

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**EXTENSÕES NO MÉTODO DE COMPARAÇÃO INDIRETA AOS PARES PARA  
OTIMIZAÇÃO DE PRODUTOS COM VARIÁVEIS SENSORIAIS**

Camila Costa Dutra

Porto Alegre, 2007

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**EXTENSÕES NO MÉTODO DE COMPARAÇÃO INDIRETA AOS PARES PARA  
OTIMIZAÇÃO DE PRODUTOS COM VARIÁVEIS SENSORIAIS**

Camila Costa Dutra

Orientador: Prof. Flávio Sanson Fogliatto, Ph.D.

Banca Examinadora:

Prof. José Luis Duarte Ribeiro, Dr.  
PPGEP / UFRGS

Profa. Simone Hickmann Flôres, Dr.  
ICTA / UFRGS

Profa. Márcia Elisa Echeveste, Dr.  
Departamento de Estatística / UFRGS

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de  
Produção como requisito parcial à obtenção do título de  
**MESTRE EM ENGENHARIA**

Área de concentração: Sistemas da Qualidade

Porto Alegre, 2007

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

---

**Prof. Flávio Sanson Fogliatto, Ph.D.**

PPGEP / UFRGS

Orientador

---

**Prof. Flávio Sanson Fogliatto, Ph.D.**

Coordenador PPGEP / UFRGS

**BANCA EXAMINADORA:**

**José Luis Duarte Ribeiro, Dr.**

PPGEP / UFRGS

**Simone Hickmann Flôres, Dr.**

ICTA / UFRGS

**Márcia Elisa Echeveste, Dr.**

Departamento de Estatística / UFRGS

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu orientador Professor Flávio Sanson Fogliatto, pelo conhecimento transmitido e orientação.

À Professora Simone Hickmann Flôres, pela ajuda dispensada durante a coleta dos dados.

À Neugebauer, em especial as engenheiras do setor de P&D Gisele e Fernanda, pela oportunidade de realizar a aplicação prática deste trabalho e atenção dispensada.

À todos os colegas do Laboratório de Otimização de Produtos e Processos, em especial ao Franz, Liane, Miorando, Marcelo, Morgana, Maria, Cristiane, Camila Teles e Istefani, pela ajuda, paciência, compreensão e amizade. Sem vocês não chegaria até aqui!

À minha família e namorado pelo amor, apoio e compreensão dispensados ao longo deste período.

À DEUS por ter-me guiado no caminho para que eu pudesse chegar até aqui.

## **RESUMO**

Na otimização de produtos e processos industriais todas as medidas de qualidade devem ser consideradas simultaneamente. No setor alimentício para a avaliação de produtos são considerados, além de medidas usuais de qualidade, dados de painéis sensoriais. Esta dissertação apresenta o estudo de um método desenvolvido especificamente em um contexto de otimização de produtos com variáveis sensoriais: o método de Comparação Indireta aos Pares (CIP). Para coleta de dados, o CIP baseia-se na comparação pareada de amostras e para análise de dados utiliza elementos do AHP (Processo Analítico Hierárquico, na sigla em inglês). Neste método, são propostas extensões com vistas a torná-lo mais confiável e aumentar sua aplicabilidade. Para atingir esse propósito são feitas adaptações em diferentes procedimentos de coleta de dados sensoriais, assim como a validação de valores de referência utilizados na análise de dados e a construção de tabelas com valores de referência para casos onde o método CIP é aplicado. As melhorias propostas no método de CIP são ilustradas através de uma aplicação prática em uma empresa alimentícia, onde, deseja-se otimizar o processo de desenvolvimento de uma barra de chocolate. O método CIP é utilizado para determinar o percentual de ingredientes utilizados na formulação da barra de chocolate.

Palavras-chave: otimização multivariada de produtos, avaliação sensorial, método de Comparação Indireta aos Pares

## **ABSTRACT**

In the optimization of products and industrial processes several quality measures must be considered simultaneously. When analyzing food products, in addition to the usual measures of quality, the performance of products as measured by a sensory panel should be also taken into account. In this thesis we analyze a method developed specifically for the optimization of products with sensory variables: the Indirect Pairwise Comparison (IPC) method. Regarding the sensory data collection the IPC is based in the pairwise comparison of samples; as for data analysis, the method uses elements of the AHP (Analytical Hierarchical Process). Extensions are proposed in the IPC in order to improve its reliability and applicability. For that matter we propose adaptations in different procedures for sensory data collection. We also validate some reference values used in the IPC's data analysis framework and develop tables with reference values for special cases where the IPC method is applied. The proposed improvements are illustrated through a practical application in a food industry. In the case study it is desired to optimize the development of a chocolate bar. The IPC is used to determine the percentage of ingredients used in the product recipe.

Key-words: multiresponse optimization of products, sensory evaluation, Indirect Pairwise Comparison method

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>10</b>
<b>1.1</b>	<b>CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....</b>	<b>10</b>
<b>1.2</b>	<b>OBJETIVOS DO TRABALHO .....</b>	<b>13</b>
<b>1.2.1</b>	<b>Objetivo Principal.....</b>	<b>13</b>
<b>1.2.2</b>	<b>Objetivos Específicos .....</b>	<b>13</b>
<b>1.3</b>	<b>JUSTIFICATIVA DOS OBJETIVOS.....</b>	<b>13</b>
<b>1.4</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>15</b>
<b>1.4.1</b>	<b>Método de Pesquisa .....</b>	<b>15</b>
<b>1.4.2</b>	<b>Método de Trabalho .....</b>	<b>15</b>
<b>1.4.3</b>	<b>Estrutura da Dissertação .....</b>	<b>16</b>
<b>1.5</b>	<b>LIMITAÇÕES .....</b>	<b>17</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>18</b>
<b>2.1</b>	<b>OTIMIZAÇÃO DE PRODUTOS .....</b>	<b>18</b>
<b>2.1.1</b>	<b>Otimização Multivariada de Produtos.....</b>	<b>19</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Otimização Multivariada de Produtos com variáveis subjetivas e avaliadas em painéis sensoriais.....</b>	<b>24</b>
<b>2.2</b>	<b>AVALIAÇÃO SENSORIAL .....</b>	<b>27</b>
<b>2.2.1</b>	<b>Métodos de Avaliação Sensorial .....</b>	<b>31</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Método de Comparação Indireta aos Pares (CIP).....</b>	<b>44</b>
<b>3</b>	<b>MELHORIAS NO MÉTODO DE COMPARAÇÃO INDIRETA AOS PARES.....</b>	<b>52</b>
<b>3.1</b>	<b>ADAPTAÇÕES NOS MÉTODOS DE COLETA DE DADOS SENSORIAIS À ESTRUTURA DE ANÁLISE DE DADOS DO CIP.....</b>	<b>52</b>
<b>3.2</b>	<b>VALIDAÇÃO DOS VALORES DO ÍNDICE ALEATÓRIO DE CONSISTÊNCIA (RI).....</b>	<b>55</b>
<b>3.3</b>	<b>ÍNDICE ALEATÓRIO DE CONSISTÊNCIA (RI) PARA MATRIZES DE COMPARAÇÃO INCOMPLETAS.....</b>	<b>59</b>

<b>4</b>	<b>APLICAÇÃO PRÁTICA .....</b>	<b>63</b>
<b>4.1</b>	<b>METODOLOGIA DE INTERVENÇÃO .....</b>	<b>63</b>
<b>4.2</b>	<b>ENTENDIMENTO DO PDP DA EMPRESA.....</b>	<b>64</b>
<b>4.3</b>	<b>IDENTIFICAÇÃO DO PRODUTO PARA APLICAÇÃO DO MÉTODO CIP..</b>	<b>65</b>
<b>4.4</b>	<b>COLETA DE DADOS.....</b>	<b>65</b>
<b>4.5</b>	<b>ANÁLISE DOS DADOS .....</b>	<b>69</b>
<b>4.5.1</b>	<b>Vetores de peso.....</b>	<b>69</b>
<b>4.5.2</b>	<b>Razões de consistência.....</b>	<b>70</b>
<b>4.6</b>	<b>OTIMIZAÇÃO DO PRODUTO .....</b>	<b>71</b>
<b>4.7</b>	<b>VALIDAÇÃO DA OTIMIZAÇÃO.....</b>	<b>73</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>74</b>
<b>5.1</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>74</b>
<b>5.2</b>	<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>75</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>77</b>
	<b>APÊNDICES ELETRÔNICOS A, B, C, D, E.....</b>	<b>ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Métodos de otimização multivariada agrupados conforme base teórica.....	20
Figura 2:	Representação esquemática da cadeia de percepção sensorial.....	29
Figura 3:	Classificação das escalas de medidas segundo NBR 14141 da ABNT.....	30
Figura 4:	Exemplo de escala ancorada não estruturada de 9 cm.....	39
Figura 5:	Quadro resumo das características e áreas de aplicação dos métodos e testes de avaliação sensorial .....	42
Figura 6:	Estrutura genérica da matriz de julgamentos.....	46
Figura 7:	Exemplos de escala (as setas trazem os códigos das amostras) .....	47
Figura 8:	Elementos da Escala [ $\frac{1}{9}$ , 9].....	47
Figura 9:	Exemplificação dos passos de validação dos valores de RI.....	56
Figura 10:	Exemplo de geração de matrizes incompletas.....	60
Figura 11:	Exemplo do passo 2.....	60
Figura 12:	Exemplo de matriz normalizada.....	60
Figura 13:	Exemplo dos passos 4 e 5.....	61
Figura 14:	Fluxograma da metodologia de intervenção.....	63
Figura 15:	Apresentação das amostras.....	66
Figura 16:	Ficha de avaliação .....	67
Figura 17:	Matrizes de julgamento do julgador 12.....	68
Figura 18:	Matrizes com valores $z$ .....	68
Figura 19:	Matrizes de julgamento do julgador 12.....	69
Figura 20:	Matriz normalizada de um dado julgador.....	69
Figura 21:	Vetor de pesos do julgador 12.....	70
Figura 22:	Multiplicação de $A_{12p}$ por $w_{12p}$ .....	70
Figura 23:	Vetor de pesos finais .....	71
Figura 24:	Valores de preferência em função do percentual de recheio.....	72

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Valores de índice aleatório de consistência (RI) para matrizes de ordem $N = 3, \dots, 10$ encontrados por Saaty (1980) ..... 51
Tabela 2	Valores de índice aleatório de consistência (RI) e desvio-padrão para matrizes de ordem $N = 3, \dots, 9$ encontrados por Vargas (1982) ..... 57
Tabela 3	Valores validados de índice aleatório de consistência (RI) e desvio-padrão para matrizes de ordem $N = 3, \dots, 10$ ..... 57
Tabela 4	Valores de índice aleatório de consistência (RI) para utilização no CIP considerando matrizes de ordem $N = 3, \dots, 10$ ..... 58
Tabela 5	Valores de índice aleatório de consistência (RI) para matrizes incompletas de ordem $N = 3, \dots, 10$ com valores $a_{ij}$ selecionados a partir de escala contínua .... 62
Tabela 6	Valores ajustados de índice aleatório de consistência (RI) para matrizes incompletas de ordem $N = 3, \dots, 10$ com valores $a_{ij}$ selecionados a partir de escala contínua ..... 62
Tabela 7	Desempenho dos julgadores ..... 71

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O aumento da competição e o surgimento de novas oportunidades estimuladas pela abertura de barreiras comerciais e pela expansão do mercado mundial têm acelerado, na indústria de alimentos, a necessidade por novos produtos, aumento da qualidade, maior tempo de vida de prateleira dos produtos, aumento da produtividade e menor custo. O sucesso das empresas nessa estrutura de mudanças está ligado à sua habilidade de conhecer com mais precisão as necessidades e gostos dos consumidores em relação aos produtos.

