: Equipamentos eletromédicos. Segurança médica. Engenharia Clínica. Instalações elétricas. Análise Multicritério.

ABSTRACT

Oliveira, Igor V. de. **COMPARATIVE ANALYSIS OF THE QUALITY OF PREDIAL ELECTRICAL SYSTEM AND ELECTROMEDICAL EQUIPMENT IN HEALTH ESTABLISHMENTS IN PONTA GROSSA - PR: 2019.** 99p. Completion of Bachelor's Degree in Electric Engineering - Federal Technology University - Paraná. Ponta Grossa, 2019.

Electromedical equipment has been taking more space in health care establishments, being currently components of paramount importance to guarantee the physical integrity of the patients. In hospitals and private clinics, it is sought to maintain their state of preservation, and non-compliance entails not only the destruction of the equipment, but loss of profits. The aim of this research is to provide a comparison between the conservation of the electrical equipment and installation in health institutions in the city of Ponta Grossa, Paraná, with the help of multicriteria analysis methods, providing improvements to be applied. In order to have a basic understanding of the characteristics of those institutions, it is firstly conceptualized Clinical Engineering at a global level, exploring the responsibilities of the profession in relation to the use of electric energy and its utensils, later on it is exposed the common electrical installation system used in hospitals, highlighting the current norms for such spaces. The aim is to understand the causes and consequences of the poor use of electricity in the hospitals, as well as to acquire data related to maintenance in a general way through questionnaires applied in the hospitals of the state of Paraná and to end, the application of the methods DEMATEL-BWM and TOPSIS in order to evaluate such institutions. As a result, it is evident that there are proposed changes and improvements in the face of the imperfections found.

Keywords: Electro-medical equipment. Medical safety. Clinical Engineering. Electrical Installations. Multi-criteria Analysis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Diagrama de interação entre o engenheiro clínico e demais setores.....	18
Figura 2 – Atividades executadas para equipamentos em contratos de serviço por tempo determinado.....	21
Figura 3 – Esquema de aterramento TT.....	23
Figura 4 – Esquema de aterramento TN.....	24
Figura 5 – Arquitetura típica de um sistema IT Médico.....	25
Figura 6 – IEM irradiada e conduzida em EAS.....	26
Figura 7 – Curva PF.....	31
Figura 8 – Organograma dos modelos mais utilizados no MCDA.....	35
Figura 9 – Exemplo de um mapa de influência adquirido pelo método DEMATEL ...	40
Figura 10 – Comportamento da avaliação de critérios BWM.....	42
Figura 11 – Estrutura metodológica para desenvolvimento do trabalho.....	45
Figura 12 – Estrutura Hierárquica do Problema.....	52
Figura 13 –Código aplicado ao MATLAB para obtenção da Matriz de Relação Total.....	54
Figura 14 – Mapa de Influência.....	57
Figura 15 – Gráfico dos pesos obtidos através do método BWM.....	62

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Escala de avaliação de influências entre fatores analisados.....	36
Quadro 2 – Matriz-Resposta X^k ; Matriz Média Z.....	53
Quadro 3 – Matriz Média Normalizada D.....	53
Quadro 4 – Matriz de Relação Total T.....	54
Quadro 5 – Vetor de intensidade de efeitos incidentes \vec{R}	55
Quadro 6 – Vetor de intensidade de efeitos recebidos \vec{C}	55
Quadro 7 – Relações de causa e efeito dos critérios inter-relacionados.....	55
Quadro 8 – Classificação dos critérios diante dos pesos aplicados.....	56
Quadro 9 – Matriz-Resposta X^k Matriz Média Z.....	58
Quadro 10 – Matriz Média Normalizada D.....	58
Quadro 11 – Matriz de Relação Total T.....	58
Quadro 12 – Vetor de intensidade de efeitos incidentes \vec{R}	59
Quadro 13 – Vetor de intensidade de efeitos recebidos \vec{C}	59
Quadro 14 – Relações de causa e efeito dos critérios inter-relacionados.....	59
Quadro 15 – Classificação dos critérios diante dos pesos aplicados.....	59
Quadro 16 – Significado da numeração de comparação no método BWM.....	60
Quadro 17 – Valoração imposta ao melhor critério diante do quadro de comparação do método BWM.....	61
Quadro 18 – Valoração imposta ao pior critério diante do quadro de comparação do método BWM.....	61
Quadro 19 – Pesos obtidos para cada critério a partir da metodologia BWM.....	61
Quadro 20 – Matriz de conjunto de alternativas.....	63
Quadro 21 – Matriz de conjunto de alternativas normalizada.....	63
Quadro 22 – Matriz de conjunto de alternativas normalizada e ponderada.....	63
Quadro 23 – Determinação da solução ideal e solução anti-ideal.....	64
Quadro 24 – Distância relativa entre cada alternativa e a solução ideal.....	64
Quadro 25 – Distância relativa entre cada alternativa e a solução anti-ideal.....	64
Quadro 26 – Classificação das EAS diante da aplicação TOPSIS.....	65

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E ACRÔNIMOS

TSE	Teste de Segurança Elétrica
UTI	Unidade de Tratamento Intensivo
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
EEM	Equipamento Eletromédico
EAS	Estabelecimentos Assistenciais de Saúde
SUS	Sistema Único de Saúde
DSI	Dispositivo Supervisor de Isolamento
PNGTS	Política Nacional de Gestão de Tecnologias em Saúde
MS	Ministério da Saúde
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
kVA	Kilovoltampere
QDC	Quadro de Distribuição
FMEA	Análise dos Modos e Efeitos de Falha
CEM	Compatibilidade Eletromagnética
IEM	Interferência Eletromagnética
CC	Corrente Contínua
CA	Corrente Alternada
NSA	Nódulo Sino Atrial
NAV	Nódulo Átrio Ventricular
FA	Fibrilação Atrial
FV	Fibrilação Ventricular
Bpm	Batimentos por Minuto
ECG	Eletrocardiograma
DEM	Desfibrilador Externo Manual
DEA	Desfibrilador Externo Automático
CDI	Cardioversos-Desfibrilador Implantável
TC	Tomografia Computadorizada
LINAC	Acelerador de Partículas Linear
DEMATEL	<i>Decision Making Trial and Evaluation Laboratory</i>
MCDA	<i>Multiple-Criteria Decision Analysis</i>
BWM	<i>Best Worst Method</i>
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 TEMA.....	13
1.2 PROBLEMA.....	14
1.3 OBJETIVOS.....	15
1.3.1 OBJETIVO GERAL.....	15
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
1.4 JUSTIFICATIVA.....	16
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
2.1 ENGENHARIA CLÍNICA.....	17
2.1.1 ATUAÇÃO DA ENGENHARIA CLÍNICA BRASILEIRA E INTERNACIONAL... ..	17
2.1.2 GESTÃO DE EQUIPAMENTOS MÉDICO-HOSPITALARES NO SUS.....	19
2.1.3 NORMAS DE SEGURANÇA ELÉTRICA VIGENTES.....	22
2.2 INSTALAÇÕES HOSPITALARES.....	22
2.2.1 ATERRAMENTO EM SISTEMAS DE BAIXA TENSÃO.....	22
2.2.1.1 Esquema de Aterramento TT.....	22
2.2.1.2 Esquema de Aterramento TN-S.....	23
2.2.1.3 Sistema IT Médico.....	24
2.2.2 INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NO AMBIENTE HOSPITALAR.....	26
2.2.3 CALIBRAÇÃO DE EQUIPAMENTOS.....	27
2.2.4 MANUTENÇÃO.....	29
2.2.4.1 Gerenciamento de Manutenção.....	29
2.2.4.2 Curva PF.....	31
2.2.4.3 Manutenção Preventiva.....	32
2.2.4.4 Manutenção Preditiva.....	33
2.2.4.5 Manutenção Corretiva.....	33
2.3 CONCEITOS SOBRE ANÁLISE MULTICRITÉRIO.....	34
2.3.1 ESPECIFICAÇÕES DO MÉTODO DEMATEL.....	35
2.3.2 ESPECIFICAÇÕES DO MÉTODO BWM.....	40
2.3.3 ESPECIFICAÇÕES DO MÉTODO TOPSIS.....	42
3 METODOLOGIA.....	45
3.1 MODELO DO DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO.....	45
3.2 PRÉ-EXPERIMENTAÇÃO.....	46
3.2.1 CONSTRUÇÃO DA ESTRUTURA CRITERIAL.....	46

3.2.2 ELABORAÇÃO DO QUESTIONÁRIO.....	47
3.2.3 APLICAÇÃO DOS MÉTODOS DEMATEL-BWM E TOPSIS.....	48
3.3 EXPERIMENTAÇÃO.....	49
3.4 PÓS-EXPERIMENTAÇÃO.....	50
4 DESENVOLVIMENTO.....	51
4.1 APLICAÇÃO DAS ANÁLISES DEMATEL-BWM E TOPSIS.....	51
4.1.1 EXECUÇÃO DO MÉTODO DEMATEL.....	51
4.1.1.1 Verificação da Sensibilidade do Método DEMATEL.....	57
4.1.2 APLICAÇÃO DO MÉTODO BWM.....	60
4.1.3 APLICAÇÃO DO MÉTODO TOPSIS.....	62
4.2 RESULTADO E ANÁLISE.....	65
4.2.1 ANÁLISE DA ALTERNATIVA 1.....	65
4.2.2 ANÁLISE DA ALTERNATIVA 2.....	68
4.2.3 ANÁLISE DA ALTERNATIVA 3.....	70
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	72
6 REFERENCIAS.....	74

.

INTRODUÇÃO

Este capítulo visa introduzir as especificações pertinentes à pesquisa, onde se evidencia o tema, problema abordado, os objetivos planejados e por fim, a justificativa para realização da mesma.

1.1 TEMA

Muitos problemas enfrentados pelos profissionais de saúde na atualidade são de extremo interesse para engenheiros porque envolvem tecnologia e aplicação prática em equipamentos médicos e sistemas (BRONZINO, 2006). A ligação entre as áreas de saúde e engenharias está extremamente relacionada no contexto clínico, visto que com o avanço da tecnologia médica, escala-se de forma concreta relacionando continuamente os estabelecimentos assistenciais de saúde (EAS) com o futuro dos equipamentos necessários para medicina.

No Brasil, os profissionais da área de saúde baseados em novas tecnologias, com origem nos países desenvolvidos, têm solicitado equipamentos cada vez mais sofisticados, gerando com isso um aumento do uso intensivo desses equipamentos e conseqüentemente um crescimento nos gastos com assistência médica, correlacionados aos dispêndios com aquisição e manutenção dos mesmos. (SOUZA; CALDAS; COSTA, 2015)

Os estudos relacionados aos equipamentos eletromédicos (EEM) vêm criando espaço mundialmente. No contexto internacional, a prática foi iniciada a partir da metade da década de 60 com a especialização do profissional de engenharia na área. Tal especialização se iniciou nos Estados Unidos e recebeu o nome de Engenharia Clínica. No Brasil, os profissionais responsáveis pelos equipamentos eletromédicos ainda são escassos, visto que tal área só começou a ser estudada na década de 90. Para atuar nesta função, há a necessidade de especialização e, no Brasil, poucos cursos são ofertados. Assim, empresas responsáveis pela venda de equipamentos médico-hospitalares tomam lugar na manutenção dos mesmos, gerando sistema de auditoria terceirizada.

O engenheiro clínico é responsável não só pela manutenção dos equipamentos eletromédicos mas também pelo pré-projeto de unidades cirúrgicas, UTI's,

dimensionamento elétrico, sistemas de proteção, cumprimento de normas, sendo que é de extrema importância a eficiência do profissional em realizar métodos de baixo custo.

De tal forma, a utilização dos métodos de análise multicritério cabe para avaliar a qualidade do serviço prestado pelas instituições de saúde, em que sistemas complexos são estudados de forma sintetizada e imparcial.

Esta técnica teve origem na década de 1960, para auxiliar à tomada de decisões, técnica a qual se subdivide em diversos métodos que são comumente empregados para resolução de problemas com alto grau de complexidade, em que a imparcialidade das decisões é indispensável, gerando conclusões relacionadas à preferência entre alternativas baseada em critérios impostos pelo sistema de julgamento. (MEDEIROS, 2013)

Apesar do desenvolvimento de diversos métodos para análise, estes seguem alguns parâmetros para obtenção dos resultados a partir de etapas, as quais são dados pela definição das alternativas, definição dos critérios relevantes para o problema de decisão, avaliação das alternativas em relação aos critérios, avaliação da importância relativa de cada critério e por fim determinação da avaliação global de cada alternativa. (SILVA; BELDERRAIN, 2005)

1.2 PROBLEMA

No ano de 2010, a ANVISA decretou a obrigatoriedade de um profissional responsável pela instalação, manutenção e descarte de equipamentos eletromédicos. Para gerenciar esses equipamentos, na maioria das unidades de saúde, utiliza-se trabalho terceirizado, visto que o custo da implantação da equipe técnica é alto para hospitais com baixa capacidade. Entretanto dessa forma todas as falhas acarretam na ativação de terceiros, os quais muitas vezes demoram para efetivar o seu trabalho, gerando gastos devido a desativação momentânea do equipamento. Assim, o presente trabalho busca emitir através de argumentos e dados concretos com base na aplicação de análises multicritério e estudo de caso no estado do Paraná, a não conformidade com relação aos equipamentos eletromédicos no sistema de saúde brasileiro, comparando o ambiente público ao privado.

Assim, propõe-se desenvolver um método multicritério que permita aos tomadores de decisão conduzir melhor o planejamento e ser mais competitivo no

cenário de negócios. A partir da caracterização da problemática, a presente pesquisa visa responder as seguintes questões: Para a situação de engenharia clínica descrita nesta problemática, como está o estado de conservação das instalações elétricas e equipamentos eletromédicos em EAS do estado do Paraná? Quais as problemáticas enfrentadas atualmente pelas EAS e como inserir melhorias nas mesmas? Para responder a estas questões, traçou-se os objetivos do trabalho.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GERAL

Promover a comparação da conservação das instalações elétricas e equipamentos eletromédicos em EAS na cidade de Ponta Grossa, no estado do Paraná, através de métodos de análise multicritério.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

OE1: Introduzir o conceito de Engenharia Clínica e explicar a responsabilidade da profissão com relação à energia elétrica e utensílios que utilizam eletricidade;

OE2: Conceituar o sistema de instalação elétrica em EAS, enfatizando os sistemas de aterramento em áreas específicas, destacando os itens relacionados com a relevância da área de estudo e normas aplicadas aos mesmos;

OE3: Adquirir dados relacionados ao controle de manutenção, calibração e segurança de EAS presentes no Paraná, visando a disseminação de informação relacionada a área;

OE4: Promover a comparação através de métodos de análise multicritério entre a qualidade do sistema elétrico predial, tanto quanto de equipamentos eletromédicos nos EAS do estado do Paraná, através da aplicação de um questionário baseado na avaliação elétrica da cabine primária, sistema contra impedimentos naturais e demais infortúnios, sistema de aterramento, medição de parâmetros dos EEMs, presença de dispositivos, treinamento aos usuários e qualidade física do EAS;

OE5: Classificar as instituições de saúde analisadas diante dos critérios adotados, aplicando propostas de melhoria individuais para cada EAS.

1.4 JUSTIFICATIVA

Moraes et al (2010) enfatizam que os países em desenvolvimento enfrentam muitos problemas com os equipamentos em seu sistema de prestação de serviços de saúde, em que aproximadamente 50% deles não estão em plena utilização. Assim, a Engenharia Clínica deve ser estudada nas instituições, uma vez que possibilita compreender como vêm sido implementadas e identificadas as características necessárias para adequação, tanto da estrutura elétrica, quanto dos equipamentos eletromédicos das EAS participantes da pesquisa.

Dentro deste contexto, esta pesquisa se justifica, pois é uma temática relevante, assim como o contexto da saúde, pois expõe através do questionário realizado as necessidades de modificações físicas e comportamentais dentro de tais instituições para que haja melhoria efetiva da qualidade do serviço prestado, obtendo resultados da análise efetivada onde propõe-se melhorias, as quais são imprescindíveis para o bom funcionamento da instituição.

Este trabalho também é relevante por desenvolver um instrumento que permite avaliar as condições de Engenharia Clínica em estabelecimentos de saúde. De tal forma, a análise empregada pode ser aplicada para demais instituições com o intuito de adequação e fortalecimento da estrutura elétrica, tanto quanto obtenção de equipamentos necessários para manutenção e segurança dos equipamentos eletromédicos.

Desta maneira, espera-se que o trabalho contribua de maneira aplicada e científica com a proposição de diminuir os riscos de acidentes provindos da eletricidade enfrentados pelos pacientes e funcionários em diversas instituições.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Em tal capítulo são apresentados os conceitos fundamentais para se cumprir com os objetivos propostos, em que serão abordados os seguintes temas principais: Conceitos sobre a Engenharia Clínica, instalações hospitalares, acidentes provenientes da eletricidade, os efeitos fisiológicos causados pela radiação e métodos de análise multicritério.

2.1 ENGENHARIA CLÍNICA

A Engenharia Clínica é um campo de conhecimento especializado para Engenharia Biomédica e Elétrica, com foco no planejamento de hospitais, incluindo treinamento de outros profissionais na área, em que enfatiza-se a gestão, manutenção, segurança e controle da qualidade das instituições de saúde. O curso de Engenharia Clínica tem duração de um à dois anos dependendo das matérias aplicadas (IEEE, 2017).

2.1.1 ATUAÇÃO DA ENGENHARIA CLÍNICA BRASILEIRA E INTERNACIONAL

A Engenharia Clínica foi criada em 1942 em St. Louis, nos Estados Unidos diante da existência de um curso relacionado à manutenção de equipamentos médicos, proveniente do exército estadunidense. Nas décadas seguintes a intensidade da aplicação tecnológica voltada para a medicina aumentou gradativamente tanto quanto a preocupação dos profissionais com relação aos riscos diante das dificuldades encontradas para realização de exames, alto custo de venda dos equipamentos e a segurança dos pacientes devido ao choque elétrico. Relata-se em 1970 pelo cirurgião Cari Walter, da Harvard Medical School o óbito de cerca de três pacientes por dia devido à choques elétricos (PORTO; MARQUES, 2016).

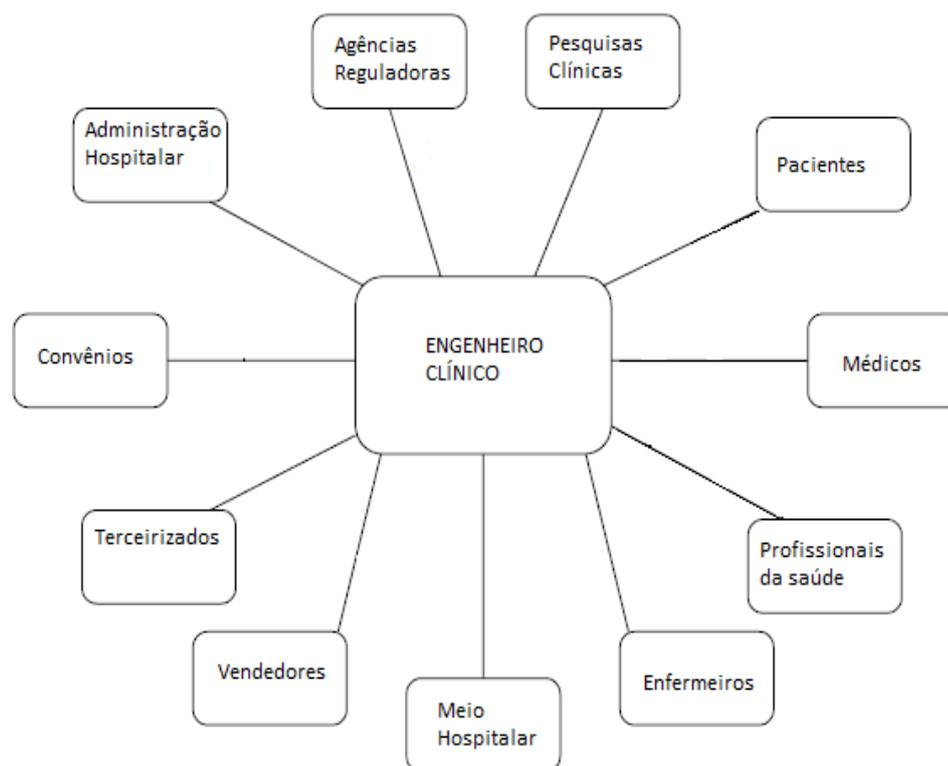
Durante dos anos de 1970, a Engenharia Clínica se expandiu vastamente, sendo que a administração dos Hospitais dos Veteranos (Veterans Health Administration) dividiu o país em distritos de Engenharia Biomédica, com um engenheiro biomédico chefe supervisionando todas as atividades de engenharia nos hospitais daquele distrito. Assim, em hospitais de larga escala e em algumas clínicas

pequenas, departamentos de Engenharia Clínica foram surgindo para introduzir novas tecnologias e implantar novos equipamentos eletromédicos (BRONZINO, 2006).

A Engenharia Clínica tendo se consolidado, acarretou na exposição de diversas pequenas falhas em equipamentos comuns de uso contínuo nos hospitais do país. Assim, as falhas na segurança eletromédica se tornaram evidentes a partir da má utilização dos equipamentos, desgaste e o negligenciamento da manutenção preventiva. Com o passar dos anos, a Engenharia Clínica se tornou extremamente necessária no âmbito estadunidense, em que os pequenos departamentos se tornaram centros de suporte para todos os hospitais periféricos, tornando-se referência (IFMBE, 2018).

Os profissionais da área atuam em grupo interdisciplinar, o qual contribui diretamente para diversas áreas hospitalares (Figura 1).

Figura 1 – Diagrama de interação entre o engenheiro clínico e demais setores.



Fonte: Adaptado de BRONZINO (2006)

Como informa a figura 1, a importância do profissional no âmbito internacional é evidente, tendo em vista o vasto avanço tecnológico relacionado aos EEMs, onde

cirurgias complexas ganham espaço e o surgimento curas para doenças até então desconhecidas se aplicam.

Conforme destacam Souza e More (2014), diante do último indicador disponível no DATASUS, o Brasil possui 270.113 estabelecimentos de saúde cadastrados, onde a maior parte desses estão localizados na região sudeste, o que justifica a presença da crescente oferta de especializações relacionadas a bioengenharia. Contudo, a quantidade de profissionais capacitados na área de Engenharia Clínica não supre a demanda visto que a procura pelo curso ainda é baixa. A consequência disso é a remuneração profissional, a qual não segue a Lei 3.950A, relacionada ao salário mínimo dos profissionais da área.

