

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PARÁ

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS

MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA DE MATERIAIS

**SELEÇÃO DE MATERIAL PARA PONTEIRAS DE
BENGALAS DE DEFICIENTES VISUAIS COM O AUXÍLIO
DA FERRAMENTA MULTICRITÉRIO TOPSIS**

Cláudia Canto de Souza Leão

BELÉM-PARÁ-BRASIL

**SELEÇÃO DE MATERIAL PARA PONTEIRAS DE BENGALAS DE
DEFICIENTES VISUAIS COM O AUXÍLIO DA FERRAMENTA MULTICRITÉRIO
TOPSIS**

Cláudia Canto de Souza Leão

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Materiais – Mestrado Profissional, PPGEMAT/IFPA, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará – IFPA/Campus Belém, como requisito para obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Materiais.

Área de concentração: Caracterização, Processamento e Aplicação de Materiais
Linha de pesquisa: Materiais Não Metálicos.

Orientador: Prof. Dr. Alessandro de Castro Corrêa.

BELÉM – PARÁ - BRASIL

2018

ii

Dados para catalogação na fonte
Setor de Processamento Técnico
Biblioteca IFPA - Campus Belém

L437s Leão, Cláudia Canto de Souza.

Seleção de material para ponteiras de bengalas de deficientes visuais com o auxílio da ferramenta multicritério TOPSIS – [manuscrito] / Cláudio Canto de Souza Leão. – Belém, 2018.

76f.

Impresso por computador (Fotocópia).

Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará – IFPA, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais - Mestrado Profissional, Belém, 2018.

Orientador: Alessandro de Castro Corrêa.

1. Tecnologia assistiva. 2. Reciclagem. 3. Compósitos. 4. TOPSIS. I. Título.

CDD: 371.9

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PARÁ
CAMPUS BELÉM

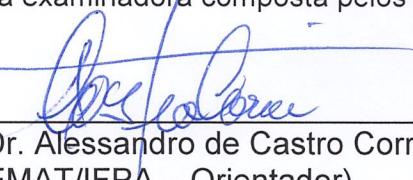
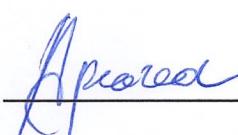
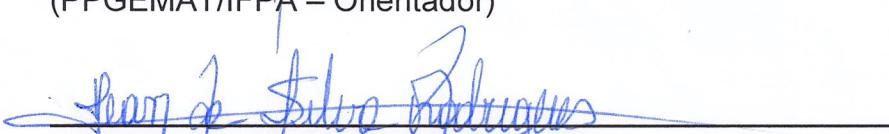
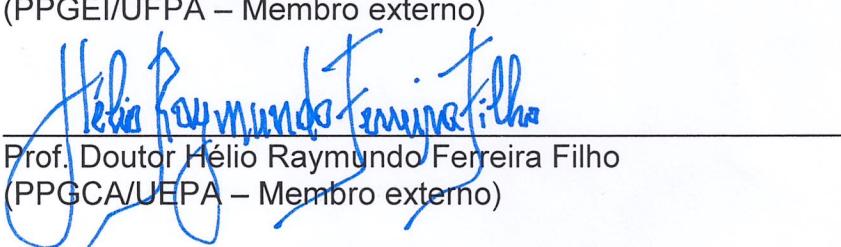
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS
MESTRADO PROFISISONAL EM ENGENHARIA DE MATERIAIS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**SELEÇÃO DE MATERIAL PARA PONTEIRAS DE BENGALAS DE
DEFICIENTES VISUAIS COM O AUXÍLIO DA FERRAMENTA MULTICRITÉRIO
TOPSIS**

Autor: Cláudia Canto de Souza Leão

Orientador: Prof. Dr. Alessandro de Castro Correa

A banca examinadora composta pelos membros abaixo     esta dissertação.

Prof. Dr. Alessandro de Castro Corrêa
(PPGEMAT/IFPA – Orientador)

Prof. Dr. Jean da Silva Rodrigues
(PPGEMAT/IFPA – Co-orientador)

Prof. Dr. Elza Monteiro Leão Filha
(PPGEI/UFPA – Membro externo)

Prof. Doutor Hélio Raymundo Ferreira Filho
(PPGCA/UEPA – Membro externo)

Belém (PA), 27 de de 2018.

“Dedico esta conquista a minha avó Antônia Gonçalves (in memorian), aos meus pais, Paulo Leão e Maria do Carmo Canto, ao meu companheiro Dorival Neto e aos meus filhos Davi e Daniel”.
(Cláudia Leão).

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por me conduzir até aqui e me dar forças para a conclusão deste trabalho.

Ao meu orientador Alessandro Correa e co-orientador Jean Rodrigues pelo voto de confiança, respeito e conhecimentos repassados.

À professora Elza Filha pela contribuição deste grande tema avançado neste trabalho por mim e por outros alunos de grupos de pesquisa.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Engenharia de materiais pelo aprendizado neste curso.

Aos técnicos de laboratórios do IFPA, Yago, João Henrique, Ramon, Rogério e Rosinaldo, pelos auxílios e orientações nos laboratórios.

À professora Carmen Lucia e sua equipe da Coordenação de Mecânica da UFPA pela realização do ensaio charpy para a caracterização de impacto deste trabalho.

À minha família, em especial, meu esposo e meus filhos, que vivenciaram esse trabalho comigo.

RESUMO

LEAO, Cláudia Canto de Souza. Seleção de Material para Ponteiras de Bengalas de Deficientes Visuais com o Auxílio da Ferramenta Multicritério TOPSIS. Dissertação de Mestrado. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará – IFPA/ Campus Belém, Belém – Pará, 2018.77p.

Atualmente novas realidades e paradigmas emergem no mundo em uma sociedade diversificada que questiona e planeja novos caminhos de inclusão social da pessoa com deficiência. A tecnologia assistiva trata de recursos e serviços utilizados para aumentar, manter ou melhorar as capacidades funcionais de pessoas portadoras de deficiências. A busca por novas tecnologias inclusivas tem estimulado e fomentado novas pesquisas de recursos tecnológicos especializados, equipamentos de auxílio, que estão sendo utilizados e produzidos com mais frequência nos últimos anos. O objetivo desta investigação é selecionar o melhor material destinado a ponteiras de bengalas desmontáveis de deficientes visuais em virtude de ser um elemento frágil e de pouca durabilidade, visando auxiliar a locomoção destes usuários oferecendo-o mais segurança, conforto e satisfação. Foram avaliados cinco tipos de materiais, a resina poliéster ortoftálica com 10% e 15 % de borracha de pneus; a resina epóxi incorporada com 10% e 15% deborracha de pneus inservíveis; e o plástico Acrilonitrilabutadieno estireno (ABS) feito por prototipagem 3D. As medidas de desempenho consideradas para avaliação multicritério foram resistência (tração e impacto), massa específica, absorção de umidade, custo, propagação do som, resistência ao atrito e a manutenção da ponteira. O procedimento metodológico foi realizado em três etapas: (i) a experimental em laboratório, que envolveu a caracterização dos materiais, para a obtenção das variáveis técnicas, através de ensaios mecânicos e físicos; (ii) experimental em campo, por meio de uma pesquisa com os deficientes visuais de uma associação local para a obtenção das variáveis qualitativas; e (iii) a avaliação multicritério, no qual foram calculados os indicadores globais de desempenho das alternativas avaliadas. Foi utilizada a técnica de análise de multicritério de decisão (AMD), Technique for Order Preference by Smilarity to Ideal Solution (TOPSIS), que mostrou-se adequada para a análise do problema pois foram identificados atributos conflituosos e divergentes, entre medidas quantitativas e qualitativas, além da atribuição de pesos de acordo com a preferência de um profissional da área para a seleção da ponteira ideal. Os resultados revelaram que a ponteira de material ABS, fabricada na impressora 3D, apresentou um desempenho superior em relação às outras ponteiras de compósitos, por ter sido melhor justamente nos critérios de maiores pesos e inferior nos critérios com os pesos menos relevantes, como a troca da ponteira.

Palavras chave: Tecnologia Assistiva, reciclagem, compósitos, TOPSIS.

ABSTRACT

Nowadays new realities and paradigms emerge in the world in a diverse society that questions and plans new ways of social inclusion of the person with disability. Assistive technology addresses the resources and services used to increase, maintain, or improve the functional capabilities of people with disabilities. The search for new inclusive technologies has stimulated and fostered new researches of specialized technological resources, aid equipment, which are being used and produced more frequently in recent years. The objective of this research is to select the best material for disassembled walking sticks for the visually impaired because it is a fragile and low durability element, aiming to assist the locomotion of these users offering them more safety, comfort and satisfaction. Five types of materials were evaluated, the 10% and 15% rubber tires of orthophthalic polyester resin; the epoxy resin incorporated with 10% and 15% rubber of waste tires; and acrylonitrile-styrene (ABS) plastic made by 3D prototyping. The performance measures considered for multicriteria evaluation were resistance (traction and impact), specific mass, moisture absorption, cost, sound propagation, resistance to friction and tip change. The methodological procedure was carried out in three stages: (i) the experimental in the laboratory, which involved the characterization of the materials, to obtain the technical variables, through mechanical and physical tests; (ii) experimental in the field, through a research with the visually impaired of a local association to obtain the qualitative variables; and (iii) the multicriteria evaluation, in which the overall performance indicators of the evaluated alternatives were calculated. The technique of Decision Multicriteria Analysis (AMD), Technique for Order Preference by Smallest Difference (TOPSIS) was used, which proved to be appropriate for the analysis of the problem because conflicting and divergent attributes were identified, between quantitative and qualitative measures, besides the attribution of weights according to the preference of a professional of the area for the selection of the ideal tip. The results showed that the ABS material tip, manufactured in the 3D printer, performed better than the other composite tips because it was better in the criteria of higher weights and lower in the criteria with less relevant weights, such as the exchange of the tip.

Key-words: Assistive technology, recycling, composites, TOPSIS.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Diferenças dos métodos de apoio à decisão: Escola Americana e Francesa	35
Tabela 2. Trabalhos com a ferramenta TOPSIS	37
Tabela 3. Peneiramento da borracha	47
Tabela 4. Atributos multicritério	56
Tabela 5. Resultados das propriedades físicas	58
Tabela 6. Resultados do ensaio de resistência à tração dos compósitos de matriz poliéster e epóxi (10% e 15%).....	59
Tabela 7. Matriz de decisão multicritério	65
Tabela 8.Pesos dos atributos com base em suas ordenações	66
Tabela 9. Matriz com os dados normalizados	67
Tabela 10. Dados normalizados e ponderados	67
Tabela 11. Soluções ideais e anti-ideais	67
Tabela 12. Cálculo das distâncias d+.....	67
Tabela 13. Cálculo das distâncias d-.....	68
Tabela 14. Medidas de proximidade dos processos e ranking final	68

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estrutura da Dissertação	18
Figura 2. Bengala Desdobrável para deficientes visuais	23
Figura 3. Grupos de formas de decisão	33
Figura 4. Fluxograma da metodologia	46
Figura 5. Processo de peneiramento da borracha de pneu.....	48
Figura 6. Ensaios físicos: massa específica, absorção de umidade e porosidade....	50
Figura 7. Arquitetura do corpo de prova de tração (escala em mm)	51
Figura 8. Corpos de provas dos ensaios de tração.....	52
Figura 9. Corpos de prova para ensaio de impacto (charpy).....	53
Figura 10. Moldes e ponteiras dos compósitos	54
Figura 11. Impressora 3D.....	54
Figura 12 . Ponteiras de ABS	54
Figura 13. Superfície da fratura de corpo de prova de poliéster com 10% e 15% de borracha	61
Figura 14. Superfície da fratura de corpo de prova de epóxi com 10% e 15% de borracha	61
Figura 15. Teste de usabilidade	63
Figura 16. Ponteira de Compósito e de AB	64
Figura 17. Fratura da ponteira de ABS.....	64
Figura 18. Novo design para ponteira	71

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Histograma de distribuição granulométrica.....	47
Gráfico 2. Resistência à Tração dos compósitos de poliéster e epóxi reforçados com borracha (Tensões médias com os respectivos erros padrões). As linhas tracejadas representam os desempenhos em tração da matriz plena de cada resina.	59
Gráfico 3. Tensão x Deformação.....	60
Gráfico 5. Energia de impacto (J/m)	62
Gráfico 6. Gráfico com a ponderação dos pesos dos critérios de acordo com a preferência do profissional da área de mecânica.	66
Gráfico 7. Ranking final da avaliação multicritério	69

LISTA DE SIGLAS

ASCEPA	Associação De e Para cegos do Pará
ABS	Acrilonitrina butadieno estireno
FAPESPA	Fundação da Amazônia de amparo a estudos e pesquisas
ADA	American with disabilities act
FINEP	Financiadora de Estudos e projetos
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia
ITS	Instituto de Tecnologia Social
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
OMS	Organização Mundial de Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
GPS	Global Positioning System
QR	Quick Response
CMP	Compósito de matriz polimérica
CMM	Compósito de matriz metálica
CMC	Compósito de matriz cerâmica
USP	Universidade de São Paulo
AMD	Análise Multicritério de decisão
MCDM	Multiple-criteria decision making
MCDA	Multiple-criteria decision analysis
TOPSIS	Technique for order preference by similarity to ideal solution
AHP	Analytic Hierarchy Process

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVOS	15
1.1.1 Objetivo Geral	15
1.1.2 Objetivos Específicos	15
1.2 JUSTIFICATIVA	15
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 TECNOLOGIA ASSISTIVA	19
2.2 DEFICIÊNCIA VISUAL	20
2.3 ACESSIBILIDADE	21
2.4 BENGALAS PARA DEFICIENTES VISUAIS	22
2.5 PONTEIRA DA BENGALA	23
2.6 PRINCIPAIS CONCEITOS DE MATERIAIS COMPÓSITOS	24
2.6.1 Definição	24
2.6.2 Os sistemas compósitos e suas propriedades	25
2.6.3 Classificação e principais tipos de materiais compósitos	26
2.6.4 Compósitos reforçados com partículas	27
2.7 MATRIZES POLIMÉRICAS	27
2.7.1 Polímeros	27
2.7.2 Resinas	28
2.7.3 Resina poliéster insaturado	28
2.7.4 Resina epóxi	28
2.8 RESÍDUO DE BORRACHA DE PNEU COMO REFORÇO DO COMPÓSITO POLIMÉRICO	29
2.9 ANÁLISE MULTICRITÉRIO DE TOMADA DE DECISÃO	32
2.10 A Ferramenta TOPSIS	36
2.10.1 A ponderação dos atributos	40
2.11 ESCALAS DE MEDIÇÃO DE ATRIBUTOS E ESCALONAMENTO	40
3 METODOLOGIA	45
3.1 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	46

3.1.2 Caracterização da resina poliéster.....	48
3.1.3 Caracterização da resina epóxi.....	48
3.1.4 Caracterização dos compósitos fabricados	48
3.1.6 Produção dos corpos de prova dos compósitos	53
3.1.7 Produção dos corpos de prova de plástico abs	54
3.1.8 Pesquisa de Campo.....	54
3.2 AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIO	55
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	58
4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS RESINAS	58
4.2 CARACTERIZAÇÃO DA BORRACHA DE PNEU	58
4.3 CARACTERIZAÇÃO DOS COMPÓSITOS E ABS	58
4.4 AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIO	64
4.4.1 Etapas do Método TOPSIS.....	64
5 CONCLUSÕES	69
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	70
APÊNDICE – A.....	76

1 INTRODUÇÃO

As pessoas com deficiência visual enfrentam grandes desafios, pois transitam com dificuldades por vias públicas em geral e ficam expostas a constantes situações de riscos. Normalmente, não têm acesso às informações necessárias para sua orientação e locomoção. A simples tarefa de mobilidade e orientação torna-se uma tarefa bastante difícil para estas pessoas, pois para realizar tais ações elas dependem de um bom processo cognitivo, que inclui: a percepção, aprendizagem e memória das informações do ambiente (ALVES et al., 2014).

Segundo Rosa (2009) ea Associação De e Para Cegos do Pará (ASCEPA), a bengala branca (desmontável), introduzida no final da década de 40, continua a ser o instrumento mais utilizado na locomoção dos cegos, devido o seu baixo custo, leveza e portabilidade, fácil utilização e uma razoável sondagem do espaço e superfície frontal. A maioriaé fabricada em alumínio e varia os comprimentos entre 1,12m e 1,37m. Uma grande dificuldadedesse objeto está na sua ponteira, que, segundo relatos, apresentam baixa resistência e pouca durabilidade devido à forma de utilização e a frequênciade uso.

As principais pesquisas atuais sobre bengalas para deficientes visuais tratam sobre a tecnologia dasbengalas eletrônicas, que utilizam micro controladores, sensores e ultrassons para o auxílio na locomoção. Porém, essas técnicas são inviáveis economicamente para a associação, onde a maioria do público apresenta baixo poder aquisitivo.

Os professores do Curso Técnico de Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará vêm desenvolvendo um projeto no intuito de propor uma ponteira que possa substituir as convencionais vendidas comercialmente e já desgastadas pelo uso. Uma etapa fundamental do projeto consiste na seleção de materiais diferentes para a ponteira, entre os compósitos de matriz polimérica com incorporação de resíduo de borracha de pneus, bem como com o plástico ABS (Acrilonitrilabutadieno estireno) por prototipagem de impressão 3D.

Para a seleção do material, é necessário avaliar uma diversidade de aspectos a serem considerados, critérios quantitativos e qualitativos, alguns objetivos e facilmente mensuráveis, e outros de natureza subjetiva que vem progressivamente

assumindo maior importância na escolha de materiais, porém mais difíceis de mensurar.

O trabalho tem como objetivo selecionar, entre os materiais propostos, qual o melhor para ponteiras de bengalas desmontáveis de deficientes visuais considerando todas as variáveis relevantes e as preferências dos usuários deficientes de nossa região.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Selecionar o material mais adequado para ponteiras de bengalas desmontáveis de deficientes visuais considerando diversos atributos.

1.1.2 Objetivos Específicos

Para atender ao objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram estabelecidos:

- a) Selecionar os materiais para a ponteira de bengalas de deficientes visuais;
- b) Mensurar os critérios quantitativos e qualitativos dos materiais da ponteira para bengala de deficientes visuais;
- c) Determinar a satisfação do usuário deficiente quanto ao material proposto.
- d) Avaliar os benefícios e custos de cada material, considerando as suas importâncias relativas para a aplicação.

1.2 JUSTIFICATIVA

A tecnologia assistiva é definida como uma ampla gama de recursos e serviços utilizados para aumentar, manter ou melhorar as capacidades funcionais de pessoas portadoras de deficiências. Essas tecnologias estão em constante avanço permitindo, cada vez mais, aos deficientes, novas formas de aprendizagem e experiência, gerando assim maior inclusão social (ALVES et al., 2014, p.2).

Este trabalho tem como proposta a seleção de um material ideal, entre os cinco materiais sugeridos, visando beneficiar a locomoção de deficientes visuais, diminuindo os impactos da deficiência visual.

Atualmente as bengalas mais comuns são fabricadas em alumínio, fibra de vidro e de fibra de carbono, cada uma com as especificidades de cada material. Foi então pensado em selecionar um material com boa qualidade, mais resistente, mais

confortável, mais econômico, que possa proporcionar melhor eficiência aos seus usuários.