A avaliação sensorial é uma habilitadora importante desse processo na indústria de alimentos (PETIOT; YANNOU, 2003; SIDEL; STONE, 1993). Para a coleta e organização de informações das características sensoriais dos produtos, tais como alimentos, farmacêuticos e cosméticos, tem-se como ferramenta os métodos de avaliação sensorial. As empresas utilizam esses métodos tanto no desenvolvimento como na reformulação de produtos e no controle de qualidade *on-line* e *off-line*. Os métodos de avaliação sensorial também podem ser usados para verificar mudanças ocorridas ao longo do tempo de vida de prateleira e efeitos de empacotamento, para investigar o efeito de variações em ingredientes e condições de processamento na qualidade sensorial dos produtos e em estudos de marketing (MURRAY; DELAHUNTY; BAXTER, 2001).

Idealmente, a avaliação sensorial é efetuada de maneira científica, utilizando-se de um painel sensorial composto por um grupo de pessoas especialmente selecionadas para analisar as diferentes características organolépticas<sup>1</sup> dos alimentos (TEIXEIRA; MEINERT; BARBETTA, 1987). O resultado da avaliação sensorial deve permitir ao analista fazer a relação, através de modelos matemáticos, dos fatores manipulados durante a preparação das amostras com seu decorrente impacto sensorial. A determinação destes modelos só pode ser feita quando a avaliação sensorial de amostras produz dados quantitativos, com uma ou mais medida numérica associada a cada amostra (FOGLIATTO; ALBIN, 2001).

Neste trabalho analisam-se métodos para coleta e análise de dados sensoriais, com vistas à otimização multivariada de produtos. A otimização multivariada de produtos é uma tarefa freqüente no meio industrial, uma vez que considera todas as medidas de qualidade

---

<sup>1</sup> (aparência, aroma, cor, sabor, textura).

simultaneamente para a seleção do melhor projeto e dos melhores parâmetros de operação (RIBEIRO; FOGLIATTO; CATEN, 2001).

Um método para coleta e análise de dados sensoriais desenvolvido especificamente em um contexto de otimização multivariada de produtos é analisado em profundidade: o Método de Comparação Indireta aos Pares (CIP). A análise de dados sensoriais no CIP utiliza elementos do AHP (Processo Analítico Hierárquico, na sigla em inglês), proposto por Saaty (1980). O AHP é um método de análise de decisão que permite selecionar a melhor alternativa de um conjunto de candidatas, à luz de critérios de avaliação pré-determinados. O método tem sido aplicado em diversas áreas, especialmente em problemas de grande dimensão, nos quais múltiplos critérios devem ser considerados e em que a avaliação das alternativas é majoritariamente subjetiva. Contudo, poucas aplicações do AHP foram reportadas na indústria de alimentos, apesar de evidências de que seu uso seja conveniente também para este setor industrial (FOGLIATTO; ALBIN, 2003; XU; XU; CHEN, 2003).

Neste trabalho são propostas extensões teóricas do CIP, com vistas a torná-lo mais generalizável e incrementar as suas possibilidades de aplicação prática. Para a coleta de dados, o CIP baseia-se na comparação pareada de amostras, sendo assim classificado como um método discriminatório, particularmente apropriado para julgar produtos de forma subjetiva. A grande vantagem da comparação pareada está na simplicidade da tarefa da comparação sensorial de itens observados (QANNARI; COURCOUX; SÉMÉOU, 2000). Nas indústrias, outros métodos de coleta de dados também são frequentemente utilizados na avaliação sensorial; sua escolha depende do objetivo da análise. Os métodos de avaliação sensorial, segundo a classificação de Stone e Sidel (1993) podem ser discriminatórios, descritivos ou afetivos. Um dos propósitos deste trabalho é adaptar o CIP a outros métodos de coleta de dados, diferentes da comparação pareada.

A idéia principal do CIP é avaliar quantitativamente a intensidade de atributos sensoriais em amostras através da comparação delas com uma amostra de controle. Um grupo de  $N$  amostras é apresentado ao julgador (isto é, indivíduo participante de um painel de avaliação sensorial), sendo uma delas identificada como amostra de controle. O julgador é instruído a avaliar as amostras observando a intensidade de um dado atributo, registrando os resultados da avaliação numa escala impressa. As intensidades percebidas nas amostras são marcadas na escala de acordo com sua relação com a amostra de controle: o centro da escala corresponde a uma amostra com intensidade idêntica a amostra de controle e as extremidades correspondem a intensidades muito menos intensas ou muito mais intensas que a amostra de controle. Na seqüência, a amostra de controle é substituída e o julgador é instruído a realizar

as avaliações novamente. Cada amostra do grupo terá a chance de ser a amostra de controle no painel. Assim, após completar a coleção dos dados,  $N$  escalas impressas estarão disponíveis.

Os dados das escalas são convertidos em valores numéricos que refletem os resultados das comparações de cada amostra contra a amostra de controle. Uma matriz quadrada de julgamentos  $N$  é criada com linhas identificadas de 1 a  $N$ , cada uma correspondendo a uma amostra de controle, e elementos  $a_{ij}$  indicando o resultado da comparação da amostra  $j$  com a amostra de controle  $i$ . O resultado numérico de cada uma das  $N$  escalas é então transcrito na matriz de julgamentos, nas suas linhas correspondentes. Desta forma, associada a cada julgador haverá uma matriz de julgamentos.

Através de manipulação algébrica na matriz de julgamentos são extraídas as seguintes informações: (i) um vetor de pesos, com pesos correspondendo à intensidade de cada amostra com relação ao atributo sensorial em estudo, convertidas em uma escala de 0 a 1; e (ii) um índice de consistência, um para cada julgador. Os índices de consistência (CI - *Consistency Index*) quando comparados ao um índice aleatório de consistência (RI - *Random Index*) descrevem o quanto à transitividade nas avaliações é respeitada na comparação aos pares de diversas amostras.

O método CIP possui como principais vantagens: (i) a possibilidade de medir a eficiência dos julgadores através do cálculo da razão de consistência; e (ii) a forma como os julgadores realizam a avaliação, fazendo marcas sobre uma escala ao invés de utilizarem notas. Segundo Stone et al. apud Fogliatto, Albin e Silva (2000), os julgadores costumam apresentar um melhor desempenho avaliando amostras dessa forma. A principal desvantagem do método é a fadiga imposta aos julgadores, uma vez que apresenta as amostras simultaneamente, necessitando assim de um maior número de sessões de avaliação e aumentando os custos de coleta de dados. Para minimizar este problema, Fogliatto e Albin (2003) propuseram uma adaptação no procedimento de coleta de dados do CIP onde com uma linha qualquer da matriz preenchida, completa-se as demais a partir da utilização das propriedades das matrizes. Porém, não foi feita nenhuma adaptação na análise de dados quando a matriz não é completamente preenchida. Pelo exposto, parece claro que o estudo de adaptações de análise de dados sensoriais no CIP para casos onde a matriz esteja incompleta se justifica.

## 1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

### 1.2.1 Objetivo Principal

O objetivo principal desse trabalho é a proposição de extensões no método de Comparação Indireta aos Pares (CIP) que aumentem sua confiabilidade e aplicabilidade na otimização de produtos. Para tanto, é feito um estudo deste método e são investigados métodos de otimização multivariada de produtos e técnicas de coleta e análise de dados sensoriais.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Constituem os objetivos específicos deste trabalho:

- adaptar o método CIP para diferentes procedimentos de coleta de dados sensoriais;
- validar os valores do índice aleatório de consistência (RI) utilizado para a análise de dados do CIP onde a matriz seja completamente preenchida;
- construir novas tabelas de RIs para cenários nos quais a matriz de julgamento não é completamente preenchida;
- apresentar uma aplicação prática do método CIP na empresa de alimentos.

## 1.3 JUSTIFICATIVA DOS OBJETIVOS

A maioria dos processos e produtos industriais são avaliados por mais de uma característica de qualidade. Na seleção do melhor projeto e fatores controláveis, todas as medidas de qualidade devem ser consideradas simultaneamente. Em segmentos industriais como o setor alimentício além de indicadores de desempenho usuais, como peso e viscosidade do item analisado, painéis sensoriais são freqüentemente usados para avaliar um produto.

Quando um painel sensorial é necessário para avaliar um produto, o pesquisador ou engenheiro confronta-se com a necessidade de otimização do processo considerando tanto dados do painel sensorial como medidas usuais de qualidade. O primeiro método que se preocupou explicitamente com a otimização de processos multivariados que incorporam as medidas quantitativas usuais e dados de painéis sensoriais, foi o método de Comparação Indireta aos Pares (CIP), proposto por Fogliatto (1997) e trabalhado posteriormente por

Fogliatto e Albin (2001, 2003). Considerando-se a data de publicação da proposta do CIP, uma revisão bibliográfica sobre otimização de produtos com variáveis sensoriais foi necessária para a verificação de novas pesquisas na área.

A análise sensorial pode ser realizada por meio de diferentes testes, dependendo da finalidade para qual é efetuada. Existem três tipos principais de testes: os testes discriminatórios, os descritivos e os afetivos (ANZALDÚA-MORALES, 1994). Os testes discriminatórios são os mais simples e tem como objetivo determinar se duas amostras possuem diferença perceptível. Os testes descritivos são apropriados quando se deseja obter informações detalhadas sobre os atributos de um produto e para isso necessitam de julgadores treinados. Os testes afetivos avaliam a aceitabilidade de produtos ou a preferência relativa entre um conjunto de produtos e requerem julgadores diferenciados daqueles necessários aos testes discriminatórios e descritivos (LAWLESS; HEYMANN, 1998; FARIA; YOTSUYANAGI, 2002). Nas extensões do método CIP é feita uma adaptação na sua estrutura para incorporar dados obtidos em testes descritivos, de forma a completar alguns cenários específicos de aplicação. Testes discriminatórios, diferentes da Comparação Pareada, e testes afetivos não estão sendo considerados uma vez que sua estrutura de coleta de dados não permite construção de matrizes quantitativas.

