

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PROJETO E PROCESSOS DE
FABRICAÇÃO - MESTRADO PROFISSIONAL

SELEÇÃO DE MATERIAIS NO PROJETO DE MÁQUINAS
AGRÍCOLAS

por

Samuel Scheleski

Passo Fundo

2014

Samuel Scheleski

**SELEÇÃO DE MATERIAIS NO PROJETO DE MÁQUINAS
AGRÍCOLAS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, da Faculdade de Engenharia e Arquitetura, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de Mestre em Projeto e Processos de Fabricação, sob orientação do Prof. Dr. Vagner Alves Guimarães.

Passo Fundo

2014

Samuel Scheleski

**SELEÇÃO DE MATERIAIS NO PROJETO DE MÁQUINAS
AGRÍCOLAS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, da Faculdade de Engenharia e Arquitetura, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de Mestre em Projeto e Processos de Fabricação, sob a orientação do Prof. Dr. Vagner Alves Guimarães.

Data de aprovação: 23 de setembro de 2014

Os componentes da banca examinadora abaixo aprovaram a dissertação:

Prof. Dr. Vagner Alves Guimarães FEAR / UPF
Orientador

Prof. Dr. Charles Leonardo Israel FEAR / UPF

Prof. Dr. José Antônio Portella FEAR / UPF

Prof. Dr. Wilson Kindlein Junior DEMAT / UFRGS

AGRADECIMENTO

O presente trabalho foi viabilizado mediante a colaboração de diversas pessoas. Deste modo é indispensável agradecer: ao Professor Vagner Alves Guimarães, por orientar este trabalho, pela amizade, confiança e incentivo na realização de mais essa etapa; aos Professores Wu Xiau Bing, Alexandre Lazaretti Zanatta, Wilson Kindlein Junior e Yuri Walter pelas cruciais contribuições a este trabalho. Ao Sr. Roberto Otaviano Rossato, Diretor Presidente da empresa Semeato, pelas grandes contribuições ao trabalho. Aos Professores Charles Leonardo Israel, José Antônio Portella e ao estagiário Victor de Col Poltronieri, por terem contribuído de forma a engrandecer esse trabalho; e a minha família, pela amizade e apoio em mais este desafio.

Muito Obrigado!

RESUMO

Baseado na necessidade de sistematizar a seleção de materiais, foram desenvolvidos diversos métodos e ferramentas, todos com méritos e limitações. O objetivo geral deste trabalho é selecionar e aplicar metodologias de seleção de materiais no projeto de máquinas e implementos agrícolas. Para tanto, foram realizados: um detalhado estudo sobre o desenvolvimento desse setor da indústria; a detecção dos seus requerimentos; a análise e escolha dos métodos e ferramentas de seleção de materiais quanto a sua aplicação na indústria de máquinas e implementos agrícolas e o desenvolvimento de um estudo de caso. Baseado nos procedimentos realizados, pode-se chegar às seguintes conclusões: (1) a metodologia Ashby de seleção de materiais foi selecionada, pois incentiva os projetistas a considerar a ampla gama de oportunidades de inovação que os materiais de engenharia proporcionam. A aplicação dessa metodologia requer a utilização de ferramentas e procedimentos de apoio; (2) o desenvolvimento de um sistema informatizado para seleção de materiais voltado para o setor mostrou-se inviável nas condições estabelecidas nesse trabalho; (3) o software CES se mostrou como uma boa opção de ferramenta de auxílio para a aplicação da metodologia selecionada; (4) os procedimentos de triagem por síntese e similaridade se mostraram importantes para expandir a visão de projetistas, mas carecem de melhores ferramentas que as disponíveis atualmente para o setor de máquinas e implementos agrícolas e (5) a metodologia de seleção de materiais escolhida nesse trabalho pode ser um dos principais fatores para a inovação tecnológica no setor, pois proporciona uma visualização dos procedimentos adotados em outros setores da indústria e capacita as empresas no domínio de tecnologias a serem implantadas em projetos futuros.

Palavras-chave: Seleção de Materiais. Máquinas e Implementos Agrícolas. Inovação Tecnológica.

ABSTRACT

Based on the need to systematize the selection of materials, various methods and tools, all with merits and limitations were developed. The general objective of this work is to select and apply methodologies for selecting materials in the design of agricultural machinery and implements. For this, were performed: a detailed study of the development of this sector of the industry; detection of their requirements; analysis and choice of materials selection methods and tools for their application of agricultural machinery and implements industry, and the development of a case study. Based on the procedures performed, the following conclusions can be reached: (1) the Ashby materials selection methodology was selected because it encourages designers to consider the wide range of innovation opportunities that engineering materials provide. The application of this methodology requires the use of support tools and procedures; (2) the development of a computerized system for selection of materials for the industry proved to be unfeasible under the conditions established in this work; (3) the CES software proved as a good choice of tool to aid the implementation of the selected methodology; (4) the sorting procedures by synthesis and similarity proved to be important to expand the vision of the designers, but better tools than those currently available to the sector of agricultural machinery and implements are needed, and (5) the materials selection methodology chosen by this work can be a major factor for technological innovation in the industry, because it provides a preview of the procedures adopted in other industry sectors and enables companies to master technologies to be implemented in future projects.

Keywords: Materials Selection. Agricultural Machinery and Implements. Technological Innovation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Máquina agrícola conceito ANTS	19
Figura 2 - Fluxograma de projeto	23
Figura 3 - O afinilamento do processo de seleção de materiais.....	26
Figura 4 - O projeto e a seleção de materiais	28
Figura 5 - Evolução dos materiais de engenharia ao longo do tempo	34
Figura 6 - O biplano de Wright, o Douglas DC3 e o Boeing 787 Dreamliner.....	36
Figura 7 - Características dos materiais.....	38
Figura 8 - Interdependência entre componentes dos materiais de engenharia	39
Figura 9 - Amostras de óxido de alumínio	40
Figura 10 - As famílias dos materiais de engenharia	43
Figura 11 - Etapas do método de Ashby para seleção de materiais.....	47
Figura 12 - Fluxograma para aplicação da síntese.....	51
Figura 13 - Caminho de seleção de materiais combinando procedimentos	54
Figura 14 - Estrutura de triagem	66
Figura 15 - Colhedoras de grãos	68
Figura 16 - Carenagem lateral de uma colhedora John Deere	69
Figura 17 - Painel com imagens de produtos relacionados aos atributos.....	72
Figura 18 - Fontes de inspiração.	73
Figura 19 - Colhedora Case Axial – Flow.....	76
Figura 20 - Projeto carenagem Case Axial - Flow	77
Figura 21 - MPM Densidade versus Módulo de Elasticidade	79
Figura 22 - MPM Densidade <i>versus</i> Módulo de Elasticidade com materiais triados	81
Figura 23 - Gráfico do custo	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades básicas dos materiais que limitam o projeto	41
Tabela 2 - Função, restrições e variáveis livres	48
Tabela 3 - Rol das Percepções	50
Tabela 4 - Guia de tradução	64
Tabela 5 - Guia de Triagem para a carenagem	70
Tabela 6 - Rol de Percepções para a carenagem.....	71
Tabela 7 - Materiais e processos triados por síntese	72
Tabela 8 - Materiais e processos tradicionalmente utilizados na carenagem	75
Tabela 9 - Dados de interesse para os materiais tradicionais.....	78
Tabela 10 - Dados de interesse para os candidatos potenciais	87

LISTA DE SIGLAS

ABS	Acrilonitrila-butadieno-estireno
AISI	American Society of Materials
CA	Acetato de Celulose
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CAE	<i>Computer Aided Engineering</i>
CES	Cambridge Engineering Selector
CFRP	<i>Carbon Fiber Reinforced Polymer</i>
GFRP	<i>Glass Fiber Reinforced Polymer</i>
HTML	<i>Hyper Text Markup Language</i>
IM	Índice de Mérito
LdSM	Laboratório de Design e Seleção de Materiais
MatWeb	<i>Material Property Data</i>
MPM	Mapa de Propriedades dos Materiais
PC	Policarbonato
PE	Polietileno
PEEK	Poli-éter-éter-cetona
PET	Politereftalato de etileno
PHP	<i>Personal Home Page</i>
POM	Polilenoioóxido de Metileno
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
PVC	Policloreto de Vinila
RTM	<i>Resin Transfer Moulding</i>
SMC	<i>Sheet moulding compound</i>
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	11
1.2	OBJETIVOS	12
1.3	JUSTIFICATIVA	13
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1	MÁQUINAS E IMPLEMENTOS AGRÍCOLAS	15
2.1.1	Histórico	15
2.1.2	Indústria de Máquinas e Implementos Agrícolas no Brasil	16
2.1.3	Evolução e Tendências de Mercado	17
2.1.4	Desafios Para a Inovação	19
2.2	PROCESSO DE PROJETO	20
2.2.1	Conceito	21
2.2.2	Etapas do Projeto	22
2.2.3	Projeto Industrial e Projeto Mecânico	25
2.2.4	Processo de Projeto e Seleção de Materiais	26
2.3	SELEÇÃO DE MATERIAIS	28
2.3.1	Importância e Complexidade	29
2.3.2	Requisitos Para a Seleção de Materiais	31
2.3.3	A Evolução dos Materiais e Produtos de Engenharia	32
2.4	CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS DE ENGENHARIA	37
2.4.1	Propriedades Técnicas	39
2.4.2	Características Subjetivas	42
2.4.3	Famílias e Classes dos Materiais	42
2.5	METODOLOGIA DE SELEÇÃO DE MATERIAIS	45
2.5.1	Tradução	47
2.5.2	Triagem	48
2.5.3	Combinação de Métodos de Triagem	52
2.5.4	Classificação	55
2.5.5	Documentação	55
2.6	FERRAMENTAS PARA SELEÇÃO DE MATERIAIS	56
3	MATERIAIS E MÉTODOS	58
3.1	SELEÇÃO DE METODOLOGIAS E FERRAMENTAS	59
3.2	ESTUDO DE CASO	61
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
4.1	SELEÇÃO DE METODOLOGIA	62
4.2	SISTEMA DE INFORMAÇÃO SELETOR DE MATERIAIS	62
4.3	SELEÇÃO DE FERRAMENTAS E PROCEDIMENTOS	63
4.3.1	Tradução	63
4.3.2	Triagem	64
4.3.3	Classificação	66
4.3.4	Documentação	67
4.4	ESTUDO DE CASO	67
4.4.1	Escolha e Apresentação do Componente	67
4.4.2	Seleção de Materiais Para Carenagem Lateral de Colhedora	69
5	CONCLUSÕES	89

6	SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS.....	90
	REFERÊNCIAS	91
	APÊNDICE A - Sistema de Informação Seletor de Materiais Baseado na Web	
	(SISMA 4Web).....	95

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Grande parte da economia brasileira se sustenta no agronegócio, que é o propulsor da indústria de máquinas e implementos agrícolas. Diante de um mercado globalizado, repleto de grupos multinacionais, e de uma demanda cada vez mais exigente, que busca incansavelmente por inovações tecnológicas para o aumento da produtividade e lucratividade, as indústrias desse setor têm enfrentado grandes dificuldades para se manterem competitivas.

Neste cenário, muitas empresas nacionais foram incorporadas a grupos multinacionais, algumas fecharam as portas e outras seguem lutando para sobreviver. Na luta para prosperar num mercado acirrado, muita atenção deve ser dada ao processo de projeto, que talvez seja a melhor maneira de uma empresa buscar subsídios para vencer e possuir diferenciais frente aos concorrentes.

A seleção de materiais, além de ser uma das tarefas mais importantes e complexas do processo de projeto, é um ponto fundamental para a inovação tecnológica e a manutenção da competitividade das empresas. No passado as máquinas e implementos agrícolas eram constituídas basicamente de aço e ferro fundido. No entanto esta situação tem mudado, atualmente pode-se afirmar que todas as famílias de materiais são utilizadas na sua fabricação. A cada dia surgem novos materiais e as opções disponíveis aos projetistas se expandem cada vez mais

O grande desafio dos projetistas é escolher, entre os milhares de materiais existentes, o mais adequado para cada aplicação. As indústrias de máquinas e implementos agrícolas são diversas e abrangem diferentes tipos de produtos: colhedoras, tratores, semeadoras, aviões agrícolas, pulverizadores, etc. Cada empresa, cada produto, possui suas particularidades, que geralmente acabam sendo decisivas para a escolha final do material e processo de fabricação.

Para se desenvolver um produto inovador a escolha do material não pode deixar de considerar a ampla gama de materiais que está disponível, aproveitando-se assim, das oportunidades de inovação que eles oferecem. Um exemplo disso são as grandes aeronaves de passageiros, que foram viabilizadas graças ao desenvolvimento das ligas

de alumínio, e, atualmente o desenvolvimento dos compósitos, que tem possibilitado o projeto de aeronaves mais espaçosas e que consomem menos combustível.

Na indústria de máquinas e implementos agrícolas destacam-se o emprego dos ferros fundidos nodulares, que gerou grandes reduções de custos, e agora, o dos polímeros e compósitos, que têm substituído materiais “tradicionais”, como o aço e ferro fundido, em diversas aplicações, principalmente quando se quer reduzir massa, aumentar a produtividade ou produzir superfícies complexas.

Muitos dos esforços da indústria de máquinas e implementos agrícolas têm sido dedicados à otimização dos requisitos técnicos dos produtos, um exemplo disso é a utilização de softwares de elementos finitos para corrigir componentes superdimensionados; diminuindo-se a espessuras de chapas, diâmetros de eixos etc. No entanto, em diversas ocasiões, estes produtos, que passam a ser corretamente dimensionados, acabam não tendo uma boa aceitação por parte dos usuários devido ao aspecto menos robusto. Percebe-se então, um grande problema gerado pela falta de integração entre projeto mecânico e projeto industrial.

Neste sentido, uma provável causa da falta de integração, entre projeto mecânico e projeto industrial, é o fato de que a seleção de materiais no projeto de máquinas e implementos agrícolas é, geralmente, conduzida exclusivamente por profissionais da área de engenharia, que acabam, muitas vezes, não dando o devido valor ao projeto estético dos produtos. Surge a necessidade de utilização de novos métodos e ferramentas que direcionem os projetistas a considerar os diversos fatores relevantes nessa tarefa.

A importância da seleção de materiais é proporcional a sua complexidade. Essa complexidade, gerada pela grande quantidade de informações e variáveis envolvidas, requer a utilização de ferramentas e métodos adequados, que utilizem recursos atuais, como os proporcionados pela informática.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é selecionar e aplicar metodologias de seleção de materiais no projeto de máquinas e implementos agrícolas.

Os objetivos específicos são:

- Avaliar os métodos existentes de seleção de materiais visando uma análise crítica.
- Verificar as variáveis envolvidas com a seleção de materiais de maneira a avaliar ferramentas existentes sobre o assunto quanto a sua adequação às necessidades do projeto de máquinas e implementos agrícolas.
- Testar as metodologias e ferramentas selecionadas na seleção de materiais de um componente típico de uma máquina agrícola.

1.3 JUSTIFICATIVA

Em diversas empresas de máquinas e implementos agrícolas a seleção de materiais ainda é feita, exclusivamente, com base na experiência ou análise de similares. Habitualmente projetistas experientes selecionam o material conforme o que já foi feito em projetos anteriores e projetistas novatos recorrem aos conselhos dos projetistas experientes. Quando não é utilizada a própria experiência utiliza-se a dos concorrentes que já estão no mercado, assim o material é escolhido tendo-se como base a análise de similares. É evidente que não se pode inovar ficando preso a experiências antigas ou produtos que já estão no mercado.

A falta de integração entre projeto mecânico e industrial também é um problema frequente nas empresas de máquinas e implementos agrícolas. Devido a tradições de algumas dessas empresas o projeto é conduzido de modo a considerar as características técnicas e negligenciar o projeto industrial.

Outro fato a ser considerado é a necessidade de buscar ferramentas informatizadas que além de facilitar e agilizar a seleção de materiais sejam capazes de se comunicar com outras ferramentas de projeto e outros setores da empresa. Essa comunicação direciona a uma concepção de projeto mais qualificada, que através da multidisciplinaridade de conhecimentos gera grandes diferenciais para o produto final.

Baseado na necessidade de sistematizar a seleção de materiais, foram desenvolvidos diversos métodos e ferramentas, todos com méritos e limitações. Esses métodos são aplicáveis e se adequam com melhores resultados a determinados setores da indústria. A escolha e adaptação dos melhores procedimentos, dentre os existentes, é um tema de grande importância e pode contribuir para a inovação tecnológica do setor de máquinas e implementos agrícolas.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Além deste capítulo, onde se apresentam as considerações iniciais, a justificativa e os objetivos gerais e específicos, o presente trabalho é composto por mais quatro capítulos. No capítulo 2 será apresentada uma revisão da literatura, abordando primeiramente as máquinas e implementos agrícolas com foco no projeto mecânico, a evolução dos materiais e produtos de engenharia, a seleção de materiais no projeto mecânico, as estratégias para a seleção de materiais e a utilização e tendências de utilização de materiais em máquinas agrícolas. O capítulo 3 apresenta os procedimentos adotados para seleção das metodologias e ferramentas de seleção de materiais mais adequadas para o projeto de máquinas e implementos agrícolas e os procedimentos adotados para a aplicação dessas metodologia e ferramentas em um estudo de caso representativo do setor industrial em foco nesse trabalho. O capítulo 4 apresenta os resultados obtidos e as etapas do estudo de caso desenvolvido. O capítulo 5 apresenta as conclusões e finalmente, o capítulo 6 apresenta sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MÁQUINAS E IMPLEMENTOS AGRÍCOLAS

2.1.1 Histórico

O aumento populacional e a conseqüente maior demanda por alimentos, fez o homem abandonar a vida nômade, em que era dependente do ambiente e passar a ter um maior domínio da natureza, produzindo seus próprios alimentos através da agricultura. “A luta do homem na rude lida do campo e na busca da produtividade agrícola vem desde 8.000 anos antes de Cristo, quando desenvolve técnicas e cria seus primeiros instrumentos com paus e pedras” (ANFAVEA, 2006). Desde então as práticas e métodos de produção agrícola evoluíram muito. Hoje o desenvolvimento das máquinas e implementos agrícolas transformou completamente o rumo da produção agrícola no mundo.

Segundo Vian e Andrade (2010) a necessidade de envolvimento de mão-de-obra na agricultura diminuiu drasticamente, o desenvolvimento das máquinas e implementos agrícolas levaram à substituição do homem e possibilitou o acesso a novas práticas de produção na agricultura. Assim, é possível afirmar que o desenvolvimento das máquinas e implementos agrícolas gerou grandes aumentos de produtividade e lucratividade no agronegócio.

Para Fonseca (1990) apud Vian e Andrade (2010) a mecanização agrícola teve seu início no continente Europeu e foi a partir do desenvolvimento das semeadoras que teve um grande impulso.

Ainda de acordo com Vian e Andrade (2010), os arados de madeira e ferro fundido produzidos na Europa não se adaptavam ao solo da pradaria norte americana, pois não deslizavam e abriam os sulcos de forma inadequada. Assim, em 1837 no estado de Illinois (EUA), o ferreiro John Deere desenvolveu um arado de aço polido, que se adaptou perfeitamente ao solo de pradaria.

“Em 1837, John Deere, ferreiro e inventor, tinha pouco mais do que uma forja, um pedaço de aço polido que tinha sido jogado fora e uma ideia que viria ajudar os agricultores, alterando para sempre o rosto da agricultura” (DEERE, 2014). Partindo de uma inovação, viabilizada pela seleção de um novo material, o ferreiro John Deere se

transformou no criador da Deere & Company, que hoje tem atuação global e é, junto com CNH e AGCO, um dos maiores fabricantes de máquinas e implementos agrícolas do mundo.

2.1.2 Indústria de Máquinas e Implementos Agrícolas no Brasil

Segundo Anfavea (2006) e Castilhos et al (2008), o desenvolvimento da indústria de máquinas e implementos agrícolas no Brasil tem como seu marco referencial a década de 20 do século XX, quando o governo autorizou as operações da Ford. A partir de então se ergueram no País inúmeras empresas nacionais e multinacionais. A expansão dessas indústrias foi alavancada pela onda de investimentos após a segunda guerra mundial.

Porém, segundo Castilhos et al (2008), nos anos 70 iniciou o movimento de concentração da indústria de máquinas e implementos agrícolas, que se reduziram a poucas, quase todas multinacionais. Hoje devido a um expressivo processo de fusões e aquisições dos grandes grupos, a indústria de máquinas e implementos agrícolas está reduzida a um menor número de empresas de grande porte, como AGCO, John Deere e CNH.

De acordo com Vian e Andrade (2010), no início do século os principais motivos que levaram as indústrias de máquinas e implementos agrícolas a se unir foram aumentar o poder de monopólio/oligopólio e o valor da empresa. Já atualmente, o foco das fusões e aquisições passou a ser as economias de escala e escopo, ganhos em pesquisa e desenvolvimento e marketing.

Um fato relevante a ser citado, é que a concentração da indústria de máquinas e implementos agrícolas em grandes grupos acarretou na adoção de uma política de desverticalização da produção. Assim, segundo Castilhos et al (2008) a concentração econômica trouxe consigo a desconcentração técnica, os grandes grupos focaram suas atividades nas partes mais lucrativas da cadeia produtiva, o que estimulou a criação de inúmeras outras empresas para exercer atividades de apoio.

Ainda segundo Castilhos et al (2008), existem empresas nacionais fabricantes de máquinas e implementos agrícolas, de médio e grande porte, que não foram absorvidas pelas grandes multinacionais e sofrem dificuldades para manter suas fatias de mercados, principalmente em função das atuais condições de financiamento, mais favoráveis aos

grandes grupos que possuem seus próprios bancos e financeiras. Para o autor, a manutenção dessas empresas é fundamental para o complemento da geração de empregos no País. Neste sentido, políticas públicas ou a adoção de estratégias associativas, como consórcios de compra de componentes e de exportação, seriam segundo os autores, estratégias para mantê-las competitivas.

2.1.3 Evolução e Tendências de Mercado

Desde o seu surgimento, as máquinas e implementos agrícolas tem evoluído muito. De acordo com Martensen (2006), o desenvolvimento desses produtos progrediu de forma extremamente rápida durante nas últimas décadas. Para o autor, os marcos mais importantes dessa evolução, são os seguintes.

- Combinação de várias etapas do processo em uma única máquina;
- Unidades e controles hidráulicos;
- Controles eletrônicos;
- Extremo aumento no desempenho individual das máquinas.

As inovações obtidas em máquinas e implementos agrícolas nas últimas décadas foram possíveis, em grande parte, graças a evolução dos materiais de engenharia. Em um tempo não tão distante a típica máquina agrícola era construída exclusivamente de aço e ferro fundido cinzento. Porém, de acordo com Martensen (2006) isso vem mudando consideravelmente. Segundo o autor as razões para o uso de diferentes materiais nas máquinas e implementos agrícolas atuais são:

- A maior carga sobre os componentes devido ao aumento do desempenho;
- Em alguns casos o projeto com peso leve é imperativo por conta de normas legais e para evitar a compactação do solo;
- Requerimento de maior resistência devido às cargas mais elevadas em componentes e capacidades superiores;
- Aumento da demanda no tempo de vida das máquinas e implementos agrícolas modernas;
- Aumento da demanda de *design* e ergonomia das máquinas.

Os contínuos esforços das indústrias de máquinas e implementos agrícolas para a redução de massa em função da menor compactação do solo também são citados por Alves et al (2009). Segundo eles, a introdução de materiais leves (plásticos, compósitos, ligas de alumínio) em substituição de materiais tradicionais como o aço é uma realidade neste setor. Para os autores, todas as famílias de materiais de engenharia são utilizadas na construção das máquinas e implementos agrícolas atuais. Dentro disso, os materiais compósitos, leves e de alta performance, vem se destacando como importantes aliados no aumento da eficiência e na redução da massa destas máquinas.

Alves et al (2009) ainda citam o exemplo do painel de comando de um pulverizador da empresa Jacto, que é feito com o compósito GFRB (polímero reforçado com fibra de vidro). Segundo ele, a utilização da GFRB na construção deste painel, que antes era feito de aço, teve os seguintes benefícios: otimização do *design*, maior produtividade, menor custo e melhor eficiência ambiental. Apesar do GFRP não ser reciclável, como é o aço, ele produz peças mais leves que acarretam em um menor consumo de combustível.