Há experimentações de compósitos com resíduo de borracha de pneus em diversas matrizes, em resinas sintéticas, como de poliuretana, de polipropileno reciclado, além de sua interação também com o gesso, argila, concreto, asfalto entre outros, estes últimos utilizados para aplicações na área da construção civil. Como exemplo, Rodrigues e Ferreira (2010) utilizaram borracha em uma aplicação em elementos construtivos, como recobrimento de superfícies, onde se faz necessária a absorção e o amortecimento de energia (impacto), além da atenuação de ruídos.

As borrachas têm sido usadas para propósitos de controle de energia. Elas vão das mais simples como bandas elásticas, para-choques e equipamentos esportivos, às mais complexas como sistemas de suspensão de carros. A borracha é também avaliada por seu controle de vibração. Ela é extensivamente usada em acoplamentos flexíveis. Todas as borrachas podem ser usadas para controle de energia e podem ser compostas para variar sua resiliência fundamental para os requerimentos exatos do projetista (REGIS, 2011, p.39).

De acordo com essas aplicações, a borracha do pneu foi estrategicamente incorporada ao material da ponteira visando aproveitar algumas de suas boas características mecânicas como a absorção e o amortecimento de energia (impacto), além do fator econômico, pois entre os materiais que tem menor custo estão os materiais reciclados, uma vez que são obtidos a partir de rejeitos industriais.

A resina epóxi é um polímero termofixo altamente versátil devido a sua combinação singular de propriedades, como resistência à tração e tenacidade, resistência química, à umidade e à corrosão, boas propriedades térmicas, adesivas e elétricas. Essas características normalmente não são encontradas em outros materiais poliméricos, sendo sua aplicação atrativa quando se deseja produzir materiais de engenharia. Um dos compósitos produzidos teve a matriz polimérica de resina epóxi visando o alcance dessas propriedades.

Esses compósitos podem vir a se constituir como uma alternativa ao processo de reciclagem de pneus comumente descartado incorretamente, desenvolvido para garantir uma melhor qualidade na locomoção de deficientes visuais.

O presente trabalho buscou contribuir para área de materiais compósitos constituídos com partículas, experimentando de modo incomum a possibilidade de utilização de partículas de borracha oriundas de pneus inservíveis como material alternativo para a ponteira de bengalas de deficientes visuais.

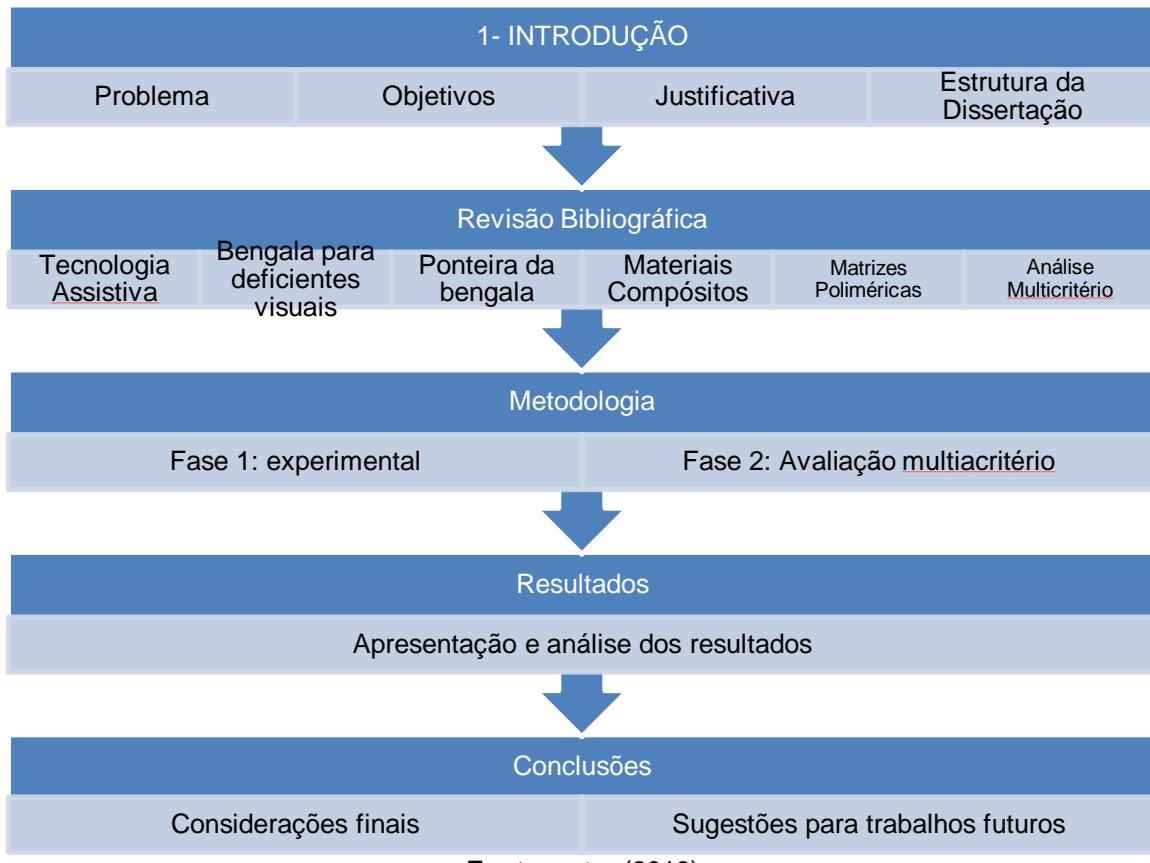
O projeto foi desenvolvido visando uma iniciativa econômica, social e ambiental, pois se pretende melhorar a capacidade funcional de pessoas portadoras de deficiências visuais reutilizando resíduos de borracha de pneus inservíveis, gerando uma diminuição no custo da matéria prima e também podendo colaborar com o meio ambiente, encontrando-se uma aplicação para a grande quantidade de borracha descartada provenientes de pneus usados. Assim, reciclando, são reduzidos os problemas ambientais e de saúde pública, como proposta de reuso de materiais que seriam descartados em aterros sanitários proliferando doenças.

Esta pesquisa teve apoio da Associação De e Para Cegos do Pará (ASCEPA), fundada em 12 de maio de 2000, sendo uma entidade sem fins lucrativos, possuindo atualmente 378 associados inscritos, a maioria de classe de renda baixa, preocupada em fortalecer o movimento de deficientes visuais e, assim, buscar ações para a melhoria de vida de seus associados. E também da Coordenação de Mecânica do Instituto federal do Pará (IFPA), através do projeto de pesquisa de fabricação de ponteiras de bengala de deficientes visuais e da tecnologia da impressora 3D.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação está estruturada em seis capítulos: (i) introdução; (ii) revisão bibliográfica; (iv) metodologia; (v) resultados; e (vi)conclusões. A Figura 1 ilustra aestrutura para realização da pesquisa com o foco em realizar uma pesquisa a fim de apresentar a seleção do material ideal para a ponteira de bengala desmontáveis de deficientes visuais através da ferramenta multicritério TOPSIS.

Figura 1.Estrutura da Dissertação



Fonte: autor (2018)

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 TECNOLOGIA ASSISTIVA

O tema proposto deste trabalho retrata um assunto relevante dos dias atuais, a inclusão social de pessoas com deficiência. Hoje, temos uma sociedade mais adepta à diversidade, que questiona seus mecanismos de segregação e vislumbra novos caminhos de inserção social da pessoa com deficiência. Por isso, se tem fomentado muitas formas de incentivo a tecnologia assistiva, sendo um exemplo disso, a chamada para apoio ao desenvolvimento de tecnologias assistivas da Fundação Amazônia de amparo a Estudos e pesquisas (FAPESPA), com edital para projetos, aberto no mês de dezembro de 2017, com o apoio de recursos do Governo Estado do Pará no valor de um milhão de reais.

Para Galvão Filho (2009), a Tecnologia Assistiva é uma expressão nova, que se refere a um conceito ainda em processo de construção e sistematização. A utilização de recursos de Tecnologia Assistiva, entretanto, retoma aos primórdios da história da humanidade ou até mesmo da pré-história. Qualquer pedaço de pau utilizado como uma bengala improvisada, por exemplo, caracteriza o uso de um recurso de Tecnologia Assistiva.

A expressão Tecnologia Assistiva surge pela primeira vez em 1988, dentro da legislação norte-americana, compondo o chamado, "*American with Disabilities Act (ADA)*" que regula os direitos dos cidadãos com deficiência nos EUA, além de prover a base legal dos fundos públicos para compra dos recursos que estes necessitam. Houve a necessidade de regulamentação legal deste tipo de tecnologia, a TA, e, a partir desta definição e do suporte legal, a população norte-americana, de pessoas com deficiência, passa a ter garantido pelo seu governo o benefício de serviços especializados e o acesso a todo o arsenal de recursos que necessitam e que venham favorecer uma vida mais independente, produtiva e incluída no contexto social geral. (BERSCH, 2005).

No Brasil, o processo de apropriação e sistematização do conceito e classificação de Tecnologia Assistiva é ainda mais incipiente e recente. A expressão "Tecnologia Assistiva" com frequência é utilizada na língua portuguesa ao lado das expressões "Ajudas Técnicas" e "Tecnologia de Apoio", na maioria das vezes como sinônimos, em outras, apontando diferenças no sentido de cada uma delas. O termo,

conforme ainda consta nos decretos 3.298/1999 e 5.296/2004, e nas leis 10.048/2000 e 10.098/2000. O termo se refere segundo Galvão (2009), apenas a dispositivos, produtos e recursos que visavam atender pessoas com deficiência. Uma visão baseada no modelo médico, que considera estritamente as condições de saúde do indivíduo (LUGLI et al., 2009).

Além dessas ideias relacionadas à expressão “Ajudas Técnicas”, situadas na legislação brasileira, encontramos com mais frequência, em nosso país, a expressão “Tecnologia Assistiva”, principalmente no meio acadêmico, em cursos e disciplinas do ensino superior, tanto na graduação como na pós-graduação, e em documentos e iniciativas de órgãos públicos. Por exemplo, o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) realizou, em 2005, uma chamada pública de projetos de pesquisa e desenvolvimento em Tecnologia Assistiva, a serem apoiados financeiramente através de sua Financiadora de Estudos e Projetos, FINEP. Também pelo MCT, foi lançado, em março de 2006, o Portal Nacional de Tecnologia Assistiva, numa parceria com o Instituto de Tecnologia Social – ITS Brasil, de São Paulo.

O Comitê de Ajudas Técnicas aprovou por unanimidade, em sua Reunião VII, de dezembro de 2007, a adoção da seguinte formulação para o conceito de Tecnologia Assistiva:

É uma área do conhecimento, de característica interdisciplinar, que engloba produtos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços que objetivam promover a funcionalidade, relacionada à atividade e participação de pessoas com deficiência, incapacidades ou mobilidade reduzida, visando sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social (GALVÃO FILHO et al., 2009).

São conhecidas também como tecnologias habilitadoras, que podem ser uma área de conhecimento, um setor tecnológico, um âmbito mercadológico e um campo de políticas públicas que se orientam à busca de soluções no campo da acessibilidade integral, tendo como usuário um público universal, mas que, especificamente, se dirige principalmente para as pessoas com deficiência, mobilidade reduzida e pessoas idosas” (GARCIA et al., 2013)

2.2 DEFICIÊNCIA VISUAL

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) descreveu a prevalência dos diferentes tipos de deficiência, no censo de 2010. Segundo os dados, 23,9% da população residente no país autodeclararam ter pelo menos uma das

deficiências investigadas: visual, auditiva, motora e mental ou intelectual. A deficiência visual apresentou a maior ocorrência (18,6%), seguida da deficiência motora (7%), da deficiência auditiva (5,10%) e da deficiência mental ou intelectual (1,40%) (BORTMAN *et al.*, 2015).

Segundo a classificação Internacional de Doenças (CID-10, atualizada e revisada em 2011 pela Organização Mundial de Saúde – OMS), a função visual é dividida em quatro níveis: visão normal, deficiência visual moderada, deficiência visual severa e cegueira (SANTOS, 2012).

Para Lugli *et al.* (2016), existem diferentes graus de visão que podem variar entre a “visão perfeita”, a “visão subnormal ou de baixa visão” e a “cegueira”.

A segunda categoria se refere a uma redução significativa da capacidade visual, em que são utilizados técnicas e auxílios óticos para trabalhar o resíduo visual da baixa visão, como, por exemplo, as lupas (GIL, 2000).

Domingues *et al.* (2010), especificam que a baixa visão pode ser causada por doenças, traumas ou disfunções que dificultam ver de longe ou perto, reduzem o campo visual, alteram a identificação do contraste e a percepção das cores. Trata-se de um comprometimento do funcionamento visual, em ambos os olhos, que não pode ser sanado, por exemplo, com o uso de óculos convencionais, lentes de contato ou cirurgias oftalmológicas.

Já a cegueira pode ser congênita, desde o nascimento, ou adquirida, também por doenças, acidentes ou disfunções. Domingues *et al.* (2010) descrevem que “a ausência da visão manifestada durante os primeiros anos de vida é considerada cegueira congênita, enquanto a perda da visão de forma imprevista ou repentina é conhecida como adquirida ou adventícia”. Para Gil (2000), a diferença entre elas é que o indivíduo que nasce com o sentido da visão e depois o perde, ainda conserva memórias visuais. A pessoa que nasce sem a visão, jamais poderá formar lembranças visuais.

Segundo relatos de deficientes visuais, uma das suas principais fontes de independência está associada a locomoção, a qual depende fortemente dos elementos de suporte, como as bengalas.

2.3ACESSIBILIDADE

As sociedades modernas vivem em um mundo adaptado somente para aqueles que enxergam, por isso, andar em lugares desconhecidos, repletos de obstáculos potenciais, representa um risco para os deficientes visuais. Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), um povo só é considerado desenvolvido quando a sociedade se preocupa com seus cidadãos. Conforme dados da OMS, existem hoje mais de 6 milhões de indivíduos com baixa visão no Brasil, com os quais a população brasileira deve se preocupar. Tem-se muito que fazer para diminuir os impactos da deficiência visual. Uma das formas seria tornar acessíveis instrumentos auxiliares, como a bengala, que facilitem a locomoção independente de deficientes visuais. Por exemplo, o deficiente visual, ao se locomover, leva a bengala à frente do corpo para que ela toque o obstáculo antes de tocar seu corpo; assim, da cintura para cima não existe nenhuma proteção (ALVES, 2014).

2.4 BENGALAS PARA DEFICIENTES VISUAIS

A bengala é um instrumento básico de locomoção que garante à pessoa com deficiência visual o direito de ir e vir com segurança ao caminhar, executar tarefas com autonomia e a preservar a privacidade, por possibilitar deslocamento sem a necessidade de um acompanhante (CERQUEIRA, 2011).

Hoffmann e Seewald(2003) acrescentam que o movimento desencadeia benefícios que vão além dos físicos, estéticos ou motores. Segundo os autores, no movimento são desenvolvidos e assimilados o raciocínio, a afetividade, emoções, postura social e ética. Também ressaltam que o uso da bengala estimula o intelecto da pessoa, pois a obriga a raciocinar sobre a forma de resolução dos problemas que possam ocorrer durante seus deslocamentos.

As bengalas normalmente são fabricadas em alumínio, fibra de vidro e de fibra de carbono. Estas primeiras são leves e confortáveis, porém com tempo de vida reduzido, em decorrência da relativa fragilidade do material frente a impactos, causando deformações nas mesmas, já as de fibra de carbono são mais resistentes, porém de valor bem mais elevado, se em comparação as fabricadas em alumínio.

Existem também outros tipos de bengalas, as eletrônicas, que utilizam tecnologias, como micros controladores, sensores e ultrassons para auxiliar os deficientes visuais. Santos (2012), exemplifica 3 modelos, a bengala viva voz, que guia o deficiente através de um GPS (global PositioningSystem) e comando de voz, a eletrônica de baixo custo, através de dois sensores que avisam os obstáculos e a

bengala inteligente que traça rota e identifica placas que possuem códigos QR (*Quick Response*).

As principais dificuldades encontradas por um deficiente visual durante sua locomoção independente podem ser minimizadas com o uso de uma bengala mais adaptada, melhorando a sua qualidade de vida. Assim, pode ser possível identificar objetos ou obstáculos no percurso, ou nas imediações, de forma mais eficiente, evitando possíveis colisões e aumentando a agilidade durante a locomoção (ALVES, 2014, p.1).

2.5PONTEIRA DA BENGALA

De acordo com entrevista concedida pelo presidente da ASCEPA (2018), a bengala é um instrumento muito importante para o deficiente visual, considera - as os "olhos do cego", pois diminui o impacto da deficiência, auxiliando na independência motora.

A bengala serve para que a pessoa "perceba" os obstáculos que estão à sua volta. Existem muitos modelos de bengalas, entre elas a mais comum é a dobrável.

A bengala dobrável é dividida nas seguintes partes: Luva, Gomos, Ponteira e o elástico, como podem ser verificados na Figura 2. A luva serve para a pessoa segurar a bengala. Os gomos constituem o corpo da bengala. Eles são unidos por meio de um elástico. O elástico fica preso na luva e na ponteira. A ponteira é a parte que fica em contato com o chão. Quando a bengala não está em uso, basta ir puxando os gomos, que ela se dobra. Quando vai usar, basta soltar que ela se abre rapidamente (REMUS, 2008).

Figura 2. Bengala Desdobrável para deficientes visuais



Fonte: autor(2018)

Outro ponto importante relatado é sobre o seu material, as partes mais frágeis das bengalas desmontáveis, são o elástico e a ponteira. Sua durabilidade varia de acordo com a usabilidade, mas existem casos em que o tempo útil varia entre 3 a 6 meses.

Há relatos de associados que utilizam a tampa de plástico de garrafa de champanhe para a substituição da ponteira danificada, como forma de prolongamento da funcionalidade da bengala.

Segundo pesquisas na internet as bengalas apresentam as ponteiras em diversos materiais, entre os principais estão o nylon, plástico e a borracha.

A escolha do material da ponteira deverá apresentar diversas características, entre elas, boa resistência, maior durabilidade, conforto, segurança e impacto sonoro, que é de fundamental importância para repercussão do som do piso tateado e identificação do mesmo, se é úmido, fofa, areosa, lisa, etc.

2.6 PRINCIPAIS CONCEITOS DE MATERIAIS COMPÓSITOS

O material proposto a ser desenvolvido é classificado de acordo com a área de engenharia de materiais como um material compósito polimérico, que será conceituado e classificado para um melhor entendimento do trabalho.

2.6.1 Definição

Segundo Marinucci (2011) é um material que apresenta dois ou mais constituintes quimicamente diferentes que na escala macroscópica apresenta uma interface bem definida separando esses elementos constituintes, apresentando quase sempre melhores propriedades que a de seus elementos separadamente.

Lima Junior (2007) considera que “um material compósito é um sistema composto de materiais resultante de uma mistura ou combinação de dois ou mais macroconstituintes diferentes em forma e/ou composição e que são essencialmente insolúveis entre si”. Jastrzebski(1987) conceitua de uma forma bem sucinta, “materiais compósitos são aqueles constituídos de pelo menos dois diferentes tipos de materiais de tal forma a assegurar as propriedades ótimas (do material formado)”. Da mesma forma, bem generalizada, Callister (2000) considera materiais compósitos como sendo “qualquer material multifásico que exiba uma proporção significativa das propriedades de ambas as fases que o constituem, de tal modo que é obtida uma melhor combinação de propriedades”.