A análise dos dados no método CIP faz uso de duas ferramentas analíticas, originalmente concebidas por Saaty (1980): o cálculo de vetores de pesos e índices de razão de consistência. Para o uso das ferramentas, Saaty (1980) parte do pressuposto que a matriz de julgamentos foi totalmente preenchida, ou seja, que cada uma das  $N$  amostras do grupo teve a chance de ser a amostra de controle no painel e comparada com as demais, gerando assim uma matriz quadrada de ordem  $N$ . Quando esse não é o caso e apenas algumas linhas da matriz tiverem sido preenchidas, o método CIP, através de um procedimento alternativo, completa a matriz com base nas relações que caracterizam os elementos das matrizes e pressupondo perfeita consistência entre as avaliações realizadas. As matrizes assim geradas são utilizadas para gerar uma nova matriz, de pontos de centro, de onde são calculados os vetores de peso e o índice de consistência do julgador. Esse procedimento, que permite o cálculo de vetores de peso, prejudica a confiabilidade dos valores de consistência uma vez que a probabilidade do julgador ser inconsistente é menor do que aquela associada ao caso em que ele preenche a matriz inteira. Para contornar essa deficiência do CIP, novas tabelas de índices aleatórios de consistência são propostas nesta dissertação, para casos onde a matriz não tiver sido completamente preenchida. Além disso, é feita uma validação dos valores aleatórios de consistência originalmente propostos por Saaty (1980) para o caso de matrizes completas.

## 1.4 METODOLOGIA

### 1.4.1 Método de Pesquisa

O método de pesquisa científica adotado nesta dissertação, do ponto de vista de sua natureza, enquadra-se na categoria de pesquisa aplicada, tendo em vista que seu conteúdo teórico é explorado e direcionado à solução de problemas genéricos (GIL, 1991). Considerando-se a abordagem, esta dissertação é enquadrada como pesquisa quantitativa, visto que traduz em números opiniões e informações para analisá-las através de recursos e técnicas algébricas. Em relação aos seus objetivos, o trabalho enquadra-se na classe de pesquisa explicativa, pois visa identificar os fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência dos fenômenos (GIL, 1999).

Os procedimentos técnicos utilizados no presente trabalho são pesquisa bibliográfica e experimentação. Segundo Gil (1991), a pesquisa bibliográfica é elaborada a partir da literatura já disponível, constituída principalmente de livros e artigos científicos. A pesquisa experimental, por sua vez, consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto (GIL, 1999).

### 1.4.2 Método de Trabalho

O desenvolvimento deste trabalho é feito a partir de 4 etapas. A primeira etapa envolve a adaptação da estrutura do CIP para diferentes procedimentos de coleta de dados. Para isto serão identificados os procedimentos de coleta de dados sensoriais onde é possível a adaptação dos dados para a estrutura de análise de dados do CIP. A adaptação está baseada no trabalho de Fogliatto, Albin e Tepper (1999) e permite ao analista transformar dados sensoriais de forma a que os mesmos possam ser utilizados na estrutura de análise de dados do CIP.

A segunda etapa envolve a validação dos valores do índice aleatório de consistência (RI) utilizados para a análise de dados do CIP. A validação é feita a partir da repetição do procedimento utilizado nos estudos de Saaty (1980) e Vargas (1982) para geração de valores de RIs. Este procedimento envolve uma simulação onde valores de uma escala são aleatoriamente gerados e utilizados para escrever matrizes de comparação.

A construção de novas tabelas de RIs para cenários nos quais a matriz de julgamentos não é completamente preenchida é feita na terceira etapa. Nesta etapa também é realizado um estudo de simulação, onde matrizes de comparação com diferentes números de linhas preenchidas são construídas a partir de valores de julgamento aleatoriamente selecionados a partir da escala.

Na última etapa, é efetuada a aplicação do método em uma empresa alimentícia do setor de chocolates. Esta aplicação é feita durante o processo de desenvolvimento de um produto (PDP), mais especificamente na fase de teste de protótipos. O entendimento do PDP da empresa foi possível através de reuniões com os responsáveis pelo setor de Pesquisa e Desenvolvimento. Em uma das reuniões foi identificado o produto para coleta de dados. Os dados foram coletados e analisados segundo o procedimento proposto no método CIP. Na seqüência foi realizada a otimização do produto para definição da quantidade de recheio que maximizava o peso da amostra.

#### 1.4.3 Estrutura da Dissertação

O presente trabalho está estruturado em cinco capítulos, conforme apresentados a seguir:

Neste Capítulo 1 foram apresentados uma introdução sobre o tema abordado, os objetivos do trabalho, bem como as justificativas para a escolha dos mesmos e o método escolhido para atingi-los. No final do capítulo, são discutidas as principais limitações do trabalho.

No Capítulo 2 é realizada uma revisão da literatura científica sobre os assuntos pertinentes ao tema da dissertação. Através da revisão procura-se apresentar de forma clara e objetiva o conhecimento consolidado e as pesquisas realizadas até o momento na área de otimização de produtos com características sensoriais.

O desenvolvimento de melhorias no método de Comparação Indireta aos Pares é feito no Capítulo 3. Estas melhorias consistem na adaptação nos métodos de coleta de dados sensoriais para a estrutura de análise de dados do CIP, a validação dos valores de RIs e desenvolvimento de tabelas de RIs para matrizes de julgamento incompletas.

No Capítulo 4 do trabalho é apresentada, através de uma pesquisa de campo a aplicação do método de Comparação Indireta aos Pares em uma empresa alimentícia. Também são divulgados e discutidos os resultados obtidos com a aplicação do método.

As conclusões decorrentes do desenvolvimento do trabalho, bem como sugestões para estudos futuros sobre o tema, são expostas no Capítulo 5.

### 1.5 LIMITAÇÕES

Inicialmente, convém salientar que o presente trabalho não pretende esgotar o tema em análise. Desta forma, traz algumas limitações, apresentadas a seguir:

- no referencial teórico são abordados somente os métodos tradicionais de coleta de dados sensoriais;
- o AHP será tratado de forma introdutória, uma vez que apenas as ferramentas desta metodologia diretamente utilizadas nesta dissertação são explicadas;
- pretende-se, na melhoria do método CIP, a adaptação do mesmo a diferentes procedimentos de coleta de dados sensoriais, porém esta adaptação não será feita para todos os métodos existentes na literatura;
- na aplicação prática não foi realizada a otimização multivariada do produto, uma vez que a empresa não disponibilizou dados sobre outras medidas de qualidade além das utilizadas neste trabalho;
- a aplicação prática do trabalho limita-se a um determinado produto alimentício e método de coleta de dados sensoriais, sendo que a utilização do CIP na análise de outros produtos implicaria em adaptações metodológicas.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo será apresentado o referencial teórico pertinente ao tema desta dissertação. Inicialmente, será abordada a otimização de produtos, mais especificamente no que diz respeito à otimização multivariada, tanto com variáveis usuais de resposta, como variáveis subjetivas e avaliadas em painéis sensoriais. Em um segundo momento serão apresentados os conceitos básicos da avaliação sensorial e os principais métodos de avaliação sensorial. Por fim, será feito o detalhamento do método de Comparação Indireta aos Pares, um método de coleta de dados sensoriais desenvolvido para utilização em otimização multivariada.

### 2.1 OTIMIZAÇÃO DE PRODUTOS

Com a atual estrutura de mercado, os setores de pesquisa e desenvolvimento de produtos das indústrias buscam constantemente maneiras de criar novos produtos eficazmente ou melhorar produtos atuais, tanto em termos de aceitação como rentabilidade (MOSKOWITZ, 1995). Dessa forma, a otimização de produtos torna-se uma ferramenta de extrema importância para o meio industrial, pois pode propiciar uma redução de custos e/ou melhoria da qualidade e produtividade (CATEN; RIBEIRO, 1995; HSIEH; TONG, 2001). A otimização busca identificar quais os ajustes dos fatores controláveis do processo que resultam nas características mais desejáveis para um produto, tipicamente visando à proximidade de um valor alvo e pequena variância em torno deste. Esse conceito se aplica tanto à otimização de um produto univariado (onde uma única variável de resposta é mensurada) como para o caso multivariado (múltiplas variáveis de resposta de interesse).

Quando o desempenho do produto ou processo é avaliado somente por uma característica de qualidade, existem na literatura vários métodos quantitativos para analisar os resultados de um experimento e determinar os níveis ótimos dos fatores controláveis (CATEN, 1995). Autores como Logothetis e Haigh (1988), Oh (1988), Werkema e Aguiar (1996a; 1996b), Artiles-León (1996) e Montgomery (2001), citam a análise de regressão, a análise fatorial, a metodologia de superfície de resposta (MSR) e o método de Taguchi como ferramentas de otimização univariada. Entretanto, na prática, o desempenho dos produtos ou processos é usualmente medido por mais de uma variável de resposta, já que, via de regra, o cliente valoriza diversos aspectos de um produto ou processo.

### 2.1.1 Otimização Multivariada de Produtos

Um grupo de variáveis de resposta normalmente caracteriza o desempenho de um produto ou processo industrial. Estas variáveis são usualmente correlacionadas e expressas em diferentes escalas de medidas (LI; SU; CHIANG, 2003). Dessa maneira, para seleção do melhor projeto e dos melhores parâmetros é necessário que todas as medidas de qualidade sejam consideradas simultaneamente, em um procedimento conhecido como otimização multivariada de produtos (RIBEIRO; FOGLIATTO; CATEN, 2001).

Para Wurl e Albin (1999), considerar apenas uma variável de resposta na otimização de processos pode conduzir a valores não ótimos para as características que foram analisadas. Com a finalidade de combinar múltiplas variáveis em funções únicas e encontrar o compromisso ótimo (níveis de operação dos parâmetros nos quais as características do produto estejam o mais próximo possível de seu valor ideal), diversos métodos quantitativos têm sido desenvolvidos.

Algumas técnicas estatísticas utilizadas na otimização assumem que múltiplas respostas são independentes uma das outras. Dessa maneira, é considerada que a variação em uma resposta não está relacionada com a variação de nenhuma outra resposta. Mesmo facilitando a análise estatística através da simplificação matemática, assumir que as respostas são independentes é inviável em diversos problemas de otimização. A análise individual de experimentos multivariados pode ocasionar resultados contraditórios em relação aos níveis dos fatores importantes, podendo um nível de um fator aperfeiçoar uma variável de resposta e prejudicar outra. Além disso, ao desconsiderar-se as correlações entre as variáveis de resposta, pode-se deixar de encontrar os parâmetros ótimos do processo (CHIAO; HAMADA, 2001; MURPHY; TSUI; ALLEN, 2005). Outras técnicas consideram a correlação das respostas como uma fonte de informação enquanto procuram os parâmetros ótimos do produto ou processo. Esta é uma vantagem estatística uma vez que uma fonte de informação de respostas adicional (correlação) está sendo utilizada (MURPHY; TSUI; ALLEN, 2005).

Na escolha de um método de otimização multivariada é importante considerar: quantas e qual tipo de respostas individuais são controladas, sua importância relativa, o tipo de modelagem utilizada para representar respostas individuais ou a função objetivo, o número de respostas administradas pela função objetivo e as técnicas de otimização específicas que complementam esta função (MURPHY; TSUI; ALLEN, 2005).

As técnicas de otimização são utilizadas na determinação dos parâmetros que tornam o sistema mais eficiente. A dificuldade na resolução de um problema de otimização está em

relacionar um modelo que represente a relação real expressa nos dados e não em resolver o problema em si (CARLYLE; MONTGOMERY; RUNGER, 2000).

A Figura 1 apresenta a classificação dos métodos para otimização multivariada encontrados na literatura segundo Fogliatto (1999), Ribeiro, Fogliatto e Caten (2001) e Fogliatto e Albin (2001), a qual foi posteriormente ampliada por Fogliatto e Rosa (2006). A classificação está baseada no tipo de função utilizada para combinar variáveis de resposta em uma função objetivo univariada.

