



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE ARQUITETURA, ARTES E COMUNICAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN

SELEÇÃO DE MATERIAIS E DESIGN: UM MÉTODO COM BASE NAS REDES NEURAIS
ARTIFICIAIS

TERCIA VALFRIDIA LIMA NUNES

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Design da Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação da UNESP, como requisito para obtenção do título de Doutora em Design.

Orientadora: Profa. Dra. Paula da Cruz Landim

Bauru - 2015

FICHA CATALOGRÁFICA

NUNES, TERCIA VALFRIDIA LIMA

Seleção de Materiais e Design: Um Método com base nas Redes Neurais Artificiais.
Bauru, 2014.

147 fls., Tese (Doutorado em Design) – Programa de Pós-graduação em Design,
Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Universidade Estadual Paulista Júlio
de Mesquita Filho, Bauru, 2014.

- | | |
|----------------------|------------------------------|
| 1. Design | 2. Seleção de Materiais |
| 3. Tomada de decisão | 4. Redes Neurais Artificiais |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

NUNES, T.V.L. (2014). Seleção de Materiais e Design: Um Método com base nas Redes Neurais Artificiais. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Design, Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Bauru, SP, 147 fls.

FOLHA DE APROVAÇÃO

TITULARES

Prof^a Dr^a **Paula da Cruz Landim**, *orientadora*

PPG – Design – FAAC – UNESP

Prof. Dr. João Eduardo Guarnetti dos Santos

PPG – Design – FAAC – UNESP

Prof. Dr. Leonardo Augusto Gomez Castillo

PPG – Design – UFPE

Prof^a Dr^a Léa Cristina Lucas de Souza

PPG – Engenharia – UFSCAR

Prof. Dr. João Roberto Gomes de Faria

PPG – Design – FAAC – UNESP

SUPLENTE

Prof. Dr. Galdenoro Botura Junior

PPG – Design – FAAC – UNESP

Prof. Dr. Walter Franklin Marques Correia

PPG – Design - UFPE

“Se você não conseguir fazer uma coisa grandiosa hoje,
faça alguma coisa pequena,
mas faça.

...
...O importante é não parar,
mesmo um pequeno avanço na direção certa
já é um grande progresso.”

(a.d.)

A Isaac, simplesmente por existir;
A Alexandre, companheiro para toda a vida;
DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A DEUS, por estar sempre ao meu lado iluminando todos os meus passos;

À Prof^ª. Paula Landim, por ter aceitado orientar este trabalho;

À minha mãe, exemplo de fortaleza, perseverança, autocontrole, segurança, dedicação e amor;

Ao Prof. José Valter Lopes Nunes, do Departamento de Matemática da Universidade Federal do Ceará, meu pai, pelo modelo acadêmico que significa, o qual procuro trilhar, enfim, pelo aconselhamento multidimensional que, por nossa relação, tive privilegiado acesso.

À Fundação - FACEPE, pelo financiamento concedido;

RESUMO

Este estudo se insere em um ambiente globalizado no qual as empresas investem em inovação em busca de diferenciação, a fim de se destacar perante os concorrentes. Essa diferenciação tem como importante componente a seleção de materiais, pois para criar um produto em condições de competir com os já existentes é necessário inovar nos materiais, design e processos de fabricação. O desenvolvimento de um produto, portanto, exige dos projetistas amplo conhecimento dos materiais e processos de fabricação. Ressalte-se o design, como elemento relevante do projeto nesse processo e que tem exercido uma crescente participação nas equipes multidisciplinares de projeto. Além disso, convém destacar que Ashby & Johnson (2011) ratificam que não há abundância de suporte para o ensino de materiais na área de design; e Kindlein et al. (2006) definem como “apenas um contato básico”, a relação que os designers tem com a ciência e tecnologia de materiais na graduação. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é propor um MÉTODO com base na técnica das Redes Neurais Artificiais para estruturar e avaliar um modelo de previsão dos materiais e processos industriais a fim de auxiliar o designer na seleção de materiais no projeto de produtos. Pretende-se materializar o resultado da aplicação do MÉTODO proposto em uma planilha do Microsoft Excel 2010 capaz de replicar o modelo de rede neural treinado e validado. Nesta ferramenta, a partir de atributos pré-determinados, serão fornecidas opções de materiais e processos de fabricação compatíveis com o uso requerido e com base em atributos pré-estabelecidos. Espera-se obter como variáveis de saída, opções que abordem o tipo de material e o processo de fabricação associado, considerando atributos pré-estabelecidos como variáveis de entrada. Busca-se com isso por um lado oferecer ao estudante e/ou profissional de design opções adequadas ao tipo de produto que se quer conceber e por outro otimizar a pesquisa de materiais para o design de produto.

Palavras-chave: *design, seleção de materiais, tomada de decisão, redes neurais artificiais.*

ABSTRACT

This study is part of a globalized environment in which companies invest in innovation in search of differentiation in order to stand out from competitors. This differentiation is an important component material selection, because to create a product to compete with the existing ones is necessary to innovate in materials, design and manufacturing processes. However, the development of a product designers require extensive knowledge of the materials and manufacturing processes. It is worth mentioning the design, as an important consideration in the design process and that this has had a growing involvement in the design of multidisciplinary teams. In addition, it should be noted that Ashby & Johnson (2011) confirm that there is plenty of support for teaching materials in design; and Kindlein et al. (2006) define it as "just a basic contact", the relationship that designers have with science and technology materials at graduation. In this context, the objective of this work is to propose a method based on the technique of Artificial Neural Networks to design and evaluate a model for predicting the materials and industrial processes to assist the designer in material selection in product design. The aim is to materialize the result of applying the method proposed in a Microsoft Excel 2010 spreadsheet able to replicate the trained and validated neural network model. In this tool, based on predetermined attributes, manufacturing processes and materials compatible with the required use and based on predetermined attributes options will be provided. It is expected to obtain as output variables, options to address the type of material and the associated manufacturing process, considering predetermined attributes as input variables. Search up with that on the one hand offer the student and / or professional design options appropriate to the type of product to be designed and on the other to optimize the search of materials for product design.

Key words *design, material selection, artificial neural network.*

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA	2
1.2	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA DE PESQUISA	8
1.3	OBJETIVOS DA PESQUISA	10
1.3.1	Tese da Pesquisa	10
1.3.2	Hipótese	10
1.3.1	Objetivo Geral	10
1.3.2	Objetivos Específicos.....	11
1.4	PROCEDIMENTO METODOLÓGICO EMPREGADO	11
1.4.1	Revisão Bibliográfica	12
1.4.2.	Eleição da área do estudo de caso e seleção dos atributos	12
1.4.3	Coleta de Dados	12
1.4.4	Estruturação dos Materiais e Processos Identificados para o setor de estudo.....	14
1.4.5	Análise dos Atributos Coletados quanto à relevância na relação com os materiais e processos identificados.....	14
1.4.6	Execução do Segundo Procedimento Experimental	14
1.4.7	Análise dos Resultados	15
1.4.8	Desenvolvimento da Interface de Aplicação	15
1.5	ESTRUTURA DA TESE	16
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	17

CAPÍTULO 2

MATERIAIS E DESIGN

2.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	21
2.2	CONCEITOS BÁSICOS	23

2.2.1	Materiais.....	23
2.2.2	Propriedades dos Materiais.....	27
2.2.3	Processos Industriais.....	28
2.3	 MATERIAL NO ÂMBITO DO DESIGN INDUSTRIAL.....	30
2.4	 DESIGN E O PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS	32
2.5	 SELEÇÃO DE MATERIAIS	34
2.5.1	O Método de Seleção de Materiais de Ashby	38
2.5.2	Método de Análise, Síntese, Similaridade e Inspiração	40
2.6	 FONTES DE INFORMAÇÃO PARA A SELEÇÃO DE MATERIAIS.....	41
2.7	 CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

CAPÍTULO 3

REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

3.1	 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	51
3.2	 DEFINIÇÕES	52
3.3	 HISTÓRICO DAS REDES NEURAIS ARTIFICIAIS	54
3.4	 O NEURÔNIO ARTIFICIAL	56
3.5	 CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS RNA.....	59
3.6	 PERCEPTRON MULTICAMADAS (MLP)	60
3.6.1	Definição.....	60
3.6.2	Função de Ativação	61
3.6.3	A Arquitetura	63
3.6.4	Processos de Aprendizagem.....	64
3.6.5	Considerações Sobre os Experimentos que Utilizam RNA	68
3.7	 RNA NA ÁREA DE PROJETO DE PRODUTOS.....	70
3.8	 CONSIDERAÇÕES FINAIS	74

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
---	-----------

CAPÍTULO 4

MATERIAIS E MÉTODOS

4.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	78
4.2	MATERIAIS	80
4.3	MÉTODO E TÉCNICAS DE PESQUISA.....	80
4.4	O MÉTODO	82
4.4	PRIMEIRO PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	85
4.5	SEGUNDO PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	88
4.5.1	Ordenação das Variáveis de Entrada e Saída	88
4.5.2	Definição de Topologias e Parâmetros para as Redes Neurais Artificiais	89
4.5.3	Considerações Sobre o Simulador Utilizado: EASY NN PLUS.....	89
4.5.4	Verificação do Nível de Confiabilidade da RNA e Definição dos Parâmetros de corte	90
4.5.5	Treinamento, Validação e Teste	94
4.6	DEFINIÇÃO DA INTERFACE DE APLICAÇÃO.....	95
4.7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	96
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	96

CAPÍTULO 5

ESTUDO DE CASO

5.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	98
5.2	COSMÉTICOS	99
5.2.1	Definições e Conceitos Relevantes	99
5.3	RESULTADOS OBTIDOS.....	101
5.3.1	Resultados Obtidos no Primeiro Procedimento Experimental.....	101
5.3.2	Resultados Obtidos no Segundo Procedimento Experimental.....	109

5.3.3	A Interface de Aplicação.....	116
5.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	117
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	118
 CAPÍTULO 6		
CONCLUSÕES E SUGESTÕES		
6.1	CONSIDERAÇÃO INICIAIS	120
6.2	ORIGINALIDADE E ADEQUAÇÃO DA APLICAÇÃO DO MÉTODO	120
6.3	PINCIPAIS CONCLUSÕES	122
6.3.1	Quanto ao Primeiro Procedimento Experimental	122
6.3.2	Quanto ao Segundo Procedimento Experimental	123
6.3.3	Quanto à Interface de Aplicação	124
6.4	RESTRIÇÕES AO MÉTODO.....	124
6.5	SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES.....	125
6.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	126
ANEXO	A INTERFACE DE APLICAÇÃO: TEXTO EXPLICATIVO.....	129

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.1** Estrutura diagramática do trabalho.
- Figura 2.1** Exemplo de taxonomia dos materiais.
- Figura 2.2** Exemplo de taxonomia dos processos industriais.
- Figura 2.3** O papel da ciência no desenvolvimento dos novos produtos.
- Figura 2.4** Fases do processo de desenvolvimento do produto.
- Figura 2.5** Gráfico de Ashby.
- Figura 2.6** Material Connexion.
- Figura 2.7** Matweb.
- Figura 2.8** Materia.
- Figura 3.1** Modelo não-linear de um neurônio
- Figura 3.2** Esquema de uma rede neural artificial com três camadas
- Figura 3.3** Gráficos da função sigmoidal e da sua derivada
- Figura 3.4** Exemplo hipotético de classificação de padrões
- Figura 3.5** Exemplo de superfície de erro
- Figura 5.1:** Porcentagens dos principais materiais identificados em embalagens
- Figura 5.2:** Porcentagens dos principais materiais identificados nos fechamentos
- Figura 5.3:** Porcentagens dos principais materiais identificados em embalagens e nos fechamentos
- Figura 5.4:** Formas das embalagens identificadas
- Figura 5.5:** Porcentagens dos processos de fabricação associados aos materiais identificados
- Figura 5.6:** Processos associados aos fechamentos das embalagens identificadas e registradas
- Figura 5.7:** Tipos de fechamento ocorrentes nas embalagens identificadas e registradas
- Figura 5.8:** Materiais e Processos Embalagem considerados como saídas
- Figura 5.9:** Arquitetura da RNA com melhor desempenho
- Figura 5.10:** Gráfico da RNA com melhor desempenho
- Figura 5.11:** Gráfico da RNA com melhor desempenho – parâmetros
- Figura 5.12:** Importância das variáveis de entrada para o modelo de RNA eleito
- Figura 5.13:** Interface de Aplicação do MÉTODO proposto
-

LISTA DE TABELAS

- Tabela 4.1** Lista dos parâmetros variáveis num modelo MLP
- Tabela 5.1:** Exemplo de associação entre materiais e processos
- Tabela 5.2:** Exemplo de associação entre tipo de produto e forma da embalagem
- Tabela 5.3:** Exemplo de associação entre as variáveis
- Tabela 5.3:** Cálculos para a replicação do comportamento do modelo de RNA validado
-

CAPÍTULO 1

Introdução

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	2
1.2	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA DE PESQUISA	8
1.3	OBJETIVOS DA PESQUISA	10
1.3.1	Tese da Pesquisa.....	10
1.3.2	Hipótese.....	10
1.3.1	Objetivo Geral.....	10
1.3.2	Objetivos Específicos	11
1.4	PROCEDIMENTO METODOLÓGICO EMPREGADO	11
1.4.1	Revisão Bibliográfica.....	12
1.4.2.	Eleição da área do estudo de caso e seleção dos atributos.....	12
1.4.3	Coleta de Dados.....	12
1.4.4	Estruturação dos Materiais e Processos Identificados para o setor de estudo	14
1.4.5	Análise dos Atributos Coletados quanto à relevância na relação com os materiais e processos identificados	14
1.4.6	Execução do Segundo Procedimento Experimental.....	14
1.4.7	Análise dos Resultados	15
1.4.8	Desenvolvimento da Interface de Aplicação.....	15
1.5	ESTRUTURA DA TESE.....	16
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	17

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Neste trabalho, apresenta-se o resultado de uma pesquisa em nível de doutorado conduzida no campo da seleção de materiais para o projeto de produtos. A pesquisa incorporou ao campo de trabalho recursos da Inteligência Artificial (IA), em particular das Redes Neurais Artificiais (RNA).

A técnica das Redes Neurais Artificiais é aqui aplicada como instrumento para previsão de materiais e processos industriais com o objetivo de auxiliar a tomada de decisão quanto às intervenções adequadas e necessárias na seleção de materiais por profissionais de design, haja vista a importância de uma boa escolha de materiais e processos de fabricação no projeto e desenvolvimento de produtos.

Este capítulo introdutório aponta a abrangência desta tese por apresentar a importância do tema da seleção de materiais e design de modo contextualizado; delimitar a abordagem na apresentação do problema de pesquisa; apresentar os objetivos geral e específicos; indicar o procedimento metodológico empregado e, finalmente, por resumir a estrutura da tese.

Na seção seguinte serão apresentadas a contextualização e justificativa da temática abordada, onde estarão expostos alguns aspectos que consubstanciam a necessidade premente de se pesquisar alternativas com o intuito de promover uma melhor inserção dos profissionais de design no processo de desenvolvimento de produtos.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA

Um dos pressupostos do desenvolvimento socioeconômico de um país é o processo de produção, circulação e distribuição da riqueza, atinentes a uma economia nacional.

Em países em desenvolvimento como o Brasil, as atividades em termos do desenvolvimento de produtos situam-se, em grande parte, segundo Rozenfeld *et al.* (2006) na adaptação de projetos para o mercado local ou regional, na participação de projetos de desenvolvimento mundiais no que diz respeito a etapas ou atividades específicas ou até, ser responsável pelo fornecimento global de um produto em função da manufatura local.

É de fundamental importância, portanto que esses países capacitem corpo técnico para as equipes de desenvolvimento de produtos com vistas a dispor nos seus mercados internos, produtos equivalentes aos importados e, exportar produtos que obedecem ao padrão internacional com vistas a gerar e equilibrar superávits nas suas receitas e se manter no mercado global.

Ressalte-se que as profissões cujas atribuições estão relacionadas à inovação, tiveram seu campo de atuação ampliado a partir das últimas décadas do século XIX como consequência dos avanços tecnológicos e das transformações sociais ocorridas a partir desta época (Van Der Linden e Lacerda, 2012).

Com o objetivo de minimizar o impacto negativo do modelo de desenvolvimento vigente e garantir a sobrevivência e expansão das organizações industriais, a ação sinérgica dos limites ambientais e dos processos de globalização econômica e cultural ligados à difusão das tecnologias da informação e da comunicação provocou uma mudança nas abordagens projetuais que a partir de então se mostravam dependentes da integração entre as competências envolvidas em todas as suas etapas.

O processo de desenvolvimento de produtos tradicionalmente visto, segundo Rozenfeld *et al.* (2006), como a elaboração de um conjunto de informações sobre as especificações de um produto, como produzi-lo e sua disponibilização para a manufatura, se deparou com o seu escopo expandido para atividades de acompanhamento do produto após o lançamento, descontinuidade do produto do mercado e compilação dos dados da experiência para aprendizado.

Nesse contexto, o desenvolvimento de produto, que envolve muitas atividades a serem executadas por equipes multidisciplinares formadas por profissionais que tratam o produto sob diferentes perspectivas, tais como: Engenharia do Produto, Design, Marketing, Suprimentos, Manufatura e distribuição; é considerado fundamental para a competitividade da empresa. Isto se verifica, conforme Rozenfeld *et al.* (2006), com a crescente internacionalização dos mercados assim como o aumento da variedade de produtos e redução do ciclo de vida dos produtos nos mercados. Ressalte-se a gradativa relevância que vem sendo conquistada pelo profissional de design dentro deste processo.

Manzini e Vezzoli (2008) destacam ser o designer responsável pela criação da relação entre sujeito e matéria, isto é, pelo desenvolvimento de produtos que proporcionem experiências prazerosas aos usuários. Nesse sentido, inovar nos materiais e processos de fabricação é uma das maneiras para se comunicar com os seus usuários. Em corroboração, Dias (2009), afirma que o designer participa não só do desenvolvimento dos produtos, mas também da superfície, além de testar novos materiais para as empresas.

Para Manzini (1993) o design final é o resultado de uma busca por soluções satisfatórias, que somente será possível quando o designer tiver a sua disposição uma quantidade de informações que possa ser julgada suficiente para a elaboração dos problemas, com base em considerações de custo-benefício. No campo da seleção de materiais para design, foco desta pesquisa, critérios bem definidos de desempenhos esperados e de relações de custo/benefício devem balizar a escolha dos materiais para produtos (Ferroli 2009). Para que isto seja possível é necessário o acesso às informações sobre materiais e processos de fabricação disponíveis. No entanto, estas informações, inclusive na internet, de acordo com Assunção (2002) não são utilizadas de forma significativa por designers no Brasil. Isso se dá devido à falta de sistematização de tais dados, que aliada à grande quantidade de materiais existentes tornaria a tarefa bastante árdua e demorada. Além disso, Ashby e Johnson (2011) afirmam que a base para o ensino da seleção de materiais em faculdades de engenharia ignora ou dedica pouca atenção ao papel que os materiais e processos

desempenham no design de produto, isto é, o modo como os designers os usam e as razões pelas quais o fazem. Os autores ressaltam ainda a existência de diferenças significativas na linguagem entre engenheiros e designers, o que não favorece o uso por estes últimos dos livros e ferramentas existentes para o referido fim.

Ashby e Johnson (2011) ratificam que não há abundância de suporte para o ensino de materiais na área de design; e Kindlein *et al.* (2006) definem como “apenas um contato básico”, a relação que os designers tem com a ciência e tecnologia de materiais na graduação.

No entanto, o desenvolvimento de um produto exige dos projetistas amplo conhecimento dos materiais e processos de fabricação (Silva *et al.*, 2006; Ferrante, 2002; Cândido e Kindlein, 2009; Escobar 2006; Kindlein *et al.*, 2006; Ashby e Johnson 2011).

No Brasil, constata-se esforços para contornar o problema, por meio da adequação da grade curricular dos cursos de graduação de design, incluindo conteúdos a fim de capacitar o profissional a dialogar com a equipe multidisciplinar da qual fará parte quando atuar no mercado. Esta medida foi apresentada no Seminário de Metodologia em Design, em Bauru no ano de 2010, do qual participaram representantes de várias instituições de ensino brasileiras.

Destaque-se que a maioria das universidades presentes no evento tem a sua origem nas regiões sudeste e sul do Brasil. A Universidade Federal de Pernambuco estava praticamente sozinha representando a região nordeste. Outro indício dessa mudança está na implantação, a partir do ano de 2006, de várias bibliotecas de materiais, nas universidades FEEVALE, UNISINOS, UFRGS, IFAL, etc. Além disso, merece ênfase os trabalhos de Pereira *et al* (2006) e Kindlein e Guanabara (2006) que apresentam a necessidade e importância do diálogo entre as áreas de engenharia e design como fonte de inovação em projeto de produtos. Novamente nota-se a predominância das regiões sudeste e sul na integração e valorização do profissional do design no processo de desenvolvimento de produtos.

Nesse contexto, o objetivo desta tese é propor um MÉTODO com base na técnica das Redes Neurais Artificiais para estruturar e avaliar um modelo de previsão dos materiais e processos industriais a fim de auxiliar o designer na seleção de materiais no projeto de produtos.

A Inteligência Artificial, cujo campo de pesquisa abrange os conhecimentos científicos multidisciplinares (como os da Computação, Linguística, Matemática, Neurofisiologia e Psicologia), se expandiu e é largamente utilizada na resolução de problemas complexos, com aplicabilidade de suas técnicas em variadas áreas do conhecimento humano.

Com a proposta de desenvolver Sistemas Inteligentes, cujo objetivo é simular o processo de decisão afeito aos seres humanos, a Inteligência Artificial se utiliza de diversas técnicas-chaves para representar o conhecimento humano, as quais podem ser aplicadas - isoladas ou conjuntamente - para auxiliar o processo decisório, por meio do qual são fornecidas as soluções para um problema.

Destaca-se dentre estas a técnica das Redes Neurais Artificiais, ferramenta bastante utilizada no reconhecimento de padrões. Dentre suas principais vantagens, vale citar a aprendizagem por meio de exemplos, que possibilita melhorar seu desempenho com a experiência e adaptar-se a ambientes novos e dinâmicos.

O uso das Redes Neurais Artificiais com êxito no projeto e desenvolvimento de produtos tem se verificado promissor, como provam os exemplos desenvolvidos nos campos da seleção de materiais, sistemas CAD inteligentes e geração de sketches que serão apresentados no capítulo três, destinado às mesmas.

No que tange ao segmento da seleção de materiais, não se identificou trabalhos com amplitude em nível de mestrado ou doutorado que utilizassem as redes neurais artificiais como auxílio à tomada de decisão para designers.

Diante desse panorama, espera-se que o recurso computacional utilizado, as Redes Neurais Artificiais, possa, por meio da previsão de materiais e processos a partir de atributos previamente identificados e analisados, facilitar a inserção do estudante e

do profissional de design no processo da seleção de materiais para produtos. Destaque-se que o MÉTODO possibilita a concepção de uma ferramenta que integra conteúdo e facilidade de aplicação e atualização e pode ser aplicado pelos usuários, estudantes e profissionais, para outras categorias de produtos. Isto favorecerá o acesso às informações sobre materiais e processos disponíveis, à familiaridade com conteúdos sobre propriedades de materiais, métodos e ferramentas disponíveis e a reflexão sobre como e quando utilizá-los.

A necessidade de se buscar novas alternativas que auxiliem à tomada de decisão em relação à seleção de materiais e processos, com vistas à inserção do profissional de design no processo de desenvolvimento de produtos adquire uma importância específica para regiões em desenvolvimento, como o Brasil.

Por fim, diante da busca por soluções inovadoras para auxiliar a tomada de decisão na seleção de materiais para o profissional e o estudante de design, as Redes Neurais Artificiais se apresentam, especificamente para o estudo de caso desta tese, como uma alternativa de fácil implementação e de baixo custo, o que as transforma em solução viável para a utilização, fato a ser comprovado no desfecho deste estudo, por meio da execução dos procedimentos experimentais.

Assim, esta pesquisa trará como resultado um MÉTODO de previsão de materiais e processos a partir de atributos pré-determinados para seleção em projeto de produto, que auxiliará o estudante ou profissional de design a identificar quais os possíveis materiais para determinada aplicação em projeto de produto.

A seção seguinte apresentará em síntese, com o objetivo de delimitar o problema de pesquisa, a importância da seleção de materiais para desenvolver produtos com potencial de inovação e competitividade, assim como o fundamental papel do profissional de design como agente nesse processo. No entanto, embora a atuação desse profissional seja crescente, ainda há um déficit no acesso, compreensão e aplicação das informações sobre materiais e processos.

1.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA DE PESQUISA

Com o advento da globalização e consequentemente dos novos hábitos e novas situações de consumo as empresas investem em inovação em busca de diferenciação, a fim de se destacar perante os concorrentes. Essa diferenciação tem como importante componente a seleção de materiais e engloba as novas relações afetivas usuário/produto que influenciam o consumo. O consumo crescente gera um volume significativo de lixo, que conflita com outro anseio do consumidor moderno: a sustentabilidade. Em meio a essa complexidade de fatores que permeiam o processo de projeto de produto, o designer industrial, cuja participação é particularmente relevante para o desenvolvimento de produtos que proporcionem experiências prazerosas aos usuários, se vê diante de novos requisitos de projeto:

- i. Os produtos devem ser compreensíveis ou significativos para alguém (Krippendorf 1989);
- ii. A comunicação clara do significado do produto para o consumidor permite que este possa avaliar e apreciar o produto;
- iii. A demanda por sustentabilidade exige que se projete respeitando o meio ambiente (Ashby e Johnson 2011).

De acordo com Marques (2008) e Silva (2006), para criar um produto em condições de competir com os já existentes é necessário inovar nos materiais, design e processos de fabricação.

Conforme o tipo de material utilizado, o produto terá uma aparência que poderá agradar mais a determinados grupos sociais, ou ter um custo que provocará a sua exclusão para determinado público consumidor (Ferroli 2009).

Em corroboração, Fujimoto e Thomke (2000) afirmam que o crescimento e inovação no setor do desenvolvimento de novos produtos estão intrinsecamente relacionados a uma adequada seleção de materiais.

No campo da seleção de materiais para design, critérios bem definidos de desempenhos esperados e de relações de custo/benefício devem balizar a escolha dos materiais para produtos (Ferrolí 2009). Para que isto seja possível é necessário o acesso às informações sobre materiais e processos de fabricação disponíveis. No entanto, as informações sobre materiais disponíveis, inclusive na internet, de acordo com Assunção (2002) não é utilizada de forma significativa por designers no Brasil. Isso se dá devido à falta de sistematização desses dados, que aliada à grande quantidade de materiais existentes tornaria a tarefa bastante árdua e demorada. Além disso, Ashby e Johnson (2011) afirmam que a base para o ensino da seleção de materiais em faculdades de engenharia ignora ou dedica pouca atenção ao papel que os materiais e processos desempenham no design de produto, isto é o modo como os designers os usam e as razões pelas quais o fazem. Os autores ressaltam ainda a existência de diferenças significativas na linguagem entre engenheiros e designers, o que não favorece o uso por estes últimos dos livros e ferramentas existentes para o referido fim.

A fim de se confirmar a necessidade de métodos e ferramentas para auxiliar o designer na seleção de materiais para projeto de produtos, foi realizado pela autora um levantamento, por meio de entrevista, nos escritórios de design da cidade de Recife/PE, sobre o processo de seleção de materiais em produtos adotado por eles. Obteve-se como resultado de todos os entrevistados:

- i. Existência da dificuldade em se atualizar sobre tecnologias novas e da necessidade de ampliar o conhecimento sobre materiais e processos de fabricação existentes no Brasil, da dificuldade ao acesso de dados organizados sistematicamente assim como de fornecedores;
- ii. Os Designers não tem suporte equivalente aos projetistas técnicos no que diz respeito a softwares de seleção, acesso às informações, fornecedores, manuais, textos, periódicos, conferências, etc.;

- iii. Há uma diferença significativa entre a linguagem utilizada por engenheiros e designers;
- iv. Há sentimento de discrepância no ensino superior, no qual faltam meios que facilitem a tomada de decisão na seleção de materiais.

Os resultados encontrados nas entrevistas em Recife são ratificados por Ashby e Johnson (2011) que afirmam não haver abundância de suporte para o ensino de materiais na área de design; e por Kindlein *et al.* (2006) que definem como “apenas um contato básico”, a relação que os designers tem com a ciência e tecnologia de materiais na graduação. No entanto, o desenvolvimento de um produto exige dos projetistas amplo conhecimento dos materiais e processos de fabricação (Silva *et al.*, 2006; Ferrante, 2002; Cândido e Kindlein, 2009; Escobar 2006; Kindlein *et al.*, 2006; Ashby e Johnson 2011).

A seguir, serão apresentados a tese da pesquisa, a hipótese e os objetivos a serem atingidos com os resultados deste trabalho.

1.3 OBJETIVOS DA PESQUISA

1.3.1 Tese da Pesquisa

É possível viabilizar com base na utilização da técnica das Redes Neurais Artificiais um MÉTODO para estruturar e avaliar um modelo de previsão dos materiais e processos industriais a fim de auxiliar o usuário na seleção de materiais no projeto de produtos?

1.3.2 Hipótese

A técnica das redes neurais artificiais pode ser aplicada satisfatoriamente para estruturar e avaliar um modelo de previsão dos materiais e processos industriais a fim de auxiliar o usuário na seleção de materiais no projeto de produtos.

1.3.3 Objetivo Geral

Afigura-se como objetivo geral o de propor um MÉTODO com base na técnica

das Redes Neurais Artificiais para estruturar e avaliar um modelo de previsão dos materiais e processos industriais a fim de auxiliar o estudante ou profissional de design na seleção de materiais no projeto de produtos. Ressalte-se que o MÉTODO de previsão de materiais e processos supracitado permitirá a confecção de uma ferramenta que o tornará possível de ser utilizado por qualquer usuário. Destaque-se ainda que o modelo de previsão desenvolvido será testado e validado para a categoria embalagem de cosméticos.

1.3.4 Objetivos Específicos

- i. Identificar os materiais utilizados nas embalagens do setor cosmético e os processos de fabricação compatíveis com esses materiais;
- ii. Identificar os atributos relevantes a serem considerados para uma adequada seleção de materiais;
- iii. Estruturar os materiais e processos identificados para o setor de estudo, de acordo com o tipo de produto;
- iv. Analisar os critérios quanto à relevância na relação com os materiais e processos identificados;
- v. Identificar, treinar e validar o modelo de Rede Neural Artificial mais adequado à hipótese;
- vi. Desenvolver uma Interface de Aplicação utilizando o software Microsoft Excel 2010.

Na próxima seção será apresentada a metodologia utilizada no desenvolvimento da pesquisa para a concretização desta tese.