2.1.2 GESTÃO DE EQUIPAMENTOS MÉDICO-HOSPITALARES NO SUS

No ano de 2002, o Ministério da Saúde (MS) publicou um livro nomeado “Equipamentos médico-hospitalares e o gerenciamento da manutenção”, o qual tem por objetivo a capacitação a distância através do Projeto REFORSUS, visando a recuperação da rede física de saúde vinculada ao SUS, visto o longo período de ausência de investimentos significativos do governo em relação à saúde. Segundo artigo exposto pela Revista Brasileira de Inovação Tecnológica de Saúde, em novembro de 2017, tal livro abrange conceitos extremamente necessários para gestão de EEM e é considerado como um guia para os profissionais da área.

Em 2005 criou-se uma Comissão para elaborar a Política Nacional de Gestão de Tecnologias em Saúde (PNGTS) no âmbito do SUS. De acordo com BRASIL (2005), tecnologias em saúde são: medicamentos, equipamentos, procedimentos técnicos, sistemas organizacionais, informacionais, educacionais e de suporte, programas e protocolos assistenciais. A partir de tal fato, o MS implementou diversas ferramentas para que a gestão de EEMs, sendo assim, em 2010, a ANVISA instituiu a Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) n.º 2, de 25 de janeiro de 2010, que tem como objetivo:

Estabelecer os critérios mínimos, a serem seguidos pelos estabelecimentos de saúde, para o gerenciamento de tecnologias em saúde utilizadas na prestação de serviços de saúde, de modo a garantir a sua rastreabilidade, qualidade, eficácia, efetividade e segurança e, no que couber, desempenho, desde a entrada no estabelecimento de saúde até seu destino final, incluindo o planejamento dos recursos físicos, materiais e humanos, bem como da capacitação dos profissionais envolvidos no processo destes. (REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL, 2010, p. 79).

Assim, perante tal resolução os responsáveis pelos equipamentos hospitalares são orientados a aplicar um plano de gerenciamento, o qual não deve ser negligenciado caso o serviço relacionado aos equipamentos seja efetuado por terceiros (AMORIM; PINTO; SHIMIZU, 2015).

Segundo o Ministério da Saúde (2002), equipamentos utilizados em hospitais e órgãos de saúde devem ser classificados por grupos de compatibilidade, para que a manutenção dos mesmos seja feita com efetividade. Nota-se que em qualquer sistema de divisão adotado, muitos equipamentos se encaixam em mais de um grupo. Tomando como exemplo, máquinas de raios-X, elas se encaixam tanto como geradoras de imagem quanto no grupo de diagnósticos. Cada setor de manutenção deve dividir esse sistema de forma particular, dependendo do tipo de hospital e da sua experiência profissional, entretanto o estilo de divisão deve seguir a finalidade de:

- Facilitar a instalação da infra-estrutura necessária para manutenção de cada grupo de equipamentos (local de gases para teste dos ventiladores, pontos de energia de diferentes tensões para equipamentos eletrônicos, tanque de limpeza de materiais empoeirados ou com graxa, capela de fluxo para limpeza de equipamentos de ótica, etc.);

- Facilitar o gerenciamento de equipamentos cuja manutenção será executada externamente;

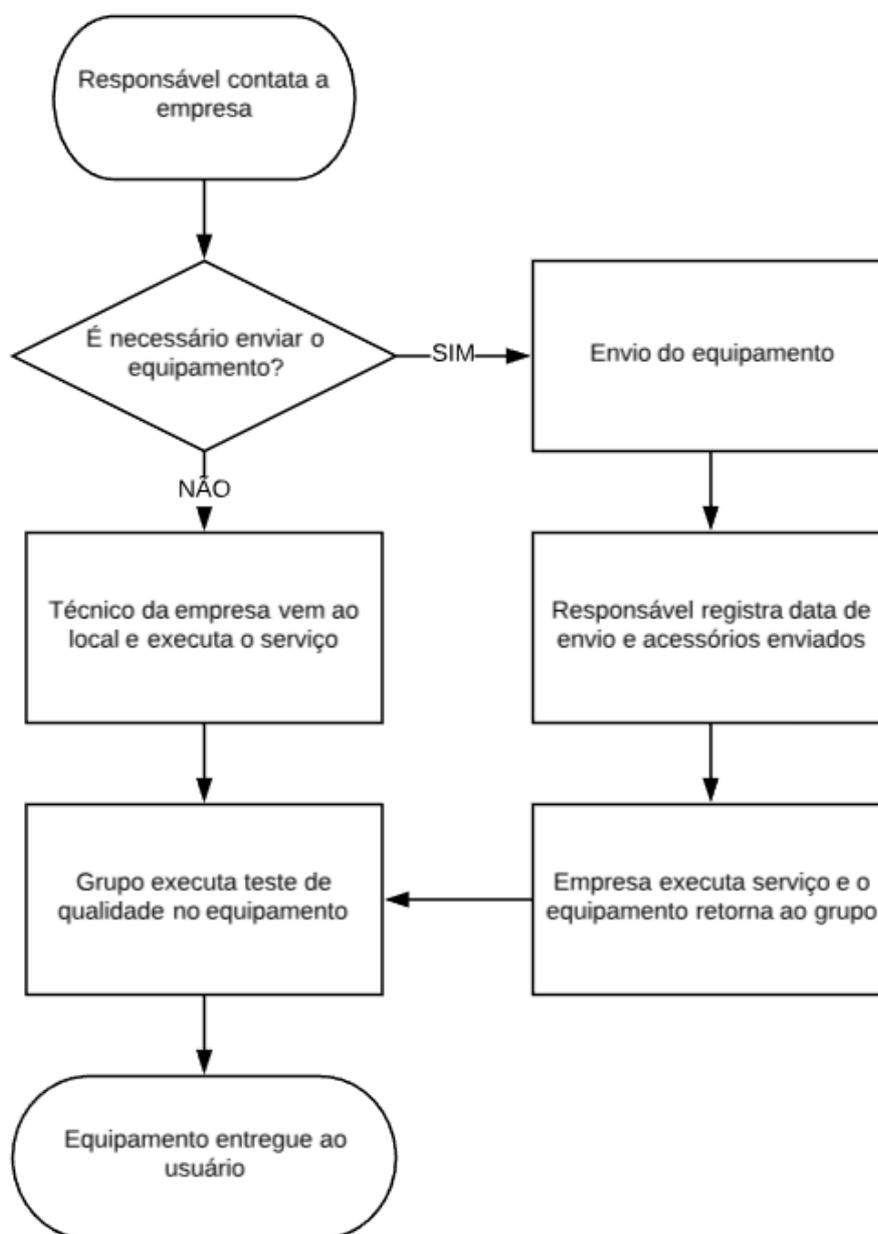
- Auxiliar na definição do perfil dos técnicos que devem atuar em cada grupo de equipamentos;

- Facilitar o sistema de gerenciamento de produtividade e custo da mão de obra por grupo. (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2002, p. 30).

Com relação ao gerenciamento de serviços externos prestados aos órgãos públicos, pode-se executar diversos tipos de contrato, sendo os mais comuns: Contrato de serviço por período determinado, serviço completo, serviço com hora limitada, serviço limitado, contrato de serviço sob demanda e solicitação de conserto para empresas prestadoras de serviços.

Os serviços por período determinado são utilizados vastamente nos EAS, sendo aplicado como demonstra o fluxograma presente na figura 2.

Figura 2 – Atividades executadas para equipamentos em contratos de serviço por tempo determinado.



Como ilustrado na figura 2, empresas terceiras são contratadas para a operação da manutenção de equipamentos e seguem tal fluxograma para efetividade do trabalho.

2.1.3 NORMAS DE SEGURANÇA ELÉTRICA VIGENTES

As normas da série NBR IEC 601 são baseadas nas normativas internacionais publicadas pelo IEC, de tal forma, visam adequar os EEMs em seus diversos setores, partindo de prescrições gerais de segurança e dividindo-se em três partes abrangentes com devidas ramificações, sendo estas mostradas no ANEXO A.

2.2 INSTALAÇÕES HOSPITALARES

Este tópico contém informações imprescindíveis para o bom entendimento da qualidade das instalações elétricas hospitalares, enfatizando o aterramento predial, tanto quanto outros tópicos pertinentes.

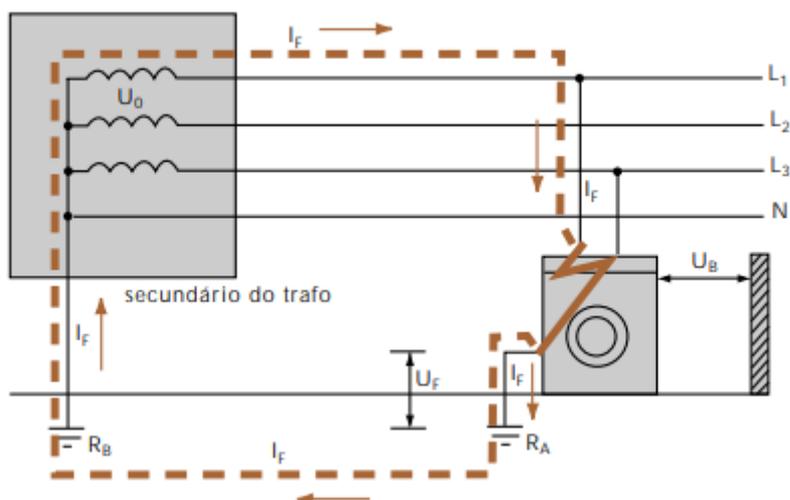
2.2.1 ATERRAMENTO EM SISTEMAS DE BAIXA TENSÃO

Segundo a norma NBR13534, os esquemas de aterramento possíveis de serem introduzidos em hospitais são TT, TN-S e IT médico. Os outros esquemas TN-C e TNC-S não são aceitáveis em EAS, visto que não há aterramento das massas.

2.2.1.1 Esquema de Aterramento TT

No esquema de aterramento TT (figura 3) o ponto neutro da fonte que é diretamente ligado ao sistema de aterramento geral, sendo as massas (equipamentos) da instalação são ligadas a um sistema de aterramento independente, ou seja, o sistema possui dois aterramentos diferentes, sendo um para o neutro e outro para as massas. No caso de uma fuga de corrente, sendo essa por falta de fase ou problema de isolamento genérico, o percurso da corrente inclui o aterramento direto com a terra, fechando circuito e gerando alto valor de resistência, limitando a corrente que o percorre, assim, a corrente é insuficiente para ativar a proteção (MORENO; COSTA, 1998).

Figura 3 – Esquema de aterramento TT

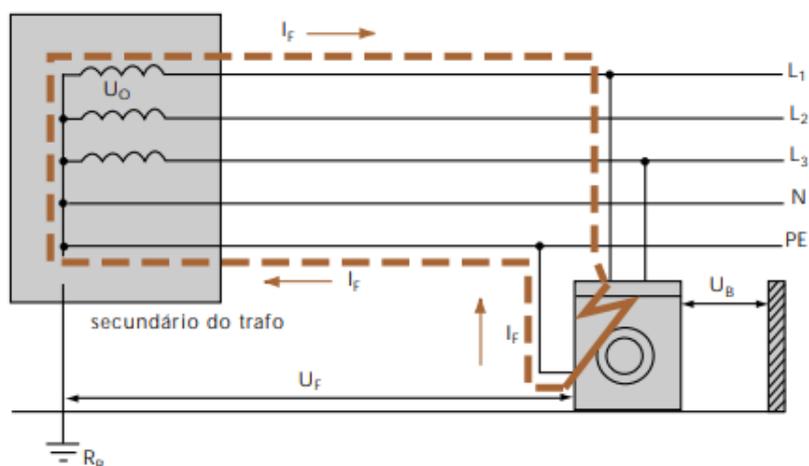


Fonte: PROCOBRE (2018)

2.2.1.2 Esquema de Aterramento TN-S

O aterramento TN (figura 4), é o mais utilizado em instalações elétricas brasileiras. Tal esquema possui variações, sendo essas TN-S e TN-C. Como pode-se observar na figura 4, as fases e neutro são diretamente aterradas, mas diferentemente do sistema TT, o TN tem a proteção de suas massas ligadas ao ponto de aterramento através de um cabo auxiliar de proteção seguindo para o QDC da instalação. O que diferencia o sistema TN-S do TN-C é que as funções do neutro e da proteção são aplicadas em condutores distintos e apenas o esquema de aterramento TN-S pode ser aplicado para condutores de alimentação com bitola inferior a 10mm (HEIN, 1996).

Figura 4 – Esquema de aterramento TN



Fonte: PROCOBRE (2018)

2.2.1.3 Sistema IT Médico

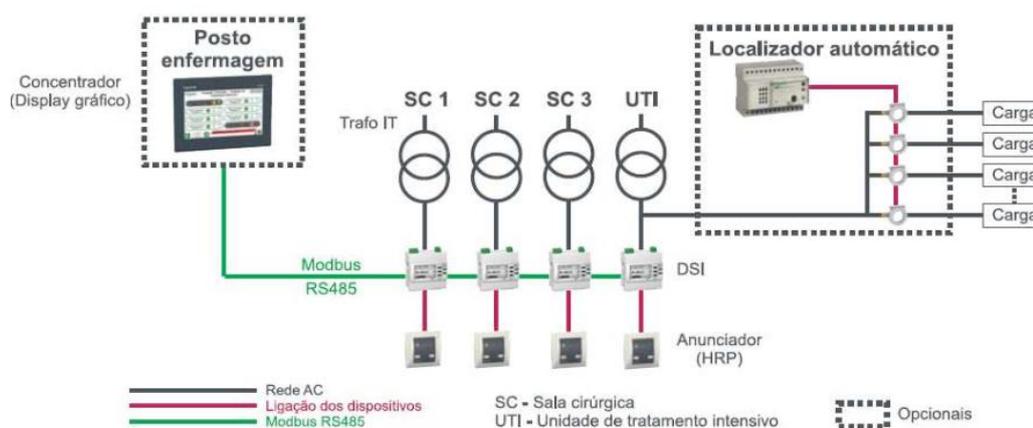
O Sistema IT Médico visa garantir a integridade do fornecimento de energia elétrica em caso de primeira falta à terra em EAS, tal sistema é previsto pelas normas NBR 5410, NBR 13534, RDC 50 da ANVISA e pela Portaria no Ministério da Saúde 2662, sendo este exigido em áreas de Grupo 2, que são:

Salas para procedimentos médicos nas quais os componentes aplicados são projetados para emprego em procedimentos intracardíacos, campos operatórios, tratamentos vitais, etc., onde a descontinuidade (falha) da alimentação de energia pode acarretar perigo de vida (ABNT NR 13534, 2018).

Na ausência do sistema IT, a corrente de fuga pode causar microchoque, choque elétrico, queimaduras, paradas e desligamento de EEM de sustentação e monitoramento de vida. Assim, no sistema de aterramento IT, não existe nenhum ponto de alimentação aterrado com a finalidade de isolar as partes vivas gerando um fornecimento seguro para os EEMs. O isolamento, sendo feito dessa maneira, impede que o paciente sofra as consequências da falta de energia, e para a maior segurança em salas cirúrgicas aconselha-se a implementação unitária em cada sala. No caso da UTI, o limite de potência do transformador não poderá exceder 10kVA e deve se adequar ao número de leitos (RDI BENDER, 2018).

O Sistema IT (figura 5), tem diversas vantagens se comparado ao TN e TT, visto que é o mais seguro com relação a acidentes e incêndios. Na ocorrência de falhas de isolamento, a corrente será pequena, não rompendo os fusíveis. Na ocorrência de um curto-circuito entre as fases, as correntes de defeito tornam-se elevadas, de tal forma o sistema IT Médico conta com dispositivos capazes de isolar o problema e fornecer energia adequada. A equipotencialização é considerada a medida mais eficaz para diminuir os riscos de incêndio, explosão e choques elétricos dentro de uma instalação elétrica (DECKMANN; POMILIO, 2012).

Figura 5 – Arquitetura típica de um Sistema IT Médico.



Fonte: DIPOLO ELÉTRICO (2018)

Os transformadores de separação tem por objetivo isolar a energia dos equipamentos supervisionados da energia fornecida para os demais equipamentos. Sendo assim, estes transformadores devem ser instalados nas proximidades do ambiente supervisionado, sendo protegido por cubículos ou invólucros para evitar acidentes (WEG, 2018).

Dispositivos Supervisores de Isolamento (DSI), são dispositivos que permitem o controle de isolamento de fuga à terra do fornecimento da rede, como sobrecarga térmica e elétrica do transformador. O controle da resistência de isolamento é feito pela medição do sinal entre a linha isolada e o aterramento. (WEG, 2018)

A arquitetura presente no Sistema IT Médico pode possuir diversos parâmetros dependendo da necessidade do EAS, mas basicamente o sistema fornecido encontra-se representado na figura 5, em que o posto de enfermagem consegue receber as notificações de segurança da rede através de um sistema de comunicação interno

ligado diretamente nos DSI, os quais ativam os alarmes em caso de falha interna, sendo curtos em cargas ou dos transformadores. (RDI BENDER, 2018)

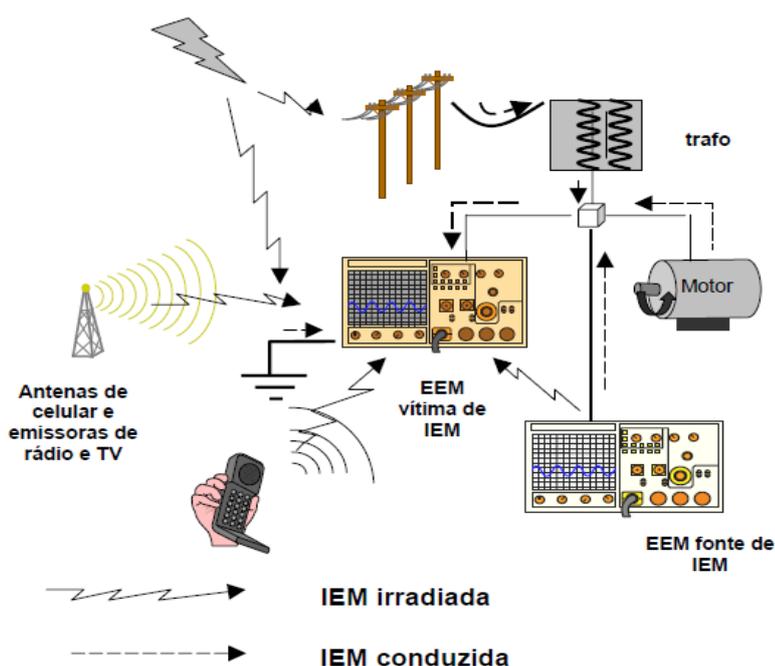
Os demais itens presentes em salas do grupo 2, que não são associados à sustentação da vida, tais como mesas cirúrgicas, equipamentos de raios-X e equipamentos de grande porte (>5kVA) devem ser ligados ao sistema de alimentação com aterramento comum. (RDI BENDER, 2018)

2.2.2 INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NO AMBIENTE HOSPITALAR

Ao mesmo tempo que um equipamento está recebendo IEM, este também emite ondas eletromagnéticas capazes de alterar o funcionamento de outros equipamentos próximos, de tal forma é necessário que ambos estejam na mesma frequência de ressonância, possuam filtros de linha ou carcaças externas blindadas. (BARRETO; FREIRE, 2007)

A IEM é dita conduzida quando ocorre por meio de cabos, quando ocorre através do ar ou outros fluidos é dita radiada, que é a forma mais frequente de IEM sendo difícil detecção e controle. (Cabral; Mühlen, 2005). A figura 6 apresenta os principais emissores de IEM em EAS.

Figura 6 – IEM conduzida e irradiada em EAS



Fonte: ZEVZIKOVAS (2004)

O ambiente hospitalar é muito suscetível a IEM, visto que diversos EEMs estão dividindo o mesmo espaço e muitos desses estão interligados. Salas cirúrgicas e UTIs necessitam de alta confiabilidade em seus equipamentos para que procedimentos minuciosos possam ser realizados, assim, ruídos e interferências externas devem ser minimizados (BERT, 1997).

EEMs modernos possuem em sua composição interna diversos circuitos amplificadores e microprocessadores sensíveis. Portanto, procura-se reduzir a IEM promovendo blindagem em sua construção e em contrapartida equipamentos antigos têm composição feita por relés, bobinas e válvulas os quais necessitam constante manutenção (ZEVZIKOVAS; 2004).

Zevzikovas (2004) relata a importância em notar que centros cirúrgicos possuem dois tipos específicos de EEMs, sendo equipamentos de monitoramento, os quais atuam com a funcionalidade de detecção de sinais fisiológicos com amplitudes variando entre μV a mV , e de terapia por ondas que induzem campos eletromagnéticos intencionalmente.

Visando a diminuição da IEM nesses ambientes em 1997 criou-se a norma 60601-1-2/97 para fabricação de EEMs, impondo requisitos técnicos de imunidade a qual se tornou obrigatória no ano de 2002, estabelecendo que EEMs devem ser imunes a campos elétricos de até 3V/m , não permitindo campos acima de $31,6 \mu\text{V/m}$ na faixa de 30MHz a 230MHz , e de $70,6 \mu\text{V/m}$ na faixa de 230MHz a 1.000MHz para equipamentos de uso exclusivamente hospitalar. Equipamentos projetados antes da aplicação de tal norma estão isentos de tal certificação, cabendo a equipe de manutenção da EAS supervisionar os parâmetros de IEM (Cabral; Mühlen, 2005).

2.2.3 CALIBRAÇÃO DE EQUIPAMENTOS

A calibração de equipamentos é de suma importância, o ato de verificação e aferimento em geral resguarda vidas não apenas na área médica, mas de forma abrangente em muitos outros aspectos.

Calibração é a operação que estabelece, sob condições especificadas, num primeiro passo, uma relação entre os valores e as incertezas de medição fornecidos por padrões e as indicações correspondentes com as incertezas associadas; num segundo passo, utiliza esta informação para estabelecer uma relação visando a obtenção dum resultado de medição a partir duma indicação (VIM, 2012, p. 12).