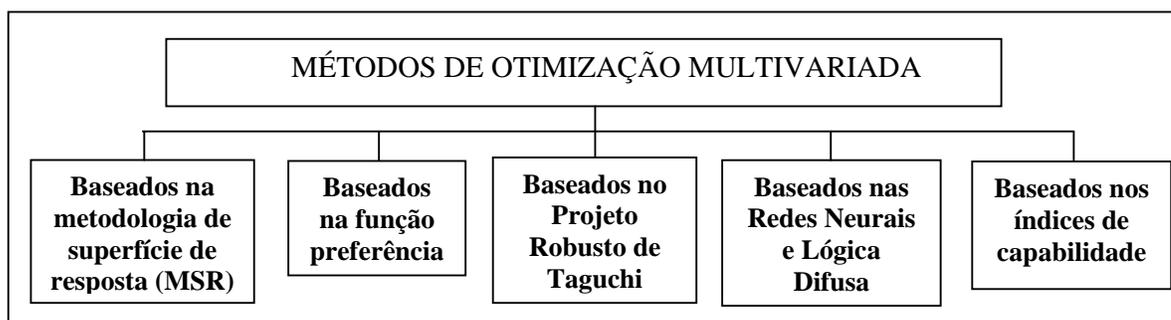


Figura 1: Métodos de otimização multivariada agrupados conforme base teórica

Fonte: adaptado de Fogliatto e Albin (2001)

A seguir apresenta-se uma introdução a estes cinco grupos de abordagens, com uma descrição das principais referências em cada grupo.

#### 2.1.1.1 *Métodos de Otimização Multivariada baseados na MSR*

A metodologia de superfície de resposta (MSR) descrita originalmente por Box e Wilson em 1951 é uma coleção de técnicas estatísticas e matemáticas utilizada para desenvolver, melhorar e otimizar processos, capaz de avaliar os efeitos de diversos fatores e suas interações nas variáveis de resposta (CARLYLE; MONTGOMERY; RUNGER, 2000; LEE et al., 2000; CHEN; CHEN; LIN, 2005). As relações entre as variáveis independentes e as respostas são necessárias na MSR. Assim, normalmente o projeto de experimentos fatorial é a primeira etapa da MSR. O uso de projetos de experimentos permite ao analista coletar dados de um ponto particular do projeto (CH'NG; QHAH; LOW, 2005). A partir dos dados experimentais, modelos matemáticos são construídos através de métodos de regressão para estimar regiões de alto desempenho (CHEN; CHEN; LIN, 2005). O ajuste ótimo está na região que conduz a um valor mínimo, máximo ou nominal, dependendo da característica da resposta em questão (RIBEIRO; CATEN, 2003). A principal vantagem da MSR é o número

reduzido de experimentos necessários para avaliar múltiplos parâmetros e interações (LEE et al., 2000).

É crescente a utilização da MSR por indústrias de diversos setores para melhorar a qualidade e otimização de produtos e processos. Os primeiros trabalhos baseados na MSR focavam na otimização de uma única variável de resposta; contudo, é crescente o interesse pela otimização com múltiplas respostas (XU et al., 2004). Nos trabalhos de Myers e Carter Jr. (1973), Myers, Khuri e Vining (1992), Lucas (1994), Porreta, Birzi e Vicini (1995), Chen e Lin (2002), Shah, Montgomery e Carlyle (2004), Chen, Chen e Lin (2005) e Park e Kim (2005) a MSR foi utilizada com sucesso na resolução de problemas de otimização multivariada.

#### 2.1.1.2 *Métodos de Otimização Multivariada baseados na Função de Preferência*

A função de preferência foi originalmente introduzida por Harrington Jr. (1965) e estendida posteriormente por Derringer e Suich (1980). Nessa função cada resultado do experimento (em termos de realizações da variável de resposta) é transformado em um valor de preferência e resultados posicionados fora do limite aceitável de operação (determinado pela especificação inferior e superior) recebem valor de preferência igual a 0 (zero). Se o resultado encontrar-se no valor alvo (ou seja, centro da região operacional), é atribuído um valor de preferência igual a 1 (um). Resultados posicionados em outros pontos da região operacional recebem valores de preferência entre 0 e 1. Em seu trabalho, Derringer e Suich estenderam esta função para lidar com respostas que além de limites de especificação, também têm objetivos operacionais (WU, 2005; FOGLIATTO; ROSA, 2006).

De acordo com Carlyle, Montgomery e Runger (2000) e Wu (2005), a função de preferência é o método mais popular de otimização multivariada. Porém, a variação e correlação entre as características de qualidade são normalmente ignoradas nessa função, podendo conduzir a uma solução irreal se, de fato, os resultados possuem níveis de variância significativamente diferentes ou estiverem altamente correlacionados (KO; KIM; JUN, 2005; WU, 2005). Dentre os trabalhos na literatura que utilizaram a função de preferência para resolução de problemas de otimização multivariada pode-se citar Chang e Shivpuri (1994-95), Del Castillo, Montgomery e McCarville (1996), Das (1999), Fogliatto, Albin e Tepper (1999), Fogliatto e Albin (2000), Ortiz Jr. et al. (2004) e Wu (2005).

### 2.1.1.3 *Métodos de Otimização Multivariada baseados no Projeto Robusto de Taguchi*

O Projeto Robusto de Taguchi tem como objetivo minimizar a variabilidade em produtos e processos industriais tornando-os insensíveis às fontes de variação (fatores de ruído) que poderiam afetar seu desempenho. Em vez de tentar eliminar a causa de variação, o método tenta minimizar seu efeito (MYERS; KHURI; VINING, 1992). O método de Taguchi utiliza o projeto de experimentos para a caracterização de um produto ou processo, combinado com uma análise estatística de sua variabilidade e com propósito de minimizá-la (LOGOTHETIS; HAIGH, 1988).

A idéia principal de Taguchi se baseia no projeto de experimentos em que matrizes ortogonais são utilizadas para o arranjo dos parâmetros de projeto e fatores de ruído. Usando estas matrizes, o número de experiências é significativamente reduzido, a quantidade de colunas nessas matrizes representa o número máximo de fatores que podem ser estudados. Então, a cada combinação dos parâmetros de projeto, são calculadas estatísticas de desempenho que quantificam a qualidade, e as mesmas são analisadas para determinar ajustes ótimos dos parâmetros de projeto. Taguchi classificou as características de desempenho em três categorias: menor-é-melhor; maior-é-melhor e nominal-é-melhor (YUM; KO, 1991). De acordo com Carlyle, Montgomery e Runger (2000), os métodos estatísticos que Taguchi propôs para otimização eram ineficientes de um ponto de vista de projetos de experimentos, já que em muitos casos ignoravam informações relevantes sobre interações, o que poderia conduzir a soluções não ótimas.

Porém, diversos autores incorporaram o critério de minimização da variância de Taguchi em seus trabalhos, sendo alguns deles baseados na medida de desempenho Sinal-Ruído (S/N) de Taguchi, e outros na função de perda quadrática de Taguchi.

Neste parágrafo serão abordados alguns trabalhos que tiveram como base teórica a medida de desempenho Sinal-Ruído (S/N) de Taguchi. Uma variação da razão Sinal-Ruído (S/N) de Taguchi foi sugerida no trabalho de León, Shoemaker e Kacker (1987), através do uso de PerMIAs (sigla em inglês para Medidas de Desempenho Independentes de Ajuste) como função objetivo em otimizações univariadas. Os autores demonstram que, em algumas situações, a razão Sinal-Ruído (S/N) de Taguchi e sua função de perda quadrática conduzem ao mesmo resultado. Em seus trabalhos, Logothetis e Haigh (1988) e Elsayed e Chen (1993) também utilizaram as PerMIAs, mas num contexto de otimização multivariada. Fung e Kang (2005) estenderam a pesquisa de Antony (2000) utilizando a medida S/N e a análise de componentes principais em um estudo de caso da indústria de transformação de plástico.

A função de perda, segundo Elsayed e Chen (1993), está baseada no conceito que uma perda é incorrida quando a característica de qualidade funcional de um produto divergir de seu valor designado, independente do tamanho do desvio. Na otimização multivariada, o valor esperado da função de perda quadrática de Taguchi foi utilizada primeiramente por Tribus e Szonyl (1989), sendo posteriormente utilizadas nos trabalhos de Pignatiello Jr. (1993), Ribeiro e Elsayed (1995) e Vining (1998). Raiman e Case (1992), por sua vez, utilizaram uma função de perda semelhante à desenvolvida por Tribus e Szonyl (1989) para otimizar simultaneamente várias respostas. Os trabalhos de Caten (1995), Pasa (1996), Echeveste (1997) e Ribeiro, Fogliatto e Caten (2000) utilizaram como objetivo na otimização multivariada a função de perda sugerida por Ribeiro e Elsayed (1995). Ko, Kim e Jun (2005) combinaram os métodos de Pignatiello Jr. (1993) e Vining (1998) para definir um novo método de otimização variada baseado na função perda que permite ao analista considerar robustez e qualidade de predições em uma única função de perda.

#### 2.1.1.4 *Métodos de Otimização Multivariada baseados nas Redes Neurais e Lógica Difusa*

Nesta seção são considerados os trabalhos baseados nas redes neurais e lógica difusa. Hsieh e Tong (2001) apresentam em seu estudo um método baseado nas redes neurais para otimizar respostas multivariadas que envolvem características quantitativas e qualitativas. Li, Su, Chiang (2003) desenvolveram um algoritmo que combina redes neurais e um algoritmo genético. A rede neural mapeia a entrada-saída de dados e, desta forma, define a função que se ajusta à seleção de parâmetros. Por conseguinte, o algoritmo genético utiliza esta função para identificar a solução ótima do problema. Lu e Antony (2002) utilizaram em seu trabalho a razão Sinal-Ruído (S/N) e a lógica difusa na otimização multivariada para encontrar uma medida de desempenho única. Também neste grupo encontra-se o trabalho de Lin e Lin (2005) que propõem a utilização de uma função similar à de preferência e à lógica difusa para obter uma função com uma única variável que compreende várias respostas.

#### 2.1.1.5 *Métodos de Otimização Multivariada baseados nos Índices de Capabilidade*

Este grupo compreende artigos que propõem o uso dos índices de capacidade como critério de otimização. Plante (2001) e Ch'ng, Qhah e Low (2005) demonstraram que o índice de capacidade pode ser aplicado na otimização quando os limites de especificação superior e inferior e os valores alvo das respostas estão disponíveis. Ch'ng, Qhah e Low (2005)

consideram que o índice resultante pode ser considerado uma variação da função de perda proposta por Pignatiello Jr. (1993).

Apesar de serem citados como exemplo de experimentos multivariados, nenhum dos métodos de otimização multivariada até agora revisados contemplam experimentos com variáveis medidas em painéis sensoriais. A seguir é abordada a otimização de produtos multivariada com variáveis subjetivas e avaliadas em painéis sensoriais, considerando-se a importância das mesmas para o setor alimentício.