1.4 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Para esta tese o procedimento metodológico disposto nas etapas seguintes guiou o desenvolvimento da pesquisa. Importante lembrar que, sem prejuízo do

desenvolvimento harmônico, as etapas guardam entre si algumas relações intrínsecas e se comunicam em vários de seus aspectos, seguindo apresentadas de modo intencionalmente didático.

1.4.1 Revisão Bibliográfica

Está representada por meio do estudo do estado da arte dos dois grandes pontos que constituem o núcleo da tese: “Materiais e Design” e “Redes Neurais Artificiais”. A revisão foi concretizada pela utilização de vasto material bibliográfico de produção científica: livros, dissertações, teses, artigos, anuários, manuais, anais de colóquios científicos, etc. As fontes estavam disponíveis, em sua maior parte, na biblioteca da Universidade de São Paulo, mas também em outras instituições bem como em pesquisas na rede mundial de computadores - *internet*.

Esta etapa da metodologia, representada nesta tese pelos capítulos dois e três, permite ao leitor uma visão geral dos aspectos históricos pertinentes aos dois pontos anteriormente citados e dos conceitos teóricos relevantes ao desenvolvimento do trabalho.

1.4.2. Eleição do Setor do Estudo de Caso e Seleção dos Atributos

Para o desenvolvimento da pesquisa se conduziu à escolha das embalagens do setor cosmético para a adoção de todos os procedimentos relativos ao estudo de caso, descritos em seguida nesta seção.

A seleção dos atributos, decorrente da investigação bibliográfica, guiou-se no exame das relações dos mesmos com os principais materiais e processos utilizados para o setor do estudo, verificados na coleta de dados.

Esta etapa encontra-se descrita no capítulo cinco.

1.4.3 Coleta de Dados

De fundamental importância para o desenvolvimento desta tese, a coleta de dados foi subdividida em nove partes descritas a seguir:

- i. A coleta de dados bibliográficos sobre metodologias e ferramentas de seleção de materiais existentes e disponíveis para consulta. Este levantamento foi realizado por meio de investigação em livros, dissertações, teses e publicações em periódicos;
- ii. A coleta de dados referentes a materiais comumente e potencialmente utilizados em embalagens. Esta etapa foi realizada após triagem dos dados bibliográficos referidos no item a e se deu por meio de consulta a livros especializados e sites que disponibilizaram bancos de dados virtuais e softwares sobre materiais. Ressalte-se que algumas dessas ferramentas virtuais não são de acesso gratuito;
- iii. O registro das metodologias utilizadas para a seleção de materiais, a fim de se escolher parâmetros norteadores dos atributos que seriam pré-selecionados;
- iv. O registro de ferramentas, softwares, catálogos e banco de dados virtuais sobre seleção de materiais, nas quais foi realizada consulta acerca de propriedades de materiais utilizados no projeto de embalagens de cosméticos, assim como os processos industriais associados a eles;
- v. Investigação na Agência Brasileira de Vigilância Sanitária acerca da definição e classificação dos cosméticos, perfumes e produtos de higiene pessoal, assim como da legislação pertinente a essa categoria;
- vi. O registro, por meio das etapas anteriores, na forma de árvores de decisão, dos materiais, suas propriedades e processos industriais associados ao projeto de embalagens de cosméticos, produtos de higiene pessoal e perfumes;

Esta etapa encontra-se descrita na primeira metade do capítulo quatro denominada Primeiro Procedimento Experimental e foi executada entre os meses junho e agosto de 2014.

1.4.4 Estruturação dos materiais e processos identificados para o setor de estudo

De posse desse conjunto de dados organizados e hierarquizados, selecionou-se com base em Van Bezooeyen (2002) atributos relacionados à seleção de materiais e processos para o objeto de estudo de caso desta tese. Os materiais e processos foram classificados de acordo com sua relação com o tipo de produto, forma, tipo de fechamento, cor, transparência, textura, brilho e reaproveitamento que poderiam oferecer.

Esta etapa está contida no Primeiro Procedimento Experimental, parte constituinte do capítulo quatro.

1.4.5 Análise dos Atributos Coletados quanto à relevância na relação com os materiais e processos identificados;

Coletados os atributos, se fez necessário um estudo para estabelecer a relação existente entre cada atributo e os materiais e processos identificados.

Esta etapa encontra-se descrita no capítulo quatro, que está inserido no Segundo Procedimento Experimental.

1.4.6 Execução do Segundo Procedimento Experimental

Cumpridas as etapas anteriores, foi iniciada a aplicação da técnica das Redes Neurais Artificiais, constituída basicamente do tratamento dos dados coletados, treinamento e posterior validação do modelo de rede que obteve o melhor desempenho segundo critérios específicos encontrados no capítulo três.

As partes integrantes do Segundo Procedimento Experimental são:

- i. Ordenação das variáveis de entrada e saída;

- ii. Formação das partições para treinamento, validação e teste;
- iii. Definição das topologias e parâmetros a serem utilizados no treinamento do modelo de RNA;
- iv. Verificação do nível de confiabilidade do modelo de RNA;
- v. Execução das etapas de treinamento, validação e teste.

Depois de treinado e validado o modelo de Rede Neural Artificial com o melhor desempenho, foi verificado o peso de cada atributo na previsão dos materiais e processos identificados no setor de estudo.

Esta etapa encontra-se descrita no capítulo cinco (Estudo de Caso), que se encontra subdividido em três partes: caracterização do setor de estudo, análise dos resultados do Primeiro Procedimento Experimental e análise dos resultados do Segundo Procedimento Experimental.

1.4.7 Análise dos Resultados

Por fim, no capítulo seis da dissertação está situada a análise final dos resultados obtidos, guardando correspondência com os objetivos geral e específicos estabelecidos inicialmente e culminando com a formulação das conclusões e sugestões para trabalhos posteriores.

1.4.8 Desenvolvimento da Interface de Aplicação

Diante do modelo de Rede Neural Artificial de melhor desempenho, foi executado o processo de replicação do mesmo em planilha eletrônica, o que possibilitou a acessibilidade ao usuário à previsão dos materiais e processos para o setor estudado a partir dos atributos identificados.

Esta etapa encontra-se no capítulo cinco, no subitem análise dos resultados do Segundo Procedimento Experimental.

Na próxima seção será apresentada a estrutura desta tese, que compreende uma síntese do conteúdo de cada capítulo.

1.5 ESTRUTURA DA TESE

Este trabalho está estruturado em seis capítulos, incluído o presente, de caráter introdutório, e um anexo explicativo de como utilizar a interface desenvolvida.

O capítulo dois e o capítulo três integram uma revisão bibliográfica, onde foi feito o estudo do estado da arte dos dois grandes pontos pertinentes a este trabalho: “Materiais e Design” e “Redes Neurais Artificiais”. Uma descrição mais detalhada será mostrada a seguir.

O capítulo dois apresenta uma breve descrição do conceito de materiais e suas propriedades; uma síntese sobre os mesmos no contexto do design industrial; e uma incursão pelos métodos e ferramentas para a seleção de materiais, com ênfase na relação destes com o profissional de design.

No capítulo três são apresentados: a noção histórica referente às Redes Neurais Artificiais e alguns conceitos relevantes a serem utilizados na formulação do modelo proposto.

O capítulo quatro trata de descrever os procedimentos experimentais necessários ao desenvolvimento do MÉTODO proposto para estruturar e avaliar um modelo de redes neurais artificiais para a previsão de materiais e processos industriais a partir de atributos pré-selecionados. Este capítulo encontra-se dividido em duas fases: a primeira consiste no procedimento experimental de coleta e análise dos dados (Primeiro Procedimento Experimental) e a segunda diz respeito ao processo da construção e avaliação do modelo de previsão de materiais e processos com base nas Redes Neurais Artificiais (Segundo Procedimento Experimental) e o desenvolvimento de uma Interface de Aplicação, resultante do MÉTODO utilizado.

O capítulo cinco aborda o estudo de caso no setor de embalagens para cosméticos, quando, além de conter definições e conceitos relevantes do setor em

estudo, são apresentados e analisados os resultados obtidos por mérito dos procedimentos executados.

O capítulo seis apresenta as conclusões extraídas desde o ponto de partida da hipótese de pesquisa, visitando a execução e fundamentação dos procedimentos experimentais até o desfecho da apresentação dos dados e análise obtidas a partir das etapas antecessoras, como também consiste em algumas recomendações para futuros trabalhos com pertinência ao tema.

Por fim, em anexo encontra-se um texto explicativo sobre o conteúdo e a utilização da Interface de Aplicação desenvolvida.

A figura 1.1, mostrada a seguir, apresenta um diagrama que sintetiza a estrutura desta tese:

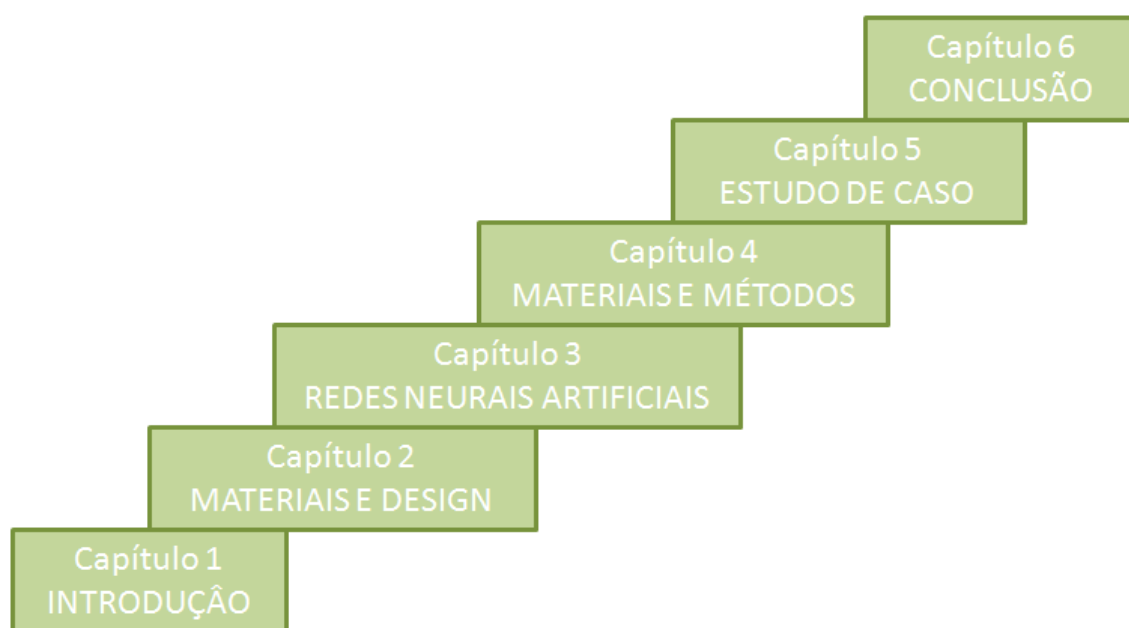


Figura 1.1: Estrutura diagramática do trabalho

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASHBY, M.; JOHNSON, K. **Materiais e Design - Arte e ciência da seleção de materiais no design de produto**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

ASSUNÇÃO, R. B. **Eco-Design e Seleção de Materiais para Mobiliário Urbano**. Dissertação de Mestrado, UFOP, 2002.

CÂNDIDO, L. H. A.; KINDLEIN, W. J. Metodologia para o ensino sobre materiais utilizando modelos e protótipos. In: Congresso Internacional de Pesquisa em Design, Bauru, 10 a 12 out. 2009. **Anais do 5o Congresso Internacional de Pesquisa em Design**. Bauru: UNESP. 2009.

DIAS, M. R. A. C. **Percepção dos materiais pelos usuários: modelo de avaliação Permatius**. Tese de Doutorado. UFSC. Florianópolis. 2009.

ESCOBAR, A. H. V. Materiales y procesos de manufactura em innovación: Metodología para innovar desde nuevas perspectivas. In: Encuentro Latinoamericano de Diseño, Palermo, ago. 2006. **Anais do I Encuentro Latinoamericano de Diseño**. Palermo: Facultad de Diseño y Comunicación. Universidad de Palermo. 2006.

FERRANTE, M. **Seleção de Materiais**. São Carlos: EdUFSCar, 2002.

FERROLI, P.C.M. **MAEM-6F (Método Auxiliar para Escolha de Materiais em Seis fatores): Suporte ao Design de produtos Industriais**. Edgard Blucher, 2009.

FUJIMOTO, T.; THOMKE, S. The Effect of Front-Loading Problem-Solving on Product Development Performace. **Journal of Product Innovation Management**, v.17, 2000.

KINDLEIN, W. J.; GUANABARA, A. S. A Importância do Binômio Design e Engenharia como Catalisador de Inovação In: Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design, Paraná, 8 a 11 out. 2006. **Anais do 7o Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design**. Paraná: UFPR, PUC/Pr, Universidade Tuiuti, UNICENP e CEFET/Pr. 2006.

_____; LUZ, F. F.; FREESE, S. H.; SILVA, F. P. Otimização de uma Ferramenta de Auxílio ao Projeto de Produto e Ensino a Distância via Internet. In: Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design, Paraná, 8 a 11 out. 2006. **Anais do 7o Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design**. Paraná: UFPR, PUC/Pr, Universidade Tuiuti, UNICENP e CEFET/Pr. 2006.

KRIPPENDORF, K. On the essential contexts of artifacts or on the proposition that “design is making sense (of things)”. **Design Issues**, 5(2), 9-39. 1989.

MANZINI, Ezio. **A Matéria da Invenção**. Coleção "Design, Tecnologia e Gestão". Porto: Centro Português de Design, 1993.

MANZINI, E; VEZOLLI, C. O **Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis**. 1a ed. São Paulo, 2008.

MARQUES, A. C. **Análise de Similares: Contribuição ao Desenvolvimento de uma Metodologia de Seleção de Materiais e Ecodesign**, Dissertação de Mestrado, UFRGS, 2008.

PEREIRA, A. F.; CARRASCO, E. V. M.; ROMEIRO FILHO, E.; BRESCIA, E. A. A importância da interação entre Design e Engenharia para a certificação de produtos moveleiros - Projeto PRÓ-UBÁ. In: Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design, Paraná, 8 a 11 out. 2006. **Anais do 7o Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design**. Paraná: UFPR, PUC/Pr, Universidade Tuiuti, UNICENP e CEFET/Pr. 2006.

ROZENFELD, H. Forcelinni, F. A.; Amaral, D. C.; Toledo, J.C.; Silva, S.L.; Alliprandini, D. H.; Scalice, R. K. **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo: Editora Saraiva, 2006.

SILVA, E. A. Materioteca - Desarrollo de un Sistema de Información y Percepción de Selección de Materiales. In: Encuentro Latinoamericano de Diseño, Palermo, ago. 2006. **Anais do I Encontro Latinoamericano de Diseño**. Palermo: Facultad de Diseño y Comunicación. Universidad de Palermo. 2006.

SILVA, F. P.; VERGANI, L.; KINDLEIN, W. J. Desenvolvimento de Bancos de Dados como Ferramenta de Auxílio ao Design de Novos Produtos. In: Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design, Paraná, 8 a 11 out. 2006. **Anais do 7o Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design**. Paraná: UFPR, PUC/Pr, Universidade Tuiuti, UNICENP e CEFET/Pr. 2006.

VAN DER LINDEN, Júlio. C. de S.; LACERDA; André. P. Metodologia Projetual em tempos de Complexidade. In: LINDEN, J. C. S. de.; MARTINS, R. F. F. de. et al. **Pelos caminhos do design: Metodologia de projeto**. Londrina: EDUEL, 2012. p 151 – 174.

CAPÍTULO 2

Seleção de Materiais e Design

SUMÁRIO

CAPÍTULO 2

MATERIAIS E DESIGN

2.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	21
2.2	CONCEITOS BÁSICOS.....	23
2.2.1	Materiais.....	23
2.2.2	Propriedades dos Materiais.....	27
2.2.3	Processos Industriais	28
2.3	MATERIAL NO ÂMBITO DO DESIGN INDUSTRIAL.....	30
2.4	DESIGN E O PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS	32
2.5	SELEÇÃO DE MATERIAIS	34
2.5.1	O Método de Seleção de Materiais de Ashby	38
2.5.2	Método de Análise, Síntese, Similaridade e Inspiração	40
2.6	FONTES DE INFORMAÇÃO PARA A SELEÇÃO DE MATERIAIS	41
2.7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	46
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

CAPÍTULO 2

MATERIAIS E DESIGN

Neste capítulo apresentam-se aspectos relevantes da seleção de materiais, alguns estudos na área e sua relação com o design industrial. Abordam-se, inicialmente, conceitos importantes ao entendimento do capítulo. Em seguida é feita uma síntese sobre os materiais no âmbito do design e, no item posterior, uma reflexão acerca da relação entre o design e o processo de desenvolvimento de produtos. Por fim é introduzida a seleção de materiais e apresentados alguns métodos e ferramentas disponíveis.

2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O desenvolvimento e o avanço das sociedades estiveram, ao longo da história, intimamente relacionados às habilidades de seus membros em produzir e manipular materiais para satisfazer as suas necessidades.

Os primeiros humanos tiveram acesso, em princípio, apenas àqueles materiais encontrados na natureza. Com o passar do tempo, eles descobriram técnicas para produzir materiais como as cerâmicas e alguns metais, que tinham propriedades superiores às dos materiais naturais. Além disso, descobriram como alterar as propriedades de um material com tratamento térmico ou com a adição de outros materiais.

Estima-se a existência, hoje, de aproximadamente 160.000 diferentes materiais disponíveis no mercado mundial (Ashby e Johnson, 2011). Selecioná-los sem uma sistemática de ação e uma fonte confiável de dados pode tornar-se uma tarefa árdua, de acordo com Ferrante (2002). Ressalte-se que o autor define a seleção de materiais como uma sistemática de escolher entre os materiais existentes, por meio de sucessivas etapas de eliminação, aquele mais adequado para uma determinada necessidade projetual.

Charles *et al.* (2001) defendem que a Seleção de Materiais e Processos de Fabricação deve acompanhar o desenvolvimento de produtos em todas as suas fases, desde a etapa de conceituação até a etapa de fabricação. Em corroboração, Ashby e Johnson (2011), afirmam que a configuração de um produto, é influenciada principalmente pelo material que o constitui e pelo processo de fabricação para dar-lhe forma. Os autores enfatizam que, a princípio, todos os materiais existentes, são potencialmente utilizáveis, no âmbito do design. A escolha dos materiais eletivos é balizada pelas restrições técnicas e de design industrial.

Existem diferentes métodos para se proceder à seleção de materiais para um produto (Ashby *et al.*, 2012). Entretanto, é possível afirmar que a compreensão do significado das propriedades dos materiais pelo projetista é requisito para manipular os dados e fazer comparações entre os selecionados por meio da maioria desses métodos.

Em geral, o conhecimento sobre os materiais e suas propriedades é oriundo da engenharia, e disposto ao designer. É notável a diferença de formação entre estes e a distinção nos seus modos de pensar. No entanto, a escolha dos materiais e dos processos de fabricação é considerada fator caracterizador do conceito do produto não se limitando a um problema somente da engenharia (Ashby e Johnson, 2003).

Em corroboração, Doordan (2003) afirma que uma escolha criteriosa dos materiais reflete-se na qualidade do produto final, o que lhe confere um papel essencial no processo de design. O desenvolvimento de novos materiais e a sua utilização por parte dos designers, têm relação direta com a evolução técnica e estética dos produtos (Dobrzanski 2006; Ashby e Johnson, 2011).

Portanto, é desejável que haja a participação de uma equipe multidisciplinar para proceder à seleção do material no contexto do processo de desenvolvimento do produto (Kindlein e Busko, 2006). Assim, a cooperação entre as áreas necessita de ferramentas de comunicação que facilitem a troca de conhecimentos (kindlein e Armand, 2005).

2.2 CONCEITOS BÁSICOS

2.2.1. Materiais

A palavra material provém do termo latim *materiālis* e diz respeito àquilo que pertence ou é relativo à matéria, que, por sua vez deriva do latim, *materia* (substância física), e é qualquer coisa que possui massa. Tudo que tem volume e pode se apresentar no estado sólido, líquido ou gasoso. Para o dicionário Aurélio, matéria é definida como substância capaz de receber determinada forma.

Para a ciência, um material é qualquer conglomerado de matéria ou de massa. Na engenharia, um material é uma substância (composto químico) com uma propriedade útil, podendo ser mecânica, elétrica, ótica, térmica ou magnética.

Morris Cohen, conceituado cientista de materiais do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), define materiais como substâncias com propriedades que as tornam úteis na construção de máquinas, estruturas, dispositivos e produtos (Cohen 1974). Esta definição, por relacionar os materiais à confecção de artefatos, explicita a relevante ligação dos materiais com a Engenharia e com o Design.

Há várias formas de classificar materiais. Ashby (2012) classificam os materiais em seis grupos denominados famílias: metais, cerâmicas, vidros, polímeros, elastômeros e híbridos. As famílias são subdivididas em classes, subclasses e membros, aos quais estão associadas propriedades ou atributos. O autor afirma que os membros de uma família têm em comum alguns aspectos: propriedades semelhantes, rotas de processamento semelhantes e, muitas vezes aplicações semelhantes. A figura 2.1 apresenta um exemplo de taxonomia dos materiais segundo Michael Ashby.

		SUBCLASSE		MEMBRO	ATRIBUTOS
FAMÍLIA	CLASSE				
VIDROS	AÇOS	1000			
		2000			
		3000		6013	
		4000		6060	
METAIS	LIGAS DE Al	5000			
		6000		6061	<i>Alu 6061</i>
HÍBRIDOS	LIGAS DE Cu	7000		6063	▪ DENSIDADE
CERÂMICAS	LIGAS DE Ti	8000		6082	▪ PROPRIEDADES MECÂNICAS
POLÍMEROS	LIGAS DE Ni			6151	▪ PROPRIEDADES TÉRMICAS
ELASTÔMEROS	LIGAS DE Zn			6463	▪ PROPRIEDADES ELÉTRICAS
					▪ PROPRIEDADES ÓTICAS
					▪ PROPRIEDADES DE CORROSÃO

Figura 2.1: Exemplo de taxonomia dos materiais.

Fonte: Ashby (2012)

Askeland e Phulé (2008) consideram cinco categorias: metais e ligas; cerâmicas; vidros e vidros cerâmicos; polímeros; semicondutores e materiais compósitos. Os autores consideram ainda uma classificação funcional dos materiais. Estes são divididos em categorias com base na mais importante função que desempenham: aeroespaciais, biomédicos, materiais eletrônicos, materiais magnéticos, materiais ópticos, materiais inteligentes, materiais estruturais e, tecnologia de energia e tecnologia ambiental. Ressalte-se que as categorias podem ser subdivididas em subcategorias. Por exemplo, materiais estruturais: os aços, as ligas de alumínio, o concreto, a fibra de vidro, o plástico e a madeira.

Os materiais, afirma Padilha (2000), também podem ser classificados em quatro níveis, conforme o grau de conhecimento científico utilizado no seu desenvolvimento:

- i. Materiais naturais: são materiais que se apresentam prontos ou quase prontos para uso na natureza. Por exemplo: a madeira, o couro, o diamante, o cobre, as ligas ferrosas provenientes de meteoritos e a borracha.
- ii. Materiais desenvolvidos empiricamente: são materiais preparados pela ação humana desde muito tempo. Seu desenvolvimento deve-se à observação e reprodução de alguma ocorrência natural. Por exemplo: o bronze, o aço comum, o ferro fundido, as cerâmicas sílico aluminosas, o vidro, o cimento e o concreto.
- iii. Materiais desenvolvidos com auxílio qualitativo de conhecimentos científicos: são materiais cujas considerações científicas orientaram seus descobrimentos e a interpretação qualitativa de suas propriedades. Por exemplo: as ligas mais antigas de alumínio, as ligas de titânio e de magnésio, os aços inoxidáveis, os aços microligados, os termoplásticos, os termofixos, os elastômeros e as ferritas.
- iv. Materiais projetados: são materiais quase que exclusivamente preparados a partir de conhecimentos científicos e cujas propriedades podem ser quantitativamente previstas. Por exemplo: os semicondutores, os materiais para reatores nucleares, os aços de ultra-alta resistência mecânica, os materiais compósitos reforçados com fibras, as ligas com memória de forma e os vidros metálicos.

Callister (2008) subdivide os materiais sólidos em metais, cerâmicas e polímeros, com base principalmente na sua composição química e na sua estrutura atômica. Embora existam alguns materiais intermediários, a maioria deles se encaixa nesse esquema. Em adição existem os materiais compósitos, que consistem na combinação de duas ou três classes supracitadas; e os materiais avançados, que são utilizados em aplicações de alta tecnologia como os semicondutores, os biomateriais, os materiais inteligentes e os nano materiais.

Os materiais avançados, são aqueles que, durante a fase de pesquisa e desenvolvimento, recebem cuidados especiais quanto aos processos de síntese e controle da estrutura do material de base. Desse modo, reúnem um conjunto de características operacionais preciso e adaptado às suas aplicações.

De tal forma, não só as características técnicas dos materiais existentes estão sendo constantemente aprimoradas, (tornando-os mais resistentes, mais leves, menores, menos consumidores de energia, menos intensivos em mão de obra e também mais baratos), como também há todo um fluxo de novos materiais que vêm sendo introduzidos em permanência.

Apesar de ser difícil prever quais desses novos materiais terão de fato um desenvolvimento prático e quais ultrapassarão os campos restritos para os quais foram desenvolvidos, pode-se ter uma ideia com base numa classificação feita para o Centro Nacional da Pesquisa Científica da França – CNRS (Manzini, 1993), com base na fase de progresso e utilização desses materiais, a saber:

- i. Materiais em fase de industrialização recente, como o titânio e os usuais plásticos reforçados;
- ii. Materiais em fase de pré-industrialização, como os compósitos avançados e as cerâmicas de alto desempenho;
- iii. Materiais em fase de desenvolvimento, como as ligas de alumínio e lítio e;
- iv. Materiais em fase de pesquisa, como os metais amorfos.

Em corroboração, Ashby e Johnson (2011) afirmam que os novos materiais podem ser encontrados em diferentes formas:

- i. Materiais em pesquisa: polímeros fotoluminescentes, nano compósitos;
- ii. Materiais em início de comercialização: metais amorfos, metal expandido e ligas com memória de forma;

- iii. Materiais em combinação: madeira preenchida com PP, fibras de carbono combinados e;
- iv. Materiais utilizados em locais inesperados: titânio em armação de óculos, papel e vidro para estruturar materiais.

Nesse contexto, novos materiais não são somente os novos polímeros, novas ligas, enfim, os materiais de ponta que estão sendo desenvolvidos, mas também a combinação criativa de materiais conhecidos. Assim, Manzini (1993) salienta que essa inovação pode ocorrer em qualquer ponto do sistema de produção e não apenas nos grandes laboratórios.

A grande revolução, portanto, dos novos materiais consiste na liberdade proporcionada ao utilizador de se afastar das limitações impostas pela utilização de materiais *in natura* para progressivamente os adaptar a suas necessidades específicas. Tal revolução não estará, contudo completa sem uma liberdade total da concepção dos próprios materiais, integrada nos processos industriais de pesquisa e desenvolvimento de novos produtos.

2.2.2. Propriedades dos Materiais

Propriedade, segundo Callister (2008), consiste em uma peculiaridade de um dado material em termos do tipo e da intensidade da resposta a um estímulo específico que lhe é imposto. Pode-se considerar que as propriedades são o conjunto de características mensuráveis de um material.

Askeland e Phulé (2008) afirmam que as propriedades dos materiais dependem de sua composição, estrutura, síntese e seu processamento. Callister (2008) resume estrutura de um material como o arranjo dos seus componentes internos. O autor refere ainda que os elementos estruturais estão subdivididos em microscópicos e macroscópicos, estes últimos quando podem ser vistos a olho nu.

As propriedades dos materiais são, em última análise, determinadas, de acordo com Newell (2010), pelos tipos de átomos presentes, por suas orientações relativas e pela natureza das ligações entre eles, isto é pela estrutura do material.

As propriedades importantes relativas aos materiais sólidos, oriundas da mensuração de comportamentos dos materiais com o auxílio de equipamentos e ensaios laboratoriais, podem ser agrupadas em seis categorias, a saber: mecânicas, elétricas, térmicas, magnéticas, ópticas, químicas e de degradação (corrosão, oxidação e desgaste).

Além dessas, existem as propriedades obtidas por meio da observação e avaliação das características dos materiais pelo homem: as propriedades sensoriais e as de percepção (Ashby e Johnson, 2003, Van Bezooeyen, 2002). As primeiras referem-se àquelas avaliadas por meio das estruturas fisiológicas sensoriais humanas, ou seja, o tato, a visão, a audição, o paladar, e o olfato. Incluem as sensações de macio, duro, quente, frio, transparente, etc. Propriedades de percepção dizem respeito àquelas avaliadas por meio das estruturas fisiológicas sensitivas, isto é o indivíduo associa a percepção do produto ou material ao repertório adquirido ao longo da vida. Incluem atributos como valioso, barato, velho, novo, divertido, moderno.

Por fim, a inter-relação entre estrutura do material, suas propriedades, processamento e desempenho regem o projeto, a produção e a utilização dos materiais (Callister 2008).

2.2.3. Processos Industriais

Askeland e Phulé (2008) afirmam que o termo processamento refere-se ao modo como os materiais são transformados em componentes úteis e com propriedades adequadas.

Ferrante (2002), entretanto, ressalta a diferença entre os termos processamento e fabricação. O autor define o primeiro como a obtenção de um artefato a partir de matérias primas ou o que ele denomina “produtos de prateleira”, isto é, barras, tarugos, perfis extrudados. O segundo termo é limitado por Ferrante a

operações destinadas a produzir a forma, a configuração e as funções finais, modificar as propriedades mecânicas e alcançar o acabamento superficial requerido.

Em corroboração Ferrante e Walter (2010) definem fabricação como a conversão de materiais em peças, produtos ou mercadorias, seguindo formas e funções concebidas pelo projetista. Os autores classificam os processos de fabricação, dentre várias possibilidades, conforme o princípio que rege o processo ou a família de processos: vazamento em cavidades, deformação permanente, moldagem, remoção de material, processamento de pós e, procedimento de união.

Ashby (2012) define um processo industrial como um método de conformação, união ou acabamento de um material. O autor classifica os processos em três famílias gerais: conformação, subdividida em primária (cria formas) e secundária (modificam formas ou propriedades); união e acabamento ou tratamento de superfície. A figura 2.2 apresenta um exemplo de taxonomia dos processos industriais.



Figura 2.2: Exemplo de taxonomia dos processos industriais.

Fonte: Ashby (2012)

Por último, a possibilidade de classificação de processos apresentada por Lima (2006) considera que em termos gerais existem quatro grandes grupos ou famílias de processos: conformação, melhoria, separação e união. Estes, quando combinados de

forma coerente, propiciam a transformação do material em um produto ou componente.

2.3 MATERIAIS NO ÂMBITO DO DESIGN INDUSTRIAL

A área do conhecimento de materiais tradicionalmente abrange a ciência e a engenharia dos materiais, as quais são campos intimamente interligados e interdisciplinares.