O INMETRO é o órgão responsável pela verificação metrológica de EEM, o qual procura garantir a credibilidade das medições e fornecimento de informações. As exigências de calibração são definidas pelos Regulamentos Técnicos Metrológicos (RTM), o qual visa assegurar e regulamentar os resultados de medições, definindo critérios para que técnicos possam avaliar a seguridade dos equipamentos aferidos. A verificação do instrumento é conduzida, pelo técnico responsável, assim os equipamentos que atendem os requisitos são aprovados e os que não cumprem o regulamento são reprovados, impossibilitando o seu uso até que as medidas cabíveis sejam aplicadas (IPEM, 2014).

Segundo o IPEM (2014), diante da norma NBR ISO/IEC 17025:2005, algumas informações são necessárias para que o técnico realize o relatório das medições e assim a possível aprovação do equipamento, são eles:

- Identificação do método utilizado;
- Uma descrição, condição e identificação não ambígua, do(s) item(s) ensaiado(s);
- Resultado da calibração ou ensaio, com as unidades de medida, onde apropriado;
- As condições (por exemplo: ambientais) sob as quais as calibrações foram feitas, que tenham influência sobre os resultados da medição;
- A incerteza de medição e/ou uma declaração de conformidade com uma especificação metrológica identificada ou seção desta.

O procedimento de calibração é um documento utilizado por técnicos da área para obter controle e a uniformização das atividades realizadas, assim, igualando a atividade técnica para um determinado equipamento.

Exemplificando a utilização do método de relatório de medições, apresenta-se no ANEXO B um modelo de procedimento de calibração para um esfigmomanômetro (aparelho utilizado para verificar a pressão arterial).

2.2.4 MANUTENÇÃO

Este item dispõe informações necessárias para o entendimento e efetuação da gestão da manutenção de equipamentos eletromédicos, tanto quanto das instalações elétricas presentes nos hospitais.

2.2.4.1 Gerenciamento da Manutenção

Ao adquirir novos equipamentos, a EAS deve tomar algumas precauções para que a durabilidade e instalação do mesmo estejam otimizadas. São três processos básicos necessários para que os recebimentos de EEM sejam eficientemente registrados, sendo esses, a avaliação, aceitação e instalação. No quesito de avaliação, propõe-se que o equipamento adquirido seja retirado da embalagem na presença do fornecedor, para que eventuais danos ocorridos pelo transporte ou por falta de componentes sejam sanados rapidamente, de tal forma, um membro do grupo de manutenção deve estar com a listagem do material adquirido, tanto quanto exigências técnicas. É altamente recomendável que todos os documentos referentes ao equipamento sejam arquivados para futuros imprevistos.

A aceitação dos EEMs refere-se aos procedimentos de testes realizados logo após o ato de recebimento dos mesmos, tendo em vista o bom funcionamento do equipamento adquirido, a equipe de manutenção deve realizar testes iniciais, os quais são diferentes para cada tipo de equipamento, sendo muitas vezes necessário o uso de fantasmas para EEMs específicos como materiais que simulam tecidos e placas de alta resolução em equipamentos de imagem. Aconselha-se a comunicação interna entre o setor administrativo e o de manutenção para somente realizar o pagamento dos novos equipamentos após a efetivação positiva dos testes necessários.

O processo de instalação de EEM pode possuir alto grau de complexidade, sendo necessário contrato de serviço externo, visto que pode haver componentes hidráulicos, mecânicos e elétricos não especificados previamente para a utilização do equipamento solicitado, e é dever do responsável pelo grupo de manutenção informar-se sobre todas as necessidades externas referentes ao equipamento a ser instalado antes mesmo do processo de aquisição (Ministério da Saúde, 2002).

Alguns EAS de grande escala contam com mais de 128 EEM, variando entre itens de pequeno porte como bisturis eletrônicos até equipamentos que ocupam salas completas, como câmaras gama, de tal forma aconselha-se utilizar alguma forma de codificação para tais itens (Ministério da Saúde, 2002).

O método de codificação auxilia os gestores à controlar e classificar todos os equipamentos presentes nas áreas de saúde. De tal forma indica-se a utilização de um procedimento individual para EAS que já possuem controle com números patrimoniais. A utilização de *software* específico para gestão de banco de dados auxilia neste processo, fazendo com que a gestão de muitos equipamentos torne-se mais simples. Assim, a NBR 8190, padroniza o sistema de tagueamento, identificando equipamentos, sistemas, instrumentos e instrumentação, facilitando a rastreabilidade da peça (COUTINHO, 2018).

O gerenciamento proposto pelo Ministério da Saúde conta com um sistema de oito dígitos, sendo os dois primeiros referentes ao local onde o EEM encontra-se alocado, os dois seguintes, o tipo de equipamento, os outros dois quantificam os equipamentos adquiridos em um determinado ano e os últimos algarismos, o ano de aquisição do mesmo. Tomemos como exemplo o segundo equipamento de Raio X adquirido no ano de 2010 presente no serviço de neurologia do hospital, o código do equipamento deve ser escrito: NE-RX0210.

O banco de dados deve possuir todas as informações relevantes para a otimização do processo de manutenção, tal processo deve ser tratado com rigidez visto que o tempo de inatividade ou falhas de manutenção acarretam em grandes perdas, assim, sendo indispensável a atualização do cadastro de todos os EEMs (COUTINHO, 2018).

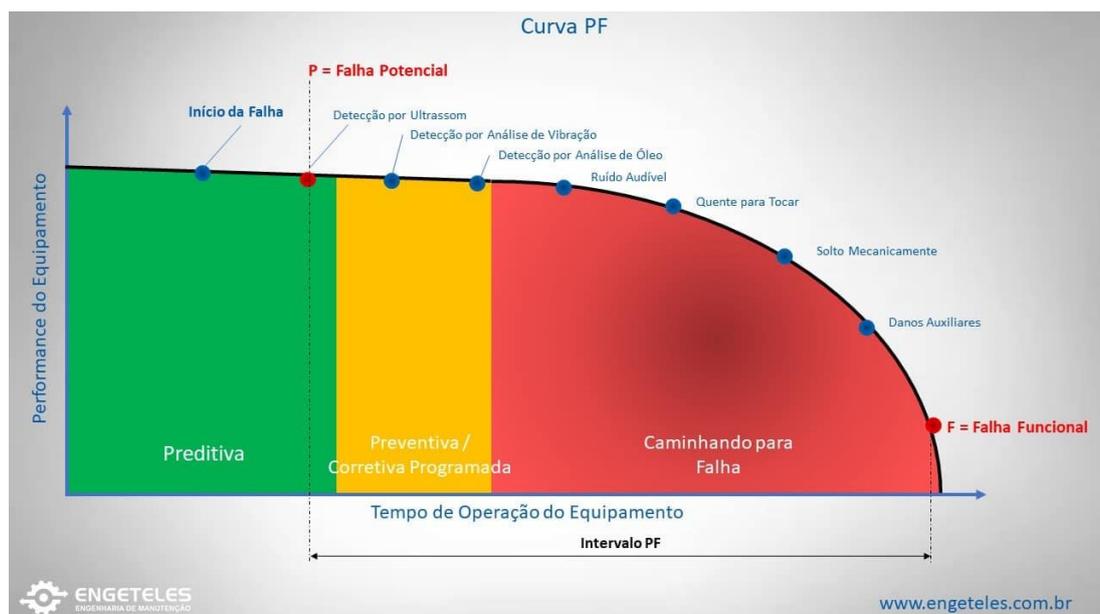
A lista a seguir procura reproduzir uma relação das informações que podem ser utilizadas para implementação do banco de dados:

(1) Os tipos e a quantidade de equipamentos disponíveis no serviço/unidade; (2) A frequência de quebra de cada equipamento ou modelos de equipamento; (3) A frequência de quebra de equipamentos por serviço; (4) A idade de cada equipamento; (5) A taxa de utilização por equipamento; (6) O número de pessoas autorizadas a operar um equipamento; (7) O número de pessoas treinadas para operação de um equipamento; (8) O tempo em que esse equipamento fica ocioso durante a manutenção; (9) O número de atendimentos que deixam de ser feitos por falta do equipamento; (10) Se existe a possibilidade de rearranjo dos equipamentos no serviço / unidade; (11) Se existem equipamentos de reserva por serviço / unidade; (12) A taxa de ociosidade dos equipamentos; (13) Os problemas existentes para a operação dos equipamentos; (14) A média diária de atendimentos; (15) A capacidade ociosa do serviço; (16) Os problemas e limitações existentes para a execução de um determinado serviço; (17) O tipo (preventiva e/ou corretiva), local (interna e/ou externa) e a qualidade da manutenção executada (CALIL; TEIXEIRA, 1998, p. 10).

2.2.4.2 Curva PF

A Curva PF (*Potential Failure*) é um gráfico (figura 7) utilizado para ilustrar a vida útil de um determinado equipamento. Com base na performance em relação ao tempo, verifica-se o momento exato de aplicar a manutenção específica para a falha resultante. O gráfico visa analisar com base nos momentos de falha potencial e funcional o desempenho do equipamento que é degradado com o passar do tempo, até o ponto em que a incapacitação do mesmo é iminente (ENGETELES, 2018).

Figura 7 – Curva PF



Fonte: ENGETELES (2018).

2.2.4.3 Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva visa reduzir a probabilidade de falha potencial, ou seja, falhas em estado inicial em que o equipamento não cessa a sua função, mas há indicativos de que seu desempenho logo será comprometido. Tal aplicação é efetivada enquanto o equipamento tem sua performance normal com o objetivo de impedir o mal funcionamento ou deterioração do mesmo. A aplicação da manutenção preventiva não é funcional para todos os tipos de equipamentos, sendo que a aplicabilidade desse tipo de manutenção é economicamente viável apenas em 11% dos casos, de tal forma deve-se executar apenas nos EEMs que possuem suas funções degradadas com o tempo, toma-se como exemplo equipamentos que necessitam a troca de óleo independente da sua utilização. (CISNEROS, 2011)

A utilização da manutenção preventiva de forma estratégica propicia a redução de custos e da incapacitação de funcionamento dos equipamentos a serem mantidos, assim, para que não haja reposição indevida de peças internas, ou gastos irregulares, utiliza-se a Análise dos Modos e Efeitos de Falha (FMEA) que é uma das primeiras técnicas estruturadas e sistematizadas para análise de falhas.

O FMEA procura gerenciar a confiabilidade do processo envolvendo revisão de número de componentes, montagens, subsistemas a fim de verificar causas das falhas. De tal forma utiliza-se equações gerais para frequência de inspeção em máquinas para realização da manutenção. (TELES, 2018), são essas: O cálculo de frequência de inspeção é realizado por meio da equação 1.

$$T1 = 0,7.MTBF \quad (1)$$

Em que em (1):

T1 é o tempo para a próxima inspeção (em horas) e

MTBF é o tempo Médio entre Falhas.

O cálculo de frequência de troca de peças é realizado por meio da equação 2.

$$T2 = 0.85.R \quad (2)$$

Em que em (2):

T2 representa o tempo para a próxima troca (em horas) e

R indica confiabilidade.

O cálculo de frequência de lubrificação é realizado por meio da equação 3.

$$T3 = K. \left[\left(\frac{14.10^6}{n.(d^{0.5})} \right) - 4.d \right] \quad (3)$$

Em que em (3):

T3 é o tempo para a próxima lubrificação (em horas);

K indica a multiplicação de todos os fatores de correção;

N refere-se à velocidade em RPM e

d é o diâmetro Interno.

2.2.4.4 Manutenção Preditiva

A aplicação da manutenção preditiva propicia a identificação de falhas em seu estágio inicial, quantificando o seu grau de severidade através de inspeções instrumentadas com determinada frequência temporal.

Diferentemente da manutenção preventiva, a qual utiliza a padronização de contato com o equipamento em determinado tempo, independentemente da situação do mesmo, a manutenção preditiva tem por objetivo inspecionar o equipamento através de métodos específicos, os quais abrangem um espectro definido para limites aceitáveis de ruídos físicos e a partir dos dados obtidos verificar a necessidade de reparo. Tal ação, normalmente, torna a manutenção preditiva mais aceitável economicamente em comparação à preventiva, visto que a troca interna é pontual, não gerando gastos desnecessários (XENOS, 1998).

Os quatro tipos verificação da necessidade de manutenção preditiva com maior aplicabilidade são análises de óleo e vibração, termografia e ultrassom. Cada técnica visa monitorar modos de falha diferentes a partir dos dados obtidos com a aplicação prévia do FMEA, o qual tem por objetivo identificar vibração excessiva, aumento de temperatura, qualidade reduzida de lubrificação e demais sintomas de falhas em cada equipamento (COSTA; MARUYAMA; NETO, 2010).

2.2.4.5 Manutenção Corretiva

Caracteriza-se a manutenção corretiva como a intervenção direta no momento em que a falha funcional é atingida, ou seja, quando o equipamento para de exercer a sua devida função. Apesar do alto custo da sua aplicação devido à falta de planejamento estratégico necessário para correção das falhas, este ainda é o método

de manutenção mais aplicado em consequência do negligenciamento de cuidados com os equipamentos adquiridos nos EAS brasileiros (TERRA et al. 2014).

2.3 CONCEITOS SOBRE ANÁLISE MULTICRITÉRIO

A relação de métodos de segurança instituída em estabelecimentos assistenciais de saúde de grande e médio porte, como hospitais e clínicas, necessita de planejamentos específicos para efetuar-se eficazmente, tal que estas estratégias, em sua maioria, complexas, demandam diversos fatores para sua concretização de forma ótima. Decisões relacionadas à manutenção, revisão e administração de EEMs, estão diretamente interligadas às instalações prediais que utilizam estes. Assim, os critérios que enaltecem as prioridades da qualidade do serviço prestado devem ser estudados de forma condizente (ABBAS, 2001).

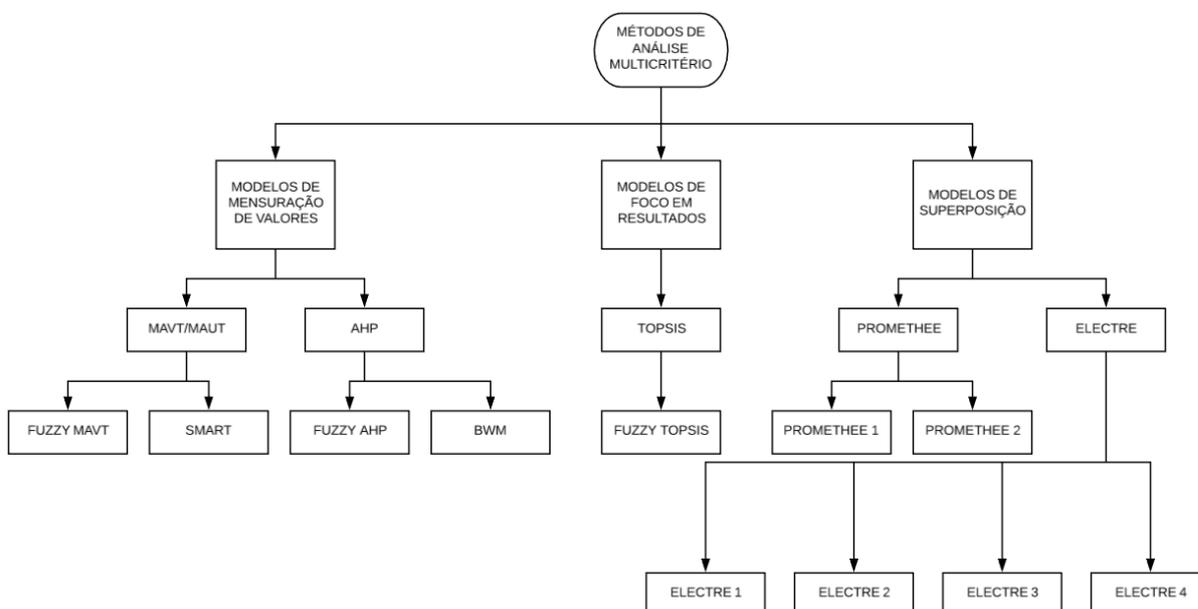
A influência dos fatores de decisão é remetida a diversos efeitos interpessoais, sendo classificados a partir de seus fundamentos éticos, emocionais, conhecimentos teóricos e subfatores que caracterizam ações profissionais em geral (VELHO, 1986). Com o objetivo de definir critérios para priorizar ações de controle do sistema, comumente utiliza-se a opinião pessoal, sendo esta diversas vezes errônea e tendenciosa (PAGANOTTI, 2015).

De tal modo, métodos de análise matemática surgiram como forma assistencial para a tomada de decisão.

O MCDA, "*Multiple Criteria Decision Analysis*", traduzido do inglês como "Análise Multicritério", é um método utilizado para explicitar através de análises matemáticas a resolução de problemas específicos através das características utilizadas como critérios base conflitantes para tomada de decisão, tendo como ponto de eficácia o não conflito entre decisões ótimas sob os aspectos analisados, assim, gerando um processo de tomada de decisão com maior confiabilidade (VINCKE, 1992).

Para a resolução desses problemas complexos, existem diversos procedimentos distintos, os quais tomam como prioridades aspectos específicos, sendo a maior parte destes baseados em três modelos, como ilustrado na figura 8.

Figura 8 – Organograma dos modelos mais utilizados no MCDA



Fonte: Adaptado de (PIEDADE, 2003).

Tomando como base os três modelos e suas derivações apresentados pela figura 8, definem-se como “Modelos de Mensuração de Valores”, aqueles métodos que se baseiam na atribuição de valores numéricos para cada objeto a ser selecionado, ranqueando tais opções através dos valores atribuídos pela análise, sendo o maior valor concedido à opção mais significativa. Com relação aos “Modelos de Foco em Resultados”, o objetivo é encontrar a melhor opção pontualmente dependendo dos critérios impostos. Já os “Modelos de Superposição”, os critérios são confrontados par a par, a partir da preferência com relação a uma alternativa à outra. O método corrobora os pesos com relação aos critérios adotados a partir dos desempenhos avaliados pelos mesmos, fazendo com que haja a compreensão da correlação entre eles (ROMANO, 2018).

2.3.1 ESPECIFICAÇÕES DO MÉTODO DEMATEL

O método DEMATEL (*Decision Making Trial and Evaluation Laboratory*) foi desenvolvido por Gabus e Fontela no Centro de Pesquisa de *Battelle Memorial Institute* em Genebra entre os anos 1972 e 1976 com o objetivo de validar a relação entre critérios independentes e tornar a criticidade do modelo estrutural visível, ou

seja, visualizar estruturas causais complexas através de matrizes e diagramas. Através dos anos, este modelo é cada vez mais utilizado em diversas áreas, aumentando a credibilidade e legitimidade do mesmo, sendo muitas vezes aprimorado e mesclado com outras análises multicritério (SHENG-LI SI et. al, 2018).

Para aplicação do método, é necessária aplicação de seis etapas distintas, as quais são especificadas adiante.

Etapa 1 – Avaliar Critérios com Especialistas

Através da análise de especialistas obtém-se a avaliação das relações de influência entre os critérios estudados elencados por meio de comparações paritárias. A partir dos dados fornecidos pelos profissionais da área como apresentado no quadro 01, avalia-se matricialmente os resultados comparando-os aos pares.

Quadro 01 – Escala de avaliação de influência entre fatores analisados

Grau de Influência	Valor numérico
Sem influência	0
Baixa influência	1
Média influência	2
Alta influência	3
Muito Alta influência	4

Fonte: HSU (2013)

Após a avaliação de cada especialista, adquire-se uma matriz quadrada de ordem n , não negativa para cada profissional participante, onde n associa a quantidade de critérios avaliados comparando as influências entre os mesmos. De tal forma, ao final da primeira etapa obtém-se $X^1, X^2, X^3 \dots X^m$ matrizes, em que m é o número de especialistas responsáveis pela avaliação dos critérios. Assim, aplica-se a média entre as matrizes-resposta por meio da equação 4 a fim de resultar em apenas uma matriz com influência de todos os avaliadores representada por Z (KAUSHIK, 2015).

$$Z = z_{ij} = \frac{1}{m} \cdot \sum_{k=1}^m x_{ij}^k \quad (4)$$

Em que em (4):

i indica a locação da coluna do critério;

j indica a locação da linha do critério;

k refere-se ao número do critério e

x ao critério.

Etapa 2 – Normalização da Matriz Média Z

Para a aplicação da normalização da matriz-resposta obtida no primeiro passo, deve-se aplicar uma constante de normalização representado na equação 5 com o objetivo de manter todos os termos em um mesmo patamar, sendo os resultados da matriz normalizados com valores de 0 a 1 (GÖLCÜK, 2016).

$$\lambda = \text{Min} \left[\frac{1}{\max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n |Z_{ij}|}, \frac{1}{\max_{1 \leq j \leq n} \sum_{i=1}^n |Z_{ij}|} \right] \quad (5)$$

Em que em (5):

λ indica a constante de normalização.

A matriz normalizada é obtida através da equação 6.

$$D = \lambda \cdot Z \quad (6)$$

Em que em (10):

D representa a Matriz normalizada.

Etapa 3 – Cálculo da matriz de relação total T

Os critérios de um sistema são representados através de um mapa de influências, em que se correlacionam de forma direta ou indireta. Sendo assim, a relação direta entre os critérios é definida como um critério influencia apenas outro, sem que haja divisão dessa relação. Já a relação indireta se dá quando um critério possui influências em dois ou mais, perdendo sua força de interação conforme se

distância da origem no mapa. Assim, as influências indiretas de um critério em outro são representadas matricialmente na forma de uma potência m na matriz \mathbf{D} , sendo representativamente associada como \mathbf{D}^m . Conforme m tende a infinito pela distância imposta entre os critérios, os efeitos correlacionados se tornam inversamente proporcionais como demonstra a equação 7 (FALATOONITOOSI, 2014).

$$\lim_{m \rightarrow \infty} \mathbf{D}^m = [0] \quad (7)$$

$$\mathbf{T} = \mathbf{D} \cdot (\mathbf{I} - \mathbf{D})^{-1} \quad (8)$$

Em que em (8):

\mathbf{I} representa a Matriz Identidade.

Solucionando a equação 7 e associando à equação 8, adquire-se a matriz de relações totais \mathbf{T} .