Baseado no que tem sido apresentado nas grandes feiras de máquinas e implementos agrícolas, Tipa (2013) e Zerbinati (2011) relatam que uma grande tendência é o aumento da potência e tamanho. O gerente da Massey Ferguson, Leonel Oliveira, em entrevista para Tipa (2013) relata que “o agricultor quer tirar o máximo da produtividade que tem, dessa forma está investindo em tecnologia e aumentando a faixa de potência dos tratores e colhedoras. Quem tinha trator de 100 CV, hoje, está buscando algo acima de 130 CV”. Além disso Oliveira afirma que a falta de mão de obra no campo está forçando a mecanização. Neste sentido, pode-se afirmar que o desenvolvimento de novas tecnologias é uma grande necessidade para a indústria de máquinas e implementos agrícolas, pois além dos anseios por maior produtividade e lucratividade, os agricultores necessitam de máquinas que diminuam os requerimentos de mão de obra.

De acordo com Zerbinati (2011) a abertura de áreas em regiões com potencial produtivo e com a incerteza do clima, podem reduzir a janela operacional e fazem com que o produtor precise de um conjunto máquina-implemento com maior potencial operacional. Para o autor, o requerimento de maior potência nos tratores se deve ao aumento no tamanho dos implementos. Assim, evidencia-se que o maior tamanho e

consequente maior massa dos implementos gera a necessidade de tratores com maior potência.

Zerbinatti (2011) ainda relata que o aumento do tamanho das máquinas traz a desvantagem do aumento da compactação do solo. Neste sentido pode-se afirmar que a utilização de materiais leves, que possibilitem o projeto de máquinas maiores, porém não tão pesadas, é uma alternativa para amenizar tal desvantagem.

2.1.4 Desafios Para a Inovação

Elucidando as tendências de inovação é possível vislumbrar o futuro e se antecipar frente aos concorrentes. Deste modo, a eficiência ambiental é responsável por muitas das tendências de utilização de materiais no setor de máquinas e implementos agrícolas.

Além disso, no futuro uma maior população irá requerer máquinas agrícolas maiores e esse aumento de tamanho não pode acarretar em um aumento significativo na massa destas máquinas. A máquina agrícola conceito ANTS (figura 1) apresentada pela Valtra em 2010, vislumbra um futuro em que, segundo os seus idealizadores, a população mundial chegaria a 9 bilhões e as áreas agricultáveis seriam menores do que hoje.

O nome ANTS representa um jogo de letras que faz referência a série atual de tratores Valtra, e também é o plural de “*ant*” (formiga em inglês), pois as formigas conseguem levantar até 50 e puxar até 30 vezes o valor da sua massa, caracterizando o grande desafio para a inovação tecnológica das máquinas e implementos agrícolas, que é o de diminuir a massa e aumentar a capacidade.

Figura 1 - Máquina agrícola conceito ANTS



As recentes evoluções dos materiais de engenharia podem ser as grandes aliadas nesse desafio. Para isso existe uma tendência de substituição de materiais, que hoje são muito utilizados na construção máquinas e implementos agrícolas. Segundo Alves et al (2009) a utilização de compósitos com fibras de juta, que além de ser renovável é mais leve e barata do que a fibra de vidro, apresentando propriedades mecânicas compatíveis com a maioria das aplicações, se apresenta como um aliado para a redução da massa dessas máquinas. Com isso se conseguirá um ganho ainda maior na eficiência ambiental. Os autores realizaram um estudo em que chegaram à conclusão de que a substituição da fibra de vidro por fibra de juta (fibra vegetal), gera uma economia de 165 litros de combustível para a expectativa de vida de 200.000 km de um determinado pulverizador. Porém, é necessário salientar, que segundo Ferrante e Walter (2010), os compósitos com de fibras vegetais tem como desvantagem a maior absorção de umidade e por isso são aplicadas, geralmente, em componentes internos.

De acordo com Joutsenvaara e Vierelä (2013), na contramão da substituição dos aços por compósitos, os metais vêm evoluindo e também têm acompanhando a tendência de redução da massa e aumento de resistência. Conforme o autor, a utilização de aços de alta resistência em máquinas e implementos agrícolas possibilita a redução nas espessuras e conseqüente redução de massa nos produtos. Porém, o aumento da resistência dos aços traz inevitavelmente maiores desafios para a fabricação. A evolução dos processos de fabricação deverá minimizar esse efeito. Outro ponto abordado pelos autores é a evolução das técnicas de revestimento, que reabririam o caminho para o uso de aços carbono em aplicações onde se exige resistência à corrosão.

Assim, se pode afirmar que a evolução na utilização de materiais na indústria de máquinas e implementos agrícolas segue um rumo parecido com o de outras indústrias, como a aeronáutica e a automobilística, pois também tem seu desenvolvimento impulsionado pela utilização inovadora de materiais.

2.2 PROCESSO DE PROJETO

Compreendendo o processo de projeto através de uma visão integradora, unindo projeto mecânico, que para Ashby (2012) é o ponto de partida para o desenvolvimento do produto, e projeto industrial, que segundo Ashby e Johnson (2002) é o responsável

pela percepção que o usuário tem dos produtos, é possível identificar os tipos de informações necessárias a respeito dos materiais em cada uma de suas etapas.

2.2.1 Conceito

Também chamado de processo de desenvolvimento de produto, o processo de projeto foi estudado por diversos autores. Pugh (1990) o define como sendo uma tarefa sistemática necessária desde a identificação de necessidades dos usuários até a venda de produtos capazes de satisfazer essas necessidades. Essa atividade engloba produto, processos, pessoas e organização. De forma parecida Evbuomwan et al. (1996) definem projeto como o processo de traduzir necessidades humanas em especificações de desempenho, que são transformadas e materializadas pelos processos de fabricação. Já segundo Ashby (2012) o projeto é um processo que traduz uma necessidade de mercado em dados detalhados com os quais se pode construir um produto.

O conceito de Ashby expõem a forte ligação entre atividade de projeto e inovação, que também é evidente no texto da Lei nº 10.973 (Lei da Inovação, 2004), que define inovação como sendo a “introdução de novidade ou aperfeiçoamento no ambiente produtivo ou social que resulte em novos produtos, processos ou serviços”. Essa ideia é compartilhada por Faller (2009), quando afirma que a inovação é o objetivo que guia o desenvolvimento de novos produtos.

Desta forma, fica evidente que o projeto, seja ele qual for, tem sempre como objetivo universal inovar de alguma forma, seja pelo desenvolvimento de um novo produto ou seja pelo incremento de algo que já existe.

Ashby (2012) fala sobre os tipos de projeto, segundo o autor o projeto original é interessante, porém a maioria dos projetos não é original, quase todos os projetos são adaptativos ou desenvolvimentistas, quando se parte de um produto ou um grupo de produtos existentes. Faller (2009) também expõem a raridade de um projeto original, afirmando que na maioria das vezes os projetos são motivados por adaptações, que buscam o incremento da performance por meio de melhorias em produtos. Segundo Ashby (2012) a razão para refazer o projeto pode ser aprimorar o desempenho, reduzir custo ou adaptá-lo às mudanças nas condições de mercado. Ainda segundo o autor, muitas vezes, o aprimoramento do projeto é possibilitado pelo desenvolvimento de novos materiais; como por exemplo: polímeros ou compósitos que substituem metais

em carenagens de máquinas agrícolas ou fibra de carbono que substitui ligas de alumínio em aeronaves. Outro tipo de projeto, citado pelo autor, é o projeto variante, que envolve mudanças de escala e/ou dimensões. Fica evidente que a maioria dos projetos parte da necessidade de melhoria de algo que já existe.

2.2.2 Etapas do Projeto

Segundo Hundal (1990), Pahl e Beitz (1996) e Ashby (2012) o processo de projeto começa com uma necessidade e termina com a solução desta necessidade. Baseado nisso pode-se afirmar que o processo de projeto se inicia com a captação de uma ideia, gerada por uma necessidade, e termina com a materialização desta ideia e satisfação da necessidade.

Hundal (1990) e Pahl e Beitz (1996) são unânimes na ideia de que a primeira tarefa de um projeto é determinar de forma clara as necessidades. Elas devem ser expressas por meio de uma declaração, que não pode direcionar a realização das tarefas. Para os autores, os trabalhos de projeto, que iniciam com a declaração de necessidades, terminam com a especificação do produto.

Para sair do ponto inicial, declaração das necessidades, e chegar ao ponto final, especificação do produto, é necessário seguir o interdisciplinar caminho de projeto, que é dividido por Ashby (2012) em três etapas (conceito, corporificação e projeto detalhado). Já Hundal (1990) e Pahl e Beitz (1996) dividem o dividem em quatro (clarificação de necessidades, projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado). Apesar da diferença no número de divisões e na nomenclatura, percebe-se que as duas divisões são equivalentes entre si. O primeiro estágio (clarificação das necessidades) de Hundal (1990) e Pahl e Beitz (1996) é incluído por Ashby (2012) na etapa de conceito. O restante dos estágios, apesar de terem nomenclaturas diferentes representam tarefas semelhantes.

De forma parecida Fiod e Back (1993) dividem o projeto em quatro estágios (planejamento, concepção, projeto preliminar e projeto detalhado). Segundo o autor a primeira fase é de fundamental importância, pois envolve o planejamento de todas as atividades que serão executadas na sequência.

Conforme Faller (2009) durante a fase de conceito, o responsável pelo projeto emprega toda sua inteligência e experiência. Para Ashby (2012) é nessa fase que se

desenvolvem os conceitos para executar as funções, que são baseadas em princípios de funcionamento.

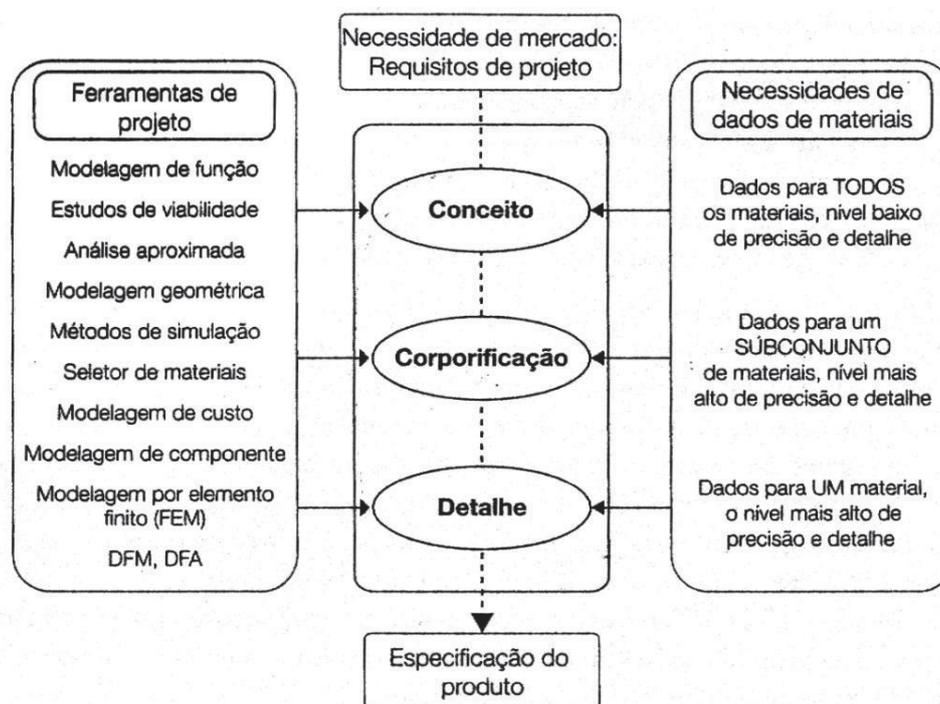
Ainda segundo Ashby (2012) na fase de corporificação são definidos *layout*, escala e forma, que devem ser detalhados na fase de detalhe, quando são otimizados desempenho e custo, bem como é feita a escolha final de material e processo.

Para o autor, o projeto é um processo iterativo no qual é possível estar na etapa de detalhe e retornar a fase de conceito. Deste modo é muito importante para a realização do projeto, a capacidade de explorar alternativas rapidamente, já que o número de iterações até se chegar a especificação do produto pode ser grande.

A otimização e agilização do processo de exploração das alternativas é conseguida mediante a utilização de ferramentas e metodologias eficientes. Segundo Hundal (1990) e Pahl e Beitz (1996), para consolidar as etapas do fluxograma de projeto devem ser utilizadas ferramentas de projeto. Elas habilitam a modelagem e otimização das tarefas. Assim, se pode afirmar que são as ferramentas de projeto que garantem a adoção de um procedimento sistêmico em cada etapa do projeto.

A figura 2 mostra o fluxograma de projeto proposto por Ashby (2012).

Figura 2 - Fluxograma de projeto



Fonte: Ashby (2012).

Ao centro o caminho de projeto, que fica entre os requisitos de projeto e a especificação do produto, à direita são representadas as necessidades de dados sobre materiais, mostrando em que nível de detalhe eles são necessários em cada etapa, e à esquerda as ferramentas de projeto.

As ferramentas de projeto, são divididas em: otimizadores de configuração, que sugerem ou refinam formas, pacotes de modelagem geométrica e de sólidos, que permitem a visualização e criam arquivos para ser utilizados em sistemas de prototipagem e fabricação controlados por CNC; softwares que melhoram o projeto dos pontos de vista de montagem e fabricação, como o DFM e o DFA; de custo, que permitem o refinamento de aspectos de fabricação; Seletores e ferramentas para a seleção de materiais ; e *softwares* de elementos finitos e de dinâmica de fluídos, que permitem análises mecânicas e térmicas.

Ainda com base na figura 2, percebe-se que há uma progressão natural no emprego das ferramentas à medida que o projeto evolui: análise e modelagem aproximadas na etapa conceitual; modelagem e otimização mais sofisticadas na corporificação; e análise precisa no detalhamento. Do lado esquerdo, no qual são representadas as necessidades de dados para a seleção de materiais, também se percebe que o número de informações diminui, mas a precisão e detalhe dos dados deve ser maior a cada etapa.

Fica evidente que a utilização de ferramentas de projeto é de fundamental importância para o desenvolvimento do produto. Não utilizar estas ferramentas acarretaria em um maior tempo de desenvolvimento e também na diminuição da qualidade do produto.

De acordo com Pahl et al (2005) o projeto deve ser conduzido de modo a colocar o produto no momento em que ele é interessante ao mercado. Para Forcellini (2002) um produto que chega tardiamente ao mercado tem seu lugar ocupado por um concorrente ou talvez já não interesse o consumidor.

Conforme Pahl et al (2005) para que o produto atenda aos requisitos dos consumidores é necessária a utilização de um procedimento planejável, flexível, otimizável e verificável. O autor ainda afirma que tal procedimento só é aplicável com projetistas trabalhando de forma sistemática e organizada.

Com base no que é apresentado neste capítulo percebe-se que o processo de projeto tem fundamental importância para o sucesso do produto. Para a correta

realização do projeto, devem ser utilizadas ferramentas que o tornem ágil, sistêmico e eficaz.

2.2.3 Projeto Industrial e Projeto Mecânico

Num mercado globalizado em que os requisitos técnicos estão, na maioria dos casos, inseridos de forma eficaz nos diversos concorrentes, os grandes diferenciais dos produtos podem ser aqueles conferidos pelo projeto industrial. Para Ashby e Johnson (2002), o Projeto Industrial ou simplesmente *design*, é o criador da personalidade dos produtos. Em um mundo que dá valor extremo as aparências, essa personalidade pode ser a diferença entre o sucesso ou fracasso de um produto.

Mesmo com essa grande importância, sabe-se que no processo de projeto em muitas empresas fabricantes de máquinas e implementos agrícolas não existe uma distinção entre projeto mecânico e industrial. Segundo Walter (2006) este costume se estende ao resto das empresas do País, com exceção de algumas multinacionais. Já na Europa, diferentes equipes se encarregam dessas diferentes etapas do projeto, o que não se repete no Brasil devido aos custos e à tradição da área.

Na maioria das empresas fabricantes de máquinas e implementos agrícolas com capital nacional, o projeto é realizado por projetistas com formação em engenharia, que acabam por negligenciar certos fatores do projeto industrial. Para Kindlein e Busko (2006) a mesma pessoa pode até exercer os dois papéis (engenheiro e *designer*), porém o engenheiro precisa ser aberto para compreender os pontos de vista do *design* e aprender a considerar aspectos subjetivos, como tendências e histórico de produto.

Ainda segundo Kindlein e Busko (2006) muitos produtos fracassam devido à falta de sinergia entre *design* e engenharia. Neste sentido os autores defendem que a diminuição da “lacuna” entre *design* e engenharia, através de uma abordagem integradora dessas áreas, cria um agente “catalisador” do processo de inovação.

Com base nas afirmações apresentadas fica evidente que o processo de projeto deve ser trabalhado de forma multidisciplinar, integrando profissionais de diferentes áreas. Essa multidisciplinaridade promove e alavanca o processo de inovação, que é o princípio fundamental do projeto.

2.2.4 Processo de Projeto e Seleção de Materiais

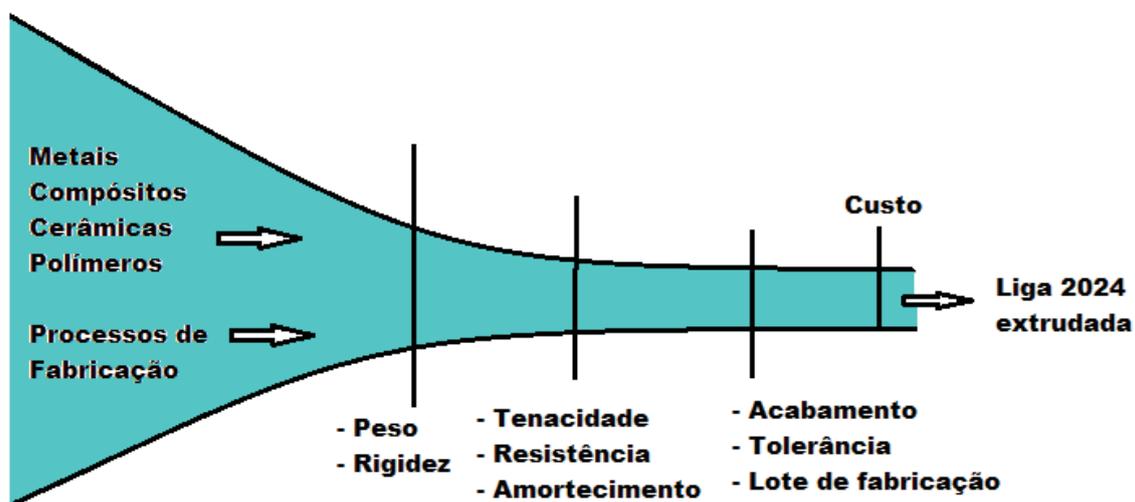
A tarefa de selecionar materiais faz parte de todas as etapas do processo de projeto, começa, geralmente, junto com os primeiros esboços e se completa com a definição das especificações do produto.

Muitas vezes novos materiais geram oportunidades de inovação e possibilitam a satisfação de necessidades que antes não podiam ser atendidas. Os responsáveis pela seleção de materiais devem ficar atentos e não ignorar essas oportunidades, que são a chave para o desenvolvimento de produtos de sucesso. Assim, como qualquer outra tarefa do projeto, a seleção de materiais deve ser executada de forma ágil, eficaz e sistêmica.

Segundo Ashby (2012) cada uma das etapas do projeto exige decisões sobre os materiais e sobre os processos de fabricação. Para o autor as ferramentas de seleção de materiais desempenham um papel importante em cada etapa. O que muda, ao passar das etapas, é a natureza dos dados sobre materiais. Inicialmente os dados podem ser superficiais, no entanto a medida em que as fases do projeto avançam estes dados precisam ser refinados.

A enorme gama de materiais existente representa inúmeras oportunidades de inovação. Assim, de acordo com Ferrante (2000), para que essas oportunidades sejam aproveitadas ao máximo, o processo de seleção de materiais deve seguir a forma de um funil (figura 3).

Figura 3 - O afunilamento do processo de seleção de materiais



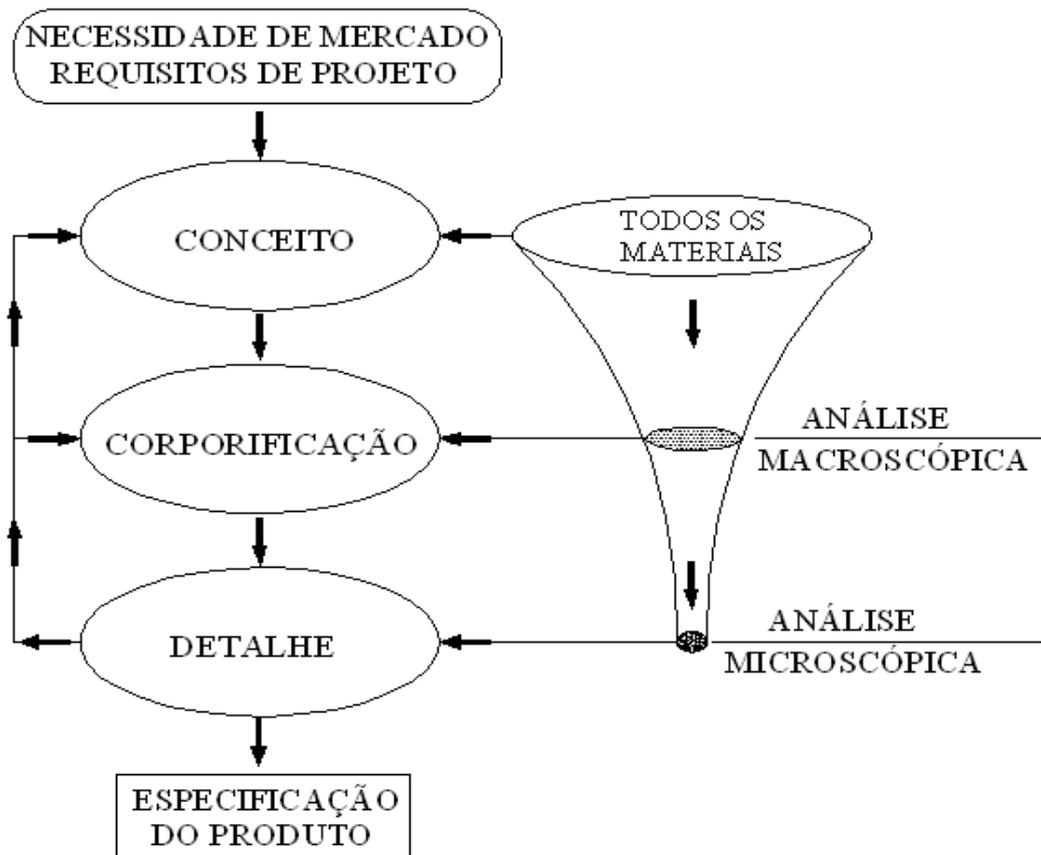
O funil ilustra a necessidade de considerar, inicialmente, a maior quantidade de materiais possíveis, de modo a não perder nenhuma oportunidade razoável. A cada fase do projeto a quantidade de materiais diminui, através da utilização de critérios de eliminação, até se chegar ao material escolhido. Conforme o autor, não utilizar a lista completa pode caracterizar uma oportunidade de inovação perdida.

Através da observação da figura 3 percebe-se que os requisitos de serviço são os primeiros a serem considerados. Já os de fabricação ficam para as últimas etapas do processo. À medida que o processo avança a abordagem inicial fica mais detalhada e seletiva até se chegar ao material escolhido. Segundo Ferrante (2000) o processo de seleção materiais inicia com uma abordagem macroscópica e termina com uma abordagem microscópica.

Baseado nos comentários de Ashby (2012) e Ferrante (2000) foi construída a figura 4, que ilustra a maneira como a seleção de materiais deve ser realizada no decorrer das etapas de projeto. Assim, na fase conceitual nenhum material deve ser descartado, todas as opções devem ser consideradas para que não se perca nenhuma possibilidade de inovação. Na corporificação, muitos materiais são descartados devido a não poderem ser utilizados na fabricação do componente. Na sequência, os materiais que sobraram, são classificados e por fim os candidatos que melhor atendem aos requisitos de projeto são estudados de uma forma mais detalhada (microscópica) até se a escolha final.