Morris Cohen define a Ciência e a Engenharia dos Materiais como áreas da atividade humana associadas com a geração e a aplicação de conhecimentos que relacionem composição, estrutura e processamento de materiais às suas propriedades e usos (Cohen, 1974).

A ciência dos materiais, segundo Askeland e Phulé (2008), concentra-se nos fundamentos científicos da relação entre síntese e processamento, microestrutura e propriedades dos mesmos. Ou ainda, conforme Callister (2008) o papel de um cientista de materiais é o de desenvolver ou sintetizar novos materiais.

A Engenharia, por sua vez, desenvolve modos de converter ou transformar materiais em dispositivos ou estruturas úteis, isto é, produtos ou sistemas. Callister (2008) confirma: o engenheiro de materiais é responsável por criar novos produtos ou sistemas utilizando materiais existentes e/ou por desenvolver técnicas para o processamento de materiais.

Destaque-se que segundo Fiell (2001), o design industrial procura consistentemente fazer uma ponte entre as novas tecnologias e as formas de aplicá-las na prática.

O Design, conforme Walter (2006) ocupa-se dos produtos e sistemas. Em síntese: a ciência revela novas tecnologias das quais se originam novos materiais e processos. Reciprocamente, esses novos materiais e processos, estimulam novos conceitos no design dos produtos. Como consequência das novas tecnologias aplicadas aos materiais e processos, os produtos incorporam as inovações em seu conceito. A

figura 2.3 ilustra como a tecnologia acarreta a inovação de acordo com Ashby e Johnson (2011).



Figura 2.3: O papel da ciência no desenvolvimento dos novos produtos.

Fonte: Ashby e Johnson (2011)

Essa nova relação entre o design e os materiais foi prevista por Ezio Manzini no seu livro “A Matéria da Invenção” (Manzini 1993). Ressalte-se que a atenção dos projetistas à inovação na ciência dos materiais, vincula o futuro do design à experimentação e ao uso de novos materiais. Assim, a inserção do designer de modo concreto no processo de desenvolvimento e aprimoramento do material propriamente dito é percebida nos concursos de design e inovação promovidos por grandes empresas de matérias-primas.

A grande maioria dos designers, segundo Bürdek (2006) acredita que o objetivo principal do design é tornar a vida das pessoas mais fácil. Para isso, será importante combinar os avanços tecnológicos com a aplicação de novos materiais disponíveis a fim de se obter produtos com melhor desempenho, mais funcionalidades, mas, de utilização intuitiva.

Os novos materiais representam, para o designer, oportunidades para seus projetos, mas também representam riscos, uma vez que será necessário experimentar suas características, muitas vezes ainda restritas, desconhecidas e incompletas. Por outro lado, os designers devem ser capazes de tirar proveito dos inúmeros materiais já disponíveis, utilizando-os de maneira não usual.

Para isto, se faz necessário a qualificação do designer no que se refere ao conteúdo técnico para estar apto a manter relações de troca com especialistas de materiais. A capacidade criativa do designer deve estar instrumentalizada por um conhecimento mais profundo e atualizado dos materiais (Dias 2009).

Nesse contexto, o papel do designer, consiste em participar, em equipes multidisciplinares, do desenvolvimento dos produtos, desenvolvimento de novos materiais e desenvolvimento das superfícies dos materiais.

2.4 DESIGN E O PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

O termo design deriva da palavra inglesa que significa planificação, propósito, objetivo, intenção, se usada como um substantivo (design); ou projetar, simular, esquematizar, planificar, como verbo (to design). A Origem esta relacionada à produção de um signo e derivada do latim *disegno* (Rossi, 2008). No latim medieval a palavra *designare* significava designar, diagramar, achar meios para, formar alinhando-se com a ação de projetar. O sentido original de *disegno* se refere ao ato conceitual, estruturador do pensamento visual e de sua comunicação projetiva (Martins, 2007; Denis, 2000).

O International Council of Societies of Industrial Design (ICSID) define Design Industrial como “uma atividade criativa que tem por objetivo estabelecer as qualidades multifacetadas dos produtos, processos, serviços e seus sistemas sob o ponto de vista global do seu ciclo de vida”.

A abordagem tradicional relaciona o design à resolução de problemas, segundo Bonsiepe (2011). Em corroboração, Mineiro (2010) afirma que diversos autores defendem o processo de design como um processo de estruturação e solução de problemas (Baxter, 1998; Löbach, 2001; Munari, 2002).

Fujimoto e Thomke (2000) reafirmam que a resolução de problemas é reconhecidamente uma atividade fundamental do desenvolvimento de novos produtos cujo crescimento e inovação no setor estão intrinsecamente relacionados a uma adequada seleção de materiais. Para além da constatação básica, os autores

introduzem uma perspectiva de projetos de desenvolvimento como um conjunto de ciclos de resolução de problemas interdependentes.

No entanto, segundo Van Der Linden e Lacerda (2012), “o conceito da resolução de problemas diverge da ideia de processo criativo”, embora este último envolva elementos novos e a tomada de decisão. O autor afirma que uma característica do design é a resolução de problemas de modo criativo, visto que estes podem ser resolvidos com outro tipo de abordagem. E define que um problema de design deve ter metas a cumprir, restrições a ser consideradas e critérios pelos quais possam ser encontradas possíveis soluções além de, tipicamente, apresentarem-se de forma incompleta e sua estruturação dar-se ao longo do processo de solução. Com o objetivo de se obter êxito na resolução desses problemas, o uso de procedimentos e técnicas racionais pode ser utilizado para deixar mais clara a definição inicial que de modo a melhorar a compreensão do designer e favorecer para que uma solução adequada seja encontrada de forma criativa.

Assim, diante das complexas interações dos seres humanos com os produtos e com o ambiente, a metodologia projetual vem adotando novas abordagens para enfrentar esse novo panorama.

Van Der Linden e Lacerda (2012) reconhecem que o processo metodológico de design precisa de uma reformulação, principalmente no que diz respeito a como adequar os métodos de design para cada solução pretendida. Entretanto, os autores discordam que o processo de design tenha que ser estruturado, mas afirmam que um método em etapas pode ser utilizado para a resolução de problemas de design, conforme o estilo cognitivo do projetista, que pode ser independente do meio, quando manifesta tendência a analisar e estruturar a informação e, dependente do meio, quando aborda a situação de maneira global.

No entanto, El Marghani (2010) aponta que o processo de design tem se distanciado da visão atual do processo de desenvolvimento de produtos, atividade multidisciplinar e que é considerada pela engenharia e administração como um processo de negócio, uma vez que a crescente internacionalização dos mercados e a

redução do ciclo de vida dos produtos torna fundamental esta abordagem com foco na gestão e controle de todo o processo inclusive o pós-lançamento e a descontinuidade do produto do mercado. A autora inclusive desenvolveu um modelo de processo de design operacional, com etapas semelhantes às presentes no processo de desenvolvimento de produto, mas que contempla também ações de design com vistas a promover maior integração dessas áreas. O modelo foi concebido a partir de análises críticas e comparações entre os modelos de processos de design e de desenvolvimento de produtos.

Assim, em corroboração com a crença de El Marghani (2010) a qual um modelo estruturado favorece ao êxito do projeto, Rozenfeld *et al.* (2006) apresentam um modelo de desenvolvimento de produtos composto de três macrofases: pré-desenvolvimento, desenvolvimento e pós-desenvolvimento. Contidas no pré-desenvolvimento estão as etapas de projeto informacional, conceitual e de detalhamento. A figura 2.4 apresenta as principais fases do processo de desenvolvimento do produto conforme esse autor.



Figura 2.4: Fases do processo de desenvolvimento do produto.

Fonte: Rozenfeld *et al.* (2006)

Por fim, a crescente participação efetiva dos profissionais de design no processo de produtos torna prioritárias as ações no sentido de fomentar o entendimento entre as áreas de design e engenharia e, conseqüentemente de harmonizar os seus modelos de processos, seus conteúdos e sua linguagem, de modo a favorecer o desenvolvimento de produtos que atendam as necessidades e anseios dos indivíduos.

2.5 SELEÇÃO DE MATERIAIS

Os seres humanos selecionam materiais desde os primórdios da humanidade. No entanto, no passado os materiais eram utilizados para produzir utensílios, para os

quais se empregavam, em princípio, apenas aqueles encontrados na natureza. Com o passar do tempo, foram descobertas técnicas para produzir as cerâmicas e alguns metais, que tinham propriedades superiores às dos materiais naturais.

Atualmente, selecionar materiais é uma tarefa complexa. Além do elevado número de fatores a ser considerados, há a enorme quantidade e diversidade de materiais disponíveis para serem utilizados: cerca de 160.000 segundo alguns autores (Ashby e Johnson 2011).

Para Arnold Van Bezooyen, a seleção de materiais não depende só das propriedades dos materiais, mas também da interação entre material, processo, forma e função, e esta relação traduz a lógica para a percepção dos aspectos relativos à seleção de materiais (Van Bezooyen, 2002).

Ressalte-se a grande relevância da seleção de materiais, não só para a criação de novos produtos, mas também para: melhoria ou inovação em um produto existente, diferenciação de um produto já comercializado, problemas no fornecimento de determinados materiais, alterações de moda, tendência e design e, o surgimento de novos processos de fabricação (Lefteri, 2003).

A investigação sobre o desenvolvimento de métodos para a seleção de materiais teve início na década de oitenta, com a publicação de alguns trabalhos aplicados à engenharia mecânica: Farag (1989), Mangonon (1998), Ashby (1999), Brechet, Bassetti, Landru e Salvo (2001), Zha (2004), Shanian e Savadogo (2006), Deng e Edwards (2007), Jahan, Bahraminasab e Edwards (2012).

Outros pesquisadores que investigaram a seleção de materiais foram J. Charles, F. Crane e J. Furness e Rolf Sandstrom. Os primeiros defendem no seu livro *“Selection and use of engineering materials”*, publicado em 1984, que a seleção de materiais deve ser realizada como parte integrante do processo de design. Os autores afirmam que os materiais devem ser hierarquizados de acordo com os valores das suas propriedades na fase de seleção. Além disso, fatores como a disponibilidade dos materiais, quais

processos de conformação são adequados a cada material e o custo associado, são considerados relevantes (Charles *et al.*, 1997).

Rolf Sandstrom desenvolveu um procedimento de seleção, cujo princípio consiste em duas fases: discriminação e aperfeiçoamento de modo a minimizar o número de decisões qualitativas. Na fase da discriminação, os materiais que passam através de um critério, são colocados num índice de mérito para decidir que material é o mais indicado para determinada aplicação (Sandstrom, 1985).

Michael Ashby, cujo método, baseado em mapas de propriedades de materiais, será abordado no item 2.5.1, é o pesquisador mais conhecido na área e seu trabalho, bastante divulgado. É considerado um dos principais métodos de seleção de materiais, utilizado como base em diversas ferramentas digitais.

No entanto o método de Ashby foi criticado por alguns pesquisadores, Kevin Edwards, Ronald Giachetti e Lennart Ljungberg. Esses autores afirmam que o método de Ashby, o qual foi materializado em diversos *softwares* como o *CES Selector* e *CES Edupack* entre outros, funciona muito bem no ensino, mas tem limitações para seleções complexas na indústria. Ressalte-se que o método de Ashby foi aprimorado e em parceria com a pesquisadora Kara Johnson, adaptado para o design.

Kevin Edwards defende sistemas digitais baseados no conhecimento como auxílio à tomada de decisão. Particularmente o autor refere-se ao sistema, *Knowledge Based System* (KBS), desenvolvido por Mhod Saphuan e publicado em 2001. O sistema é constituído por conhecimento especializado capaz de auxiliar o utilizador, de forma interativa, por meio de questionário. O pesquisador desenvolveu um protótipo para a seleção de materiais compósitos de base polimérica com o objetivo de auxiliar a tomada de decisão na escolha de componentes de automóveis (Saphuan, 2001).

Ronald Giachetti acredita que tanto a seleção dos materiais quanto dos processos de fabricação deve ser realizada no início do processo de design. O autor afirma que uma adequada seleção de materiais e processos, deve reunir uma base de dados atualizada e abrangente e um *software* de apoio. Giachetti propôs o *Material*

and Manufacturing Process Selection (MAMPS) que tem como objetivo realizar a seleção de materiais e processos simultaneamente. Esta ferramenta foi desenvolvida para auxiliar os projetistas nas fases iniciais de concepção e engenharia (Giachetti, 1998).

Lennart Ljungberg e Kevin Edwards afirmam que para um produto ter sucesso comercial não bastam se explorar as questões técnicas e funcionais. Eles subdividem os fatores relevantes em físicos e metafísicos. Para os pesquisadores, o aspecto físico relaciona-se com o modo de desenvolver produtos com foco em objetivos funcionais definidos. Os aspectos metafísicos, por sua vez, referem-se aos sentidos, imaginação, ideias preconcebidas e sensações relacionadas aos produtos. Percebe-se uma semelhança no que se denomina hoje de “aspectos sensoriais e intangíveis dos produtos”.

Pesquisadores como Ilse Van Kesteren e Elvin Karana, estudaram os aspectos intangíveis a ser considerados na relação entre o material e o usuário e desenvolveram um modelo que objetiva apoiar a seleção de materiais durante o projeto de produto (Van Kesteren, Kandachar e Stappers, 2007; Van Kesteren, 2008; Karana 2009). Elas defendem que as experiências são compostas por várias dimensões, dentre as quais se encontram os materiais, o uso e a função assumida (Karana e Van Kesteren, 2006). Michael Ashby e Kara Johnson, por sua vez, desenvolveram investigação sobre metodologia de seleção de materiais relacionada ao design (Ashby e Johnson, 2002).

No Brasil, dentre os trabalhos sobre seleção de materiais para produtos cabe destacar Ferroli (2009) que propõe um método a ser aplicado durante a etapa de seleção das concepções viáveis, baseado nos fatores ergonômicos e de segurança, mercadológicos e sociais, ecológicos e estéticos e de estilo. A seleção de materiais, ainda segundo Ferroli (2009), deve ser realizada por meio de critérios bem definidos de desempenhos esperados. Sobre os critérios de seleção, Ferrante (2002) enumera alguns, que no seu entender são mais representativos: considerações dimensionais, considerações de forma, considerações de peso, considerações de resistência mecânica, resistência ao desgaste, conhecimento das variáveis de operação, facilidade

de fabricação, requisito de durabilidade, número de unidades, disponibilidade de material, custo, existência de especificações e códigos, viabilidade de reciclagem, valor de sucata, grau de normalização e tipo de carregamento.

Merece destaque ainda o trabalho de Walter (2006), no qual é feita uma pesquisa bibliográfica sobre métodos e bancos de dados existentes para a seleção de materiais e, com base nesta pesquisa é proposto um projeto multidisciplinar a fim de se suprir as demandas constatadas no estudo. Dias (2009) desenvolve um método para avaliar a percepção que os usuários têm dos produtos. Significativas também são as pesquisas realizadas pelo Laboratório de Seleção de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, onde está disponível na internet um sistema no qual o usuário pode associar o material com os processos de fabricação normalmente associados a eles. Há ainda a possibilidade de acessar algumas propriedades dos materiais presentes. Filiados a esse laboratório inúmeras dissertações foram e estão sendo desenvolvidas como o trabalho de Silva (2005), no qual ele propõe um sistema informacional e perceptivo para a seleção de materiais para o design de calçados.

2.5.1 O Método de Seleção de Materiais de Ashby (Ashby, 2012)

O principal objetivo do método é selecionar o material adequado para uma aplicação particular de engenharia mecânica. Segundo Ashby, a seleção do material não deve ter como base apenas a experiência e sim, utilizar um procedimento sistemático para realizar uma escolha racional. Isto se justifica devido ao grande número de materiais disponíveis para a engenharia.

O autor relaciona o processo de design à seleção de materiais e afirma que a natureza da informação depende da fase em que o processo de design encontra. No início, as opções são muitas, todos os materiais podem ser considerados. Isto se justifica porque na fase conceitual, o designer necessita de valores aproximados e noções gerais sobre as propriedades dos materiais e os coleta de um grupo abrangente, por isso a informação é genérica. No entanto, à medida que a forma é definida, o critério de seleção deve ser mais restrito e só alguns materiais podem satisfazer os requisitos.

De tal modo, o autor construiu gráficos que propõe serem utilizados na fase inicial, para um grande número de propriedades mecânicas, térmicas, ópticas, elétricas, de corrosão e pelo custo aproximado, com o objetivo de selecionar materiais a partir das suas propriedades. Ashby acredita que, na maioria dos casos, o que define a escolha de um material é a associação de várias propriedades ou características. É possível, portanto identificar, por meio desses gráficos, a classe e a subclasse a que pertencem os materiais que melhor se adequam a determinado conceito. A figura 2.5 exemplifica um desses gráficos o qual relaciona as propriedades resistência e densidade.

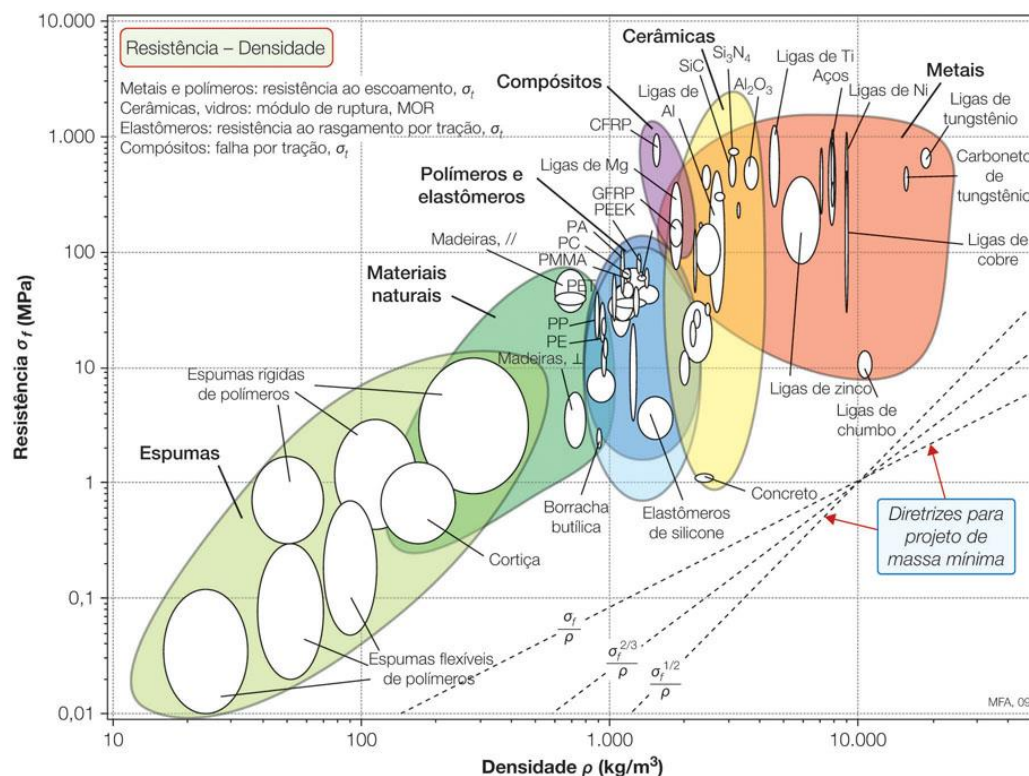


Figura 2.5: Gráfico de Ashby.

Fonte: Ashby. (2012)

Os gráficos de Ashby têm como base o método de escala multidimensional, que consiste numa forma de revelar semelhanças e diferenças entre membros do mesmo grupo, usando informação de muitos atributos.

Em seguida à fase inicial, quando se define a forma do produto, o profissional de design necessita de informações sobre um menor número de materiais, mas com

maior nível de detalhes. Segundo o mesmo autor, estas informações podem ser obtidas em livros, manuais e *softwares*.

Por fim, na última fase do processo de design são necessárias informações pormenorizadas sobre os materiais que só são passíveis de se encontrar em fichas técnicas dos fabricantes ou de bancos de dados digitais disponíveis na internet.

2.5.2 Método de Análise, Síntese, Similaridade e Inspiração (Ashby e Johnson, 2011)

Michael Ashby e Kara Johnson desenvolveram um conjunto de métodos para a seleção de materiais sob a perspectiva do design industrial. Nesse sentido, imprimem uma distinção entre aspectos construtivos e funcionais dos produtos, os quais relacionam à engenharia e os aspectos de percepção e usabilidade, relacionados ao design.

Como resultado de estudos que objetivaram listar os atributos de percepção dos produtos, agrupar materiais de acordo com esses atributos, atribuir personalidade aos produtos e relacioná-la aos materiais e processos de fabricação, os autores desenvolveram quatro métodos para auxiliar a seleção de materiais: análise, síntese, similaridade e inspiração. Ressalte-se que o ideal segundo os autores é utilizar uma combinação dos quatro métodos.

A análise (raciocínio dedutivo) consiste na busca de materiais e processos em bancos de dados numéricos por meio de atributos desejados ou de condições restritivas. Atributos desejados são condições que se deseja aperfeiçoar, em geral, trabalhadas através de Índices de Mérito. Condições restritivas são requisitos de desempenho mínimos ou indesejáveis. Este método se aproxima da seleção de materiais tradicional e é composto por quatro etapas:

- I. Tradução dos requisitos, geralmente expressos em termos não técnicos, com vistas à identificação dos objetivos e restrições aos quais o projeto deve obedecer;

- II. Análise do componente ou produto para o qual o material é pensado com a identificação de níveis de desempenho esperados;
- III. Identificação das propriedades do material que determinam o desempenho esperado;
- IV. Triagem em um banco de dados de materiais e suas propriedades, classificando os potenciais para a utilização.

A seleção por similaridade diz respeito a todos os atributos da solução existente que são enumerados e ordenados segundo sua importância. Os critérios de maior importância são fixados e, em um banco de dados sobre materiais e processos os valores são comparados com outros materiais, em busca de similares. Há muitas razões que justificam o emprego deste método pelo profissional de design: substituir um material, romper com ideias preconcebidas, simplesmente explorar novas possibilidades ou basear-se num projeto existente para a criação de um novo.

A síntese é baseada na experiência prévia e na analogia. Consiste da busca de informações sobre materiais e processos em produtos existentes considerando seus atributos de percepção. A partir de atributos desejados de percepção, num banco de produtos, é possível verificar quais materiais e processos são empregados para determinado uso e estudá-los a fim de reproduzir tal percepção.

Por fim, a seleção por inspiração consiste da livre busca por materiais, processos e produtos de maneira aleatória ou conforme um interesse específico. O designer imerge na exploração de fontes de informação, que podem ser imagens ou amostras de materiais. Destaca-se que os quatro métodos são complementares e devem ocorrer em todas as etapas de projeto.

2.6 FONTES DE INFORMAÇÃO PARA A SELEÇÃO DE MATERIAIS

Arnold van Bezooyen enumera em seu Relatório Final do Projeto *Material Explorer* as principais fontes de informação utilizadas pelos profissionais de design para a seleção de materiais (Van Bezooyen, 2002):

- i. Conhecimento e experiência acumulados durante a sua formação e atividade profissional;
- ii. Livros com informação sobre materiais e suas propriedades técnicas;
- iii. Informações coletadas em empresas produtoras e representantes, por meio de pesquisas em bases de dados virtuais, *sites* de busca e *newsletters*;
- iv. Seminários, *workshops* e reuniões promovidas pelas empresas produtoras, para apresentar e discutir novos materiais, processos e produtos;
- v. Amostras de materiais, ou pedaços de materiais, colecionados pelo designer.

Com vistas a identificar quais as informações necessárias para a seleção de materiais na ótica do design industrial, Karana, Hekkert e Kandachar (2007) realizaram um estudo experimental, por meio do qual identificaram também quais etapas se processam na prática entre o início do projeto e a especificação do material. Os autores concluíram que a maior parte dos participantes do estudo, demonstra interesse na aparência do material: cor, textura e acabamento superficial. Em primeiro lugar, os designers procuram pelas propriedades sensoriais dos materiais, depois as intangíveis, deixando as propriedades técnicas para se concentrar posteriormente no detalhamento do projeto.

Nesse contexto, verifica-se a existência de diversas fontes de informação analógicas e digitais nas quais se pode pesquisar sobre vários aspectos dos materiais. No entanto para os profissionais de design, esta prática não parece acessível devido a que muitos desses livros, bancos de dados e softwares foram desenvolvidos com foco na engenharia e possuem uma linguagem não familiar ao designer. Além disso, a busca na maior parte desses recursos fornece informações sobre os materiais e suas propriedades na forma de fichas técnicas, de difícil compreensão para um projetista inexperiente ou de área externa à engenharia. No entanto, constata-se uma tendência no desenvolvimento de bibliotecas de materiais, também denominadas *materiotecas*, as quais têm bancos de dados relacionados ou não, que estão sendo criadas com o objetivo de proporcionar um contato direto do projetista com amostras de materiais e

produtos. Ressalte-se, porém que poucos desses serviços são gratuitos ou têm preços acessíveis, fato que dificulta o acesso para estudantes e profissionais. Algumas dessas ferramentas serão descritas a seguir.

A pioneira Material Connexion foi criada em 1997 na cidade de Nova Iorque, com uma base de dados que pode acessada pela internet e permite a escolha com base em dados qualitativos e visuais. Atualmente conta com mais de 6500 materiais que incluem polímeros, madeiras, metais, cerâmicas, vidros, materiais naturais dentre outros. É composta por uma ferramenta digital e uma biblioteca de amostras em várias cidades além de Nova Iorque, como Milão, Bangkok, Colônia, Istambul, Tóquio, Daegu e Skovde. A figura 2.6 apresenta o aspecto desta materioteca.



Figura 2.6: Material Connexion.
Fonte: <http://www.materialconnexion.com>

No ano de 2001 é criada a *Matério*, com sede em Paris. Nesta biblioteca os materiais são escolhidos conforme as suas características e o seu potencial para inovação. Assim como a *Material Connexion*, permite o acesso a uma materioteca em Paris a partir de um serviço pago que tem vários níveis de consulta no banco de dados virtual. Também se expandiu para outras cidades como Barcelona e Praga. Os materiais disponíveis são as madeiras, cerâmicas, compósitos, metais, papel e cartão, pedras, plásticos e borrachas, têxteis, vidros, dentre outros. A escolha pode ser feita a partir do nome ou família do material, designação comercial, propriedades, palavra chave ou fatores ambientais. Os dados obtidos são fornecidos por meio de uma lista

de materiais possíveis de acordo com os critérios solicitados. O site disponibiliza fichas técnicas e imagens dos materiais.

A base de dados *MatWeb* possui acesso gratuito para algumas informações, mas oferece a opção busca avançada e o acesso Premium tarifados. Contem aproximadamente 56.000 materiais cujas fichas técnicas podem ser acessadas. Os dados fornecidos são de natureza técnica e apresentam propriedades mecânicas, térmicas, óticas, dentre outras relacionadas aos aspectos objetivos e funcionais. A figura 2.7 ilustra uma tela de busca no site.

Figura 2.7: Matweb.

Fonte: <http://www.matweb.com>

No *Matweb*, as famílias de materiais disponíveis são os polímeros, os metais, as cerâmicas, os compósitos e os vidros. A seleção pode ser feita pelo nome ou família do material, pela designação comercial, composição, fabricante, palavra chave, propriedades ou pesquisa avançada. Os resultados possíveis de serem obtidos na busca são observações sobre os materiais, propriedades, fornecedores, processos associados e, para usuários registrados permite comparar propriedades e pastas para arquivar materiais.

A base de dados IDEMAT, da Universidade de Delft, contem dados sobre algumas propriedades dos materiais e o impacto ambiental dos mesmos. Nesta caso é vendido um Cd ROM que pode ser na versão educacional ou profissional. Os materiais disponíveis são polímeros, metais, cerâmicas, compósitos, vidros, naturais, fibras,

couros e laminados. A escolha é feita a partir do nome ou família do material, do processo de fabricação, da aplicação e dos fatores ambientais. As informações obtidas são disponibilizadas em fichas técnicas com as seguintes informações: propriedades, composição, designação técnica, preço médio e imagens dos materiais.

Enfim, a base de dados *Material Explorer*, da agência *Materia* é gratuita mas necessita de registro prévio. Os materiais disponíveis são: madeiras, pedras naturais, vidro, metais, polímeros, materiais de revestimento, cerâmicas e outros. Os dados podem ser pesquisados pelas categorias supracitadas, por critérios como resistência ao fogo ou à intempéries, riscos e ataques químicos; ou ainda pelos critérios sensoriais como brilho, cor, transparência, textura e temperatura. A figura 2.8 apresenta uma tela de busca na base de dados da *Materia*.

SEAGRASS CARPETS

Category

Other natural

Code

ONÁ216

Country

Netherlands

Brand

Cumera



22 July 2014

CONTACT BRAND

SENSORIAL PROPERTIES

Glossiness

Matte

Translucence

0%

Structure

Closed

Texture

Coarse

Hardness

Soft

Temperature

Warm

Acoustics

Good

Odour

None

TECHNICAL PROPERTIES

Fire Resistance

Poor

UV Resistance

Poor

Weather Resistance

Poor

Scratch Resistance

Good

Weight

Medium

Chemical Resistance

Moderate

Renewable

Yes

Seagrass carpet is a woven carpet made of 100% seagrass. The raw material is a long grass species growing along the coasts of China. Depending on a wet or dry harvesting period the seagrass varies in colour, from a brownish color to a greener color. The grass is turned to a thread and twined to form a yarn and has a latex backing.

The coarse basic material is used as the material for the seagrass products, so the woven end product will display irregularities to a greater or lesser extent. This is inherent to the material and increases the charm of the product.

The maintenance of seagrass is easy and stains are simple to remove. It is advised to occasionally moistening with a mister during dry periods so conditions with low air humidity can do no harm.

This material is mainly used as indoor carpet and as a bordered rug.

Figura 2.8: Materia
Fonte: <http://www.materia.nl>

2.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A literatura consultada permitiu uma visão geral acerca dos materiais, suas propriedades, os processos de fabricação associados, assim como a compreensão dos materiais sob a ótica dos profissionais de design e a situação do design no processo de desenvolvimento de produtos. Também foi possível investigar sobre os métodos de seleção de materiais disponíveis e as ferramentas analógicas e digitais relacionadas.

Constatou-se, por meio dessa investigação, que a seleção de materiais não é realizada apenas com base em propriedades dos materiais, mas, por meio das intrínsecas relações entre função, material, processo e forma. Relações que se mostram dinâmicas visto que as descobertas de novos materiais, as atualizações e as inovações são frequentes.