2.6.2 Os sistemas compósitos e suas propriedades

Para um melhor entendimento do que consiste um material compósito, em termos de funcionamento do seu desempenho mecânico, é preciso que se entenda este novo material como um sistema. O sistema compósito funciona de acordo com a combinação das propriedades da matriz e do material de reforço.

As propriedades dos materiais compósitos são fortemente influenciadas pelos seus materiais constituintes, suas concentrações e distribuições e por todas as interações por estes geradas dentro do sistema. As propriedades do material compósito podem ser uma relação matemática de percentuais das propriedades dos materiais constituintes, ou estes materiais constituintes podem interagir de forma sinérgica tal que proporcione propriedades no sistema compósito, não estimáveis numericamente considerando simplesmente os volumes percentuais dos materiais constituintes (LIMA JUNIOR, 2007).

É importante salientar que as propriedades dos compósitos estão diretamente ligadas às propriedades dos elementos constituintes do material, tais como propriedades da fibra e da matriz, concentração ou frações volumétricas, interface e adesão fibra/matriz, disposição das camadas e orientação, bem como pela geometria do filamento, tal como forma e tamanho (MARINUCCI, 2011).

Segundo Marinucci (2011) a orientação do reforço influencia diretamente a isotropia do sistema compósito, por exemplo, se o reforço está na forma de partículas, com todas as dimensões aproximadamente iguais, o material compósito comporta-se essencialmente como um material isotrópico, ou seja, suas propriedades mecânicas e térmicas são as mesmas em todas as direções. Quando as dimensões do reforço são desiguais, o material compósito pode ainda se comportar como um material isotrópico, desde que o reforço possa ser disposto aleatoriamente, como por exemplo, o caso de compósitos reforçados com fibras curtas. Dependendo do processo de fabricação (por exemplo, porextrusão) é possível induzir a orientação do reforço gerando anisotropia, as quais as propriedades mecânicas dependem das disposições das fibras.

Em compósitos reforçados com fibras contínuas, por exemplo, como compósitos unidirecionais ou laminares, a anisotropia pode ser desejada e obtida através da escolha do processo de fabricação adequado. A distribuição da concentração das partículas ou fibras refere-se às suas relações espaciais, umas em relação às outras.

A facilidade de se manipular as propriedades dos materiais compósitos juntamente com o potencial de industrialização fazem com que estes materiais sejam muito importantes para o desenvolvimento da humanidade, somando-se ainda ao caráter financeiro e possibilidade de utilização de materiais ecologicamente corretos, a fim de minimizar os impactos ambientais, como materiais naturais. Estes últimos podem vir a ser os materiais que irão ditar o rumo da evolução dos materiais compósitos.

Para fabricação de compósitos estruturais, as matrizes mais comumente utilizadas são as poliméricas termofixas ou termorrígidas, geralmente são líquidas e que após reação tornam-se infusíveis, como as resinas epóxi, poliéster, fenólica e viniléster. Componentes que necessitam de grande escala de produção e requisitos de resistência inferiores utilizam, em geral, os polímeros termoplásticos, que fundem-se e solidificam várias vezes.

2.6.3 Classificação e principais tipos de materiais compósitos

Ainda não há uma classificação universal oficial dos materiais compósitos. Existem vertentes acadêmicas que agrupam os compósitos de acordo com sua forma, processo, tipo de matriz, tipo de reforço, entre vários outros critérios. O que faz com que se tenha uma considerável variedade de classes distintas entre si.

Segundo Gil (2000) os materiais compósitos podem ser classificados de acordo com o constituinte da matriz em: compósitos de matriz polimérica (CMP); compósitos de matriz metálica (CMM); e, compósitos de matriz cerâmica (CMC). Onde os CMP são interessantes por sua leveza e baixo custo, os CMM por suas propriedades mecânicas e os CMC por sua resistência a altas temperaturas e resistência ao desgaste. Ou ainda os materiais compósitos podem ser classificados segundo a natureza e disposição do reforço (geralmente fibras, escamas ou partículas) no interior da matriz em: compósitos fibrosos, compósitos particulados, compósitos escamados e compósitos laminares. Ou ainda, a classificação pode se dar quanto à forma do reforço, que se apresenta como partículas, whiskers e fibras contínuas ou descontínuas, lâminas e escamas. Designando-se assim os materiais compósitos em: compósitos fibrosos, compósitos particulados, compósitos escamados e compósitos laminares.

Segundo Marinucci (2011), nos materiais compósitos, a resistência é bastante influenciada pela geometria e orientação do reforço, podem ser formados por elementos de reforço particulados, fibrados ou fibra /metal. Os compósitos particulados podem ser esféricos, cúbicos, tetragonais ou de qualquer outra forma regular ou irregular, mas quase sempre aquixiais. Já os fibrados têm a fibra como elemento de reforço, a qual apresenta como características o fato de possuir um comprimento muito maior que as dimensões da seção transversal. Requisitos de camadas isotrópicas levaram à construção de laminados fibra/metal, que associa as vantagens dos materiais metálicos e dos materiais compósitos.

2.6.4 Compósitos reforçados com partículas

Os compósitos reforçados com partículas apresentam, em sua maioria, uma fase particulada mais dura e mais rígida do que a matriz. As partículas de reforço tendem a restringir o movimento da fase matriz na vizinhança de cada partícula. Essencialmente a matriz transfere parte da tensão aplicada às partículas, as quais suportam uma fração de carga. O grau de reforço ou melhoria do comportamento mecânico depende de uma ligação forte na interface matriz-partícula. Para que ocorra um reforço eficaz, as partículas devem estar distribuídas uniformemente ao longo da matriz e frações volumétricas das duas fases, matriz e partículas, são fundamentais para a determinação do comportamento mecânico (CALLISTER, 2002).

2.7 MATRIZES POLIMÉRICAS

2.7.1 Polímeros

A palavra polímero se origina do grego e significa “poli” de muitos e “mero” de partes ou unidades repetidas. Desse modo, o polímero é formado pela união de pequenas moléculas, os monômeros, produzindo outras bem maiores que são chamadas de macromoléculas (MARINUCCI, 2011).

Existem vários critérios para classificar os polímeros. Um desses está relacionado à sua utilização. Uma classificação mais técnica estabelece que, dependendo do tipo monômetro (estrutura química), do número médio de metros por cadeia e do tipo de ligação covalente, pode-se dividir os polímeros em três grandes classes: plástico, elastômeros e fibras (MARINUCCI, 2011).

2.7.2 Resinas

A denominação matriz polimérica advém do material formado pela mistura em proporções adequadas de resinas e agente de cura que, quando convenientemente curados (polimerizado), forma um material sólido que apresenta boas propriedades mecânicas e excelente resistência química.

A matriz polimérica reunida com as fibras e outros elementos constituem os materiais compósitos poliméricos. As resinas mais utilizadas para fabricação de compósitos são as resinas poliéster, epóxi e viniléster (MARINUCCI, 2011).

Neste trabalho será empregada a resina poliéster e a resina epóxi para a incorporação da borracha de pneu como reforço para as avaliações mecânicas e físicas do compósito polimérico.

2.7.3 Resina poliéster insaturado

São as resinas de maior utilização na produção de compósitos poliméricos termofixos por aliarem características de desempenho e custo. Apresentam boas propriedades mecânicas e físicas e são disponíveis numa ampla variedade de formulações para atender requisitos específicos para fabricação de compósitos.

Como há um grande número de ácidos e glicóis disponíveis, há possibilidade de se obter um grande número de variações de resinas. Entretanto, fatores como custo de matéria-prima e facilidade de processamento, reduzem esse número. Por outro lado, se fossem empregados apenas biácidos insaturados na fabricação de resinas de poliéster, o espaçamento entre duplas ligações seria curto, resultando em um material frágil e quebradiço. Sendo assim, é necessário que a formulação básica do poliéster tenha em sua composição biácidos saturados que atuam como extensores de cadeia. Quanto maior a quantidade e quanto maior a proporção de ácido saturado, mais tenaz será a resina de poliéster após polimerizada, e menor encolhimento na cura será observado. Os ácidos saturados mais utilizados na síntese de resinas de poliéster são o ácido ortoftálico (na forma de anidrido) e seu isômero, ácido isoftálico (LEVY NETO e PARDINI, 2006).

2.7.4 Resina epóxi

As possibilidades de formulações utilizando resina epóxi se ampliam consideravelmente devido a ampla oferta desse tipo de resina, que aliada a extensa lista de endurecedores e aceleradores, permitem atender aplicações de elevados requisitos técnicos, como na fabricação de compósitos, adesivos estruturais,

encapsulamento de motores elétricos, sistemas para fabricação de modelos e moldes, participando também como um importante componente na fabricação de tintas automotivas.

As resinas epóxi podem ser curadas com vários endurecedores e aceleradores, com uso ou não de calor, resultando em polímeros termofixos com elevado teor de ligações cruzadas, que propiciam ao material boas propriedades mecânicas, elevada temperatura de distorção térmica e transição vítreia, resistência ao envelhecimento pelo calor e ótima resistência química. Talvez sua maior desvantagem seja ainda o preço, que a impede de competir com as resinas poliéster e viniléster.

Possui alta resistência química, à corrosão, dureza e flexibilidade, bom comportamento mecânico e elétrico, e notável adesão à maioria dos substratos. Uma ampla variedade de produtos pode ser obtida variando-se as propriedades na cura, na seleção dos monômeros, aditivos e agentes de cura.

2.8 RESÍDUO DE BORRACHA DE PNEU COMO REFORÇO DO COMPÓSITO POLIMÉRICO

Segundo pesquisas, há experimentações de compósitos com resíduo de borracha de pneus em diversas matrizes, como em polímeros termoplásticos, além de sua interação também com o gesso, argila, concreto, asfalto entre outros, estes últimos utilizados para aplicações na área da construção civil.

As borrachas têm sido usadas para propósitos de controle de energia. Elas vão das mais simples como bandas elásticas, para-choques e equipamentos esportivos, às mais complexas como sistemas de suspensão de carros. A borracha é também avaliada por seu controle de vibração. Ela é extensivamente usada em acoplamentos flexíveis. Todas as borrachas podem ser usadas para controle de energia e podem ser compostas para variar sua resiliência fundamental para os requerimentos exatos do projetista (REGIS, 2011).

A opção pela utilização de resíduos de pneu inservíveis no material da ponteira foi inicialmente proposta pela ASCEPA. Posteriormente, despertou-se a ideia pela reciclagem do material, pois sabemos que, atualmente, o descarte ilegal de pneus tem causado diversos impactos na sociedade e ao meio ambiente, além dos variados aspectos vantajosos que o processo poderá desenvolver.

Como a ponteira da bengala é um material frágil que apresenta pouca resistência, a utilização da borracha de pneu agregado ao compósito de resina teria um bom resultado para a ponteira, visto que a aplicação desse material em diversas matrizes temacarretado um bom resultado mecânico de controle de energia, como almejado nesse projeto. Como exemplo, Rodrigues e Ferreira (2010) a utiliza em uma aplicação em elementos construtivos, como recobrimento de superfícies, onde se faz necessária a absorção e o amortecimento de energia (impacto), além da atenuação de ruídos.

A inserção da borracha na ponteira pode apresentar melhores resultados mecânicos que os materiais disponíveis no mercado, como são os casos do nylon e do plástico, devido suas propriedades identificadas em outras aplicações.

Para Florios (2016), o granulado da borracha do pneu pode ser combinado com resina de poliuretano ou com outros polímeros termoplásticos apresentando boas aplicabilidades, como exemplo: em asfaltos modificados, a adição de borracha no asfalto permite realizar ruas e estradas caracterizadas por uma elevada durabilidade, baixo ruído e aderência de travagem; em superfícies esportivas, a propriedade drenante do material, combinada com a capacidade elástica para absorver impactos fazem o grânulo deste tipo de borracha particularmente adequado para tais utilizações; materiais para isolamento de sons, o material obtido com a reciclagem de pneus é comumente usado para produzir painéis isolantes de som, tapetes anti-derrapantes, membranas impermeabilizantes, materiais anti-vibração e anti-sísmicos, particularmente apreciados pelas propriedades elásticas do material, o que garante proteção de segurança; na engenharia civil, a borracha do pneu decomposta em grãos pode ser utilizada no lugar de outros materiais para a construção de pontes, viadutos e bacias de retenção de água da chuva para que fiquem mais leves. As propriedades de drenagem, anti-mofo, anti-vibração, isolamento térmico e baixo peso são específicas dos materiais derivados do reciclo de pneumáticos e faz com este tipo de aplicação seja particularmente vantajosa.

Santos (2005) estudou o comportamento do concreto com adição de fibras de borracha produzidas na recauchutagem do pneu, aplicando em placas pré-moldadas, a bibliografia revelou que ocorre uma diminuição da resistência à compressão do concreto, por outro lado, ocorre o aumento da tenacidade e da resistência ao impacto. Essa característica mostra mais um ponto positivo para a

utilização da borracha na ponteira visando alta resistência ao impacto e a tenacidade, devido aos choques na utilização da bengala.

A reciclagem de pneus ainda não é regulamentada e não há incentivos fiscais para quem desejar adotar esta prática, por isso, há um grande número descartado indevidamente, em lixões, beira de estradas, rios, quintais, entre outros, acarretando outro problema na saúde pública, já que quando abandonados ou armazenados indevidamente à espera de destinação final tendem a acumular água no seu interior e representam um criadouro potencial do mosquito *Aedes Aegypti*, cujas larvas proliferam sob água parada.

Com a publicação no Diário Oficial de 02 de Dezembro de 1999, da Resolução nº 258, de 26 de Agosto de 1999 do CONAMA, ficou regulamentado que, a indústria fabricante de pneu seria obrigada a dar uma destinação final ambientalmente correta aos pneus inservíveis.

De acordo com pesquisa feita pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), entre os anos de 2002 e 2011, o destino inadequado de pneus foi de 2,1 milhões de toneladas. Nessa época, os importadores de pneus novos cumpriram 97,03% das metas, os fabricantes, 47,3% e, os importadores de usados, 12,92%. (GONÇALVES, 2012).

Para efeito de disposição final, os pneus são classificados como resíduos inertes, não havendo impedimento à sua destinação em aterros sanitários, desde que observadas às técnicas adequadas de manejo. Porém, a degradação dos resíduos de borracha pode durar até 250 anos, segundo estimativas, acarretando um grande prejuízo ao meio ambiente. (ROSA et al., 2007).

Com isso, outro fator a ser considerado é a emissão de alguns poluentes à atmosfera gerada durante a queima de pneus, outra prática de destinação final ambientalmente incorreta que poderá ser minimizada após a inserção do método alternativo no mercado.

De acordo com essas considerações, a aplicação desse estudo pode apresentar grandes vantagens para o meio ambiente:

- Reduzir um RESÍDUO que se encontra na natureza causando problemas na saúde e no ambiente;
- Otimizar a vida útil dos aterros sanitários, já que a degradação dos resíduos de borracha pode durar até 250 anos;

- Reduzir a emissão atmosférica de alguns poluentes que são gerados durante a queima de pneus;
- Reduzir riscos à saúde pública.

2.9 ANÁLISE MULTICRITÉRIO DE TOMADA DE DECISÃO

A seleção de materiais é uma atividade importante no projeto de produtos. A escolha do material adequado para uma determinada aplicação é uma tarefa complexa, pois de um lado envolve ampla gama de materiais e de suas diversas propriedades, bem como dos diversos métodos de produção associados. Kutz (2002) estima que há mais de 80.000 materiais disponíveis atualmente entre ligas metálicas, cerâmicas, plásticos, vidro, compósitos e semi-condutores, e de outro lado, há fortes pressões mercadológicas que incluem intensa competição, expectativas do consumidor e rápida mudança tecnológica (WALLANCE e BURGUESS, 1995). Mais recentemente, com o reconhecimento da importância da sustentabilidade para o desenvolvimento mundial (BRUNDTLAND 1987), foram adicionadas exigências relacionadas com impactos ambientais e sociais que passaram a ser considerados importantes na seleção de materiais (HOLLOWAY 1998).

Tomar decisões complexas é, de modo geral, uma tarefa difícil de ser realizada individualmente ou por grupos de indivíduos, pois envolve atividades e pensamentos conflitantes em geral, porém são fundamentais para o contexto organizacional das empresas. A tomada de decisão, na maioria dos casos está inserida em um cenário dinâmico e de alta complexidade, pois envolve diversos fatores como: diferentes pontos de vistas, a presença de inúmeras informações e múltiplos objetivos, dados que podem ser incompletos e/ou imprecisos (ALMEIDA *et al.*, 2014; GOMES e GOMES 2014). Além disso, os problemas de decisão envolvem diversos atores, cada um deles com o seu sistema de valor e objetivos que algumas vezes representam interesses individuais. Portanto, a tomada de decisão, exige dos seus decisores julgamentos que possibilitem encontrar uma ou mais alternativas cada uma adequada a cada contexto (ARAÚJO e ALMEIDA, 2009; GOMES e COSTA, 2013).

As decisões, normalmente, buscarão maximizar ganhos, minimizar perdas e criar uma situação de análise, em que comparativamente o decisor possa identificar e julgar se houve ganho entre o estado do problema anterior e o estado em que irá

encontrar-se após implementar a decisão (GOMES e GOMES 2014). Sendo assim, existem múltiplos critérios que devem ser considerados na tomada de decisão. O processo decisório não deve ser realizado de maneira intuitiva, e sim estar apoiado em métodos multicritério como instrumento de apoio a tomada de decisão, pois permitem a flexibilidade e podem considerar dados tanto quantitativos quanto qualitativos para o processo de tomada de decisão (FARIAS *et al.*, 2013; TROJAN, 2012).

Nesse sentido, os métodos multicritérios são ferramentas valiosas que podem auxiliar o engenheiro de materiais, em sua busca das melhores soluções para as aplicações num ambiente de alta tecnologia em que precisa atender a atributos técnicos, ambientais, mercadológicos e sociais.

Tavares (2015) classifica as formas de decisão em quatro grandes grupos, que podem ser representados esquematicamente na forma de uma pirâmide, conforme apresentado na Figura 3. No topo da pirâmide está a forma mais acurada, complexa e onerosa, e a menos empregada. Na base da pirâmide, está a mais empregada, indicada para decisões menos importantes, a intuição.

Figura 3. Grupos de formas de decisão



Fonte:TAVARES (2015)

O julgamento intuitivo constitui a forma de decisão menos precisa, por apresentar dois tipos de falhas: a inconsistência randômica e a distorção sistemática. A inconsistência randômica consiste na aplicação de diferentes critérios de decisão em ocasiões diferentes, fato que se deve a falhas de memória, limites mentais, distrações ou fadiga. A distorção sistemática se deve à tendência de dar mais ênfase a algumas informações, em prejuízo das demais, como por exemplo, as informações mais recentes ou as mais fáceis de serem avaliadas.

As regras apresentam-se como formas de decisão mais claras e mais acuradas que o julgamento intuitivo e são fáceis de aplicar. O maior problema desta

forma de decisão é a desconsideração de informações relevantes, tratando todos os fatores como equivalentes.

A importância ponderada permite a análise mais consistente e efetiva dos fatores considerados importantes em uma decisão. Empregando técnicas deste tipo, forçosamente, identificam-se quais fatores são considerados mais ou menos importantes, tornando os julgamentos claros e suscetíveis de avaliação.