Da mesma maneira que o processo de projeto, a seleção de materiais é um processo iterativo, porém, de acordo com Ashby (2012) dificilmente retorna ao primeiro universo de materiais, o retorno ocorre, geralmente, até a lista que passou pelo processo de classificação, na qual, devido às novas resoluções de projeto, os outros classificados voltam a ser considerados.

Figura 4 – O projeto e a seleção de materiais



Fonte: Próprio autor

2.3 SELEÇÃO DE MATERIAIS

Estudando o processo de seleção de materiais, é possível compreender a influência dos materiais, através dos tempos, sobre o projeto de produtos. Além disso é possível identificar, quais são as variáveis relevantes para essa tarefa, e a ênfase dada a cada uma delas pelas fontes existentes. Essa apuração permite a realização de uma análise crítica sobre os procedimentos existentes e cria bases para a proposta pretendida por este trabalho.

2.3.1 Importância e Complexidade

Sendo uma tarefa de fundamental importância dentro do projeto, a seleção de materiais pode ser o diferencial para um produto ter sucesso. De acordo com Ashby (2012) um projeto de sucesso requer a utilização inovadora de materiais e a exploração inteligente de suas propriedades de engenharia e estéticas. Fica a cargo dos projetistas a tarefa de selecionar o material e processo adequado para o novo produto.

Deste modo, diferentes autores destacam a importância e complexidade da seleção de materiais. Segundo Brifcani et al (2012) a escolha do material é uma tarefa muito difícil, porém de extrema importância. Os autores dão o exemplo da escolha de materiais mais leves, que acarreta na economia de combustível e aumento da capacidade de transporte. Segundo Ramallete et al. (2010) existem mais de 160 mil tipos de materiais disponíveis para o projeto. Para Ashby (2012), os esforços de padronização tentam reduzir esse grande número, porém o surgimento de novos materiais expande ainda mais as opções.

Constantemente surgem novos materiais e o que era correto ontem pode ser errado hoje. Assim, é unanimidade entre os autores considerados nesse trabalho, que a seleção do material adequado é de fundamental importância para o sucesso e aceitação do produto pelo mercado consumidor. Segundo Kasin *et al* (2004) a competição internacional, cada vez mais acirrada, está fazendo com que as empresas busquem por novos métodos para produzirem seus produtos com a melhor qualidade e o mínimo custo. Neste sentido, para os autores, o reconhecimento da importância da seleção de materiais para maximizar o sucesso dos produtos, tem aumentado muito nos últimos anos.

Já na opinião de Karana et al (2008) a seleção de um material para uma aplicação específica é um processo meticuloso, demorado e caro. Além disso, geralmente, mais de um material é adequado, e a seleção final é um compromisso que traz vantagens e desvantagens. Deste modo, se pode afirmar que cabe a equipe de projeto ponderar quais os fatores preponderantes para se chegar ao material escolhido. Além disso, se percebe que a seleção de materiais é um processo de difícil automatização, pois as mesmas variáveis de entrada podem levar a múltiplas saídas.

A complexidade da seleção de materiais também é destacada por Shackelford (2008), de acordo com o autor a quantidade de materiais disponíveis é finita, porém

muito grande, o que torna a tarefa de selecionar materiais muito difícil. Já para Callister (2008) selecionar materiais é uma das tarefas mais importantes de um engenheiro, decisões inapropriadas sobre a utilização de materiais podem causar desastres, tanto do ponto de vista econômico quanto de segurança.

Então, como escolher os inúmeros candidatos, o material mais adequado? Recorrer à experiência? Conforme relata Ashby (2012), no passado era isso que acontecia; o material era selecionado conforme a experiência do projetista ou equipe de projeto, baseando-se em análise de similares, porém, segundo o autor, muitas coisas mudaram no mundo da engenharia, destacando-se:

- A crescente demanda pelo menor tempo de desenvolvimento, que não oportuniza o aprendizado por experiência;
- A mobilidade de empregos, que significa que o projetista experiente que hoje está ali amanhã provavelmente não estará mais.

Assim, fica evidente que uma empresa que ainda seleciona materiais com base exclusiva na experiência prévia corre sérios riscos de perder o seu lugar no mercado, é em virtude da escolha correta dos materiais que um produto consegue desempenho para cumprir os requisitos de projeto e é aceito pelos consumidores.

Já segundo Kindlein e Busko (2006), o processo de seleção de materiais é uma tarefa interdisciplinar, para qual são necessários conhecimentos e informações de diversas áreas. Assim se pode afirmar que as variáveis envolvidas são especialidades de diferentes profissionais. Neste sentido, Silva (2005) afirma que a tarefa de selecionar materiais em um projeto envolve inúmeros fatores, que podem até ser conflitantes, ocasionando uma dificuldade de satisfação simultânea e impondo a necessidade da utilização de procedimentos sistemáticos.

Outro ponto a ser exposto, é que de acordo com Ashby (2012) a seleção de materiais deve ser feita em conjunto com a escolha do processo de fabricação, pois o custo entra na equação em ambas as escolhas.

Segundo Ferrante (2000) a pode ser executada tendo múltiplos objetivos em mente, caracterizados por um ou mais requisitos de projeto. Na lista a seguir o autor fornece alguns exemplos:

- Redução de custo: polímeros substituindo aços na indústria automotiva. Um exemplo é o conjunto de pedais em nylon reforçado com fibra de vidro, utilizado em um automóvel FIAT, que pesa 2,7 kg (cerca de metade do conjunto original em aço) e custa cerca de 20% menos;
- Novas condições de serviço: por exemplo, uma máquina agrícola que foi projetada para trabalhar em solo arenoso e agora precisa ser utilizada em um solo diferente;
- Materiais *versus* processo de fabricação: muitas vezes o material é alterado para a utilização de um processo de fabricação de menor custo;
- Redução de massa: um exemplo é a crescente substituição de ligas de alumínio por compósitos de menor densidade na indústria aeronáutica.

Baseado no que foi apresentado se pode afirmar que a seleção de materiais é uma tarefa extremamente complicada e por isso deve ser realizada com muita cautela. Uma seleção de materiais inadequada pode causar sérias consequências, tanto para empresa quanto para os possíveis consumidores. Além disso, a correta seleção de materiais pode gerar grandes diferenciais ao produto e é hoje um ponto chave para o desenvolvimento de inovações tecnológicas.

2.3.2 Requisitos Para a Seleção de Materiais

É de fundamental importância para o entendimento do processo de seleção de materiais elucidar quais os principais requisitos envolvidos nessa tarefa. Assim, segundo Patton (1968) a seleção de materiais tem três grupos básicos de requisitos: requisitos de serviço, requisitos de fabricação e requisitos econômicos. Já Callister (2008), cita quatro grupos de requisitos essenciais para a seleção de materiais: condições de serviço, deterioração das propriedades em serviço, fatores econômicos, fatores ambientais e sociais. De acordo com Patton (1968) e Callister (2008) os requisitos de serviço são supremos, portanto o material deve cumprir com este ou ser descartado. Ashby (2012) também considera os requisitos de serviço supremos, chamando-os de requisitos do projeto mecânico.

Conforme Patton (1968) os requisitos de fabricação representam a capacidade de manufaturar os materiais ou uni-los a outros. Já os requisitos econômicos representam a busca pela minimização dos custos do produto. Já Callister (2008) destaca que os requisitos econômicos, muitas vezes, são determinantes para a escolha final do material. O autor ainda cita as questões ambientais e sociais, relacionadas à reciclagem, poluição e uso de recursos. Cabe mencionar que as legislações ambientais têm se tornado cada vez mais rigorosas e por isso questões ambientais podem se tornar requisitos essenciais na escolha do material.

Baseado nas afirmações apresentadas, fica claro que os requisitos de serviço são prioritários na escolha do material. Além disso se evidenciou que a seleção de materiais deve ser feita em várias etapas e apesar de alguns requisitos, como por exemplo a usabilidade e percepções não serem os prioritários, não são menos importantes, pois na maioria das vezes são essenciais para o sucesso e aceitação do produto pelo consumidor.

2.3.3 A Evolução dos Materiais e Produtos de Engenharia

Conforme já foi mostrado anteriormente, devem ser tomadas decisões ligadas aos materiais em cada uma das fases do projeto. Tais decisões são guiadas por métodos de seleção de materiais. Também foi mostrado que muitas vezes a evolução dos materiais proporciona a realização de projetos que antes não eram possíveis. Devido à grande importância da evolução dos materiais de engenharia para o projeto do produto, cabe analisar de que forma está evolução ocorreu, e como ela vêm influenciando o processo evolutivo da humanidade.

Constantemente surgem novas invenções, novos produtos, que vem facilitando a vida no planeta Terra. O que no passado era visto como magia, hoje é tecnologia. O avanço tecnológico vem acontecendo de forma cada vez mais acelerada e muito se deve aos avanços da ciência e engenharia dos materiais.

Diversos autores destacam a importância dos materiais de engenharia no desenvolvimento da humanidade. Para Faller (2009) o desenvolvimento dos materiais tem grande ligação com o desenvolvimento do ser humano, da ciência e da tecnologia, isso permitiu atender as demandas da sociedade moderna. Já para Ashby (2012) os materiais limitam o projeto desde os primórdios da humanidade. As eras da humanidade

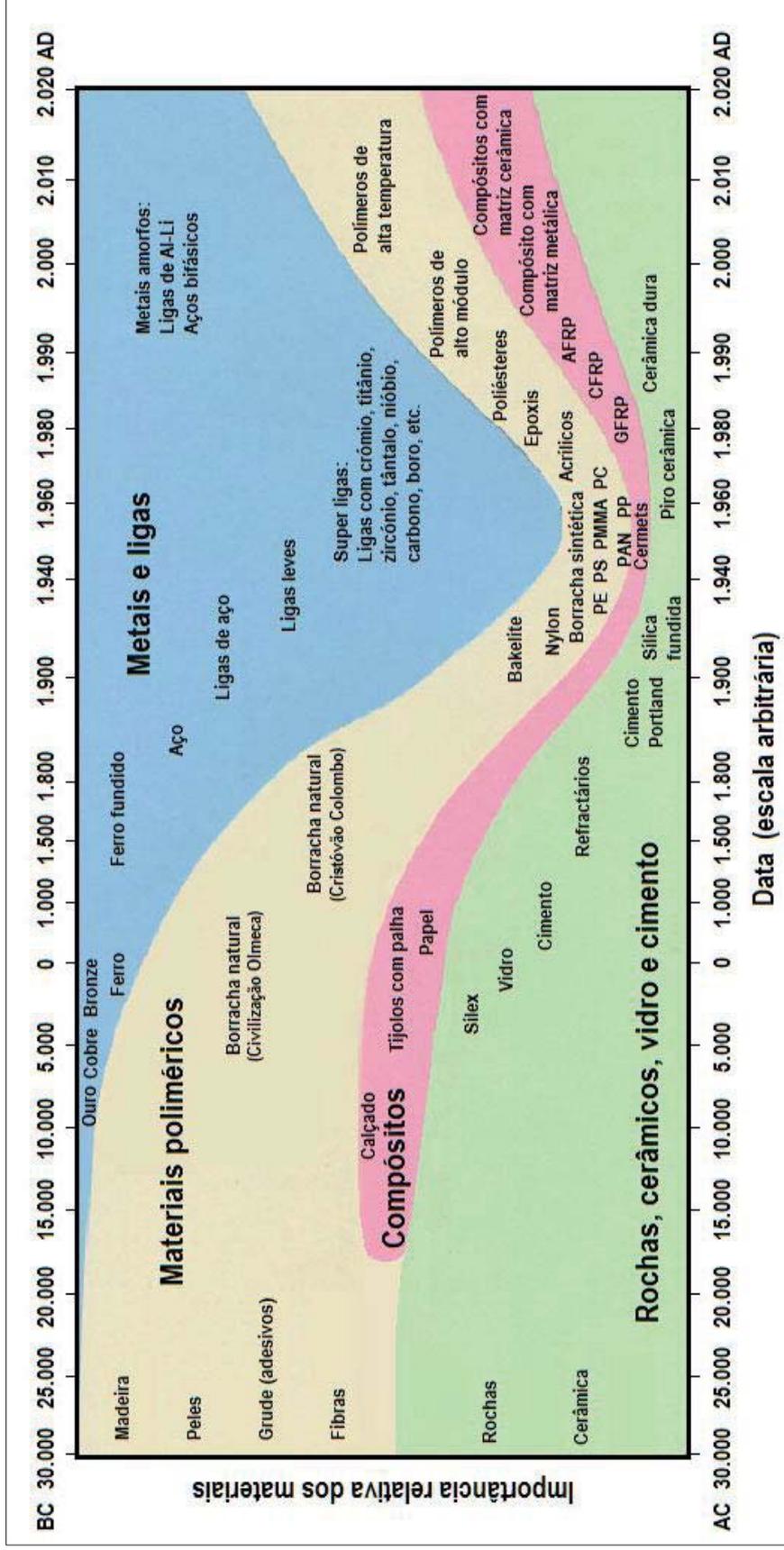
receberam os nomes dos materiais que o homem usou: idades da pedra, bronze, ferro. E hoje qual seria a idade?

Segundo Callister (2008) e Ashby (2012) esta não é a idade de um único material; é a idade de uma grande variedade de materiais: a **idade dos materiais avançados**. O desenvolvimento e avanço tecnológico da sociedade moderna estão profundamente ligados ao desenvolvimento dos materiais de engenharia. A evolução dos materiais de engenharia ao longo do tempo é ilustrada por Caetano (2013) na figura 1, que contém ligeiras modificações da representação apresentada por Ashby (2012): a escala temporal é não linear, sendo que é conveniente citar que a taxa de mudança é muito mais acelerada hoje do que em qualquer momento anterior da história. As projeções para o ano de 2020 foram feitas com estimativas sobre a utilização de materiais compósitos em automóveis e aeronaves. Assim, se pode afirmar que os materiais representam um papel dominante no contínuo desenvolvimento da humanidade e grandes avanços têm ocorrido devido ao desenvolvimento de novos materiais.

Baseado na evolução dos materiais e na análise da figura 5, Caetano (2014), Shackelford (2008) e Ashby (2012) fazem as seguintes considerações.

- No período compreendido entre 29.000 e 25.000 anos AC, o homem iniciou a manufatura de produtos cerâmicos. Madeira, peles, fibras, grude e rochas eram os materiais utilizados nos primórdios da humanidade (CAETANO, 2014);
- Os materiais da pré-história eram vidros, polímeros naturais, cerâmicos e compósitos. As armas eram o auge da tecnologia, sendo feitas de madeira e sílex; construções e pontes, de pedra e madeira. Ouro e prata eram usados como moeda, sua utilização na tecnologia era muito pequena. (ASHBY, 2012);

Figura 5 - Evolução dos materiais de engenharia ao longo do tempo



Fonte: Caetano (2014) adaptado de Ashby (1992)

- O desenvolvimento da termoquímica rudimentar permitiu a extração, primeiramente do cobre (Idade do Cobre) e do bronze (Idade do Bronze), depois do ferro (Idade do Ferro), e proporcionou enormes avanços tecnológicos (ASHBY, 2012);
- Apesar de não terem dado nome a nenhuma era da humanidade, as cerâmicas, transformadas em vasos domésticos, representaram uma das melhores descrições da cultura humana durante milhares de anos. Já a utilização do vidro data de 4000 a. C. (SHACKELFORD, 2008);
- Por volta do ano de 1620 os ferros fundidos estabeleceram a dominância dos metais na engenharia. A evolução dos aços (desde 1850), ligas leves (desde 1940) e ligas especiais consolidaram a sua posição. Também houve desenvolvimento em outras classes de materiais, destacando-se os cimentos, refratários, vidros aperfeiçoados, borracha e polietileno; no entanto a sua participação no montante total era pequena (ASHBY, 2012);
- A situação começou a mudar na década de 50. A partir deste período ocorre um grande desenvolvimento dos polímeros (elastômeros e plásticos), dos compósitos e de tipos especiais de cerâmicas, o que levou a uma redução da importância relativa dos metais e suas ligas. (CAETANO, 2014);
- Atualmente, a utilização de polímeros e compósitos têm crescido rapidamente e as projeções de aumento da produção de cerâmicas de alto desempenho sugerem um contínuo crescimento nessa área (ASHBY, 2012).

Deste modo Shackelford (2008) destaca a atual popularização dos polímeros, segundo o autor, estes materiais, leves e baratos têm sido empregados em grande escala desde a segunda metade do século XX. Ainda segundo o autor, essa época também poderia ser chamada de idade do silício, devido à tecnologia do silício que teve grande impacto na eletrônica moderna.

A evolução dos produtos vem ocorrendo em paralelo à evolução dos materiais de engenharia. Novos materiais ou novas formas de utilização dos materiais possibilitam a

criação de novos conceitos de produtos, abastecendo o universo de opções disponíveis aos projetistas. Um fato, que vem acontecendo nos dias atuais, e cabe ser citado, é a dissociação de materiais a produtos; segundo Silva (2005) o desenvolvimento dos materiais polímeros e compósitos, que são adaptados nas mais diversas aplicações, levaram a uma perda da reconhecibilidade dos materiais.

No passado era de conhecimento comum, que móveis eram de madeira e carenagens automotivas eram de aço. Atualmente, cada vez mais aparecem componentes com uma aparência que permite a associação com algum tipo de material, mas, no entanto não se pode afirmar do que realmente são feitos. Silva (2005) relata a substituição de materiais orgânicos por materiais sintéticos, como, por exemplo, a lã, o algodão, a seda ou linho pelo Nylon®.

Shackelford (2008) relata que os artigos esportivos mais sofisticados aproveitam os avanços mais recentes da ciência e engenharia dos materiais. Exemplos do que disse o autor podem ser encontrados nas raquetes de tênis (feitas de compósitos, ultraleves e resistentes) e também em maios de natação (feitos com 100% de poliuretano).

Para Ashby (2012), na estrutura das aeronaves pode ser encontrado um “dramático” exemplo da mudança de utilização dos materiais. Conforme é relatado pelo autor, os primeiros aviões eram feitos de madeira de baixa densidade, arame de aço e seda. Situação que começou a mudar devido aos requerimentos de aumento do tamanho das aeronaves, que tornaram o uso da madeira inviável. A resposta foi o desenvolvimento da fuselagem de alumínio, que proporcionou o aumento da escala e raio de ação das aeronaves. O futuro das aeronaves vem de acordo com os requerimentos atuais de menor emissão de carbono e maior economia de combustível; tornando os compósitos cada vez mais interessantes. As três fases da indústria aeronáutica, citadas pelo autor, são ilustradas na figura 6, em que se pode ver, da esquerda para a direita, o biplano de Wright (1903), construído com madeira, arames e seda; o Douglas DC3 (1935), com fuselagem em liga de alumínio e o Boeing 787 Dreamliner (2010), que possui 80% do seu volume em material compósito (polímero reforçado com fibra de carbono).

Figura 6 - O biplano de Wright, o Douglas DC3 e o Boeing 787 Dreamliner.



Fonte: Ashby (2012)

Silva (2005) fala sobre o conceito de “novos materiais”, que vem sendo amplamente discutido. Segundo o autor, esse conceito não diz respeito, somente a um grupo limitado de materiais tecnológicos aplicados a áreas avançadas. Mas refere-se a um conjunto de qualidades obtidas em todo o ciclo de vida do material, desde a sua concepção até o seu descarte. Os “novos materiais” chamados de “materiais avançados” por Ashby (2012) e Callister (2008), são, segundo Callister (2008) materiais tradicionais com características aperfeiçoadas ou materiais de elevado desempenho desenvolvidos recentemente. O autor ainda divide os materiais avançados em três grupos: os semicondutores, os biomateriais e os materiais do futuro (materiais inteligentes e materiais nanoengenheirados).

Da pedra aos nanomateriais, toda essa evolução transformou completamente o modo de vida do homem. Ela vem ocorrendo de forma cada vez mais acelerada e o que é tido como correto hoje pode não ser mais amanhã. Fica evidente que no mundo globalizado, o mais importante é a capacidade de assimilar de maneira rápida e constante todas essas mudanças. Uma empresa que não acompanha essa evolução, em seus produtos, tende a ser “esmagada” pela concorrência e conseqüentemente desaparecer do mercado. E como os responsáveis pela seleção de materiais no projeto podem acompanhar essa evolução? Como projetar produtos competitivos? Essas e outras questões serão elucidadas nos próximos capítulos desse trabalho.

2.4 CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS DE ENGENHARIA

O estudo das características dos materiais é um ponto fundamental no esclarecimento do processo de seleção de materiais. Para um projeto, os projetistas precisam de dados confiáveis para os materiais de engenharia. Muitas vezes novos materiais são descartados, para determinadas aplicações, devido à inexistência de destes dados.

Para Faller (2009) as peculiaridades dos materiais podem ser classificadas de diversas formas, que variam conforme os interesses de estudo. A proposta de Kesteren e Karana (2006) divide as propriedades dos materiais em duas classes: características tangíveis (propriedades físicas, processos de fabricação, usos e funções) e características intangíveis (propriedades estéticas ou sensoriais, percepções, associação e emoções).

Essa classificação se mostra eficiente no que diz respeito às propriedades intangíveis, chamadas de subjetivas por Ashby (2012), no entanto é ineficiente no que diz respeito às propriedades, tangíveis, que Ashby trata como propriedades relevantes ao projeto mecânico. Conforme Ashby (2012), as propriedades relevantes ao projeto são: propriedades gerais (densidade e preço), propriedades mecânicas, propriedades térmicas, propriedades elétricas, propriedades óticas, propriedades ecológicas e resistência ao ambiente.

Faller (2009) divide as características dos materiais em três grupos:

1. Características tangíveis ou técnicas: propriedades técnicas, processos de fabricação, usos e funções;
2. Características intangíveis ou subjetivas: percepções, associações e emoções;
3. Características sensoriais ou estéticas.

A figura 7 representa, graficamente, tal classificação.

Figura 7 – Características dos materiais



Fonte: Faller (2009)

Portanto com o estudo sobre as características dos materiais engenharia, evidenciou-se que existe um grupo de características a ser consideradas, previamente, no processo de seleção de materiais. Estas características são as definidas por Ashby (2012) como propriedades relevantes ao projeto mecânico. São elas que devem ser

utilizadas em uma primeira etapa de triagem, onde são eliminados materiais que não cumprem os requisitos de serviço do projeto. Conforme foi exposto anteriormente, os requisitos de serviço são supremos em relação aos outros. Após existir uma lista de materiais, que cumprem com os requisitos de serviço, deve ser considerado um segundo grupo, que é o das características intangíveis ou subjetivas, que podem ser determinantes para a escolha final do material.

Para Ashby e Johnson (2002), as características subjetivas devem ser analisadas de forma distinta, pois representam a forma como os sentidos humanos (visão, audição, tato, olfato e paladar) colhem os estímulos provocados pelo produto, ou seja, pelas propriedades técnicas. Para isso os autores propõem um conjunto de metodologias de seleção de materiais. Essas metodologias serão abordadas mais adiante.

2.4.1 Propriedades Técnicas

Cada material de engenharia possui um conjunto de requisitos que os qualifica para a fabricação de produtos. Esses requisitos são as suas propriedades, que, segundo Caetano (2013), podem ser divididas em ambientais, físicas, químicas e tribológicas. Já Callister (2008) afirma que as propriedades podem ser divididas em seis categorias: mecânicas, óticas, elétricas, térmicas, magnéticas e deteriorativas; e para cada categoria existe um tipo específico de estímulo, que é capaz de provocar diferentes respostas, por exemplo: propriedades mecânicas, como o módulo de elasticidade, relacionam deformações a cargas ou forças aplicadas. Callister (2008) ainda cita que as definições de propriedades, geralmente, são independentes de forma e quantidade do material. O autor também ressalta a interdependência entre quatro componentes, que são estudados pela ciência e engenharia dos materiais (figura 8).