De tal forma, vislumbra-se a tendência crescente do surgimento de ferramentas que possibilitem, individualmente ou em conjunto, a integração multidisciplinar no desenvolvimento de produtos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASHBY, M. **Seleção de Materiais no Projeto Mecânico**. Rio de Janeiro. Elsevier, 2012.
- ASHBY, M.; SHERCLIFF, H.; CEBON, D. **Materiais: engenharia, ciência, processamento e projeto**. Rio de Janeiro. Elsevier, 2012.
- ASHBY, M.; JOHNSON, K. The Art of Materials Selection. **Materials Today**, V6, I12, pg24-35, 2003.
- _____. **Materiais e Design - Arte e ciência da seleção de materiais no design de produto**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.
- ASKELAND, D.; PHULÉ, P. P. **Ciência e engenharia dos materiais**. São Paulo. Cengage learning, 2008.
- BONSIEPE, Gui. **Design, Cultura e Sociedade**. 1ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2011.
- BAXTER, Mike. **Projeto de Produto: guia prático para o Desenvolvimento de novos produtos**. 2. Ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1998.
- BRECHET Y., BASSETTI D., LANDRU D. e SALVO L. Challenges in materials and process selection. **Progress in materials Science**. nº 46, 2001, pp.407-428.

- BURDEK, B. E. **História, teoria e prática do design de produtos**. São Paulo. Edgard Blucher, 2006.
- CALLISTER, W. D. Jr. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. Rio de Janeiro. LTC, 2008.
- CHARLES, J.A.; CRANE, F.A.A.; FURNESS, J.A.G. **Selection and use of engineering materials**. Oxford. Butterworth-Heinemann, 2001.
- COHEN, M. Materials and Man's Needs. **Summary Report of the Committee on the Survey of Materials Science and Engineering**, Washington: National Academy of Science, 1974.
- DENG, M.; EDWARDS, K. The role of materials identification and selection in engineering design. **Materials & Design**, 28(1), pp.131–139.2007.
- DENIS, R.C. **Uma introdução à história do design**. São Paulo. Edgard Blucher, 2000.
- DIAS, R. A.C. **Percepção dos materiais pelos usuários: modelo de avaliação Permatius**. Tese de doutorado. UFSC, 2009.
- DOBRZANSKI, L. Significance of materials science for the future development of societies. **Journal of Materials Processing Technology**, 175(1-3), pp.133–148. 2006.
- DOORDAN, D. On Materials. **Design Issues**, 19(4), pp.3–8. 2003.
- EL MARGHANI, V. G. R. **Modelo de processo de design**. São Paulo. Blucher Acadêmico, 2011.
- FARAG, M. M. **Selection of Materials and Manufacturing Processes for Engineering Design** (p.624). London: Prentice Hall. 1989.
- FERRANTE, M. **Seleção de Materiais**. São Carlos: EdUFSCar, 2002.
- FERROLI, P.C.M. **MAEM-6F** (Método Auxiliar para Escolha de Materiais em Seis fatores): Suporte ao Design de produtos Industriais. Edgard Blucher, 2009
- FIELD, C. P. **Design Industrial A-Z**. Lisboa: Taschen, 2001.
- FUJIMOTO, T.; THOMKE, S. The Effect of Front-Loading Problem-Solving on Product Development Performace. **Journal of Product Innovation Management**, v.17, 2000.
- GIACHETTI, R. E. A decision support system for material and manufacturing process selection. **Journal of Intelligent Manufacturing**. N.9, pp.265-276. 1998.
- JAHAN, A.; BAHRAMINASAB, M.; EDWARDS, K. A target-based normalization technique for materials selection. **Materials & Design**, 35, pp.647–654. 2012.
- KARANA, E. **Meaning of materials**. Delft University of Technology. 2009.
- KARANA, E.; HEKKERT, P.; KANDACHAR, P. Material considerations in product design: a survey on crucial material aspects used by product designers. **Materials & Design**, 2007.
- KARANA, E.; VAN KESTEREN, I. Material effects: the role of materials in people's product evaluations. In: **Proceedings of the international Conference of the Design and Emotions Society**, Suécia, 2006.

- KINDLEIN JR.,W; ARMAND,N. Conception de produits innovants: proposition d'une méthode pour favoriser la synergie entre le designer ET l'ingénieur. **International Journal Of Design And Innovation Research**, França, 2005.
- KINDLEIN JR., W.; BUSKO, A. P. D. 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 2006, p. 155-6.
- LEFTERI, Chris. **Materials: for inspirational design**. Hove. RotoVision Book, 2003.
- LIMA, M. A. M. **Introdução aos materiais e processos para designers**. Rio de Janeiro. Ciência Moderna, 2006.
- LÖBACH, Bernd. **Design Industrial: bases para a configuração dos produtos industriais**. São Paulo: Edgard Blücher, 2001.
- MANGONON, P. L. **The Principles of Material Selection for Engineering Design**. New Jersey. Pentrice-Hall. 1998.
- MANZINI, Ezio. **A Matéria da Invenção**. Coleção "Design, Tecnologia e Gestão". Porto: Centro Português de Design, 1993.
- MARTINS, L. G. F. A etimologia da palavra desenho (e design) na sua língua de origem e em quatro de seus provincianismos: desenho como forma de pensamento e de conhecimento. In: **III Forum de pesquisa FAU Mackenzie**. 2007.
- MINEIRO, Érico Franco. Design e Desenvolvimento de Novos Produtos como Processos de Resolução de Problemas Mal Definidos. In: **9o Congresso Brasileiro de Pesquisa e Ensino em Design**. São Paulo, 2010.
- MUNARI, B. **Das coisas nascem coisas**. São Paulo: Martins Fontes, 2002.
- NEWELL, J. **Fundamentos da moderna engenharia e ciência dos materiais**. Rio de Janeiro. LTC, 2010.
- PADILHA, A. F. **Materiais de Engenharia: microestrutura e propriedades**. Curitiba. Hemus, 2000.
- RAMALHETE, P.M.B. Metodologia de seleção de materiais em design: base de dados nacional. Tese de Doutorado. Universidade de Aveiro, 2012.
- ROSSI, D. C. Design, Desígnio e Desenho. O mapa das vizinhanças do desejo. **Revista Tríades**, V.1.1. Janeiro de 2013.
- ROZENFELD, H. FORCELLINI, F. A.; AMARAL, D. C.; TOLEDO, J. C.; SILVA, S. L.; ALLIPRANDINI, D. H.; SCALICE, R. K. **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo. Editora Saraiva, 2006.
- SANDSTROM R. An Approach to Systematic Material Selection. **Material & Design**. N.6, 1985, pp. 328-337.
- SAPUAN, M. A Knowledge-Based System for Materials in Mechanical Engineering Design. **Materials & Design**. N.22, 2001, pp.687-695.

- SHANIAN, A.; SAVADOGO, O. A material selection model based on the concept of multiple attribute decision making. **Materials & Design**, 27(4), pp.329–337. 2006.
- SILVA, E. S. A. **Um Sistema Informacional e Perceptivo de Seleção de Materiais com Enfoque no Design de Calçados**. Dissertação de Mestrado. UFRGS, 2005.
- VAN BEZOOYEN, A. **Material Explorer–Selection support tool for designers**. Faculdade de design Industrial e Engenharia de Delft, Delft: 2002.
- VAN DER LINDEN, J. C. S.; LACERDA, A. P. Metodologia Projetual em tempos de Complexidade. In: **Pelos caminhos do design: metodologia de projeto**. Londrina, EDUEL, 2012.
- VAN KESTEREN, I. **Selecting materials in Product Design**. Delft University of technology. 2008.
- VAN KESTEREN, I.; KANDACHAR, P.V.; e STAPPERS, P.J. Activities in selecting materials from the perspective of product designers. **International Journal Design Engineering**, v. 1, n. 1, 2007.
- WALTER, Y. **O Conteúdo da Forma: Subsídios para a Seleção de Materiais em design**. Dissertação de Mestrado. UNESP. Bauru, 2006.
- ZHA, X. A web-based advisory system for process and material selection in concurrent product design for a manufacturing. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 25(3-4), pp.233–243. 2004.

CAPÍTULO 3

Redes Neurais Artificiais

SUMÁRIO

CAPÍTULO 3

REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

3.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	51
3.2	DEFINIÇÕES	52
3.3	HISTÓRICO DAS REDES NEURAIS ARTIFICIAIS	54
3.4	O NEURÔNIO ARTIFICIAL.....	56
3.5	CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS RNA	59
3.6	PERCEPTRON MULTICAMADAS (MLP)	60
3.6.1	Definição	60
3.6.2	Função de Ativação.....	61
3.6.3	A Arquitetura	63
3.6.4	Processos de Aprendizagem	64
3.6.5	Considerações Sobre os Experimentos que Utilizam RNA	68
3.7	RNA NA ÁREA DE PROJETO DE PRODUTOS	70
3.8	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	74
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	74

CAPÍTULO 3

REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

Neste capítulo apresentam-se conceitos fundamentais sobre as Redes Neurais Artificiais (RNA), além de algumas aplicações desenvolvidas no projeto de produtos. Abordam-se, inicialmente, algumas definições relevantes ao entendimento desta tese. Em seguida é feita uma síntese do histórico das pesquisas sobre Redes Neurais Artificiais e, posteriormente, o modelo de neurônio artificial é apresentado, assim como as principais características das Redes Neurais Artificiais. Por fim as Redes Neurais Artificiais do tipo *Multilayers Perceptron* são apresentadas e sua adequação é justificada.

3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A palavra inteligência tem sua origem do latim *inter* (entre) e *legere* (escolher), que significa aquilo que nos permite escolher entre uma coisa ou outra. Assim, pode-se definir inteligência como a habilidade de realizar de forma eficiente uma determinada tarefa, isto é, o resultado dos processos de aquisição, armazenamento em memória, recuperação, combinação, comparação e do uso de novos contextos da informação e das habilidades conceituais.

De acordo com a Enciclopédia Britânica, "inteligência é a habilidade de se adaptar efetivamente ao ambiente, seja fazendo uma mudança em nós mesmos ou mudando o ambiente ou achando um novo ambiente". Isto é, ela incorpora aprendizado (uma mudança em nós mesmos), manufatura e abrigo (mudança do ambiente) e migração (encontrando um ambiente adequado). Além de englobar aspectos importantes como linguagem, pensamento, memória, raciocínio, capacidade para aprendizagem e integração de várias modalidades sensoriais, as quais devem ser utilizadas efetivamente pelo cérebro humano de modo a prover a adaptabilidade dos seres humanos. Portanto, "inteligência não é um processo mental único, mas sim uma combinação de muitos processos mentais dirigidos à adaptação efetiva do ambiente".

Apesar de existirem várias definições para inteligência, alguns autores concordam sobre o fato do conceito em si não ser bem definido ou entendido, embora admitam como certo o reconhecimento do comportamento inteligente quando presenciado pela maioria dos indivíduos (Luger, 2004; Russel e Norvig, 2004; Coppin, 2010). Assim, o termo “inteligência artificial”, proposto por John McCarthy em 1965 é segundo Ludwig Jr e Montgomery (2007), polêmico, fato que pode justificar o fato de ser frequente encontrarem-se referências não às definições, mas acerca das principais habilidades requeridas para uma máquina inteligente tais como: capacidade de resolver problemas, de planejamento, de acumular e manipular o conhecimento, de aprender com ou sem supervisão, etc.

Desta forma, a Inteligência Artificial, cujo campo de pesquisa interdisciplinar encontra-se amplamente inserido em inúmeras áreas do conhecimento humano, se propõe a produzir, por meio de um conjunto de técnicas-chaves de programação, sistemas capazes de dotar as máquinas de algum tipo de habilidade tendente a simular a inteligência humana.

Dentre essas técnicas-chaves, cabe ressaltar as Redes Neurais Artificiais, que apresentam um modelo inspirado na estrutura neural de organismos inteligentes e adquirem conhecimento por meio da experiência. Esta técnica servirá como ferramenta fundamental para a estruturação do modelo específico de apoio à decisão na seleção de materiais e processos para designers, proposto por este trabalho.

3.2 DEFINIÇÕES

As Redes Neurais Artificiais são processadores maciçamente paralelos e distribuídos que têm uma propensão natural para armazenar conhecimento proveniente da experiência e torná-lo útil, desta forma, assemelhando-se ao cérebro humano em dois aspectos (Haykin, 1994):

- i) o conhecimento é adquirido pela rede por meio de um processo de aprendizado e;

- ii) as intensidades das conexões entre neurônios, conhecidas como pesos sinápticos, são usadas para armazenar conhecimento.

As RNA são, então, modelos matemáticos que se assemelham às estruturas neurais biológicas e adquirem capacidade por meio de aprendizado e posterior generalização. O aprendizado, segundo Braga *et al.* (2003), está normalmente associado à capacidade de as mesmas adaptarem os seus parâmetros como consequência da sua interação com o meio externo.

A propriedade mais importante dos sistemas conexionistas, nos quais as RNAs estão incluídas, é o fato de serem capazes de classificar não somente as entradas para as quais foram treinadas, mas também entradas nunca vistas (Rosa, 2011). Ressalte-se que na representação conexionista do conhecimento, as informações são representadas pelos valores assumidos por parâmetros livres, que representam o grau de conexão entre os elementos de processamento.

Há vários tipos de Redes Neurais Artificiais, mas todas têm dois elementos em comum: podem ser descritas em termos de seus neurônios individuais e das conexões entre eles (topologia). Podem ainda ser descritas em termos das suas regras de aprendizado. Estes três componentes (dois elementos e um fenômeno) constituem o modelo de rede neural.

Sistemas de computação baseados em Redes Neurais Artificiais são compostos de um grande número de elementos de processamento denominados neurônios e têm a capacidade de receber ao mesmo tempo várias entradas e distribuí-las de maneira organizada. As informações armazenadas por uma rede neural são compartilhadas por todas as suas unidades de processamento.

Braga *et al.* (2012) definem as RNA como sistemas paralelos distribuídos, compostos por unidades de processamento simples, também denominados neurônios ou nós, que calculam determinadas funções matemáticas, normalmente não-lineares. Os nós são conectados por canais de comunicação que estão associados a determinado peso. Cada unidade de processamento faz operações sobre as entradas

recebidas pelas suas conexões e interagem com as outras, promovendo, assim, o “comportamento inteligente” da rede.

Um simulador de rede neural é um programa (conjunto de instruções computacionais) que cria um modelo de neurônios e de conexões entre eles e os une a uma regra de aprendizagem para, então, treinar tal modelo. Há vários simuladores comercialmente disponíveis que simplificam grandemente a modelagem de Redes Neurais Artificiais.

3.3 HISTÓRICO DAS REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

As primeiras simulações em RNA contam por volta de 1940, feitas pelos neurofisiologistas Donald Hebb e Karl Lashley.

O primeiro modelo de um neurônio artificial foi proposto pelo neurofisiologista Warren McCulloch e pelo matemático Walter Pitts em 1943 (McCulloch and Pitts, 1943). O trabalho de McCulloch e Pitts intitulado *A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity*, descreve um cálculo lógico das redes neurais, resultante da unificação dos estudos de neurofisiologia e da lógica matemática e propõe um modelo simplificado de neurônios biológicos, teve bastante repercussão no meio científico, tendo influenciado o matemático John Von Neumann na construção do EDVAC (Electronic Discrete Variable Automatic Computer) que foi desenvolvido a partir do ENIAC (Eletronic Numerical Integrator and Computer). O ENIAC foi o primeiro computador eletrônico de propósito geral (Loesch e Sari, 1996).

Em 1949 Donald Hebb escreveu um livro intitulado *“The Organization of Behavior”*, suas idéias não eram completamente novas, mas Hebb foi o primeiro a propor uma lei de aprendizagem específica para as sinapses dos neurônios. Também proveniente deste período foi a construção do primeiro neurocomputador denominado *Snark*, por Marvin Minsky, em 1951. Embora nunca tenha executado qualquer função de processamento de informação interessante, o *Snark* serviu de inspiração para trabalhos futuros.

Em 1956, durante a 1.^a Conferência Internacional de Inteligência Artificial, foi apresentado um modelo de Rede Neural Artificial pelo pesquisador Nathaniel Rochester, da IBM (International Business Machines Corporation). Seu trabalho consistia numa simulação de centenas de neurônios interconectados através da construção de um sistema para verificar como a rede responderia aos estímulos ambientais (Tafner *et al.*, 1996).

Em 1958, Frank Rosenblatt, em seu livro *Principles of Neurodynamics*, forneceu várias idéias a respeito dos *Perceptrons*, modelos de neurônios baseados nos conceitos de McCulloch e Pitts (Fernandes, 2005).

Em 1969, Marvin Minsky e Seymour Papert publicaram um livro chamado “*Perceptron*”, onde resumiram e criticaram seriamente a pesquisa sobre Redes Neurais Artificiais. Devido à importância e ao respeito que a comunidade científica tinha por Minsky e Papert, uma retração nos investimentos e programas de pesquisa para essa tecnologia foi inevitável.

Um período de pesquisa silenciosa seguiu-se, tempo em que poucos resultados foram publicados. Até que em 1982, o físico e biólogo do Instituto de Tecnologia da Califórnia John Hopfield deu um novo impulso às Redes Neurais Artificiais, contestando, com sucesso, as teses matemáticas de Minsky e Papert.

Rumelhart, Hinton e Williams forneceram a solução para o até então problema de associação de padrões, para conjuntos não separáveis linearmente, a qual consistiu na chamada *Regra Delta Generalizada*, também conhecida como *Algoritmo de Correção e Erros de Retropropagação (Backpropagation)* para redes *Perceptron* de várias camadas de neurônios (*Multilayer Perceptron - MLP*).

Com o trabalho de Hopfield e com a criação do algoritmo *Backpropagation* para o treinamento de redes com múltiplas camadas em 1986, por Rumelhart, Hinton e Williams, as Redes Neurais Artificiais ganharam novamente credibilidade. Houve, em termos de publicação, uma avalanche de trabalhos, o que deixou claro que as

pesquisas nunca pararam, pois nem todos esses trabalhos poderiam ter sido produzidos em tão pouco tempo (Rodrigues, 2002).

3.4 O NEURÔNIO ARTIFICIAL

Um neurônio é a unidade de processamento de informação fundamental para a operação de uma rede neural.

Um neurônio artificial pode ser entendido como um conjunto de entradas e uma função que determina uma saída (Fialho *et al.* 2005).

Silva *et al.* (2010) afirmam que os neurônios artificiais realizam funções simples como coletar os sinais existentes em suas entradas, agregá-los de acordo com sua função operacional e produzir uma resposta.

Segundo Haykin (1999), se faz necessário identificar cinco elementos básicos do neurônio artificial: um conjunto de sinapses ou elos de conexão, um somador, um limiar, uma função de ativação e uma saída, os quais se encontram ilustrados na figura 3.1 e serão descritos posteriormente.

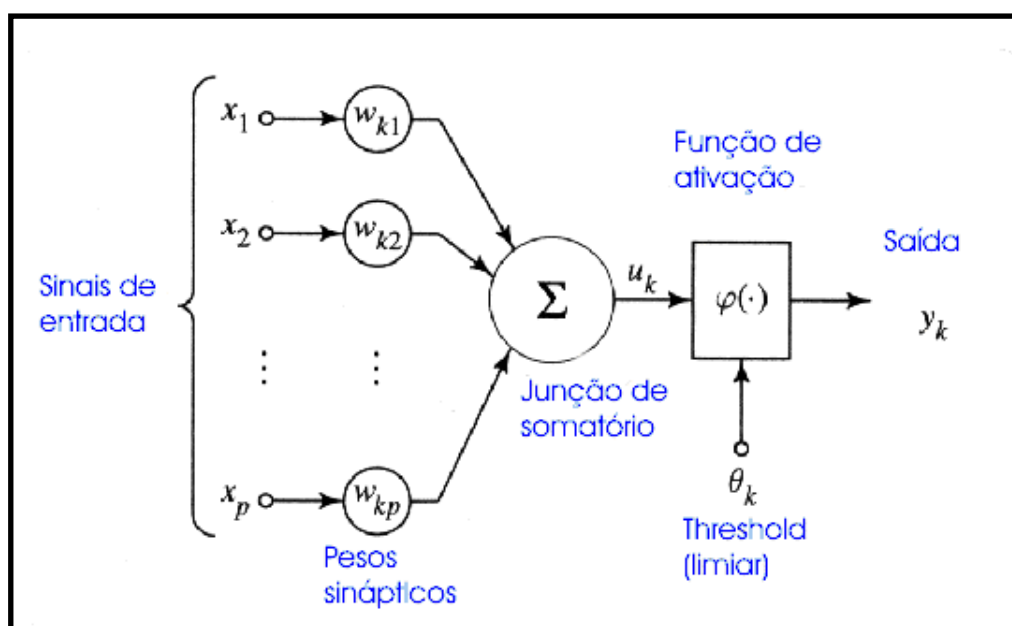


Figura 3.1: Modelo não-linear de um neurônio
Fonte: adaptado de Haykin (1994)

- i) *sinapses ou elos de conexão*: caracterizadas por um peso (w), que representa a sua intensidade. É importante notar como são escritos os índices do peso w_{kj} : o primeiro se refere ao neurônio em questão e o segundo ao terminal de entrada da sinapse à qual o peso se refere;
- ii) *somatório*: tem a função de somar os sinais de entrada, ponderados pelas respectivas sinapses ou pesos do neurônio. A equação 3.1, mostrada a seguir, representa este somatório:

$$u_k = \sum_{j=1}^m w_{kj} x_j \quad (3.1);$$

em que:

w_{kj} : pesos sinápticos do neurônio k ;

x_j : sinais de entrada; e

u_k : saída do combinador linear devido aos sinais de entrada.

- iii) *função de ativação*: tem a função de restringir (limitar) o intervalo permissível de amplitude do sinal de saída a um valor finito. O intervalo normalizado da amplitude de saída de um neurônio é escrito como o intervalo fechado $[0,1]$ ou, alternativamente $[-1,1]$;
- iv) *limiar*: tem uma função determinante na saída do neurônio. Se o valor de u_k for menor que este limiar, então a saída do neurônio fica inibida, se for maior, fica ativa;
- v) *bias*: entrada adicional que pode ser acrescentada ao neurônio artificial, de valor de entrada fixado em $+1$. Seu peso de conexão, w_{0j} , é ajustável como qualquer outro peso de conexão. Sua função é prover meios de

transladar o valor de limiar da função de transferência (Loesh e Sari, 1996);

vi) *saída*: denominada por y_k . A equação 3.2, mostrada a seguir, propicia o cálculo do valor na saída do neurônio:

$$y_k = \varphi(u_k + b_k) \quad (3.2);$$

em que:

y_k : sinal de saída do neurônio k;

$\varphi(.)$: função de ativação;

u_k : saída do combinador linear devido aos sinais de entrada.; e

b_k : *bias*.

A equação 3.2 pode ser escrita ainda da seguinte forma:

$$v_k = u_k + b_k \quad (3.3);$$

em que:

v_k : potencial de ativação do neurônio k;

u_k : saída do combinador linear devido aos sinais de entrada.; e

b_k : *bias*.

De forma geral, a operação de um neurônio da rede se resume em:

- i) sinais são apresentados à entrada;
- ii) cada sinal é multiplicado por um peso que indica sua influência na saída da unidade;

iii) é feita a soma ponderada dos sinais que produz um nível de atividade.

iv) se este nível excede um limite (*threshold*) a unidade produz uma saída;

3.5 CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

A habilidade de adaptação e aprendizagem pelo ambiente - típica das RNA - significa que modelos de redes neurais podem lidar com dados imprecisos e situações não totalmente definidas. Uma rede treinada de maneira razoável tem a habilidade de generalizar quando é apresentada às entradas que não estão presentes em dados já conhecidos por ela.

O desenvolvimento de RNA tem então, como objetivo, fornecer subsídios para que o computador extraia características dos dados a partir de um conjunto de situações conhecidas e, desta forma, armazenar o conhecimento adquirido e aplicá-lo em situações reais. Ou ainda, como lembra Tubb (1993), compreender o funcionamento do cérebro humano e, de alguma forma, reproduzi-lo, valendo-se de alguns benefícios:

- i) habilidade de aprender com exemplos, objetivando aperfeiçoar seu desempenho e se adaptar aos novos cenários;
- ii) habilidade para tratar com ruídos, isto é, apesar da existência de algumas falhas no sistema, continuam oferecendo respostas adequadas por um período significativo de tempo;
- iii) velocidades consideráveis de processamento, considerando o grande número de unidades de processamento operando de forma paralela.

Uma das características mais significativas das RNA é a habilidade de aproximar qualquer função continua não linear, independente do número de variáveis envolvidas.

Para esta tese, a rede neural utilizada foi a *Multilayer Perceptron (MLP)*, por apresentar, segundo a literatura especializada, características que favorecem à

classificação de padrões, como por exemplo a capacidade de aprender por meio de exemplos para posterior generalização. Portanto optou-se por se ater a ela sob o ponto de vista do modo de funcionamento e de características específicas como: topologia ou arquitetura da rede, função de ativação e processos de aprendizagem.

3.6 PERCEPTRON MULTICAMADAS (MULTILAYER PERCEPTRON – MLP)

3.6.1 Definição

A rede *Perceptron* Multicamadas é formada por neurônios do tipo *Perceptron* derivados do modelo de McCulloch e Pitts. A rede *Perceptron* constituída apenas de duas camadas - a de entrada e a de saída - só é capaz de classificar padrões linearmente separáveis. Diante dessa dificuldade uma possível aproximação seria usar mais que um *Perceptron*: cada um deveria ser empregado para distinguir seções linearmente separáveis da entrada e então combinariam suas saídas em outro *Perceptron* que poderia produzir uma indicação final da classe a que a entrada correspondente pertence (Brondino, 1999).

A rede MLP então arranja as unidades *Perceptrons* em camadas e passa a contar com uma ou mais camadas intermediárias, nas quais cada unidade funciona como um *Perceptron*, exceto pela função de ativação que passa a ser a *sigmoidal*. As redes *Perceptrons* de múltiplas camadas caracterizam-se pela presença de pelo menos uma camada intermediária, escondida, situada entre as camadas de entrada e de saída.

Usualmente as camadas são classificadas em três grupos:

- i) camada de entrada: onde os padrões são apresentados à rede;
- ii) camadas intermediárias ou ocultas: onde é feita a maior parte do processamento, através das conexões ponderadas. Podem ser consideradas como extratoras de características;
- iii) camada de saída: onde o resultado final é concluído e apresentado.

A figura 3.2, exibida a seguir, apresenta um esquema de uma Rede Neural Artificial do tipo MLP:

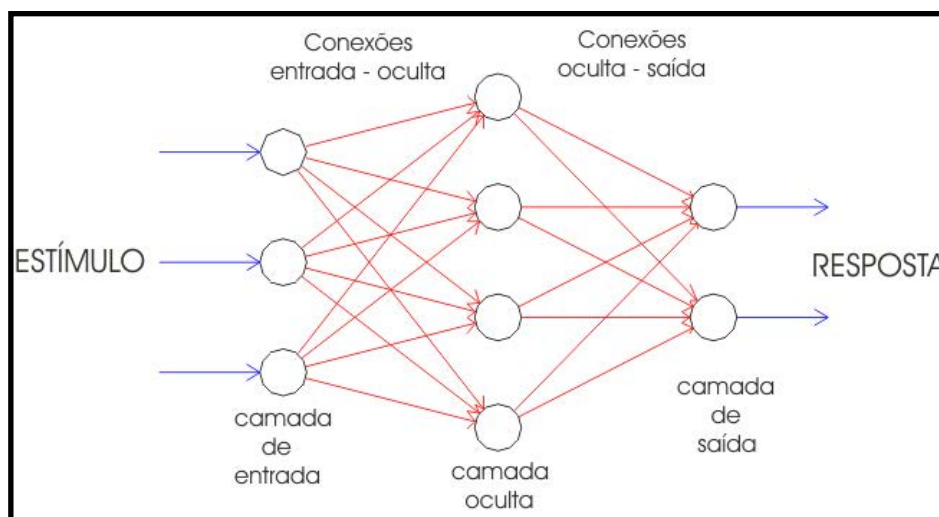


Figura 3.2: Esquema de uma rede neural artificial com três camadas

Fonte: da autora

Para o treinamento dessas redes, normalmente utiliza-se o algoritmo *Backpropagation*, desenvolvido por Rumelhart e colegas em 1986.

3.6.2 Função de Ativação

As funções de ativação têm por finalidade transformar a entrada total recebida por um neurônio em um estado ou sinal de ativação (Furtado, 1998).

Segundo Haykin (2001), o valor da ativação de um neurônio é definido, pela função de ativação, de acordo com o nível de atividade de entrada. As funções típicas trabalham com adição, comparação ou transformações matemáticas.

Um dos principais aspectos relacionados ao projeto das redes MLP diz respeito à função de ativação a ser utilizada. Braga *et al.* (2000) afirma que esta função deve ser não-linear e diferenciável. A não linearidade é atribuída ao fato de ter sido provado que uma rede com mais de uma camada, cujos neurônios ou nós utilizam funções de

ativação lineares, é equivalente a uma rede de uma só camada. A diferenciabilidade se deve ao fato do gradiente poder ser calculado, direcionando o ajuste dos pesos.

A função de ativação mais utilizada nas redes MLP é a *sigmoidal logística* que é não linear, crescente e diferenciável, conforme figura 3.2. Vale ressaltar que a linearidade da função *sigmoidal* é suave, isto é, esta função é diferenciável em qualquer ponto.

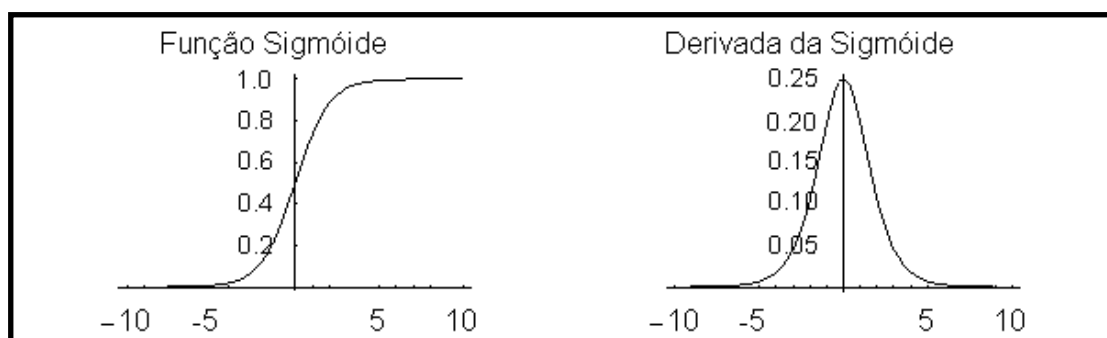


Figura 3.3: Gráficos da função *sigmoidal* e da sua derivada.

Fonte: adaptado de Haykin (2001)

O valor da função sigmóide é determinado, de forma geral, conforme a equação 3.4., mostrada a seguir:

$$f(u) = \frac{1}{1 + e^{-u}} \quad (3.4)$$

ou ainda, especificamente:

$$y_k = \varphi(v_k) = \frac{1}{1 + \exp(-a v_k)} \quad (3.5)$$

em que:

a : parâmetro que determina a inclinação da curva;

v_k : soma ponderada de todas as entradas sinápticas acrescentadas do bias; e

y_k : saída do neurônio k.