Etapa 4 – Cálculo da intensidade de efeitos provocados e recebidos

As somas das linhas e colunas da matriz \mathbf{T} , a qual reflete as relações totais entre os critérios, são representadas respectivamente pelos vetores \vec{r} e \vec{c} , sendo assim, as equações 9 e 10 correspondem tais vetores.

$$\vec{r} = [r_i]_{n \times l} = (\sum_{j=1}^n t_{ij})_{n \times l} \quad (9)$$

$$\vec{c} = [c_j]'_{l \times n} = (\sum_{i=1}^n t_{ij})'_{l \times n} \quad (10)$$

Em que:

r_i representa os efeitos totais, diretos e indiretos, provocados pelo fator i da matriz \mathbf{T} incidente em outros fatores;

c_j representa os efeitos totais, diretos e indiretos recebidos pelo fator j da matriz \mathbf{T} ;

n representa a alocação vertical do vetor e

l representa a alocação horizontal do vetor.

Considerando que a matriz \mathbf{T} é uma matriz quadrada, $(r_i + c_i)$ representa os efeitos totais causados e recebidos do i -ésimo fator. Assim, a combinação dos efeitos causados e recebidos pelos critérios conferem efeitos diversos dependendo da sua intensidade no sistema em que estão expostos (FALATOONITOOSI, 2014).

De tal forma, se um critério i provoca mais efeitos do que recebe, $r_i > c_i$ e $r_i - c_i > 0$.

Se a expressão $(r_i - c_i) > 0$ for validada, o critério i é dito como um critério-causa do sistema.

Se a expressão $(r_i - c_i) > 0$ não for validada, ou seja, for negativa, o critério recebe mais efeitos do sistema do que transmite, assim é dito como critério-efeito (GÖLCÜK, 2016).

Etapa 5 – Definição do limiar de análise para construção do mapa de influência

O limiar de análise é definido por α , dado a partir da equação 11, a qual define quais efeitos não serão analisados com base em suas intensidades relativas aos critérios do sistema.

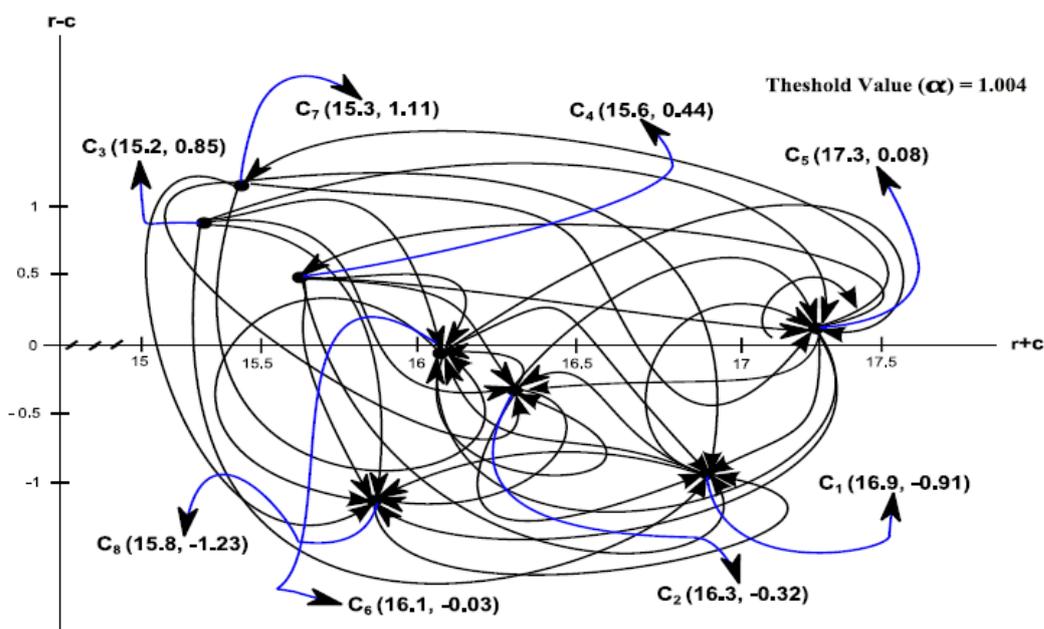
$$\alpha = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n [t_{ij}] \quad (11)$$

Em que o fator N é dado pelo número total de elementos na matriz \mathbf{T} e t representa a distância entre vetores (GÖLCÜK, 2016).

Etapa 6 – Construção do mapa de influência

Obtendo as informações diante das etapas precedentes, constrói-se o mapa de influência com relação aos critérios observados, o qual representa graficamente a interação entre critérios impostos na decisão em questão através de um plano cartesiano em que os critérios são plotados como pontos e as interações são emitidas e recebidas através de setas indicadoras como demonstra a figura 9 (KAUSHIK, 2015).

Figura 9 – Exemplo de um mapa de influência adquirido pelo método DEMATEL



Fonte: (KAUSHIK, 2015)

Em tal mapa de influência tomado como exemplo, nota-se as setas saindo e entrando nos pontos representados pelos critérios, as quais representam a influência que um critério exerce sobre o outro.

O eixo x do mapa de influência representa a interação de efeitos causados e recebidos pelos outros critérios, ou seja, em tal exemplo nota-se que o critério C₈ se localiza mais à esquerda do gráfico, assim, é o critério que menos influência nos outros, ao contrário do critério C₅, que exerce maior influência.

Com relação ao eixo y, observa-se o critério C₂ encontra-se mais abaixo do gráfico, enquanto o critério C₇, mais acima. Isso representa o peso dos mesmos, ou seja, quando mais acima o critério está no eixo y, maior será o peso adotado por tal.

2.3.2 ESPECIFICAÇÕES DO MÉTODO BWM

O BWM (*Best Worst Method*) é um método de análise multicritério referente ao modelo de mensuração de valores, o qual é uma adaptação do Método AHP (Analytic Hierarchy Process) em que se envolve a estruturação de vários critérios através da escolha em hierarquia numérica. Desenvolvido pelo Dr. Jafar Rezaei, na Universidade Tecnológica de Delft no ano de 2015, o BWM possibilita o incremento de decisões humanas e não apenas numéricas e matemáticas com relação aos critérios adotados,

de tal forma é amplamente utilizado em áreas governamentais, negócios, indústria, saúde e educação. No final do processo, obtêm-se valores numéricos, os quais são usualmente comparados para mensurar as melhores opções para o problema base. De tal forma, comparado ao método AHP tradicional, utilizado para este propósito, o BWM requer menos informações para paridade de dados e conduz a comparações consistentes, gerando resultados confiáveis, sem que haja dificuldade para encontrar a relação Razão de Consistência válida (REZAEI, 2015).

Assim, cinco passos são necessários para a implementação do método.

Etapa 1 – Determinação do conjunto de critérios de decisão

Nesta primeira etapa, o decisor define os critérios $\{C1, C2, C3, \dots, Cn\}$ para que se faça a análise criterial. O número de critérios adotados pode variar dependendo da necessidade de exploração de hipóteses.

Etapa 2 – Determinação do critério mais importante e menos importante

Depois da escolha dos critérios a serem adotados, o avaliador deve identificar o melhor e o pior critério, onde o melhor reflete o critério com maior importância para determinado sistema avaliado e o pior, inversamente, de tal forma nenhuma comparação é feita nesse estágio.

Etapa 3 – Determinar a preferência do MELHOR critério em relação a todos os outros critérios usando um número entre 1 e 9

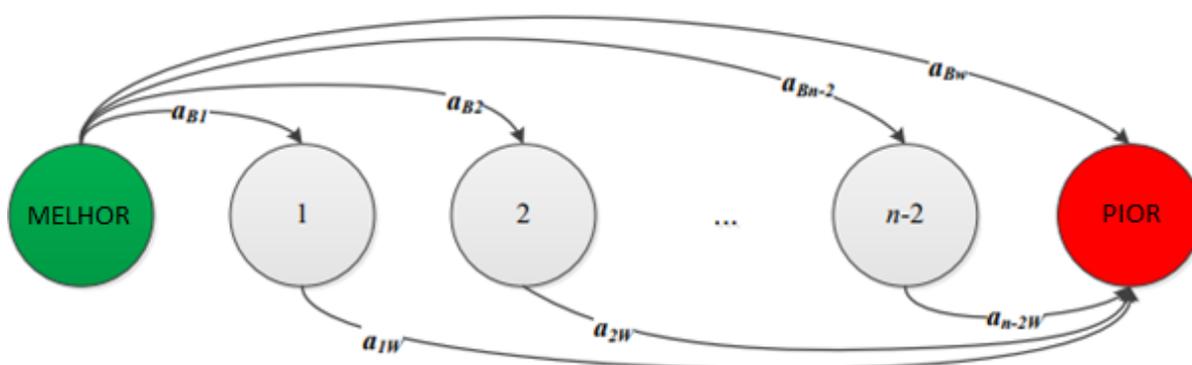
Aplica-se notas para comparação entre o melhor critério e os demais, onde o vetor resultante BO (*Best-to-Others*) tem a forma $A_b = (a_{B1}, a_{B2}, \dots, a_{Bn})$.

O vetor A_b indica o grau de influência que o critério A (melhor critério adotado) aplica diante dos outros critérios, sendo 1 o menor grau de influência e 9 o maior.

Etapa 4 – Determinar a preferência de todos os outros critérios em relação ao PIOR critério usando um número entre 1 e 9

Analogamente à etapa 3, aplica-se a comparação entre os critérios, sendo agora avaliado o grau de influência entre os demais critérios com relação ao pior, resultando no vetor OW (*Others-to-Worst*). Obtendo a forma resultante como $A_w = (a_{1W}, a_{2W}, \dots, a_{nW})^T$. A figura 10 indica o comportamento das distâncias entre as avaliações do método BWM.

Figura 10 – Comportamento da avaliação de critérios BWM



Fonte: Adaptado de (REZAEI, 2015)

Etapa 5 – Definição do peso otimizado ($W_1, W_2, W_3, \dots, W_n$)

O peso otimizado, ou seja, o quanto a influência de um determinado critério exerce sobre o sistema, é aquele em que para cada par $\frac{w_b}{w_j}$ e $\frac{w_j}{w_W}$, tem-se $\frac{w_b}{w_j} = a_{Bj}$ e $\frac{w_j}{w_W} = a_{jW}$.

Para satisfazer estas condições para todo j , deve-se encontrar a solução em que as diferenças absolutas máximas $\left| \frac{w_b}{w_j} - a_{Bj} \right|$ e $\left| \frac{w_j}{w_W} - a_{jW} \right|$ é minimizada.

2.3.3 ESPECIFICAÇÕES DO MÉTODO TOPSIS

TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*), desenvolvido primeiramente em 1981 e aprimorado com o passar dos anos, visa apresentar a melhor solução para um determinado problema baseado nos critérios avaliados previamente. Tal método busca avaliar a distância entre a solução ideal e a

sua inversa, chamada de anti-ideal, as quais classificam o bônus e o ônus como prioridade, respectivamente (GÜNDOĞDU, 2015).

Esta técnica de análise pode ser dividida em passos para maior compreensão e aplicação dos termos.

Etapa 1 – Avaliar critérios positivamente ou negativamente

Primeiramente os critérios devem ser definidos como beneficentes ou custosos, ou seja, se suas variáveis serão classificadas como positivas se incrementadas, ou negativas.

Etapa 2 – Normalização da matriz de conjunto de alternativas

Os valores correspondentes aos critérios de cada alternativa devem ser devidamente normalizados segundo a equação 12.

$$r_{kj}(x) = \frac{x_{kj}}{\sqrt{\sum_{k=1}^n (x_{kj})^2}}, k = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m \quad (12)$$

Em que r_{kj} remete à suscetibilidade da alternativa k com relação ao critério j.

Etapa 3 – Ponderamento das alternativas

Através da equação 13, pondera-se o desempenho das alternativas normalizado pelos critérios definidos no sistema.

$$v_{kj} = w_j r_{kj}(x), k = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m \quad (13)$$

Em que w remete ao peso do critério j.

Etapa 4 – Compôr soluções ideais positivas e negativas

As soluções ideais positivas (A^+) e negativas (A^-) são obtidas com base nos valores máximos e mínimos dos desempenhos de cada alternativa estudada relacionada aos critérios impostos, dadas pelas equações 14 e 15 respectivamente.

$$A^+ = \{v_1^+(x), v_2^+(x), \dots, v_j^+(x), \dots, v_m^+(x)\} \quad (14)$$

Em que: $v_j^+ = (\max_k v_{kj}, j \in J_1; \max_k v_{kj}, j \in J_2)$, v_j^+ representa os valores máximos dos desempenhos das alternativas até a solução ideal.

$$A^- = \{v_1^-(x), v_2^-(x), \dots, v_j^-(x), \dots, v_m^-(x)\} \quad (15)$$

Em que: $v_j^- = (\min_k v_{kj}, j \in J_1; \min_k v_{kj}, j \in J_2)$, v_j^- representa os valores mínimos dos desempenhos das alternativas até a solução anti-ideal.

Etapa 5 – Cálculo das distâncias Euclidianas

Calculam-se as distâncias Euclidianas através das equações 16 e 17

$$d_k^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m [v_j^+(x) - v_{kj}(x)]^2}, k = 1, \dots, n \quad (16)$$

Em que: d_k^+ representa a distância vetorial Euclidiana das alternativas até a solução ideal.

$$d_k^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m [v_j^-(x) - v_{kj}(x)]^2}, k = 1, \dots, n \quad (17)$$

Em que: d_k^- representa a distância vetorial Euclidiana das alternativas até a solução anti-ideal.

Etapa 6 – Cálculo da proximidade relativa das alternativas

A proximidade relativa define a ordem das alternativas, sendo a melhor alternativa encontrada, a que mais se aproxima de 1 diante da resposta encontrada na equação 18.

$$\xi_k = \frac{d_k^-}{d_k^+ + d_k^-} \quad (18)$$

Em que: ξ_k representa a proximidade relativa das alternativas até a resposta ideal.

Obtendo os resultados ordenados preferencialmente, conclui-se a aplicação o método TOPSIS resultando na alternativa ótima para o problema proposto.

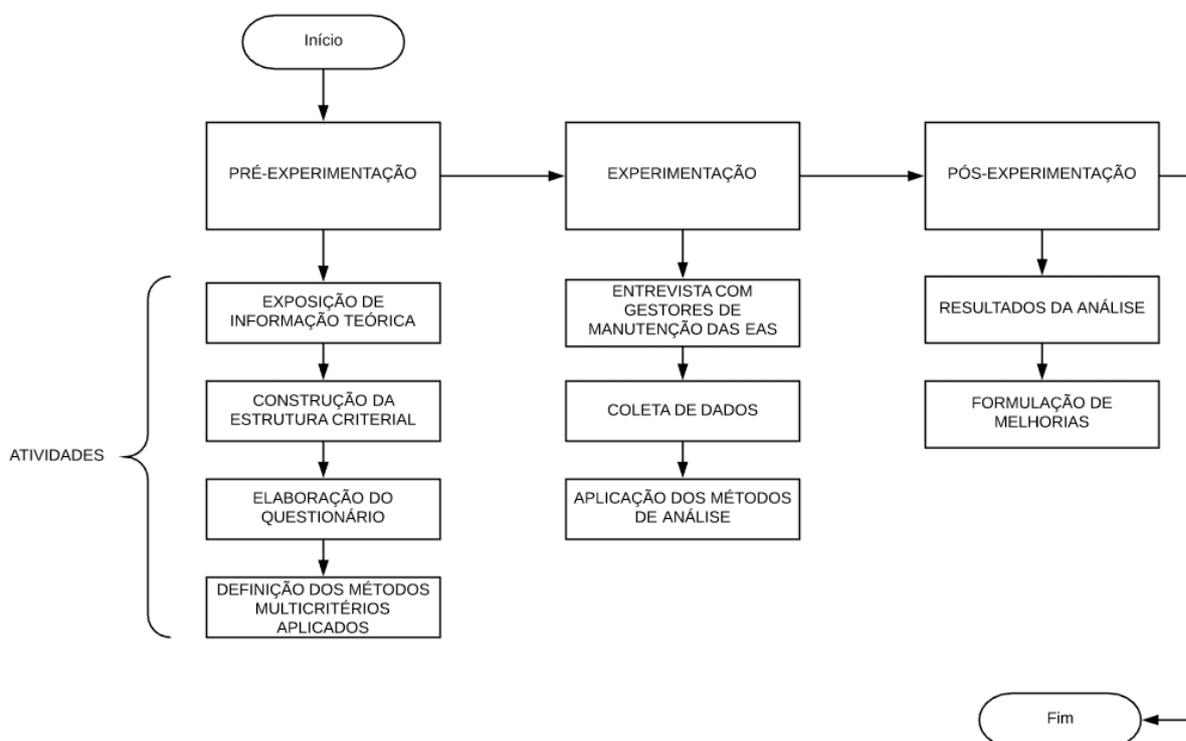
3 METODOLOGIA

Neste capítulo se apresenta os passos necessários para cumprir os objetivos propostos no presente trabalho, os quais possibilitam a replicação deste estudo. A metodologia está dividida em classificação da pesquisa e no modelo de desenvolvimento do trabalho.

3.1 MODELO DO DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

Para desenvolvimento deste trabalho definiu-se três fases, as quais foram denominadas de pré-experimentação, experimentação e pós-experimentação, conforme ilustra a Figura 11.

Figura 11 – Estrutura metodológica para desenvolvimento do trabalho



Fonte: Autoria Própria

Como pode ser observado na Figura 11, cada etapa da pesquisa consistiu em várias atividades, as quais serão melhor descritas nos tópicos seguintes.

3.2 PRÉ-EXPERIMENTAÇÃO

A pré-experimentação contém os quesitos necessários para abordagem do problema como introdução à aplicação do mesmo, sendo a exposição da informação teórica necessária para o entendimento dos procedimentos e formação conceitual de tal aplicação, tanto quanto a caracterização de cada EAS avaliado, contido no tópico 3.3.4.

3.2.1 CONSTRUÇÃO DA ESTRUTURA CRITERIAL

A construção da estrutura criterial necessária para a execução dos métodos de análise multicritério é exposta através da obtenção de informações pertinentes para qualidade do sistema elétrico pelas normas de segurança elétrica hospitalar vigentes e abordadas no referencial teórico, em que o primeiro critério expõe a segurança elétrica na cabine primária, tomando os princípios básicos em tal setor como limpeza e conservação dos equipamentos, testes de efetividade e proteção com relação à NR10 e NR12.

Avalia-se o sistema contra impedimentos naturais e demais infortúnios, em que são testadas as proteções dos condutores, resistência de isolamento e surtos de alta tensão, a fim de impedir correntes de curto circuito diante de raios, podendo gerar incidentes de aquecimento resultando em incêndios.

Com o intuito de qualificar a estrutura de aterramento, baseado na NBR 5410, avaliam-se os sistemas de aterramento propostos por tal regulamentação em cada área sistêmica do estabelecimento, sendo obrigatório o aterramento adequado para centros cirúrgicos e locais com alta prioridade para pacientes, o não cumprimento de tal norma impede o funcionamento da instituição.

A medição dos parâmetros dos equipamentos eletromédicos é avaliada como critério de grande impacto, diante do contato direto com pacientes e contribuintes das instituições. A não conformidade de tal segmento pode acarretar em óbito, tanto de pacientes, quanto dos funcionários, como avaliado no referencial teórico. Diante de tal segmento, avaliam-se como subcritérios diversos itens que contemplam desde o sistema de tagging e registro de falhas, até medição de corrente de fuga pela carcaça do equipamento. Baseado na presença de dispositivos verifica-se como parte de tal critério a presença de equipamentos básicos para a avaliação da qualidade e

conservação dos EEMs, justifica-se a presença de tal critério em face da necessidade da exposição de pequenas falhas e recuperação rápida do equipamento.

O treinamento ao usuário toma espaço criterial pela necessidade da atualização de máquinas e serviços condizentes com o plano de cada instituição de saúde, em que a qualidade do serviço prestado está diretamente relacionada com a forma que o funcionário especializa-se para realizá-lo. A avaliação de tal segmento é avaliada através dos estudos e manuais, acompanhamento da montagem dos equipamentos novos e cursos de especialização. Por fim, toma-se a qualidade física de cada EAS como critério, em que se especifica todos os seus dados intrínsecos, como ano de fundação, número de funcionários e outros registros, os quais dão suporte direto para a avaliação medindo o crescimento anual do mesmo através de indicadores.

Diante de tais critérios, foi elaborado o questionário aplicado nas instituições participantes em tal estudo de caso, sendo posteriormente preenchido pelo responsável técnico e cada critério avaliado pelo elaborador, como exposto no tópico 3.2.2

3.2.2 ELABORAÇÃO DO QUESTIONÁRIO

Para obtenção dos dados referentes a qualidade elétrica das instituições avaliadas elaborou-se um questionário o qual contém tópicos específicos sobre a avaliação da cabine primária, sistema contra impedimentos naturais e demais infortúnios, sistema de aterramento, medição de parâmetros dos equipamentos eletromédicos, instrumentos e recursos necessários para à manutenção, treinamento aos usuários e por fim questões sobre as informações básicas de cada EAS, contendo a data de inauguração, custos, indicadores e conhecimentos que o responsável técnico acha pertinentes.

Tais tópicos contém sub tópicos para equipamentos específicos de cada área de atuação diante das normas elétricas em espaços assistenciais a fim de aprofundar da melhor maneira possível os quesitos avaliados gerando confiabilidade nos resultados e melhor entendimento por parte do responsável técnico dos acertos e falhas retidas pela instituição.

Todos os tópicos e sub tópicos se baseiam nas normas de qualidade dos sistemas elétricos contidas no ANEXO A e nas Normas Regulamentadoras 10 e 12, as quais foram compreendidas e compiladas em questões expostas no APÊNDICE A para observação em campo.

Para avaliação, o questionário utilizou a matriz de risco elaborada a partir do grau de influência que uma falha exerce na estrutura da organização. Tal matriz é amplamente utilizada no ambiente fabril, fornecendo parâmetros de risco para considerar a necessidade de manutenção ou providencia cabível em determinada situação, onde obtém-se um agravamento dependendo da escala do problema encontrado. A matriz elaborada para fundamentação do questionário se encontra no APÊNDICE B, de tal forma classifica-se o problema encontrado nas EAS diante de uma escala de 1 a 5, onde 1 representa ruim, 2 fraco, 3 passível, 4 bom e 5 ótimo.