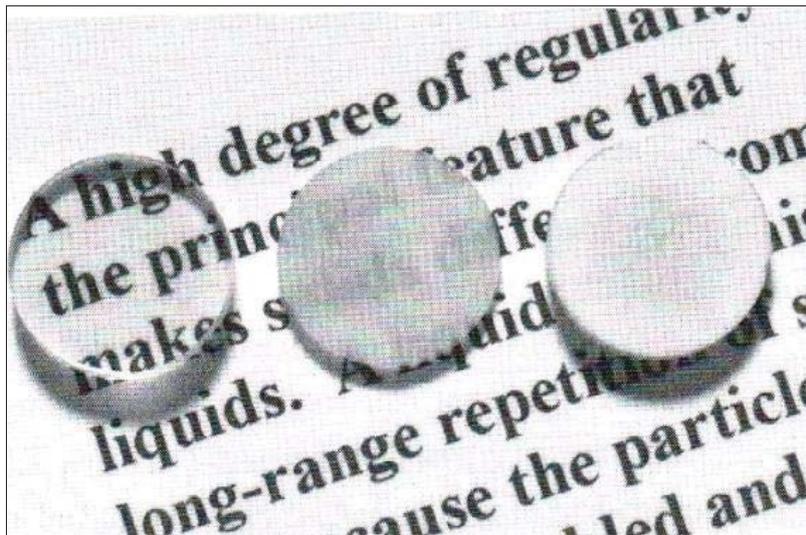
Figura 8 - Interdependência entre componentes dos materiais de engenharia



Fonte: Adaptado de Callister (2008)

Conforme o esquema mostrado na figura 8, a estrutura depende da forma como o material é processado, e define o perfil de propriedades, que determinará o seu desempenho. Um exemplo da interdependência desses componentes pode ser visto na figura 9, em uma fotografia, apresentada por Callister (2008), que exhibe três amostras do mesmo material, óxido de alumínio, com propriedades óticas diferentes.

Figura 9 – Amostras de óxido de alumínio



Fonte: Callister (2008)

Como pode ser visto na figura, o disco mais à esquerda é transparente, o do meio é translúcido e o mais à direita é opaco. Apesar de serem do mesmo material, as propriedades óticas mudam devido às estruturas serem diferentes; o que leva os componentes a terem desempenhos diferentes.

Segundo Askeland e Phulé (2008) as propriedades de um material variam conforme a composição, estrutura, síntese e processamento; e um material com a mesma composição química pode ter propriedades muito diferentes (por exemplo, uma barra de aço 1006 trefilada possui aproximadamente 40% a mais de resistência a tração do que a mesma barra laminada a quente), sendo que elas também podem ser modificadas através de diferentes processos (por exemplo, tratamentos térmicos), e também, devido a diferentes condições de trabalho (por exemplo, polímeros que alteram suas propriedades com a variação de temperatura).

Sabe-se que é um grande desafio para os projetistas, a tarefa de encontrar, agrupadas, de uma forma organizada todas as características relevantes de um material

para a concepção de um projeto. Assim, segundo Ashby (2012), para um projeto, os projetistas precisam de dados confiáveis para estas propriedades. Sendo que muitas vezes, novos materiais são descartados, para determinadas aplicações, devido à inexistência de desses dados. Sendo que segundo ele a fonte desses dados deve ser de extrema confiança, e para componentes de grande responsabilidade, os dados devem ser ratificados por ensaios e análises próprias de cada lote de material adquirido. O autor divide as propriedades básicas dos materiais, que limitam o projeto, em seis classes: gerais, mecânicas, térmicas, elétricas, óticas e ecológicas (tabela 1).

Tabela 1- Propriedades básicas dos materiais que limitam o projeto

Classe	Propriedade
Gerais	Densidade
	Preço
Mecânicas	Módulos de Young
	Módulo de elasticidade Transversal
	Módulo de elasticidade Volumétrica
	Tensão Limite de Escoamento
	Limite de Resistência
	Resistência à compressão
	Resistência à falha
	Dureza
	Alongamento
	Limite de Fadiga
	Tenacidade à fratura
	Tenacidade
	Coefficiente de Perda (Capacidade de Amortecimento)
	Taxa de Desgaste (constante de Archard)
Térmicas	Ponto de Fusão
	Temperatura de transição vítrea
	Temperatura de serviço máxima
	Temperatura de serviço mínima
	Condutividade térmica
Elétricas	Resistência a choque térmico
	Resistividade elétrica
	Constante dielétrica
	Força dielétrica
	Fator de potência
Óticas	Índice de refração
Ecológicas	Energia incorporada
	Pegada de carbono

Fonte: Adaptado de Ashby (2012).

A tabela acima mostrou uma generalidade de propriedades, no entanto, para cada projeto, devem ser consideradas apenas algumas delas. Como definir quais as propriedades utilizar em cada projeto? Essas e outras questões serão elucidadas, mais adiante, neste trabalho.

2.4.2 Características Subjetivas

Muitas vezes os projetistas só consideram as propriedades técnicas dos materiais, no entanto, devido à concorrência de um mercado globalizado, as propriedades subjetivas podem ser determinantes para o consumidor escolher entre um ou outro produto.

Segundo Karana et al (2006) as pessoas interagem com os materiais, principalmente, através de produtos. Esta interação envolve uma série de atributos. Por exemplo, o material de um produto com suas propriedades técnicas deve cumprir os requisitos funcionais para um uso pretendido e com as suas propriedades sensoriais que deve apelar aos sentidos de seu usuário. Portanto, na seleção de materiais, além das características técnicas, devem ser consideradas as características subjetivas dos materiais.

Ainda segundo Karana et al (2006), os materiais têm sido exaustivamente estudados pela ciência e engenharia dos materiais. Fontes de seleção de materiais existentes podem servir uma função útil em dar informações atualizadas técnicos de materiais. No entanto, as características subjetivas têm sido deixadas em segundo plano.

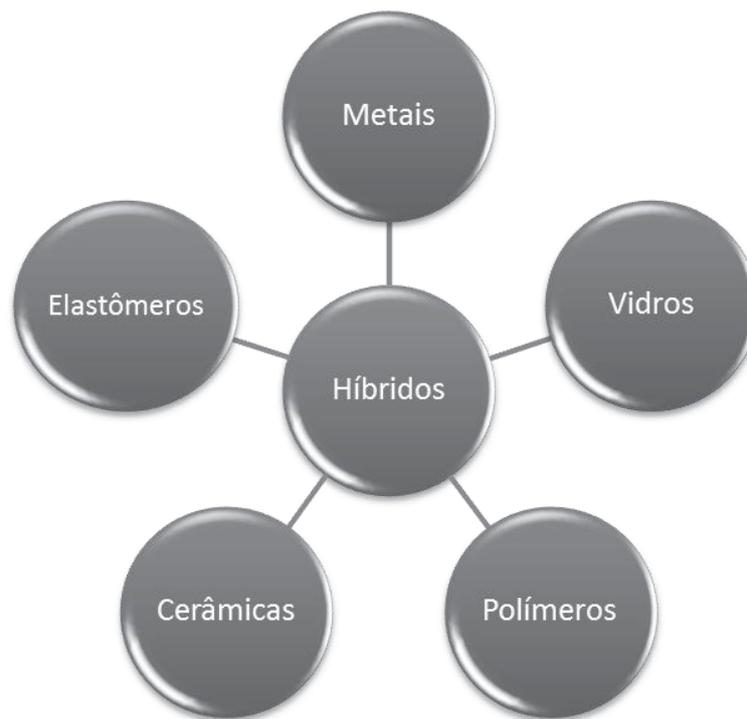
2.4.3 Famílias e Classes dos Materiais

O ser humano dispõe de uma grande variedade de materiais para a construção dos mais diversos tipos de produtos utilizados no planeta Terra. Estes materiais podem agrupar-se, pela sua afinidade, em diversos grupos. A classificação dos candidatos em grupos é uma estratégia que simplifica qualquer processo de seleção, pois viabiliza a eliminação de um grande número de candidatos de uma só vez, ao invés de se eliminar um único candidato é possível eliminar um grupo inteiro. Para Shackelford (2008) um grande passo para a sistematização do processo de seleção de materiais é a divisão dos

materiais em categorias. O autor divide os materiais em cinco grupos e os chama de categorias; metais, cerâmicas e vidros, compósitos, polímeros e semicondutores. Ashby (2012) divide os materiais de engenharia em seis grupos e os chama de famílias. Além dos cinco grupos de Shackelford (2008), Ashby acrescenta o grupo dos híbridos, que são formados pela combinação de dois ou mais materiais. Já Askeland e Phulé (2008) dividem os materiais em seis grupos; metais e ligas, cerâmicas, vidros e vidro-cerâmicas, compósitos, polímeros e semicondutores.

Segundo Ashby (2012) os membros de uma família possuem certas características em comum: propriedades semelhantes, rotas de processamento semelhantes e, que muitas vezes os levam a aplicações semelhantes. As famílias tradicionais de metais, cerâmicas, vidros, polímeros e elastômeros podem ser combinados para criar híbridos, como pode ser visto na figura 10.

Figura 10 – As famílias dos materiais de engenharia



Fonte: Adaptado de Ashby (2012).

Conforme foi citado anteriormente, as divisões dos materiais, mostradas na figura 10, podem variar de acordo com o autor. Este trabalho utiliza a divisão em seis

famílias descrita por Ashby (2012) pois é divisão que se mostra mais adequada para a seleção de materiais. A seguir é apresentado um breve descritivo de cada família de materiais.

Os **metais** têm sido empregados desde a antiguidade, o progresso da humanidade se deve muito ao seu desenvolvimento, apesar de atualmente estarem sendo substituídos por materiais “modernos” (polímeros e compósitos) em diversas aplicações, continuam sendo os materiais mais utilizados nos produtos de engenharia. Segundo Askeland (2008) os metais são protagonistas em inúmeras aplicações; automóveis, edifícios, pontes, veículos espaciais etc. Askeland (2008) ainda cita que os metais possuem boas propriedades de resistência, ductilidade, conformabilidade, condutividade térmica, e condutividade elétrica. Segundo Ashby (2012), metais são rígidos, tem módulos de elasticidade relativamente altos e quando puros, em sua maioria, são macios e fáceis de deformar; sofrem fadiga e de todas as famílias são os mais corrosivos.

Segundo Ashby (2012) os **polímeros** apresentam módulos de elasticidade aproximadamente 50 vezes menores do que os metais, porém segundo Shackelford (2008), na última década, vêm sendo projetados com rigidez e resistência suficientes para serem substitutos de metais estruturais. As propriedades dos polímeros dependem da temperatura, e, segundo Ashby (2012) poucos têm resistência útil acima de 200°C, para Callister (2008), a tendência de amolecer ou se decompor em temperaturas modestas é uma das principais desvantagens dos polímeros. Ainda segundo Ashby (2012), os polímeros podem ser cristalinos, amorfos ou uma mistura de cristalino e amorfo, sendo que a transparência é uma característica dos amorfos.

Segundo Shackelford (2008) as **cerâmicas** são materiais sólidos cristalinos, que, como os metais, possuem altos módulos de elasticidade; porém, diferentemente dos metais: são frágeis, não toleram concentradores de tensão ou altas tensões de contato e não apresentam nenhuma ductilidade. Apesar de suas fragilidades as cerâmicas também apresentam aspectos muito convenientes, como por exemplo: a sua rigidez, dureza e, suportam altas temperaturas e apresentam ótima resistência a corrosão (Ashby, 2012).

Os **vidros** são materiais sólidos não cristalinos (amorfos), que possuem composição química comparável a das cerâmicas; por isso compartilham algumas de suas características; fragilidade, alta dureza e vulnerabilidade a concentradores de tensão (Ashby, 2012). Segundo Shackelford (2008) os vidros são cerâmicas com os átomos empilhados em padrões irregulares (estrutura não cristalina), sendo muito

importantes, pois possuem propriedades como a capacidade de transmitir a luz visível (além da radiação ultravioleta e infravermelha) e inércia química.

Elastômeros, também conhecidos como borrachas, são polímeros de cadeia longa, que segundo Ashby (2012) apresentam propriedades elásticas muito diferentes dos outros sólidos e por isso existem ensaios especiais para caracterizá-los.

Híbridos são combinações de materiais que combinam propriedades convenientes de outras famílias de materiais e ao mesmo tempo evitam algumas propriedades não convenientes. A família dos híbridos inclui compósitos reforçados com fibras e com particulados, estruturas sanduíche, estruturas reticuladas, espumas, cabos e laminados; quase todos os materiais da natureza- madeira, osso, pele e folha- são híbridos. A maioria dos que estão disponíveis para o projeto possuem matriz de polímero reforçada com fibras de vidro, carbono ou Kevlar (aramida). São leves, rígidos, resistentes e podem ser tenazes. Materiais híbridos apresentam custo elevado e relativa dificuldade para unir e conformar. A crescente demanda pela alta eficiência energética impulsiona o aumento da utilização dos híbridos (Ashby, 2012).

2.5 METODOLOGIA DE SELEÇÃO DE MATERIAIS

Segundo Ferrante e Walter (2010) a evolução da seleção de materiais de tarefa empírica para metodologia estruturada deve-se a Michael Ashby da Universidade de Cambridge. Tal metodologia começou a ser desenvolvida no fim da década de 1980 e tem como base os mapas de propriedades dos materiais, que permitem comparar qualquer conjunto de materiais a partir de suas propriedades. Para os autores o processo de seleção de materiais consiste basicamente nas seguintes etapas:

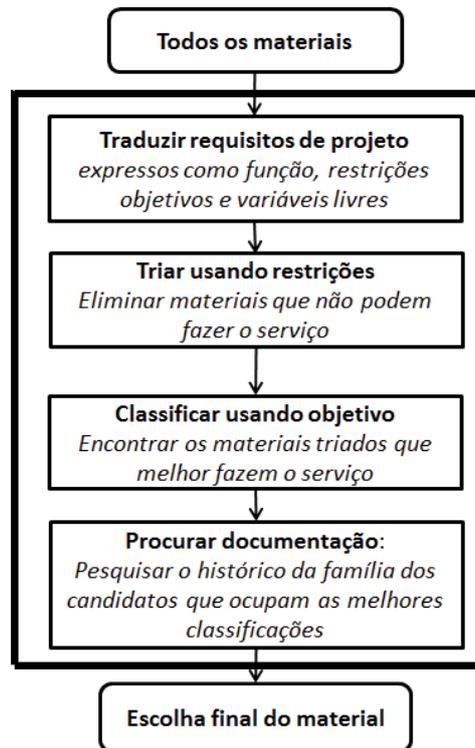
- Análise do produto, devem ser respondidas as seguintes questões:
 - Qual sua função?
 - Qual o máximo custo permitido?
 - Qual sua aparência (cor, brilho, formas)?
 - Como será fabricado?
 - Como será reciclado/descartado?

- Análise do Material, baseada nas propriedades e processos de fabricação; a partir daí devem ser feitos os seguintes questionamentos em relação ao material:
 - Atende aos requisitos de desempenho e custo do produto?
 - Tem processabilidade adequada?
 - É esteticamente adequado?
 - Proporciona interação produto-usuário adequada e agradável?

Ainda Segundo Ferrante e Walter (2010) existem dois instrumentos básicos para a comparação de materiais, os índices de mérito (IM) e os mapas das propriedades dos materiais (MPM). Ambos serão detalhados mais adiante.

O procedimento básico de seleção de materiais, apresentado por Ashby (2012), envolve quatro etapas básicas, que seguem o fluxograma da figura 11: (1) um método para traduzir os requisitos de projeto em uma especificação para o processo e materiais, (2) um processo de triagem para eliminar aqueles que não podem satisfazer as especificações, restando apenas um pequeno conjunto. (3) um sistema para classificar os materiais e processos sobreviventes, identificando aqueles que têm o maior potencial e (4) uma maneira de procurar por informações de apoio (documentação) sobre os candidatos melhores classificados, dando o máximo de informações sobre os seus pontos fortes, pontos fracos, a história de uso e potencial futuro. Assim, de acordo com Ashby (2004) para sair do ponto de partida, com todos os materiais, e chegar a um único material é necessária a concretização das etapas de tradução, triagem, classificação e documentação. Para esse caminho ser percorrido da melhor forma existem procedimentos e ferramentas de auxílio. Além disso, segundo o autor é necessário citar que a seleção de materiais deve ser sempre efetuada em conjunto com a seleção do processo de fabricação. A seguir, as etapas da metodologia básica de seleção de materiais são detalhas.

Figura 11 - Etapas do método de Ashby para seleção de materiais



Fonte: Adaptado de Ashby (2012)

Segundo Brifcani et al (2012) a metodologia proposta por Ashby (2012) proporciona uma busca livre por materiais, isto é, não existe uma restrição inicial de candidatos.

2.5.1 Tradução

A etapa de tradução consiste em expressar os requisitos de projeto como funções, restrições, objetivos e variáveis livres. Essas são as condições de contorno para selecionar um material. Assim, A relação dos requisitos do projeto com os requisitos dos materiais pode ser obtida mediante respostas aos questionamentos da tabela 2, que também serve como modelo de declaração das necessidades.

Tabela 2 - Função, restrições e variáveis livres

Atributos	Questionamentos
Função	O que o componente faz?
Restrições absolutas	Quais são as condições não negociáveis que ele deve cumprir?
Restrições negociáveis	Quais são as condições negociáveis, porém desejáveis, que ele deve cumprir?
Objetivo	O que deve ser maximizado ou minimizado?
Variáveis livres	Quais são os parâmetros do problema que o projetista tem liberdade para mudar?

Fonte: Adaptado de Ashby (2012)

A partir do preenchimento da tabela 2, com as respostas aos questionamentos é possível avançar para a etapa de triagem.

2.5.2 Triagem

É nessa etapa, que de um enorme grupo de materiais, se isolam candidatos que capazes de cumprir a função de material do produto. Segundo Faller (2009) os procedimentos de triagem mais apurados surgem da proposta de Ashby e Johnson (2002). Com base na análise desses procedimentos pode-se afirmar que eles promovem a integração entre conceitos de *design* e engenharia. Assim, sua aplicação direciona o projetista a abrir seu campo de visão, muitas vezes limitado às características técnicas.

Para Ashby e Johnson (2002), o desenho industrial ou simplesmente *design* é o responsável pela percepção que os usuários têm do produto. Com base nisso eles apresentam uma proposta para a triagem de materiais e processos de fabricação, que além de considerar as características técnicas dos materiais, considera características como a percepção e usabilidade, relevantes ao projeto industrial. A proposta é composta por quatro procedimentos, para triagem de materiais, concorrentes e complementares entre si. Para executar essas etapas existem diversas ferramentas de projeto, que serão abordadas posteriormente. Portanto os procedimentos de triagem propostos por Ashby e Johnson (2002) são os seguintes:

a) Análise

Segundo Ashby e Johnson (2002) a triagem por análise é a maneira típica dos engenheiros procederem. Ela consiste basicamente na busca de materiais e processos em bancos de dados numéricos através de atributos desejados ou de condições restritivas.

Para Walter (2006) atributos desejados são requisitos que se deseja otimizar, geralmente, considerados através de índices de mérito e condições restritivas são requisitos de desempenho mínimos ou indesejáveis. Para o autor este procedimento de seleção é o que mais se assemelha a seleção de materiais “tradicional”.

Segundo Ashby e Johnson (2002) o método de análise possui diversos aspectos positivos: é um procedimento sistemático, baseado em fundamentos técnicos, possui dados de entrada precisos e é fundamentado em regras sólidas.

Porém, segundo os autores, essas vantagens podem se tornar limitadores, que restringem o desenvolvimento da solução a um conjunto limitado de problemas específicos e/ou regras estabelecidas.

b) Síntese

Segundo Ashby e Johnson (2002) a seleção de materiais por Síntese, também conhecida como análise de similares, tem como princípio a busca de informações sobre materiais e processos de fabricação em produtos que já estão no mercado. Tem como entrada atributos desejados de percepção, para então serem verificados quais materiais e processos são utilizados para se conseguir tais percepções. Segundo Ashby e Johnson (2002), diversas pesquisas foram desenvolvidas na busca por atributos perceptíveis dos produtos, o que levou ao rol de percepções (tabela 3). As expressões da tabela podem ser relacionadas a imagens, criando um elo de comunicação.

Tabela 3 - Rol das Percepções

Percepção	Opósito	Percepção	Opósito
Agressivo	Passivo	Elegante	Deselegante
Barato	Caro	Extravagante	Contido
Clássico	Moderno	Feminino	Masculino
Impessoal	Amigável	Formal	Informal
Inteligente	Bobo	Artesanal	Industrializado
Público	Exclusivo	Engraçado	Sério
Decorado	Plano	Informal	Formal
Delicado	Robusto	Irritante	Amável
Descartável	Durável	Maduro	Jovem
Maçante	Sexy	Nostálgico	Futurístico

Fonte: Adaptado de Ashby e Johnson (2002)

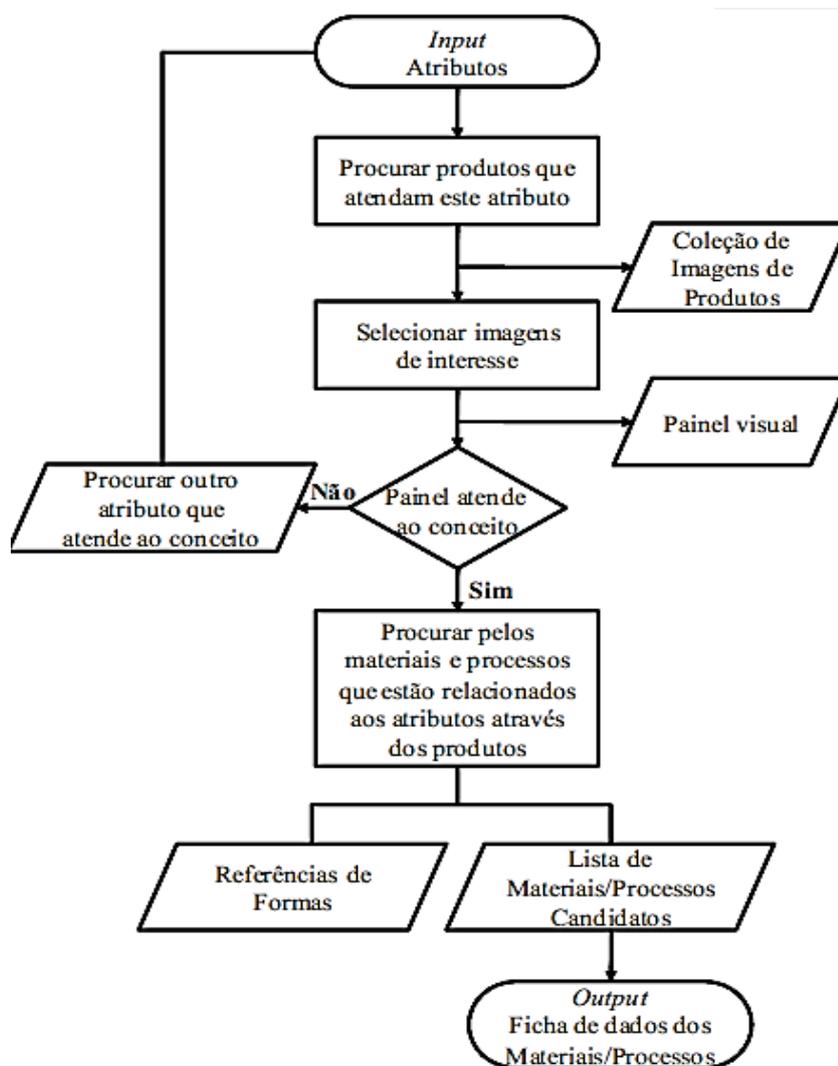
Ashby e Johnson (2002) ainda alertam que o rol apresentado necessita de frequente atualização, pois em qualquer idioma as palavras e significados se transformam com o passar do tempo.

Em um primeiro momento, o procedimento de síntese parece ser aquele tradicionalmente utilizado em empresas que realizam a seleção de materiais com base em produtos antigos, se fixando ao que já existe, o que quase que impossibilita a inovação. Porém a abordagem de Ashby e Johnson (2002) é bem diferente. O procedimento busca o cruzamento de informações de diferentes áreas, por exemplo, uma inovação do setor aeronáutico pode ser adaptada à utilização em uma máquina agrícola. Assim, segundo os autores o método proporciona uma forma diferenciada de inovação denominada união de tecnologias.