Os limites da função podem variar entre 0 e 1 (unipolar) ou, em alguns casos, entre -1 e 1 (bipolar). Para este segundo caso, considera-se a função assimétrica em relação à origem (Furtado, 1998).

3.6.3 A Arquitetura

A forma como os neurônios são organizados numa rede neural é denominada topologia ou arquitetura da rede. Essa arquitetura irá afetar o desempenho da rede bem como as aplicações para as quais ela é desejada e sua estrutura está intimamente ligada ao algoritmo de aprendizado usado para o seu treinamento (Raia Jr., 2000).

Normalmente as arquiteturas são classificadas em quatro tipos, de acordo com as camadas consideradas: uma camada, multicamadas, recorrentes, entrelaçadas (Furtado, 1998).

Dentre as topologias, vale ressaltar a *Multilayer Perceptron*, que é composta de uma camada de entrada, uma ou mais camadas intermediárias e uma camada de saída.

As redes multicamadas, como a *Multilayer Perceptron* - MLP são caracterizadas pela presença de uma ou mais camadas intermediárias ou ocultas, onde se localizam os neurônios cuja função é interferir entre o sinal externo e a saída.

Essas redes podem ser usadas como classificadoras: quando se utiliza apenas uma camada oculta, a classificação das características acontece pela combinação de retas, podendo assim implementar qualquer função contínua.

No entanto, as redes MLP também podem tratar com dados que não são linearmente separáveis, isto é, a classificação das características é feita por intermédio de regiões convexas, abertas ou fechadas, sendo possível à aproximação de qualquer função, representada pela rede com duas ou mais camadas ocultas (Braga *et al.*, 2000). A figura 3.4 ilustra coleções linearmente separáveis e não separáveis.

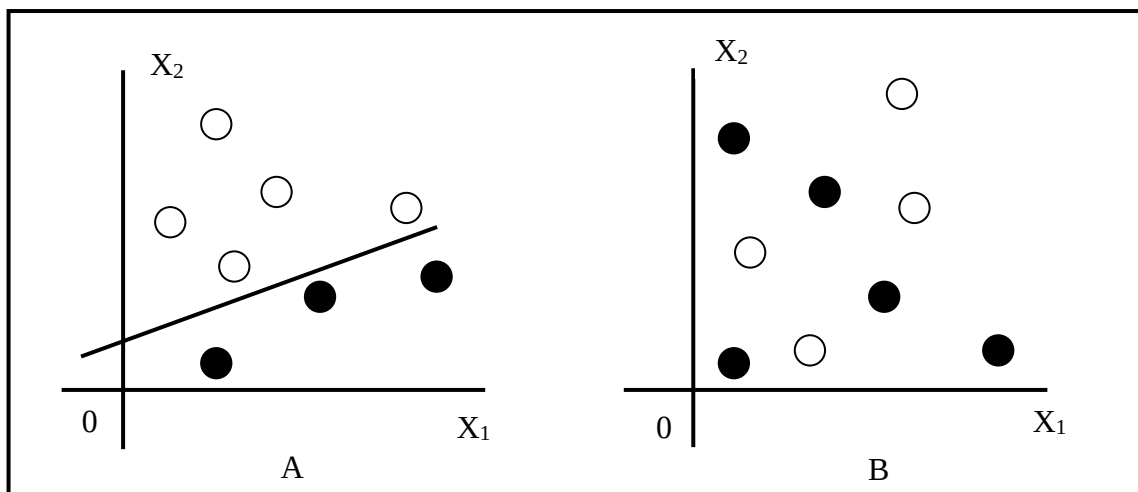


Figura 3.4: Coleções linearmente separáveis (A) e não separáveis linearmente (B).

Fonte: adaptado de Kovács (2006)

3.6.4 Processos de Aprendizagem

A característica mais importante das Redes Neurais Artificiais é a capacidade de aprender a partir de exemplos. A aprendizagem ocorre quando a rede neural atinge uma solução generalizada para uma classe de problemas (Rodrigues, 2002).

A aprendizagem é definida por Haykin (1999) como um processo pelo qual os parâmetros livres de uma rede neural são adaptados por meio de um processo de estimulação pelo ambiente no qual a rede está inserida.

Determina-se o tipo de aprendizagem de acordo com a maneira pela qual os parâmetros são modificados na rede. Classificam-se os processos de aprendizagem segundo dois critérios: os paradigmas de treinamento e as regras ou algoritmos de aprendizagem (Furtado, 1998).

3.6.4.1 Paradigmas de Treinamento

De acordo com Furtado (1998), os paradigmas de treinamento determinam a maneira como uma RNA se relaciona com seu ambiente, de modo que, a cada nova iteração, a rede saiba ainda mais sobre o mesmo.

Para o caso das MLP, utiliza-se a aprendizagem supervisionada que se caracteriza pelo fato de ser necessário um agente externo que, embora não manipule os pesos da RNA, os quais são determinados aleatoriamente, indicam à rede qual a resposta desejada para o padrão de entrada. Neste tipo de aprendizagem é

apresentado à rede um conjunto de entradas acompanhadas de suas respectivas saídas. O objetivo deste procedimento é minimizar o sinal de erro, que é uma função da diferença entre a saída desejada e aquela fornecida pela rede. Esta minimização se dá por meio do ajuste dos pesos da rede.

3.6.4.2 Regras ou Algoritmo de Aprendizagem

O conjunto de regras bem definidas para a solução de um problema de aprendizagem é denominado algoritmo de aprendizagem.

Essas regras têm a função de determinar a maneira como se realizam os ajustes de pesos. Para o caso das redes MLP, é utilizado o aprendizado por correção e erro, também chamado Regra Delta Generalizada, ou mais comumente *Backpropagation*, que é a extensão do método do gradiente descendente para redes de múltiplas camadas.

O termo *backpropagation* surge do fato de que o algoritmo se baseia na “retropropagação” dos erros para os ajustes de pesos das camadas intermediárias, isto é, segundo Raia Jr. (2000), quando um padrão é apresentado à rede pela primeira vez, esta produz uma saída aleatória - a diferença entre esta saída e a desejada constitui o erro.

O objetivo do processo de treinamento é a minimização do valor do erro. Para tal intuito, o valor dos pesos deve ser ajustado a cada nova iteração. O algoritmo *backpropagation* proporciona o ajuste dos pesos na seguinte ordem: inicialmente são ajustados os pesos da camada de saída e sucessivamente são ajustados os pesos das camadas precedentes.

3.6.4.3 Funcionamento do Backpropagation

O *backpropagation*, mencionado anteriormente, é um algoritmo supervisionado que utiliza pares de entrada e saída para, por meio de um mecanismo de correção e erros, ajustar os pesos da rede, com vistas à minimização do erro. Este algoritmo baseado na regra delta proposta por Widrow e Hoff, e por esta razão,

também denominado regra delta generalizada, propõe uma forma de definir o erro dos neurônios das camadas intermediárias e possibilita o ajuste de seus pesos, com utilização do método do gradiente descendente (Braga *et al.*, 2012).

O treinamento ocorre em duas fases denominadas: *fase forward* e *fase backward*.

A *fase forward* é utilizada para definir a saída da rede para um dado padrão de entrada. Esta fase é composta pelas seguintes etapas:

- i) a entrada é apresentada à primeira camada da rede, a camada C^0 ;
- ii) para cada camada C^i a partir da camada de entrada:
 - após os neurônios da camada C^i ($i > 0$) calcularem seus sinais de saída, estes servem como entrada para a definição das saídas produzidas pelos neurônios da camada C^{i+1} ;
- iii) as saídas produzidas pelos neurônios da última camada são comparadas às saídas desejadas.

A *fase backward* utiliza a saída desejada e a saída fornecida pela rede para atualizar os pesos de suas conexões, parte da última camada até chegar à camada de entrada e é composta pelas etapas listadas a seguir:

- i) os neurônios da camada atual ajustam seus pesos de forma a reduzir os seus erros;
- ii) o erro de um neurônio das camadas intermediárias é calculado utilizando os erros dos neurônios da camada seguinte conectados a ele, ponderados pelos pesos das conexões entre eles.

O algoritmo *backpropagation*, pois, que faz uso dessas duas fases, obedece à seqüência (Braga *et al.*, 2000):

- i) inicializar pesos e parâmetros;

ii) repetir até o erro ser mínimo ou até a realização de um dado número de ciclos:

- para cada padrão de treinamento X:

- ✓ definir saída da rede através da fase forward.
- ✓ comparar as saídas produzidas com as saídas desejadas.
- ✓ atualizar os pesos dos neurônios através da fase *backward*.

Vale ressaltar que, para auxiliar a atualização dos pesos, são utilizados dois parâmetros importantes (Furtado, 1998):

- i) o momento (α), que aumenta a velocidade de aprendizado evitando pontos de instabilidade onde ocorrem oscilações dos pesos;
- ii) a taxa de aprendizagem (η), que caracteriza o processo de encaminhamento na superfície de convergência, ilustrada na figura 3.5, exibida a seguir:

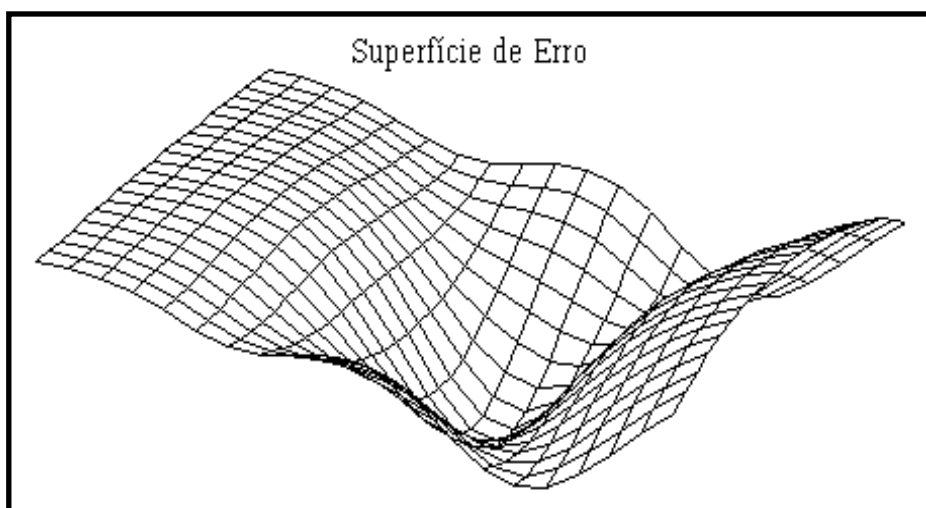


Figura 3.5: Exemplo de superfície de erro

Fonte: adaptado de Kovács (2006)

A atualização dos pesos pode ocorrer de duas maneiras: após a apresentação de cada padrão (por padrão) ou após a apresentação de todos os padrões de treinamento (por ciclo).

Ressalte-se que a importância do algoritmo de propagação recursiva dos erros está em fornecer um método eficiente de cálculo para determinar as derivadas da função erro (Valença, 2005).

3.6.4.4 Dificuldades no Treinamento com o *Backpropagation*

O treinamento utilizando o algoritmo *backpropagation* apresenta algumas dificuldades que serão comentadas a seguir:

A primeira é a lentidão da aprendizagem em superfícies complexas, devido à presença de mínimos locais para onde o algoritmo tende a convergir ao invés de procurar um mínimo global que seria a saída correta (Kovács, 2006).

A segunda é a piora da capacidade de generalização da rede, devido à memorização dos padrões de treinamento já apresentados isto é, as peculiaridades e ruídos da rede. Este fenômeno é denominado *overfitting*. Isto ocorre quando, após certo ciclo de treinamento, a rede em vez de melhorar, piora a sua taxa de acertos para padrões diferentes daqueles utilizados para o ajuste dos pesos.

Para evitar os problemas descritos acima, Braga *et al.* (2012) recomendam cuidado na alocação do número de neurônios da camada intermediária, de modo que sejam suficientes para a solução do problema de reconhecimento de padrões.

3.6.5 Considerações Sobre os Experimentos que Utilizam Redes Neurais Artificiais

Os experimentos com as RNA são conduzidos com base em padrões definidos para os procedimentos de teste e documentação dos resultados, com o objetivo de assegurar a validade dos resultados.

Atualmente, nos experimentos de RNA, utilizam-se os procedimentos de partição dos subconjuntos de treinamento validação e teste; adotados no padrão estabelecido por Pretchelt (Furtado, 1998; Braga *et al.*, 2012).

A seguir tecem-se algumas considerações sobre três aspectos importantes:

- i) o primeiro deles consiste na partição dos dados segundo a qual o conjunto de dados deve ser dividido nos seguintes subconjuntos:
 - o subconjunto de treinamento, composto pelos dados de validação e de treinamento - este último o responsável pela aprendizagem da rede a partir dos exemplos apresentados;
 - o subconjunto dos dados de validação, cujo objetivo é verificar os níveis de aprendizagem durante o processo de treinamento, servindo também para avaliar a qualidade da rede durante o processo de validação cruzada (Furtado, 1998);
 - o subconjunto dos dados de teste é utilizado para medir os níveis de acerto das RNA, utilizando-se para isto, exemplos que não foram vistos anteriormente pela rede.

Para a execução do procedimento concernente aos experimentos com as RNA, esses subconjuntos são divididos da seguinte forma: representando os subconjuntos de treinamento, validação e teste respectivamente: 50%, 25% e 25% dos casos considerados.

Vale ressaltar que não existe um número mínimo de casos estabelecido para se aplicar a técnica das Redes Neurais Artificiais. No entanto, é necessário que o conjunto dos dados de treinamento possua os dois extremos do intervalo de padrões que se pretende estabelecer.

- ii) o segundo aspecto diz respeito à otimização da topologia da rede usando a técnica de *prunning* que consiste em eliminar pesos e neurônios irrelevantes ou nulos, durante o processo de aprendizagem.

iii) O terceiro e último aspecto está relacionado com a margem de erro a ser considerada na aprendizagem e que é definida em função da precisão que se deseja obter no reconhecimento dos padrões observados, isto é, a função de custo a ser minimizada. No entanto, segundo Furtado (1998), não se deve buscar um erro zero pois, para este caso, a rede poderia perder a capacidade para generalizar. A medida de erro mais comum é definida pela soma dos erros quadráticos e representada pela equação 3.6:

$$E = \frac{1}{2} \sum_p \sum_{i=1}^k (d_i^p - y_i^p)^2 \quad (3.6)$$

em que:

E: medida de erro total;

p: número de padrões;

k: número de unidades de saída;

d_i : i-ésima saída desejada; e

y_i : i-ésima saída gerada pela rede.

Esta equação define o erro total cometido pela rede, ou a quantidade em que, para todos os padrões p de um dado conjunto, as saídas geradas pela rede diferem das saídas desejadas (Braga *et al.*, 2000).

3.7 RNA NA ÁREA DE PROJETO DE PRODUTOS

Conforme disponíveis na literatura foram identificadas aplicações da técnica das Redes Neurais Artificiais à área de projeto e desenvolvimento de produto, as quais obtiveram resultados satisfatórios. Dentre essas aplicações, destacam-se ações relacionadas aos processos seleção de materiais, sistemas CAD inteligentes e geração de sketches, das quais algumas se encontram descritas a seguir:

Rodgers e Huxor, (1998) expõem em seu trabalho uma nova abordagem para a inteligência artificial (AI) e seu papel no design. Esta abordagem argumenta que a AI pode ser vista como 'texto', ou em outras palavras, como um meio para a comunicação do conhecimento em design e informações entre os designers. O referido artigo aplica essas ideias para reinterpretar uma ferramenta de design existente: sistema baseado no conhecimento – KBS, que é o CADET, ferramenta de avaliação de projeto, desenvolvida para ser utilizada durante as fases iniciais do projeto, pois fornece um rápido feedback aos designers sobretudo no que diz respeito a produtos de consumo.

Menezes (2001) desenvolveu uma ferramenta de auxílio aos designers utilizando sistemas especialistas. O ponto de partida para a pesquisa foi estudar processos metodológicos do Design, sob a ótica da informática, a fim de se construir um protótipo de Sistema Especialista, compatível com a representação do CAD e utilizando a indústria de calçados como estudo de caso. Algumas conclusões importantes foram apresentadas: possibilidade de parte do processo projetual ser automatizado, a inserção de tecnologias refinadas é possível mesmo em setores tradicionais, o sistema desenvolvido não interfere no processo criativo do designer e, a grande vantagem de o sistema desenvolvido detectar erros e ajudar a corrigi-los. Ressalte-se que apesar de não utilizar as redes neurais artificiais, os sistemas especialistas fazem parte do que se denomina inteligência artificial, embora já não tão utilizado.

Hsiao e Huang (2002) demonstraram ser possível a utilização da técnica das Redes Neurais Artificiais para desenvolver uma ferramenta de modelagem computacional que auxilia o designer. Com a ajuda desse sistema de design, um designer pode gerar modelos 3D de qualquer produto com imagens diferentes a partir de dados de entrada que são os elementos básicos do projeto e as regras de geração de forma. Simultaneamente, um modelo 3D do produto projetado é renderizado e suas imagens são apresentadas pelo sistema. Portanto, alterar o parâmetro de configuração até que o formato do produto fique aceitável pode modificar a imagem de um produto. Desta forma, o produto projetado pode ser calibrado pelo designer até atender os desejos e/ou necessidades do público-alvo. No artigo é apresentado um

estudo de caso feito com o objeto cadeira, no qual a partir de características como conforto, praticidade, durabilidade, entre outros, dados que o designer preenche em forma de escala, aparece cada elemento da cadeira, o qual individualmente pode ser modificado pelo designer.

Huang (2008) realizou por meio da técnica das redes neurais artificiais uma experiência cognitiva a fim de elucidar o processo de desenhar e simular dois comportamentos para o traçado de esboços. Quando exibido o primeiro tipo de desenho, os designers são capazes de transformar seus esboços originais para satisfazer as exigências requeridas. Simular este tipo de comportamento cognitivo visual por redes neurais pode ajudar de modo que formas desenvolvidas por meio de computadores possam atender aos requisitos de design, como designers humanos fazem. No segundo comportamento, os designers podem ver formas ambíguas e diferenciá-las.

Marar *et al.* (2009) desenvolveram um aplicativo computacional denominado Redes Neurais Artificiais McCulloch e Pitts (RNAMP) com objetivo de auxiliar o designer na compreensão do funcionamento desses modelos conexionistas. Ressalte-se que o progresso nos estudos sobre o comportamento da mente em diversas áreas do conhecimento, em especial a área de Design e Emoção, está diretamente relacionada com o projeto e desenvolvimento de produtos, tem influenciado diretamente na investigação de redes neurais artificiais capazes de descrever a aprendizagem, o comportamento e a percepção humana. A fim de se verificar a eficiência do modelo implementado, foi testada a modelagem das percepções de calor e de frio através da pele proposta por McCulloch e Pitts. Esta rede neural simula as sensações térmicas decorrentes do contato do gelo sobre a superfície da pele. A partir dos resultados obtidos, os autores constataram que o RNAMP possibilita simular sensações humanas e também elaborar vários tipos diferentes de redes neurais, tornando-se uma ferramenta útil para o auxílio ao desenvolvimento do Design Nacional.

Ferraz da Silva e Marar (2010) apresentaram um modelo neurocientífico para auxiliar na combinação de padrões, como cores, texturas, formas, etc. Concluíram que ferramentas computacionais baseadas em modelos biologicamente plausíveis desenvolvido através de estudos de ciências cognitivas e neurociência, num futuro próximo servirão como elemento estruturante ao desenvolvimento de sistemas computacionais inteligentes que auxiliarão cada vez mais o desenvolvimento do design nacional.

Marar *et al.* (2011) demonstrou ser possível desenvolver uma ferramenta, utilizando redes neurais artificiais juntamente com técnicas de processamento de imagem e utilizando o sistema de codificação de ação facial – FACS, para classificar emoções faciais. O objetivo é que o sistema identifique a emoção assim como a sua intensidade.

Marar (2011) apresentou um estudo descritivo acerca da evolução da tecnologia e da relação da mesma com o processo de desenvolvimento de produtos. Neste estudo, o autor propõe uma nova abordagem para o design de produtos, onde a arte, a ciência e as tecnologias possam encontrar uma posição de equilíbrio, desempenhando funções complementares. Marar apresenta também os estudos interdisciplinares de que participa relacionando a inteligência artificial com o projeto de produtos. São eles: Investigação de Modelos Cognitivos Baseados em Visão e Percepção: Abordagem a partir das Neurociências sobre o processo da visão; Aspectos da Emoção na Concepção de Novas Metodologias para o Design de Produtos; Aspectos Cognitivos do Produto Aplicados à Seleção de Materiais e Processos de Fabricação; Aspectos da Neurociência Computacional Aplicada ao Estudo de Emoções no Projeto de Produto e; Um Ambiente Colaborativo Aumentado dirigido ao Design de Produto – Seleção de Materiais.

O bom desempenho das Redes Neurais Artificiais reconhecido no seriado de trabalhos na área de projeto e desenvolvimento de produtos consultados bem como o propósito de uma metodologia que auxilie o profissional designer na tomada de decisão para uma adequada seleção de materiais no projeto de produtos, aliado ao

perfil e à natureza dos dados subjacentes à metodologia conduziram à utilização da técnica das redes neurais neste estudo.

3.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante das inferências feitas neste capítulo e, particularmente, das aplicações desenvolvidas na área de projeto e desenvolvimento de produtos, observou-se que as Redes Neurais Artificiais podem se concretizar em uma importante ferramenta para auxiliar o processo decisório. Uma grande vantagem da aplicação dessa técnica é a sua adaptabilidade, a dizer, a possibilidade de ser incorporada às tecnologias existentes na área de design.

Ressalte-se que com o crescente interesse do design em projetar produtos a partir das necessidades e desejos dos usuários, e com os avanços na área da cognição e emoção, assim como o constante avanço científico e tecnológico, vê-se como promissora a aplicação da técnica das redes neurais artificiais juntamente ou não com outras técnicas da inteligência artificial, para a nova abordagem interdisciplinar do processo de projeto e desenvolvimento de produtos, frente inclusive ao crescente surgimento de materiais.

Este capítulo encerra a revisão bibliográfica referente aos pontos temáticos nucleares desta tese: “Seleção de materiais em design de produto” e “Redes neurais artificiais”. A seguir, será apresentado o capítulo referente à metodologia desenvolvida, com vistas à aplicação da técnica das Redes Neurais Artificiais como auxílio para a tomada de decisão na seleção de materiais para design. Predição de materiais e processos industriais, em apoio à tomada de decisão para designers, a partir da relação existente entre esses e os atributos selecionados: tipo de produto, cor, transparência, textura, rotulagem, etc.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRAGA, A P.; A P. L. F. CARVALHO e T.B. LUDEMIR. **Redes Neurais Artificiais: Teoria e Aplicações**. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

-
- _____. Redes neurais artificiais. In: REZENDE, S. O. (Org.). **Sistemas inteligentes: fundamentos e aplicações**. Barueri: Ed. MANOLE, 2003. p. 141-168.
-
- _____. **Redes Neurais Artificiais: Teoria e Aplicações**. Rio de Janeiro: LTC, 2012.
- BRONDINO, N. C. M. **Estudo da Influência da Acessibilidade na Valorização de Lotes Urbanos Através do Uso de Redes Neurais**. 1999. 141p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 1999.
- COPPIN, B. **Inteligência artificial**. Rio de Janeiro: Ed. LTC, 2010.
- FERNANDES, A.M.R. **Inteligência artificial: noções gerais**. Florianópolis: Ed. Visual Books, 2005.
- FERRAZ DA SILVA, H.; MARAR, J. F. **Emoção, Percepção e Design: Aspectos Teóricos e Práticos da Ciência Cognitiva e Neurociência no Projeto de Produto**. In: 9o Congresso Brasileiro de Pesquisa e Ensino em Design. São Paulo, 2010.
- FIALHO, F.A.P.; BRAVIANO, G.; SANTOS, N. **Métodos e técnicas em ergonomia**. Florianópolis: Ed. dos autores, 2005.
- FURTADO, A N. D. **Uma Nova Abordagem na Avaliação de Projetos de Transportes: O Uso de Redes Neurais Artificiais como Técnica para Avaliar e Ordenar Alternativas**. 1998. 250p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 1998.
- HAYKIN, S. **Neural Networks: A Comprehensive Foundation**. IEEE Press, Toronto.1994.
- _____. **Neural Networks. A Comprehensive Foundation**. Toronto: Prentice Hall. 2nd edition. 1999.
- _____. **Redes Neurais: Princípios e Prática**. Porto Alegre: BookMan, 2001.
- HSIAO, S.W.; HUANG H.C. **A neural network based approach for product form design**. Design Studies 23 (2002) 67–84.
- HUANG, Y. **Investigating the cognitive behavior of generating idea sketches through neural network systems**. Design Studies 29 (2008) 70e92.
- KOVÁCS, Z.L. **Redes neurais artificiais: fundamentos e aplicações**. São Paulo: Ed. Livraria da Física, 2006.
- LOESCH, C.; SARI, S. T. **Redes Neurais Artificiais: Fundamentos e Modelos**. Blumenau: FURB,1996.
- LUDWIG JR.,O.; MONTGOMERY, E. **Redes Neurais: Fundamentos e aplicações de programas em C**. Rio de Janeiro: Ed. Ciência Moderna, 2007.
- LUGER, G. F. **Inteligência artificial: estruturas e estratégias para a solução de problemas complexos**. Porto Alegre: Bookman, 2004.
- MARAR, J.F. **Emoção e Design: Aspectos Teóricos e Práticos da Ciência Cognitiva no Desenvolvimento de Modelos Conexionalistas para o Auxílio no Projeto de Produtos**. In: **Metodologias em Design: inter-relações**. Ed. estação das letras e cores, 2011.

- MARAR, J. F.; GARCIA DA SILVA, L. M. L.; GUILHERME, I. R.; SCOLARI, S. H. P.; HOLDSCHIP, R. Inteligência Artificial e Ciência Cognitiva: Um Simulador para o Auxílio às Pesquisas em Emoção e Design. **Anais do 5o Congresso Internacional de Pesquisa em Design**. Bauru, 2009.
- MARAR, J. F.; FERRAZ DA SILVA, H.; HOLDSCHIP, R.; SEMENTILLE, A. C.; BUSATO, S. L. Emoção & Design: Quando a Face Revela o Sucesso do Produto. In: **Metodologias em Design: inter-relações**. Ed. estação das letras e cores, 2011.
- McCULLOCH, W. S.; PITTS, W. A Logical Calculus of Ideas Immanent in Nervous Activity. **Bulletin of Mathematical Biophysics**, n. 5, p. 115–133, 1943.
- MENEZES, M. GRIOT - sistema CAD inteligente para design de calçados. **Revista Escola de Minas** vol.54 n.1 Ouro Preto Jan./Mar. 2001
- RAIA JR., A. A. **Acessibilidade e Mobilidade na Estimativa de um Índice de Potencial de Viagens Utilizando Redes Neurais Artificiais e Sistemas de Informação Geográfica**. 2000. 252p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos. 2000.
- RODGERS, P.; HUXOR, A. The role of artificial intelligence as ‘text’ within design. **Design Studies** 19 (1998) 143–160. 1998.
- RODRIGUES, F. A. **Localização e Reconhecimento de Placas de Sinalização Utilizando um Mecanismo de Atenção Visual e Redes Neurais Artificiais**. 2002. 124p. Dissertação (Mestrado em Informática). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande. 2002.
- ROSA, J.L.G. **Fundamentos da inteligência artificial**. Rio de Janeiro: Ed. LTC, 2011.
- RUSSEL, S.; NORVIG, P. **Inteligência artificial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.
- SILVA, I.N.; SPATTI, D.H.; FLAUZINO, R.A. **Redes neurais artificiais para engenharia e ciências aplicadas**. São Paulo: Artliber, 2010.
- TAFNER, M. A.; XEREZ, M.; FILHO, L. W. R. **Redes Neurais Artificiais: Introdução e Princípios de Neurocomputação**. Blumenau, Eko. 1996.
- TUBB, N. R. A Development Path to Sucess in Neural Computing. In: **Expert Systems Applications**. v.9, n.5, pp. 5-9, 1993.
- VALENÇA, M. **Aplicando redes neurais: um guia completo**. Olinda: Ed. do autor, 2005.

CAPÍTULO 4

Materiais e Métodos

SUMÁRIO

CAPÍTULO 4

MATERIAIS E MÉTODOS

4.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	78
4.2	MATERIAIS.....	80
4.3	MÉTODO E TÉCNICAS DE PESQUISA.....	80
4.4	PRIMEIRO PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	82
4.5	SEGUNDO PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	85
4.5.1	Ordenação das Variáveis de Entrada e Saída	85
4.5.2	Definição de Topologias e Parâmetros para as Redes Neurais Artificiais	86
4.5.3	Considerações Sobre o Simulador Utilizado: EASY NN PLUS	86
4.5.4	Verificação do Nível de Confiabilidade da RNA e Definição dos Parâmetros de corte.....	87
4.5.5	Treinamento, Validação e Teste	87
4.6	DEFINIÇÃO DA INTERFACE DE APLICAÇÃO	91
4.7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	92
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92

CAPÍTULO 4

MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo apresentam-se os materiais e métodos utilizados no processo de elaboração desta pesquisa. Compreende, inicialmente, caracterizar a origem do estudo e em seguida detalhar as fontes de dados e informações. Com a finalidade de atingir o objetivo geral e os específicos propostos, foram tratados métodos, tipo de pesquisa, técnicas de pesquisas e procedimentos metodológicos.

O capítulo encontra-se subdividido em quatro etapas, das quais as três finais tratam do MÉTODO desenvolvido neste trabalho, para auxiliar o designer na tomada de decisão durante a seleção de materiais no projeto de produtos. A etapa inicial trata dos materiais, assim como do método e das técnicas de pesquisa utilizados; as duas etapas intermediárias tratam dos Procedimentos Experimentais e, por fim, a última etapa consiste do desenvolvimento da Interface de Aplicação resultante dos procedimentos anteriores. Ressalte-se que o Primeiro Procedimento Experimental diz respeito à coleta dos dados e o Segundo Procedimento Experimental diz respeito ao tratamento dos dados coletados e à posterior aplicação da técnica das Redes Neurais Artificiais. Ressalte-se que o MÉTODO desenvolvido nesta tese está designado com letras maiúsculas para se diferenciar do método escolhido para esta pesquisa.

4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O MÉTODO desenvolvido nesta pesquisa se propõe a utilizar a técnica das Redes Neurais Artificiais para estruturar e avaliar um modelo de previsão dos materiais e processos industriais a fim de auxiliar o designer na tomada de decisão para a seleção de materiais no projeto de produtos. O modelo de previsão desenvolvido será testado e validado para a categoria embalagem de cosméticos.