A análise do valor consiste em um refinamento das técnicas de ponderação, ao considerar como os vários fatores afetam os objetivos “chaves” e como um aumento na taxa de cada fator agrega valor à decisão. Ou seja, a análise considera a relação existente entre os fatores e os objetivos “chaves” na análise da decisão. Além disso, não se considera, necessariamente, que um dado fator adicione valor a uma taxa constante, como é o caso da importância ponderada.

Para Malczewski (1999), decisões são necessárias quando uma oportunidade ou problema existe, ou quando algo não é o que deveria ser ou, ainda, quando existe uma oportunidade de melhoria ou otimização.

A relevância de uma metodologia de apoio a tomada de decisão multicritério deriva do fato de que na maioria das situações em que se tem que decidir, não existe apenas um objetivo e sim, vários pontos de vista, sendo eles, geralmente conflitantes entre si. Por isso, o processo de decisão, deve ser orientado por uma análise com métodos multicritério para apoiar o decisor na escolha das alternativas. Essa metodologia, por um lado visa auxiliar no processo de escolher, ordenar ou classificar as ações potenciais. Por outro, buscam incorporar múltiplos aspectos nesse processo, ao invés dos métodos monocritérios da pesquisa operacional tradicional (MORAES e ALMEIDA, 2002).

Com origem na Pesquisa Operacional, os métodos de avaliação multicritérios são desenvolvidos com o objetivo em apoiar os decisores na avaliação e escolha em ambientes multicritérios, ou seja, ambientes que envolvem problemas complexos cuja solução passa pela análise de diversos critérios e variáveis distintas (COSTA e DUARTE JUNIOR, 2013).

A Análise Multicritério de Decisão (AMD) consiste no elemento central da análise de decisões, tendo como principal característica a análise das alternativas sob vários pontos de vista ou critérios (COSTA e DUARTE JUNIOR, 2013)

Os problemas de engenharia normalmente envolvem diversos aspectos a serem considerados, como resistência a tração, porosidade, custos, que são por

natureza, objetivos e facilmente mensuráveis e outros, de natureza subjetiva, como a estética ou eficiência, que são qualitativos e mais difíceis de mensurar. Também é comum que, dependendo da situação, a importância desses atributos pode mudar.

Mesmo diante da complexidade do problema que se põe adiante do decisor, a decisão precisa ser realizada, considerando todas as variáveis relevantes e as preferências da melhor maneira a alcançar, a mais adequada a aplicação.

Segundo Gomes e Gomes (2014), os métodos de apoio à decisão são divididos em problemas multiatributo ou multicritério e multiobjetivo:

- Métodos multi-atributo ou multicritério: aplicam-se a problemas com alternativas discretas, isto é, com um número finito e geralmente pequeno de variáveis decisão;
- Métodos multi-objetivo: conhecido como programação multi-objetivo ou otimização vetorial, aplicam-se a problemas que consideram um espaço contínuo de alternativas, isto é, admitem um número infinito de valores.

Além disso, os métodos multi-atributos permitem o avaliador atribuir diferentes pesos priorizando os critérios de sua preferência, e no multi-objeto não permite acontecer.

Outra classificação da família de multicritério é quanto à teoria principal em que se baseia, as escolas americana e francesa são as principais referências. Na Tabela 1 é discriminado diferenças entre elas.

Tabela 1. Diferenças dos métodos de apoio à decisão: Escola Americana e Francesa

Escola Americana – Método de critério único de síntese ou Teoria da utilidade Multicritério		Escola Francesa – Método de ordenação	
Objetivo	Tem como objetivo principal agregar valor às preferências dos decisores em cada critério, suportando, de uma forma quantitativa, a decisão final do decisor.	Objetivo	Tem como objetivo construir uma relação de ordenação que permita a relação de incomparabilidade entre as ações de decisão.
Principais Características	É um método compensatório, o bom desempenho de uma alternativa num critério compensa o mau desempenho num outro critério.	Principais Características	É um método não compensatório.
Principais Características	Permitem definir uma medida de mérito (valor) global para cada alternativa, e a construção de uma função utilidade por meio do cálculo de parâmetros com base em julgamentos de indiferença. Consiste na agregação dos valores obtidos pela avaliação parcial do valor da função utilidade em cada	Principais Características	Permitem a agregação de preferências por meio da ordenação (pelo menos parcialmente) das alternativas em termos relativos, mesmo quando a informação de que dispõe sobre as preferências critério a critério sejam pobres, que possibilitam

	critério para estabelecer o valor global da função.		representar a dominância das alternativas. No entanto, não é possível a indicação do mérito (valor) global de cada alternativa.
Principais Características	Permitem duas formas de comparação de alternativas: preferência e indiferença. Não pressupõem qualquer situação de incomparabilidade.	Principais Características	Permitem quatro formas de comparação de alternativas: preferência sem hesitação, preferência com hesitação, indiferença e incomparabilidade.
Principais Características	Facilita o estabelecimento de hierarquias.	Principais Características	Pressupõem análise paritária e superação.
Principais Características	Pressupõem o axioma de transitividade para a relação de preferência.	Principais Características	Não pressupõem o axioma de transitividade.

Fonte: Tavares (2015)

Em termos gerais, Hwang e Yoon (1981) explicam que os MCDM (*Multiple-criteria decision making*) envolvem as seguintes etapas:

- (i) determinação das alternativas a disposição do tomador de decisão e os atributos;
- (ii) determinação dos atributos, também denominados critérios ou objetivos, que são as características que descrevem as qualidades das alternativas;
- (iii) atribuição dos pesos aos atributos;
- iv) cálculos de pontuação, esses realizados por um modelo escolhido conforme as peculiaridades do problema; e
- (v) ordenação das alternativas.

Neste trabalho, será apresentado o método de apoio multicritério à decisão discreto considerando atributos técnicos, custos, conforto, durabilidade e impacto social, para a seleção do melhor material para a ponteira da bengala desmontável (a de resina poliéster ou resina epóxi e borracha de pneu, a de ABS feito por prototipagem 3D ou a convencional) visando a solução dos problemas enfrentados pelos deficientes de nossa região.

2.10 A Ferramenta TOPSIS

O método TOPSIS foi desenvolvido por Hwang e Yoon (1981) e consiste em uma técnica de tomada de decisão bastante usada para avaliar o desempenho das alternativas através da similaridade com a solução ideal. De acordo com essa técnica, a melhor alternativa seria aquela que é a mais próxima da solução ideal positiva e a mais distante da solução ideal negativa. A solução ideal positiva é uma solução que maximiza os critérios de benefício e minimiza os critérios decusto; já a solução ideal negativa maximiza os critérios de custo e minimiza os critérios de

benefício. Logo, a solução ideal positiva é composta de todos os melhores valores atingíveis dos critérios de benefício; já a solução ideal negativa consiste em todos os piores valores atingíveis dos critérios de custo (GOMES e GOMES, 2012).

A Ferramenta é caracterizada por sua simplicidade no seu desenvolvimento e possibilidade de sua formulação ser totalmente desenvolvida em planilhas eletrônicas, não exigindo a utilização ou licença de um software de difícil acesso. Pode ser encontrada referências que utilizam duas ou mais técnicas do Apoio Multicritério de decisão (AMD) como formas comparativas e também como Souza *et al.* (2016) que utiliza o método híbrido compostos pelas técnicas americanas TOPSIS e AHP, como modelo decisório para ordenação e priorização de portfólio de projetos por comitê de governança de TI.

Nos últimos anos, o TOPSIS vem sendo aplicado para problemas de tomada de decisão em diversas áreas no Brasil, dentre eles problemas de seleção de fornecedores, tecnologias, processos, projetos e materiais, como único método de avaliação e também comparados com outros métodos no mesmo trabalho, como podemos observar nos estudos apresentados na tabela 2.

Tabela 2. Trabalhos com a ferramenta TOPSIS

TÍTULO	AUTOR	ANO	MODELO	APLICAÇÃO	INTEGRAÇÃO
topsis multiple-criteria decision support analysis for material selection of metallic bipolar plates for polymer electrolyte fuel cell	shanian, a.; savadogo, o.	2006	Topsis	seleção de materiais para placas metálicas bipolares destinadas a células de combustíveis poliméricas	entropia
avaliação do grau de evidenciação dos impactos ambientais em relatórios de sustentabilidade e relatórios anuais de empresas brasileiras	larissadegenhart, fabricia silva da rosa, nelson hein	2016	Topsis	avaliar o grau de evidenciação dos impactos ambientais nos relatórios de sustentabilidade e relatórios anuais das empresas brasileiras listadas no ibrx-100 da bm&fbovespa	entropia

uma metodologia para a pré-seleção de ações utilizando o método multicritério topsis	leandro santos da costa, antonio marcos duartejunior	2013	Topsis	pré-seleção de ativos visando a redução de um universo de análise de ações amplo para um subconjunto dentro do qual estudos detalhados poderão ser realizados visando determinar a atratividade do investimento	atribuição direta de peso ou pontuação direta (direct rating)	
TÍTULO	AUTOR	ANO	MODELO	APLICAÇÃO	INTEGRAÇÃO	
avaliação de seleção de tecnologias de geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis	guilherme de andrademartins	2017	topsisahp	propor um modelo de avaliação e seleção de tecnologia para a geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis	fuzzyahp	
dois exemplos da aplicação da técnica topsis para tomada de decisão	renato krohling, &tallest.m. de souza	a.	2011	Topsis	avaliar as melhores alternativas de contenção em caso de acidentes com derramamento de óleo no mar e em seguida para seleção das melhores alternativas ao avaliar um imóvel para alugar	entropia
aplicação do método fuzzy-topsis no apoio à seleção de fornecedores “verdes”	guilhermedonatto amaro, francisco rodrigues lima junior	2015	fuzzy - tosis	aplicar um método denominado fuzzy-topsis (technique for orderofpreferencebysimilarity to ideal solution) em uma situação de seleção de fornecedores “verdes”	fuzzy	

Fonte: Autor (2018)

O TOPSIS é um método apropriado para resolver um problema de seleção de material, pois apresenta as seguintes características (SHANIAN e SAVADOGO, 2006):

- Permite a inclusão de uma gama ilimitada de propriedades do material e atributos de desempenho.
- No contexto da seleção de material, o efeito de cada atributo não pode ser considerado sozinho e sempre deve ser visto como um trade-off em relação a outros atributos. Qualquer alteração em alguma medida de desempenho, por exemplo, desempenho térmico, mecânico, elétrico e eletroquímico podem

alterar as prioridades de decisão para outros parâmetros. Permite trocas e interações explícitas entre os atributos. Mais precisamente, as mudanças em um atributo podem ser compensadas de maneira direta ou inversa por outros atributos.

- O resultado pode ser um ranking preferencial das alternativas com um valor numérico que proporciona uma melhor compreensão das diferenças e semelhanças entre as alternativas, diferentes de alguma técnicas que apenas determinam a classificação de cada material.
- São evitadas comparações em pares, como ocorre no processo de Hierarquia Analítica (AHP), isto é particularmente útil quando se trata de um grande número de alternativas e critérios; os métodos são completamente adequados para ligação com bases de dados informáticas que tratam de seleção de material.
- Pode incluir um conjunto de coeficientes de ponderação para diferentes atributos.
- É relativamente simples e rápido, com um procedimento sistemático.

O método de solução TOPSIS consiste nas seguintes etapas:

1. As medidas de desempenho importante para aplicação devem ser definidas e coletadas das m alternativas, organizando-as numa matriz de decisão conforme Equação 1:

$$A = [x_{ij}]_{m \times n} ; i = 1, \dots, m ; j = 1, \dots, n \quad (1)$$

Em que x_{ij} representam ao desempenho da alternativa i associado ao atributo j .

2. Calculam-se os valores normalizados (r_{ij}) de cada medida de desempenho (x_{ij}) por meio da Equação (2)

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} ; i = 1, \dots, m ; j = 1, \dots, n \quad (2)$$

3. Sendo a importância de cada atributo j descrito por um peso (w_j), calculam-se os valores normalizados e ponderados de desempenho (v_{ij}) com a Equação 3.

$$v_{ij} = w_j r_{ij} ; \sum_{j=1}^n w_j = 1 ; i = 1, \dots, m ; j = 1, \dots, n \quad (3)$$

4. Identificam-se as soluções ideais (A^+) e anti-ideais (A^-) através das equações 4 e 5:

$$A^+ = \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_j^+, \dots, v_n^+\} = \{(\max_i v_{ij} | j \in J_1), (\min_i v_{ij} | j \in J_2) | i = 1, \dots, m\} \quad (4)$$

$$A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_j^-, \dots, v_n^-\} = \{(\min_i v_{ij} \mid j \in J_1), (\max_i v_{ij} \mid j \in J_2) \mid i = 1, \dots, m\} \quad (5)$$

Nas quais J_1 é o conjunto de benefícios e J_2 é o conjunto de atributos de custos ou resultados que se pretende minimizar.

5. As distâncias de cada alternativa das soluções ideais (d_i^+) e das anti-ideais (d_i^-) são calculadas, utilizando-se a distância Euclidiana, conforme Equações 6 e 7:

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_i^+)^2} ; \quad i = 1, \dots, m \quad (6)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_i^-)^2} ; \quad i = 1, \dots, m \quad (7)$$

6. Por fim, calcula-se a medida de proximidade (C_i) de cada alternativa, permitindo a ordenação das alternativas, sendo a com maior pontuação a avaliada como a melhor.

$$C_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad (8)$$

2.10.1 A ponderação dos atributos

Ponderar valores significa fornecer uma estimativa do valor central de um conjunto de dados cujos elementos possuem pesos ou relevâncias diferentes.

O método TOPSIS não indica a maneira como os atributos devem ser ponderados, podendo utilizar até três maneiras de ponderações. A primeira, quando o analista é capaz de determinar diretamente os seus valores relativos. A segunda, quando estudos recorrem à integração com outros métodos com o propósito de apoiar a designação dos pesos, optando por métodos que se baseiam nas preferências expressadas pelos tomadores por meio de comparações pareadas, destacando-se nesse caso o *Analytic Hierarchy Process*(AHP), método proposto por Saaty (1980). Por fim, a terceira situação, quando, na impossibilidade de obter tais preferências, a Entropia da Informação é uma alternativa capaz de extrair objetivamente os pesos conforme a quantidade de informação contida em cada atributo sem necessidade de intervenção do tomador de decisão (CORREA, 2017).

2.11 ESCALAS DE MEDIÇÃO DE ATRIBUTOS E ESCALONAMENTO

Pesquisas de opinião são utilizadas para avaliar um serviço ou produto. Algumas pesquisas utilizam questionários, onde cada respondente, além de avaliar

os itens segundo seu grau de satisfação ou concordância, também atribuem um grau de importância ao item. Com estas duas informações disponíveis para cada item, é possível criar uma medida resumo, na forma de um escore total, composto pela avaliação dos itens ponderada pela sua importância.

Segundo Malhotra (2001) a medição é a atribuição de números ou outros símbolos a características de objetos de acordo com certas regras predefinidas. O aspecto mais importante da medição é a especificação de regras para atribuir números às características. Não se mede o objeto propriamente dito, mas alguma de suas características. Assim, não se medem os consumidores, apenas suas percepções, atitudes, preferências ou outras características importantes.

Há na literatura vários métodos destinados a mensurar importância de atributos (CARVALHO e LEITE, 1998; CRONIN e TAYLOR, 1994; PARASURAMAN, ZEITHAML e BERRY, 1994).

Existem quatro tipos de escalas principais de medição: nominal, ordinal, intervalar e de razão. Posteriormente, será definida a característica de cada escala.

Uma escala nominal é um esquema figurativo de rotulagem em que os números servem apenas como rótulos ou etiquetas para identificar e classificar objetos. Uma escala ordinal é uma escala de graduação em que se atribuem números a objetos para indicar até que ponto possuem determinada características, e se a possuem em maior ou menor grau do que um outro objeto. Em uma escala intervalar, distâncias numericamente iguais na escala representam valores iguais na característica que está sendo avaliada. Uma escala de razão tem todas as propriedades das escalas nominal, ordinal e intervalar e, além disso, um ponto zero absoluto. Permite ao pesquisador identificar ou classificar os objetos, dispô-los em ordem de posto, e comparar intervalos de diferenças(MALHOTRA, 2001).

O escalonamento pode ser considerado uma extensão da medição. Envolve a criação de um conjunto contínuo (continuum) no qual se localizam os objetos medidos. É o processo de colocação dos entrevistados em um conjunto contínuo em relação à sua atitude para com as lojas de departamento (MALHOTRA, 2001).

Para Malhotra (2001), as técnicas de escalonamento comumente empregadas em pesquisa de marketing podem ser classificadas em escalas comparativas e escalas não-comparativas. As escalas comparativas envolvem a comparação direta de objetos, e incluem o escalonamento de soma constante e o tipo Q. Nas escalas não-comparativas, cada objeto é escalonado independentemente dos outros no

conjunto de estímulo, admitindo-se que os dados resultantes sejam escalonados por intervalo ou por razão. A seguir, são apresentadas as principais escalas existentes na literatura.

2.11.1 Principais escalas não comparativas

As escalas de Diferencial Semântico e de Likert, que são as escalas não comparativas mais utilizadas, são apresentadas a seguir.

2.11.1.1 Escala de Diferencial Semântico

Os pontos extremos desta escala são caracterizados por adjetivos antônimos, por exemplo, complicado/simples, fácil/difícil, rápido/devagar e, no caso de interesse deste estudo, importante/ sem importância. Entre eles são disponibilizados pontos intermediários, que podem ou não ter descrição. O respondente assinala o ponto da escala que melhor indica a descrição do objeto analisado naquele atributo. É possível também criar uma divisão da escala em cinco ou sete pontos, caracterizados numericamente e o respondente assinala o número que mais se aproxima da descrição do objeto. Em alguns casos, pede-se ao respondente para marcar, em um segmento de reta de, por exemplo, 10cm, o ponto que indica a melhor descrição do objeto. Para quantificar a avaliação, mede-se a distância em centímetros do ponto assinalado a um dos extremos.

Segundo MALHOTRA (2001), existe controvérsia sobre se os dados devem ser tratados como provenientes de uma escala intervalar. Adicionalmente, por ser não comparativa, esta escala tem a desvantagem de não discriminar muito os atributos em relação à importância, já que o respondente tende a avaliar os atributos de modo semelhante – o chamado efeito halo.

2.11.1.2 Escala de Likert

A escala de Likert é similar à escala de Diferencial Semântico, mas os extremos da escala são “discordo” e “concordo”, isto é, o respondente deve assinalar o ponto da escala de acordo com o nível de concordância com a afirmação feita. No caso do presente estudo, em que se deseja estudar importância de cada item, os extremos da escala poderiam ser caracterizados como “Concordo Totalmente” e “Discordo Totalmente” que o item em questão é importante. Esta escala apresenta os mesmos problemas da escala de Diferencial Semântico, por ser não comparativa.

2.11.2 Principais escalas comparativas

Na escala comparativa, o respondente avalia dois ou mais atributos simultaneamente. Os tipos de escalas comparativas mais comuns na literatura são: comparação por pares, ordenação dos postos (ranking), soma constante e pontos decrescentes.