Silva et al (2009) apresentam um fluxograma para aplicação do procedimento de síntese. Seguindo o fluxograma proposto pelos autores, figura 12, o projetista deve se basear nos atributos de percepção desejados e buscar por produtos que atendam a estes, fazendo uma coleção com imagens interessantes desses produtos. Assim o projetista deve avaliar se o painel de imagens gerado atende ao conceito desejado. Uma vez de posse de um painel satisfatório, o projetista terá de posse sugestões de formas e materiais para o seu produto. Verificando as formas materiais e processos relacionados ao conceito que deseja embutir no produto, os autores acreditam que o projetista terá subsídios para o seu processo criativo.

Tal procedimento pode ser viável e de grande proveito, no entanto para isso deve ser realizado um bom trabalho de pesquisa ou contar com bancos de produtos, como o proposto por Ashby e Johnson (2002) e Silva *et al* (2009).

Figura 12 - Fluxograma para aplicação da síntese



Fonte: Silva et al (2009)

c) Similaridade

Segundo Ashby e Johnson (2002) a seleção de materiais por Similaridade é comumente utilizada em projetos que tenham como objetivo substituir um material ou tenham como base um projeto preexistente. Conforme já foi citado anteriormente, a maioria dos projetos é assim, e portanto esse método tem uma grande abrangência. Para

os autores nestes casos a seleção de materiais por análise seria possível, mas com isso seriam desperdiçadas informações valiosas, já levantadas em estudos anteriores. O perfil de atributos do material original a ser substituído na maioria das vezes é, ou foi, um retrato de material ideal.

Ainda segundo Ashby e Johnson (2002), na seleção de materiais por Similaridade todos os atributos da solução existente devem ser enumerados e ordenados conforme o grau de importância. Assim os mais importantes são fixados e os de menor, relaxados. A partir de um banco com dados sobre materiais e processos, os valores são comparados com outros materiais, em busca de similares que possam ter alguma vantagem frente ao material original.

Os Mapas de Propriedades dos materiais criados por Michael Ashby são uma ótima ferramenta para o método de seleção por similaridade, pois através de índices de mérito, que podem ter como base os atributos do material original, graficamente, podem ser visualizados materiais que também cumprem com os índices do material original. A partir disso podem ser exploradas outras alternativas de materiais. Estes Mapas são elucidados, de uma forma mais detalhada, no item 2.5 deste trabalho.

d) Inspiração

Segundo Ashby e Johnson (2002) muitas boas ideias são desencadeadas acidentalmente, por experiências repentinas. Novas experiências podem ser “inspiradoras” e ativam a criatividade do projetista. Para os autores, um procedimento sistemático não é útil nesse caso, pois a inspiração vem da imersão, da exploração quase aleatória das opções.

Este é o método de seleção de materiais por Inspiração, que consiste em uma procura livre por materiais, processos e produtos de maneira quase aleatória ou por interesse do projetista, que “navega” por exemplos de bancos de dados, interage com materiais ou produtos, utiliza a internet para visualizar imagens, etc.

2.5.3 Combinação de Métodos de Triagem

Segundo Ashby e Johnson (2002) a combinação de métodos é uma maneira de proceder mais efetiva do que a utilização de qualquer um dos métodos isoladamente. A

figura 15 representa o caminho desde as diretrizes básicas do projeto, serve como modelo para realizar a seleção de materiais combinando métodos, segundo os autores “embora complexo e indistinto, é uma representação mais exata do que a do modelo linear...”. O modelo linear é o que apresenta a seleção de materiais realizada isoladamente, por apenas um método.

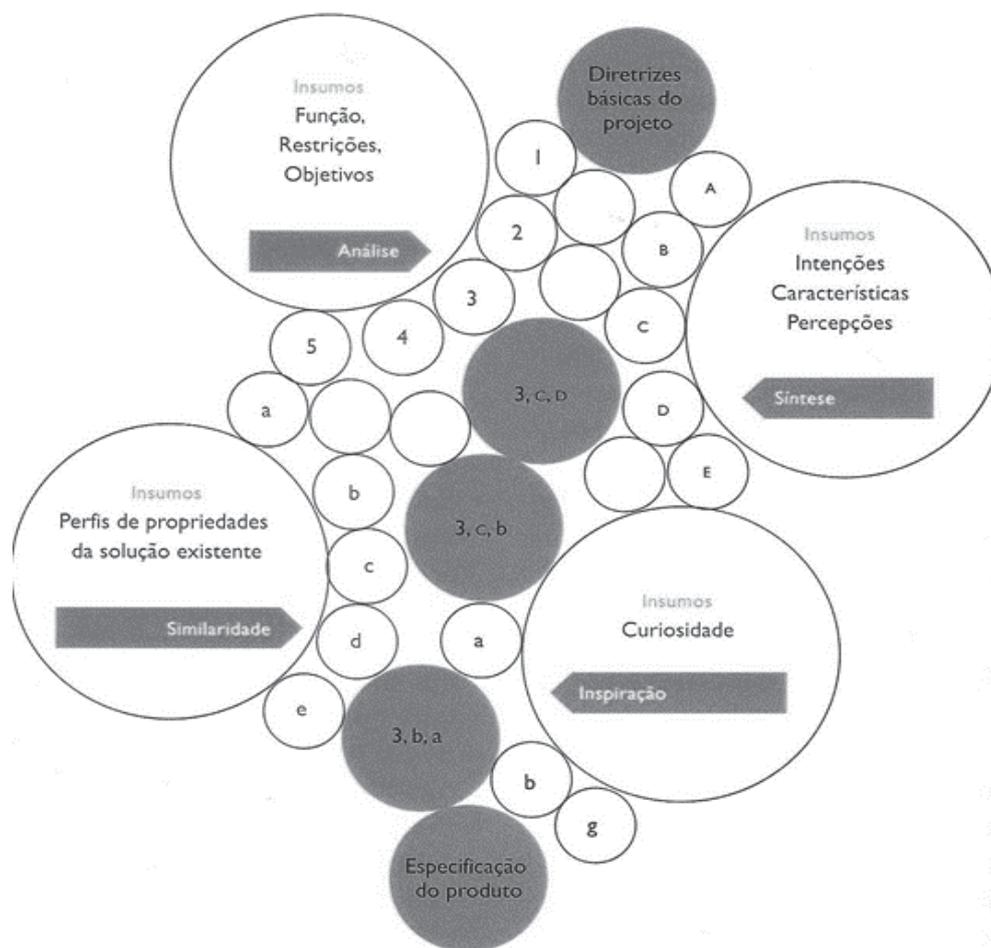
Conforme pode ser observado no caminho de seleção de materiais mostrado na figura 13, a jornada de seleção de materiais é auxiliada, em vários graus, pelos métodos de análise, síntese, similaridade e inspiração (círculos grandes), que promovem soluções constantemente refinadas à medida que se segue adiante. Os métodos recorrem a um banco de dados sobre materiais e processos e a um banco de produtos, armazenados como exemplos ligados a utilização de materiais em produtos. Cada um gera uma população de pequenas bolhas – as soluções que sobreviveram ou emergiram da técnica, cada uma contendo informações a respeito de determinados materiais ou da combinação deles.

Dentro de um método isolado pode até ser encontrado um caminho linear, no entanto, conforme os autores, dificilmente esse caminho gera uma escolha isenta de ambiguidades. Na maioria das vezes o caminho mais tortuoso, que é o da combinação de métodos, é o melhor.

Além de proporcionar escolhas mais seguras, a combinação de métodos promove um intercâmbio de conhecimentos, une o ensino tradicional de engenharia, que dá ênfase aos métodos analíticos (análise e similaridade) aos métodos indutivos como a síntese e inspiração, que são especialidades dos *Designers*. Segundo Ashby e Johnson (2002) muitas ideias criativas em áreas técnicas, como ciência e engenharia, têm surgido de pensamentos indutivos não ligados a análise.

Caso exista dificuldade na quantificação dos requisitos a análise pode ser abandonada e outros métodos podem ser utilizados, para gerar possíveis soluções como A, B, C, c, d, e, β , γ , etc. Explorando produtos que têm as características desejadas, buscando similares ou até através da exploração aleatória de materiais em produtos. Posteriormente a análise pode ser reabilitada a partir de quantificadores gerados pelos outros métodos.

Figura 13 – Caminho de seleção de materiais combinando procedimentos



Fonte: Ashby e Jhonson (2011)

O caminho de seleção de materiais combinando procedimentos de triagem parece ser a melhor alternativa, pois une conceitos de diferentes áreas promovendo a multidisciplinaridade da seleção de materiais. Muitas vezes esses conceitos são trabalhados de forma separada, ou até negligenciados, por engenheiros e/ou *designers*.

Conforme Kindlein e Busko (2006) a sinergia entre *design* e engenharia é um elemento fundamental na busca pela inovação. Assim, se pode afirmar que utilização de procedimentos isoladamente é prejudicial à atividade inventiva e, geralmente, determina o insucesso do projeto. A importância de unir os diferentes procedimentos também é relatada por Faller (2009), segundo o autor qualquer um dos procedimentos pode ser utilizado individualmente, porém o caminho mais eficiente utiliza recursos gerados por cada um deles.

Assim, se evidencia que selecionar materiais combinando procedimentos de triagem promove a multidisciplinaridade e conseqüentemente alavanca o processo de inovação. Proceder dessa forma gera grandes diferenciais para o desenvolvimento de produtos de sucesso.

2.5.4 Classificação

De acordo com Ashby (2012) a classificação é a etapa na qual se identificam, dentre os materiais triados, os que melhor fazem o serviço. Para ordenar os candidatos é necessária a utilização de critérios de otimização, que podem ser encontrados nos índices de material (IM), que medem o quão bem o material passou pela triagem. Um índice de material é um critério de excelência que pode ser uma propriedade isolada ou uma combinação delas, e com isso permite ranquear materiais de acordo a capacidade na aplicação.

2.5.5 Documentação

Segundo Ashby (2012) é nesta etapa que se encontram subsídios para uma escolha final. Conforme Ferrante (2000), para isso o material deve ser estudado de uma forma detalhada, “microscopicamente”.

Conforme Ferrante (2000) e Ashby (2012) para a escolha final devem ser utilizados procedimentos de decisão que variam em cada caso. Um exemplo de metodologia de decisão é a proposta por Brascher (2011), que utiliza planilhas eletrônicas e se baseia no QFD. Através da escolha dos requisitos de projeto, que têm pesos padronizados, é determinada a escolha final, de acordo com a pontuação dos candidatos.

De acordo com Brifcani et al (2012), para a etapa de documentação não existe uma técnica que direcione a uma escolha perfeita. Por isso, diversos aspectos relevantes devem ser ponderados, de acordo com cada caso.

2.6 FERRAMENTAS PARA SELEÇÃO DE MATERIAIS

Existem várias ferramentas disponíveis no mercado para a seleção de materiais. Elas variam desde simples catálogos até softwares com sistema de busca multicritérios. Dentre as ferramentas encontradas, merecem destaque:

- **Material Property Data (MatWeb, 2014)** - <http://www.matweb.com>

Permite acessar, gratuitamente, um banco de dados com mais de 100 mil tabelas que contém informações a respeito das propriedades técnicas dos materiais. Um dos métodos de pesquisa disponibilizados é o feito através do cruzamento de valores das propriedades técnicas dos materiais, o usuário com conta gratuita pode escolher até três propriedades, estipulando os valores máximos e mínimos admitidos no projeto. O site ainda disponibiliza uma grande lista de fornecedores para os materiais de seu banco de dados e arquivos de informações compatíveis com os principais softwares CAE (Computer Aided Engineering) e CAD (Computer Aided Design).

- **ASM Material Handbook (ASM, 2014)** - <http://products.asminternational.org>

Os livros da *ASM International* são uma grande fonte de dados sobre propriedades técnicas dos materiais, além disso a ASM disponibiliza acesso on-line via pagamento de anuidade. Assim, essa ferramenta atende aos requerimentos de informações sobre propriedades técnicas para a seleção de materiais e serve como referência para o desenvolvimento de muitos bancos de dados digitais como o MatWeb.

- **Mapas de Propriedades dos Materiais (Ashby, 2012)**

São diagramas que resumem as propriedades técnicas dos materiais de um modo compacto, mostrando a faixa abrangida por cada família e classe de material. Eles

revelam correlações entre critérios de projeto e características técnicas dos materiais, auxiliando na verificação e estimativa de informações, permitindo uma rápida comparação dos candidatos. Diversos autores utilizam os Mapas de Ashby em seus capítulos de seleção de materiais, dentre eles: Callister (2008) e Shackelford (2008).

- **Cambridge Engineering Selector (CES, 2014)** – <http://www.grantadesign.com>

Desenvolvido com base nos mapas de propriedades dos materiais de Michael Ashby, o CES é um *software* que realiza o cruzamento de informações relacionadas aos materiais em um banco de dados com etapas progressivas de restrições, permitindo encontrar materiais que coincidem com os requisitos do projeto. Com o CES é possível acessar informações relativas às propriedades dos materiais, aos processos de fabricação, às propriedades ecológicas, à durabilidade e aos custos. Baseado nestas informações é possível gerar gráficos e mapas que facilitam a visualização dos dados. Possui um módulo de auditoria em eco sustentabilidade. Assim, se pode afirmar que o CES é uma ótima alternativa de ferramenta para auxiliar a realização das etapas de seleção de materiais na metodologia Ashby.

- **Materioteca (2014)** - <http://www.materioteca.it/>

Localizada em Milão, conta com amostras físicas, para a análise de propriedades subjetivas, em um centro de exposições de acesso gratuito. Também possui um website com dados sobre processos de fabricação e materiais poliméricos, dados estes de caráter técnico e descritivo. O seu site disponibiliza ferramentas de busca com quatro tipos de critério: família, setor de aplicação, processo de fabricação e nome do fornecedor.

- **Laboratório de Design e Seleção de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (LdSM/UFRGS, 2014)** - <http://www.ufrgs.br/ndsm>

Disponibiliza um site com informações de propriedades técnicas, subjetivas e processos de fabricação. O website permite o download de artigos, dissertações e outras pesquisas relacionadas a área de materiais e *design*. Não possui ferramentas de busca, assim o usuário tem que ir direto ao material no qual está buscando informações.

- **Braskem (2014)** - <http://www.braskem.com.br/site.aspx/Consultar-Produtos>

A maior produtora de resinas termoplástica das Américas, possui uma grande variedade de produtos polímeros em seu portfólio. Para a consulta de informações sobre seus produtos, possui três opções de busca em seu *website*: 1) pesquisa técnica combinando informações (processo de fabricação, família de produtos, aplicação); 2) pesquisa com o nome exato do produto que se deseja consultar e 3) pesquisa pelos valores (mínimo e máximo) aceitados de índice de fluidez.

- **Gerdau (2014)** - <http://www.gerdau.com.br/produtos-e-servicos/produtos-linhas-de-produtos.aspx>

Um catálogo de materiais, também pode ser considerado uma ferramenta de seleção. Neste sentido, a empresa Gerdau, que é líder no segmento de aços longos nas Américas e uma das principais fornecedoras de aços longos especiais do mundo. Disponibiliza em seu *website* catálogos com especificações técnicas sobre seus produtos, além de possuir sistema de busca por catálogos através da inserção de critérios como o mercado de aplicação, forma e tipo. Além das características técnicas dos materiais também fornece em seus catálogos informações sobre tratamentos térmicos e processos de fabricação.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo apresenta os materiais e métodos utilizados na seleção das metodologias e ferramentas mais adequadas ao projeto de máquinas e implementos agrícolas, bem como os procedimentos adotados para aplicação dessas metodologias e ferramentas em um estudo de caso onde essas técnicas foram aplicadas e analisadas.

3.1 SELEÇÃO DE METODOLOGIAS E FERRAMENTAS

Foram realizados diversos procedimentos visando a seleção dos melhores métodos e ferramentas de seleção de materiais para o projeto de máquinas e implementos agrícolas. Os procedimentos foram os seguintes:

a) Estudo sobre a indústria de máquinas e implementos agrícolas.

Para o entendimento dessa indústria foram elucidados aspectos relevantes desse setor, dentre eles: histórico, peculiaridades, evolução dos produtos, tendências e desafios para a inovação tecnológica. Grande parte desse estudo foi incorporado ao capítulo 2, na forma de revisão bibliográfica. Entretanto, essa etapa é fundamental para a definição de todos os procedimentos adotados nesse trabalho.

b) Detecção dos requerimentos, com relação a seleção de materiais no projeto de máquinas e implementos agrícolas.

Foram investigadas as dificuldades e carências no processo de seleção de materiais nas indústrias de máquinas e implementos agrícolas. Foi realizada uma análise geral sobre o estado da técnica do processo de seleção de materiais, variáveis envolvidas e procedimentos adotados. Além da experiência do próprio autor como engenheiro projetista de máquinas agrícolas, foram desenvolvidas diversas consultas a engenheiros, dirigentes e outros profissionais para a detecção das dificuldades e requerimentos necessários para a melhoria dos procedimentos relacionados a seleção de materiais nos projetos nesse setor. Na grande maioria das vezes, as considerações externadas são restritas por políticas industriais. Entretanto, essas considerações foram acatadas para o desenvolvimento desse trabalho, especialmente para a seleção dos métodos e ferramentas adequados para supri-las.

c) Análise dos métodos de seleção de materiais quanto a sua aplicação na indústria de máquinas e implementos agrícolas.

Com base nos requisitos e carências com relação à seleção de materiais no projeto de máquinas e implementos agrícolas, foram analisados os métodos existentes quanto a sua aplicação nesse setor da indústria.

d) Análise das ferramentas de seleção de materiais quanto a sua aplicação na indústria de máquinas e implementos agrícolas.

A aplicação da metodologia de seleção de materiais no projeto de máquinas e implementos agrícolas requer a utilização de ferramentas computacionais e procedimentos de apoio. Assim, o trabalho voltou-se para a busca desses instrumentos. Primeiramente foi necessário escolher entre as opções de desenvolver ferramentas específicas ou utilizar procedimentos e ferramentas preexistentes.

- Foi realizado um experimento no qual foi desenvolvido *um sistema de informação seletor de materiais direcionado ao projeto de máquinas e implementos agrícolas*. Para a realização desse experimento foram utilizadas as linguagens de programação PHP e HTML, bem como o banco de dados MySql;
- Avaliação da utilização da ferramenta MatWeb como sistema auxiliar na realização das etapas de seleção de materiais;
- Avaliação da utilização da ferramenta CES - *Cambridge Engineering Selector*.

e) Seleção da metodologias e ferramentas para desenvolvimento de um estudo de caso.

Após a análise das diversas variáveis envolvidas com o projeto de máquinas e implementos agrícolas, foram selecionadas metodologias e ferramentas disponíveis mais adequadas para a seleção de materiais no projeto de máquinas e implementos agrícolas.

3.2 ESTUDO DE CASO

No estudo de caso foram aplicados e avaliados os métodos e ferramentas selecionados. Para isso foi escolhido como objeto de estudo uma carenagem lateral de uma colhedora de grãos.

A escolha de uma colhedora explica-se por ser um equipamento bastante difundido, e por existirem diversos modelos no mercado. Além disso, as colhedoras são equipamentos complexos, que demandam um esforço suplementar para redução de massa, como forma de aumentar a sua capacidade de armazenagem e economia de combustível.

A carenagem lateral foi escolhida devido a ser um ótimo exemplo dos desafios da indústria de máquinas e implementos agrícolas com relação a seleção de materiais. Trata-se de um componente que requerer um bom projeto mecânico e tem como grande diferencial o projeto industrial.

É importante destacar, que a realização do estudo de caso não visa apenas selecionar um material para a carenagem, e sim, gerar oportunidades para análises e discussões a respeito das metodologias e ferramentas selecionadas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 SELEÇÃO DE METODOLOGIA

Baseado nos procedimentos realizados nesse trabalho, pode-se afirmar que a opção de metodologia de seleção de materiais disponível mais adequada para o projeto de máquinas e implementos agrícolas é a que foi desenvolvida por Michael Ashby baseado nos mapas de propriedades dos materiais. A escolha dessa metodologia deve-se aos procedimentos sistêmicos e que direcionam os projetistas a considerar a ampla gama de materiais disponíveis. Portanto, o método é uma excelente alternativa para otimizar o processo de desenvolvimentos de produtos nesse setor.

4.2 SISTEMA DE INFORMAÇÃO SELETOR DE MATERIAIS

A aplicação da metodologia Ashby no projeto de máquinas e implementos agrícolas requer a utilização de ferramentas e procedimentos de apoio. Assim, o trabalho voltou-se para a busca desses instrumentos. Primeiramente, foi necessário escolher entre as opções de desenvolver ou utilizar procedimentos e ferramentas preexistentes. Assim, foi realizado um experimento no qual foram buscados subsídios para o desenvolvimento de um sistema de informação seletor de materiais direcionado ao projeto de máquinas e implementos agrícolas.

A ideia inicial foi desenvolver um sistema que a partir da inserção de dados do projeto, retorna como saída o material a ser utilizado. Para a realização do experimento foram utilizadas as linguagens de programação PHP e HTML, bem como o banco de dados MySQL. Os mesmos foram escolhidos devido a compatibilidade com os sistemas operacionais Windows e Linux e por serem gratuitos.

Durante o desenvolvimento desse *sistema de informação seletor de materiais direcionado ao projeto de máquinas e implementos agrícolas* evidenciou-se que a diversidade de situações envolvidas no projeto dificulta muito tal formato. Após isso o projeto da ferramenta foi redirecionado, chegando-se a um sistema informatizado baseado na *WEB* (Apêndice A). Entretanto, constatou-se que esse sistema não teria grandes diferenciais frente a outras ferramentas, como o MatWeb, e seria inferior a outras, como o CES - *The Cambridge Engineering Selector*. Além disso, para torná-lo

realmente aplicável ainda seriam requeridos muitos ajustes e fugiria aos objetivos desse trabalho. Foi constatado que o esforço necessário para o desenvolvimento de um sistema dedicado é muito mais complexo do que se pensava inicialmente.

Walter (2006) investigou a atividade projetual em contraposição aos métodos de seleção de materiais em busca de subsídios para a elaboração de um método e de um sistema de informações de seleção de materiais adequado a atividade de *design* no Brasil. O sistema de informação proposto pelo autor se mostra adequado para suprir lacunas não preenchidas pelos instrumentos existentes, sendo uma ótima alternativa para o desenvolvimento de produtos. É composto de um sistema digital de informações e de uma coleção ordenada de amostras (Materioteca). Porém, apesar de se mostrar uma ótima alternativa, ainda não teve sua aplicação totalmente viabilizada.

Baseado nessa tentativa, evidenciou-se que a melhor alternativa para o cumprimento dos objetivos desse trabalho é a de utilizar procedimentos e ferramentas preexistentes de apoio ao método Ashby. De forma complementar, pode-se pensar na utilização de uma ferramenta que integre diversos setores da empresa de máquinas e implementos agrícolas, tais como almoxarifado, depósito de materiais, setor de logística, departamento de compras, etc. Além disso, se mostrou necessária a utilização de um banco de dados da empresa para registrar o histórico do processo de seleção de materiais, possibilitando que o mesmo seja utilizado posteriormente como apoio a realização de projetos futuros.

4.3 SELEÇÃO DE FERRAMENTAS E PROCEDIMENTOS

Para auxiliar na realização de cada uma das quatro etapas do método Ashby, ou seja, tradução, triagem, classificação e documentação, foram selecionados procedimentos específicos e ferramentas adequadas ao projeto de máquinas e implementos agrícolas.

4.3.1 Tradução

A tradução corresponde à interpretação dos requisitos de projeto e consequente expressão dos mesmos em atributos dos materiais. Assim, como ferramenta de auxílio para essa etapa, aplicável ao projeto de máquinas e implementos agrícolas, o melhor

procedimento encontrado está resumido na tabela 4, denominado aqui como Guia de Tradução.