3.2.3 APLICAÇÃO DOS MÉTODOS DEMATEL-BWM E TOPSIS

Optou-se pela utilização do método DEMATEL (*Decision Making Trial and Evaluation Laboratory*) para ponderar os critérios adotados comparando as suas influências entre pares, o qual possui a capacidade de gerenciar a interferência relativa diante de dois critérios, em que um critério x influencia um valor z no critério y , sendo que o critério y não precisa obrigatoriamente influenciar z em x , sendo assim, o seu diferencial quando comparado ao método BWM (Best Worst Method). Tem-se como principal vantagem do método, a interatividade e visualização através do mapa de influências, mas em contrapartida, o seu ponto negativo é devido a alta sensibilidade do método, o qual demanda informações extremamente concisas diante da Matriz Normal. O método DEMATEL é validado, neste caso, pela aplicação do método BWM a fim de limitar tal sensibilidade, assim, denominando a forma em que se encontra o peso dos critérios, como uma junção de ambos, sendo DEMATEL-BWM.

Após a aplicação do método DEMATEL e obtenção dos resultados referentes à ponderação dos critérios impostos pelos julgadores, aplica-se o método BWM, fornecendo de uma forma concisa a obtenção do comparativo entre os critérios analisados, mensurando valores obtidos e verificando a consistência desses valores.

Após a aplicação da correlação entre os métodos citados, aplica-se TOPSIS (*Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*) para organizar os estabelecimentos estudados em forma preferencial através dos critérios estipulados.

3.3 EXPERIMENTAÇÃO

A etapa de experimentação se caracteriza pela aplicação do desenvolvimento prévio. Para esta etapa foram necessárias visitas aos locais, em que os gestores de manutenção, instrumentação e áreas ligadas à estrutura física das instituições foram entrevistados. Como descrito anteriormente, foram entrevistados 4 gestores, sendo que a ISPON forneceu dados sobre todos os exames ligados à radioterapia e quimioterapia, sendo a especialidade da instituição. Como o instituto não se classifica como um hospital e não possui a infraestrutura necessária para a aplicação do questionário, deixando várias lacunas sem preenchimento, optou-se por apenas fornecer dados técnicos de operação como fonte de conhecimento sobre o estabelecimento. As entrevistas tiveram duração média de 4 horas por instituição, incluindo o tempo de verificação das informações prestadas pelos gestores. A matriz de risco foi inserida em tal entrevista a fim de situar o gestor da ligação entre a variação da pontuação e o risco enfrentado por determinado problema. De tal forma, estas entrevistas foram previamente agendadas.

Após todas as entrevistas, compilou-se os dados fornecidos nos questionários por meio de planilha Excel. Com os dados estruturou-se o problema, seguindo os passos para análise multicriterial, que segundo Gomes (2012) são: formulação do problema decisório, definição das alternativas, definição dos critérios de avaliação, definição das escalas de pesos, avaliação das alternativas, construção das matrizes e resultados.

Conforme descrito anteriormente, na formulação do processo decisório deseja-se comparar as instituições quanto a eficácia da Engenharia Clínica, assim, a análise multicriterial permite ranquear quais são as mais ativas em relação a essa prática.

Teve-se deste modo como alternativas, as 3 instituições de saúde caracterizadas no tópico 3.1.4.

Para a escala de pesos utilizou-se o conjunto de métodos DEMATEL e BWM, o qual utiliza o método computacional MatLab como auxílio para resolução do mesmo.

Já para a classificação das EAS, aplicou-se o método TOPSIS. No intuito da aplicação destes métodos utilizou-se os passos descritos no referencial teórico (Item 2.3, página 42).

3.4 PÓS EXPERIMENTAÇÃO

Nesta etapa são expostos os resultados obtidos através da aplicação dos métodos estatísticos e assim, formula-se melhorias para cada instituto de saúde.

Diante dos resultados encontrados pela experimentação, expõe-se as sugestões de melhoria para cada instituição de forma particular, onde cada instituição recebe a nota e a classificação pelos métodos estatísticos apresentados anteriormente.

4 DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo é apresentado a aplicação da metodologia, com o intuito de avaliar as instituições quanto ao contexto da segurança elétrica. Como mencionado, para avaliar as instituições o primeiro passo foi a realização de entrevistas, para que pudesse ser realizada a análise por meio dos métodos multicriteriais.

Nas entrevistas utilizou-se o questionário estruturado, conforme Apêndice A. Após, foi possível mensurar os pesos e construir as matrizes de decisão, conforme descritos nos tópicos seguintes.

4.1 APLICAÇÃO DAS ANÁLISES BWM-DEMATEL E TOPSIS

Para a primeira fase da aplicação, utilizou-se o método DEMATEL, o qual há a necessidade de seguir as seis etapas descritas no referencial teórico (página 59)

4.1.1 EXECUÇÃO DO MÉTODO DEMATEL

O questionário presente no APÊNDICE A, foi aplicado nas três instituições participantes do processo de análise, em que foram verificados todos os quesitos juntamente com os responsáveis técnicos de cada EAS. De tal forma obteve-se os índices para cada subcritério presente do mesmo, gerando assim as relações de influência baseadas na matriz de risco evidenciada no APÊNDICE B.

Para a elaboração da análise proposta tomou-se como critérios impostos os itens C1 a C7, sendo:

- C1 – Avaliação Elétrica na Cabine Primária;
- C2 – Sistema Contra Impedimentos Naturais e Demais Infortúnios;
- C3 – Sistema de Aterramento;
- C4 – Medição de Parâmetros dos EEMs;
- C5 – Presença de Dispositivos;
- C6 – Treinamento aos Usuários;
- C7 – Qualidade Física do EAS.

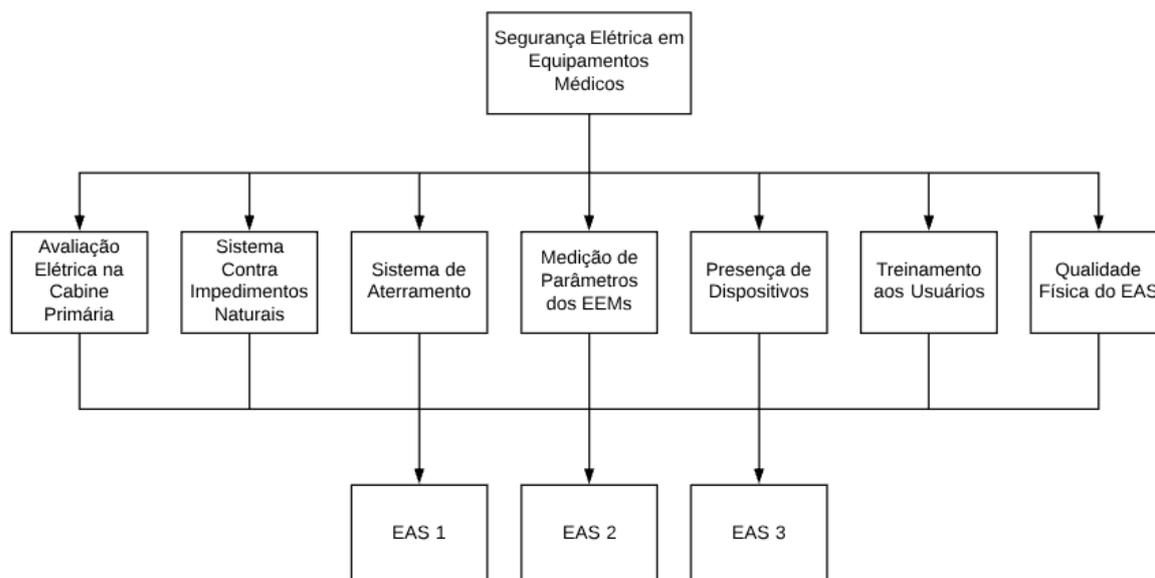
Para a análise do critério C7, avaliou-se o ano de fundação da instituição, número de funcionários, relação de equipamentos, número de leitos, número de centros cirúrgicos e UTI, empresas terceirizadas e suas funções, número mensal de pacientes atendidos, sistema de geração de energia (presença de sistemas de geração fotovoltaica ou eólica), registro de falhas técnicas e os gastos com energia elétrica.

Tais critérios, C1 a C7, foram escolhidos para a avaliação diante da aplicabilidade das normas elétricas citadas no Apêndice A, as quais são voltadas para a segurança dos equipamentos eletromédicos em diversas situações. Tais normas têm foco na segurança diretamente voltada ao paciente, mas para que o choque elétrico não ocorra, aplica-se um ciclo de verificações, desde a verificação da qualidade do sistema elétrico introduzido pela concessionária, até a aplicabilidade da energia elétrica final.

De tal forma, nota-se que os critérios 1, 2 e 3 são referentes à verificação das instalações elétricas de cada instituição e os demais critérios são aplicados aos quesitos relacionados diretamente aos pacientes.

Os hospitais avaliados foram denominados de EAS1, EAS2 e EAS3 na análise matricial afim de garantir o anonimato das instituições perante os resultados obtidos. Fez-se a estrutura hierárquica do problema avaliado conforme está representada na figura 12.

Figura 12 – Estrutura Hierárquica do Problema



Fonte: Autoria Própria

A partir da estruturação do problema, realizou-se a avaliação dos fatores com os especialistas. Neste processo, agregou-se a resposta dos três questionários por meio da média simples para analisar a matriz de decisão do problema.

Com base nos valores obtidos diante da interação entre os critérios propostos, tem-se a matriz-resposta X^k conforme o Quadro 02.

Quadro 02 – Matriz-Resposta X^k ; Matriz Média Z

Z	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
C1	0	1	1	3	0	0	4
C2	4	0	2	2	4	0	3
C3	1	4	0	4	1	1	2
C4	2	2	4	0	4	4	3
C5	1	3	3	4	0	4	4
C6	3	3	1	4	0	0	3
C7	2	1	2	4	3	2	0

Fonte: Autoria Própria

Em que a matriz resposta X^k é a mesma matriz média Z , por haver apenas uma forma de avaliação referente à interação entre critérios. Após a construção desta matriz de decisão, realizou-se a normalização da mesma, para tornar igualitário a comparação dos resultados.

- Normalização da Matriz Média Z

Para a normalização, utilizou-se a Equação 12 (página 43). Por meio da constante de normalização resultante $\lambda=19$, a matriz Z foi devidamente normalizada, e denominada matriz média normalizada D (Quadro 03).

Quadro 03 – Matriz Média Normalizada D

D	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
C1	0.00000	0.05263	0.05263	0.15789	0.00000	0.00000	0.21053
C2	0.21053	0.00000	0.10526	0.10526	0.21053	0.00000	0.15789
C3	0.05263	0.21053	0.00000	0.21053	0.05263	0.05263	0.10526
C4	0.10526	0.10526	0.21053	0.00000	0.21053	0.21053	0.15789
C5	0.05263	0.15789	0.15789	0.21053	0.00000	0.21053	0.21053
C6	0.15789	0.15789	0.05263	0.21053	0.00000	0.00000	0.15789
C7	0.10526	0.05263	0.10526	0.21053	0.15789	0.10526	0.00000

Fonte: Autoria Própria

- Quantificação da Influência Total Entre os Fatores

Após a normalização dos dados, quantifica-se a influência total entre os fatores analisados. Esta influência permite verificar como os fatores contidos em um sistema provocam efeitos diretos e indiretos em outros fatores do mesmo sistema. Os efeitos diretos são os que correm ao longo de uma única intermediação. Já os efeitos indiretos na rede de fatores são aqueles que percorrem mais de uma intermediação e, por conta disso, perdem força conforme se distanciam de sua origem. Tais intermediações dos efeitos indiretos podem ser vistas como potência da matriz normalizada D. Como os elementos da matriz normalizada estão no intervalo [0,1], conforme m cresce infinitamente, os efeitos indiretos são reduzidos, assim, permitindo a geração da matriz de relação total. (FALATOONITOOSI, 2014)

Para realizar esta quantificação, utilizou-se o software MATLAB, declarando a matriz D como variável e aplicando a função “eye”, a qual constitui comandos referentes ao gerenciamento de matrizes identidade, seguindo a equação 8 para obtenção, pôde-se calcular a matriz de relação total T.

Figura 13 – Código aplicado ao MATLAB para obtenção da Matriz de Relação Total

Nome	Classe	Dimensão	Valor
X	double	7x7	[0, 0.052630, 0.052630, 0.15789, 0, 0, 0.21053; 0.21053, 0, 0.10526
T	double	7x7	[0.23254, 0.28644, 0.30706, 0.49972, 0.26178, 0.22988, 0.50734; 0.54262, 0.38211, 0.49191

```
1 T=X*(eye(7)-X)^-1;
```

Fonte: Autoria Própria

Quadro 04 – Matriz de Relação Total T

T	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
C1	0.23254	0.28644	0.30706	0.49972	0.26178	0.22988	0.50734
C2	0.54262	0.38211	0.49191	0.66755	0.56225	0.35469	0.66401
C3	0.39745	0.53597	0.36852	0.69242	0.42031	0.36607	0.56796
C4	0.55637	0.59358	0.67244	0.72413	0.64772	0.61765	0.78774
C5	0.52876	0.63687	0.64223	0.90744	0.49085	0.62667	0.83556
C6	0.48974	0.48545	0.41697	0.70066	0.36943	0.31242	0.61927
C7	0.4523	0.43593	0.48912	0.74063	0.51203	0.44852	0.51109

Fonte: Autoria Própria

Após quantificar a influência total dos fatores, se faz necessário compreender as características em relação à combinação entre os efeitos provocados e recebidos pelos fatores, pois conferem a eles características importantes em relação ao papel que desempenham no sistema ao qual estão contidos.

- Cálculo da Intensidade dos Efeitos Totais Provocados e Recebidos

Diante da Matriz Relação Total, pode-se calcular os vetores \vec{R} e \vec{C} através das equações 8 e 9, que se referem aos efeitos totais diretos e indiretos, dado pelo somatório das linhas e colunas respectivamente.

Quadro 05 – Vetor de intensidade de efeitos incidentes \vec{R}

\vec{R}	2.32476	3.66514	3.34870	4.59963	4.66838	3.39394	3.58962
-----------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Fonte: Autoria Própria

Quadro 06 – Vetor de intensidade de efeitos recebidos \vec{C}

\vec{C}	3.19978	3.35635	3.38825	4.93255	3.26437	2.95590	4.49297
-----------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Fonte: Autoria Própria

A partir dos valores vetoriais calculados, obtém-se o grau de intensidade relativa de cada critério com relação aos efeitos causados e recebidos.

Quadro 07 – Relações de causa e efeito dos critérios inter-relacionados

	\vec{R}	\vec{C}	$\vec{R} - \vec{C}$	$\vec{R} + \vec{C}$
C1	2.32476	3.19978	-0,87502	5,52454
C2	3.66514	3.35635	0,30879	7,02149
C3	3.34870	3.38825	-0,03955	6,73695
C4	4.59963	4.93255	-0,33292	9,53218
C5	4.66838	3.26437	1,40401	7,93275
C6	3.39394	2.95590	0,43804	6,34984
C7	3.58962	4.49297	-0,90335	8,08259

Fonte: Autoria Própria

Assim, os critérios-causa do sistema, são: C2, C5 e C6 e os critérios-efeito são: C1, C3, C4 e C7. Nota-se também que o critério com maior influência diante dos outros, é o critério C4. O quadro 08 ilustra o peso de cada critério que será utilizado para a progressão do método aplicado.

A expressão $\vec{R} - \vec{C}$ indica se o critério é qualificado como fator-causa ou fator-efeito do sistema. Quando a expressão for negativa, tal critério é denominado como fator-efeito, se for positiva, o critério é dado como fator-causa.

Assim, o quadro 08 expõe a classificação dos critérios baseados na contribuição resultante dos mesmos.

Quadro 08 – Classificação dos critérios diante dos pesos aplicados

Critério Analisado	$\vec{R} - \vec{C}$ (Peso)	Classificação
C1 - Avaliação Elétrica na Cabine Primária	-0,87502	6º
C2 - Sistema Contra Impedimentos Naturais e Demais Infortúnios	0,30879	3º
C3 - Sistema de Aterramento	-0,03955	5º
C4 - Medição de Parâmetros dos EEMs	-0,33292	4º
C5 - Presença de Dispositivos	1,40401	1º
C6 - Treinamento aos Usuários	0,43804	2º

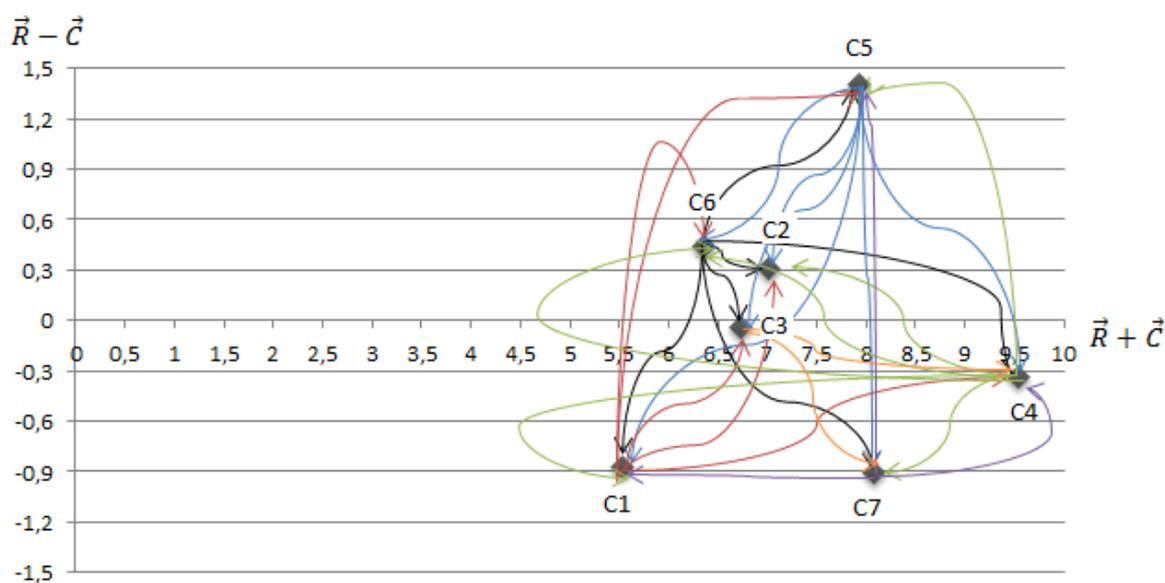
C7 - Qualidade Física do EAS	-0,90335	7°
------------------------------	----------	----

Fonte: Autoria Própria

- Mapa de Influência

A partir das informações adquiridas diante dos passos anteriores, obtém-se o Mapa de Influência, o qual finaliza a aplicação do método DEMATEL. O mapa de mapa de influência está representado na Figura 14, em que o diagrama de relações causa e efeito exhibe a complexidade nas relações entre os fatores analisados e suas intensidades.

Figura 14 – Mapa de Influência



Fonte: Autoria Própria

Diante da figura 14, observa-se que os critérios C7 (Qualidade Física do EAS) e C5 (Presença de Dispositivos) estão localizados no inferior e topo do mapa, respectivamente, onde o eixo y representa a importância, seja, o peso dos critérios por $(\vec{R} - \vec{C})$. Com relação ao eixo x $(\vec{R} + \vec{C})$, nota-se os critérios com menor e maior influência sobre os outros, sendo estes, C1 (Avaliação Elétrica na Cabine Primária) e C4 (Medição de Parâmetros dos EEMs) respectivamente.

O mapa obtido conclui a aplicação do método DEMATEL, ilustrando todo desenvolvimento do mesmo.

4.1.1.1 Verificação da Sensibilidade do Método DEMATEL

O método DEMATEL tem um grande empecilho relacionado à aplicação por si só, onde a sensibilidade do mesmo é alta, relevante para ditar a informação de forma concisa, assim, comumente, aplica-se outro método a fim de anular tal obstáculo.

De tal forma, com o objetivo de provar tal sensibilidade, muda-se o valor de 4 para 1 atribuído ao critério C5 com relação ao critério C7, tal escolha da mudança foi completamente arbitrária, o que indica através do exemplo a comprovação da sensibilidade exposta. Os quadros 09 à 15 comprovam a sensibilidade do método DEMATEL, seguindo os mesmos passos aplicados no tópico 4.1.1.

Quadro 09 – Matriz-Resposta X^k ; Matriz Média Z

Z	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
C1	0	1	1	3	0	0	4
C2	4	0	2	2	4	0	3
C3	1	4	0	4	1	1	2
C4	2	2	4	0	4	4	3
C5	1	3	3	4	0	4	1
C6	3	3	1	4	0	0	3
C7	2	1	2	4	3	2	0

Fonte: Autoria Própria

Quadro 10 – Matriz Média Normalizada D

D	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
C1	0	0,052632	0,052632	0,157895	0	0	0,210526
C2	0,210526	0	0,105263	0,105263	0,210526	0	0,157895
C3	0,052632	0,210526	0	0,210526	0,052632	0,052632	0,105263
C4	0,105263	0,105263	0,210526	0	0,210526	0,210526	0,157895
C5	0,052632	0,157895	0,157895	0,210526	0	0,210526	0,052632
C6	0,157895	0,157895	0,052632	0,210526	0	0	0,157895
C7	0,105263	0,052632	0,105263	0,210526	0,157895	0,105263	0

Fonte: Autoria Própria

Quadro 11 – Matriz de Relação Total T

T	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
C1	0,21526	0,26979	0,28837	0,47141	0,2422	0,21273	0,44957
C2	0,50548	0,34632	0,45175	0,60673	0,2019	0,31786	0,53991
C3	0,36969	0,50921	0,3385	0,64694	0,38888	0,33854	0,47519
C4	0,51359	0,55235	0,62616	0,65406	0,59927	0,57521	0,64478
C5	0,43026	0,54194	0,53572	0,74614	0,37934	0,52898	0,50647
C6	0,46535	0,46194	0,39059	0,6607	0,34181	0,28822	0,53774
C7	0,41848	0,40334	0,45255	0,68524	0,47374	0,41498	0,39808

Fonte: Autoria Própria

Quadro 12 – Vetor de intensidade de efeitos incidentes \vec{R}

\vec{R}	2.14933	2.96995	3.06695	4.16542	3.66885	3.14635	3.24641
-----------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Fonte: Autoria Própria

Quadro 13 – Vetor de intensidade de efeitos recebidos \vec{C}

\vec{C}	2.91811	3.08489	3.08364	4.47122	2.62714	2.67652	3.55174
-----------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Fonte: Autoria Própria

Quadro 14 – Relações de causa e efeito dos critérios inter-relacionados

	\vec{R}	\vec{C}	$\vec{R} - \vec{C}$	$\vec{R} + \vec{C}$
C1	2,14933	2,91811	-0,76878	5,06744
C2	2,96995	3,08489	-0,11494	6,05484
C3	3,06695	3,08364	-0,01669	6,15059
C4	4,16542	4,47122	-0,3058	8,63664
C5	3,66885	2,62714	1,04171	6,29599
C6	3,14635	2,67652	0,46983	5,82287
C7	3,24641	3,55174	-0,30533	6,79815

Fonte: Autoria Própria

Quadro 15 – Classificação dos critérios diante dos pesos aplicados

Critério Analisado	$\vec{R} - \vec{C}$ (Peso)	Classificação
C1 - Avaliação Elétrica na Cabine Primária	-0,76878	7º
C2 - Sistema Contra Impedimentos Naturais e Demais Infortúnios	-0,11494	4º
C3 - Sistema de Aterramento	-0,01669	3º
C4 - Medição de Parâmetros dos EEMs	-0,3058	6º
C5 - Presença de Dispositivos	1,04171	1º
C6 - Treinamento aos Usuários	0,46983	2º
C7 - Qualidade Física do EAS	-0,30533	5º

Fonte: Autoria Própria

Como verificado, a mudança de qualquer variável, por mais ínfima que seja, acarreta em resultados diferentes para aplicação do método, o que o torna extremamente sensível, necessitando a aplicação de outro método para validar as informações obtidas e anular tal sensibilidade.