O MÉTODO supracitado se utiliza da técnica das Redes Neurais Artificiais e considera fundamental a afirmação de Arnold Van Bezooyen que a seleção de materiais não é realizada apenas com base em propriedades dos materiais, mas, por

meio das intrínsecas relações entre função, material, processo e forma. Isto permitiu estabelecer ligações entre as variáveis de entrada e de saída do modelo (Van Bezooyen, 2002).

A grande dificuldade de obtenção dos dados necessários à estruturação do modelo atinentes à caracterização do panorama dos materiais e processos comumente utilizados para as embalagens de cosméticos, conjunto escolhido para validar o modelo desenvolvido, encaminhou a coleta dos dados necessários aos bancos e softwares de dados para seleção de materiais existentes. Ressalte-se que este modo de coleta possibilitou a identificação das dificuldades encontradas durante o processo de seleção.

Inicialmente foram percorridos sites de busca, a fim de se identificar bancos de dados virtuais e softwares para seleção de materiais com o objetivo de coletar os dados e, posteriormente, desenvolver o modelo e aplicá-lo ao estudo de caso. A seguir, foi selecionada a categoria embalagem de cosméticos, produtos de higiene e perfumes para testar e validar o modelo a ser desenvolvido.

Para a concepção deste modelo de RNA, durante o Primeiro Procedimento Experimental, foram identificados, quantificados e priorizados atributos tidos como relevantes no processo de seleção de materiais, tais como: tipo de produto, forma, tipo de fechamento, cor, transparência, textura, brilho e possibilidade de reciclar. Além disso, foram coletados dados referentes aos materiais e processos comumente relacionados às embalagens.

Após a coleta dos dados necessários à alimentação do modelo de Rede Neural Artificial proposto, foi realizada, como parte integrante do Segundo Procedimento Experimental, a aplicação propriamente dita da técnica, isto é, a execução das etapas de treinamento, validação e teste, a fim de se constatar a viabilidade da mesma.

Por fim, com o intuito de tornar mais efetivo o uso das RNA, desenvolveu-se uma interface no *software* Microsoft Excel 2010 com base no modelo de Rede Neural

Artificial que obteve melhor desempenho para a previsão dos materiais e processos industriais no projeto de embalagens de cosméticos.

Este capítulo encontra-se dividido em quatro partes que são: os materiais e métodos da pesquisa, o Primeiro Procedimento Experimental, o Segundo Procedimento Experimental e o desenvolvimento da Interface de Aplicação, descritos a seguir.

4.2 MATERIAIS

Para a viabilização deste estudo foram necessários inicialmente livros, dissertações, teses e periódicos referentes às áreas da pesquisa, a saber, seleção de materiais, design de produto e redes neurais artificiais. Foram também necessários equipamento de informática, com acesso à internet, para efetuar consulta a bancos de dados e ferramentas de seleção de materiais a fim de se coletar parte dos dados necessários ao desenvolvimento desta tese. Em uma fase posterior foi utilizado um software para calibrar e treinar o modelo de rede neural artificial selecionado. E, por fim, foi utilizada a planilha eletrônica Microsoft Excel, para se desenvolver a interface de aplicação, na qual o comportamento da rede neural treinada foi replicado.

4.3 MÉTODO E TÉCNICAS DE PESQUISA

Cervo, Brevian e da Silva (2007), afirmam que existem no mínimo três importantes tipos de pesquisa:

- Bibliográfica, que procura explicar um problema a partir de referências teóricas publicadas em artigos, livros, dissertações e teses. Pode ser realizada independente ou como parte da pesquisa descritiva ou experimental;
- Descritiva, que observa, registra, analisa e correlaciona fatos ou fenômenos sem manipulá-los. Procura descobrir, com a maior precisão possível, a frequência com que um fenômeno ocorre, sua relação e conexão com outros, sua natureza e suas características;

- Experimental caracteriza-se por manipular diretamente as variáveis relacionadas com o objeto de estudo.

Com base nestas afirmações pode-se considerar que a presente pesquisa é composta por três fases. A primeira, bibliográfica, na qual se buscou na literatura fundamentos da seleção de materiais e das redes neurais artificiais com o intuito de contribuir para a confirmação da hipótese de pesquisa, a saber, podem as redes neurais artificiais auxiliar o designer na tomada de decisão durante a seleção de materiais no projeto de produtos, visto a grande variedade de materiais existente? A segunda fase, descritiva, na qual se registrou os dados relativos aos materiais e processos utilizados para o grupo de teste selecionado: as embalagens de cosméticos. A terceira etapa, experimental, na qual, com base na teoria investigada, estabeleceram-se relações entre atributos pré-selecionados para consubstanciar e validar o modelo de rede neural escolhido e, posteriormente desenvolver a interface de aplicação do MÉTODO proposto.

Sobre o método de pesquisa pode-se considerar que um método é uma estratégia que permite alcançar o objetivo da pesquisa, por meio da descrição e explicação do estudo. Em uma pesquisa pode haver diversos métodos segundo a natureza de cada problema (Fachin, 2006; Lakatos, 2010).

Neste estudo adotou-se o método estudo de caso, o qual se propõe a fornecer compreensão como um todo do assunto investigado por meio do estudo de um caso particular, representativo de um conjunto de casos análogos (Yin, 2005; Fachin, 2006; Severino, 2008). Assim, o método supracitado, cuja principal função é a explicação sistemática dos fatos que relacionam uma multiplicidade de variáveis, é considerado apto a fundamentar generalizações para situações análogas.

O método consiste então em um plano com diversas etapas a serem seguidas para a realização da pesquisa. Nesse contexto, cada etapa, denominada técnica de pesquisa, deve ser adaptada ao objetivo proposto. Ressalta-se que é primordial um planejamento na definição das técnicas de pesquisa, de coleta e análise de dados com vista à compressão das variáveis e como elas influenciam ou causam o fenômeno. Para

este estudo foram utilizadas as técnicas de documentação e registro para posterior análise e aplicação dos dados referentes a materiais e processo industriais necessários ao modelo de rede neural artificial selecionado.

4.4 O MÉTODO

O MÉTODO proposto nesta tese objetiva estruturar e avaliar um modelo de previsão de materiais e processos de fabricação a partir de atributos pré-determinados. Para isto utilizam-se três elementos fundamentais para a consecução do mesmo, a saber:

- Conteúdo teórico acerca do assunto a ser abordado. Neste caso, materiais e processos de fabricação associados às embalagens de cosméticos, setor de aplicação escolhido para validar o modelo. Ressalte-se a relevância deste elemento, pois por meio dele, serão obtidos os atributos a partir dos quais o modelo de previsão será obtido;
- Redes neurais artificiais. Técnica utilizada para relacionar os atributos pré-estabelecidos e validar o modelo de previsão proposto;
- Planilha eletrônica. Meio selecionado para confeccionar uma ferramenta a ser gerada opcionalmente ao final da aplicação das etapas do MÉTODO, a fim de expor os resultados obtidos do modelo de previsão estruturado e validado.

Além dos elementos componentes, este MÉTODO compõe-se de etapas que se bem executadas, permitirão como resultado um modelo de previsão de materiais e processos de fabricação:

- Revisão bibliográfica acerca dos conteúdos que se quer abordar. Neste estudo, materiais e processos de fabricação;

- Eleição do setor de aplicação do MÉTODO, para este caso às embalagens de cosméticos;
- Coleta de dados relevantes referentes ao setor de aplicação do MÉTODO;
- Estruturação dos dados coletados, por exemplo, por meio de árvores de decisão, tabelas, etc;
- Análise dos dados coletados e estruturados a fim de se obter os atributos a partir dos quais o modelo será estruturado e validado;
- Escolha do modelo de rede neural que se quer utilizar;
- Escolha do simulador que se pretende utilizar;
- Escolha das topologias e parâmetros de redes que se pretende utilizar;
- Execução das etapas de treinamento, validação e teste;
- Definição da interface de aplicação do modelo. Ressalte-se que esta etapa do MÉTODO é opcional e tem a função de possibilitar a apresentação dos resultados do modelo treinado e validado, assim como a sua utilização por qualquer usuário.

Por fim, as etapas do MÉTODO foram agrupadas em três grandes fases denominadas: primeiro procedimento experimental, segundo procedimento experimental e definição da interface de aplicação, as quais serão descritas nos itens 4.5, 4.6 e 4.7.

4.5 PRIMEIRO PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Este primeiro segmento do MÉTODO proposto consistiu, basicamente, no levantamento dos dados necessários à alimentação do modelo a ser estruturado para a previsão dos materiais e processos industriais no processo de projeto de produtos a partir de atributos pré-selecionados. O processo englobou as seguintes etapas:

- i. A coleta de dados bibliográficos sobre metodologias e ferramentas de seleção de materiais existentes e disponíveis para consulta. Este levantamento foi realizado por meio de investigação em livros, dissertações, teses e publicações em periódicos;
- ii. A coleta de dados referentes a materiais comumente e potencialmente utilizados em embalagens. Esta etapa foi realizada após triagem dos dados bibliográficos referidos no item a e se deu por meio de consulta a livros especializados e sites que disponibilizaram bancos de dados virtuais e softwares sobre materiais. Ressalte-se que algumas dessas ferramentas virtuais não são de acesso gratuito;
- iii. O registro das metodologias utilizadas para a seleção de materiais, a fim de se escolher parâmetros norteadores dos atributos que seriam pré-selecionados;
- iv. O registro de ferramentas, softwares e banco de dados virtuais sobre seleção de materiais, nas quais foi realizada consulta acerca de propriedades de materiais utilizados no projeto de embalagens de cosméticos, assim como os processos industriais associados a eles;
- v. Investigação na Agência Brasileira de Vigilância Sanitária acerca da definição e classificação dos cosméticos, perfumes e produtos de higiene pessoal, assim como da legislação pertinente a essa categoria;

- vi. O registro, por meio das etapas anteriores, na forma de árvores de decisão, dos materiais, suas propriedades e processos industriais associados ao projeto de embalagens de cosméticos, produtos de higiene pessoal e perfumes;

A coleta de dados permitiu com o uso da planilha eletrônica Excel 2010, a obtenção de tabelas nas quais os dados foram hierarquizados e organizados de acordo com as variáveis de entrada e de saída que se queria obter.

De posse desse conjunto de dados organizados e hierarquizados, selecionou-se com base em Van Bezooyen (2002) atributos relacionados à seleção de materiais e processos para o objeto de estudo de caso desta tese. Esses atributos deram origem às variáveis de entrada do modelo de rede neural treinado e validado. Em seguida, para a definição das variáveis de saída, fundamentou-se a escolha na metodologia de seleção de materiais defendida por Ashby (2012), Ashby *et al* (2012) e Ashby e Johnson (2011).

Por fim, o Primeiro Procedimento Experimental possibilitou a determinação dos atributos anteriormente citados, relacionados direta ou indiretamente com a seleção de materiais e processos industriais no processo de projeto de produtos. São eles:

- i. *Tipo de produto*: dizem respeito à relação dos produtos que se quer embalar. Para esta pesquisa, esses produtos são aqueles incluídos na resolução 79/2000 da Agência Brasileira de Vigilância Sanitária. Disponibilizados em lista com um número associado, para posterior utilização no Segundo Procedimento Experimental;
- ii. *Forma do Produto*: dizem respeito aos estados físicos que os produtos podem assumir e são classificados de acordo com a Farmacopéia Brasileira (ANVISA, 2010). Disponibilizados em lista com um número associado, para posterior utilização no Segundo Procedimento Experimental;
- iii. *Forma da embalagem*: se refere à forma da embalagem que se quer projetar. Definidos conforme Tweed e Goddard (2010), Coles

(2010), Anyadike (2010), Instituto de Embalagens (2010 e 2011). Disponibilizados em lista com um número associado, para posterior utilização no Segundo Procedimento Experimental;

- iv. *Tipo de fechamento*: se refere à forma como a embalagem é lacrada. Definidos conforme Tweed e Goddard (2010), Coles (2010), Anyadike (2010), Instituto de Embalagens (2010 e 2011). Disponibilizados em lista com um número associado, para posterior utilização no Segundo Procedimento Experimental;
- v. *Cor*: diz respeito à possibilidade do material receber coloração e por meio de qual processo esse efeito pode ser conseguido. Classificado em: sem cor, uma cor, duas cores, multicolor, luminoso e metálico;
- vi. *Transparência*: classificado em três classes: transparente, semitransparente e opaco;
- vii. *Textura*: classificada em seis categorias: áspero, antideslizante, pegajoso, escorregadio, suave e liso;
- viii. *Brilho*: classificado em três classes: brilhante, acetinado e mate;
- ix. *Reaproveitamento*: materializado neste trabalho como potencial de reciclagem, segundo classificação de Ashby e Johnson (2011). Classificados em baixo, médio e alto e representados, para posterior utilização no Segundo Procedimento Experimental, pelos números 1, 2, e 3 respectivamente;

Alguns dos atributos descritos foram posteriormente utilizados no Segundo Procedimento Experimental como variáveis de entrada do modelo proposto e estão intimamente relacionados com a seleção dos materiais e processos industriais, estes, utilizados como variáveis de saída.

4.6 SEGUNDO PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Após a obtenção dos dados, por meio da execução das etapas do Primeiro Procedimento Experimental, descritas anteriormente, este segundo segmento do MÉTODO proposto consistiu de cinco fases descritas a seguir:

4.6.1 Ordenação das Variáveis de Entrada e Saída

Com o objetivo de se utilizar os dados coletados como variáveis de um modelo de Rede Neural Artificial, uma primeira providência fez-se necessária: a verificação da existência de qualquer relação entre os padrões de entrada com os que se deseja estimar.

Para este estudo, o processo se deu pela observação do contexto do modelo de previsão proposto, identificação dos seus atributos gerais e pelo estabelecimento da relação dos mesmos com os indicadores de ordenamento de alternativas para o problema em questão.

Nestas condições, foram consideradas as seguintes:

- i. Variáveis de entrada: foram definidas partindo da premissa defendida por Van Bezoooyen (2002), de que a seleção de materiais não é realizada apenas com base em propriedades dos materiais, mas, por meio das intrínsecas relações entre função, material, processo e forma. Isto permitiu estabelecer ligações entre as variáveis de entrada e de saída do modelo. São elas: tipo de produto, forma do produto, forma da embalagem e reaproveitamento da embalagem;
- ii. Variáveis de saída: determinadas com base em Ashby (2012), Ashby *et al* (2012) e Ashby e Johnson (2011), e são as seguintes: material e processo de fabricação da embalagem.

4.6.2 Definição de Topologias e Parâmetros para as Redes Neurais Artificiais

Um importante passo para a proposição de uma RNA é estabelecer a arquitetura da Rede Neural Artificial que será testada e definir o simulador a ser utilizado. Para este trabalho optou-se pelas redes *Multilayer Perceptron (MLP)*, devido a sua freqüente utilização nos problemas de classificação de padrões nas diversas áreas do conhecimento, o que ficou evidenciado na seção 3.7 que trata das aplicações da técnica das RNA na área de projeto de produtos.

Nesta fase do Segundo Procedimento Experimental foram propostas várias classes topológicas de RNA, com variações, num primeiro momento, na definição das variáveis e, posteriormente, na disposição das estruturas das camadas de entrada, intermediária e saída.

4.6.3 Considerações Sobre o Simulador Utilizado: EASY NN PLUS

Para a simulação foi usado o programa Easy NN Plus (Wostenholme, 2001), por: apresentar uma boa interface gráfica; suportar boa quantidade de variáveis de entrada e saída e ter baixo custo.

As RNA utilizadas neste *software* são do tipo *Multilayer Perceptron*, treinadas com o algoritmo *backpropagation* e requerem a curva sigmóide como função de ativação.

Alguns dos resultados gerados por este simulador encontram-se citados a seguir:

- i. Um arquivo, tipo texto, contendo todos os resultados do conjunto de validação e teste, inclusive as variáveis de entrada e saída previstas pela rede;
- ii. Os pesos das conexões entre os neurônios; e
- iii. Um gráfico no qual estão expostos os graus de importância de cada variável de entrada.

4.6.4 Verificação do Nível de Confiabilidade da Rede e Definição dos Parâmetros de Corte

O nível de confiabilidade das Redes Neurais Artificiais é verificado utilizando-se o percentual de acerto e o erro médio observados.

Os parâmetros de corte podem mostrar em que níveis as redes testadas podem ser consideradas satisfatórias nas atividades de reconhecimento de padrões (Furtado, 1998).

A partir do percentual de acerto, que será determinado conforme a precisão que se quer atingir no reconhecimento de padrões será feita a verificação do erro médio observado durante a aprendizagem. As redes que apresentarem os menores erros serão consideradas viáveis. O erro médio é calculado, segundo Furtado (1998), a partir da média aritmética dos erros que efetivamente correspondem ao percentual de acerto.

4.6.5 Treinamento, Validação e Teste

Esta etapa é composta dos procedimentos a serem executados para a aprendizagem da RNA, por meio da simulação que envolve o treinamento, a validação e o teste.

4.6.5.1 Formação das Partições de Treinamento, Validação e Teste

Uma vez definidos os conjuntos de dados, os mesmos devem ser divididos, de forma aleatória, em três diferentes partições destinadas a cada uma das três fases do modelo de RNA e que são as seguintes:

- i. *treinamento*: 50% dos casos considerados;
- ii. *validação*: 25% dos casos considerados;
- iii. *teste*: 25% dos casos considerados.

Dentro de cada uma das três partições (P), devem-se fazer seis subpartições (SBP) possíveis caracterizadas da seguinte forma:

- i. P 01 – SBP 01 – treinamento (50%), validação (25%) e teste (25%);
- ii. P 01 – SBP 02 – treinamento (50%), teste (25%), validação (25%);
- iii. P 01 – SBP 03 – validação (25%), treinamento (50%), e teste (25%);
- iv. P 01 – SBP 04 – validação (25%), teste (25%) e treinamento (50%);
- v. P 01 – SBP 05 – teste (25%), validação (25%) e treinamento (50%);
- vi. P 01 – SBP 06 – teste (25%), treinamento (50%) e validação (25%).

Obtiveram-se então, para esta tese, 18 (dezoito) redes para cada um dos tipos básicos de topologia propostas, a saber, $12 - X - 8$, $14 - X - 6$, $6 - X - 4$, $4 - X - 6$. A título de esclarecimento, a letra “X” significa que a camada intermediária foi testada com número variado de neurônios. A topologia que mais se adequou foi $4 - X - 1$.

4.6.5.2 Parâmetros de Controle da Aprendizagem

Os parâmetros variáveis de aprendizagem são:

- i. O número de neurônios ocultos (m): não há uma regra específica para determiná-lo;
- ii. A taxa de aprendizagem (η): indica o quão suave se dá a atualização dos pesos;
- iii. O *momentum* (α): acelera o treinamento em regiões planas da superfície de erro.

De acordo com a determinação dos pesos iniciais e o encaminhamento na superfície de erros, esses parâmetros vão sendo modificados de modo a “rastrear” a superfície, onde o *momentum* representa a direção e a taxa de aprendizagem representa o tamanho do passo, na procura do ponto mínimo global.

A tabela 4.1 lista os parâmetros variáveis de uma MLP.

Tabela 4.1: Lista dos parâmetros variáveis num modelo MLP

Parâmetro	Símbolo	Intervalo Típico
Nº de neurônios ocultos	M	$(2, \infty)$
Taxa de Aprendizagem	H	$(0,1)$
<i>Momentum</i>	A	$(0,1)$

Fonte: HAYKIN (2001)

4.6.5.3 Critérios para a Escolha do Melhor Modelo de RNA Treinado

Dois critérios foram usados para definir qual o modelo de RNA mais adequado para o objetivo deste trabalho: o erro quadrático médio amostral (EQM) e o coeficiente de determinação (r^2) no conjunto de dados de validação.

Para este trabalho, o parâmetro usado como indicador do desempenho do modelo de RNA foi o erro quadrático médio amostral (equação 4.1), pois, quanto menor este erro no conjunto de validação, melhor a arquitetura de RNA a ele associada.

$$EQM = \sum_{i=1}^n (d_i - y_i)^2 \quad (4.1)$$

em que:

d_i : saída esperada no neurônio i ;

y_i : saída gerada pela RNA treinada no neurônio i ; e

n : número de eventos.

Para se analisar até que ponto os valores estimados pelo modelo de RNA escolhido estão relacionados com os valores reais, fez-se uso do coeficiente de

determinação (r^2), medida estatística associada à dispersão dos pontos ao redor da reta de regressão, calculada cumprindo-se as seguintes etapas:

Primeiramente calcula-se o erro padrão da estimativa (S_e) para medir a dispersão na população, neste caso, os valores de validação, reais (esperados) e observados (gerados pelo modelo de RNA treinado), em relação à reta de regressão (equação 4.2).

$$S_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - y_i)^2}{(n - 2)}} \quad (4.2)$$

em que:

S_e : erro padrão da estimativa;

d_i : saída esperada no neurônio i ;

y_i : saída gerada pelo modelo de RNA treinado no neurônio i ; e

n : número de eventos.

Em seguida, calcula-se a variância dos valores observados (S_y) para se observar a sua tendência em relação à reta de regressão (equação 4.3).

$$S_y^2 = \frac{n \left(\sum_{i=1}^n y_i^2 \right) - \frac{\left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2}{n}}{(n - 2)} \quad (4.3)$$

em que:

$(S_y)^2$: variância dos valores observados;

y_i : saída gerada pelo modelo de RNA treinado no neurônio i ; e

n : número de eventos.

Por fim, o valor do coeficiente de determinação (r^2) é calculado (equação 4.4):

$$r^2 = \frac{S_y^2 - S_e^2}{S_y^2} = 1 - \frac{(s_e)^2}{(s_y)^2} \quad (4.4)$$

em que:

$(S_e)^2$: erro padrão da estimativa; e

$(S_y)^2$: variância dos valores observados.

4.7 DEFINIÇÃO DA INTERFACE DE APLICAÇÃO

Devido ao fato da técnica utilizada neste trabalho possuir elementos que dificultariam a sua utilização por uma comunidade de usuários menos habituados com os mesmos, se fez necessário o uso de uma Interface de Aplicação.

Optou-se, para esta pesquisa, por simular o comportamento da RNA melhor estruturada por meio de uma interface desenvolvida no *software* Microsoft Excel 2010, planilha eletrônica de operação bastante difundida.

Para se replicar uma RNA treinada em planilha eletrônica, se faz necessário a consideração dos seguintes dados: função de ativação utilizada pelo simulador, arquitetura da rede associada e valores dos pesos das conexões entre nós e dos *bias* associados a cada nó.

De posse desses dados, parte-se para a replicação do modelo treinado e validado, obedecendo à sua arquitetura, isto é o número de neurônios presentes em cada camada. Convém destacar que a formulação matemática da função de ativação para as Redes Neurais Artificiais do tipo MLP foi mostrada no capítulo três e os pesos das conexões foram calculados aleatoriamente e fornecidos pelo *software* Easy NN Plus.

Posto isto, a “inteligência” da planilha eletrônica estará inspirada matematicamente no funcionamento uma Rede Neural Artificial treinada, em conformidade com os passos descritos no capítulo três.

4.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O MÉTODO desenvolvido nesta tese é composto de três etapas inter-relacionadas, intituladas: Primeiro Procedimento Experimental, Segundo Procedimento Experimental e Desenvolvimento da Interface de Aplicação.

Convém destacar que o MÉTODO pode ser aplicado a qualquer categoria de produtos, desde que sejam respeitadas as suas especificidades.

O desenvolvimento de uma Interface de Aplicação se deve à intenção de tornar mais efetivo o uso da técnica das Redes Neurais Artificiais e de alcançar uma parcela maior de usuários não especializados, isto é alunos de graduação ou profissionais pouco experientes, com vistas a auxiliar a tomada de decisão em relação às intervenções a serem executadas na seleção de materiais durante o processo de projeto de produtos.

As inferências sobre o detalhamento do MÉTODO desenvolvido nesta tese, feitas neste capítulo, além de fornecer ao leitor uma noção exata dos procedimentos executados em todas as etapas, possibilita um melhor acompanhamento da aplicação do mesmo ao estudo de caso realizado utilizando-se as embalagens para produtos cosméticos, de higiene pessoal e perfumes, assunto a ser tratado no próximo capítulo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANVISA. Farmacopéia Brasileira. Brasília, 2010.

ANYADIKE, N. **Embalagens flexíveis**. São Paulo: Editora Blucher, 2010.

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

ASHBY, M.; JOHNSON, K. **Materiais e design - arte e ciência da seleção de materiais no design de produto**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

ASHBY, M.; SHERCLIFF, H.; CEBON, D. **Materiais: engenharia, ciência, processamento e projeto**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

VAN BEZOOYEN, A. **Material Explorer–Selection support tool for designers**. Faculdade de design Industrial e Engenharia de Delft, Delft: 2002.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A.; SILVA, R. **Metodologia científica**. 6ª edição. Editora Prentice Hall Brasil. São Paulo, 2007.

COLES, R. E. **Estudo de embalagens para o varejo**. São Paulo: Editora Blucher, 2010.

FACHIN, O. **Fundamentos de metodologia**. Editora Saraiva. São Paulo, 2006.

INSTITUTO DE EMBALAGENS. **Embalagens: design, materiais, processos e máquinas**. São Paulo: Instituto de Embalagens, 2010.

_____. **Embalagens: design, materiais, processos, máquinas e sustentabilidade**. São Paulo: Instituto de Embalagens, 2011.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. de A. **Fundamentos da metodologia científica**. São Paulo: 6ª edição, Atlas, 2010.

SEVERINO, A. J. **Metodologia do trabalho científico**. São Paulo: 23ª edição, Cortez, 2008.

TWEDE, D; GODDARD, R. **Materiais para embalagens**. São Paulo: Editora Blucher, 2010.

YIN, R.K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Porto Alegre: 3ª edição, Bookman, 2005.

CAPÍTULO 5

Estudo de Caso

SUMÁRIO

CAPÍTULO 5

ESTUDO DE CASO

5.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	98
5.2	COSMÉTICOS	99
5.2.1	Definições e Conceitos Relevantes	99
5.3	RESULTADOS OBTIDOS.....	101
5.3.1	Resultados Obtidos no Primeiro Procedimento Experimental	101
5.3.2	Resultados Obtidos no Segundo Procedimento Experimental	109
5.3.3	A Interface de Aplicação	116
5.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	117
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	118

CAPÍTULO 5

ESTUDO DE CASO

Este capítulo trata da aplicação do MÉTODO desenvolvido ao estudo de caso que tem como objeto parte do setor de cosméticos, perfumes e produtos de higiene pessoal.

Para a aplicação do MÉTODO, foram examinados periódicos especializados, catálogos, softwares, ferramentas e vasto material bibliográfico, de onde se selecionou produtos de referência para o setor. O conjunto inicialmente escolhido é composto por 20 variáveis que exploram 951 produtos analisados, para posterior nova seleção a fim de compor o universo de treinamento para o modelo de rede neural objetivado.

Depois de analisar, relacionar e novamente selecionar as características relevantes, foram executadas, de acordo com o descrito no capítulo quatro, as três etapas subsequentes do MÉTODO.

A disposição dos três tópicos abordados no presente capítulo é a seguinte: inicialmente são descritos alguns conceitos relevantes para o setor de embalagens de cosméticos, perfumes e higiene pessoal, eleito para o estudo de caso. Posteriormente seguem, em dois itens distintos, a descrição e análise dos resultados relativos à aplicação do MÉTODO, sucessivamente obtidos da execução do Primeiro Procedimento Experimental, do Segundo Procedimento Experimental e do desenvolvimento da Interface de Aplicação.

5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O MÉTODO desenvolvido nesta tese se propõe utilizar a técnica das Redes Neurais Artificiais para estruturar e avaliar um modelo de previsão dos materiais e processos de fabricação com fins de possibilitar aos estudantes e profissionais de design uma aproximação com as informações disponíveis sobre seleção de materiais para produtos. Para isto, foi decidido aplicá-lo ao setor de embalagens de cosméticos,

perfumes e higiene pessoal por ser composto de produtos de baixa complexidade, compostos por um ou poucos materiais.

5.2 COSMÉTICOS, PERFUMES E PRODUTOS DE HIGIENE PESSOAL

5.2.1 Definições e Conceitos Relevantes

Produtos de Higiene Pessoal, Cosméticos e Perfumes, são definidos segundo a Agência Nacional de Vigilância Sanitária como preparações constituídas por substâncias naturais ou sintéticas, de uso externo, cujo objetivo é limpar, perfumar, alterar a aparência e ou corrigir odores corporais (ANVISA, 2005).

Os produtos desta categoria encontram-se subdivididos em dois grupos, a saber, produtos de grau um ou dois, classificados em função da probabilidade de ocorrência de efeitos não desejados devido ao uso inadequado do produto, sua formulação, finalidade de uso, áreas do corpo a que se destinam e cuidados a serem observados quando de sua utilização. Destaque-se que os cosméticos de Grau um não podem ter indicações específicas como ação anticaspa, antiqueda, antiacne, anticelulite, etc.

Dentre a extensa lista de produtos pertencentes a esta categoria, considerou-se, para este estudo: perfumes, xampus, condicionadores, hidratantes, produtos para barbear, produtos pós-barba e sabonetes, nas suas várias formas cosméticas.

Portanto se faz importante expor a seguir algumas definições sobre as formas cosméticas consideradas neste trabalho.

- **Solução:** Produto da dissolução de uma substância em um líquido, formando um sistema homogêneo. Ex: óleo bronzeador, colônia, perfume, óleos, xampu, desodorante, etc;
- **Suspensão:** Sistema heterogêneo formado por duas fases: fase externa ou contínua (veículo), líquida ou semi-sólida e, fase interna ou dispersa, partículas sólidas insolúveis na fase externa. Ex: xampu, bloqueador solar, esfoliante

corporal, esfoliante para o rosto, loção secativa, delineador para olhos, brilho labial, base facial, rímel, etc;

- Spray: Solução aquosa ou oleosa sob a forma de gotículas extremamente divididas para uso tópico. Ex: frasco com válvula spray, como perfume, bloqueador solar, colônia, desodorante, etc;
- Emulsão ou creme: Sistema constituído de duas fases que podem ser dois líquidos, ou líquido e sólido, ou líquido e gás, onde os dois são completamente imiscíveis. Uma das substâncias, geralmente o líquido, é disperso no outro e ele permanece no sistema em estado de pequenas gotículas. Proporcionam consistência ou viscosidade, estabilidade, comportamento na aplicação na pele, cor e odor. Ex: loções cremosas (emulsão líquida) e cremes (emulsão semi sólida) como: hidratante corporal, condicionador, protetor solar, cremes desodorantes, creme para pentear, creme para massagem corporal, máscara capilar, formulações cremosas para tingimento, etc;
- Gel: Sistema semi-sólido transparente constituído por dispersões de gelificantes em um líquido. Géis são transparentes porque são sistemas monofásicos contendo somente materiais hidro ou lipossolúveis. Ex: bronzeador, gel capilar, gel esfoliante, gel depilatório, xampu em gel, etc;
- Aerossol: Sistema auto-contenedor de jato pressurizado projetado para dispersar vários tipos de produtos. Ex: desodorante, fixador, espuma de barbear, etc.