Tabela 4 - Guia de tradução

Atributos	Questionamentos
Função	O que o componente faz? Ex: Viga submetida à flexão
Restrições absolutas	Quais são as condições não negociáveis que ele deve cumprir? Ex: Módulo de Young > 20 GPa
Restrições negociáveis	Quais são as condições negociáveis, porém desejáveis, que ele deve cumprir? Ex: Se for reciclável melhor
Objetivo	O que deve ser maximizado ou minimizado? Ex: Minimizar massa e custo
Variáveis livres	Quais são os parâmetros do problema que o projetista tem liberdade para mudar? Ex: Espessura

Fonte: Adaptado de Ashby (2012)

O Guia de Tradução gera objetividade ao procedimento, pois direciona o foco do projetista ou equipes de projeto, para as questões relevantes à seleção de materiais, que estão preestabelecidas. O texto em destaque, que pode observado no guia, corresponde a exemplos de preenchimento.

Baseado nos procedimentos normalmente realizados na indústria de máquinas e implementos agrícolas é possível afirmar que para a melhor eficiência dessa etapa, os questionamentos do guia devem ser respondidos, na medida do possível, por equipes interdisciplinares. Esse ambiente cooperativo promove o intercâmbio de ideias e contribui para o desenvolvimento de melhores produtos.

4.3.2 Triagem

Considerando todas as etapas realizadas na execução desse trabalho, é possível concluir que a etapa de triagem é o ponto central do método de seleção de materiais

proposto. As outras etapas servem para estabelecer entradas ou para processar os dados de saída obtidos na triagem. Assim, as escolhas efetuadas aqui, visam direcionar o processo de seleção de materiais contextualizada no projeto de máquinas e implementos agrícolas, integrando conceitos de engenharia e *design*. Deste modo, foram selecionados os procedimentos:

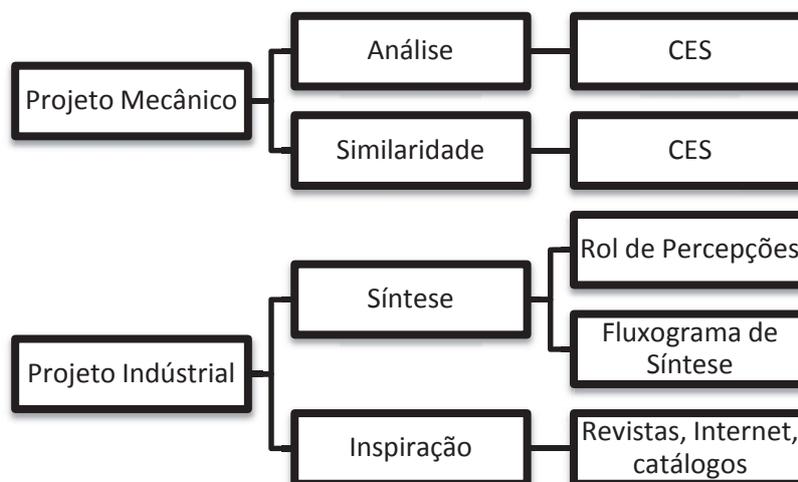
- **Análise e similaridade**, pois enfatizam o projeto mecânico;
- **Inspiração e síntese**, pois enfatizam o projeto industrial.

Nos procedimentos de triagem que contemplam o projeto mecânico, a ferramenta de auxílio selecionada foi o *Software CES*, que foi escolhido devido ao mesmo oferecer rápido acesso a dados e proporcionar grande liberdade na exploração de escolhas potenciais através dos mapas de propriedades dos materiais.

Já nos procedimentos voltados ao projeto industrial, as melhores ferramentas encontradas foram o Rol de Percepções (tabela 3) e o Fluxograma de Síntese (figura 12), aplicáveis a síntese. Para o procedimento por inspiração foi constatada uma falta de ferramentas de auxílio. Uma opção de ferramenta ideal seria uma materioteca como a *Material Connexion*, apresentada na revisão bibliográfica. Porém, não havendo esta disponibilidade, as ferramentas de inspiração disponíveis são resumidas a revistas, internet, catálogos de produtos, ou qualquer meio de inspiração que ocorrer ao projetista.

Assim, a figura 14 apresenta os procedimentos, as ferramentas e a estrutura de trabalho, selecionados para a triagem no projeto de máquinas e implementos agrícolas.

Figura 14 - Estrutura de triagem



Fonte: Próprio autor

A opção por realizar a triagem através dos procedimentos de análise, similaridade, síntese e inspiração de forma combinada, se deve às necessidades detectadas no setor de máquinas e implementos agrícolas. Pois esses procedimentos de forma combinada são muito mais eficazes do que a utilização de qualquer um deles isoladamente. Além disso, essa diversidade promove a multidisciplinaridade da triagem.

4.3.3 Classificação

A classificação corresponde a escolha dos melhores candidatos potenciais que podem executar o serviço, a partir de uma lista de materiais gerada na etapa de triagem.

Para a efetivação dessa etapa o CES continua sendo uma ótima ferramenta de auxílio, pois pode gerar mapas de propriedades dos materiais e ranquear os candidatos com base em critérios de comparação como os índices de material.

Além disso, ficou evidenciado que a melhor maneira de realizar essa etapa é dar liberdade à equipe de projeto para estabelecer critérios de classificação, que durante o processo de seleção de materiais se mostraram convenientes. O estabelecimento desses critérios será demonstrado no estudo de caso, pois dependem de questões circunstanciais de cada projeto.

4.3.4 Documentação

Por fim os melhores candidatos potenciais, definidos na classificação, são analisados de uma forma detalhada (etapa de documentação) para que sejam tiradas conclusões finais sobre os melhores materiais para a fabricação.

Para a realização dessa etapa o CES também foi uma boa opção de ferramenta encontrada, pois possui um enorme banco de dados com informações sobre materiais. Além disso, a equipe de projeto fica livre para estabelecer critérios de comparação que se mostrem interessantes, como por exemplo, ensaios mecânicos, simulações computacionais, cálculos de engenharia, pesquisas de mercado, etc.

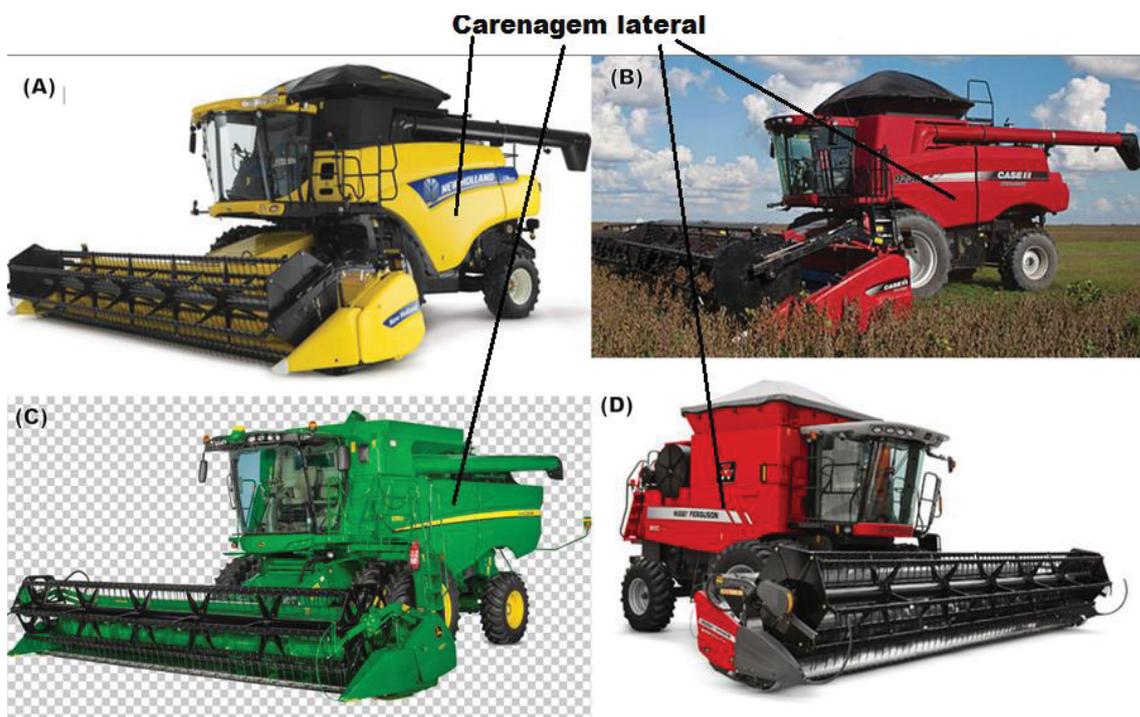
4.4 ESTUDO DE CASO

A opção por um estudo de caso foi motivada pela necessidade de contextualização dos métodos e ferramentas de seleção de materiais selecionados em um componente de equipamento típico do setor de máquinas e implementos agrícolas.

4.4.1 Escolha e Apresentação do Componente

Existem diversas colhedoras de grãos de qualidade no mercado, que na maioria das vezes cumprem com eficiência os requisitos de trabalho. A opção dos consumidores por uma ou outra marca leva em conta diversos fatores e muitas vezes o *design* externo é um grande diferencial, pois é ele que passa as primeiras percepções do produto. A figura 15 mostra quatro modelos de colhedoras, de tamanho similar, consagrados pela sua eficiência operacional.

Figura 15 – Colhedoras de grãos



Fontes: (A) www.newholland.com.br (B) www.caseih.com (C) www.deere.com (D) www.massey.com.br

O componente escolhido para esse estudo de caso é a carenagem lateral de uma colhedora de grãos. Trata-se de um componente que permite a utilização de diversos materiais, diferentes processos de fabricação e recursos de *design*. A figura 16 mostra um exemplo de carenagem de colhedora fabricada em material GFRP e nervuras que diminuem a deflexão da peça. Como pode ser observado, as carenagens tem grande influência no *design* externo dessas máquinas.

Figura 16 - Carenagem lateral de uma colhedora John Deere



Fonte: Próprio autor

4.4.2 Seleção de Materiais Para Carenagem Lateral de Colhedora

Aqui são apresentados os resultados da aplicação das metodologias e ferramentas na seleção de materiais selecionadas no item 4.3 para a seleção de materiais de uma carenagem lateral de colhedora.

Tradução

Em termos mecânicos uma carenagem lateral é uma chapa de superfície complexa carregada sob flexão. Deve resistir a choques eventuais, portanto, materiais frágeis, com tenacidade à fratura (K_{Ic}) menor do que $1,0 \text{ MPa}\cdot\sqrt{m}$, são inaceitáveis; deve ser rígida o suficiente para suportar o próprio peso sem sofrer deflexão e deve ter formas e superfícies complexas para seguir os padrões atuais de *design*. Além disso, deve ser leve, pois a massa extra aumenta o consumo de combustível e provoca mais compactação do solo. Se possível, o material selecionado deve ser reciclável. Por fim,

deve atender a todos os requisitos e objetivos com o mínimo custo possível. A tabela 5 apresenta os principais requisitos de projeto para a carenagem.

Tabela 5 - Guia de Triagem para a carenagem

Atributos	Questionamentos
Função	O que o componente faz? Carenagem - Chapa submetida à Flexão
Restrições absolutas	Quais são as condições não negociáveis que ele deve cumprir? Tenacidade à fratura > 1,0 MPa.\sqrt{m}; deve ter rigidez para se auto sustentar; deve resistir a impactos; deve ser moldável.
Restrições negociáveis	Quais são as condições negociáveis, porém desejáveis, que ele deve cumprir? Se for reciclável melhor.
Objetivo	O que deve ser maximizado ou minimizado? Minimizar massa e custo.
Variáveis livres	Quais são os parâmetros do problema que o projetista tem liberdade para mudar? Espessura.

Fonte: Próprio autor

As restrições absolutas correspondem a requisitos essenciais, portanto, só são aceitáveis materiais que as cumpram. As restrições negociáveis são altamente recomendáveis porém, devem ser ponderadas junto com os objetivos. Já os objetivos devem ser trabalhados de modo a serem maximizados ou minimizados.

Triagem

Nesta etapa são apresentados os procedimentos realizados para a determinação dos materiais que podem ser usados para construir a carenagem. Para isso, foram aplicados os quatro procedimentos de triagem e ferramentas selecionados.

○ Triagem por síntese

Uma colhedora, além de prover os requisitos de serviço, deve atender aos requerimentos perceptivos demandados pelo usuário. A síntese se demonstra relevante para prover essa demanda, pois guia o projetista a agregar aspectos simbólicos ao produto. A tabela 6 apresenta o Rol das Percepções com os aspectos simbólicos,

considerados importantes para a carenagem, onde os aspectos que se aplicam a carenagem aparecem destacados.

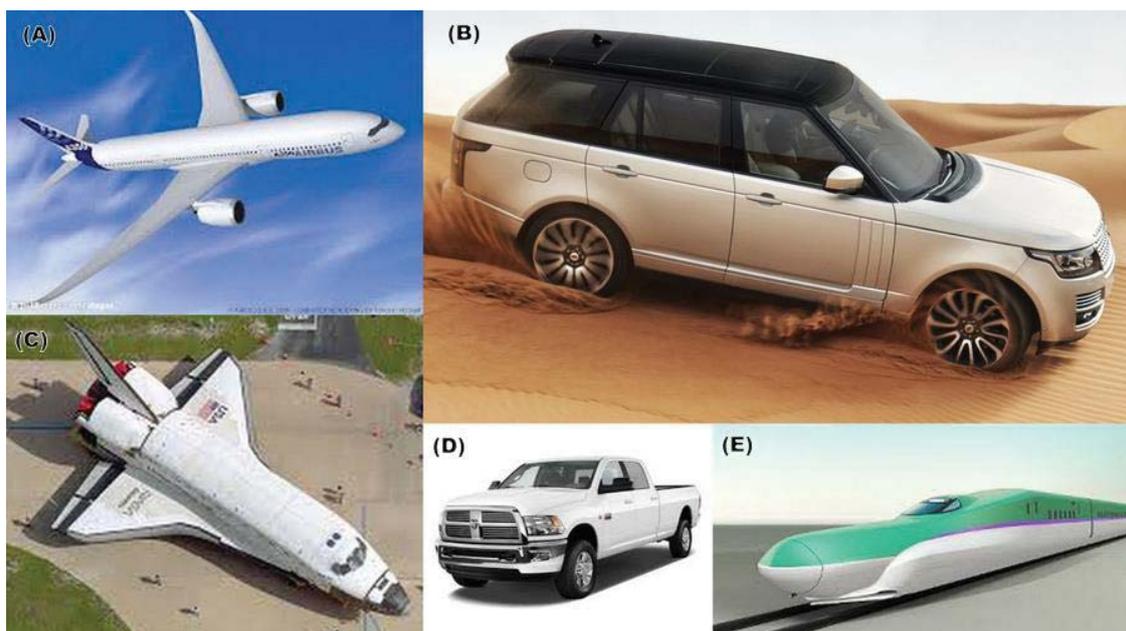
Os atributos perceptivos, definidos, servem de entrada para o fluxograma de aplicação da síntese (figura 12). Assim, conforme o fluxograma, esses atributos foram relacionados a imagens de produtos que atendem a essas percepções. A partir dessas imagens foi montado o painel da figura 17.

Tabela 6 - Rol de Percepções para a carenagem

Percepção	Opósito	Percepção	Opósito
Agressivo	Passivo	Elegante	Deselegante
Barato	Caro	Extravagante	Contido
Clássico	<u>Moderno</u>	Feminino	Masculino
Impessoal	Amigável	Formal	Informal
Inteligente	Bobo	Artesanal	<u>Industrializado</u>
Público	Exclusivo	Engraçado	Sério
Decorado	Plano	Informal	Formal
Delicado	<u>Robusto (Rude)</u>	Irritante	Amável
Descartável	<u>Durável</u>	Maduro	Jovem
Maçante	Sexy	Nostálgico	<u>Futurístico</u>

Fonte: Adaptado de Ashby e Jhonson (2002)

Figura 17 - Painel com imagens de produtos relacionados aos atributos



Fontes: (A) arunrajagopal.com (B) www.zercustoms.com (C) www.meupapeldeparedegratis.net (D) www.taringa.net (E) madeinjapan.uol.com.br

Assim, devido as imagens do painel terem sido julgadas relevantes ao conceito, foram buscados materiais e processos de fabricação relacionados aos atributos através dos produtos. Para essa busca não foram encontradas ferramentas específicas, por isso recomenda-se que ela seja realizada por uma equipe, com conhecimentos preexistentes, que pode utilizar recursos, como por exemplo, consultas a manuais ou à internet. A lista de materiais e processos encontrados é apresentada na tabela 7.

Tabela 7 – Materiais e processos triados por síntese

Material	Processo
Aço baixo carbono	Estampagem
Liga de alumínio 2024	Estampagem
GFRP (epóxi / fibra de vidro)	RTM ou SMC
ABS	Termoformagem
CFRP (epóxi / fibra de Carbono)	RTM ou SMC

Fonte: Próprio autor

Percebe-se que a síntese, além de promover a consideração dos aspectos simbólicos dos produtos, aproveita da experiência da equipe de projeto. Essa experiência tem grande valor e jamais deve ser desprezada.

○ **Triagem por inspiração**

Aqui foram procurados materiais, sem restrições, estimulando o processo criativo. A inspiração parece ter uma grande capacidade de incentivar inovações, pois o projetista fica livre para conhecer novos materiais e processos de fabricação. Assim, foi realizada uma exploração aleatória em bancos de dados como o do CES, em revistas, artigos científicos, fotos de feiras agrícolas e internet, sempre focando nas inovações e tendências.

Neste contexto, a utilização de compósitos com fibras vegetais, que em algumas aplicações têm substituído parcialmente ou totalmente a fibra de vidro, foi constatada como uma possibilidade. Por exemplo, foram descobertos um automóvel, que é feito de compósito com polímero e fibra de cânhamo trançado e uma motocicleta, que tem carenagens de material compósito com fibra de linho e cânhamo com matriz de bioresinas, como mostra a figura 18.

Figura 18 - Fontes de inspiração.

(A) Kastrel, carenagens de compósito (matriz polimérica e fibra de cânhamo) (B) Carenagens de compósito com fibras e resinas vegetais.



(A)



(B)

Fonte: (A) <http://info.abril.com.br>; (B) <http://quatorrodas.abril.com.br>

Porém, devido a não terem sido encontrados dados confiáveis sobre esses materiais, eles não foram considerados aptos para construir a carenagem da colhedora. Neste caso poderiam ter sido realizados ensaios laboratoriais, porém o principal foco desse estudo é averiguar o método de seleção e não o desenvolvimento de novos materiais.

Além de beneficiar a seleção de materiais, a inspiração normalmente é útil para o processo de desenvolvimento do produto como um todo. Ela promove a ampliação do campo de visão e da capacidade criativa do projetista, pois o liberta, do foco restrito ao componente em análise, para vislumbrar tendências e inovações tecnológicas.

- **Triagem por similaridade**

Aqui o método de seleção de materiais por similaridade é utilizado como base para o método de análise. Por serem amplamente utilizados, os materiais tradicionais têm seu *status* respeitado, já que por certas razões possuem a completa combinação de atributos que atendem, ou até então atendiam, os requisitos do projeto.

Com base em uma pesquisa realizada em diversas colhedoras de grãos, percebeu-se que os principais materiais utilizados são o aço de baixo carbono e o compósito GFRP (fibra de vidro contínua ou picada em uma matriz de polímero termofixo – normalmente epóxi ou poliéster).

A tabela 8 apresenta esses materiais, os principais processos de fabricação utilizados e aponta vantagens e desvantagens de cada um. Cabe ressaltar que nas primeiras colhedoras desenvolvidas utilizavam apenas o aço para fabricação da carenagem, no entanto o desenvolvimento dos compósitos, o aumento do tamanho das máquinas e os requerimentos de maior liberdade de formas para o *design* têm aumentado muito a utilização de materiais compósitos na fabricação de carenagens.

Tabela 8 - Materiais e processos tradicionalmente utilizados na carenagem

Aço de baixo carbono	Estampagem	Muito Alta	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Menor custo de material ➤ Reciclagem fácil 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Maior peso ➤ Alto investimento em moldes.
Aço de baixo carbono	Dobreadeira	Baixa	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Não requer investimento em molde. ➤ Menor custo de material e ferramental ➤ Reciclável 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Grande limitação de formas. ➤ Baixa produtividade ➤ Maior peso
GFRP	RTM Light	Alta	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 30 % mais leve que o aço. ➤ Maior liberdade de formas e superfícies. ➤ Moldes mais baratos do que SMC e estampagem ➤ Resistência a altas temperaturas 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Mais caro que aço carbono. ➤ Não reciclável
GFRP	SMC	Muito Alta	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Em média 30 % mais leve que o aço ➤ Maior liberdade de formas e superfícies. ➤ Produtividade 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Mais caro que aço carbono ➤ Alto investimento em moldes ➤ Não reciclável

Fonte: Próprio autor.

Percebe-se que cada caso é específico e fatores como o público alvo, local de fabricação, tiragem de produção e tamanho da máquina são decisivos para a escolha do material e processo de fabricação. O processo SMC (Sheet Molding Compound) é geralmente utilizado nas colhedoras maiores e com grande volumes de produção, já o processo RTM Light tem menor investimentos em moldes e é utilizado em casos que requerem mudanças rápidas de *design*.

Segundo a Empresa MVC (2014), que fornece carenagens laterais para a colhedora Case Axial-Flow (figura 19), as peças eram fabricadas nos Estados Unidos pelo processo SMC em composto reforçado com fibra de vidro. No Brasil a MCV em parceria com a CNH optou por substituir o processo original pelo RTM Light, que não é tão produtivo mas requer menores investimentos em moldes e possibilita a mesma liberdade para o *design*.

Figura 19 - Colhedora Case Axial – Flow

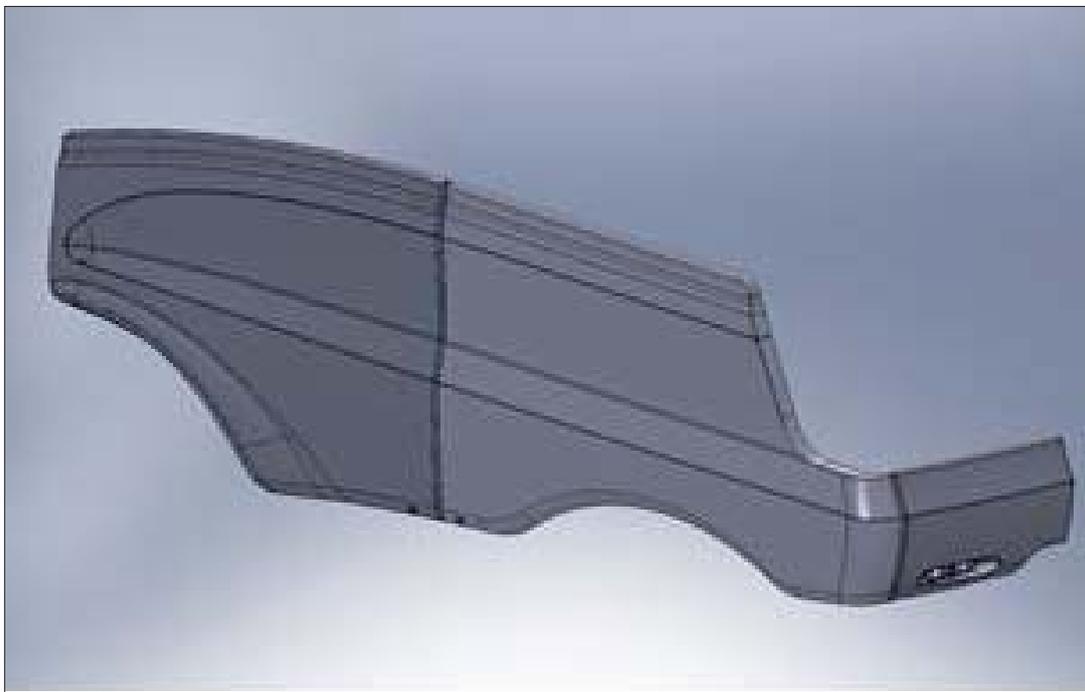


Fonte: <http://sportcarsnaweb.blogspot.com.br>

A escolha do material e processo de fabricação possibilitou o projeto de peças grandes com formas e superfícies complexas, como representado na figura 20. Em outro produto da CNH, a colhedora New Holland CR5, a MCV tem trabalhado na substituição

de chapas de aço estampadas por materiais compósitos, que proporcionam maior liberdade de formas e superfícies, além de reduzir a massa da peça

Figura 20 - Projeto carenagem Case Axial - Flow



Fonte: <http://sportcarsnaweb.blogspot.com.br>

As chapas de aço dobradas tem grandes limitações em relação às formas e superfícies e têm sido utilizadas, na maioria das vezes, em colhedoras menores direcionadas a certos nichos de mercado, como por exemplo, máquinas de menor custo para a agricultura familiar. Também são utilizadas em colhedoras de maior porte, na maioria das vezes em projetos que tenham como requerimento não gerar grandes investimentos em moldes e ferramentas.