4.1.2 APLICAÇÃO DO MÉTODO BWM

A classificação obtida pelo método DEMATEL é altamente sensível quando se alteram os valores iniciais na matriz resposta, de tal forma, para garantir a integridade dos dados obtidos na classificação de critérios, aplica-se o método BWM o qual concretiza esta relação.

Rezaei (2015), fornece no site específico do método BWM, o qual se encontra nas referências desse trabalho, um arquivo específico para aplicação de seu método, em que existem tabelas as quais são destinadas para os critérios de maior e menor valia, sendo assim, preenche-se tais lacunas com os critérios C5 (Presença de Dispositivos) e C7 (Qualidade Física do EAS), respectivamente.

Após tal procedimento, fornece-se a interação (distância obtida diante do método DEMATEL), entre o critério C5 e C7 com relação aos outros (quadros 09 e

10), diante das qualificações da numeração fornecida para comparação no método BWM exposta no quadro 16.

O quadro 17 expõe a valoração dos critérios diante do melhor avaliado, já o quadro 18 mostra os valores dos critérios com relação ao pior avaliado.

Quadro 16 – Significado da numeração de comparação no método BWM

1	Igual importância sobre o critério analisado
2	Algum valor entre igual e influência moderada
3	Moderadamente mais importante que o critério analisado
4	Algum valor entre moderada e forte influência
5	Fortemente mais importante que o critério analisado
6	Algum valor entre forte e muito forte influência
7	Muito fortemente mais importante que o critério analisado
8	Algum valor entre muito forte e absoluta influência
9	Absolutamente mais importante que o critério analisado

Fonte: BWM (2015)

Quadro 17 – Valoração imposta ao melhor critério diante do quadro de comparação do método BWM

Comparação entre o melhor critério	Critério 1	Critério 2	Critério 3	Critério 4	Critério 5	Critério 6	Critério 7
C5	6	3	5	4	1	2	7

Fonte: Autoria Própria

Quadro 18 – Valoração imposta ao pior critério diante do quadro de comparação do método BWM

Comparação entre o pior critério	Critério 1	Critério 2	Critério 3	Critério 4	Critério 5	Critério 6	Critério 7
C5	2	5	3	4	8	7	1

Fonte: Autoria Própria

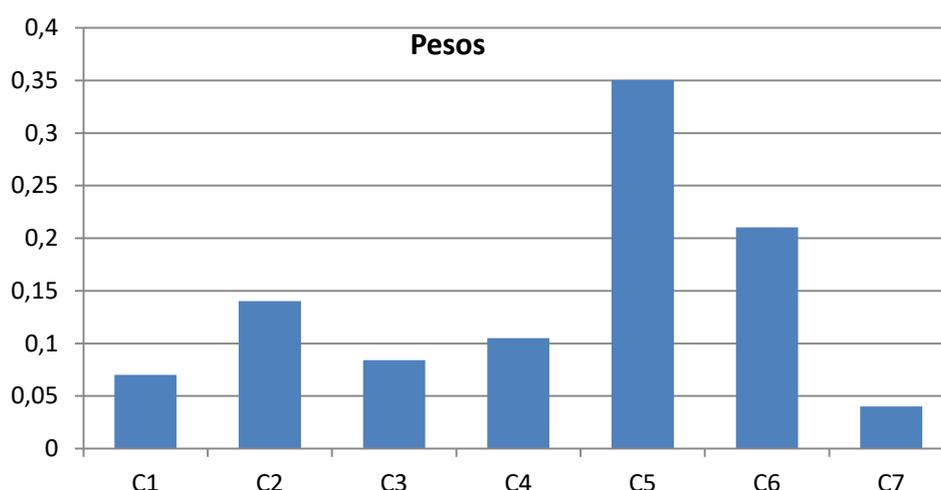
Aplicando a ferramenta “Solver” presente como macro no editor de planilhas (Excel), a qual consiste em um teste de hipóteses que encontra o valor ideal de uma célula de destino alterando os valores das células usadas, adquire-se os pesos normalizados de cada critério, tanto quanto o valor da Razão de Consistência que valida a aplicação do método, como ilustra o quadro 19 e o gráfico na figura 15.

Quadro 19 – Pesos obtidos para cada critério a partir da metodologia BWM

Pesos dos Critérios	Critério 1	Critério 2	Critério 3	Critério 4	Critério 5	Critério 6	Critério 7
RC = 0.070	0.07007	0.14014	0.08408	0.10510	0.35035	0.21021	0.04004

Fonte: Autoria Própria

Figura 15 – Gráfico dos pesos obtidos através do método BWM



Fonte: Autoria Própria

Os pesos obtidos através dos métodos DEMATEL e BWM são utilizados para equiparar de forma concisa os dados fornecidos pelo questionário realizado nas EAS participantes através do método TOPSIS.

4.1.3 APLICAÇÃO DO MÉTODO TOPSIS

Diante do ponderamento obtido pelos métodos DEMATEL e BWM, aplica-se o método TOPSIS com o intuito de obter a classificação entre a qualidade do serviço

relacionado à segurança elétrica prestada pelas EAS participantes do estudo. De tal forma, empregaram-se os passos expostos no tópico 2.4.3 relacionado ao método.

- Avaliação Dos Critérios

Os critérios foram classificados como benéficos ou custosos, sendo os sete critérios avaliados como benéficos, visto que há melhorias quando aplicados de forma eficiente no sistema elétrico do EAS, assim, quanto maior o valor aplicado à alternativa, melhor será a avaliação da instituição.

Quadro 20 – Matriz de conjunto de alternativas

Alternativas	Critérios						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
	+	+	+	+	+	+	+
	0,07007	0,1401401	0,084084	0,1051051	0,3503504	0,21021021	0,04004
EAS1	39	54	64	46	16	25	54
EAS2	40	64	59	45	24	24	61
EAS3	51	70	64	48	22	24	58

Fonte: Autoria Própria

O questionário aplicado nos EAS geraram valores específicos para cada alternativa com relação aos critérios expostos, como ilustra a matriz conjunto de alternativas, exposta no quadro 20.

Através da matriz conjunto de alternativas, normalizam-se os valores de cada alternativa através da equação 11, a fim de organizar os dados, eliminando as redundâncias e dependências inconsistentes, como demonstrado no quadro 21.

Quadro 21 – Matriz de conjunto de alternativas normalizada

Alternativas	Critérios						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
	+	+	+	+	+	+	+
	0,07007	0,1401401	0,084084	0,1051051	0,3503504	0,21021021	0,04004
EAS1	0,51557	0,49476	0,59236	0,57298	0,44100	0,59302	0,53997
EAS2	0,52879	0,58639	0,54608	0,56053	0,66149	0,56930	0,60997
EAS3	0,67421	0,64136	0,59236	0,59790	0,60637	0,56930	0,57997

Fonte: Autoria Própria

Por meio da equação 12 aplica-se o ponderamento dos critérios nos valores prestados em cada alternativa avaliada, segundo o quadro 22.

Quadro 22 – Matriz de conjunto de alternativas normalizada e ponderada

Alternativas	Critérios						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
	+	+	+	+	+	+	+
	0,07007	0,1401401	0,084084	0,1051051	0,3503504	0,21021021	0,04004
A1	0,03613	0,06934	0,04981	0,06022	0,15450	0,12466	0,02162
A2	0,03705	0,08218	0,04592	0,05891	0,23175	0,11967	0,02442
A3	0,04724	0,08988	0,04981	0,06284	0,21244	0,11967	0,02322

Fonte: Autoria Própria

Com o auxílio das equações 13 e 14 calculou-se as soluções ideais positivas e negativas para cada critério, como demonstrado no quadro 23.

Quadro 23 – Determinação da solução ideal e solução anti-ideal

Solução	+	+	+	+	+	+	+
A* (ideal)	0,047	0,090	0,050	0,063	0,232	0,125	0,024
A- (anti-ideal)	0,036	0,069	0,046	0,059	0,155	0,120	0,022

Fonte: Autoria Própria

As distâncias entre a solução ideal positiva e negativa foram calculadas a partir das equações 15 e 16, os quadros 24 e 25 demonstram tais distâncias nesta sequência. Evidenciam-se as maiores distâncias da solução ótima como causa raiz entre a classificação das EAS em estudo.

Quadro 24 – Distância relativa entre cada alternativa e a solução ideal

Alternativas	Critérios						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
A1	0,000124	0,000422	0,000000	0,000007	0,005968	0,000000	0,000008
A2	0,000104	0,000059	0,000015	0,000015	0,000000	0,000025	0,000000
A3	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000373	0,000025	0,000001

Fonte: Autoria Própria

Quadro 25 – Distância relativa entre cada alternativa e a solução anti-ideal

Alternativas	Critérios						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
A1	0,000000	0,000000	0,000015	0,000002	0,000000	0,000025	0,000000
A2	0,000001	0,000165	0,000000	0,000000	0,005968	0,000000	0,000008
A3	0,000124	0,000422	0,000015	0,000015	0,003357	0,000000	0,000003

Fonte: Autoria Própria

Observa-se no quadro 26 a classificação das EAS avaliadas, sendo utilizada a equação 17 para definição dos valores de C^* , o qual relata tal classificação diante da aproximação relativa a 1 dos valores em questão.

Quadro 26 – Classificação das EAS diante da aplicação TOPSIS

Alternativas	Critérios			
	S_i^*	S_i^-	C^*	TOPSIS RANKING
A1	0,081	0,004	0,048	3
A2	0,015	0,013	0,465	2
A3	0,020	0,024	0,546	1

Fonte: Autoria Própria

4.2 RESULTADO E ANÁLISE

Este capítulo expõe os resultados e as causas encontradas para as alternativas aplicadas diante das análises multicritérios expostas no capítulo onde a metodologia é aplicada.

Tomando como base o tratamento das alternativas pelos métodos DEMATEL-BWM e TOPSIS, obteve-se como resultado a EAS representada por A3 como melhor opção diante dos critérios especificados, em segundo lugar a EAS reproduzida por A2 e por fim, A1.

De tal forma, a alternativa 3 é a que possui o melhor serviço com relação à segurança elétrica aplicada tanto nos sistemas físicos da instituição quanto nos seus equipamentos eletromédicos.

4.2.1 ANÁLISE DA ALTERNATIVA 1

A alternativa 1 obteve o pior resultado diante das três opções analisadas. Observa-se no quadro 24 onde as distâncias entre os valores das alternativas e a melhor resposta são apresentadas, a ordem de ponderamento dos critérios, sendo $C5 > C6 > C2 > C4 > C3 > C1 > C7$.

Verifica-se que os critérios diretamente relacionados aos EEMs são os de maior influência, como sugere o principal intuito da pesquisa. Assim, como a alternativa 1 se distancia muito da solução ideal para os critérios C5 e C2, os quais possuem valoração alta para a análise, resultou-se em uma avaliação baixa da instituição.

Os quesitos que compõe a análise de cada critério foram obtidos através do questionamento feito diante do responsável técnico de cada instituição e pela verificação do sistema juntamente com o mesmo, de tal forma, uma série de subdivisões inclusas no “macroquesito” compuseram os critérios em si. Diante dessas subdivisões, expõe-se os pontos críticos da avaliação da instituição 1.

Definindo como subcritérios, as componentes contidas dentro do questionário avaliado, gerando assim o critério em si, toma-se para análise notas 1 e 2 como inaplicáveis dentro da instituição, sendo assim, a EAS não possui tal serviço ou negligencia o mesmo.

Justificando a baixa avaliação da alternativa 1, identifica-se primeiramente, no Critério 1 - Avaliação na cabine primária, os subcritérios passíveis de notificação:

- Verificado desmazelo diante da remoção periódica de poeira e reaperto das conexões dos geradores e transformadores, constatado tal atividade realizada menos de duas vezes ao ano.
- O ensaio da resistência de isolamento foi efetuado apenas na instalação dos transformadores.
- Não há verificação anual do óleo isolante, da rigidez dielétrica, fator de dissipação, viscosidade e nem aplicação de gascromatografia (CG).
- Negligencia na realização de sondagem na malha protetora a fim de identificar rompimentos ou corrosões desde a instalação da mesma.
- A limpeza dos disjuntores de entrada é raramente efetuada.

- Nunca foi realizado ajuste e reaperto dos contatos principais dos disjuntores presentes na cabine.
- A instituição possui EPI escassos para os funcionários da rede elétrica.

Critério 2 – Sistema contra impedimentos naturais e demais infortúnios.

- O estado geral dos cabos e conexões não é analisado anualmente.
- As hastes de aterramento e para-raios não passam por inspeção visual, nem por medições de resistência.
- Diante do quadro principal de distribuição e demais quadros da EAS, a integridade do isolamento, oxidação, existência de pontos quentes e aperto das conexões são raramente avaliados.
- O balanceamento das cargas, medindo-se as correntes de fase, oscilações e quedas de tensão no acionamento de grandes cargas não é averiguado.

Critério 3 – Sistema de aterramento.

- A tensão máxima entre as barras de ligação equipotencial e o pino terra das tomadas onde equipamentos ao alcance do paciente estão ligados não é devidamente verificada.
- Não há medição dos parâmetros de tensão máxima entre pinos terra das diferentes tomadas das salas cirúrgicas.
- Não há verificação mensal de ajuste do DSI no sistema IT Médico.
- A verificação de elementos condutores estranhos à instalação diante da equipotencialidade das ligações não é realizada.
- Ausência de aferimento diante de inversão entre condutores neutro e proteção de fase.
- As tomadas da instalação elétrica geral permitem ligação com apenas dois pinos.
- A EAS não possui construção de sistema com alto grau de filtragem relacionados ao controle de agentes infecciosos propagados por meios físicos.

- Os níveis de iluminação hospitalar não seguem o exigido pela regulamentação NR-15, Anexo 4, Portaria de 8 de junho de 1978 do Ministério do Trabalho.

Diante do Critério 4 - Medição de Parâmetros dos EEMs, a instituição e o avaliador não reconhecem nenhum incidente o qual requer grande atenção por omissão ou inobservância.

Critério 5 - Presença de Dispositivos.

- Falta de analisadores para desfibrilador e bisturi elétrico.
- Não há analisador de segurança elétrica (instrumento para medir corrente de fuga).
- Não há extensões com plugues tipo banana e jacaré.

Diante do Critério 6 – Treinamento ao usuário, a instituição e o avaliador não reconhecem nenhum incidente o qual requer grande atenção.

Com relação ao Critério 7 - Qualidade Física do EAS, observou-se o ano de fundação da instituição, o número de funcionários, a relação de equipamentos, o número de leitos, centro cirúrgicos e UTI, as empresas terceirizadas e suas determinadas funções, o número mensal de pacientes atendidos, o sistema de geração de energia elétrica, registros de falhas técnicas e os gastos com energia. Por não influenciarem diretamente na avaliação da segurança elétrica da instituição, tal critério foi adotado com melhor valia.

Feita a análise dos parâmetros que requerem devida atenção, observa-se a grande falta de diagnósticos nas instalações prediais, negligência com relação a limpeza e cuidados com os disjuntores, inadequação de algumas caracterizações básicas da EAS e maior zelo com os equipamentos utilizados diretamente em pacientes.

De tal forma aconselha-se a obtenção dos materiais faltantes e adequação das instalações, tanto quanto a implementação de uma equipe específica para manutenção, disponível para manter as instalações elétricas corretamente, tomando os cuidados referentes às normas e adequações periódicas de limpeza e aferimentos.

Na indisponibilidade para tal, orienta-se a contratação de empresa terceira instruída para melhoria dos pontos faltantes e mantimento da qualidade introduzida.

4.2.2 ANÁLISE DA ALTERNATIVA 2

Diante da aplicação dos métodos de análise multicritério, a alternativa 2 obteve a segunda colocação, como demonstrado no quadro 26. Nota-se a proximidade entre as duas últimas alternativas com relação a distância ótima. De tal forma, se avalia os subcritérios inaplicáveis dentro da instituição, enfatizando o fato de que C5, C6 e C2 são os de maiores valias respectivamente.

Critério 1 - Avaliação na cabine primária, os subcritérios passíveis de notificação.

- Não há verificação anual do óleo isolante, da rigidez dielétrica, fator de dissipação, viscosidade e nem aplicação de gascromatografia (CG).
- A instituição não possui transformador reserva, de tal forma, na ausência do principal, toda energia fornecida pela rede será provida pelo gerador a óleo.
- As proteções contra entrada de água na cabine primária não condizem com o padrão.
- A instituição possui EPI escassos para os operadores.

Critério 2 – Sistema contra impedimentos naturais e demais infortúnios.

- A instituição não possui banco de capacitores para correção do fator de potência ou suspensão de surtos de tensão, tanto quando a análise mensal do fator de potência em toda EAS.

Critério 3 – Sistema de aterramento.

- A verificação de elementos condutores estranhos à instalação diante da equipotencialidade das ligações não é realizada.
- A instituição não possui malhas metálicas nos pisos das salas hospitalares.

- Ausência de aferimento diante de inversão entre condutores neutro e proteção de fase.
- A EAS utiliza extensões indevidamente.
- Não há alimentação de circuitos independentes em áreas do grupo 2.

Diante dos Critérios 4, 5 e 6 - Medição de Parâmetros dos EEMs, Presença de Dispositivos e Treinamento ao Usuário, a instituição e o avaliador não reconhecem nenhum incidente o qual requer grande atenção por omissão ou inobservância.

É notada grande discrepância entre os aferimentos da primeira instituição com relação à segunda, principalmente diante do critério 5, o qual possui maior peso para a análise aplicada. Em contato com a EAS, evidenciou-se a presença de uma equipe capacitada para realização de manutenções gerais, sendo essas, desde construção civil, até manutenções básicas em equipamentos, mas como pode-se verificar, ainda há imperfeições sistemáticas nas instalações da alternativa 2.

De tal forma, indica-se a contratação de novos membros para o PCM (planejamento e controle de manutenção), enfatizando a qualificação dos técnicos responsáveis pela manutenção e verificações periódicas nas instalações elétricas.

Como evidenciado na análise dos subcritérios, os maiores defeitos da instituição são devidos à precariedade das instalações, como falta de banco de capacitores para correção do fator de potência, ausência das malhas metálicas nos pisos das salas hospitalares e alimentação indevida dos circuitos nas áreas do grupo 2. Tais imperfeições não são facilmente resolvíveis, ao passo que para implementação das mesmas, toda cobertura elétrica predial deverá ser refeita.

4.2.3 ANÁLISE DA ALTERNATIVA 3

A alternativa 3 obteve o melhor resultado diante da pesquisa realizada, evidenciando a qualidade da estrutura e formação diferenciada com relação à equipe de manutenção indicada na EAS. De tal forma expõe-se os critérios e subcritérios com maior precariedade na instituição.

Critério 1 - Avaliação na cabine primária, os subcritérios passíveis de notificação.

- A instituição não possui transformador reserva, de tal forma, na ausência do principal, toda energia fornecida pela rede será provida pelo gerador funcionando óleo Diesel até o conserto das funções de entrada de média tensão.

Critério 3 – Sistema de aterramento.

- A verificação de elementos condutores estranhos à instalação diante da equipotencialidade das ligações foi realizada apenas uma vez desde a fundação das novas instalações.
- A instituição não possui barra única de ligação equipotencial por leito na UTI, nem nos centros cirúrgicos, o que pode promover descarga elétrica em circunstâncias de elevação potencial nos pacientes desabilitados fisicamente, causando diversas complicações como exposto no capítulo 2.3.

Critério 5 – Presença de dispositivos.

- Não há analisador de segurança elétrica (instrumento para medir corrente de fuga).
- Não há extensões com plugues tipo banana e jacaré.

Todos os outros critérios analisados possuem avaliação condizente com os padrões de segurança elétrica.

Enfatiza-se que como a EAS em questão possui devido cuidado com as alterações de potencial elétrico mensalmente através de empresa terceira, as adversidades encontradas diante dos subcritérios avaliados é dever do responsável pela contratação da empresa acompanhar em conjunto com a mesma. Em face ao critério 7, salienta-se a implementação de um projeto de geração solar para as novas acomodações da instituição de saúde.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Primeiramente evidenciou-se conceitos básicos sobre a função da Engenharia Clínica, tratando sobre a área responsável pela gestão de tecnologias médicas. Conceitos sobre instalações elétricas hospitalares de forma geral, entendendo principalmente a respeito de aterramentos e gestão da manutenção.

Três estabelecimentos assistenciais de saúde foram avaliados, sendo assim, gera-se um mapeamento, evidenciando-se os problemas enfrentados por tais instituições. De tal maneira nota-se a presença de um mesmo problema enfrentado pelas instituições avaliadas.

Sob a perspectiva dos critérios utilizados, as instituições avaliadas mostram algumas incoerências com as normas de instalações elétricas prediais, verificando diante da aplicação dos métodos de análise multicritério que todas as instituições possuem pontos de melhoria diante do critério relacionado ao fornecimento de energia elétrica a partir da transformação de alta potência.

Efetuada as análises, a partir dos resultados obtidos, destacou-se uma das instituições avaliadas como fortemente debilitada em comparação com o sistema elétrico das outras, onde nota-se principalmente a falta de equipamentos, proteções e má estruturação física da instalação.