Por fim, os produtos cosméticos, segundo a Lei 6360/76 são sujeitos às normas de vigilância sanitária. Outros documentos que regulam o setor de Cosméticos, Higiene Pessoal e Perfumes são:

- RDC nº 210, de 4 de agosto de 2003: Boas Práticas de Fabricação;

- Resolução RE nº 1450 de 11 de setembro de 2001: institui e aprova o Certificado de Boas Práticas de Fabricação para Cosméticos, Produtos de Higiene Pessoal e Perfumes;
- RDC 211 de 14 de julho de 2005: estabelece a Definição e a Classificação de Produtos de Higiene Pessoal, Cosméticos e Perfumes;
- Res. 335/99 e Res. 211/05: identificam os produtos de higiene pessoal, cosméticos, perfumes e produtos infantis para fins de registro ou notificação e os classificam em dois graus. Produtos de grau 1 (um) e produtos de grau 2 (dois).

A ANVISA disponibiliza ainda guias para produtos cosméticos: Guia para Avaliação de Segurança de Produtos Cosméticos; Guia de Estabilidade de Produtos Cosméticos e Guia de Controle de Qualidade de Produtos Cosméticos.

5.3 RESULTADOS OBTIDOS

5.3.1 Resultados Obtidos no Primeiro Procedimento Experimental

5.3.1.1 Coleta de dados

O conjunto escolhido para ser objeto deste estudo foram sete categorias de produtos cosméticos, classificados de acordo com a Anvisa (2005), perfazendo um total de 951 itens. Esta primeira variável considerada é denominada Tipo de Produto (TP) e inclui os itens: perfumes, xampus, condicionadores, hidratantes, produtos para barbear, produtos pós-barba e sabonetes, nas suas variadas formas cosméticas.

Por meio do acesso a ferramentas, softwares, catálogos e banco de dados virtuais sobre materiais e produtos, foram realizadas consultas acerca de suas propriedades e características no que diz respeito a outras vinte variáveis descritas a seguir.

1. Forma do Produto (FP): dentre as diversas formas nas quais os produtos cosméticos podem ser formulados, constam: líquidos (soluções, suspensões e sprays), aerossóis, géis, emulsões ou cremes e sólido;
2. Forma da Embalagem (FEM): constituem os recipientes ou envoltórios nos quais os produtos cosméticos podem ser embalados (embalagem primária). Para este levantamento foram estabelecidos: envoltórios, bisnagas, potes, frascos, latas ou tubos;
3. Tipo de Fechamento (TFE) da embalagem primária. Pode ser solda ou cola, tampa e válvula com tampa. As tampas podem ser rosca, disktop, fliptop, pump, spraycap e encaixe;
4. Cor da embalagem primária (CEM). Definida por: sem cor (incolor), uma cor, duas cores, multicolor;
5. Cor do fechamento da embalagem primária (CFE). Definida por: sem cor (incolor), uma cor, duas cores, multicolor;
6. Nível de transparência da embalagem primária (TEM). Definida por: transparente (deixa passar a luz), translúcida (deixa passar a luz parcialmente), opaca (não deixa passar a luz);
7. Nível de transparência do fechamento da embalagem primária (TFE). Definida por: transparente (deixa passar a luz), translúcida (deixa passar a luz parcialmente), opaca (não deixa passar a luz). No caso das embalagens de vidro pode-se ter mais um nível, o degrade opaco – translúcido;
8. Nível de brilho da embalagem primária (BEM). Definido por: fosco, acetinado, brilhante, brilhante e fosco. Este último visto em alumínio quando numa embalagem ou fechamento é aplicado jateamento numa base polida, por exemplo;
9. Nível de brilho do fechamento da embalagem primária (BFE). Definido por: fosco, acetinado, brilhante, brilhante e fosco.

10. Nível de textura da embalagem primária (TXEM). Definida por: liso, texturizado;
11. Nível de textura do fechamento da embalagem primária (TFE). Definida por: liso, texturizado;
12. Decoração da Embalagem com Estímulo Visual (DEMV). Relaciona-se à decoração que pode ser feita na embalagem primária ou na rotulagem. Alguns dos estímulos mapeados foram: cor sólida, alto brilho, cintilante, iridescente, fosforescente, metalizado e perolizado;
13. Decoração da Embalagem com Estímulo Tátil (DEMT). Relaciona-se à decoração que pode ser feita na embalagem primária ou na rotulagem. Pode ser aveludado, emborrachado ou relevo;
14. Decoração da Embalagem com Estímulo Olfativo (DEMO). Relaciona-se à decoração que pode ser feita na embalagem primária ou na rotulagem. Podem ser adicionados aromas ou fragrâncias em rótulos por meio de tintas e vernizes especiais;
15. Reaproveitamento Embalagem (REM). Diz respeito ao potencial de reciclagem relacionado ao material seja da matéria prima ou por incineração. Classificado segundo Ashby e Johnson (2011) em baixo, médio e alto;
16. Reaproveitamento Fechamento (RFE). Diz respeito ao potencial de reciclagem relacionado ao material seja da matéria prima ou por incineração. Classificado segundo Ashby e Johnson (2011) em baixo, médio e alto;
17. Material da Embalagem (MEM). Foram coletadas informações sobre variedades de produtos confeccionadas com os mais diversos materiais;
18. Material do Fechamento (MFE). Foram coletadas informações sobre variedades de fechamentos confeccionados com os mais diversos materiais;

19. Processo de Fabricação da Embalagem (PEM). Para os produtos cujas informações foram coletadas, associaram-se um ou mais processos de fabricação de acordo com o tipo de produto e forma da embalagem;

20. Processo de Fabricação do Fechamento (PFE). Para os produtos cujas informações foram coletadas, associaram-se um ou mais processos de fabricação de acordo com o tipo de fechamento e forma da embalagem;

5.3.1.3 Resultados Obtidos

Inicialmente foram identificados vinte e sete tipos de materiais e combinações de materiais para os produtos cosméticos selecionados para este estudo. Além disso, foram levantados onze processos de fabricação relacionados a esses materiais. Por sua vez, foram cadastrados dezoito tipos de materiais para fechamento de embalagens e quatro processos de fabricação a eles associados.

Também foram coletados dados sobre outras variáveis, a saber, tipo de produto, forma do produto, forma da embalagem, tipo de fechamento, cor, transparência e brilho da embalagem e do fechamento, reaproveitamento da embalagem e do fechamento, assim como decoração de ambos.

A figura 5.1 apresenta as porcentagens dos principais materiais identificados para as embalagens coletadas. Não foram postos no gráfico os materiais com baixa ocorrência como, por exemplo, os polímeros PMMA, POM, ABS, SAN, papel cartão e papelão, cujas porcentagens foram respectivamente 0,4%; 0,2%, 0,4%, 0,2%, 0,5% e 0,3%. Nota-se pela figura 5.1 que os materiais poliméricos têm expressiva participação no setor de cosméticos, embora o alumínio e o vidro marquem a sua posição.

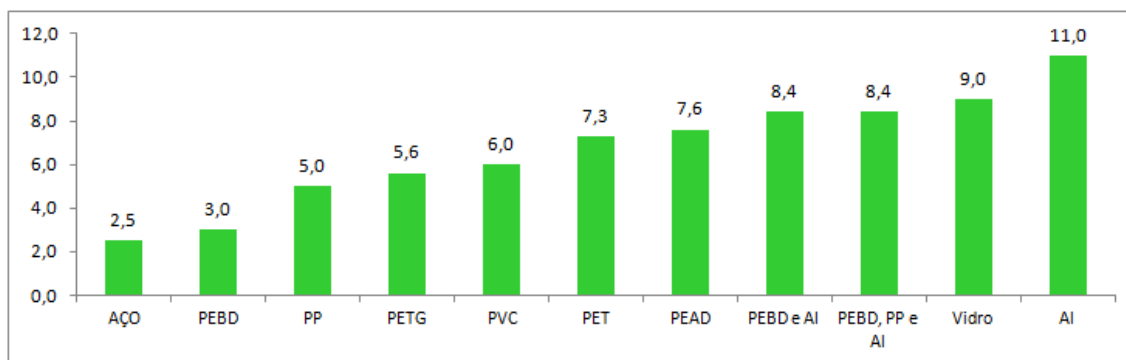


Figura 5.1: porcentagens dos principais materiais identificados em embalagens

Ainda sobre a ocorrência dos materiais, a figura 5.2 expõe a frequência da aplicação dos mesmos nos fechamentos das embalagens.

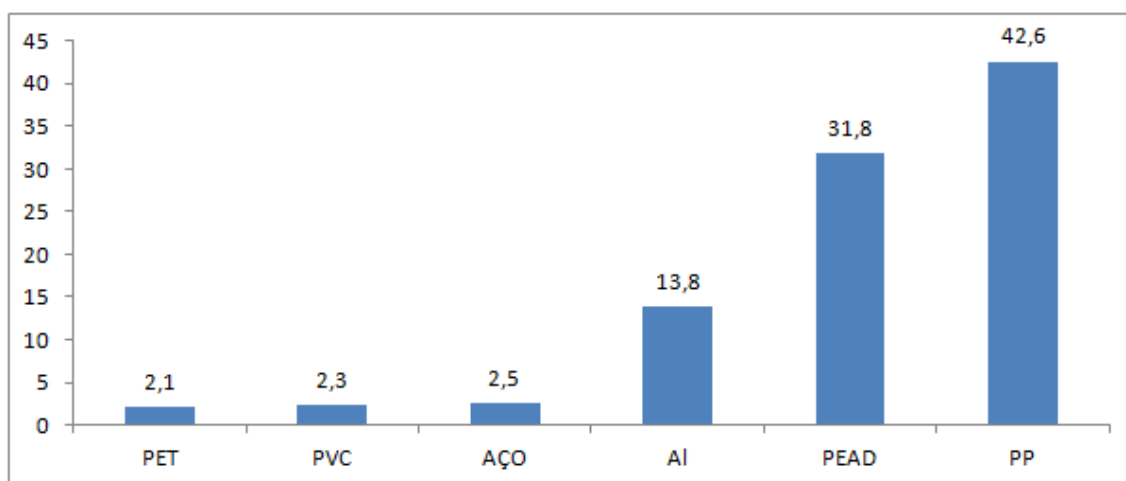


Figura 5.2: porcentagens dos principais materiais identificados nos fechamentos

Ressalte-se que para os fechamentos, não foram postos no gráfico os materiais com baixa frequência, tais como: ABS, PCTA, PMMA, Surlyn e Eastar, cujas porcentagens são respectivamente 0,53, 0,73, 0,60, 1,7 e 0,50. Percebe-se que o polipropileno (PP) e o polietileno de alta densidade (PEAD), dois materiais poliméricos, mantêm expressivas posições, mas seguido pelo alumínio que pode ser empregado para tampas rosca, válvulas spray, além de detalhes para outros tipos de fechamento.

Observa-se na figura 5.3 a ocorrência da aplicação em embalagens e nos fechamentos dos materiais em comum identificados. Nota-se que tanto nas embalagens quanto nos fechamentos, os polímeros PEAD e PP têm expressiva frequência, como materiais de fechamento, seguido pelo alumínio.

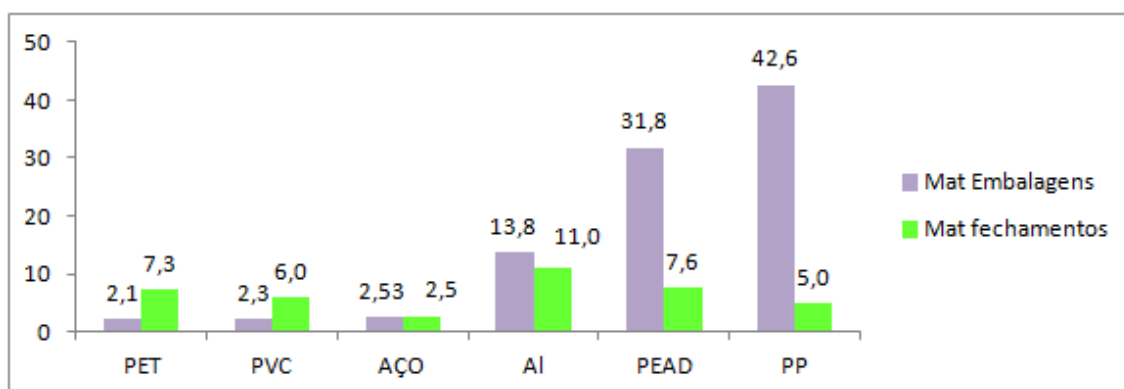


Figura 5.3: porcentagens dos principais materiais identificados em embalagens e nos fechamentos

Outra importante variável identificada é a forma da embalagem, apresentada na figura 5.4 e classificada em sete categorias: bisnaga, envoltório, frasco, lata, pote e tubo. Nota-se a grande ocorrência das bisnagas, frascos e potes para o setor cosmético. O envoltório é praticamente utilizado só para sabonetes e em pequena escala para xampus sólidos, visto que este produto é, em geral, fabricado de modo artesanal.

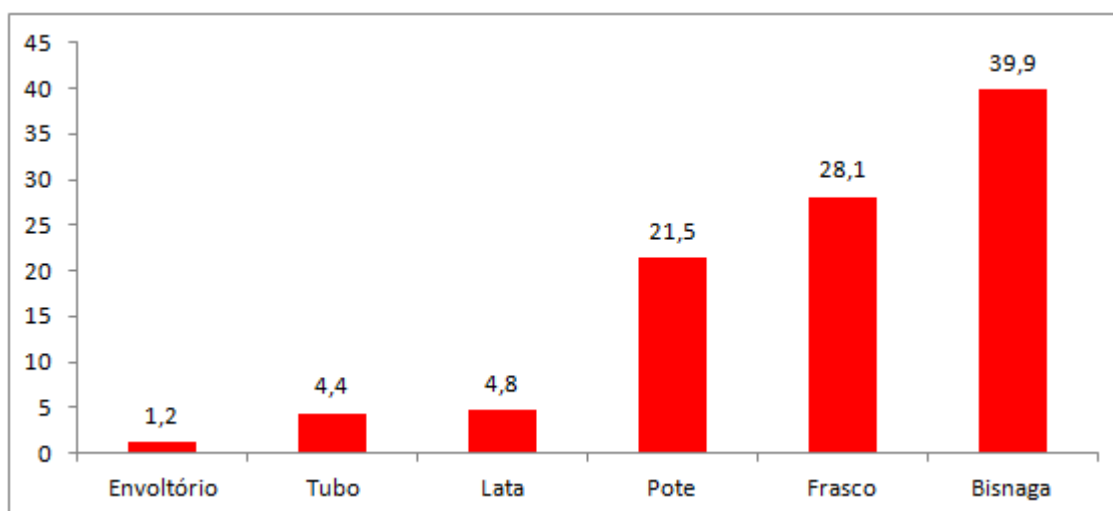


Figura 5.4: Formas das embalagens identificadas

Foram tabulados também os dados referentes aos processos de fabricação associados aos materiais identificados. Encontram-se apresentados na figura 5.5 nomeados por abreviações. São eles: Dobragem e Selagem (DS), Moldagem por Injeção e sopro (IS), Soprado soprado (SSO), Estampagem e estiramento (EE), Prensado soprado (PS), Extrusão por impacto (EI), Extrusão ou coextrusão (EC),

Moldagem por Injeção ou co injeção (IC), Moldagem por Injeção estiramento e Sopro (ISBM), Moldagem por Sopro na extrusão ou coextrusão (SE) e Laminação (L).

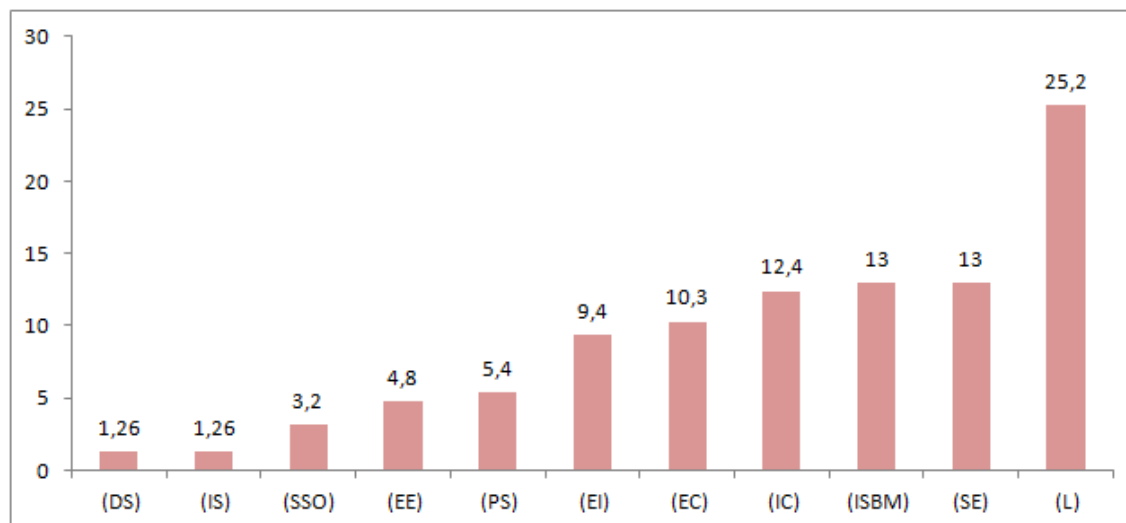


Figura 5.5: porcentagens dos processos de fabricação associados aos materiais identificados

Observa-se nas figuras 5.4 e 5.5 a predominância das bisnagas laminadas, frequentemente encontradas em embalagens de cosméticos. Em seguida estão os frascos soprados e os potes injetados. A tabela 5.1 relaciona os materiais com alguns processos associados a eles.

Tabela 5.1: Exemplo de associação entre materiais e processos

MATERIAL	PROCESSO ASSOCIADO	FORMA DA EMBALAGEM
Alumínio	Extrusão por impacto (EI)	Bisnagas, frascos, tubos
Alumínio	Estampagem e estiramento (EE)	Latas
Aço	Estampagem e estiramento (EE)	Latas
Vidro	Prensado soprado (PS)	Potes
Vidro	Soprado soprado (SSO)	Frascos
PET	Injeção estiramento e Sopro (ISBM)	Frascos, potes
PEAD	Extrusão ou coextrusão (EC)	Bisnagas, frascos
PEAD	Injeção ou co injeção (IC)	Frascos, potes
PEAD	Sopro na extrusão ou coextrusão (SE)	Frascos
PVC	Extrusão ou coextrusão (EC)	Bisnagas, frascos
PVC	Injeção ou co injeção (IC)	Frascos, potes
PVC	Sopro na extrusão ou coextrusão (SE)	Frascos
PP	Injeção ou co injeção (IC)	Potes

Os processos associados aos materiais de fechamento podem ser vistos na figura 5.6. Nota-se que estes estão em menor número que os processos vinculados aos materiais das embalagens. Isto se dá pelo fato da maior parte dos fechamentos serem tampas poliméricas as quais são frequentemente moldadas por injeção ou co injeção. Os outros processos estão relacionados às tampas de aço e alumínio e, ao fechamento do envoltório por selagem.

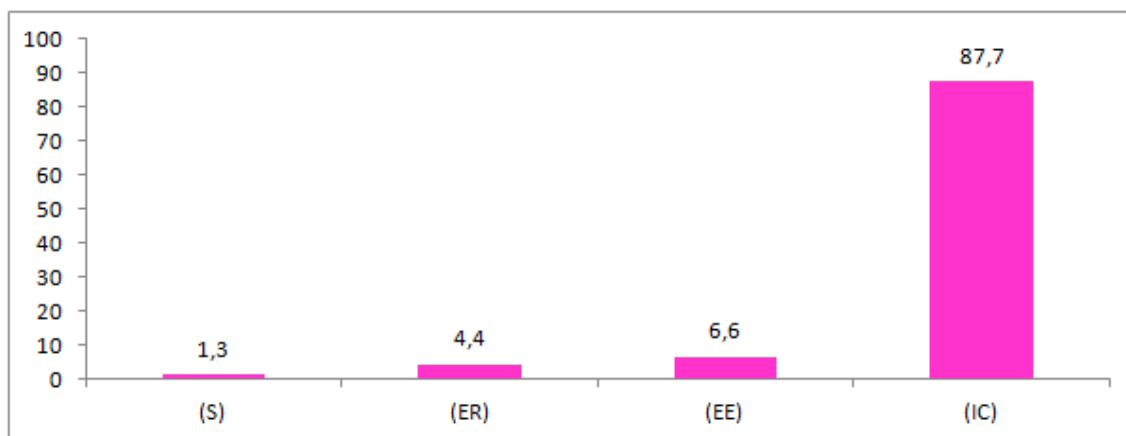


Figura 5.6: processos associados aos fechamentos das embalagens identificadas e registradas

Quanto ao tipo de fechamento, dentre os inúmeros existentes, selecionou-se oito para este trabalho. São eles: tampa rosca (RSC), tampa disktop (DKT), tampa fliptop (FLTP), tampa pump, tampa encaixe (ENC), spraycap (SPRC) e válvula spray com sobretampa (SPRST). Os dados referentes à ocorrência do tipo de fechamento estão mostrados na figura 5.7. Observa-se que a tampa de rosca domina, mas há uma crescente tendência para a utilização das tampas fliptop em bisnagas, frascos e até potes.

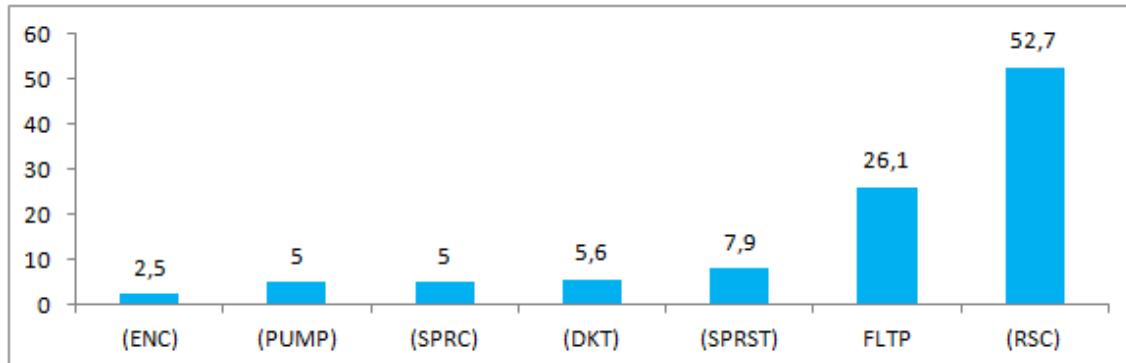


Figura 5.7: Tipos de fechamento ocorrentes nas embalagens identificadas e registradas

Por fim, estão apresentadas na tabela 5.2 as relações estabelecidas a partir dos dados coletados entre forma da embalagem e tipo de produto. Estas associações se fizeram importantes visto o objetivo de tornar o modelo de rede neural artificial a ser treinado e validado no segundo procedimento experimental, próximo à realidade dos dados.

Tabela 5.2: Exemplo de associação entre tipo de produto e forma da embalagem

TIPO DE PRODUTO	FORMA DA EMBALAGEM
Xampu, condicionador, hidratante, barbear, pós-barba, sabonete e perfume	Frasco plástico
Xampu e condicionador	Frasco alumínio
Perfumes e pós-barba	Frasco vidro
Xampu, condicionador, hidratante, barbear e pós-barba	Bisnaga plástica
Xampu, condicionador, hidratante e barbear	Bisnaga laminada
Hidratante	Bisnaga alumínio
Condicionador e hidratante	Lata aço
Condicionador e hidratante	Lata alumínio
Hidratante e perfume sólido	Pote vidro
Hidratante, condicionador e barbear	Pote plástico
Hidratante, perfume, barbear e pós barba	Tubo alumínio
Sabonete e xampu sólidos	Envoltório

5.3.2 Resultados Obtidos no Segundo Procedimento Experimental

Uma vez definidos os conjuntos de dados, feitas as partições, propõem-se algumas topologias, para então ter início o processo de treinamento no simulador adotado.

As arquiteturas propostas diferem em dois aspectos descritos a seguir:

- a) variáveis de entrada e de saída: podem ser definidas conforme o tipo de problema a ser resolvido. Para este estudo foram propostas cinco arquiteturas principais: 12 – X – 8, 14 – X – 6, 6 – X – 4, 4 – X – 6 e 4 – X – 1. Para todas as topologias propostas, tanto as variáveis de entrada quanto as de saída foram definidas como inteiras. Ressalte-se que na topologia 12 – X – 8 por exemplo, há doze neurônios na camada de entrada, um número variável na camada intermediária e oito neurônios na camada de saída. Note-se ainda que para esta configuração as

variáveis coletadas: cor, brilho, transparência e textura estão incluídas, assim como a variável de saída, decoração da embalagem;

- b) quanto ao número de neurônios intermediários: esta escolha, em geral, é feita por experimentação, isto é: faz-se necessário testar redes com várias arquiteturas. Ressalte-se que cada configuração deve ser testada para todos os três conjuntos de dados. Para este estudo foram realizados 36 treinamentos para cada topologia proposta, variando os parâmetros de números de neurônios intermediários, taxa de aprendizagem e momentum.

Definidas as topologias propostas, foi dado início ao processo de aprendizado da rede, a dizer: treinamento e validação.

Em uma primeira abordagem foram submetidas a treinamento as redes com as arquiteturas do tipo 12 – X – 8, cujas variáveis de saída foram definidas como inteiras. Em seguida foram submetidas as redes com arquitetura do tipo 14 – X – 6, para as quais todas as variáveis foram definidas como reais. Também foram submetidas ao treinamento, as topologias 6 – X – 4 e 4 – X – 6.

Após diversas tentativas de treinamento com as topologias propostas, não foram obtidos resultados satisfatórios. Os treinamentos foram iniciados, mas, mesmo variando os valores de *momentum* e taxa de aprendizagem, não houve êxito. Apesar da taxa de validação atingir valores altos, fato indicativo de que a rede conseguiu extrair regras dos exemplos apresentados, o erro médio não se manteve dentro do valor estabelecido (0,05), ou seja: a rede não aprendeu. Vale lembrar que, de acordo com a literatura especializada, normalmente se exige que o erro médio durante o treinamento e validação seja inferior a 5%.

Diante dessa circunstância, optou-se por uma segunda abordagem para o problema dos dados: testar outra estrutura de dados. Optou-se por uma topologia, 4 – X – 1, quatro neurônios na camada de entrada, um número variável de neurônios na camada intermediária e, um neurônio na camada de saída. O desafio foi que, apesar da

redução na quantidade de entradas e saídas, estruturar um modelo que previsse os materiais e os processos de fabricação numa única saída.

Iniciou-se uma nova análise dos dados a fim de relacionar o material e processo com o maior número de variáveis possível. A tabela 5.3 apresenta um exemplo das associações estabelecidas. Feito isso para cada um dos 951 itens catalogados, foi proposta uma nova topologia, $4 - X - 1$, com quatro neurônios na camada de entrada, um neurônio na camada de saída e um número variável de neurônios na camada intermediária.

Tabela 5.3: Exemplo de associação entre as variáveis

FORMA E MAT DA EMB	PROCESSO EMB	TIPO DE PROD	FORMA PROD	REAPROVEITAMENTO EMB
Bisnaga AL	Extrusão por impacto	Hidratante	Gel ou creme	Alto
Frasco VIDRO	Soprado soprado	Perfume	Líquido	Alto
Envoltório BOPP	Dobragem e selagem	Sabonete	Sólido	Baixo
Pote PP	Injeção	Condicionador	Gel ou creme	Médio

Os novos valores de variáveis de entrada e saída com os quais a rede de arquitetura $4 - X - 1$ foi treinada são os seguintes: as entradas Tipo de Produto, Forma do Produto, Forma Embalagem e Reaproveitamento Embalagem; e a saída Material e Processo Embalagem. As variáveis selecionadas encontram-se detalhadas a seguir.

1. Tipo de Produto: dividido em sete classes, a saber, produto para barbear, condicionador, hidratante, perfume, produto pós-barba, sabonete e xampu;
2. Forma do Produto: dividida em quatro classes, a saber, aerossol, gel ou creme, líquido e sólido;
3. Forma da Embalagem: dividida em seis classes, a saber, bisnaga, envoltório, frasco, lata, pote e tubo.
4. Reaproveitamento Embalagem: dividido três classes, a saber, baixo, médio e alto.

5. Materiais e Processos Embalagem: divididos em quinze classes separadas pelas cores e apresentadas na figura 5.8.

AL (Extrusão por impacto)
PEAD - PEBD - PEAD E PEBD - PVC (Extrusão ou Coextrusão - Heading - Decoração e Capping)
PEBD E EVOH - PEBD EVOH E ADFLEX - SURLYN E EVOH (Coextrusão - Heading - Decoração e Capping)
PEBD E AL - PEBD PP E AL - PET E AL (Laminação - Decoração - Formação do tubo - Heading e Capping)
PEAD - PEBD - PVC (Moldagem por sopro na extrusão)
PEAD E PEBD - PEAD E ADFLEX - PEBD E ADFLEX (Moldagem por sopro na coextrusão)
PET - PETG (Moldagem por injeção estiramento e sopro)
PP (Moldagem por sopro na extrusão ou coextrusão - frascos / Moldagem por injeção - potes)
PEAD - PET - PETG - PVC (Moldagem por injeção)
AL (Extrusão por impacto)
PET (Moldagem injeção estiramento e sopro)
AL - AÇO (Estampagem e estiramento)
PEAD - PVC (Moldagem por injeção)
PET - PETG (Moldagem por injeção estiramento e sopro)
VIDRO (Prensado Soprado)
VIDRO (Soprado soprado)
PET (Moldagem por injeção estiramento e sopro)
ABS - SAN (Moldagem por injeção e sopro)
PMMA (Moldagem por injeção e sopro)
VIDRO (Prensado soprado)
PCTG - PET - PETG (Moldagem por injeção estiramento e sopro)
VIDRO (Soprado soprado)
PAPELÃO - PAPEL CARTÃO (Dobragem e selagem)
BOPP (Dobragem e selagem)

Figura 5.8: Materiais e Processos Embalagem considerados como saídas

Assim, para a nova topologia, $4 - X - 1$, foi utilizado um conjunto treinamento, validação e teste composto por 52 itens representativos do universo dos 951 itens anteriores com relação às variáveis eleitas.

De posse desses novos valores de entradas e saídas, reiniciou-se o treinamento no simulador, variando o número de neurônios intermediários, o *momentum* e a taxa de aprendizagem. Assim, contornado o problema inicial, foram escolhidos alguns modelos que se mantiveram dentro dos padrões estabelecidos: erro médio menor que 0,05 e taxa de validação superior a 85%.