A opção por chapas de aço estampadas parece ter relevância em grandes lotes de fabricação, visando menores custos individuais. Além disso este material tem a vantagem de ser altamente reciclável, fato que vem de encontro aos crescentes requerimentos ambientais. Por outro lado, a maior massa gera maior consumo de combustível, além de uma maior agressão ao solo.

A tabela 9 apresenta os dados genéricos dos aços de baixo carbono e do GFRP. Os dois materiais apontados como tradicionalmente utilizados em carenagens de colhedoras de grãos.

Tabela 9 – Dados de interesse para os materiais tradicionais

Material	Preço (BRL/Kg)	Densidade (Kg/m ³)	Módulo de elasticidade (GPa)	Tenacidade à fratura (MPa. \sqrt{m} ;)	Recicl.	Processo
Aço de baixo carbono	1,16 - 1,27	7800 - 7900	205 - 215	42 - 67	Sim	Conform.
GFRP	7,14 – 7,84	1500 - 1800	13,8 – 27,6	6 - 25	Não	SMC OU RTM

Fonte: Próprio autor

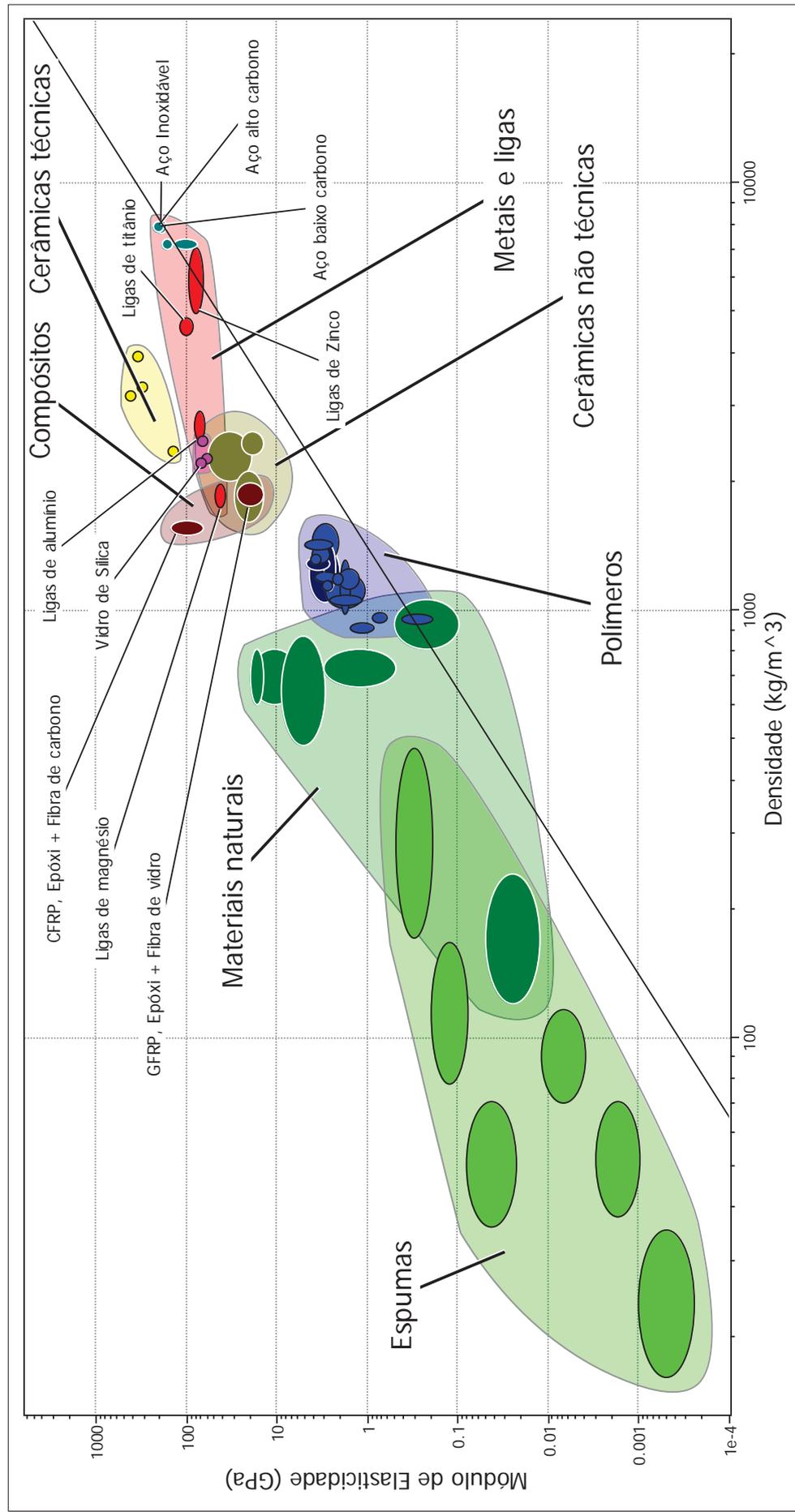
O princípio do método de similaridade é buscar por materiais que tenham características parecidas, mas que no entanto tenham alguma propriedade de interesse otimizada com relação aos tradicionais. A busca por similares será feita a seguir, na triagem por análise. Os materiais tradicionais apresentados aqui servirão como referência para isso.

○ **Triagem por análise**

Com base nos requisitos de projeto estabelecidos na etapa de tradução e nas propriedades dos materiais tradicionais, foram executadas no software CES, as seguintes operações:

- Criação do Mapa de Propriedades dos Materiais - densidade versus módulo de elasticidade. Esse mapa foi criado utilizando o universo de materiais com ponto de vista “macroscópico”; ou seja, de forma mais ampla;
- A partir do Mapa de Propriedades dos Materiais gerado, foi determinada a reta que corresponde ao índice de material. A reta foi posicionada na base do aço de baixo carbono, que é o material tradicional de referência. Os materiais com menor índice de material que o aço de baixo carbono são eliminados do processo, como mostra a figura 21.

Figura 21 - MPM Densidade versus Módulo de Elasticidade



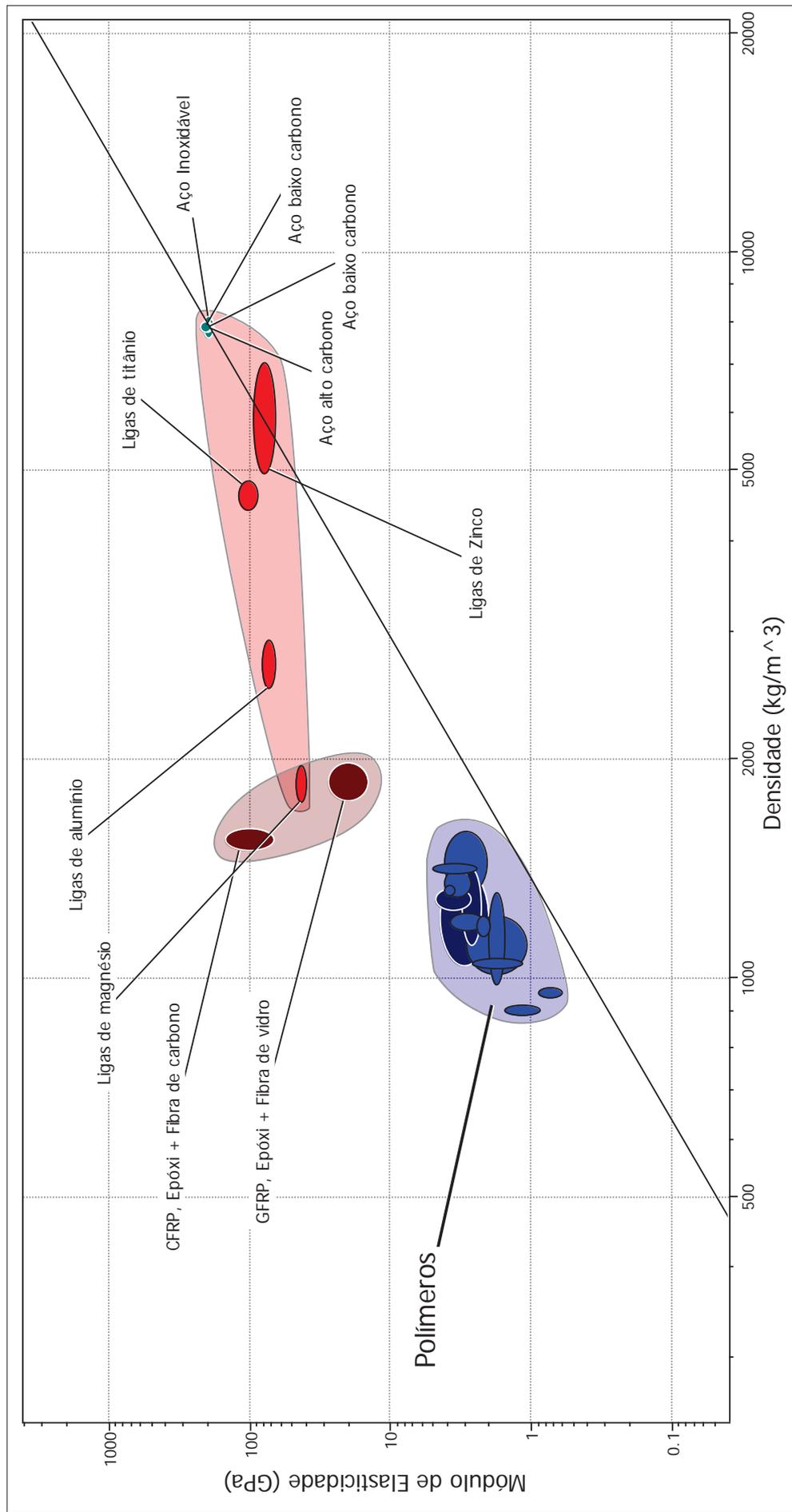
Fonte: CES Edupack no laboratório de Design e Seleção de Materiais da UFRGS - LdSM/UFRGS

Através da observação do Mapa de Propriedades dos Materiais, ilustrado na figura 21, percebe-se que existem materiais com ótimo Índice de Material (quanto mais acima da reta maior o IM), como as espumas e materiais naturais, porém sua pequena densidade e baixo módulo de elasticidade resultariam em peças com volume muito grande, e que obviamente não seriam viáveis para uma carenagem de colhedora. Além disso podem ser observados materiais frágeis como vidros e cerâmicas, portanto, inaceitáveis para essa aplicação. Nos resultados mostrados no Mapa de Propriedades dos Materiais da figura 21, foram aplicados os seguintes filtros:

- Densidade: de 890 Kg/m^3 (tendo como base a família dos polímeros, que teve materiais triados pelos métodos de síntese e inspiração) até 7850 Kg/m^3 (tendo como base o material tradicional, aço carbono);
- Tenacidade à fratura: maior do que $1,0 \text{ MPa}\cdot\sqrt{m}$, eliminando-se assim os materiais frágeis e as espumas;
- Módulo de elasticidade: maior do que $0,8 \text{ GPa}$ (tendo como base a família dos polímeros, que teve materiais triados na síntese);
- Processos de fabricação: foram eliminados os materiais que não podem ser moldados na forma da carenagem.

Assim, baseado nos filtros aplicados, os candidatos sobreviventes são apresentados no Mapa de Propriedades dos Materiais da figura 22. São esses os materiais que podem executar a função de material da carenagem. Como pode ser observado, ainda restaram diversos polímeros, dois compósitos, alguns metais não ferrosos, como as ligas de alumínio, e alguns aços, como o aço de baixo carbono. Dentre eles estão todos os materiais triados na síntese e também os materiais tradicionais.

Figura 22 - MPM Densidade versus Módulo de Elasticidade com materiais triados



Fonte: CES Edupack no Laboratório de Design e Seleção de Materiais da UFRGS - LdSM/UFRGS

Classificação

Aqui é onde se identifica, dentre os materiais que passaram pelas etapas de triagem, os que podem fazer melhor o serviço, tendo-se como base os requisitos de projeto.

Neste sentido, para a classificação e definição dos materiais que vão para a documentação foram levados em conta os seguintes critérios:

1. **Selecionar no mínimo um material de cada grupo triado:** com o objetivo de explorar as particularidades de cada grupo;
2. **Selecionar no máximo cinco materiais:** limitando-se assim o número de candidatos da documentação;
3. **Selecionar materiais tradicionais:** promovendo-se assim, a investigação dos motivos pelos quais eles são utilizados;
4. **Dar preferência para materiais triados em dois métodos:** aumenta a chance de se selecionar um material que realmente será aplicado;
5. **Menores custos:** de acordo com os objetivos do projeto;
6. **Maiores IM's:** de acordo com o objetivo do projeto;
7. **Dar preferência a materiais recicláveis:** de acordo com uma restrição negociável do projeto.

Os três primeiros critérios são obrigatórios, já os demais são negociáveis e dependem da análise dos Mapas de Propriedades dos Materiais. Para comparação do custo por m³ de cada material triado foi gerado com auxílio do CES o gráfico da figura 23.

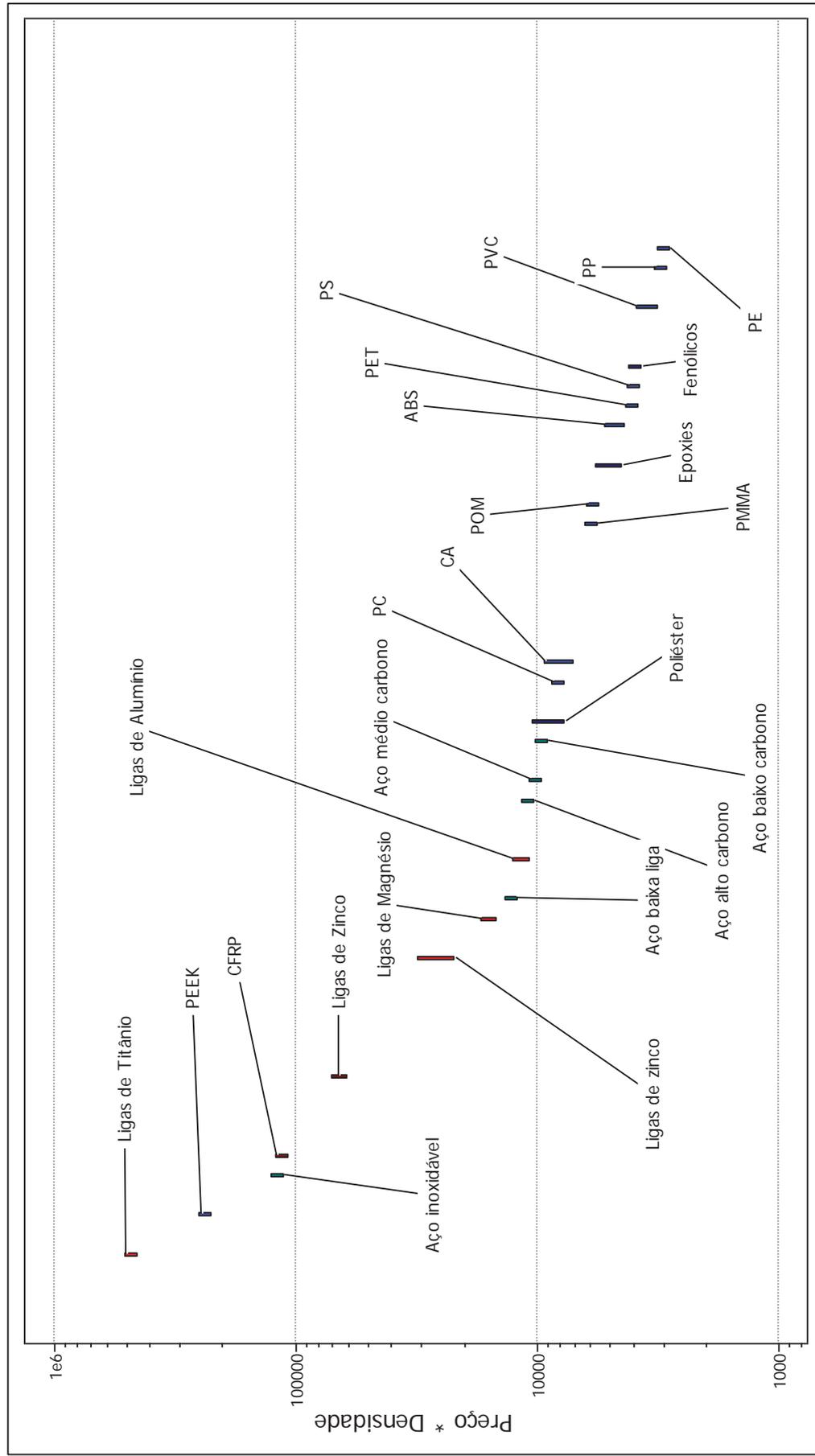
Com base na observação dos mapas e na ponderação dos critérios apresentados, foram selecionados para a etapa de documentação, os seguintes materiais, qualificados de acordo com o IM, do maior para o menor:

- 1º. **CFRP:** apesar de ter custo elevado e não ser reciclável, tem o maior IM e foi triado por dois métodos;
- 2º. **Ligas de Alumínio:** tem o menor custo dos metais não ferrosos, possui o terceiro maior IM, foi triado por dois métodos e é reciclável;

- 3°. **GFRP**: material tradicional, triado por dois métodos e menor custo entre os cinco com maior IM;
- 4°. **ABS**: IM próximo dos outros polímeros, triado por dois métodos e reciclável;
- 5°. **Aço baixo carbono**: material tradicional, menor custo do que os outros aços, triado por dois métodos e é reciclável.

Cabe lembrar que devido a seleção de materiais ser um processo iterativo os materiais não aproveitados para a documentação ainda podem ser utilizados, caso os outros se mostrem inviáveis.

Figura 23 – Gráfico do custo



Fonte: CES Edupack no Laboratório de Design e Seleção de Materiais da UFRGS - LdSM/UFRGS

Documentação

O resultado das etapas anteriores é uma lista de cinco candidatos potenciais para a fabricação da carenagem. Aqui, eles são avaliados de forma mais detalhada para embasar uma escolha final.

Devido aos materiais ainda estarem representados na forma “macroscópica”, isto é, cada material ainda representa um grupo de opções. Foi realizado, com o auxílio do CES e de acordo com a aplicação, a determinação da forma “microscópica” dos candidatos. Assim, as formas detalhadas, bem como o processo de fabricação, suas aplicações usuais e as justificativas das escolhas são:

- **CFRP (epóxi / fibra de carbono) – SMC (Sheet Molding Compound)**

As peças de CFRP fabricadas pelo processo SMC apresentam menor custo se comparadas com outros processos de fabricação de compósitos. O processo requer grandes investimentos em moldes, porém menores do que injeção plástica e estamparia. **Usos típicos do material:** elementos estruturais leves na indústria aeroespacial e aeronáutica, transporte terrestre; artigos esportivos; molas e vasos de pressão.

- **ABS (chama retardada) - Termoformagem**

O material possui temperatura de amolecimento maior do que os ABS's comuns, além de retardar a propagação de chamas, comuns em colhedoras. O processo de termoformagem utiliza elevada mão de obra, porém menores investimentos em moldes e maquinário do que a injeção plástica. Além disso, a injeção plástica não é indicada para peças grandes como a carenagem. **Usos típicos do material:** capacetes de segurança; painéis de instrumentos de automóveis e outros componentes internos; acessórios para tubos; dispositivos de segurança; caixas para aparelhos de pequeno porte; equipamentos de comunicação; máquinas de negócios; canalizações de hardware; grelhas de automóveis; coberturas de roda; alojamentos de espelho; forros de geladeira; conchas de bagagem; bandejas para compras; mortalhas cortador; cascos de barcos; grandes componentes para veículos de passeio; selos de tempo; tiras disjuntor geladeira e tubulação para sistemas de drenagem de resíduos de ventilação.

- **Liga de Alumínio 2024 – Estampagem**

Liga de alumínio que é fabricada em grandes escalas. O processo de estampagem é o indicado para a obtenção de formas como uma carenagem de *design* complexo. **Usos típicos do material:** aplicações de aeronaves, fabricação de armas, feixes de luz, equipamentos desportivos.

- **GFRP (epóxi / fibra de vidro) - SMC (Sheet Molding Compoud)**

Material tradicional, utilizado em carenagens de colhedoras. As peças de GFRP fabricadas pelo processo SMC apresentam menor custo se comparadas com outros processos de fabricação de compósitos. O processo requer grandes investimentos em moldes, porém menores do que injeção plástica e estamparia. **Usos típicos do material:** cascos de navios e barcos; carrocerias; componentes para automóveis; revestimentos e acessórios em construção civil.

- **Aço de baixo carbono laminado a frio (Norma NBR EM 5915) – Estampagem**

Material tradicional, utilizado em carenagens de colhedoras. O processo de estampagem é o indicado para a obtenção de formas como a de uma carenagem de *design* relativamente complexo. **Usos típicos do material:** Peças estampadas em geral, que requeiram conformação com profundidade moderada.

Na etapa de documentação, deve-se analisar como os candidatos se comportam em relação aos objetivos de projeto. Nesse caso, é interessante calcular quais as consequências da escolha de cada material sobre massa e no custo do componente. Tendo como referência uma carenagem de aço baixo carbono com massa de 40 kg, é possível calcular as massas das carenagens construídas com os outros materiais por meio de relações do inverso do módulo de elasticidade. Neste sentido, a tabela 10 apresenta os dados de interesse para os cinco candidatos.

Tabela 10 - Dados de interesse para os candidatos potenciais

Material	Densidade (Kg/m ³)	Módulo de elasticidade (GPa)	$IM = \frac{E^{1/3}}{\rho}$	Massa (Kg)	Custo (BRL/Kg)	Custo por peça (BRL)
CFRP (epóxi/fibra de carbono SMC)	1550	109,5	0,00309	9,77	37,25	364,07
Liga de alumínio 2024	2765	73,85	0,00152	19,88	4,70	93,34
GFRP (epóxi/fibra de vidro SMC)	1650	20,7	0,00166	18,13	7,50	135,87
ABS (chama retardada)	1110	2	0,00114	26,58	5,52	146,57
Aço baixo carbono laminado a frio (EM 5915)	7850	207,5	0,00075	40,00	1,16	46,20

Fonte: Próprio autor

Nota: Foram considerados os valores médios, de densidade e módulo de elasticidade, para cada material, fornecidos pelo CES.

Baseando-se na documentação exposta e nos dados de interesse exibidos na tabela 10, é possível chegar as seguintes conclusões:

- O compósito CFRP apresenta o melhor IM e pode fabricar a peça de menor massa. Porém, parece ainda não ter custo compatível com a indústria de máquinas e implementos agrícolas. A sua aplicação se torna viável quando o fator massa tem importância soberana, como nas indústrias aeronáutica e aeroespacial;
- Com base na tabela 10, conclui-se que a liga de alumínio 2024 desponta como a melhor alternativa dos cinco candidatos, comparando-se com os materiais tradicionais pode produzir uma peça com menos da metade da massa do aço e significativamente mais barata que o GFRP;
- O polímero ABS, apesar de ter menor densidade e menor custo de matéria prima, produz peças mais pesadas e caras do que o GFRP. A desvantagem no preço do ABS frente aos concorrentes tende a aumentar devido ao processo de termoformagem ter menor produtividade. Apesar disso, o candidato se apresenta como uma alternativa reciclável, frente ao GFRP, e mais leve do que o aço. Sua aplicação ganha força nos projetos em que a reciclagem é obrigatória ou tenha peso elevado na escolha;

▪ O aço produz as peças mais pesadas, porém é reciclável e barato. Com o custo de uma peça fabricada em GFRP é possível produzir aproximadamente quatro peças de aço. Sua aplicação se torna viável em colhedoras que tenham o custo como fator prioritário. Para fabricação por estampagem e grandes volumes de fabricação, o aço torna-se uma opção interessante.