### **2.1.2 Otimização Multivariada de Produtos com variáveis subjetivas e avaliadas em painéis sensoriais**

Indústrias do setor alimentício, farmacêutico e de cosméticos vêm utilizando a avaliação sensorial dos consumidores tanto no desenvolvimento de novos produtos como na otimização de produtos e processos já existentes. Nesses segmentos, variáveis medidas através de painéis sensoriais, assim como as variáveis de resposta usuais, como peso e viscosidade do item analisado, costumam definir a qualidade final de um produto (CURT et al., 2004; MENDES et al., 2001).

Das décadas de 1940 a 1980, pesquisas para criar ou aperfeiçoar produtos costumavam ser iniciadas desenvolvendo um ou dois protótipos para teste entre consumidores. Uma vez obtida a avaliação preliminar do produto, dava-se prosseguimento ao desenvolvimento de um dos protótipos ou voltava-se ao laboratório para realizar modificações. Tal procedimento não se revelou econômico, rápido ou disciplinado (MOSKOWITZ, 1995). Com o aumento da pressão das empresas para manterem-se competitivas no mercado, os setores de pesquisa e desenvolvimento (P&D) começaram a utilizar ferramentas de projetos de experimentos e otimização de produtos (HSIEH; TONG, 2001). Para empresas da área de alimentos o grande problema para otimização e desenvolvimento de produtos está na necessidade de tratamento conjunto das múltiplas respostas, como propriedades nutricionais, sensoriais e custo (CARNEIRO et al., 2005).

Somente nos últimos anos, a otimização de produtos com variáveis sensoriais vem sendo evidenciada pelos pesquisadores dos setores alimentício, farmacêutico e de remédios. Grande parte dos estudos reportados na literatura focalizou a otimização univariada de produtos, enquanto outros se concentraram na otimização multivariada de respostas quantitativas de qualidade (HSIEH; TONG, 2001).

A metodologia de superfície de resposta (MSR) representa o grupo mais popular de técnicas de otimização atualmente em uso em ciência e tecnologia de alimentos, possivelmente porque sua teoria está completa e também por causa de sua eficiência e simplicidade (BOX; DRAPER apud CASTRO et al., 2003). Na maioria das aplicações de MSR, várias respostas são medidas para cada conjunto de condições experimentais e um modelo é criado a cada resposta (CASTRO et al., 2003). Neste contexto, encontram-se os trabalhos de Lee et al. (2000), Mendes et al. (2001), Fan et al. (2005) e Grizotto et al. (2005). Lee et al. (2000) em seus estudos utilizaram a MSR para otimizar individualmente variáveis quantitativas no processo de extração de vitamina em tomate e brócolis. Mendes et al. (2001) apresentaram uma metodologia baseada na MSR para otimização individual das respostas de um processo de tostagem de grãos de café, correlacionando respostas sensoriais dos consumidores (aroma, gosto e cor) com a variação de cor determinada instrumentalmente. Fan et al. (2005) investigaram as condições ótimas no processamento de fatias de cenouras fritas à vácuo, considerando o efeito do pré-tratamento e condições de processo como temperatura, tempo de fritura e pressão absoluta no vácuo sobre as propriedades das fatias de cenouras fritas (umidade, quantidade de gordura, textura). Grizotto et al. (2005) otimizaram o produto polpa concentrada de mamão em relação às suas propriedades finais de firmeza, pH, sólidos solúveis (°Brix) e atividade de água, utilizando delineamento experimental para obter as superfícies de respostas. Embora se preocupando com a otimização de produtos na indústria alimentícia, nenhum destes autores focou a otimização multivariada dos produtos.

A otimização multivariada pela MSR através da superposição de gráficos de contorno tem sido objeto de pesquisas. Uma delas, realizada por Hough et al. (1997), busca otimizar duas variáveis quantitativas (concentração de chocolate e goma) da formulação de um leite em pó sabor chocolate baseados nas características sensoriais do produto. Huang, Quail e Moss (1998) tiveram como objetivo otimizar o processamento, em laboratório, de um pão tipo chinês. Os pães foram avaliados subjetivamente, através da opinião de um pesquisador sobre três características de qualidade. Através de análise de regressão, foram selecionadas para a otimização duas características do processo com maior efeito sobre a maioria das respostas para a otimização. Nanda et al. (2004) e San Juan et al. (2005) também se basearam na MSR e superposição de gráficos para otimização de um produto lácteo e de uma barra de chocolate, respectivamente.

Carneiro et al. (2005), Castro et al. (2003) e Fogliatto (1999) apontaram como limitação da otimização multiresposta através da MSR a diminuição da eficiência quando o número de variáveis de resposta é superior a dois. Para resolver este problema, Castro et al.

(2003) e Carneiro et al. (2005) combinaram em seus estudos a técnica de superposição de gráficos da MSR com programas computacionais. Castro et al. (2003) trabalharam na otimização multivariada das respostas na formulação de misturas de proteínas utilizadas na preparação de uma bebida láctea. As misturas foram avaliadas sensorialmente, através da determinação da qualidade protéica e, ainda, pelo custo da formulação. Os autores otimizaram o sistema multivariado através de um programa computacional em linguagem FORTRAN baseado no método Simplex. O programa computacional desenvolvido por Carneiro et al. (2005) incorpora métodos de gradiente, um modelo de otimização que faz uso de derivadas para determinar a direção da busca do ponto ótimo. O método de gradiente pode aceitar restrições, permitindo sua aplicação em diversos sistemas. Tanto o método desenvolvido por Castro et al. (2003) quanto aquele elaborado por Carneiro et al. (2005) apresentam como desvantagem a dependência de um programa computacional comercial.

Devido à impossibilidade de se aplicar diretamente técnicas de otimização convencionais, são escassos os trabalhos sobre otimização multivariada envolvendo características qualitativas e quantitativas. Hsieh e Tong (2001) preocuparam-se em otimizar múltiplas respostas, quantitativas ou qualitativas, de um processo de manufatura. O método desenvolvido por eles se baseia em redes neurais artificiais. Duas redes neurais foram construídas, uma para determinar o ajuste de parâmetros ideal e a outra para estimar os valores ótimos de múltiplas características de qualidade, através de um programa computacional.

Curt et al. (2004) estudaram a otimização multivariada de produtos e processos que envolvem características sensoriais. Os autores aplicaram o método simplex para determinar os valores de parâmetros do processo de fabricação de uma emulsão cárnea que conduzem a um produto com características sensoriais desejadas. Os dados foram analisados pela lógica difusa, que permite o uso de escalas de medida contínuas e a possibilidade de tratar da mesma forma medidas instrumentais e sensoriais. Dados simbólicos foram combinados para a obtenção de um diagnóstico multidimensional do produto. Esta combinação permitiu a otimização de algumas características sensoriais relacionadas a aspectos visuais e de textura.

O trabalho de Pizzolato, Caten e Fogliatto (2005) estudou a otimização multivariada da formulação de pisos plásticos. O método proposto utilizou a Função de Perda Quadrática apresentada em Ribeiro e Elsayed (1995) e na otimização foram consideradas variáveis de respostas usuais e variáveis sensoriais de degradação. Para avaliação da degradação os autores utilizaram a técnica de avaliação sensorial apresentada em Fogliatto (1997) e Meilgaard, Civille e Carr (1999).

Como demonstrado nesta seção, as variáveis sensoriais têm sido utilizadas em diferentes segmentos industriais na otimização multivariada de produtos. Porém, todos os métodos de otimização multivariada dependem da correta mensuração das variáveis sensoriais. Por isso, a seção a seguir apresentará um referencial teórico sobre os diferentes métodos de avaliação sensorial.

## 2.2 AVALIAÇÃO SENSORIAL

A avaliação sensorial é utilizada em diversos tipos de indústrias, tais como as alimentícias, cosméticas, farmacêuticas e de tintas para medir a qualidade de seus produtos (ANZALDÚA-MORALES, 1994; FOGLIATTO; ALBIN, 2003). A avaliação sensorial compreende um conjunto de técnicas para medir precisamente atributos sensoriais de produtos a partir de respostas humanas. As informações obtidas através da avaliação sensorial podem ser utilizadas pelas empresas como suporte técnico para pesquisa, industrialização, marketing e controle de qualidade e para sustentar decisões administrativas, diminuindo o risco que acompanha o processo de tomada de decisão. Na perspectiva do consumidor, a avaliação sensorial em produtos industriais assegura que os mesmos cheguem ao mercado não somente com um conceito bom, mas também com atributos sensoriais desejáveis que satisfaçam suas expectativas (DUTCOSKY, 1996; LAWLESS; HEYMANN, 1998). Este trabalho dedicará maior atenção à aplicação da avaliação sensorial na indústria alimentícia, ainda que se expliquem os princípios gerais e os métodos de análise sensorial, os quais são válidos para os demais tipos de aplicação.

Os resultados da avaliação sensorial são utilizados pela indústria de alimentos e nas instituições de pesquisa com diferentes objetivos, tais como (ALMEIDA et al., 1999; DUTCOSKY, 1996):

- Controle das etapas de desenvolvimento de um novo produto (análise descritiva das amostras experimentais; classificação de cada amostra de acordo com os padrões estabelecidos; estabelecimento de aceitabilidade igual ou menor que o padrão para um dos vários produtos experimentais, etc.);
- Avaliação do efeito das alterações nas matérias-primas ou no processamento tecnológico sobre o produto final;
- Redução de custos (um programa de redução de custos pode se basear em ingredientes de menor preço, processos menos onerosos ou a produção em um local diferente);

- Seleção de nova fonte de suprimento;
- Controle de efeito da embalagem sobre os produtos acabados;
- Controle de qualidade;
- Estabilidade durante o armazenamento (Vida de prateleira);
- Graduação ou avaliação do nível de qualidade do produto;
- Teste de mercado de um novo produto ou produto reformulado.

Stone e Sidel (1993) definiram a avaliação sensorial como um método científico para evocar, medir, analisar e interpretar respostas e características de produtos, conforme percebidas pelos sentidos humanos: visão, olfato, tato, gosto e audição. Desde então, os pesquisadores buscam desenvolver metodologias nas quais os princípios e testes envolvam cada uma das quatro atividades mencionadas nesta definição. Estas metodologias também possibilitam a seleção de métodos e julgadores apropriados, delineamentos estatísticos corretos e a interpretação adequada dos dados (DUTCOSKY, 1996). A avaliação sensorial fornece diretrizes para preparar e servir amostras em condições controladas, de acordo com o objetivo da avaliação e o tipo de produto a ser avaliado, minimizando fontes de variação (LAWLESS; HEYMANN, 1998).

A avaliação sensorial é uma ciência quantitativa na qual dados numéricos são colecionados para estabelecer relações válidas e específicas entre as características do produto e a percepção humana (LAWLESS; HEYMANN, 1998). A corrente da percepção sensorial no ser humano envolve três etapas básicas, conforme esquematizado na Figura 2 (MEILGAARD; CIVILLE; CARR, 1999): o estímulo toca o órgão sensorial e é convertido em sinal nervoso que viaja ao cérebro; o cérebro, então, organiza e interpreta as sensações recebidas em percepções; por último, uma resposta é formulada baseada na percepção do julgador. Schiffman apud Meilgaard, Civille e Carr (1999) observa que a relação entre sensação e percepção é hierárquica: ambas envolvem o cérebro, sendo a sensação um fenômeno mais periférico e a percepção mais central e influenciada pelo pré-condicionamento do julgador.