Em síntese busca-se a efetivação do retorno para as devidas instituições de tais informações encontradas pela avaliação realizada, propondo a solução para as não conformidades encontradas, cabendo inteiramente à cada organização a aceitação e aplicação de tais propostas.

Nota-se a necessidade de mais estudos relacionados à qualidade do sistema elétrico em outras instituições de demais regiões, com a finalidade de gerar conclusões mais assertivas obtendo um mapeamento melhor de tal tema.

É de extrema importância ressaltar que critérios adotados para análise foram adquiridos pelas normas que regem a adequação dos equipamentos eletromédicos. Uma vez que existam outros fatores que podem fornecer uma análise mais ampla, indica-se a aplicação dos mesmos com o intuito da melhor avaliação no sentido de estruturação física das EAS.

6 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR IEC 601**: informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro, 2002.

PARENTE, Daniella B. O risco da radiação no uso indiscriminado da tomografia computadorizada. **Radiol Bras**, São Paulo (SP), v. 2, n. 46, p. 5-6, abr. 2013.

MENDONÇA, Gabriel R. et al. Desfibrilador externo automático (DEA). **VIII simpósio internacional de ciências integradas da UNAERP Campus Guarujá**, Guarujá (SP), p. 1-5, jul. 2011.

LUCATELLI, Marcos V. **Proposta de aplicação da manutenção centrada em confiabilidade em equipamentos médico-hospitalares**. 2002. 286 f. Dissertação (Dourotado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2002.

LUCATELLI, Marcos V. **Estudo de procedimentos de manutenção preventiva de equipamentos eletromédicos**. 1998. 141 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1998.

BATISTA, Tarsila F. E. T. Auditoria integrada: Gestão de equipamentos médico-hospitalares. **Tribunal de contas do distrito federal**. Distrito Federal (DF), fis. 352, Proc. 1780/13. p. 1-69, jul. 2014.

Sawada, Namie O. et al. O efeito da radioterapia sobre a qualidade de vida dos pacientes com câncer de cabeça e pescoço. **Revista Brasileira de Cancerologia**. Out, 2005.

TERRA, Thiago G. et al. Uma revisão dos avanços da Engenharia Clínica no Brasil. **Disciplinarum Scientia**, Santa Maria (RS), v. 15, n. 1, p.47-61, out. 2014.

FUCK, Marcos F. **Metodologia de implementação de um laboratório de calibração de equipamentos médico-hospitalares**. 2006. 105 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2006.

CAMPOS, Carlos A. B. Esclarecimentos prestados pelo IPEM-PR aos questionamentos realizados pela Vigilância Sanitária, através do ofício nº 420/2014 DVVSP/CEVS/SVS de 04 de junho de 2014. **Instituto de pesos e medidas do estado do Paraná**. Curitiba (PR), p.1-8, jul. 2014.

FOWLER, Richard J. **Fundamentos de Eletricidade: Corrente contínua e magnetismo**. 7. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

AMARAL, Mayara N.; CÁRIA, Jefferson D.P. Implementação de manutenção preventiva em equipamentos médicos. **VI SECEB INATEL**. ISSN 2358-338X, p.1-4, set. 2017.

MAGARÃO, Rodrigo V. Q. et al. Lesões por choque elétrico e por raios. **Rev Bras Clin Med**, São Paulo (SP), v. 9, n. 4, p. 288-293, jul-ago. 2011.

MÜHLEN, Sérgio. S. Certificação de qualidade em equipamentos médico-hospitalares no Brasil. **Memorias II Congresso Lationamericano de Ingeniería Biomédica**, Habana Cuba, mai. 2011.

ROSA, Juliane M. **Segurança elétrica em estabelecimentos de saúde**. 2016. 45 f. Dissertação (Graduação) – Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2016.

DOBES, Maurício I. **Estudo em instalações elétricas hospitalares para segurança e funcionalidade de equipamentos eletromédicos**. 1997. 135 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1997.

KINDERMANN, G; CAMPAGNOLO, J.M.; **Aterramento Elétrico**. Editora Sagra, DC Luzzatto, Porto Alegre, 1995.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL. **Curso básico de segurança em instalações e serviços em eletricidade**. Segunda edição. 158p. Brasília, 2007.

CABRAL, Suzy C. B.; MÜHLEN, Sérgio S. Interferência eletromagnética no ambiente hospitalar. **MultiCiência UNICAMP**, Campinas (SP), n. 5, p.1-6, out. 2005.

PASSOS JR, David P. Modelo de gerenciamento para interferências eletromagnéticas aplicado a equipamentos eletromédicos. **Acta de Ciências e Saúde**, São Paulo (SP), v. 1, n. 5, p.1-5, 2016.

PAGANOTTI, J. A. **Processo decisório**. São Paulo: Pearson Education do Brasil 2015.

FIGUEIRA, J., Greco, S., e Ehrgott, M., **Multiple criteria decision analysis**, Springer, N. York, 2005

VINCKE, P. **Multicriteria decision-aid**. Chichester: John Wiley & Sons, 1992.

ROMANO, A. B. **Conforto Acústico em Áreas Urbanas**. Maringá: UEM – Programa de Pós Graduação em Engenharia Urbana, 2018.

ZEVZIKOVAS, Marcos. **Efeitos da interferência eletromagnética conduzida em equipamentos eletromédicos no ambiente hospitalar**. 2004. 100 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2004.

HSU, Chia-Wei et al. Using DEMATEL to develop a carbon management model of supplier selection in green supply chain management. **Journal of cleaner production**, v. 56, p. 164-172, 2013.

KAUSHIK, S. A Methodology for Research in Library and Information Science. **International Journal of Librarianship and Administration**. v 6. p 179-185. 2015

CISNEROS, Edry A.G. **Estudo de teorias de manutenção: Tipos e tendências atuais**. Universidade do Estado de Amazonas. 17f. 2017.

DALZIEL, C.F. **Effects of Electric Shock on Man**. *Electrical Engineering*. v. 60, n. 2, p. 63-66, fev. 1941.

JOHN G. WEBSTER (Ed.). **Medical Instrumentation: Application and Design**. 4. ed. Boston: John Wiley & Sons Inc., 2009. Cap. 14.

TAUHATA, L. et. al. **Radioproteção e dosimetria: fundamentos**. IRD/CNEN, 5ª revisão, Rio de Janeiro, 2003.

CALIL, Saide J.; TEIXEIRA, Marilda S. **Gerenciamento de manutenção de equipamentos hospitalares**. Editora Fundação Peirópolis Ltda., São Paulo, 1998.

FARIA, Ênylo V. **Gestão de energia elétrica como fator de sustentabilidade em unidade hospitalar**. 2014. 22 f. Dissertação (Especialista) – Programa de Pós-Graduação em Mudanças Climáticas, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

AMORIM, Aline S. et al. O desafio da gestão de equipamentos médico-hospitalares do Sistema Único de Saúde. **Saúde Debate**. Rio de Janeiro (RJ). V.39, n.105, p. 350-362, abr-jun. 2015.

COSTA, Augusto H. et al. **Manutenção Preditiva**. 2010. 13 f. FEB. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. 2010.

MINISTÉRIO DA SAÚDE, Secretaria de Gestão de Investimentos em Saúde: Projeto Reforsus. **Equipamentos médico-hospitalares e o gerenciamento da manutenção**. Brasília – DF, 2002.

DECKMANN, S. M.; POMILIO, J. A., **Avaliação da Qualidade de Energia Elétrica – DSCE – Unicamp**, 2012.

WEG, **DSIW: Dispositivo Supervisor de Isolamento**: Manual de instalação e operação. N.10004636891/00, jan. 2017.

FORNAZIER, Carlos. Abordagem de vigilância sanitária de produtos para saúde comercializados no Brasil: Desfibrilador externo. **Boletim Informativo de Tecnovigilância**. Brasília (DF), ISSN 2178-440X , n.1, p. 1-73, jan-mar. 2011.

MORALES, Felipe C. **Sistema de acelerador linear comercial para radioterapia**. 2011. 91 f. Dissertação (Graduação) – Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”. Guaratinguetá, 2011.

APRILEO, Aline; Berlitz, Ricardo. Campanha pública alerta para a fibrilação atrial, arritmia que é uma das principais causas do acidente vascular cerebral (AVC), **Sociedade Brasileira de Arritmias Cardíacas (SOBRAC)**. 2016.

ANDREUCCI, Ricardo. **Proteção Radiológica**. Editora CNEN, Porto Alegre, 2008.

FERNANDES, Claudio C. Radioproteção em ambiente hospitalar: Um estudo sobre a proteção radiológica de radiodiagnósticos médicos em hospital no Rio de Janeiro. **XXXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Joinville (SC), p. 1-22, out. 2017.

BOSCHI, Audrey S. et al. Efeitos biológicos da radiação no ambiente hospitalar. **VIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e IV Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba**, São José dos Campos (SP), p. 202-205, abr. 2004.

SOUZA, A. F.; MORE, R. F. O perfil do profissional atuante em engenharia clínica no Brasil. **XXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica – CBEB**, São Paulo (SP), p.1086-1090, 2014.

XENOS, Harilaus G.P. **Gerenciando a manutenção produtiva**. Belo Horizonte: EDG, 1998.

GÜNDOĞDU, A. (2015): "MEASUREMENT OF FINANCIAL PERFORMANCE USING TOPSIS METHOD FOR FOREIGN BANKS ESTABLISHED IN TURKEY BETWEEN 2003-2013 YEARS". **International Journal of Business and Social Science** - Vol. 6.

BERT, R. Power Quality Issues and the Effects on Medical Equipment - **Journal of Clinical Engineering**, vol.22, n.1, p. 35-40, jan./fev. 1997.

CALDAS FILHO, José S. et al. A importância da Engenharia Clínica nas instituições de saúde. **Rev Pesq Saúde**, INSS-2236-6288 p. 75-79, mai-ago. 2015.

BARRETO, Roberto M.; FREIRE, Paulo D. F. Proteção Eletromagnética em Instalações de Sistemas de Tecnologia da Informação. **Revista RTI – Redes, Telecom e Instalações**. 2007.

BOURROUL, Selma C. **Caracterização dos efeitos da radiação ionizante em pele humana para aloenxerto**. 2004. 111 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciências na área de Tecnologia Nuclear, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **IEC 60479 – NBR 60479-1: Efeitos da corrente sobre seres humanos e animais domésticos**. Rio de Janeiro, p. 24. 2005.

CAMINHA, A. C. **Introdução à proteção dos sistemas elétricos**. São Paulo; Editora Edgard Blucher, 1977.

KURIACHAN, Vikas P. et al. **Optimizing cardiac resynchronization therapy for congestive heart failure**. *Department of Cardiac Sciences – Libin Cardiovascular Institute of Alberta, University of Calgary*. p. 85, 2015.

SAATY, T. L., **Método de Análise Hierárquica**, Makron Books do Brasil Editora Ltda., 1991

HEIN, Marcelo. **Segurança Elétrica em ambiente hospitalar**. 1996. 138 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 1996.

IFMBE. **Medical and Biological Engineering and Computing**, pg 201 à 205, 27 out, 2018.

COSTA, José D. C. **Redução da interferência eletrocardiográfica em sinais eletromiográficos**. 2016. 128 f. Dissertação (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2016.

BRONZINO, Joseph D. **Medical Devices and Systems**. ed. CRC Press. Taylor e Francis - *University of California, Davis*, Terceira edição, 2006.

SECRETARIA DA SAÚDE, Sanitaria – Serviços – Radiação Ionizante – Conceitos Importantes, set-2018. Disponível em:
<<http://www.saude.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=821>>
Acesso em: 26 set. 2018.

NUPEHA, IT médico evita falhas de energia e garante segurança do paciente. Disponível em: <<http://www.hospitalarquitetura.com.br/servicoes-e-tecnologia/33-it-medico-evita-falhas-de-energia-e-garante-seguranca-do-paciente.html>> Acesso em: 27 set. 2018.

ENGETELES, Tudo o que você precisa saber sobre manutenção preventiva. Disponível em: <<https://engeteles.com.br/o-que-e-manutencao-preventiva>> Acesso em: 05 set. 2018.

CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM LINHAS DE CUIDADO EM ENFERMAGEM, Taquiarritmias. Disponível em: <https://unarus2.moodle.ufsc.br/pluginfile.php/14685/mod_resource/content/2/un01/top03p03.html> Acesso em: 27 set. 2018.

Dorland's Medical Dictionary Online. Disponível em: <<https://www.dorlandsonline.com/dorland/home>> Acesso em: 25 set. 2018.

TELEMEDICINA, Cinco erros comuns na realização de eletrocardiogramas. Disponível em: <<https://brasiltelemedicina.com.br/artigo/5-erros-comuns-na-realizacao-de-eletrocardiogramas/>> Acesso em: 16 set. 2018.

GRUPO DE ESTUDOS DE CARDIOLOGIA DO ESPORTE, Desfibrilador interno no coração, o que é isso? Disponível em: <<http://departamentos.cardiol.br/gecesp/coluna/69.asp>> Acesso em: 05 ago. 2018.

TED-ED, *How X-rays see through your skin – Ge Wang*. Disponível em: <<https://ed.ted.com/lessons/how-x-rays-see-through-your-skin-ge-wang>> Acesso em: 27 set. 2018.

INMETRO, O que é acreditação. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/credenciamento/oqe_acre.asp> Acesso em: 11 out. 2018.

CLICKGEO, Análise Multicritério em SIG. Disponível em: <<http://www.clickgeo.com.br/analise-multicriterio-em-sig-1/>> Acesso em: 14 mai. 2019.

BWM, Best Worst Method – A multi-criteria decision-making method, Disponível em: <<http://bestworstmethod.com/>> Acesso em: 16 mai. 2019.

ANEXO A - Normas da série NBR IEC 601 publicadas.
(Ministério da Saúde)

Nº. da Norma: NBR IEC 60601-1-1.

Título: Equipamento eletromédico - Parte 1: Prescrições gerais para segurança - 1. Norma colateral: Prescrições de segurança para sistemas eletromédicos - A ser reimpressa, incorporando emenda Nº 1 de Novembro de 1997 (11 páginas).

Data de Publicação: 11/1997.

Objetivo: Descreve prescrições de segurança relativas aos sistemas eletromédicos no intuito de possibilitar a proteção do paciente, do operador e do ambiente.

Assuntos: Equipamento Eletromédico, Segurança, Sistema Eletromédico.

Normas Baseadas: IEC 60601-1-1.

No. de Páginas: 24.

Nº. da Norma: NBR IEC 60601-1-2.

Título: Equipamento eletromédico - Parte 1: Prescrições gerais para segurança - 2. Norma colateral: Compatibilidade eletromagnética. - Prescrições e ensaios.

Data de Publicação: 10/1997.

Objetivo: Especifica as regras gerais e os ensaios de compatibilidade eletromagnética para os equipamentos e, ou sistemas eletromédicos, como também serve de base para possíveis prescrições e ensaios adicionais de compatibilidade eletromagnética para as Normas Particulares.

Assuntos: Equipamento Eletromédico, Segurança, Compatibilidade Eletromagnética.

Normas Baseadas: IEC 60601-1-2.

Nº. de Páginas: 10.

Nº. da Norma: NBR IEC 60601-1-4.

Título: Equipamento eletromédico - Parte 1: Prescrições gerais para segurança 4. Norma Colateral: Sistemas eletromédicos programáveis.

Data de Publicação: 11/1997.

Objetivo: Especifica prescrições para o processo pelo qual um SEMP é projetado. Também serve como base para as prescrições das Normas Particulares, inclusive servindo como um guia para prescrições de segurança para o propósito de redução e gerenciamento do risco.

Assuntos: Equipamento Eletromédico, Segurança, Sistema Eletromédico.

Normas Baseadas: IEC 60601-1-4.

Normas Complementares: IEC 60788, NBR IEC 60601-1, NBR IEC 60601-1-1, NBR ISO 9001, NBR ISO 9000-3.

Nº. de Páginas: 21.

Nº. da Norma: NBR IEC 60601-2-2.

Título: Equipamento eletromédico - Parte 2: Prescrições particulares de segurança para equipamento cirúrgico de alta frequência.

Data de Publicação: 04/1998.

Objetivo: Especifica requisitos relativos à segurança das unidades eletrocirúrgicas de alta frequência.

Assuntos: Equipamento Eletromédico, Segurança, Equipamento Cirúrgico, Bisturi.

Normas Baseadas: IEC 60601-2-2.

Projeto de Origem: 26:002.05-001:1997.

Nº. de Páginas: 21.

Nº. da Norma: NBR IEC 60601-2-3.

Título: Equipamento eletromédico - Parte 2: Prescrições particulares para a segurança de equipamento de terapia por ondas curtas.

Data de Publicação: 04/1997.

Objetivo: Especifica prescrições para segurança do equipamento de terapia por ondas curtas que tem uma potência de saída declarada, não excedendo 500 W.

Assuntos: Equipamento Eletromédico, Segurança.
Normas Baseadas: IEC 60601-2-3.
Nº. de Páginas: 10.

Nº. da Norma: NBR IEC 60601-2-5.
Título: Equipamento eletromédico - Parte 2: Prescrições particulares para segurança de equipamentos por ultra-som para terapia.
Data de Publicação: 04/1997.
Objetivo: Especifica prescrições para a segurança de equipamento por ultra-som para terapia usado na prática médica.
Não se aplica a equipamento no qual uma ferramenta é comandada por ultrassom (por exemplo, equipamento usado em cirurgia ou odontologia) ou no qual ondas de pulsos de ultra-som focalizadas são usadas para destruir conglomerados, tais como cálculos nos rins ou na bexiga (litotripsia).
Assuntos: Equipamento Eletromédico, Segurança, Ultra-Som.
Normas Baseadas: IEC 60601-2-5.
Nº. de Páginas: 11.

Nº. da Norma: NBR IEC 60601-2-6.
Título: Equipamento eletromédico - Parte 2: Prescrições particulares para segurança de equipamento de terapia por microondas.
Data de Publicação: 10/1997.
Objetivo: Estabelece as prescrições de segurança para o equipamento de terapia por microondas utilizado na prática médica. Não se aplica ao equipamento especificado para hipertermia.
Assuntos: Equipamento Eletromédico, Segurança, Terapia por Microondas.
Normas Baseadas: IEC 60601-2-6.
Nº. de Páginas: 09.

Nº. da Norma: NBR IEC 60601-2-10.
Título: Equipamento eletromédico - Parte 2: Prescrições particulares para segurança de equipamento para estimulação neuromuscular.
Data de Publicação: 10/1997.
Objetivo: Especifica as prescrições para segurança de equipamento para estimulação neuromuscular, para utilização na prática da medicina física.
Assuntos: Equipamento Eletromédico, Segurança, Estimulador Neuromuscular.
Normas Baseadas: IEC 60601-2-10.
Nº. de Páginas: 12.

Nº. da Norma: NBR IEC 60601-2-12.
Título: Equipamento eletromédico - Parte 2: Prescrições particulares para segurança de equipamento para ventilação pulmonar em utilização médica.
Data de Publicação: 04/1998.
Objetivo: Especifica as prescrições para segurança de ventiladores pulmonares incorporando dispositivos elétricos projetados para uso médico.
Assuntos: Equipamento Eletromédico, Segurança, Ventilação.
Normas Baseadas: IEC 60601-2-12.
Projeto de Origem: 26:002.05-012:1997.
Nº. de Páginas: 09.

Nº. da Norma: NBR IEC 60601-2-13.
Título: Equipamento eletromédico - Parte 2: Prescrições particulares para segurança de aparelhos de anestesia.
Data de Publicação: 11/1997.
Objetivo: Especifica prescrições de segurança para aparelho de anestesia que incorporam dispositivos elétricos para utilização médica. Prescrições não elétricas adicionais são cobertas por outras normas ISO ou equivalentes nacionais pertinentes.
Esta norma particular cobre também aparelhos de anestesia que incorporam ventiladores pulmonares para utilização com agentes anestésicos inalatórios.

Assuntos: Anestesia, Equipamento Eletromédico, Equipamento Médico, Segurança.

Normas Baseadas: IEC 60601-2-13.

Normas Complementares: IEC 6 0065, IEC 60079-3, IEC 60079-4, IEC 60601-2-12, ISO 4135, ISO 5358, ISO 5369, NBR IEC 60601-1.

Nº. de Páginas: 14.

Nº. da Norma: NBR IEC 60601-2-14.

Título: Equipamento eletromédico Parte 2: Prescrições particulares para segurança de equipamento para eletroconvulsoterapia.

Data de Publicação: 02/1998.

Objetivo: Esta norma particular especifica as prescrições para segurança de equipamento para eletroconvulsoterapia.

Assuntos: Equipamento Eletromédico, Segurança, Eletroconvulsoterapia.

Normas Baseadas: IEC 60601-2-14.

Projeto de Origem: 26:002.05-011:1996.

Nº. de Páginas: 10.

Nº. da Norma: NBR IEC 60601-2-16.

Título: Equipamento eletromédico - Parte 2: Prescrições particulares para a segurança de equipamentos de hemodiálise.

Data de Publicação: 04/1997.

Objetivo: Especifica prescrições de segurança para paciente único de equipamento de hemodiálise.

Assuntos: Equipamento Eletromédico, Segurança, Hemodiálise.

Normas Baseadas: IEC 60601-2-16.

Normas Complementares: IEC 60513, IEC 60651, NBR IEC 60601-1.

Nº. de Páginas: 14

Nº. da Norma: NBR IEC 60601-2-18.

Título: Equipamento eletromédico - Parte 2: Prescrições particulares de segurança para equipamento de endoscopia.

Data de Publicação: 09/1997.

Objetivo: Especifica prescrições para a segurança dos equipamentos de endoscopia e dos instrumentos que deles fazem parte, utilizados para o diagnóstico médico e para os tratamentos nas cavidades do corpo.

Assuntos: Equipamento Eletromédico, Segurança, Endoscópio.

Normas Baseadas: IEC 60601-2-18.

Normas Complementares: IEC 60417G, IEC 60536, IEC 60601-2-2, IEC 60878, NBR IEC 60601-1.

Nº. de Páginas: 11.

Nº. da Norma: NBR IEC 60601-2-19.

Título: Equipamento eletromédico - Parte 2: Prescrições particulares para segurança de incubadoras para recém-nascidos (RN) - A ser impressa, incorporando emenda Nº1 de Março de 2000 (09 páginas).

Data de Publicação: 03/2000.

Objetivo: Especifica requisitos de segurança para incubadoras que minimizem os riscos ao paciente e ao usuário, e especificar os ensaios que possam verificar a conformidade com estes requisitos.