Em seguida, submeteram-se esses modelos escolhidos à última etapa da simulação - o teste - cujo objetivo é representar o comportamento da RNA em uma situação real, isto é, mediante valores que não foram previamente apresentados a ela na etapa de treinamento.

O parâmetro usado como indicador do desempenho do modelo foi o erro quadrático médio (EQM), pois, quanto menor este erro no conjunto de validação, melhor a arquitetura de RNA a ele associada.

Depois de avaliar, cuidadosa e exaustivamente, a performance dos modelos de redes com diferentes configurações quanto ao número de camadas e neurônios intermediários, o modelo eleito como melhor opção foi o de arquitetura 4 – 10 – 1: quatro neurônios na camada de entrada, dez na camada intermediária e um na camada de saída, exposto na figura 5.9.

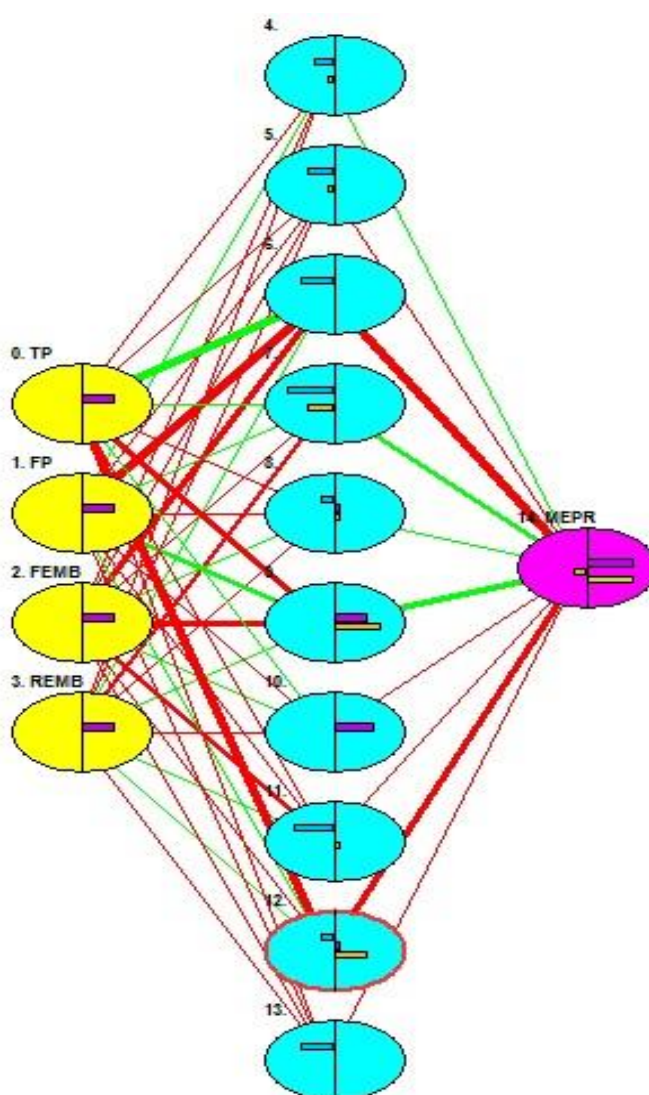


Figura 5.9: Arquitetura da RNA com melhor desempenho

Para se analisar até que ponto os valores estimados pelo modelo de RNA escolhido está relacionado com os valores reais, fez-se uso do coeficiente de determinação (r^2), medida estatística associada à dispersão dos pontos ao redor da curva de regressão, conforme explicado no capítulo quatro.

Para a topologia validada e testada, foram determinados o Erro Quadrático Médio no conjunto de dados de validação, assim como o coeficiente r^2 , e o desempenho médio da RNA (relação entre a quantidade de acertos e a quantidade de dados testados) a variável de saída, este último calculado no conjunto de dados de teste. Estes Parâmetros obtiveram os seguintes valores respectivamente: 0,5; 0,92 e 96%. Ressalte-se que quanto maior esses parâmetros mais fiéis são as relações entre as variáveis de entrada e saída extraídas pelo modelo.

Nas figuras 5.10 e 5.11, observa-se o gráfico do modelo de RNA eleito, onde estão expostas as curvas referentes aos erros mínimo, médio e máximo, durante a fase de aprendizado.

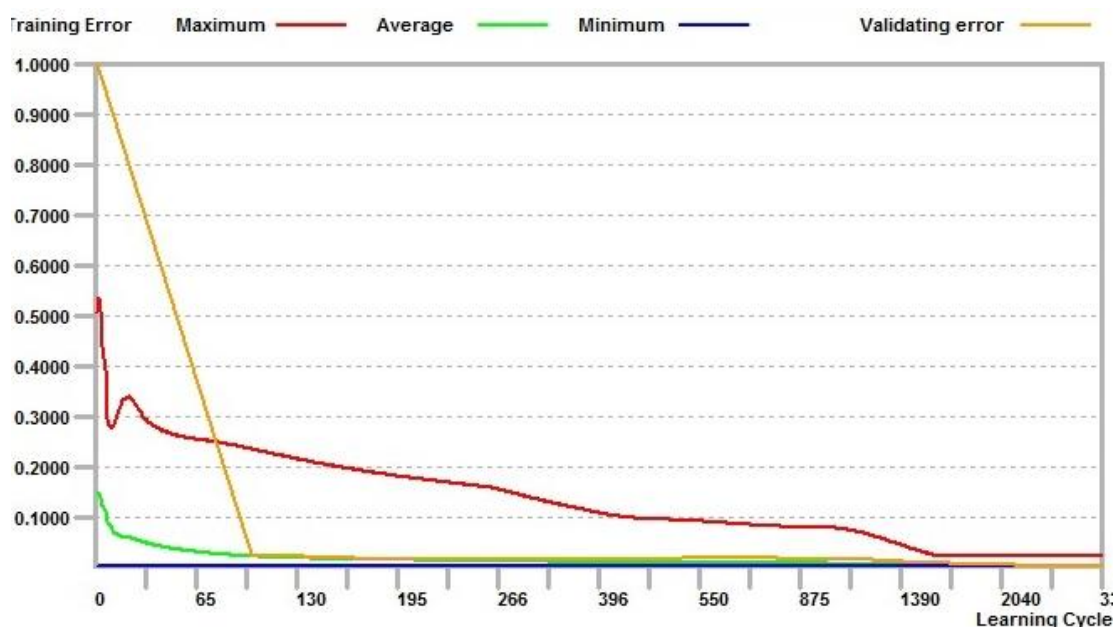


Figura 5.10: Gráfico da RNA com melhor desempenho

A figura 5.11 mostra que os critérios de parada para que o modelo seja considerado validado, obedecem aos padrões estabelecidos, isto é, erro médio menor ou igual a 0,05 e erro máximo inferior a 0,15.

Além disso, nota-se que do total de 13 exemplos de validação, o modelo eleito teve um desempenho de 92,3%, o que quer dizer que obteve êxito em 12 exemplos.

Learning rate:	0.60000000
Momentum:	0.80000000
Accelerator:	0.00000000
Max. Training error:	0.02040585
Ave. Training error:	0.00153365
Min. Training error:	0.00000000
Ave. Validating error:	0.00173174
Target error:	0.05000000
Training examples:	27
Validating examples:	13
Within 5.0% range.	Score: 12
Correct if rounded.	Score: 0
Validating: 92.31% OK	

Figura 5.11: Gráfico da RNA com melhor desempenho – parâmetros

A partir do melhor modelo, foi avaliada a influência das variáveis, por meio da técnica de *prunning* que consiste, como mencionado anteriormente, em anular os pesos e conexões não significativos. Os resultados dessa avaliação estão representados no gráfico exposto na figura 5.12, a seguir.

Column	Input Name	Importance	Relative Importance
0	TP	47.2916	
1	FP	39.4913	
2	FEMB	37.3891	
3	REMB	15.3161	

Figura 5.12: Importância das variáveis de entrada para o modelo de RNA eleito

De posse dos valores da importância das variáveis expressos em percentagens, pode-se excluir alguma variável cujo percentual a torne irrelevante, fato que depende do autor do estudo. Foram encontrados na literatura valores variados. Para este trabalho, optou-se por não excluir nenhuma das variáveis, visto que a variável de menor importância apresentou o percentual de 15%.

5.3.3 A Interface de Aplicação

Esta etapa cumpriu o objetivo de conferir maior efetividade à aplicação da técnica das RNA e sintetiza uma das funções do MÉTODO desenvolvido no decorrer desta pesquisa, a saber, acumular um conhecimento que pode ser utilizado e atualizado pelos usuários e/ou implementadores. Ressalte-se que a outra função é contribuir para a capacitação de estudantes e profissionais de design, na medida em que o MÉTODO favorece a uma maior familiaridade com o setor de aplicação do mesmo.

A Interface de Aplicação do MÉTODO está representada por uma planilha desenvolvida no *software* Microsoft Excel 2010 que simula o funcionamento do modelo de RNA que obteve o melhor desempenho.

Pela observação do ambiente gráfico da planilha eletrônica apresentada na figura 5.13, constata-se a simplicidade que confere facilidade de operação ao usuário não habituado aos *softwares* sofisticados.

INTERFACE DE APLICAÇÃO			
REDES NEURAIS ARTIFICIAIS			
ENTRADAS			
TIPO DE PRODUTO 1 - Produto para barbear 2 - Condicionador 3 - Hidratante 4 - Perfume 5 - Produto Pós barba 6 - Sabonete 7 - Xampu	FORMA DO PRODUTO 1 - Aerosol 2 - Gel ou Creme 3 - Líquido 4 - Sólido	RESULTADO MATERIAIS E PROCESSOS 	
FORMA DA EMBALAGEM 1 - Biscnaga 2 - Envoltório 3 - Frasco 4 - Lata 5 - Pote 6 - Tubo	REAPROVEITAMENTO DA EMBALAGEM 1 - Baixo 2 - Médio 3 - Alto		

Figura 5.13: Interface de Aplicação do MÉTODO proposto

A disposição da planilha é bastante simples. Os campos a serem preenchidos pelo usuário estão dispostos no canto esquerdo e são denominados: tipo de produto, forma do produto, forma da embalagem e reaproveitamento da embalagem.

No canto direito da planilha, aparecem o campo que será preenchido automaticamente na medida em que esta seja alimentada com as entradas: as sugestões de materiais e processos de fabricação.

A tabela 5.3 apresenta os cálculos para a replicação.

Tabela 5.3: Cálculos para a replicação do comportamento do modelo de RNA validado

Cálculos					
Entradas Normalizadas	Pesos	Bias	NEtInput	Ativação	
	0,9	Intermediária/Saída		-2,7306211	0,061190473
	0,4	-0,629138	-1,209413	-3,9850665	0,018251883
	0,4	0,103140	-0,96815	2,9787868	0,951606532
	0,5	-0,801781	0,050339	-4,5187863	0,010784671
		-1,351055	-3,17002	-2,949928	0,049739915
		-1,784150	0,746152	-3,0215107	0,046463498
		-1,157778	4,68713	2,6226885	0,932307575
Saídas Reais		-0,579317	0,404437	-5,6061626	0,003661688
		-1,432687	0,856626	-6,3578143	0,001730152
1,0000		12,11907	3,886416	-3,7028191	0,024060735
		-12,590354	0,035088	-12,6354918	3,25442E-06
		-8,370219	-1,660734		
		0,811028			
		1,031263			
		3,585039			
		-2,823914			
		-5,162706			
		-3,161631			
		-3,380644			
		1,562160			
		-0,246437			
		-8,100642			
		6,705810			
		-8,935296			
		0,947463			
		4,811150			

É importante destacar, em relação à interface desenvolvida, sua facilidade para incluir características, isto é a possibilidade de atualização da mesma, bastando para isso que o modelo de Rede Neural Artificial escolhido seja treinado novamente e os novos valores dos pesos e dos *bias* sejam substituídos.

5.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta tese possibilita, por meio da Interface de aplicação, o uso mais efetivo por não especialistas, de uma técnica que dificilmente poderia ser aplicada por um usuário não familiarizado com modelagem matemática.

Uma das vantagens observadas com a utilização da Interface de Aplicação é o fato de as planilhas eletrônicas já serem largamente utilizadas. Conseqüentemente, a maior facilidade na implementação de soluções baseadas nesse ambiente computacional é justificada principalmente pela existência de um baixo nível de dificuldade em utiliza-las.

O desenvolvimento de uma interface compatível com usuários pouco ou não familiarizados com *softwares* sofisticados, neste caso, possibilita a utilização por uma parcela cada vez maior de não especialistas na operação desse aplicativo, o que não significa, porém, reduzir a atuação de profissionais especializados na construção de outros modelos pertinentes à previsão dos materiais e processos de fabricação com vistas a outras utilizações relevantes ao projeto de produtos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Resolução - RDC Nº 211**, DE 14 DE JULHO DE 2005. Brasília. 2005.

CAPÍTULO 6

Conclusões e Sugestões

SUMÁRIO

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

6.1	CONSIDERAÇÃO INICIAIS	120
6.2	ORIGINALIDADE E ADEQUAÇÃO DA APLICAÇÃO DO MÉTODO.....	120
6.3	PRINCIPAIS CONCLUSÕES.....	122
6.3.1	Quanto ao Primeiro Procedimento Experimental.....	122
6.3.2	Quanto ao Segundo Procedimento Experimental.....	123
6.3.3	Quanto à Interface de Aplicação	124
6.4	RESTRIÇÕES AO MÉTODO.....	124
6.5	SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES.....	125
6.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	126
ANEXO		129

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

6.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A execução da pesquisa aqui apresentada, conduzida no campo da seleção de materiais, demonstrou experimentalmente ser possível a concepção de um MÉTODO com base no uso da técnica das redes neurais artificiais com fins de estruturar e avaliar um modelo de previsão de materiais e processos a partir de atributos selecionados, com base na aprendizagem proporcionada por meio de exemplos que os relacionassem. Para tanto se utilizou uma Rede Neural Artificial do tipo *Multilayer Perceptron*, treinada com o algoritmo *Backpropagation*.

Considerando a pouca informação acessível sobre materiais para a maioria dos estudantes e profissionais de design, espera-se que este trabalho contribua para a capacitação desses usuários e permita a sua melhor inserção em equipes multidisciplinares. Além disso, o profissional pode por meio da aplicação do MÉTODO e ferramenta, construir um *know how* em determinada área ou categoria de produtos.

Neste capítulo destacam-se a adequação e a originalidade da pesquisa empreendida, bem como as principais conclusões, sugestões e recomendações para estudos futuros, resultantes da aplicação, do MÉTODO desenvolvido, aplicado neste trabalho ao setor de embalagens de cosméticos.

6.2 ORIGINALIDADE E ADEQUAÇÃO DA APLICAÇÃO DO MÉTODO

A pesquisa aqui apresentada tomou como foco a previsão de materiais e processos como forma de, desde que eficaz e otimizada, iniciar o estudante ou o

profissional de design ao acesso às informações sobre materiais, por meio de um MÉTODO de fácil implementação e baixo custo.

Como, normalmente, métodos e ferramentas que abranjam os materiais, processos, seus usos e relações importam em elevado custo, o quadro remete à necessidade da busca de alternativas eficazes, mas com razoável simplicidade e de baixo custo.

Para tal intento, analisaram-se técnicas que baseassem a classificação de padrões, tanto as mais convencionais como as emergentes. Este esforço culminou com a opção fundamentada pelo uso da técnica das Redes Neurais Artificiais para compor o núcleo de um método de previsão de materiais e processos a partir de atributos pré-determinados.

No entanto, se fez necessário o levantamento detalhado da realidade do setor de embalagens de cosméticos, para que se dispusessem dados confiáveis e idôneos que permitissem análises capazes de antever os tipos de materiais e processos utilizados decorrentes da reunião de diferentes atributos. Estas análises foram apoiadas pela adequação do método de seleção de materiais desenvolvido por Michael Ashby, aliadas à premissa defendida por Van Bezoooyen (2002), de que a seleção de materiais não é realizada apenas com base em propriedades dos materiais, mas, por meio das intrínsecas relações entre função, material, processo e forma.

Isto impingiu ao MÉTODO de previsão de materiais e processos de fabricação grande maleabilidade, ratificando o considerável sucesso com o qual a técnica das RNA vem sendo aplicada na área de design de produto, conforme demonstrado no capítulo três.

Ressalte-se que o trabalho que integrou a revisão bibliográfica não identificou, a partir das fontes nacionais bem como das estrangeiras, a existência de método específico para previsão de materiais e processos de fabricação que tenha recorrido à utilização da técnica das Redes Neurais Artificiais, o que vem qualificar a originalidade

e a tendência inovadora da pesquisa implementada, reservadas naturalmente ao foco de aplicação que foi proposto.

6.3 PRINCIPAIS CONCLUSÕES

6.3.1 QUANTO AO PRIMEIRO PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

6.3.1.1 Ocorrência dos materiais e processos identificados

- a) Para as embalagens primárias, os materiais poliméricos têm expressiva participação do setor de cosméticos, embora o alumínio e o vidro marquem a sua posição;
- b) Polímeros como PMMA, POM, ABS, SAN, papel cartão e papelão, cujas porcentagens foram respectivamente 0,4%; 0,2%, 0,4%, 0,2%, 0,5% e 0,3% têm aplicações específicas nas embalagens de cosméticos e por isso sua participação para este trabalho foi pequena;
- c) Para o fechamento das embalagens do setor cosmético, o polipropileno (PP) e o polietileno de alta densidade (PEAD), dois materiais poliméricos, mantêm expressivas posições, mas seguido pelo alumínio que pode ser empregado para tampas rosca, válvulas spray, além de detalhes para outros tipos de fechamento;
- d) Polímeros como ABS, PCTA, PMMA, Surlyn e Eastar, cujas porcentagens são respectivamente 0,53, 0,73, 0,60, 1,7 e 0,50, têm aplicações específicas nas embalagens de cosméticos e por isso sua participação para este trabalho foi pequena. Materiais como o Surlyn e o Eastar, utilizados em tampas para perfumes e potes para cremes de tratamento ainda estão em expansão;
- e) Os processos associados aos materiais de embalagem que apresentaram expressiva participação no setor em estudo foram a

laminação e a moldagem por extrusão ou coextrusão. Isto se deve à expansão da aplicação das bisnagas extrudadas e laminadas para vários produtos cosméticos. Também expressivos são os frascos soprados por extrusão ou coextrusão e os potes injetados;

- f) Sobre os processos associados aos materiais de fechamento, estes estão em menor número que os processos vinculados aos materiais das embalagens. Isto se dá pelo fato da maior parte dos fechamentos serem tampas poliméricas as quais são frequentemente moldadas por injeção ou coinjeção. Os outros processos estão relacionados às tampas de aço e alumínio e, ao fechamento do envoltório por selagem;
- g) Quanto ao tipo de fechamento, dentre os oito selecionados para este trabalho, a saber, tampa rosca (RSC), tampa disktop (DKT), tampa fliptop (FLTP), tampa pump, tampa encaixe (ENC), spraycap (SPRC) e válvula spray com sobretampa (SPRST), observou-se que a tampa de rosca lidera. Há também crescente tendência para a utilização das tampas fliptop em bisnagas, frascos e até potes.

6.3.2 QUANTO AO SEGUNDO PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

6.3.2.1 Variáveis de Entrada e Saída

- a) Observou-se que quanto mais relacionados estiverem os atributos de entrada e as saídas, maior a probabilidade da topologia de rede selecionada reconhecer os padrões presentes nos dados. Isto se confirmou com o rearranjo das variáveis de saída, que contribuiu sensivelmente para o êxito do modelo, o que foi constatado ao longo do meticuloso processo de treinamento e validação da Rede Neural Artificial.

6.3.2.3 Parâmetros de Desempenho

Os parâmetros de desempenho utilizados para análise do conjunto de dados de teste: erro quadrático médio, coeficiente de determinação e desempenho, apresentaram os valores de 0,5, 0,92 e 96% respectivamente;

6.3.2.4 Importância Relativa das Variáveis de Entrada

Observou-se que as variáveis: tipo de produto, forma do produto, forma da embalagem e reaproveitamento da embalagem representam, em ordem decrescente, a importância relativa de cada variável na previsão dos materiais e processos para este estudo. Os percentuais calculados foram 47,3%, 39,5%, 37,4% e 15,3% respectivamente para os atributos considerados.

6.3.3 QUANTO AO DESENVOLVIMENTO DA INTERFACE DE APLICAÇÃO

- a) Constatou-se que a Interface de Aplicação do MÉTODO, desenvolvida no *Microsoft Excel 2010*, simulou fielmente o comportamento da Rede Neural Artificial treinada, obtendo desempenho de 96%;
- b) Ressalte-se que esta interface pode ser atualizada desde que os valores correspondentes ao *bias* e aos pesos sejam substituídos.

6.4 RESTRIÇÕES AO MÉTODO

A aplicação do MÉTODO para o setor de embalagem de cosméticos permitiu a previsão dos materiais e processos de fabricação, a partir dos atributos selecionados: tipo de produto, forma do produto, forma da embalagem e reaproveitamento da embalagem.

Convém destacar o difícil acesso aos dados referentes à área de materiais, tanto em relação aos mesmos, quanto aos processos associados, quanto aos produtos que os utilizam. Isto se constituiu em um fator decisivo quanto ao tempo para a coleta de dados desta tese e posterior aplicação da técnica das Redes Neurais Artificiais.

Outra restrição para aplicação do MÉTODO é a necessidade da execução eficiente dos procedimentos descritos no capítulo quatro, com vistas à correta

adaptação das particularidades de outras categorias de produtos aonde o MÉTODO venha a ser aplicado.

O modelo de RNA eleito pode ser aplicável a outros setores bastando, para tanto, que se proceda à coleta de dados pertinente à área sob exame e a seleção dos atributos de acordo com as particularidades do setor.

6.5 SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES

O desenvolvimento da pesquisa sensibilizou a autora, primeiro, quanto às vastas possibilidades de aplicação da técnica das RNA na área de design do produto e em seguida para que a presente tese, longe de esgotar a investigação acerca do problema tomado como objeto, resultou num esforço de prospecção no tema para o qual não se pode prescindir da continuidade de maiores investimentos e dedicação às pesquisas.

Com apoio nestas premissas considera-se recomendável a montagem e o refinamento de uma base de dados atinente à área de produtos cosméticos ou outra categoria de produtos, consistente e que sirva às novas experiências que requeiram a utilização da técnica das RNA.

Sobressaem-se como sugestões decorrentes deste estudo: a utilização de outros simuladores de RNA, de outras espécies de RNA com a adequação dos recursos disponíveis às especificidades do problema de campo que se tomar como foco, em busca de cada vez melhores resultados bem como a verificação de diversas outras estruturas de RNA, à vista das inesgotáveis possibilidades, ao encontro da arquitetura mais conveniente para o tratamento do problema tomado como objeto.

Reconhece-se utilitário, conveniente e oportuno, o aperfeiçoamento do MÉTODO e do banco de dados interno ao mesmo com derivação e extensão para abrangência não só dos materiais e processos, mas também da decoração da embalagem ou rotulagem, duas fontes de estímulos táteis, visuais e olfativos para os usuários dos produtos cosméticos.

As constatações decorrentes do MÉTODO tendem a enriquecer as experiências com uso de RNA efetuadas na área de design do produto, já bem sucedidas, bem como motivar as pesquisas no campo de investigação científica correlato além de indicarem que é possível o desenvolvimento de ferramentas ágeis e de fácil manuseio para uso prático, que também sejam flexíveis e adaptáveis às outras aplicações na área de projeto de produto, tornando o uso das Redes Neurais Artificiais mais efetivo.

6.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos por meio da aplicação MÉTODO demonstraram que o modelo de Rede Neural Artificial eleito, quando submetido a uma situação real, isto é, mediante valores de entrada não previamente conhecidos por ele, apresentou um erro quadrático médio de 0,5, coeficiente de determinação médio (r^2) de 0,92 e um desempenho de 96%, o que supera os índices mínimos referidos na literatura especializada ratificando a viabilidade da RNA para reconhecimentos de padrões de materiais e processos de fabricação de acordo com atributos pré-estabelecidos.

A despeito das restrições descritas, a racionalização do processo de coleta de dados (típica do Primeiro Procedimento Experimental) aliada à disponibilidade da Interface de Aplicação favorece o uso do MÉTODO por usuários não especializados; o que condiz com a aplicabilidade do MÉTODO por estudantes e profissionais com pouca experiência no setor de aplicação escolhido.

Sob o ponto de vista da viabilidade econômica da aplicação do MÉTODO considera-se a relação custo/benefício francamente favorável à implementação do mesmo, de uma parte por conta dos benefícios que o MÉTODO confere decorrente da relativa acessibilidade de todos os procedimentos experimentais: levantamentos, coletas de dados, aquisição e operação do simulador de RNA e Interface de Aplicação, cujos custos são compatíveis para aplicação em universidades, com vistas, entre outros, a fomentar o conhecimento e a inserção dos estudantes em equipes multidisciplinares. Ressalte-se que o uso e aprimoramento do MÉTODO por tais equipes estimulariam uma maior inserção e relacionamento dos profissionais nos projetos de produto.

ANEXO

Interface de Aplicação

ANEXO

A INTERFACE DE APLICAÇÃO

Neste anexo, será apresentada a interface de demonstração desenvolvida no *software* MICROSOFT EXCEL 2010 que exhibe resultados-saídas (materiais e processos de fabricação) correspondentes às entradas (atributos) para cada item que o usuário queira pesquisar.

A interface objetiva promover o uso mais efetivo das Redes Neurais Artificiais como ferramenta para a previsão de materiais e processos, visto que além do benefício da facilidade de uso para todos os usuários, há a capacitação proporcionada pelo MÉTODO aos que a implementam, o qual estimula a inserção dos estudantes e profissionais de design em equipes multidisciplinares de projeto de produtos, fato primordial para o desenvolvimento de novos produtos, visto que a participação de designers na equipe de projeto é de fundamental importância para o êxito do produto.

INTERFACE DE APLICAÇÃO			
REDES NEURAIS ARTIFICIAIS			
ENTRADAS			
TIPO DE PRODUTO	 1 - Produto para barbear 2 - Condicionador 3 - Hidratante 4 - Perfume 5 - Produto Pós barba 6 - Sabonete 7 - Xampu	FORMA DO PRODUTO	 1 - Aerossol 2 - Gel ou Creme 3 - Líquido 4 - Sólido
FORMA DA EMBALAGEM	 1 - Biscnaga 2 - Envoltório 3 - Frasco 4 - Lata 5 - Pote 6 - Tubo	REAPROVEITAMENTO DA EMBALAGEM	 1 - Baixo 2 - Médio 3 - Alto
		RESULTADO MATERIAIS E PROCESSOS 	

Figura 1: Exemplo da planilha, antes de qualquer preenchimento.

Segue-se uma breve descrição do funcionamento da interface de demonstração desenvolvida para este estudo:

Preenchem-se os dados de entrada nos campos correspondentes em consonância com os critérios descritos no capítulo quatro. São eles:

- a) *tipo de produto*: classificado em sete categorias: produto para barbear, condicionador, hidratante, perfume, produto pós-barba, sabonete e xampu, respectivamente, conforme a classificação indicada pela ANVISA. Representados pelos números de 1 a 7;
- b) *forma do produto*: classificada em quatro níveis: aerossol, gel ou creme, líquido e sólido; representados pelos números de 1 a 4, respectivamente;
- c) *forma da embalagem*: classificada em seis classes: bisnaga, envoltório, frasco, lata, pote e tubo, representados pelos números de 1 a 6, respectivamente;
- d) *reaproveitamento da embalagem*: classificado em: baixo, médio e alto, representadas pelos números 1, 2 e 3, respectivamente;

Após o preenchimento das entradas, a interface mostrará automaticamente as variáveis de saída, sugestões de materiais e processos de fabricação relacionados com a consulta feita pelo usuário.

As figuras 2 e 3 apresentam a tela principal da Interface de Aplicação totalmente preenchida com diferentes entradas que serão explicadas a seguir.

Observa-se na figura 2 que os dados digitados pelo usuário são: condicionador – gel ou creme – bisnaga – com um reaproveitamento médio. Com base nesses dados, o modelo oferece algumas sugestões de materiais e processos de fabricação para o produto condicionador: bisnagas de PEBD e EVOH ou de PEBD, EVOH e ADFLEX, ou ainda de SURLYN e EVOH, todas fabricadas pelo processo coextrusão – heading – decoração - capping.

INTERFACE DE APLICAÇÃO			
REDES NEURAIS ARTIFICIAIS			
ENTRADAS			
TIPO DE PRODUTO	2	FORMA DO PRODUTO	2
1 - Produto para barbear		1 - Aerossol	
2 - Condicionador		2 - Gel ou Creme	
3 - Hidratante		3 - Líquido	
4 - Perfume		4 - Sólido	
5 - Produto Pós barba			
6 - Sabonete			
7 - Xampu			
FORMA DA EMBALAGEM	1	REAPROVEITAMENTO DA EMBALAGEM	2
1 - Bisnaga		1 - Baixo	
2 - Envoltório		2 - Médio	
3 - Frasco		3 - Alto	
4 - Lata			
5 - Pote			
6 - Tubo			
		RESULTADO MATERIAIS E PROCESSOS PEBD E EVOH OU PEBD EVOH E ADFLEX OU SURLYN E EVOH (Coextrusão - Heading - Decoração e Capping)	

Figura 2: Exemplo da Interface de Aplicação preenchida

Na figura 3 os dados são: sabonete, sólido, envoltório e alto potencial de reciclagem. Para estes, o modelo sugere papel ou papelão, ambos pelo processo de dobragem e selagem. Ressalte-se que a rede neural artificial só oferece saídas às quais foram apresentadas, portanto com quanto mais variedade o modelo for treinado, oferecerá mais opções. Vale lembrar que o método e a ferramenta componente do mesmo permitem aos utilizadores atualizarem os dados e retreinarem o modelo. Desde que os novos valores de bias e pesos sejam substituídos, a ferramenta replicará o comportamento da nova rede.

INTERFACE DE APLICAÇÃO			
REDES NEURAIS ARTIFICIAIS			
ENTRADAS			
TIPO DE PRODUTO	6	FORMA DO PRODUTO	4
1 - Produto para barbear		1 - Aerossol	
2 - Condicionador		2 - Gel ou Creme	
3 - Hidratante		3 - Líquido	
4 - Perfume		4 - Sólido	
5 - Produto Pós barba			
6 - Sabonete			
7 - Xampu			
FORMA DA EMBALAGEM	2	REAPROVEITAMENTO DA EMBALAGEM	3
1 - Bisnaga		1 - Baixo	
2 - Envoltório		2 - Médio	
3 - Frasco		3 - Alto	
4 - Lata			
5 - Pote			
6 - Tubo			
		RESULTADO MATERIAIS E PROCESSOS PAPELÃO OU PAPEL CARTÃO (Dobragem e selagem)	

Figura 3: Exemplo da Interface de Aplicação preenchida