As escalas comparativas comumente utilizam ordenação (rankings), e na maior parte das vezes o empate, ou a repetição do ranking, não é permitido. Desta forma, o ranking de um determinado atributo depende da presença de outros atributos, e com isto as respostas têm uma estrutura de dependência (SAMARTINI, 2009).

a) Comparação de pares

Nesta técnica, o entrevistado compara um par de atributos por vez, indicando qual dos elementos do par considera mais importante. No resultado das comparações, conta-se quantas vezes cada objeto foi escolhido pelo respondente. Esta técnica tem a desvantagem de ter uma implementação difícil quando o número de atributos é grande. Com 20 atributos, por exemplo, são necessárias 190 comparações. Uma das alternativas é considerar apenas um subconjunto das comparações, mas é recomendável fazer isto de forma balanceada para que todos os atributos sejam comparados o mesmo número de vezes. Para mensurar a importância, pode-se calcular o número de vezes que cada atributo foi escolhido e divide-se pelo total de comparações com o atributo. Por exemplo, se o atributo 1 participou de 50 comparações e foi escolhido 30 vezes, a importância deste atributo é $30/50=0,6$. Também é importante que cada atributo seja comparado com todos os outros, o mesmo número de vezes, para que não haja favorecimento dos atributos que só foram comparados com atributos sem importância (SAMARTINI, 2009).

b) Ordem de posto (ranking) e ordenação seletiva

Neste caso, os entrevistados devem ordenar os atributos do mais importante ao menos importante. São atribuídos postos aos atributos de acordo com a ordem de escolha. Esta técnica tem como desvantagem a geração de dados ordinais, limitando as análises possíveis. Quando o número de atributos é muito grande, a tarefa de ordenação torna-se complicada para maioria dos respondentes. Segundo KOTLER (1992), o tamanho mediano do número de alternativas que um consumidor consegue analisar é cinco. Neste caso, pede-se que o respondente ordene apenas

os k atributos mais importantes, sendo k um número próximo de cinco (SAMARTINI, 2009).

c) Soma Constante

Os entrevistados atribuem uma soma constante de unidades, como pontos, dólares, etiquetas adesivas ou batatas fritas, dentre um conjunto de objetos de estímulo, com base em algum critério. Pode-se pedir aos participantes que associem 100 pontos a atributos de um determinado produto, por exemplo, de forma que reflete a importância que eles dão a cada atributo. Se o atributo não tem importância, o respondente atribui-lhe zero pontos. Se é duas vezes mais importante do que outro recebe o dobro de pontos. A soma de todos os pontos é 100. Daí, o nome da escala (SAMARTINI, 2009).

3 METODOLOGIA

O procedimento metodológico foi realizado em três etapas: (i) a experimental em laboratório, que envolveu a caracterização dos materiais, para a obtenção das variáveis técnicas, através de ensaios mecânicos e físicos; (ii) experimental em campo, por meio de uma pesquisa com os deficientes visuais de uma associação local para a obtenção das variáveis qualitativas; e (iii) a avaliação multicritério, no qual foram calculados os indicadores globais de desempenho das alternativas avaliadas.

Foram avaliados cinco tipos de materiais, a resina poliéster ortoftálica com 10% e 15 % de borracha; a resina epóxi incorporada com 10% e 15% deborracha de pneus inservíveis; e o plástico Acrilonitrilabutadieno estireno (ABS) feito por prototipagem 3D.

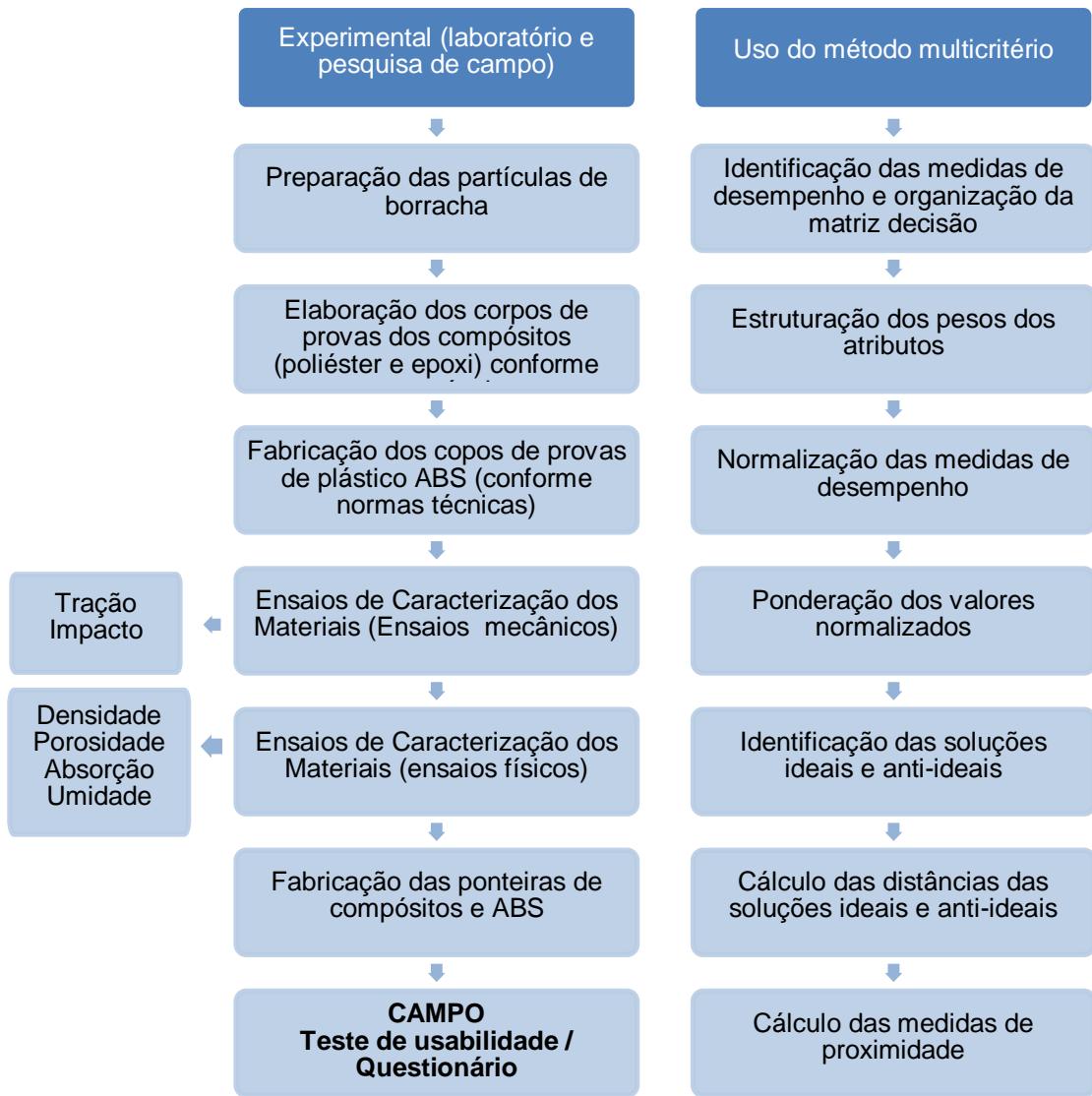
O primeiro passo desse trabalho foi a identificação e definição dos critérios para a posterior avaliação do material. A seleção de critérios é uma etapa crucial de estruturação do problema, pois devem ser definidos aqueles que possuem uma influencia significativa para o processo de decisão. Em qualquer problema de decisão, todo esforço possível deve ser empreendido para chegar-se a uma ampla compreensão dos valores subjacentes aos objetivos do problema.

O trabalho experimental foi desenvolvido nos laboratórios de “Inspeção” da Coordenação de Engenharia Mecânica e de “Resistência dos materiais” da Coordenação de Engenharia de Materiais do Instituto Federal do Pará - IFPA e se refere aos estudos das propriedades físicas e mecânicas dos materiais das resinas poliéster e epóxi e de plástico ABS das ponteiras.

Foi necessário o levantamento de dados para a caracterização dos critérios qualitativos de decisão para a aferição da satisfação através de uma pesquisa direta de um questionário para serem respondidos diretamente pelos usuários deficientes com o auxílio de uma pessoa com a visão normal.

A Figura 4 apresenta uma estratificação das etapas metodológicas identificando cada atividade realizada.

Figura 4.Fluxograma da metodologia



Fonte: Autor (2018)

3.1 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

3.1.1Caracterização das partículas de borracha

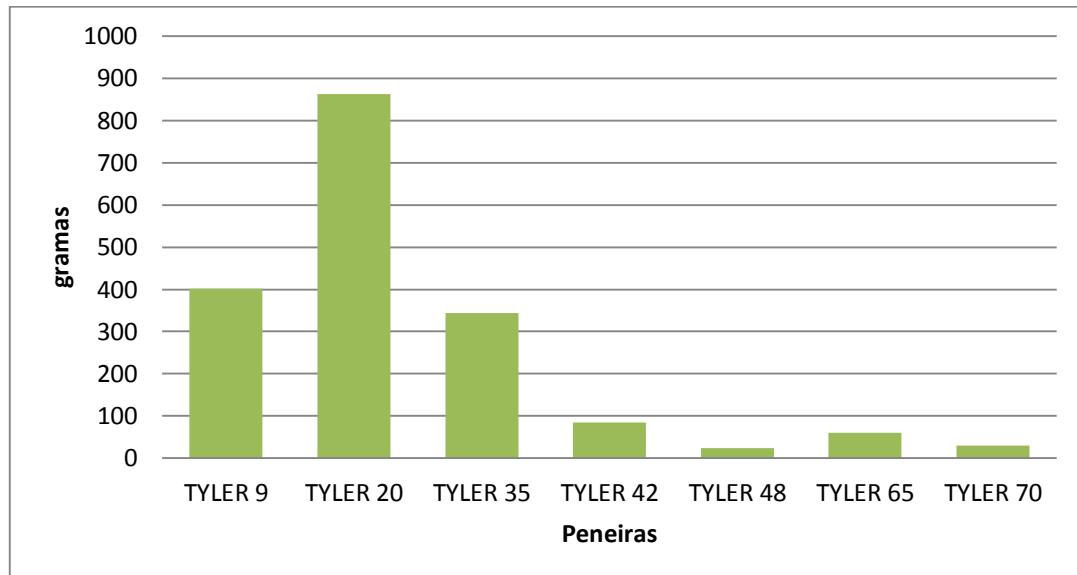
O pneu moído (no moinho de facas) foi obtido através da doação de terceiros, o qual foi realizado o processo de peneiramento, ou seja, processo para a obtenção do grau de refinamento do pneu, o método de MESH, ou método de malha.

A Tabela 3 apresenta o peso de cada granulometria no processo de peneiramento da borracha.

Tabela 3.Peneiramento da borracha

PENEIRAS	Gramas (g)
TYLER 9	402
TYLER 20	862
TYLER 35	344
TYLER 42	84
TYLER 48	24
TYLER 65	60
TYLER 70	30

Fonte: Autor (2018)

Gráfico 1 - Histograma de distribuição granulométrica

Conforme o histograma da distribuição granulométrica do Gráfico 1 foi selecionada entre as peneiras com menor malha, a que possuía um material suficiente para a confecção dos corpos de prova, pois as menores partículas permitem uma melhor homogeneização. Com isso, foi utilizada a peneira com especificação de 42 Tyler e abertura 0,35mm de espessura, aproveitando o material passante desta gramatura, como produto final de grãos de borracha.

A borracha de pneu depois de peneirada foi caracterizada quanto à sua massa específica e determinada através de um picnômetro de 100 ml, pelo método de picnometria, sendo os ensaios realizados no laboratório de química do IFPA.

Figura 5. Processo de peneiramento da borracha de pneu



Fonte: Autor (2018)

3.1.2 Caracterização da resina poliéster

A resina poliéster foi caracterizada quanto à sua massa específica para a obtenção da porosidade dos compósitos, na condição recebida do fornecedor e modificada com a adição de 0,5% (v/v) de acelerador cobalto e 1% de acelerador MEK.

3.1.3 Caracterização da resina epóxi

A resina epóxi foi caracterizada quanto à sua massa específica para a obtenção da porosidade dos compósitos, na condição recebida do fornecedor e utilizada como recomendação do fabricante na proporção de 100 % de resina para 50% de endurecedor.

3.1.4 Caracterização dos compósitos fabricados

Os compósitos fabricados foram caracterizados quanto à sua massa específica, porosidade, absorção de umidade, resistência à tração e resistência ao impacto Charpy.

As quantidades de poros nos polímeros também interferem as propriedades mecânicas dos materiais, daí a importância de se obter as quantidades de vazios (ou poros) do material. A determinação da massa específica e porosidade dos compósitos foram realizadas segundo o procedimento experimental por imersão em água, conforme recomenda os autores Levy Neto e Pardini (2006). Seguindo o procedimento, foi inicialmente determinada à massa de uma amostra de compósito utilizando-se uma balança analítica com precisão de 0,0001 g. Em seguida pesou-se um bêquer com 100 ml de água destilada, determinando-se a massa de água contida. Conhecido o volume, a massa específica da água na temperatura de

realização do experimento foi calculada. Com o recipiente ainda sobre a balança, mergulhou-se parcialmente na água um arame fino preso sobre a capela da balança, sendo a balança tarada para descontar o volume de água deslocado pelo arame. Em seguida, a amostra de compósito foi completamente imersa na água presa pelo arame e a força de reação adicional devido ao volume de água deslocada, o qual é o próprio volume do compósito, foi registrada pela balança e anotada. Essa reação é proporcional ao empuxo provocado sobre a peça submersa. Por fim, dividiu-se a reação de empuxo registrada (g) pela massa específica da água (g/cm³), obtendo-se o volume do compósito (cm³), permitindo-se assim encontrar a massa específica do mesmo.

A porosidade, ou fração volumétrica de vazios (V_v) foi determinada a partir da equação abaixo (DHAKAL *et al.*, 2007).

$$V_v = 1 - \rho_c \left(\frac{w_p}{\rho_p} + \frac{w_m}{\rho_m} \right) \quad (9)$$

onde V_v é a fração volumétrica de vazios; ρ_c a massa específica do compósito; w_p a fração mássica da partícula; w_m a fração mássica da matriz; ρ_p a massa específica da fibra (g/cm³) e ρ_m a massa específica da matriz (g/cm³).

Para o cálculo da porosidade foi necessário calcular a massa específica da borracha de pneu e das resinas poliéster e epóxi. A massa específica da borracha de pneu foi obtida pela técnica de picnometria, utilizada para a obtenção da massa específica de líquidos, sendo adaptada para o caso de sólidos. Já a massa específica das resinas poliéster e epóxi foram obtidas pelos mesmos procedimentos descritos em Levy Neto e Pardini (2006).

O estudo de absorção de água dos compósitos foi realizado de acordo com a norma ASTM D 570, é avaliada pela absorção de umidade resultado no aumento das dimensões das peças. Os corpos de prova foram medidos, pesados e imersos em água destilada, à temperatura ambiente, como podemos verificar na figura 6. Foi utilizado o processo de imersão de 24 horas, o qual o material deve descansar na borda e estar totalmente imerso. Após o tempo, toda água deve ser limpa com um pano seco e pesada em uma balança de precisão de 0,001 g imediatamente.

Fórmula para o cálculo:

$$\Delta M(\%) = \frac{M_f - M_i}{M_i} \quad (10)$$

Onde, DM é a absorção de água, Mi e Mf correspondem as massas das amostras antes e após a imersão em água.

O ensaio de absorção de água é muito importante, pois a umidade absorvida pelos materiais afeta outras propriedades, tais como propriedades elétricas e mecânicas. A absorção de umidade também afeta diretamente o processamento dos polímeros, podendo ocasionar bolhas de ar (consequente porosidade) e manchas/estrias na superfície da peça. Além disso, em contato com a água ou umidade do ambiente, alguns polímeros incham, originando tensões residuais quando a água não se distribui de forma uniforme.

Além disso, a variação do teor de umidade pode provocar uma rede de microfraturas na superfície dos compósitos que pode alterar suas propriedades elétricas e mecânicas. A absorção é mais fácil quando a molécula do polímero apresenta grupamentos capazes de formar ligações de hidrogênio. Por exemplo, peças de nylon, de celulose, ou de madeira podem absorver umidade, mudando de dimensões. Por outro lado, a absorção de água pode aumentar muito o peso do material polimérico.

Figura 6. Ensaios físicos: massa específica, absorção de umidade e porosidade.



(a)



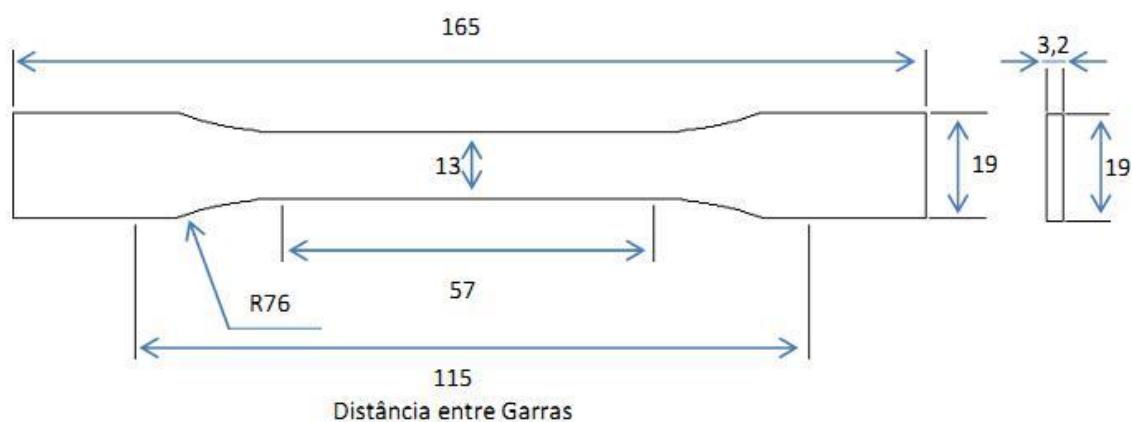
(b)

Fonte: Autor (2018)

Os ensaios de tração para os corpos-de-prova dos compósitos foram feitos de acordo com a norma ASTM D638 (Ensaio de tração de materiais plásticos). Osensaios foram realizados na máquina universal de ensaio ARATEC WDW-100, a velocidade de ensaio foi de 2 mm/min para todos os ensaios. Com esse ensaio, foram encontradas as medidas de resistência à tração, a deformação de ruptura e o módulo de elasticidade dos compósitos.

Para o ensaio seguiu-se o layout conforme figura 7.

Figura 7. Arquitetura do corpo de prova de tração (escala em mm)



Fonte: Autor (2018)

Utilizou-se como matriz a resina poliéster do tipo ortoftálica, com alta viscosidade, pré-acelerada, cristal, Centerpol C-400 e a resina epóxi, Center epóxi GY 250, fornecida pela Centerglass Ind. Ltda, curada respectivamente, com peróxido de metil etil cetona (MEK-P) em concentração de 1% e com acelerador de cobalto em concentração de 0,5%, e com Aradur 63 em concentração de 45%, conforme orientação do fabricante.

Foram confeccionados quatorze (14) corpos de provas de cada matriz nas porcentagens de 10% e 15% de borracha de pneu para a realização dos ensaios de tração de caracterização das propriedades físico-mecânicas.