O ser humano, geralmente, observa os atributos de um produto na seguinte ordem: aparência, odor/aroma/fragrância, consistência e textura, e sabor (aroma, sensações químicas e gosto). Apesar disso, no processo global de percepção, os atributos se sobrepõem uma vez que todas as impressões surgem quase que simultaneamente e somente com treinamento os indivíduos serão capazes de avaliá-las isoladamente (MEILGAARD; CIVILLE; CARR, 1999).

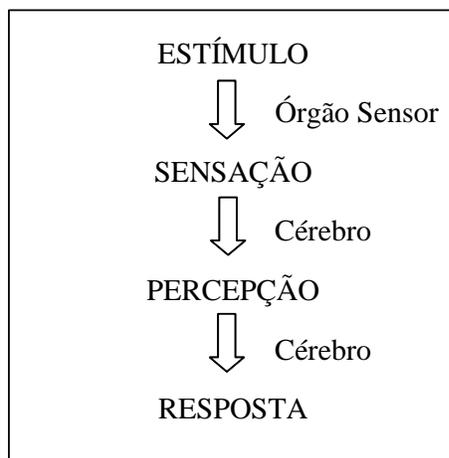


Figura 2: Representação esquemática da cadeia de percepção sensorial

Fonte: MEILGAARD; CIVILLE; CARR, 1999

O processo de análise também faz parte da avaliação sensorial. A análise correta de dados é uma parte crítica de um teste sensorial. Dados gerados de observadores humanos apresentam com frequência variações significativas. Existem muitas fontes de variação em respostas humanas, como, por exemplo, humor e motivação dos participantes, bem como a sensibilidade fisiológica para estímulos sensoriais. No teste sensorial, tais fontes de variação podem ser controladas apenas parcialmente. Para avaliar se as relações observadas entre as características do produto e as respostas sensoriais são reais, e não somente o resultado da variação não controlada das respostas, os métodos estatísticos são utilizados para analisar os dados da avaliação (LAWLESS; HEYMANN, 1998).

A avaliação sensorial está preocupada com a precisão, exatidão, sensibilidade e em evitar resultados falsos (MEISELMAN apud LAWLESS; HEYMANN, 1998). O rigor científico no planejamento de experimentos influencia na confiabilidade obtida com os resultados da avaliação sensorial (ALMEIDA et al., 1999). A repetição de resultados quando um mesmo teste é realizado mais do que uma vez é algo que se deseja. Porém, normalmente há alguma discrepância de erro ao redor do valor obtido. Isto é especialmente verdade em testes sensoriais nos quais percepções humanas necessariamente fazem parte da geração de dados, e fatores psicológicos e fisiológicos podem influenciar a percepção sensorial levando a variação de resultados e erros (DELLA MODESTA, 1994). Para obtenção de resultados confiáveis, autores como Lawless e Heymann (1998) e Faria e Yotsuyanagi (2002) sugerem o controle de variáveis como instalações físicas, controle do produto e controle de participantes do painel sensorial. As instalações físicas, segundo Faria e Yotsuyanagi (2002), devem atender os requisitos das normas ISO 8589:1988 e ASTM E 480:1984.

A avaliação sensorial é efetuada de maneira científica quando se utiliza um painel sensorial, composto por um grupo de pessoas (degustadores, julgadores ou avaliadores), selecionadas para analisar atributos sensoriais dos alimentos e treinadas de acordo com o objetivo da avaliação e o tipo de produto a ser avaliado. Meilgaard, Civille e Carr (1999) e Amerine, Pangborn e Roessler (1965) apresentam detalhes da seleção de painel e ambiente de teste, preparação de amostras e instruções aos julgadores.

Os aspectos complexos da avaliação sensorial demandam procedimentos organizados para coletar e analisar dados de painéis sensoriais. Tais procedimentos devem fornecer informações quantitativas confiáveis sobre as propriedades sensoriais do produto em estudo. Os métodos de avaliação sensorial e as escalas de medidas são duas ferramentas que ajudam na coleta e medição de dados sensoriais. Os métodos de avaliação sensorial dão diretrizes de como coletar dados sensoriais e serão apresentados na seção seguinte. As escalas de medida determinam o tipo de dado sensorial a ser obtido, uma vez que são o instrumento de representação das percepções sensoriais (PIZZOLATO, 2002).

A Figura 3 apresenta a classificação das escalas de medida, segundo a NBR 14141 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1998). A escolha da escala depende do método escolhido para a coleta de dados. A validade de uma escala de medida está relacionada à existência de intervalos capazes de detectar pequenas diferenças entre as amostras e ao treinamento dos julgadores para utilizá-la de maneira correta (FARIA; YOTSUYANAGI, 2002).

<b>CLASSIFICAÇÃO</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
<b>Nominal</b>	Dados sensoriais são classificados em classes (categoria) que não possuem nenhuma relação quantitativa entre si.
<b>Ordinal</b>	O julgador especifica as categorias das amostras como uma série ordenada, porém sem expressar o tamanho da diferença entre elas, sendo um exemplo típico as escalas utilizadas nos testes de ordenação.
<b>Intervalo</b>	Julgadores classificam as amostras em grupos numerados separados por intervalo constante; exemplo: três, quatro, cinco, seis. Escalas mais importantes: Hedônica de 9 pontos (tipo Likert) e de avaliação gráfica.
<b>Razão</b>	Julgadores utilizam números que indicam quantas vezes o estímulo em questão é mais forte que o estímulo de referência, apresentado anteriormente.

Figura 3: Classificação das escalas de medidas segundo NBR 14141 da ABNT

Fonte: elaborada pela autora

As escalas utilizadas nas avaliações sensoriais são geralmente classificadas como escalas de intervalo, utilizadas para avaliar atributos específicos, nos testes descritivos e nos afetivos (escalas hedônicas e de atitudes). A escala hedônica é do tipo escala de intervalo que demonstra o quanto (grau) o consumidor gosta ou desgosta de uma amostra. Expressões faciais podem ser utilizadas nessa escala. As escalas de atitude são utilizadas para avaliar o nível de aceitação de um produto (FARIA; YOTSUYANAGI, 2002).

As escalas de intervalo também podem ser classificadas quanto à estrutura em escalas estruturadas, cujos intervalos são associados a números e/ou termos descritivos, e escalas não estruturadas ou lineares, onde uma linha é demarcada por expressões quantitativas nas extremidades (FARIA; YOTSUYANAGI, 2002).

O uso de escala gera dados com diferentes propriedades dependendo das circunstâncias do teste (experiência dos julgadores com o teste, familiaridade com o produto, etc), de qualquer maneira são consideradas comumente três tipos de escalas: escalas de categoria, que resultam em dados discretos; escalas lineares, que resultam em dados contínuos; e escala de estimativa de magnitude, que resultam em dados de proporção (MEILGAARD; CIVILLE; CARR, 1999).

### 2.2.1 Métodos de Avaliação Sensorial

A avaliação sensorial dos alimentos é realizada de acordo com diferentes testes, segundo a sua finalidade (ANZALDÚA-MORALES, 1994). Testes podem ser conduzidos para: (i) selecionar julgadores qualificados e estudar a percepção humana de atributos de alimentos; (ii) correlacionar medidas sensoriais com medidas químicas e físicas; (iii) estudar efeitos de processamento, manter qualidade, selecionar matérias-primas, estabelecer estabilidade do armazenamento, ou reduzir custos; (iv) avaliar qualidade; ou (v) determinar a reação do consumidor. Cada uma dessas finalidades requer testes apropriados. Geralmente, painéis sensoriais são utilizados para as primeiras três finalidades, peritos altamente treinados para a quarta, e grupos grandes de consumidores para a última (AMERINE; PANGBORN; ROESSLER, 1965).

O local de realização dos testes sensoriais deve ser tranquilo, onde os julgadores fiquem livres de distúrbios e capazes de se concentrar. O analista necessita de mínima interpretação subjetiva para saber o que é percebido, de maneira que os resultados possam ser relacionados com as medições mecânicas e instrumentais e com as pesquisas de mercado.

Condições especiais são necessárias para que o julgador não julgue o produto com interpretações pessoais, mas o avalie o mais objetivamente possível (DUTCOSKY, 1996).

Os testes de avaliação sensorial são classificados por Stone e Sidel (1993) em discriminatórios, descritivos e afetivos. Os testes discriminatórios têm como objetivo avaliar se duas amostras são iguais ou diferentes. Os testes descritivos são empregados para identificar e quantificar através de julgadores treinados as características sensoriais de um produto. Já os testes afetivos são utilizados para verificar a preferência ou aceitabilidade de um produto pelos julgadores (FARIA; YOTSUYANAGI, 2002). Segue uma apresentação detalhada dos diferentes tipos de testes.

#### 2.2.1.1 *Métodos Discriminatórios*

Os testes discriminatórios devem ser utilizados pelos especialistas sensoriais para determinar se duas amostras são perceptivelmente diferentes (STONE; SIDEL, 1993). Duas amostras podem ser quimicamente diferentes em formulação, mas seres humanos não percebem esta diferença. Profissionais responsáveis pelo desenvolvimento de produto exploram esta possibilidade quando reformulam um produto usando ingredientes diferentes visando que o consumidor não perceba diferença alguma (LAWLESS; HEYMANN, 1998).

Quando amostras apresentam diferenças muito grandes e óbvias, e testes preliminares indicarem que as duas amostras serão perceptivelmente diferentes a todos julgadores, testes discriminatórios não são úteis. Neste caso, o uso de técnicas empregando escalas para indicar a magnitude exata da diferença entre as amostras seria mais indicado (ver 2.2.1.2). Resumindo, testes discriminatórios são úteis quando as diferenças entre as amostras forem sutis (LAWLESS; HEYMANN, 1998).

Os testes discriminatórios normalmente são executados quando existem somente duas amostras. É possível fazer testes de diferença múltiplos para comparar mais de dois produtos, mas estes não costumam ser eficientes ou estatisticamente justificáveis. Geralmente técnicas de ordenamento e de escalas são mais efetivas (ver seção 2.2.1.2). A associação de testes discriminatórios a outros testes que envolvam julgamentos quanto à qualidade, grau de diferença ou preferência não é recomendada, visto que tendem a desviar a atenção dos analistas do objetivo principal do teste e podem resultar em erros e distorções (FARIA; YOTSUYANAGI, 2002).

A equipe de julgadores destinada aos testes discriminatórios é, geralmente, relativamente pequena e pré-selecionada. Os julgadores podem ser semi-treinados quando os

testes são simples, tais como o de comparação pareada simples, duo-trio ou triangular; porém, para algumas comparações mais complexas, como a comparação múltipla, é preferível que os julgadores sejam treinados, já que é necessário considerar diferença de algum atributo em particular e avaliar a magnitude da diferença (ANZALDÚA-MORALES, 1994)

Os métodos discriminatórios foram divididos por Teixeira, Meinert e Barbeta (1987) em testes de sensibilidade e testes de diferença. Entre os principais testes de diferença estão o triangular, duo-trio, de comparação pareada, de ordenação, e testes de comparações múltiplas ou de amostras múltiplas.