Assuntos: Equipamento Eletromédico, Segurança, Incubadora.

Normas Baseadas: IEC 60601-2-19.

Normas Complementares: IEC 60651, ISO 3743, ISO 7767, NBR IEC 60601-1, NBR IEC 60601-2-20.

Nº. de Páginas: 26.

Nº. da Norma: NBR IEC 60601-2-20.

Título: Equipamento eletromédico - Parte 2: Prescrições particulares para segurança de incubadoras de transporte - A ser reimpressa, incorporando emenda Nº 1 de Abril de 1998 (8 páginas).

Data de Publicação: 04/1998.

Objetivo: Especifica regras de segurança relativas às incubadoras de transporte. Não se aplica a equipamentos que utilizem aquecedores radiantes.

Assuntos: Equipamento Eletromédico, Segurança, Transporte, Incubadora.

Normas Baseadas: IEC 60601-2-20.

Normas Complementares: IEC 60651, ISO 32, ISO 407, ISO 3743, ISO 7767, NBR IEC 60601-1, NBR IEC 60601-2-19.

Nº. de Páginas: 27.

Nº. da Norma: NBR IEC 60601-2-21.

Título: Equipamento eletromédico - Parte 2: Prescrições particulares para a segurança de berços aquecidos para recém-nascidos – A ser reimpressa, incorporando emenda Nº 1 de Março de 2000 (6 páginas).

Data de Publicação: 03/2000.

Objetivo: Estabelece prescrições particulares para segurança de berços aquecidos para recém-nascidos como definido na subcláusula 2.2.101.

Assuntos: Equipamento Eletromédico, Segurança, Berço.

Normas Baseadas: IEC 60601-2-21.

Normas Complementares:

Nº. de Páginas: 21.

Nº. da Norma: NBR IEC 60601-2-22.

Título: Equipamento eletromédico - Parte 2: Prescrições particulares para a segurança de equipamento terapêutico e de diagnóstico a laser.

Data de Publicação: 10/1997.

Objetivo: Especifica prescrições particulares para a segurança de equipamento a laser para aplicações médicas classificado como produto a laser de classe 3B ou produto a laser de classe 4.

Assuntos: Equipamento Eletromédico, Segurança, Equipamento Terapêutico.

Normas Baseadas: IEC 60601-2-22.

Nº. de Páginas: 18.

Nº. da Norma: NBR IEC 60601-2-24.

Título: Equipamento eletromédico - Parte 2: Prescrições particulares para segurança de bombas e controladores de infusão.

Data de Publicação: 12/1999.

Objetivo: Especifica as prescrições para bombas de infusão, controladores de infusão, bombas de seringa e bombas de infusão para utilização ambulatorial. Estes dispositivos são destinados para serem utilizados pelo corpo médico e pacientes em domicílio, de acordo com as prescrições e indicações médicas.

Assuntos: Eletromédica, Equipamento Médico.

Normas Baseadas: IEC 60601-2-24.

Normas Complementares:

Projeto de Origem: 26:002.04-001:1999.

No. de Páginas: 46.

No. da Norma: NBR IEC 60601-2-25.

Título: Equipamento eletromédico - Parte 2: Prescrições particulares para segurança de eletrocardiógrafos.

Data de Publicação: 04/1997.

Objetivo: Estabelece prescrições específicas para a segurança de eletrocardiógrafos.

Assuntos: Eletrocardiógrafo, Equipamento Eletromédico, Segurança.

Normas Baseadas: IEC 60601-2-25.

Nº. de Páginas: 16.

Nº. da Norma: NBR IEC 60601-2-26.

Título: Equipamento eletromédico - Parte 2: Prescrições particulares para segurança de eletroencefalógrafos.

Data de Publicação: 04/1997.

Objetivo: Especifica prescrições particulares para a segurança de eletrocardiógrafos.

Assuntos: Equipamento Eletromédico, Segurança, Eletroencefalógrafo.

Normas Baseadas: IEC 60601-2-26.

Nº. de Páginas: 14.

Nº. da Norma: NBR IEC 60601-2-27.

Título: Equipamento eletromédico - Parte 2: Prescrições particulares para a segurança de equipamento para monitorização de eletrocardiograma.

Data de Publicação: 07/1997.

Objetivo: Especifica prescrições particulares para a segurança de equipamento para monitorização de eletrocardiograma (ECG), monitores de telemetria, monitores ambulatoriais (Holter) e outros dispositivos de registro estão fora do campo de aplicação desta norma particular.

Assuntos: Equipamento Eletromédico, Segurança, Monitor.

Normas Baseadas: IEC 60601-2-27.

Nº. de Páginas: 17.

Nº. da Norma: NBR IEC 60601-2-30.

Título: Equipamento eletromédico - Parte 2 - Prescrições particulares para a segurança de equipamento para monitorização automática e cíclica da pressão sanguínea indireta (não invasiva).

Data de Publicação: 11/1997.

Objetivo: Aplica-se ao equipamento para monitorização automática e cíclica da pressão sanguínea indireta.

Não se aplica a equipamentos de medição de pressão sanguínea que utilizam transdutores de dedo ou a equipamento de medição semi-automática da pressão sanguínea (para os quais tipicamente cada determinação de pressão necessita ser inicializada manualmente).

Assuntos: Equipamento Eletromédico, Equipamento Médico, Segurança, Monitor.

Normas Baseadas: IEC 60601-2-30.

Nº. de Páginas: 20.

Nº. da Norma: NBR IEC 60601-2-31.

Título: Equipamento eletromédico - Parte 2: Prescrições particulares para a segurança de marcapassos cardíacos externos com fonte de alimentação interna.

Data de Publicação: 12/1998.

Objetivo: Especifica as prescrições particulares para a segurança de marcapassos cardíacos externos, a partir de agora referido como equipamento, energizado por uma fonte de alimentação elétrica interna.

Assuntos: Equipamento Eletromédico, Equipamento Eletrônico, Marca-passo, Segurança.

Normas Baseadas: IEC 60601-2-31.

Projeto de Origem: NBR IEC 60601-2-31:1998

Nº. de Páginas: 22.

Nº. da Norma: NBR IEC 60601-2-34.

Título: Equipamento eletromédico - Parte 2: Prescrições particulares para a segurança de equipamento para monitorização da pressão sanguínea direta (invasiva).

Data de Publicação: 07/1997.

Objetivo: Especifica prescrições particulares para a segurança de equipamento para monitorização direta da pressão sanguínea e prescrições de segurança elétrica para transdutores com ponta em cateter.

Assuntos: Equipamento Eletromédico, Segurança, Monitorização de Pressão Sanguínea.

Normas Baseadas: IEC 60601-2-34.

Nº. de Páginas: 17.

Nº. da Norma: NBR IEC 60601-2-38.

Título: Equipamento eletromédico - Parte 2: Prescrições particulares para segurança de camas hospitalares operadas eletricamente.

Data de Publicação: 06/1998.

Objetivo: Especifica prescrições para segurança de camas hospitalares operadas eletricamente para manter os riscos de segurança tão baixos quanto possível aos pacientes, operadores e ambiente, e descrever ensaios para verificar que estas prescrições são atendidas.

Assuntos: Equipamento Eletromédico, Segurança, Cama Hospitalar.

Normas Baseadas: IEC 60601-2-38. Projeto de Origem: 26:002.05-021:1997.

Nº. de Páginas: 28.

Nº. da Norma: NBR IEC 60601-2-40.

Título: Equipamento eletromédico - Parte 2: Prescrições particulares para segurança de eletromiógrafos e equipamento de potencial evocado.

Data de Publicação: 12/1998.

Objetivo: Estabelece prescrições para a segurança de eletromiógrafo e equipamento de potencial evocado.

Assuntos: Equipamento Eletromédico, Segurança, Eletromiógrafo, Equipamento de Potencial Evocado.

Normas Baseadas: IEC 60601-2-40.

Projeto de Origem: 26:002.05-024:1998.

Nº. de Páginas: 09.

Nº. da Norma: NBR IEC 60601-2-46.

Título: Equipamento eletromédico - Parte 2-46: Prescrições particulares para segurança de mesas cirúrgicas.

Data de Publicação: 03/2000.

Objetivo: Especifica prescrições de segurança para mesas cirúrgicas.

Assuntos: Equipamento Médico.

Normas Baseadas: IEC 60601-2-46.

Normas Complementares: NBR IEC 60601-1, NBR IEC 60601-1-1.

Projeto de Origem: 26:002.04-021:1999.

Nº. de Páginas: 11.

Nº. da Norma: NBR IEC 60601-3-1.

Título: Equipamento eletromédico - Parte 3-1: Prescrições de desempenho essencial para equipamento de monitorização da pressão parcial transcutânea de oxigênio e de dióxido de carbono.

Data de Publicação: 06/1998.

Objetivo: Especifica prescrições essenciais para o desempenho de equipamento de monitorização da pressão parcial transcutânea de oxigênio e de dióxido de carbono. Aplica-se a monitores transcutâneos destinados à utilização com adultos, crianças e recém nascidos, inclui a utilização destes aparelhos em monitorização fetal durante o parto. Não se aplica a oxímetros de saturação de hemoglobina ou a aparelhos aplicados a outras superfícies do corpo que não a pele, tais como conjuntiva ou mucosa.

Assuntos: Carbono, Desempenho, Equipamento Eletromédico, Oxigênio, Dióxido de Carbono, Equipamento de Monitorização.

Normas Baseadas: IEC 60601-3-1.

Normas Complementares: NBR IEC 60601-1.

Projeto de Origem: 26:002.05-020:1997.

Nº. de Páginas: 09.

Fonte: Ministério da Saúde, Secretaria de Gestão de Investimentos em Saúde, Fundamentos de Segurança para Unidades de Saúde (2002, p. 212).

**ANEXO B - Procedimento de calibração de esfigmomanômetros
(FUCK, 2006)**

Procedimento de Calibração		PRC.001		
Título: Calibração de Esfigmomanômetro				
Emitido por:	Aprovado / Liberado por:	Data:	Revisão:	Página
		dd/mm/yyyy	01	1 de 17

Sumário

1. Objetivo
2. Aplicação
3. Documentos de referência
4. Terminologia
5. Equipamentos e materiais
6. Condições ambientais
7. Precauções e preparação
8. Escopo
9. Registros
10. Método
11. Determinação e análise dos resultados
12. Incerteza de medição
13. Apresentação dos resultados
14. Anexos
15. Controle de alterações

1. Objetivo: este procedimento de medição tem por objetivo orientar o técnico na execução da calibração de esfigmomanômetros, desde a sua preparação até a emissão do certificado de calibração.

2. Aplicação: calibração de esfigmomanômetros mecânicos aneróides.

3. Documentos de referência

- NIE-DIMEL-006 – “Procedimentos de Verificação e Inspeção de Esfigmomanômetros Mecânicos”;
- DOC-CGCRE-017 – “Orientações para a realização de calibração de medidores analógicos de pressão”;
- OIML R 16-1 - “Non-invasive mechanical sphygmomanometers”;
- manual do fabricante do equipamento;
- guia para Expressão da Incerteza de Medição (ISO – GUM);
- norma ABNT NBR ISO/IEC 17025:2005;
- documento de Referência EA-4/02 – Expressão da Incerteza de Medição na Calibração.

4. Terminologia: portaria nº 29 do Inmetro (10/03/1995) - Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia.

5. Equipamentos e materiais:

- Padrão de trabalho: denominação do padrão, marca e modelo.
- Medições subsidiárias: termohigrógrafo.
- Material de apoio: microcomputador e *softwares específicos*.

6. Condições ambientais

- Temperatura: (20 ± 2) °C
- Umidade relativa: (50 ± 20) %

7. Precauções e preparação: antes da calibração, é importante que o equipamento esteja totalmente limpo e isento de impurezas que possam causar algum dano ao padrão.

Realizar uma inspeção visual do instrumento (facilidade de leitura, escala, ponteiro, menor divisão, faixa de medição, marcação do ponto zero, numeração da escala, inscrições obrigatórias no mostrador e na braçadeira e possibilidade de lacração). Realizar a comprovação da hermeticidade.

8. Escopo: calibração do equipamento em intervalos de 50 mmHg, até o fundo de escala, nas condições de carga crescente e decrescente.

O escopo apresentado define um procedimento padrão para a determinação dos pontos, adotado pelo laboratório. Caso sejam solicitados pontos distintos dos definidos para calibração, a solicitação do cliente poderá ser atendida, respeitando-se os limites de atuação do laboratório.

9. Registros: utiliza-se o registro de medição específico do modelo do instrumento de medição, para anotarem-se os valores medidos durante a calibração. O registro de medição em papel deve ser armazenado, para fins de rastreabilidade do serviço.

10. Método: direto (comparação a um padrão de mesma unidade).

Escolha dos pontos: seja um esfigmomanômetro com faixa de operação até 300 mmHg (fundo de escala). Os seguintes pontos serão calibrados, em intervalos de 50 mmHg: Ponto 1: 0 mmHg; Ponto 2: 50 mmHg; Ponto 3: 100 mmHg; Ponto 4: 150 mmHg; Ponto 5: 200 mmHg; Ponto 6: 250 mmHg; Ponto 7: 300 mmHg.

Observação: caso o fundo de escala não seja múltiplo de 50, adota-se o critério de escolha dos pontos de 50 em 50 mmHg, incluindo-se no final o ponto do fundo de escala.

Exemplo: fundo de escala de 320 mmHg. Calibram-se os seguintes pontos:

Ponto 1: 0 mmHg; Ponto 2: 50 mmHg; Ponto 3: 100 mmHg; Ponto 4: 150 mmHg;

Ponto 5: 200 mmHg; Ponto 6: 250 mmHg; Ponto 7: 300 mmHg; Ponto 8: 320 mmHg.

Os pontos serão calibrados nas condições de carga crescente e decrescente, conforme definido no escopo de calibração.

Após a determinação dos pontos, o equipamento sob calibração é levado às medições especificadas.

Passos para a calibração:

- Bombear ar até que no manômetro de referência seja indicada a pressão correspondente ao primeiro ponto da escala a ser verificado;
- Aguardar até que se estabeleça o equilíbrio termodinâmico do ar no circuito pneumático, por no máximo 1min. Se necessário, bombear mais ar para ajustar a pressão ao nível desejado;
- Anotar a leitura das indicações dos manômetros aneróides;
- Bombear ar até que no manômetro de referência seja indicada a pressão correspondente ao próximo ponto da escala a ser verificado, e assim sucessivamente, até atingir o limite superior da escala;
- Na pressão decrescente devem ser verificados os mesmos pontos estabelecidos no escopo. Anotar a leitura das indicações dos manômetros.

Os ciclos de medição serão os seguintes:

1º Ciclo (carga crescente): medição do 1º ponto (0 mmHg). Em seguida, mede-se o 2º ponto (50 mmHg). A medição prossegue até o último ponto definido anteriormente;

2º Ciclo (carga decrescente): medição do 1º ponto (300 mmHg ou valor de fundo de escala). Em seguida, mede-se o 2º ponto (250 mmHg ou múltiplo de 50 mmHg após o valor do fundo de escala). A medição prossegue até o ponto de 0 mm Hg;

3º Ciclo (carga crescente): medição do 1º ponto (0 mmHg). Em seguida, mede-se o 2º ponto (50 mmHg). A medição prossegue até o último ponto definido anteriormente;

4º Ciclo (carga decrescente): medição do 1º ponto (300 mmHg ou valor de fundo de escala). Em seguida, mede-se o 2º ponto (250 mmHg ou múltiplo de 50 mmHg após o valor do fundo de escala). A medição prossegue até o ponto de 0 mm Hg;

5º Ciclo (carga crescente): medição do 1º ponto (0 mmHg). Em seguida, mede-se o 2º ponto (50 mmHg). A medição prossegue até o último ponto definido anteriormente;

6º Ciclo (carga decrescente): medição do 1º ponto (300 mmHg ou valor de fundo de escala). Em seguida, mede-se o 2º ponto (250 mmHg ou múltiplo de 50 mmHg após o valor do fundo de escala). A medição prossegue até o ponto de 0 mm Hg.

Ao final dos 6 ciclos, tem-se $n = 3$ medições para cada ponto, tanto em carga crescente quanto decrescente.

11. Determinação e análise dos resultados: os resultados obtidos deverão ser analisados criteriosamente, para se detectar qualquer indicação incoerente com os valores apresentados.

12. Incerteza de medição: os seguintes componentes devem ser considerados:

- Medições repetidas para cada ponto;

- Incerteza de calibração do padrão utilizado;
- Resolução do instrumento.

13. Apresentação dos resultados: o certificado de calibração é apresentado com as informações mínimas requeridas pela norma ISO 17025.

14. Anexos: caso seja necessário algum documento anexo, colocá-lo neste item.

15. Controle de alterações: este item trata das modificações efetuadas neste próprio procedimento de medição em função das revisões que o mesmo tenha ao longo do tempo.

Fonte: FUCK, Marcos Fábio. Metodologia de implementação de um laboratório de calibração de equipamentos médico-hospitalares (2006, p. 83).

APÊNDICE A – Questionário Aplicado nas EAS participantes

APÊNDICE B – Matriz de Riscos

MATRIZ DE RISCO		Detalhamento da Gravidade do Impacto O processo de avaliação é feito através da comparação dos impactos gerados pela anomalia, devendo ser avaliado pelo impacto que for mais representativo (com mais alta classificação)				
		1 - Baixo	2 - Médio	3 - Alto	4 - Muito Alto	5 - Extremamente Alto
Tipos de Impacto						
Saúde e Segurança: Toda anomalia identificada que ofereça uma condição de impacto para saúde e segurança		Levemente Prejudicial com exposição eventual	Levemente Prejudicial com exposição intermitente	Levemente Prejudicial com exposição frequente	Prejudicial	Extremamente Prejudicial
Meio Ambiente: Toda anomalia identificada que ofereça uma condição de risco ao meio-ambiente		Se o efeito desfavorável da mudança atinge ou pode atingir apenas o meio físico	Se o efeito desfavorável atinge ou pode atingir o conjunto da flora e fauna, sem comprometer as populações vizinhas ou as comunidades	Se o efeito desfavorável atinge ou pode atingir as populações vizinhas ou as comunidades, e são reversíveis com ações imediatas (menos de três anos)	Se o efeito desfavorável atinge ou pode atingir as populações vizinhas ou as comunidades, e são reversíveis a médio ou longo prazo (entre três e 10 anos)	Se o efeito desfavorável atinge ou pode atingir o meio antrópico (isto é, comunidades), e são modificações irreversíveis (mais de dez anos)
Perda de Qualidade / Produto Fora de Especificação: Toda anomalia identificada que ofereça uma condição de risco perda de qualidade ou possa gerar serviço fora de especificação		Sem perda de serviços.	Perda de serviços até 1 horas	Perda de serviços até 4 horas	Perda de serviços até 8 horas	Perda de serviços acima de 8 horas
Normas Regulatórias e Legislação: Toda anomalia identificada que ofereça o risco do não cumprimento de uma norma regulamentadora (NR).		Baixo Nível de Comprometimento Legal	Questão jurídica menor, observação em auditoria	Grave violação do direito, relatório do ministério público e sanção moderada possível / Não Conformidade menor em auditoria	Violação de direito maior. Não conformidade maior em uma auditoria de certificação	Penalização considerável perante os Ministério Público. Várias ações legais, termos de prisão. Perda de uma certificação
Custo do Reparo: Toda anomalia identificada que ofereça uma condição de risco ao orçamento de manutenção, para esta análise deve ser considerado somente as despesas com materiais		Custos de até R\$ 4.999,00	Custos de R\$ 5.000,00 até 19.999,00	Custos de R\$ 20.000,00 até 49.999,00	Custos de R\$ 50.000,00 até 99.999,00	Custos maiores que R\$ 100.000,00
Probabilidade	Detalhamento	Classificação do Risco				
7 - Extremamente Alta	O defeito poderá vir a tornar-se uma falha a qualquer momento	Muito Alto (3)	Muito Alto (3)	Extremamente Alto (7)	Extremamente Alto (7)	Extremamente Alto (7)
6 - Muito alta	O defeito poderá vir a tornar-se uma falha em um tempo menor que 7 dias	Alto (2)	Muito Alto (3)	Muito Alto (3)	Extremamente Alto (7)	Extremamente Alto (7)
5 - Alta	O defeito poderá vir a tornar-se uma falha em 36 dias	Médio (1)	Alto (2)	Muito Alto (3)	Muito Alto (3)	Extremamente Alto (7)
4 - Média	O defeito poderá vir a tornar-se uma falha em 2 meses	Médio (1)	Médio (1)	Alto (2)	Muito Alto (3)	Muito Alto (3)
3 - Baixa	O defeito poderá vir a tornar-se uma falha em 6 meses	Baixo (0)	Médio (1)	Médio (1)	Alto (2)	Muito Alto (3)
2 - Muito Baixa	O defeito poderá vir a tornar-se uma falha em 12 meses	Baixo (0)	Baixo (0)	Médio (1)	Médio (1)	Alto (2)
1 - Remota	O defeito poderá vir a tornar-se uma falha em 18 meses	Baixo (0)	Baixo (0)	Baixo (0)	Médio (1)	Médio (1)
Classificação do Risco		Orientação do Tratamento de Defeito				
7	Extremamente Alto (EVM A)	O Supervisor deverá realizar análise da causa raiz do defeito. O Risco deverá ser mitigado e demanda uma ação imediata da manutenção. O Gerente de Manutenção deve compartilhar o Risco com o Diretor da respectiva BU, sempre que o Risco definido for Extremamente Alto e a probabilidade de falha for imediata.				
3	Muito Alto (EVM A)	O Supervisor deverá realizar análise da causa raiz do defeito. O Risco deverá ser mitigado quando a probabilidade da falha seja anterior à oportunidade da data prevista do reparo. O Supervisor de manutenção deve compartilhar o Risco com o Gerente de Manutenção sempre que a probabilidade de falha for imediata (probabilidade 7)				
2	Alto (EVM B)	O Supervisor realiza análise da causa raiz do defeito e administra o Risco, conforme evolução da probabilidade da falha. O Supervisor deve compartilhar o Risco com o Coordenador de Manutenção, quando a probabilidade da falha seja anterior à oportunidade da data prevista do reparo				
1	Médio (EVM B)	O Supervisor realiza análise da causa raiz do defeito, administra o Risco e realizar Mitigação do Risco quando necessário				
0	Baixa (EVM C)	O Supervisor administra a evolução da falha				