Primeiramente foi aplicado o desmoldante de cera de carnaúba ao molde para facilitar a retirada da ponteira já pronta, em seguida, nas devidas proporções foram homogeneizadas durante dois primeiros minutos, o catalizador e acelerador e no terceiro minuto a borracha. Em seguida, despejado no molde de volume 4, 636 33 mm³ e levado à estufa por 48 horas curando e, após, a retirada imediata do

molde. As amostras de resina poliéster precisaram ficar mais 48 horas na estufa para concluir seu tempo de cura.

Figura 8.Corpos de provas dos ensaios de tração.



Fonte: Autor (2018)

Os ensaios de impacto foram executados na Universidade Federal do Pará, no laboratório de polímeros da engenharia mecânica, conduzidos segundo a norma ASTM D256.

É uma medida obtida pelo ensaio de impacto, o qual o comportamento dúctil-frágil dos materiais pode ser mais amplamente caracterizado. A carga nesses ensaios é aplicada na forma de esforços por choque (dinâmicos), sendo o impacto obtido por meio da queda de um martelete ou pêndulo, de uma determinada altura, sobre a peça a examinar.

Foi utilizado o ensaio Charpy através do equipamento Pendelschlagwerk 300 Nm, Pendulum Impact Tester 300 Nm, WP 410 da Gunt Hmburg.

Os corpos de provas que foram utilizados para o ensaio seguiram o próprio molde da ponteira, na forma aproximadamente de um cilindro, pois a parte mais estreita foi preenchida com uma fita isolante para obter o alinhamento do equipamento. Todos com uma média de 60 x 13 mm aproximadamente.

A energia de impacto, dependendo do material, variou de 2 a 7 J, onde foram distribuídos em grupos de 5 corpos de prova associados as diferentes quantidades de borrachas e material. Apenas a ponteira convencional que foi ensaiada uma única vez.

Figura 9.Corpos de prova para ensaio de impacto (charpy)



Fonte: Autor (2018)

3.1.5 Caracterização do ABS

As ponteiras de ABS fabricadas foram caracterizadas da mesma forma que os compósitos quanto à sua massa específica, absorção de umidade, resistência à tração e resistência ao impacto Charpy.

Apenas a porosidade que não pode ser obtida devido a geometria da ponteira formada pela impressora, que apresenta vazios intencionais em sua forma, por isso o critério porosidade não foi acrescentado na matriz decisão da ferramenta multicritério.

3.1.6 Produção dos corpos de prova dos compósitos

A fabricação da ponteira de compósitos de resina poliéster e epóxi com a borracha de pneu foi confeccionada em moldes metálicos fabricados sob medidas no laboratório de usinagem do IFPA. Eram produzidas duas ponteiras por dia devido ao número reduzido de molde.

Primeiramente foi aplicado o desmoldante de cera de carnaúba ao molde para facilitar a retirada da ponteira já pronta, em seguida, nas devidas proporções foram homogeneizadas durante dois primeiros minutos, o catalizador e acelerador e no terceiro minuto a borracha. Em seguida, despejado no molde de volume 15 cm³ e aguardado as 48 horas para a cura para a retirada dos moldes.

Figura 10.Moldes e ponteiras dos compósitos



Fonte: Autor(2018)

3.1.7 Produção dos corpos de prova de plástico abs

A fabricação da ponteira de plástico ABS (Acrilonitrila butadieno estireno) foi realizada totalmente na impressora 3D, que permite a modelagem em duas dimensões de preenchimento, vertical e horizontal.

Figura 11.Impressora 3D



Fonte: Autor (2018)

Figura 12 .Ponteiras de ABS



Fonte: Autor (2018)

3.1.8 Pesquisa de Campo

Para a pesquisa de campo foi utilizado o tipo de entrevista estruturada, ou seja, foram aplicadas um roteiro de questões previamente estabelecidas, para garantir uma entrevista mais uniforme com o máximo de informações e com um mínimo de perguntas possíveis.

Foram entrevistados três deficientes e utilizada a escala comparativa “somatória dos postos” (ranking), os quais os entrevistados ordenaram os atributos do mais ao menos importante. Foram atribuídos postos aos atributos de acordo com a ordem de escolha. Após a pontuação de cada critério qualitativo foi realizada a ponderação

dos valores em pesos para que possam ser incluídos na análise multicritério, de acordo com Correa et al. (2017).

Através da pesquisa de campo com o questionário estruturado após o teste de usabilidade de cada material foi possível identificar algumas observações dos materiais propostos:

- a) Durante o teste de usabilidade não foi possível diferenciar as ponteiras de mesmo material com as porcentagens de borrachas diferentes, apenas as diferenças entre os materiais poliéster, epóxi e ABS. Com isso, para a mensuração do ranking foi adotado o valor subsequente para as diferenças de porcentagens.
- b) O tempo médio de avaliação de cada ponteira foi de aproximadamente 15 dias.
- c) Os critérios de avaliação na pesquisa de campos foram: propagação do som, resistência ao atrito e manutenção e troca da ponteira;
- d) Os critérios de avaliação foram propostos pelos próprios deficientes visuais de acordo com as necessidades práticas.

3.2 AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIO

A escolha do método utilizado nesse estudo foi determinada a partir de alguns fatores como: a necessidade de ordenação das alternativas, facilidade de aplicação do método, possibilidade de utilizar peso linear na análise, além da simplicidade no desenvolvimento da metodologia. Foi selecionado o método TOPSIS como uma ferramenta simples e de fácil aplicação para a ordenação dos critérios identificados para a avaliação da ponteira da bengala, o que possibilitará em uma análise de forma mais profunda e robusta.

O problema analisado envolve a seleção de materiais para a produção das ponteiras de bengalas de deficientes visuais. Foram avaliados cinco tipos de materiais, a resina poliéster ortoftálica com 10% e 15 % de borracha; a resina epóxi incorporada com 10% e 15% de borracha de pneus inservíveis; e o plástico Acrilonitrilabutadieno estireno (ABS) feito por prototipagem 3D.

Os atributos utilizados para a seleção foram escolhidos para a identificação das características, propriedades e comportamentos dos materiais, conforme a tabela 4.

Tabela 4.Atributos multicritério

Atributos	Tipo	Direção	Unidade
1 Resistência a Tração	Quantitativo	Max	MPa
2 Resistência a impacto	Quantitativo	Max	MPa
3 Absorção de umidade	Quantitativo	Min	%
4 Massa específica	Quantitativo	Max	%
5 Custo	Quantitativo	Min	R\$
6 Propagação do som	Qualitativo	Max	soma de posto
7 Resistência ao atrito	Qualitativo	Max	soma de posto
8 Manutenção (troca) da ponteira	Qualitativo	Max	soma de posto

Fonte: Autor (2018)

Os atributos resistência a tração, resistência a impacto, absorção de umidade e massa específica foram elaborados e ensaiados para compor as medidas técnicas de avaliação da caracterização do material.

O cálculo de custo da ponteira considerou apenas o valor de matéria-prima de cada material e foi levantado de acordo com a respectiva aquisição de compra e calculado conforme a proporção de utilização de material de cada ponteira.

Para os atributos qualitativos: propagações do som, resistência ao atrito e manutenção da ponteira, foram mensuradas através da escala comparativa “somatória dos postos” conforme a opinião do usuário, para isto, foi aplicado um questionário para a obtenção da pontuação individual após o período do teste de usabilidade por parte dos usuários deficientes.

Esta importante iniciativa visou agregar valor ao material pesquisado, pois segundo estudo realizado por Philips e Zhao (1993) com 227 pessoas com diferentes tipos de deficiência, conta que 29,3% das Tecnologias assistivas são abandonadas por seus usuários no seu primeiro ano ou após cinco anos de uso. Para os autores, um dos principais motivos seria a falta de consideração da opinião do usuário no desenvolvimento e lançamento destes produtos(LUGLI, et al. 2016).

3.2.1 Ponderação dos pesos

Depois de estruturado o conjunto de critérios do processo de avaliação foi necessário definir a importância relativa de cada critério em relação ao objetivo almejado, ou seja, a priorização das características principais da ponteira.

Foi utilizado o método da somatória (*rank sum weights*) que estima os pesos a partir da informação de sua ordenação. Correa et al. (2017) apresentam e aplicam os principais métodos de conversão de ordens em pesos disponíveis na literatura.

Por esse método, o decisor organiza os atributos em ordem decrescente de importância sendo o 1 o mais importante, e os pesos são estimados pela equação X

$$w_j = \frac{(n - p_j + 1)}{\sum_{k=1}^n (n - p_k + 1)} \quad (11)$$

onde n é o total de atributos e p representa a posição do atributo j na ordenação.

Além da ponderação realizada para a ordenação dos valores qualitativos, foram ponderados também os pesos de acordo com a preferência de um profissional técnico da área para a identificação dos principais critérios a serem considerados na aplicação da ponteira.

3.2.2 Normalização da matriz

No MCDM, o procedimento normalização consiste em uma transformação na escala de avaliação, visto que o interesse está relacionado à avaliação preferencial, envolvendo julgamento de valor para a tomada de decisão.

A normalização da matriz decisão pode ser realizada de diversos modos, neste trabalho foi utilizada a normalização linear.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS RESINAS

Os resultados encontrados da massa específica das resinas poliéster e epóxi foram 1,2076 g/cm³ e 1,1413 g/ cm³ respectivamente, muito próximas da média dos valores encontrados (CASTRO, 2003).

4.2 CARACTERIZAÇÃO DA BORRACHA DE PNEU

O resultado da massa específica da borracha de pneu foi de 0,3997 g/cm³. Este resultado justifica a queda da resistência a tração dos materiais compósitos com a inserção da borracha comparada a da resina pura.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DOS COMPÓSITOS E ABS

Os resultados das propriedades físicas dos compósitos e do ABS estão descritos na tabela 4.

Tabela 5.Resultados das propriedades físicas

	Massa específica (g/cm ³)		Teor de Vazios (%)		Ab. Água (%)	
	10%	15%	10%	15%	10%	15%
Poliéster	1,06	0,91	0,12	0,07	1,48	1,78
Epoxi	1,10	0,90	0,22	0,10	0,88	0,47
ABS	0,94		-		0,40	

Fonte: Autor(2018)

Os dados apontam coerência nos resultados, pois a massa específica é menor na proporção maior de borracha. O teor de vazios do ABS não foi calculado devido a geometria da ponteira formada pela impressora.

A tabela 5 apresenta as propriedades mecânicas dos compósitos poliéster e epóxi dos ensaios de tração. A tabela mostra o limite de resistência à tração (σ), a deformação na ruptura (ϵ) e o módulo de elasticidade longitudinal (E) de cada resina nas respectivas porcentagens de borracha.

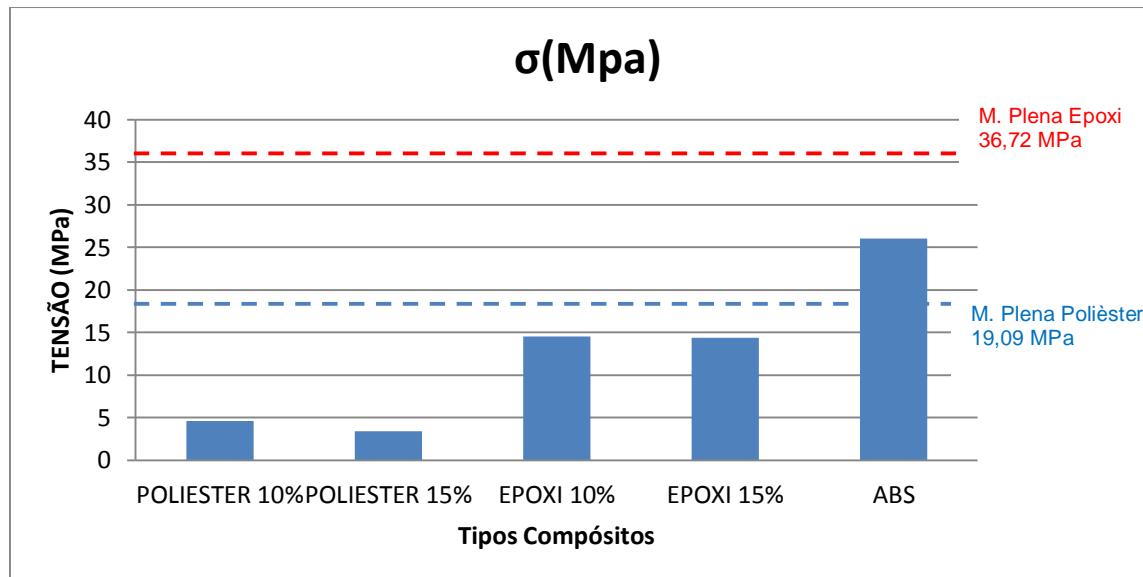
Tabela 6.Resultados do ensaio de resistência à tração dos compósitos de matriz poliéster e epóxi (10% e 15%)

COMPÓSITO	σ (Mpa)	ϵ rup.(mm/mm)	E(Mpa)
POLIESTER 10%	4,591 (0,278)	0,026 (0,002)	177,087 (14,086)
	3,203 (0,211)	0,053 (0,005)	63,624 (8,329)
EPOXI 10%	14,499 (1,568)	0,119 (0,008)	126,331 (20,960)
	14,410 (0,272)	0,061 (0,002)	239,297 (9,069)
ABS	26,060 (1,516)	0,056 (0,006)	506,589 (22,897)

(*) Os valores entre parênteses se referem e ao erro padrão da estatística.

Fonte: Autor (2018)

Gráfico 2.Resistência à Tração dos compósitos de poliéster e epóxi reforçados com borracha (Tensões médias com os respectivos erros padrões). As linhas tracejadas representam os desempenhos em tração da matriz plena de cada resina.

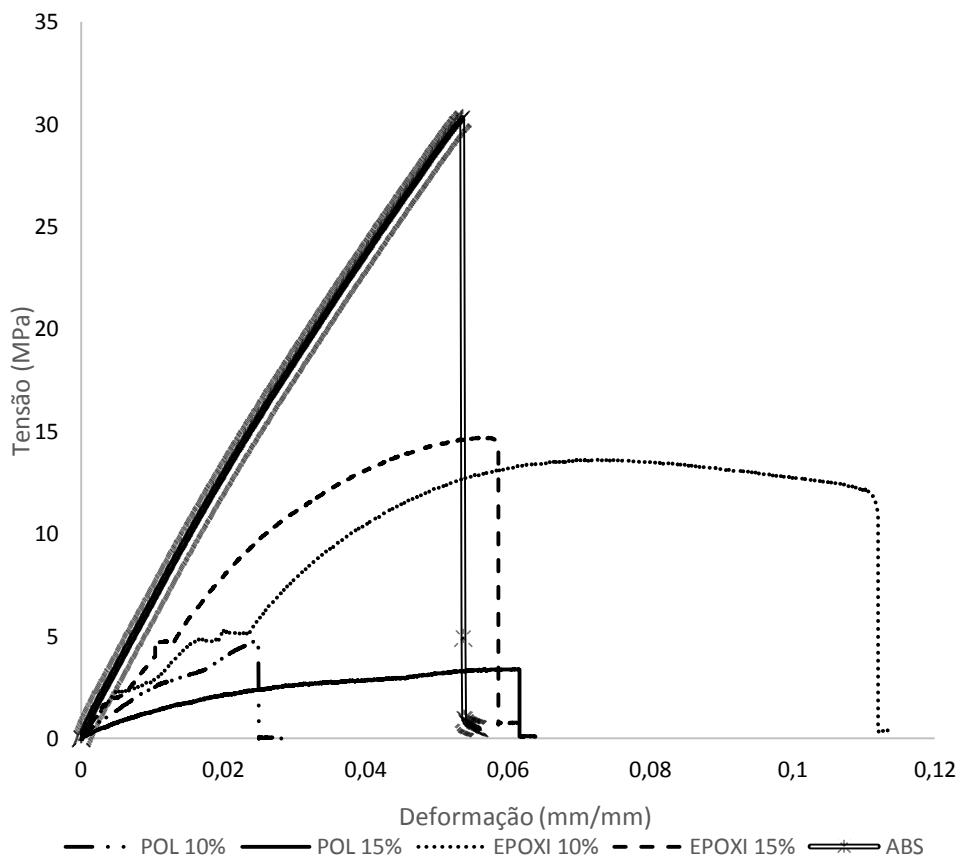


Fonte: Autor (2018)

Os dados mostram que os compósitos fabricados com resina epoxi apresentam a resistência a tração consideravelmente superior ao obtido pela matriz poliéster, e que o ABS apresenta uma maior tensão que a dos materiais compósitos.

Houve uma inversão de crescimento dos valores da resina epóxi nas porcentagens de 10% para 15% nas medidas de deformação máxima e módulo de elasticidade, que pode ter ocorrido devido às falhas nos preparos dos corpos de provas, como lixamento e polimento dos mesmos.

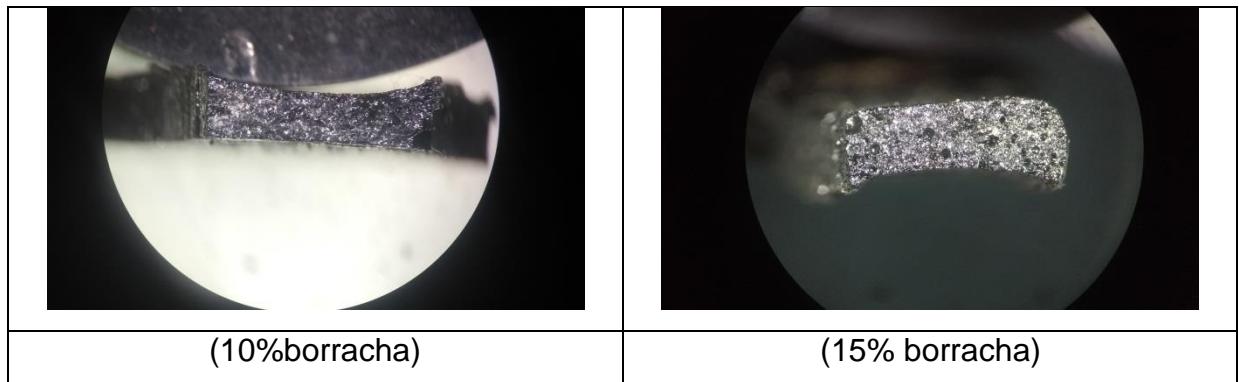
Gráfico 3. Tensão x Deformação



Fonte: Autor (2018)

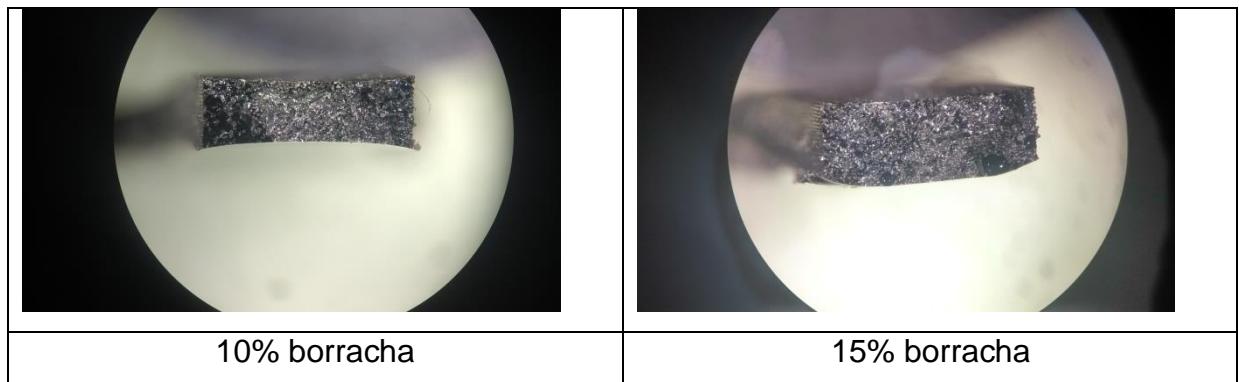
O gráfico 3 ilustra o comportamento tensão x deformação de corpos de prova típicos de cada uma das matrizes reforçadas com as respectivas porcentagens de borracha. O gráfico demonstra que os compósitos de epóxi apresentam maior limite de resistência à tração do que os de poliéster e apresentam um nível de rigidez mais elevado, devido aos maiores valores das deformações.