Cabe destacar que essas informações são circunstanciais, os custos de cada material podem variar muito de acordo com a empresa, equipamentos existentes, volume de produção, mão de obra, etc. A liga de alumínio 2024, apesar de ser apontada como melhor opção, não é tradicionalmente aplicada em carenagens de colhedoras. Os fatores que levam a isso provavelmente têm a ver com particularidades na utilização desse material. Peculiaridades estas, que o setor de máquinas e implementos agrícolas não está acostumado e por isso cria resistências para a sua utilização.

O presente estudo de caso se concentrou, principalmente, na resolução do imbróglio entre minimização da massa e custo. Dois objetivos que se mostram conflitantes, materiais que produzem as peças mais leves são, geralmente, os mais caros. O custo é claro, tem sempre muita relevância em qualquer tipo de projeto, porém a importância da redução de massa nas novas tecnologias, que visam menores consumos de combustível e maior eficiência dos motores, tem aumentado cada vez mais. A redução da massa tem efeito cascata sobre uma pluralidade de aspectos ligados ao desempenho e ao projeto. Em uma colhedora, a importância da redução de massa tem aumentado cada vez mais. Isso ocorre devido ao aumento do tamanho e capacidade dessas máquinas. Com base nessa tendência, materiais como o CFRP podem ser viabilizados em um futuro não tão distante.

Assim, para uma escolha final é necessária uma outra cadeia de procedimentos, como o detalhamento de processos de fabricação, tiragem, maquinário, capacitação de pessoal, etc. Caso, qualquer um desses itens mostrem dificuldades excessivas, para os materiais da tabela 10, o processo de seleção pode ser retomado a partir da lista de classificação com os outros materiais candidatos.

5 CONCLUSÕES

Baseado na análise das metodologia e ferramentas de seleção de materiais aplicáveis ao setor de máquinas e implementos agrícolas e no estudo de caso onde se avaliou a aplicabilidade dos métodos selecionados na seleção de materiais para a fabricação de um componente de um equipamento típico desse setor da indústria, pode-se chegar às seguintes conclusões:

- A metodologia Ashby incentiva os projetistas de máquinas e implementos agrícolas a considerar a ampla gama de oportunidades de inovação que os materiais de engenharia proporcionam;

- O desenvolvimento de um sistema informatizado para seleção de materiais voltado para o setor de máquinas e implementos agrícolas mostrou-se inviável nas condições estabelecidas nesse trabalho;

- Com relação às ferramentas de auxílio à aplicação da metodologia selecionada, pode-se afirmar que o software CES se mostrou uma boa opção para a indústria de máquinas e implementos agrícolas;

- Os procedimentos de triagem por síntese e triagem por similaridade carecem de melhores ferramentas que as disponíveis atualmente para o setor de máquinas e implementos agrícolas;

- Os procedimentos de triagem por síntese e triagem por similaridade se mostraram um caminho para expandir a visão de projetistas de máquinas e implementos agrícolas, que normalmente negligenciam fatores relativos ao projeto industrial;

- No desenvolver deste trabalho ficou evidente que a seleção de materiais no projeto de máquinas e implementos agrícolas é uma tarefa que requer conhecimentos de diferentes áreas, principalmente engenharia e design;

- A metodologia de seleção de materiais selecionada nesse trabalho pode ser um dos principais fatores para a inovação tecnológica no setor de máquinas e implementos agrícolas;

- A metodologia de seleção de materiais selecionada nesse trabalho proporciona uma visualização dos procedimentos adotados em outros setores da indústria e capacita a empresa no domínio de tecnologia a serem implantadas em projetos futuros.

6 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Considerando os resultados e as conclusões desse trabalho, sugere-se os seguintes temas para trabalhos futuros:

- Testar e desenvolver formas de integração das técnicas de seleção de materiais com bancos de dados e departamentos dentro de uma determinada empresa;

- Testar e desenvolver metodologias de simulação de desempenho mecânico de componentes como etapa final da seleção de materiais;

- Testar e desenvolver metodologias de simulação de desempenho dinâmico de máquinas agrícolas constituídas de diferentes materiais.

- Desenvolver ferramentas e procedimentos de triagem de materiais por síntese e inspiração voltados para o projeto de máquinas e implementos agrícolas.

- Estudar as possibilidades de ampliar a aplicação de ligas de alumínio nas máquinas e implementos agrícolas.

REFERÊNCIAS

ALVES, C. et al. Sustainable design procedure: the role of composite materials to combine mechanical and environmental features for agricultural machines. **Materials and Design**, v.30, p.4060-4068, 2009.

ANFAVEA. **Indústria automobilística brasileira - 50 anos**. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/50anos/154.pdf>>. Acesso em: abr. 2013.

ASHBY, M. F. et al. Selection strategies for materials and processes. **Materials & Design**. v. 25, p. 51-67, 2004.

ASHBY, M. F. **Seleção de materiais no projeto mecânico**. 4ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

ASHBY, M. F.; JOHNSON, K. **Materials and design** - the art and science of material selection in product design. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002.

ASKELAND, D. R.; PHULÉ, P. P. **Ciência e engenharia dos materiais**. São Paulo: Cengage Learning, 2008.

ASM. Disponível em: <<http://www.products.asminternational.org/hbk>>. Acesso em: abr. 2014.

BRASCHER, G. C.; SCALICE, R. S. K.; BECKER, D. **Metodologia para seleção de materiais baseada no QFD**. Anais do 8º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, set. 2011.

BRASKEM. Disponível em: <<http://www.brasken.com.br>>. Acesso em: dez. 2013.

BRIFCANI et al. **A review of cutting-edge techniques for material selection**. Wrexham, UK. 2º International Conference on Advanced Composite Materials and Technologies for Aerospace applications. Jun. 2012.

CAETANO, M. J. L. **Materiais de engenharia**. Disponível em: <<http://www.ctb.com.pt>>. Acesso em: jul. 2013.

CALLISTER, W. D. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 7ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

CASTILHOS, C. et al. **A indústria de máquinas e implementos agrícolas no RS: notas sobre a configuração recente**. Ensaios FEE, 2008.

CES. **Cambridge Engineering Selector** - Edupack 2013 (software). Reino Unido: GrantaDesign, 2009. Maiores informações em: <<http://www.grantadesign.com>>. Acesso em: ago. 2014.

DEERE. Disponível em: <<http://www.deere.com>>. Acesso em: dez. 2013.

EVBUOMWAN, N. F.O.; SIVALOGANATHAN, J.; JEBB, A. A survey of design philosophies, models, methods and systems. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers**, v.210, p301-320, 1996.

FALLER, R. R. DA. **Engenharia e design**: contribuição ao estudo da seleção de materiais no projeto de produto com foco nas características intangíveis. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre: UFRGS, 2009.

FERRANTE, M. **Seleção de materiais**. 2Ed, São Carlos: EDUFSCar, 2002.

FERRANTE, M. **Seleção dos materiais de construção mecânica: estratégias e metodologia básica**. Anais do Simpósio sobre materiais, Rio de Janeiro, 2000.

FERRANTE, M; WALTER, Y. **A materialização da ideia**: noções de materiais para design do produto. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

FIOD Neto, M.; BACK, N. Análise crítica de métodos de projeto, visando ao desenvolvimento de um sistema CAD para concepção de produtos. **Revista Brasileira de Ciências Mecânicas**, v.17, n.4, p. 387-393, 1995.

GERDAU. Disponível em: <<http://www.gerdau.com.br>>. Acesso em: abr. 2014.

GRANTADESIGN. Disponível em: <<http://www.grantadesign.com.br>>. Acesso em: abr. 2014.

HUNDAL, M.S. A systematic method for developing function structures, solutions and concept variants. **Mechanism and machine theory**, v. 25, n.3, p. 243-256, 1990.

JOUTSENVAARA J.; VIERELÄ R. Future materials in agricultural construction. **Publications of Kemi-Tornio University of Applied Sciences**: 2013.

KARANA, Elvin. **Intangible characteristics of materials in industrial design**. Suécia: Anais Fifth Conference on Design & Emotion, 11 p, 2006.

KARANA, Elvin; HEKKERT, Paul; KANDACHAR, Prabhu. Material considerations in product design: a Survey on Crucial Material Aspects used by Product Designers. **Materials and Design**, v.29, p.1081-1089, 2008.

KASIN M. D.; ZOUHAIR I. A.; SADIQ H. A. Fuzzy logic approach for metal casting selection process. Baghdad, Iraque. **Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering**, v.3, n.3, p.162-167, Set. 2009.

KINDLEIN JR, W.; BUSKO, A. M. **Design e engenharia**: como fortalecer a pesquisa e promover o diálogo destas áreas do conhecimento? Actas de Diseño 1. Facultad de Diseño y Comunicación. Universidad de Palermo. Diseño en Palermo. I Encuentro Latinoamericano de Diseño, p.155-6, 2006.

LdSM/UFRGS. **Laboratório de design e seleção de materiais da universidade federal do rio grande do sul**. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/ndsm>>. Acesso em: jun. de 2014.

LEI DA INOVAÇÃO, 2014. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>>. Acesso em: jun. 2014.

MARTENSEN, K. **Progress in typical materials for agricultural machinery**, 2006. Disponível em:<<http://www.clubofbologna.org/ew/documents/Martensen-paper.pdf>>. Acesso em: ago. 2014.

MATERIOTECA. Disponível em: <<http://www.materioteca.it>>. Acesso em: abr. 2014.

MATWEB. **Material property data**. Disponível em: <<http://www.matweb.com>>. Acesso em: abr. 2014.

MCGEE, J.; PRUSAK, L. **Gerenciamento estratégico da informação**. Rio de Janeiro: Campus, 1994.

MCV. Disponível em: <<http://www.msvplasticos.com.br>>. Acesso em: ago. 2014.

PAHL, G.; BEITZ, W. **Engineering design** - a systematic approach. Translated by Ken Wallace and Lucienne Blessing. Berlin, Springer Verlag, 1996.

PATTON, W. J. **Materials in industry**. EUA: Prentice-Hall Inc., 1968.

PUGH, S. **Total design**: integrated methods for successful product engineering. London, United Kingdom: Addison Wesley, 1990.

RAMALHETE, P.S., SENOS, A.M.R. and AGUIAR, C. Digital tools for material selection in product design. **Materials and Design**, v.31, p.2275-2287, 2010.

SHACKELFORD, J. F. **Ciência dos materiais**. 6ed. São Paulo: Pearson, 2008.

SILVA, B. M.; et al. Investigação do método de seleção de materiais por síntese: ferramenta de auxílio para designers. **UNOPAR Científica: Ciências Exatas e Tecnológicas**, Londrina, v. 8, n. 1, p. 59-63, nov. 2009.

SILVA, E. A. DA. **Um sistema informacional e perceptivo de seleção de materiais com enfoque no design de calçados**. Dissertação de mestrado. Porto Alegre: UFRGS, 2005.

SILVA, Everton Sidnei Amaral da. **Um sistema informacional e perceptivo de seleção de materiais com enfoque no design de calçados**. Dissertação de Mestrado. Mestrado Profissionalizante em Engenharia, ênfase Engenharia Ambiental e Tecnologias Limpas. Porto Alegre: UFRGS, 2005.

TIPA JUNIOR, N. **Maior potência é tendência em máquinas.** Jornal do Comércio. Porto Alegre, 2013. Disponível em: <<http://jcrs.uol.com.br/site/noticia.php?codn=133429>>. Acesso em: set. 2014.

VALTRA. Disponível em: <<http://www.valtra.com.br>>. Acesso em: nov. 2013.

VIAN, C. E. F.; ANDRADE JÚNIOR, A. M. **A evolução histórica da indústria de máquinas agrícolas no mundo.** Anais do Congresso Sociedade Brasileira De Economia Administração E Sociologia Rural, 48; 2010, Campo Grande: SOBER, p. 1-19, 2010.

WALTER, Y. **O conteúdo da forma: Subsídios para seleção de materiais e design.** Dissertação de mestrado. Bauru: UNESP, 2006.

ZERBINATI, M. T. **Mecanização agrícola – História e as tendências do mercado.** 2011. Disponível em <<http://agrimanagers.wordpress.com/2011/05/28/mecanizacao-agricola-historia-e-as-tendencias-do-mercado/>>. Acesso em: set. 2014.

APÊNDICE A - Sistema de Informação Seletor de Materiais Baseado na Web (SISMA 4Web)

Página inicial do SISMA 4Web



Página de *Login* do SISMA 4Web



Exemplo de lista com materiais triados no SISMA 4Web

Materiais Encontrados

Selecione	Material	Módulo de Bulk(GPa)	Classes
<input checked="" type="checkbox"/>	Aço SAE 1006 laminado a quente	140 - 140	Aços Carbono
<input checked="" type="checkbox"/>	Aço SAE 1006 laminado a quente	140 - 140	Aços Carbono
<input type="checkbox"/>	Overview Aço Alto Teor de Carbono	156 - 210	Aços Carbono
<input type="checkbox"/>	Overview Aço Baixo Teor de Carbono	256 - 170	Aços Carbono

Página de triagem do SISMA 4Web

SISMA4Web
Sistema de Informação Seletor de Materiais

[Início](#)
[Seleção](#)
[Inserir Material](#)
[Cadastrar Usuário](#)
[Suporte](#)
[Login](#)
[Sair](#)

Seleção

Busca de Materias

1. Selecione os Critérios:

Critério 1:
 Critério 2:
 Critério 3:
 Critério 4:

2. Informe os valores:

Materiais Encontrados

Selecionar	Material	Classes	Módulo de Elasticidade (GPa)
<input type="checkbox"/>	Overview App Alto Teor de Carbono	Aços Carbono	196 - 210
<input type="checkbox"/>	Overview App Baixo Teor de Carbono	Aços Carbono	190 - 500

SISMA4Web
Sistema de Informação Seletor de Materiais

[Início](#)
[Seleção](#)
[Inserir Material](#)
[Cadastrar Usuário](#)
[Suporte](#)
[Login](#)
[Sair](#)

Seleção

Busca de Materias

1. Selecione os Critérios:

Critério 1:
 Critério 2:
 Critério 3:
 Critério 4:

2. Informe os valores:

Materiais Encontrados

Selecionar	Material	Classes	Módulo de Elasticidade (GPa)	Limite Superior (GPa)	Limite Inferior (GPa)
<input type="checkbox"/>	40 30 100 1000 10000	Aços Carbono	80 - 80	200 - 200	nenhum
<input type="checkbox"/>	40 30 100 1000 10000	Aços Carbono	40 - 40	200 - 200	nenhum
<input type="checkbox"/>	40 30 100	Metais	0 - 100	0 - 0	nenhum
<input type="checkbox"/>	40 30 100	Aços Carbono	0 - 0	0 - 0	nenhum
<input type="checkbox"/>	200 100 100 100 100 100	Aços Carbono	0 - 40	400 - 100	nenhum
<input type="checkbox"/>	200 100 100 100 100 100	Aços Carbono	0 - 40	400 - 100	nenhum

1. Selecione os Critérios:

Critério 1:
 Critério 2:
 Critério 3:

2. Informe os valores:

Página de comparação do SISMA 4Web

SISMA4Web
Sistema de Informação Seletor de Materiais

início Seleção Inserir Material Cadastrar usuário Suporte Login Sair

Comparação

Material: Aço SAE 1006 laminado a quente Overview Aço Alto Teor de Carbono

Classes	Aço Carbono	Aço Carbono
Formas	Barra Chata	Barra Chata
Ductibilidade(%)	0.000 - 0.000	0.050 - 0.200
Coefficiente de Poisson	0.29 - 0.29	0.28 - 0.295
Coefficiente de Atrito	0.001 - 0.01	0.0001 - 0.0001
Dureza	95 - 95	1200 - 3900
Módulo de Bulk(GPa)	140 - 140	156 - 210
Módulo de Cisalhamento(GPa)	80 - 80	75 - 82
Módulo de Elasticidade(GPa)	205 - 205	196 - 210
Resistência ao Impacto	0 - 0	0 - 0
Limite Elástico(MPa)	285 - 285	400 - 1300
Tenacidade de Ruptura(MPa.m ^{1/2})	0 - 0	20 - 80
Tensão de Compressão(MPa)	0 - 0	400 - 1300
Ruptura por Tração(MPa)	0 - 0	600 - 1600
Preço (R\$/Kg)	0 - 0	1 - 1

Página de suporte do SISMA 4Web

SISMA4Web
Sistema de Informação Seletor de Materiais

Início Seleção Inserir Material Cadastrar usuário Suporte Login Sair

Formulário de Suporte

Nome:

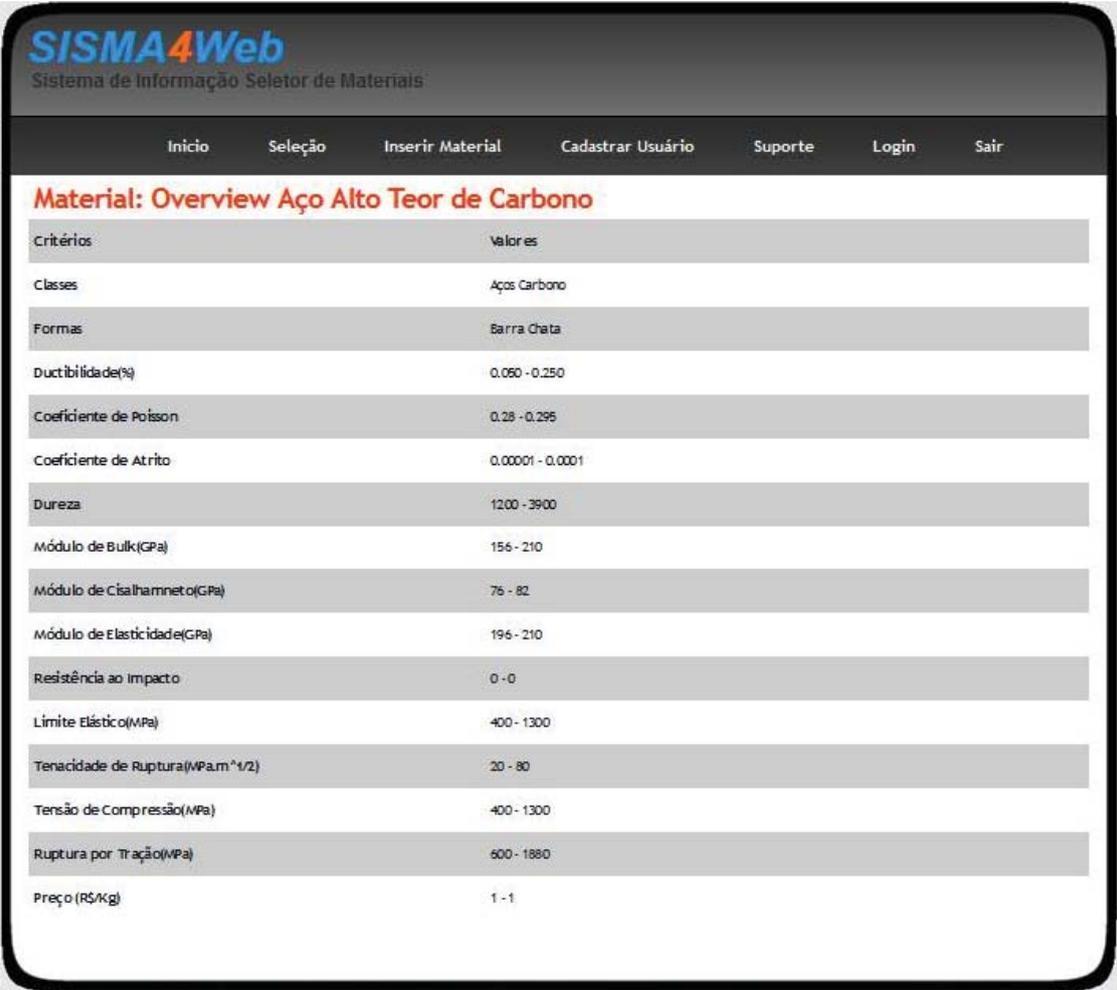
Cidade:

Email:

Mensagem:

Enviar

Página de documentação SISMA 4Web



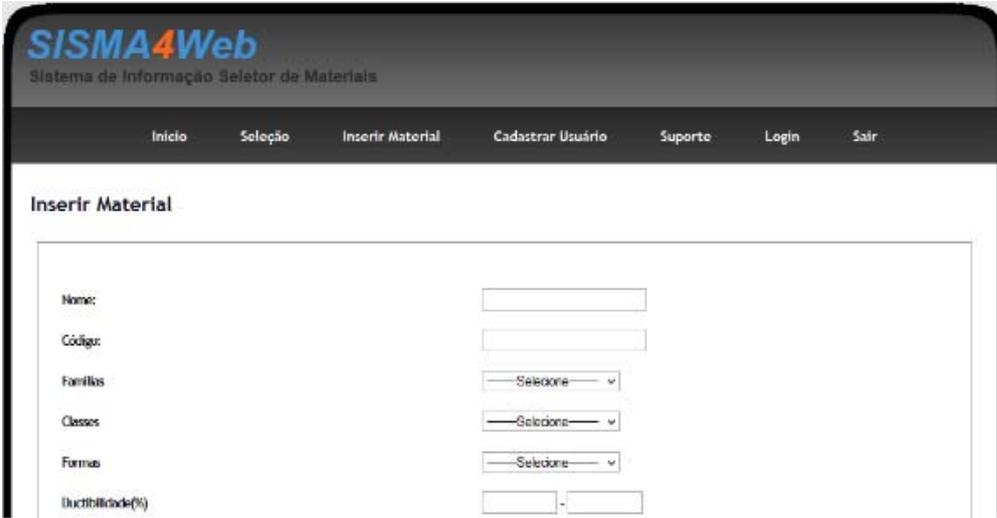
SISMA4Web
Sistema de Informação Seletor de Materiais

[Início](#)
[Seleção](#)
[Inserir Material](#)
[Cadastrar Usuário](#)
[Suporte](#)
[Login](#)
[Sair](#)

Material: Overview Aço Alto Teor de Carbono

Crítérios	Valores
Classes	Aços Carbono
Formas	Barra Chata
Ductibilidade(%)	0.080 - 0.250
Coefficiente de Poisson	0.28 - 0.295
Coefficiente de Atrito	0.00001 - 0.0001
Dureza	1200 - 3900
Módulo de Bulk(GPa)	156 - 210
Módulo de Cisalhamento(GPa)	76 - 82
Módulo de Elasticidade(GPa)	196 - 210
Resistência ao Impacto	0 - 0
Límite Elástico(MPa)	400 - 1300
Tenacidade de Ruptura(MPa.m ^{1/2})	20 - 80
Tensão de Compressão(MPa)	400 - 1300
Ruptura por Tração(MPa)	600 - 1880
Preço (R\$/Kg)	1 - 1

Cadastro de materiais SISMA 4Web



SISMA4Web
Sistema de Informação Seletor de Materiais

[Início](#)
[Seleção](#)
[Inserir Material](#)
[Cadastrar Usuário](#)
[Suporte](#)
[Login](#)
[Sair](#)

Inserir Material

Nome:
 Código:
 Famílias: ▼
 Classes: ▼
 Formas: ▼
 Ductibilidade(%): -

Cadastro de usuários SISMA 4Web

The image shows a web browser window displaying the 'Cadastro de Usuário' (User Registration) page of the SISMA4Web system. The page has a dark header with the logo 'SISMA4Web' and the subtitle 'Sistema de Informação Seletor de Materiais'. A navigation menu includes links for 'Início', 'Seleção', 'Inserir Material', 'Cadastrar Usuário', 'Suporte', 'Login', and 'Sair'. The main content area is titled 'Cadastro de Usuário' and contains a form with the following fields:

- Nome:** A text input field.
- Logim:** A text input field.
- Senha:** A text input field.
- Permissões:** A dropdown menu with 'Usuário' selected.

At the bottom of the form are two buttons: 'Limpar' (Clear) and 'Cadastrar' (Register).