Os **testes de sensibilidade** (ou *threshold*) medem a capacidade dos indivíduos de perceber, identificar e/ou diferenciar qualitativa e/ou quantitativamente um ou mais estímulos, pelos órgãos dos sentidos. *Threshold* é o limite mínimo de percepção absoluta, ou seja, o limite de concentração de uma determinada substância em que o provador ainda pode perceber alguma diferença entre duas amostras de um determinado estímulo. Estes testes são aplicados para selecionar e treinar julgadores e para determinar limiares de detecção (*threshold* absoluto), reconhecimento (*threshold* de reconhecimento) e diferença (*threshold* de diferença) de ingredientes (DUTCOSKY, 1996; MONTEIRO, 1984; TEIXEIRA; MEINERT; BARBETTA, 1987).

Os **testes de diferença** indicam se existe ou não diferença entre as amostras. Através deles pode-se determinar três diferenças básicas: diferenças simples, diferenças direcionais e diferenças de preferência-qualidade. Na ciência dos alimentos, os testes de diferença têm como objetivo determinar variações sensoriais em alimentos, resultantes de alterações físicas e químicas, visto que as propriedades sensoriais originam-se de características genéticas, de plantio, práticas de conservação, materiais e métodos utilizados para o processamento, tipos e materiais de embalagem e condições de estocagem. Estes testes são aplicáveis tanto para fins de controle de qualidade quanto para fins de pesquisa e desenvolvimento de novos produtos, quando se deseja conhecer o efeito de novos ingredientes ou de diferentes processos sobre os atributos sensoriais do produto (TEIXEIRA; MEINERT; BARBETTA, 1987; FARIA; YOTSUYANAGI, 2002).

O teste *Triangular* é utilizado quando o objetivo é identificar pequenas diferenças entre as amostras, ou avaliar as diferenças que envolvem os atributos organolépticos (odor, textura, doçura, salinidade, acidez, etc.). Este teste é empregado quando o número de julgadores é limitado, quando as amostras são homogêneas, quando não existe problema de adaptação sensorial, para a seleção e treinamento de provadores e, especialmente, quando a dimensão das diferenças não é conhecida ou muito complexa para que todos os julgadores

compreendam a semelhança. O princípio do teste baseia-se em apresentar três amostras codificadas simultaneamente ao provador, duas com a mesma formulação e uma diferente. Cada provador deve indicar a amostra diferente ou as duas amostras semelhantes. A forma usual pede para identificar a amostra diferente. Porém, alguns especialistas sensoriais podem solicitar a identificação do par de amostras iguais. Embora estatisticamente seja um teste mais eficiente do que os testes duo-trio ou pareado, alguns autores limitam seu uso devido à fadiga sensorial, pois são testadas três amostras (MONTEIRO, 1984; DUTCOSKY, 1996; DELLA MOLESTA, 1994; LAWLESS; HEYMANN, 1998).

No teste *Duo-trio*, os provadores também recebem três amostras simultaneamente e o objetivo é verificar se existe diferença significativa entre duas amostras que receberam tratamentos diferentes. Uma amostra é identificada como referência ou padrão, a qual possui a mesma formulação de uma das duas amostras codificadas. Solicita-se ao provador para indicar a amostra codificada similar à de referência. Sua utilização é recomendada quando a amostra de referência é bem conhecida dos provadores, por exemplo, uma amostra regular da produção. É também utilizado na rotina do controle de qualidade de bebidas alcoólicas. Sua vantagem em relação ao teste triangular está na simplicidade e facilidade de compreensão. Porém, o teste duo-trio é mais ineficiente que o triangular porque a probabilidade de acertar ao acaso é  $\frac{1}{2}$  ao invés de  $\frac{1}{3}$  como no triangular. Em relação ao teste de comparação pareada, o teste duo-trio possui a vantagem de apresentação de uma amostra de referência e a desvantagem de serem avaliadas três ao invés de duas amostras (MONTEIRO, 1984; DUTCOSKY, 1996; LAWLESS; HEYMANN, 1998).

O teste *Pareado* é aplicado quando o objetivo é detectar diferença entre duas amostras com relação a uma característica sensorial específica (por exemplo, doçura, odor, acidez, etc.). É um dos testes sensoriais mais simples e mais utilizados. Tem como vantagens o fato de não causar fadiga sensorial, uma vez que os julgadores não necessitam provar muitas amostras e a possibilidade de utilizar julgadores não-treinados. A desvantagem é que quando o número de inter-comparações requeridas aumenta, o teste torna-se impraticável. É recomendado para seleção e treinamento de julgadores (FARIA; YOTSUYANAGI, 2002).

Quando duas amostras são apresentadas ao provador para que o mesmo identifique se existe diferença entre elas, o teste é denominado Pareado Simples. Quando o provador tem que identificar qual das duas apresenta maior intensidade de determinada característica sensorial, o teste é chamado Comparação Pareada. Este teste também pode utilizar em cada par uma amostra padrão, e o grau da diferença é indicado por uma escala numérica (TEIXEIRA; MEINERT; BARBETTA, 1987; MONTEIRO, 1984).

O teste de Comparação Pareada possui duas variações: o teste de Simples Diferença, descrito anteriormente, e o teste de Preferência Pareado, quando o teste tem como objetivo a identificação da amostra predileta (FARIA; YOTSUYANAGI, 2002).

O *teste de Ordenação* está entre os principais testes discriminatórios. Este método é indicado quando se deseja comparar diversas amostras ao mesmo tempo com relação a um determinado atributo e verificar se estas diferem entre si. As amostras são apresentadas ao provador e solicita-se que ordene as amostras em ordem crescente ou decrescente do atributo sensorial avaliado. Assim como nos demais testes de diferença, a posição das amostras deve ser ao acaso com relação aos provadores. Recomenda-se que o provador faça uma primeira ordenação das amostras e teste novamente as mesmas para verificar se a ordem está realmente correta. O teste tem como vantagem ser simples, rápido e permitir a avaliação de um número maior de amostras que nos outros testes. Como desvantagem, este teste não permite quantificar o grau de diferença ou preferência entre as amostras (ANZALDÚA-MORALES, 1994; TEIXEIRA; MEINERT; BARBETTA, 1987; FARIA; YOTSUYANAGI, 2002).

Um teste que envolve a comparação de mais do que três amostras é denominado de *teste de Comparação Múltipla* ou de *Amostras Múltiplas*. A utilização deste teste ocorre quando o objetivo é verificar a um só tempo se existe diferença significativa entre várias amostras e uma de referência ou padrão, e estimar o grau dessa diferença. Ao julgador é apresentada uma amostra padrão, especificada com a letra P, e uma ou mais amostras codificadas. O julgador é solicitado a provar as amostras, comparando-as com o padrão e avaliar o grau de diferença entre a amostra codificada e o padrão, usando uma escala feita para esse propósito. Sempre se introduz uma amostra igual ao padrão entre as amostras codificadas. Este teste não é recomendado para um número muito grande de amostras, pois pode ocasionar fadiga sensorial, especialmente quando o atributo analisado é o sabor. Entretanto, se a avaliação é apenas visual, onde a fadiga sensorial é quase inexistente e a quantidade de amostras requeridas não é grande, é amplamente recomendado uma vez que elas não são consumidas e toda a equipe pode avaliar o mesmo grupo de amostras. Serve também como indicativo da concentração de um determinado componente que pode ser adicionada a um produto, sem que ocorram mudanças significativas nas suas propriedades sensoriais (TEIXEIRA; MEINERT; BARBETTA, 1987; MONTEIRO, 1984).

### 2.2.1.2 Métodos Descritivos ou Analíticos

Os testes sensoriais descritivos são uma das ferramentas mais sofisticadas no arsenal do especialista sensorial, e envolvem identificação, quantificação e descrição dos aspectos sensoriais de um produto através dos painéis sensoriais treinados (PIGGOTT; SIMPSON; WILLIAMS, 1998; LAWLESS; HEYMANN, 1998). Os provadores devem ser capazes de detectar e descrever os atributos sensoriais de uma amostra. Estes aspectos qualitativos do produto incluem a aparência, aroma, sabor, textura e sabor residual, e devem permitir defini-lo e diferenciá-lo dos outros. Além disso, os provadores devem saber indicar a intensidade com que cada atributo é percebido nas amostras (aspecto quantitativo), permitindo a discriminação e caracterização das diferenças entre as amostras. Os métodos descritivos utilizam escalas de intervalo ou de proporção (MEILGAARD; CIVILLE; CARR, 1999).

A principal vantagem da análise descritiva é sua habilidade de permitir que seja determinada uma relação entre as medidas sensoriais descritivas e a instrumental ou de preferência do consumidor. O conhecimento da “composição desejada” permite a otimização do produto e modelos validados entre medidas sensoriais descritivas e as medidas instrumentais relevantes e/ou da preferência que são altamente desejáveis, a ponto de cada vez mais estarem sendo utilizados na indústria de alimentos. A desvantagem é que exigem maior treinamento e habilidade do provador (MURRAY; DELAHUNTY; BAXTER, 2001).

As análises sensoriais descritivas são úteis em qualquer situação em que é desejada uma descrição detalhada de atributos sensoriais de um simples produto ou a comparação de alguns produtos. Estas análises são usadas para o controle de qualidade, para monitorar produtos concorrentes, para a comparação de protótipos de produtos para compreender respostas dos consumidores com relação aos seus atributos sensoriais e para acompanhamento da vida de prateleira dos produtos (GACULA apud MURRAY; DELAHUNTY; BAXTER, 2001; LAWLESS; HEYMANN, 1998).

Existem diversos métodos de análise descritiva, incluindo o método do perfil de sabor, o método do perfil de textura, o método *Spectrum*, Análise Descritiva Quantitativa (QDA - *Quantitative Description Analysis*) e a técnica Tempo-Intensidade.

O método do *Perfil de Sabor* foi o primeiro método descritivo relatado, desenvolvido por Arthur D. Little em 1940. É considerado um método qualitativo e semi-quantitativo onde se avaliam aroma e sabor perceptíveis em um produto, além das sensações bucais e sabores residuais fornecendo um registro escrito destes componentes. Individualmente, os julgadores descrevem as notas de aroma e sabor perceptíveis e a ordem

com que são percebidas usando uma escala constante de categoria. Posteriormente suas percepções são discutidas em grupo, definindo-se o perfil de sabor consensual. Os dados são geralmente reportados na forma tabular, contudo uma representação gráfica é possível. Em geral não são conduzidas análises estatísticas dos dados. (MURRAY; DELAHUNTY; BAXTER, 2001; FARIA; YOTSUYANAGI, 2002).

Para a realização do teste sensorial, os julgadores são selecionados rigorosamente com base em um teste fisiológico para discriminação de gosto, discriminação de intensidade de gosto, e discriminação e descrição olfativa. O interesse, disponibilidade, e potencial para trabalhos em grupo de cada julgador são verificados através de entrevista individual (MEILGAARD; CIVILLE; CARR, 1999).