Figura 13. Superfície da fratura de corpo de prova de poliéster com 10% e 15% de borracha



Fonte: Autor (2018)

Figura 14. Superfície da fratura de corpo de prova de epóxi com 10% e 15% de borracha.



Fonte: Autor(2018)

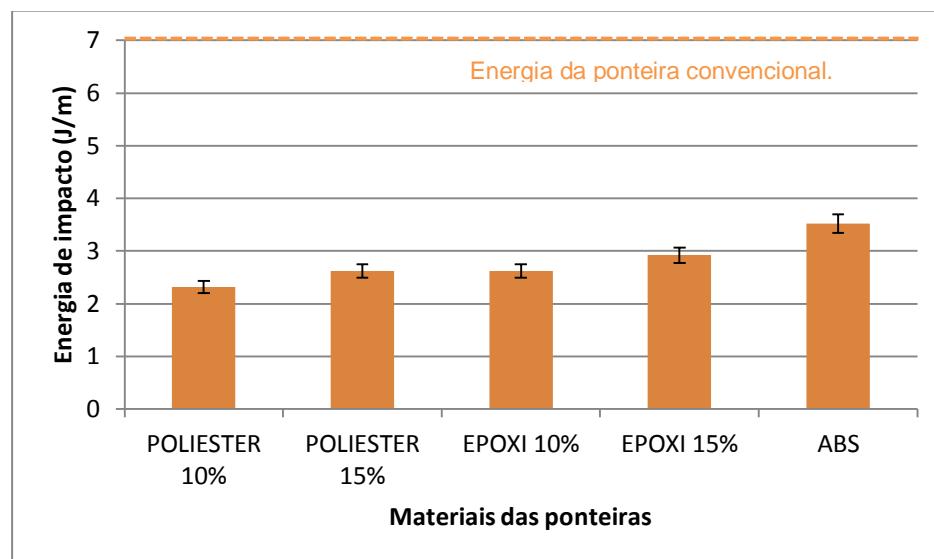
As figuras 13 e 14 ilustram as fraturas do corpo de prova do ensaio de tração dos compósitos de poliéster e epóxi com as porcentagens de 10% e 15% de borracha cada. Através de cada imagem podemos observar o teor de poros, que conforme os ensaios físicos foram de 12% e 7% as de poliéster e de 22% e 10% as de epoxi, ocasionado por diversos fatores, entre eles o processo de fabricação manual, o resíduo da borracha com diferentes composições.

Visualizamos também que as amostras de epóxi apresentaram uma fratura frágil, pois foi produzida uma superfície mais plana e brilhante enquanto que as de poliéster uma fratura mais dúctil, pois a superfície é mais irregular e fosca. Essa diferença de comportamento pode ser percebida também no gráfico de tensão e deformação, onde a fratura dúctil ocorre após extensa deformação plástica (a parte côncava do gráfico) e as amostras de poliéster apresentaram um gráfico mais curvo que as de epóxi, decorrente desta propriedade lenta através de formações de trincas resultante da nucleação e crescimento de microcavidades. Os materiais frágeis

rompem-se com um pequeno deslocamento e mostram uma maior resistência mecânica.

O gráfico 5 apresenta os valores das médias com os respectivos erros da energia de impacto de cada material ensaiado.

Gráfico 4.Energia de impacto (J/m)



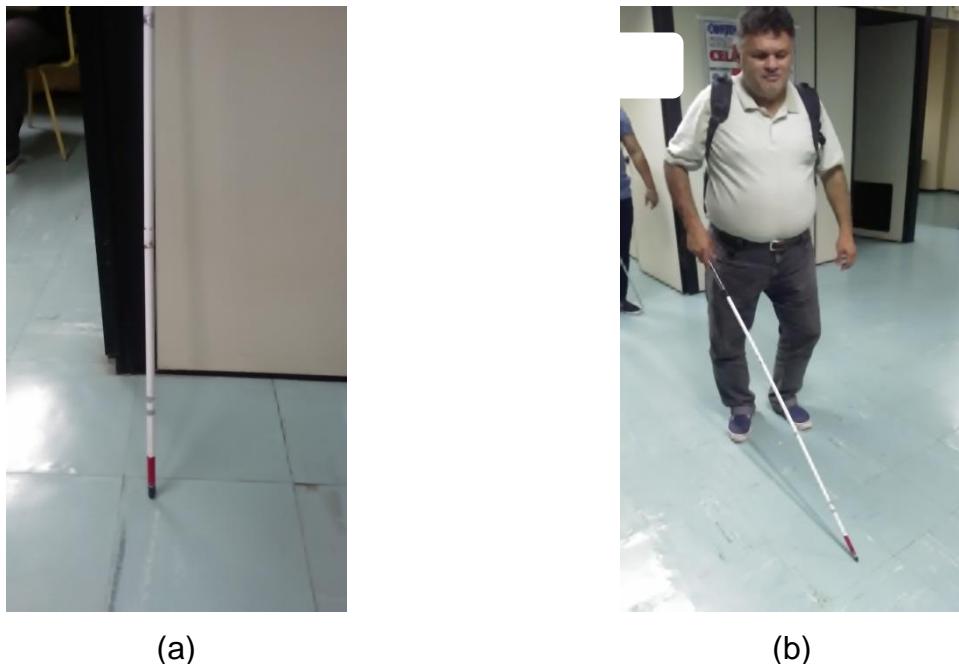
Fonte: Autor (2018)

Podemos observar que houve pouca variação de força de impacto entre os materiais avaliados, apresentando uma baixa tenacidade comparada à ponteira convencional. A ponteira convencional foi ensaiada em apenas uma única amostra devido à dificuldade encontrada para a obtenção da ponteira.

4.3 PESQUISA DE CAMPO

Após o teste com as ponteiras confeccionadas para a avaliação prática durante 15 dias de cada material, os deficientes responderam o questionário estruturado (apêndice A) para a obtenção da pesquisa, onde foram ressaltadas as principais informações.

Figura 15. Teste de usabilidade



Fonte: Autor(2018)

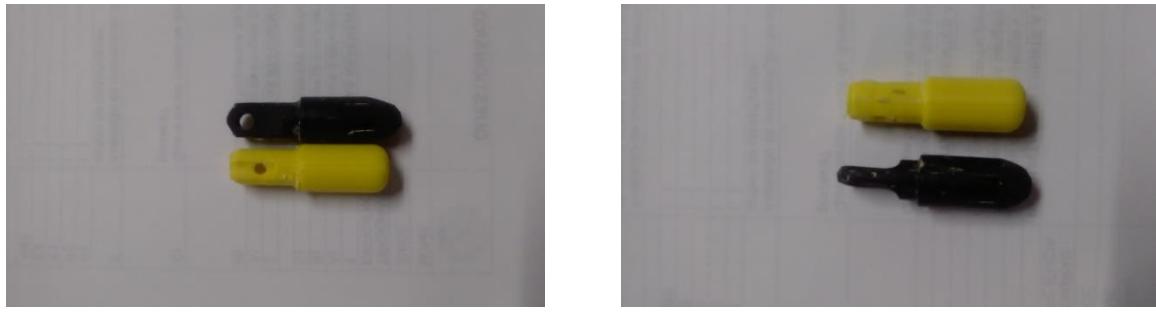
Os critérios avaliados nesta etapa foram propagação do som, resistência ao atrito e manutenção ou troca da ponteira.

Quanto à propagação do som, todos os materiais tiveram um resultado satisfatório para a percepção do usuário.

Quanto à resistência ao atrito, todos os materiais tiveram um bom deslize, não travando no chão, similar a ponteira convencional.

Quanto à manutenção ou troca da ponteira, as de material compósito, de resina com borracha, por serem confeccionadas manualmente, tiveram uma abertura e uma cavidade melhor para a entrada do elástico comparada a de ABS, aparecendo mais similar a ponteira convencional e facilitando a troca da ponteira. A figura 16 mostra as ponteiras de ABS (mais clara) e a de compósito com borracha (mais escura).

Figura 16.Ponteira de Compósito e de AB



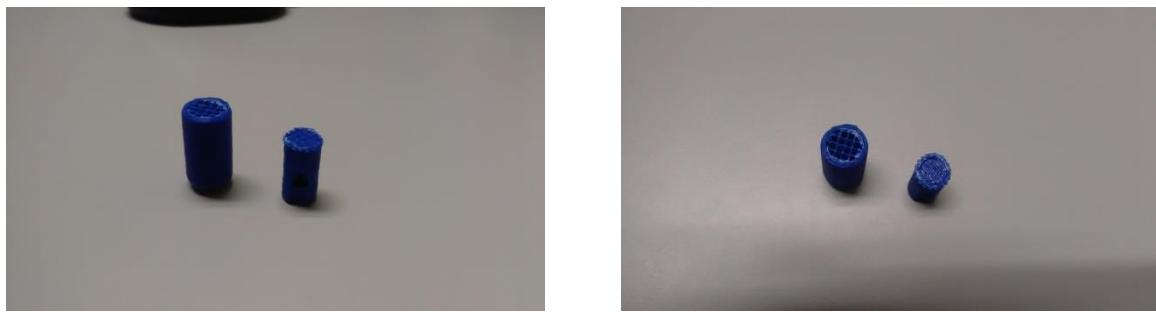
(a)

(b)

Fonte: Autor (2018)

Os problemas maiores identificados ocorreram em relação a resistência mecânica dos materiais, pois as ponteiras de materiais compósitos (resina poliéster e resina epóxi com borracha) foram desgastadas na primeira semana de uso. Assim como as ponteiras de plástico ABS que quebraram na seção com o menor diâmetro, devido ao efeito concentrador de tensão;

Figura 17.Fratura da ponteira de ABS



(a)

(b)

Fonte: Autor (2018)

As ponteiras de compósitos de resina poliéster e epóxi com borracha tiveram suas resistências à tração reduzidas em 80% e 62%, respectivamente, em relação à resina pura. O material da borracha de pneu utilizado diminuiu muito a resistência dos compósitos propostos, o que pode ser confirmado com o baixo valor da sua massa específica de aproximadamente $0,3997 \text{ g/cm}^3$ encontrado.

4.4 AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIO

4.4.1 Etapas do Método TOPSIS

A) Matriz Decisão

A matriz de decisão com os dados de desempenho das alternativas dos materiais em análise é apresentada na tabela 7, juntamente com a identificação do objetivo desejado para cada atributo e somatória de cada coluna.

Tabela 7. Matriz de decisão multicritério

Material	RT	RI	AU	ME	C	PS	RA	MP
	Mpa	(J)	(%)	(%)	(R\$)	Ordem	Ordem	Ordem
Direção	Max.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max	Min.	Max.
Pol. 10%	4,59	2,32	1,48	1,06	0,14	0,4	0,66	0,86
Pol. 15%	3,2	2,62	1,78	0,91	0,14	0,33	0,47	0,67
Epoxi 10%	14,49	2,62	0,88	1,10	0,23	0,87	0,8	0,73
Epoxi 15%	14,41	2,92	0,47	0,90	0,23	0,66	0,6	0,53
ABS	26	3,52	0,40	0,95	0,64	0,73	0,46	0,2
TOTAL	62,70	14	5,01	4,92	1,38	3	3	3

Legenda:

RT – Resistência à Tração

C – Custo

RI – Resistência ao impacto

PS – Propagação do som

AU – Absorção de umidade

RA – Resistência ao atrito

ME – Massa específica

MP = Manutenção da ponteira

Fonte: Autor (2018)

Através dos dados na Tabela 7 acima, pode-se observar as características de um problema multi-atributo. Inicialmente, um conjunto limitado de alternativas à disposição (poliéster, epóxi e ABS). Entre as alternativas foram identificados atributos conflituosos, por exemplo, a ponteira com o material EPOXI apresenta a melhor resistência a tração, mas o maior custo, justamente o oposto do material poliéster. Como, os atributos resistência e custo apresentam comportamentos divergentes, a preferência por cada um deve ser explicitada, para isto, houve a atribuição de pesos por um profissional da área através da escala comparativa “somatória de posto”, exibida na tabela 8.

Além disso, estão presentes medidas quantitativas como a massa específica que é medida em porcentagem e medidas qualitativas ou subjetivas como a propagação do som, cuja intensidade foi aproximada também pela escala de “somatória de posto”. A presença dessas características justifica a opção pelos métodos MADM para a seleção do material da ponteira.

Nessa fase, o contexto do problema é estruturado e organizado a partir dos aspectos julgados mais relevantes pelo decisor. É identificado o subsistema dos atores, fornecido um rótulo que represente o que se busca e identificados, organizados e mensurados ordinalmente os objetivos julgados pelos decisores como

necessários e suficientes para avaliar o contexto, de acordo com seus valores e preferências.

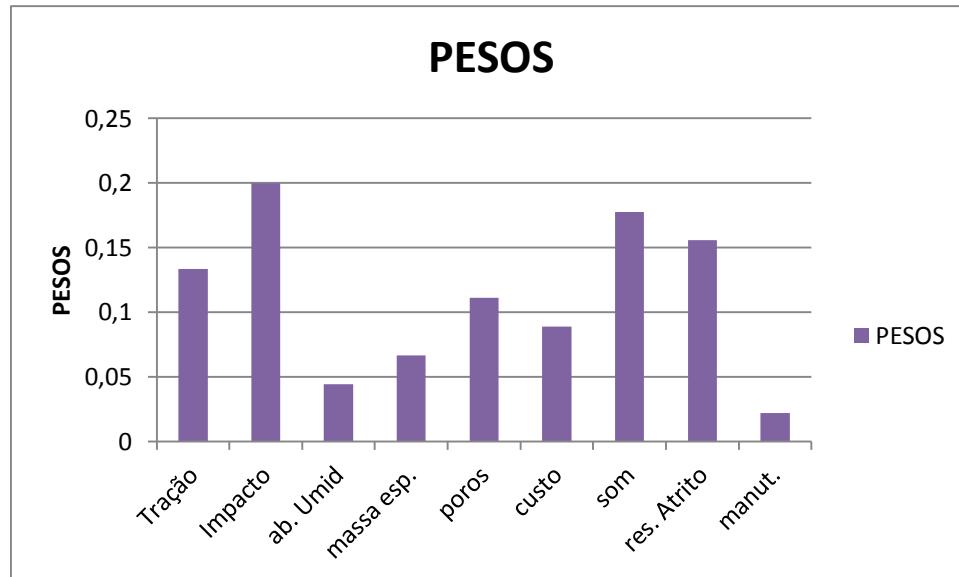
Foi realizada uma entrevista com um profissional técnico da área para que o decisor discorresse a respeito do problema, solicitando quais os critérios mais importantes no processo de avaliação da ponteira da bengala. A análise da entrevista permitiu a identificação dos pesos de sua preferência listados na tabela 8.

Tabela 8.Pesos dos atributos com base em suas ordenações

	Tração	Impacto	ab. Umid	massa esp.	poros	custo	som	res. Atrito	manut.
p_j	4	1	8	7	5	6	2	3	9
	6	9	2	3	5	4	8	7	1
$n - p_j + 1$									
w	0,1333 3	0,2 4	0,0444 4	0,0666 7	0,1111 1	0,0888 9	0,1777 8	0,1555 6	0,0222 2

Fonte: Autor (2018)

Gráfico 5.Gráfico com a ponderação dos pesos dos critérios de acordo com a preferência do profissional da área de mecânica.



Fonte: Autor (2018)

A próxima etapa são os resultados referentes aos cálculos da matriz normalizada e também ponderada de acordo com os pesos estipulados (tabelas 9 e 10, respectivamente).

Tabela 9.Matriz com os dados normalizados

Material	Res. Tração	Res. Impacto	Ab. Umidade	Massa Esp.	Custo	Prop. Som	Res.ao atrito	Manut. Ponteira
Pol. 10%	0,137	0,367	0,580	0,480	0,188	0,283	0,486	0,604
Pol. 15%	0,095	0,414	0,697	0,412	0,188	0,235	0,340	0,465
Epoxi 10%	0,432	0,414	0,345	0,498	0,309	0,612	0,583	0,511
Epoxi 15%	0,430	0,462	0,184	0,408	0,309	0,471	0,438	0,372
ABS	0,775	0,556	0,157	0,430	0,859	0,518	0,340	0,139

Tabela 10.Dados normalizados e ponderados

Material	Res. Tração	Res. Impacto	Ab. Umidade	Massa Esp.	Custo	Prop. Som	Res.ao atrito	Man. Ponteira
Pol. 10%	0,01901	0,08149	0,03222	0,04001	0,02089	0,05494	0,08104	0,01678
Pol. 15%	0,01326	0,09203	0,03875	0,03435	0,02089	0,04578	0,05673	0,01291
Epoxi 10%	0,06003	0,09203	0,01916	0,04152	0,03432	0,11903	0,09724	0,0142
Epoxi 15%	0,05966	0,10256	0,01023	0,03397	0,03432	0,09156	0,07293	0,01033
ABS	0,10765	0,12364	0,00871	0,03586	0,09549	0,10072	0,05673	0,00387

Fonte: Autor(2018)

A seguir estão os valores das soluções ideais e anti-ideais conforme o objetivo de cada critério da matriz decisão.

Tabela 11. Soluções ideais e anti-ideais

Material	Res. Tração	Res. Impacto	Ab. Umidade	Massa Esp.	Custo	Prop. Som	Res.ao atrito	Man. Ponteira
Objetivo	+	+	-	+	-	+	-	+
D+	0,10765	0,12364	0,00871	0,04152	0,02089	0,11903	0,05673	0,01678
D-	0,01326	0,08149	0,03875	0,03397	0,09549	0,04578	0,09724	0,00387

Fonte: Autor(2018)

Cálculo das distâncias d+ e d- (tabelas 12 e 13):

Tabela 12.Cálculo das distâncias d+

Material	Res. Tração	Res. Impacto	Ab. Umidade	Massa Esp.	Custo	Prop. Som	Res.ao atrito	Man. Ponteira	d+
Pol. 10%	0,00786	1,77653E-03	0,00055	2,3E-06	0	0,00411	0,00059	0	0,122016
Pol. 15%	0,00891	9,99300E-04	0,0009	5,1E-05	0	0,00537	1,9E-34	1,5E-05	0,127448
Epoxi 10%	0,00227	9,99300E-04	0,00011	0	0,00018	0	0,00164	6,7E-06	0,072144
Epoxi 15%	0,0023	4,44134E-04	2,3E-06	5,7E-05	0,00018	0,00075	0,00026	4,2E-05	0,063604

ABS	0	0,00000E+00	0	3,2E-05	0,00557	0,00034	0	0,00017	0,078097
-----	---	-------------	---	---------	---------	---------	---	---------	-----------------

Fonte: Autor(2018)

Tabela 13.Cálculo das distâncias d-

Material	Res. Tração	Res. Impacto	Ab. Umidade	Massa Esp.	Custo	Prop. Som	Res.ao atrito	Man. Ponteira	d-
Pol. 10%	3,3E-05	0	4,3E-05	3,6E-05	0,00557	8,4E-05	0,00026	0,00017	0,078679
Pol. 15%	0	0,000111033	0	1,4E-07	0,00557	0	0,00164	8,2E-05	0,086021
Epoxi 10%	0,00219	0,000111033	0,00038	5,7E-05	0,00374	0,00537	0	0,00011	0,109331
Epoxi 15%	0,00215	0,000444134	0,00081	0	0,00374	0,0021	0,00059	4,2E-05	0,099403
ABS	0,00891	0,001776534	0,0009	3,6E-06	0	0,00302	0,00164	0	0,127482

Fonte: Autor(2018)

Por fim, o resultado das medidas de proximidade dos processos e ranking final dos critérios.

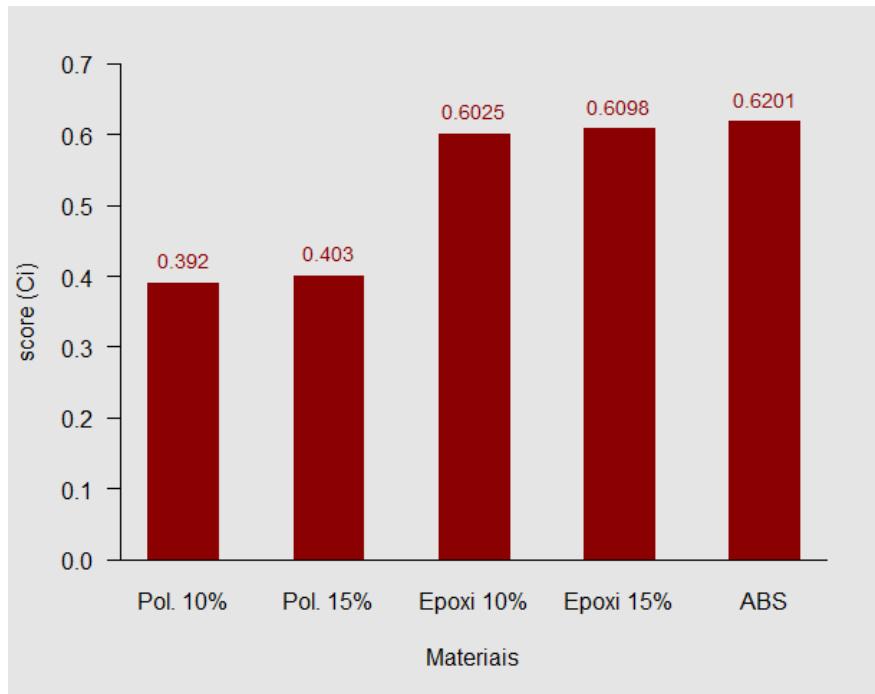
Tabela 14.Medidas de proximidade dos processos e ranking final

Material	d+	d-	ci	RANKING
Pol. 10%	0,12202	0,078679296	0,39203	5º
Pol. 15%	0,12745	0,086021371	0,40297	4º
Epoxi 10%	0,07214	0,109331076	0,60246	3º
Epoxi 15%	0,0636	0,099402787	0,60981	2º
ABS	0,0781	0,127482219	0,62011	1º

Fonte: Autor(2018)

Os resultados da tabela 14 revelaram que a ponteira de material ABS, fabricada na impressora 3D, apresentou um desempenho superior em relação às outras ponteiras de compósitos, por ter sido melhor justamente nos critérios de maiores pesos e inferior nos critérios com os pesos menos relevantes, como a manutenção e troca da ponteira.

Gráfico 6.Ranking final da avaliação multicritério



Fonte: Autor(2018)

O gráfico 6 demonstra os escores de cada material calculado pelo TOPSIS com o resultado do objetivo deste trabalho que é a seleção do material ideal para a ponteira de deficientes visuais, a ponteira de ABS foi a selecionada com o escore de 0,6201. Bem aproximado ficaram as ponteiras de resina epóxi com as porcentagens de 10% e 15% de borracha, enquadrando-se em segundo e terceiro lugares.

5 CONCLUSÕES

Os resultados deste trabalho indicaram que o melhor material para a ponteira desmontável de deficientes visuais, entre os cinco propostos, é a de ABS fabricada na impressora 3D. Foi o material selecionado mais ideal conforme as importâncias relativas da aplicação.

A ferramenta multicritério TOPSIS foi satisfatória para a análise e demonstrou ser simples e capaz de considerar facilmente um bom número de atributos quantitativos e qualitativos, utilizando recursos computacionais básicos, como planilhas eletrônicas, constituindo-se assim um instrumento de apoio promissor na seleção de materiais.

Na aplicação, foi possível mensurar através da pesquisa de campo com os deficientes, os atributos de satisfação qualitativos, como a propagação do som, a resistência ao atrito e a manutenção da ponteira, aspectos esses que normalmente

ficam a margem de uma avaliação, por serem, em decorrência de sua natureza subjetiva, de difícil mensuração.

Através dos ensaios mecânicos e físicos foi permitido analisar as propriedades dos materiais propostos e evidenciar algumas propostas para trabalhos futuros.

O presente trabalho trouxe uma grande contribuição para a área de materiais compósitos, pois apesar de uma análise ainda embrionária, permitiu o aprimoramento na pesquisa de desenvolvimento de produtos de tecnologia assistiva, trazendo um público alvo de extrema necessidade e relevância.

O desenvolvimento deste projeto trouxe ainda a iniciativa ambiental, com a reutilização de resíduos de borracha de pneus inservíveis, gerando uma diminuição no custo da matéria prima e também colaborando com o meio ambiente, encontrando-se uma aplicação para a grande quantidade de borracha descartada provenientes de pneus usados. Com o aproveitamento, foram reduzidos os problemas ambientais e de saúde pública, como proposta de reuso de materiais que seriam descartados em aterros sanitários proliferando doenças.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como as propriedades mecânicas dos materiais compósitos apresentados sofreram uma relevante redução na resistência poderia ser avaliado as propriedades mecânicas e físicas dos compósitos com uma proporção menor de resíduo de borracha (5%);

Outro resultado pode ser alcançado na avaliação das propriedades mecânicas e físicas do ABS impressas na direção vertical, onde as linhas dos filamentos dos materiais seriam divergentes dos utilizados neste trabalho e com melhores resultados.

Outra sugestão para trabalhos futuros seria utilizar outra ferramenta multicritério para a avaliação dos novos materiais propostos.

De acordo com as avaliações práticas dos deficientes uma característica identificada nos materiais foi o desgaste das ponteiras, por isso poderá ser analisado o comportamento da propriedade de desgaste das ponteiras através do ensaio mecânico de desgaste ou abrasão.

Além da proposta de um novo design para as ponteiras em estudo devido ao modelo convencional utilizado ser considerado frágil.

Figura 18.Novo design para ponteira



Fonte: Autor (2018)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, S. de. et al. **Agregação de pontos de vista de stakeholders utilizando o Value-Focused Thinking associado à mapeamento cognitivo.** Production, v. 24, n. 1, p. 144-159, jan./mar. 2014. Epub July 02, 2013. ISSN 0103-6513. Disponível em:<<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-65132013005000037>>. Acesso em: 20 jul. 2018.
- ALVES.F.A.S.A. et al. **Bengala inteligente neural baseada em aprendizagem por reforços para deficientes visuais.** Laboratório de robótica e inteligência artificial. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. 2014. Belo Horizonte, Brasil. Disponível em: <http://www.lbd.dcc.ufmg.br/colecoes/eniac/2014/0071.pdf>. Acesso em: 08 nov. 17.
- ARAÚJO, A. G. de. et al. **Apoio à decisão na seleção de investimentos em petróleo e gás: uma aplicação utilizando o método PROMETHEE.** Gest. Prod., São Carlos, v. 16, n. 4, p. 534-543, out.-dez. 2009.
- ASTM D570-98(2010)e1, **Standard Test Method for Water Absorption of Plastics**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2010.
- ASTM D638-14, **Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014.
- BORTMAN. D. et al. **A Inclusão de pessoas com deficiência [livro eletrônico]: o papel de médicos do trabalho e outros profissionais de saúde e segurança.** [organização Marcia Bandini]. -- Curitiba, PR : ANAMT - Associação Nacional de Medicina do Trabalho, 2015. 4,6 Gb;PDF. Disponível em: http://www.anamt.org.br/site/upload_arquivos/arquivos_diversos_18520161439487055475.pdf. Acesso em: 22 jan. 18.
- BERSCH, R., 2005. **Introdução à Tecnologia Assistiva.** Disponível em:<http://www.cedionline.com.br/artigo_ta.html>. Acesso em 04 dez. 2007.
- CALLISTER Jr., W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução.** New York, EUA. LTC Editora S.A. 2000.
- CASTRO, A.J. **Resina Poliéster: Caracterização e estudo das condições de cura e propriedades mecânicas.** Trabalho do Curso de Química da UFSC. Florianópolis – SC, 2003. Disponível em:<<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/105241>>. Acesso em 15 jun. 2018.
- CERQUEIRA, J. B. **Bengala branca: símbolo de independência das pessoas cegas.** 2011. Disponível em: <<http://www.bengalalegal.com/bengala-branca>>. Acesso em: 27 jul. 2015.
- CORREA, A.C. et al. **Aplicação do TOPSIS e da entropia na análise do processo de infusão à vácuo para compósitos de fibras naturais.** In: 72º Congresso Anual da ABM – Encontro Nacional de estudantes de engenharia de metalúrgica, de materiais e de minas. São Paulo. 2017. **Anais eletrônicos...** São Paulo. Disponível

em: <<https://abmproceedings.com.br/ptbr/event/abm-week-2017/articles>>. Acesso em: 09 ago.2018.

CORREA, A.C. et al.**Pesos de atributos com base em orientações para comparação de processos de soldagem em aço inoxidável.** In: 72º Congresso Anual da ABM – Encontro Nacional de estudantes de engenharia de metalúrgica, de materiais e de minas. São Paulo. 2017. **Anais eletrônicos...** São Paulo. Disponível em: <<https://abmproceedings.com.br/ptbr/event/abm-week-2017/articles>>. Acesso em: 09 ago.2018.

CORREA, A.C. et al.**Métodos Multi-atributos: aplicação do COPRAS na seleção de filamentos para produção de maquete em impressora 3D.** 2018. Disponível em: <<http://gmga.com.br/11-metodos-multi-atributos-aplicacao-do-copras-na-selecao-de-filamentos-para-producao-de-maquete-em-impressora-3d/>>. Acesso em: 15 mai.2018.

COSTA, L.S.; DUARTE JUNIOR, A.M. **Uma Metodologia para a pré- seleção de ações utilizando o método multicritério TOPSIS.** In: XLVSBPO. Simposio Brasileiro de Pesquisa Operacional.518-529. Natal-RN.2013. Anais eletrônico... Natal. Disponível em: <<http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2013/pdf/arq0123.pdf>>. Acesso em: 09 jun. 2018.

DOMINGUES, C. A. et al.**A Educação Especial na Perspectiva da Inclusão Escolar: os alunos com deficiência visual: baixa visão e cegueira** - Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Especial, Universidade Federal do Ceará.2010. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=7105-fasciculo-3-pdf&Itemid=30192> Acesso em: 06 mar.2018.

FARIAS, A. P. da S. et al. **Modelode Sistema de Informação e Decisão para Intervenções de Reabilitação em Redes de Distribuição de Água.** RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 18. n.2 –Abr/Jun 2013,55 - 65

FLORIOS, D. **Pneus velhos: 8 formas para reciclar.** 2016. Disponível em:<<https://www.greenme.com.br/consumir/reutilizacao-e-reciclagem/1300-8-formas-reciclar-pneus-velhos>>. Acesso em: 18. dez.2017.

GALVÃO FILHO, T.A. **A tecnologia assistiva: de que se trata?** In: MACHADO,G.j.c; SOBRAL, M.N. (Orgs.). Conexões: educação, comunicação, inclusão e interculturalidade.1 ed. Porto Alegre: Redes Editora, p. 207-235, 2009.

GARCIA, A. et al.**Ensaios dos Materiais.** Rio de Janeiro: LTC, 2008.

GARCIA, J. C. D. et al.**A Inovação em Tecnologia Assistiva No Brasil: Possibilidades E Limites.**In: I Simpósio Internacional de Estudos sobre a Deficiência. São Paulo, 2013. Disponível em: <http://www.memorialdainclusao.sp.gov.br/ebook/Textos/Jesus_Carlos_Delgado_Garcia.pdf> Acesso em: 23 abr. 2017.

GIL, M. (org.) **Deficiência Visual** – Cardernos da TV escola. Brasília: Ministério da edycão. Secretaria de educação à distância, 2000.

GOMES, C. F. S.; COSTA, H. G. **Abordagem estratégica para a seleção de sistemas ERP utilizando apoio multicritério à decisão.** Revista Produção Online, Florianópolis, SC, v.13, n.3, p. 1060-1088, jul./set. 2013. Disponível em: <<https://producaoonline.org.br/rpo/article/view/1385>> Acesso em: 08 mar. 2018.

GOMES, L. F.; GOMES, C. F. S.; **Tomada de Decisão Gerencial: um enfoque multicritério.** 5. ed. São Paulo: Atlas, 2014.

GONÇALVES, V. **Usina de Reciclagem de Pneus.** Disponível em: <<http://www.novonegocio.com.br/ideias-de-negocios/usina-de-reciclagem-de-pneus/>>. Acesso em: 14 abr 2016.

HOFFMANN, S. B; SEEWALD, R. **Caminhar sem Medo e sem Mito: Orientação e Mobilidade.** 2003. Disponível em: <<http://www.bengalalegal.com>>. Acesso em 28 jul. 2015.

HOLLOWAY, L. **Materials selection for optimal environmental impact in mechanical design.** Materials& Design, 19(4): 133-143. 1998.

JASTRZEBSKI, Z. D. **The Nature and Properties of Engineering Materials.** New York, EUA, John Wiley & Sons, Inc. 1987.

LEVY NETO, F.; PARDINI, L. C. **Compósitos estruturais: ciência e tecnologia.** São Paulo: Edgar Blucher, 2006.

LIMA JÚNIOR, U.M. **Fibras da semente do açaizeiro (euterpe oleracea mart.): Avaliação quanto ao uso como reforço de compósito fibrocimentício.** Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em engenharia e tecnologia de materiais. Porto Alegre.2007.

LUGLI, D. et.al. **Bengala customizável para mulheres com deficiência visual.** Design e Tecnologia 12. PGDESIGN. Universidade Federal do Rio grande do Sul. 2016.

MARINUCCI, G. **Materiais Compósitos Poliméricos.** Fundamentos e Tecnologia. São Paulo: Editora ArtliberLtda, 2011.

MORAIS D.C.; ALMEIDA E.T. **Avaliação Multicritério para adequação de sistemas de redução de perdas de água.** In: XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Curitiba.23 a 25 de outubro de 2002. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGET2002_TR62_0599.pdf> Acesso em: 12 fev.2018.

REGIS, T.M. **Desenvolvimento e caracterização de compósitos híbridos a partir de polipropileno reciclado, resíduo de borracha de pneu e carbonato de cálcio.** Universidade Presbiteriana Mackenzie. Dissertação de Mestrado profissional de engenharia de materiais, São Paulo, 2011.

RODRIGUES, M.R.P.; FERREIRA, O.P. **Caracterização de compósitos produzidos com borracha de pneus e resina poliuretana.** REVISTA Alberoamericana de polímeros. Vol.11, setembro, 2010.

ROSA, D. et al. Revista Brasileira de aplicações de vácuo. **Avaliação da granulometria na incorporação de pneu pós-consumo em compósitos de concreto,** v.26, n.2, 2007. Disponível em:<<http://www.sbvacuo.org.br/rbav/index.php/rbav/article/view/28>>. Acesso em: 11 abr.2016.

ROSA, P.R.M. **Bengala de apoio a cegos com detecção de buracos.** Dissertação de mestrado. Universidade de Avenco. Departamento de Electronica, telecomunicações e informática. 2009.

SAATY T.L. **The Analytic Hierarchy Process: planning, priority, setting and resource Allocation.** EUA: McGraw-Hill, Inc., 287 p. 1980.

SAMARTINI, A.L.S. **Comparação entre métodos de mensuração da importância de atributos em produtos e serviços.** Fundação Getulio Vargas. Escola de Administração de empresas de São Paulo, 2009.

SANTOS, A.C.N. et al. **Desenvolvimento de parte substituível (ponteira) de bengala branca para deficientes visuais por prototipagem 3D.** In: II Simposio do curso de pedagogia. IFPA Belém. 2016. Disponível em: <<http://eventos.ifpa.edu.br/index.php/siped2016/meib2017/search/authors/view?firstName=Yancarlo%20Pinheiro&middleName=&lastName=Ramos&affiliation=&country=>> Acesso em: 25 out.2017.

SANTOS. J.P. et al. **Uma avaliação da bengala eletrônica (tecnologia assistiva), para melhoria de mobilidade dos deficientes visuais.** 2012. In: IX SEGET Simpócio de excelência em gestão e tecnologia. Disponível em: <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos12/6616490.pdf> Acesso em: 03 jun.2018.

SHANIAN, A.; O. SAVADOGO. "TOPSIS multiple-criteria decision support analysis for material selection of metallic bipolar plates for polymer electrolyte fuel cell." *Journal of Power Sources* 159.2 (2006): 1095-1104.

SCHWARTZ, M. M. **Composite Materials Handbook.** New York, EUA,.McGraw-Hill, Inc. 1984.

TAVARES, M.C. **Análise multicritério aplicada à tomada de decisão do modo de transporte de produtos farmacêuticos termossensíveis importado ao mercado brasileiro.** Dissertação de mestrado do Programa de pós-graduação de engenharia de transporte, COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro.2015.

APÊNDICE – A

QUESTIONÁRIO DO USUÁRIO		
		
NOME	() FEM () MASC	
IDADE		
TIPO/GRAU DEFICIÊNCIA		
1	PERGUNTAS REFERENTE À DEFICIÊNCIA	
A)	Já nasceu com a deficiência VISUAL?	() Sim () Não
B)	Tem experiência com a bengala convencional?	() Sim () Não
C)	Costuma caminhar sozinho pela rua?	() Sim () Não
2	PERGUNTAS REFERENTES A BENGALA	
A)	Qual o valor da bengala que está utilizando?	R\$ _____
B)	Qual a sua freqüência de uso da bengala?	() Diário () 1x semana () 2x semana () _____
C)	Qual o tempo médio de durabilidade de uma ponteira?	() 1 mês () 2 meses () 3 meses () _____
3	Avaliação da propagação do som. Numere a ordem de classificação.	
P1	()	
P2	()	
E1	()	
E2	()	
ABS	()	
4	Avaliação da resistência quanto ao atrito. Numere a ordem de classificação.	
P1	()	
P2	()	
E1	()	
E2	()	
ABS	()	
5	Avaliação quanto à troca da ponteira. Numere a ordem de classificação.	
P1	()	
P2	()	
E1	()	
E2	()	
ABS	()	