O *Perfil de Textura* foi desenvolvido por cientistas da General Foods em 1960 e foi baseado nos princípios de perfil de sabor. O método proporciona uma aproximação sistemática para medir as dimensões da textura de um alimento, em termos de suas características mecânicas, geométricas, de gordura e umidade com relação ao grau com que cada uma está presente e a ordem com que aparecem, desde a primeira mordida, na mastigação, até a fase residual (após a deglutição). Assim como no perfil de sabor, é geralmente aplicado em conjunto, onde os membros reunidos traçam o perfil de sabor do produto-teste (TEIXEIRA; MEINERT; BARBETTA, 1987).

Os julgadores são selecionados com base na sua habilidade de discriminar diferenças de textura em um produto específico no qual o painel sensorial será treinado. Uma entrevista com os julgadores, comum na maioria dos testes descritivos, é realizada para determinar seu interesse, disponibilidade, e atitude. Os julgadores, selecionados para treinamento, são expostos a uma gama extensiva de produtos da categoria em análise, para fornecer uma lista ampla de referências. Os princípios básicos de textura dos produtos em estudo são também apresentados aos julgadores. Depois disso, julgadores são capazes de realizar discussões sobre termos redundantes e selecionar termos mais apropriados tecnicamente e descritivos dos produtos. Os julgadores também definem todos os termos e todos os procedimentos de avaliação, assim a parte da variabilidade encontrada na maioria dos testes descritiva é reduzida (MEILGAARD; CIVILLE; CARR, 1999).

Amostras são avaliadas independentemente por cada julgador utilizando geralmente uma escala de categoria de 15 pontos ancorada com produtos específicos. Dependendo do tipo de escala utilizada pelo painel e do tratamento dos dados, a decisão final do painel é derivada da discussão em grupo ou análise estatística dos dados. Para o relato final, os dados podem ser exibidos de forma tabular ou gráfica (MEILGAARD; CIVILLE; CARR, 1999).

O método *Spectrum* foi desenvolvido por Gail Vance Civile em 1970 e é baseado na filosofia do perfil de textura, porém não foca somente nos aspectos de textura, mas examina o espectro completo dos atributos de um produto. Desta maneira, fornece informação sobre os atributos percebidos e sua intensidade, a qual é avaliada em relação a uma escala absoluta e universal que permite a comparação da intensidade relativa entre os atributos. Para obtenção de resultados satisfatórios utilizando este método é necessário selecionar e descrever adequadamente os atributos a serem avaliados, treinar exaustivamente os julgadores e projetar os procedimentos de teste corretamente (MURRAY; DELAHUNTY; BAXTER, 2001; FARIA; YOTSUYANAGI, 2002).

Neste teste sensorial, os atributos são agrupados de acordo com sua classificação ou categoria (aparência, aroma, etc). Descrições guiadas (âncoras) são associadas a atributos dentro de cada categoria para exemplificar os extremos de intensidade dos atributos. Por exemplo, dentro da categoria de textura, as amostras podem ser avaliadas com respeito à sua firmeza usando as palavras "macio" e "duro" como âncoras que descrevem o extremo de intensidade. Alternativamente, um produto cuja firmeza está familiarizada com os membros do painel sensorial pode ser usado como âncora; neste contexto, "macio" seria substituído através de chantilly, e "duro" seria substituído através de bala dura (*Bala Soft*), por exemplo (MEILGAARD; CIVILLE; CARR, 1999).

O treinamento dos julgadores é realizado de maneira que possam identificar atributos em uma amostra e medi-los através de uma escala. O método *Spectrum* utiliza uma escala linear de 15 cm; julgadores fazem uma marca na linha de 15 cm de acordo com intensidade do atributo sobre avaliação, onde o fim da linha corresponde ao extremo de intensidade. Marcas são então convertidas em números de escala de 15 pontos (MEILGAARD; CIVILLE; CARR, 1999).

Os dados provenientes do método *Spectrum* podem ser utilizados para a otimização individual dos atributos. Para isso, geralmente utiliza-se a Tabela de Análise de Variância (ANOVA – *One-way Analysis of Variance*). Estes testes indicam a diferença significativa entre tratamentos para um único atributo. Para identificar as diferenças entre os tratamentos, testes de comparação múltipla, como *Student-Newman-Keuls* (SNK), devem ser realizados. Analistas também utilizam a análise gráfica dos tratamentos para indicar a mais próxima do valor alvo. Os testes ANOVA e SNK estão descritos em Montgomery (2001).

A técnica de *Análise Descritiva Quantitativa* (QDA) foi desenvolvida pelos pesquisadores Stone, Sidel, Oliver, Woolsey e Singleton da *Tragon Corp.* em 1974, em razão de sua insatisfação com relação à ausência de tratamento estatístico dos dados obtidos por

meio da técnica de Perfil de Sabor e métodos relacionados, e está fortemente apoiada em técnicas estatísticas. Os componentes do teste QDA estão agrupados em quatro grandes aspectos de igual importância (MEILGAARD; CIVILLE; CARR, 1999): aspecto qualitativo, que descreve e define os atributos sensoriais que caracterizam o produto; aspecto quantitativo, que mede a intensidade de percepção dos atributos; aspecto temporal, que verifica a ordem de percepção dos atributos e; integração das percepções, impressões globais sobre um conjunto de atributos. Esse método utiliza geralmente escalas não estruturadas de 9 cm (Figura 4) ou 15 cm, ancoradas um pouco aquém dos extremos com termos que indicam a intensidade do atributo que está sendo avaliado (DUTCOSKY, 1996).

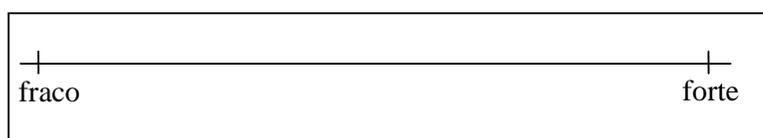


Figura 4: Exemplo de escala ancorada não estruturada de 9 cm

Fonte: DUTCOSKY, 1996

Os testes QDA possibilitam à indústria de alimentos identificar e definir todos os sabores e sensações táteis bucais característicos de um produto, fornecendo uma comparação das intensidades relativas das características sensoriais de diferentes amostras ou produtos. Os julgadores utilizados neste teste devem ser altamente treinados. A aplicação do QDA deve ser feita em 6 etapas: (i) pré-seleção de candidatos; (ii) seleção de candidatos; (iii) desenvolvimento da terminologia descritiva; (iv) treinamento dos candidatos selecionados; (v) avaliação do desempenho da equipe; e (vi) teste sensorial. Na pré-seleção dos candidatos, é feito o primeiro contato com os julgadores em potencial através de entrevista, questionário ou ambos, com objetivo de obter informações sobre eles assim como informar sobre os testes (FARIA; YOTSUYANAGI, 2002).

Para a seleção de candidatos, o número inicial de participantes deve ser de 2 a 3 vezes superior ao número desejado de julgadores treinados. A avaliação é realizada de acordo com sua habilidade de discriminar diferenças nas propriedades sensoriais entre amostras de um tipo específico de produto. No desenvolvimento de terminologia descritiva, os candidatos selecionados avaliam sensorialmente amostras diferentes do produto e verbalizam as sensações percebidas, discutindo-as em grupo com a ajuda do analista sensorial. Normalmente nesta etapa é feita a adaptação do Método de Rede, *Kelly's Repertory Grid Method*, (MOSKOWITZ, 1983). De posse de uma ampla lista de termos levantados, sob a supervisão do analista sensorial, os julgadores discutem o significado de cada termo, eliminam termos

correlatos, agrupam termos sinônimos. Após a realização de várias seções de discussão, é criada uma lista de termos apropriados e importantes que descrevem os atributos das amostras. Com os atributos escolhidos são montadas fichas de avaliação com escalas não estruturadas (MEILGAARD; CIVILLE; CARR, 1999; FARIA; YOTSUYANAGI, 2002).

A etapa de treinamento é realizada com os próprios produtos a serem avaliados e com materiais de referência. Nesta etapa os procedimentos de avaliação de cada atributo são definidos, os significados de cada atributo e o uso das escalas para expressar a intensidade percebida são discutidos e explicados (MEILGAARD; CIVILLE; CARR, 1999).

Na quinta etapa, de avaliação de desempenho da equipe, os julgadores são selecionados a partir da avaliação individual de no mínimo três amostras com no mínimo três repetições, seguindo um delineamento de blocos completos balanceados, apresentando uma amostra por vez. São selecionados os julgadores que consigam realmente discriminar as amostras, apresentem boa reprodutibilidade e que produzam resultados consensuais com os demais membros da equipe sensorial. Ao final desta etapa estima-se um número de 12 a 15 julgadores treinados e selecionados para análise descritiva quantitativa (FARIA; YOTSUYANAGI, 2002).

No teste sensorial, é recomendada a avaliação das amostras por todos os julgadores em três repetições, delineamento de blocos completos balanceados e apresentação de uma amostra por vez. Os resultados da análise descritiva quantitativa são analisados estatisticamente, através da determinação de média, desvio-padrão entre as médias e/ou outros parâmetros estatísticos. Na comparação entre amostras, análise de variância, testes de comparação como o teste de Tukey e técnicas multivariadas de análise estatística são realizados. São feitas representações de gráficas dos dados na forma de aranha ou linha para os valores médios que permitem a obtenção de um perfil sensorial das amostras, facilitando a comparação entre elas (FARIA; YOTSUYANAGI, 2002).

O método QDA tem sido extensivamente utilizado, mas normalmente os experimentos não são projetados corretamente, conforme descrevem Stone e Sidel (1993). A relativa simplicidade da técnica permite sua adaptação para diferentes formas. Porém, nenhuma adaptação invalida o nome QDA para descrever o procedimento. As vantagens citadas pelos defensores da QDA incluem as idéias que os julgadores realizam julgamentos independentes e os resultados não são derivados de consenso. Adicionalmente, os dados são facilmente analisados estatisticamente e graficamente representados. Uma limitação da QDA é a dificuldade de comparar resultados entre painéis, laboratórios, e de um tempo a outro através desta técnica (MURRAY; DELAHUNTY; BAXTER, 2001).

A técnica *Tempo-Intensidade* (T-I) é um caso especial de análise descritiva, em que um determinado atributo e sua intensidade são monitorados num período de tempo (PIGGOTT; SIMPSON; WILLIAMS, 1998). Através deste método são obtidas curvas de T-I que descrevem tempo para alcançar a intensidade máxima, intensidade máxima e duração total ou persistência do sabor residual. A análise dos dados T-I geralmente consiste em sintetizar as curvas de julgadores individuais, gerando médias das mesmas. As curvas individuais se apresentam de formas diferentes, sendo que o desvio padrão das curvas médias é freqüentemente amplo. É um método útil na pesquisa e desenvolvimento de novos produtos, e encontra maior aplicação no estudo de adoçantes e edulcorantes (DUTCOSKY, 1996).

### 2.2.1.3 Métodos Afetivos ou Subjetivos

O propósito primário dos testes afetivos é avaliar a resposta pessoal (de preferência e/ou aceitação) de consumidores comuns ou potenciais de um produto, projeto ou característica específica de um produto (MEILGAARD; CIVILLE; CARR, 1999). Os métodos mais utilizados são os de Escala Hedônica, de Comparação Pareada e de Ordenação.

Estes testes são os que apresentam maior variabilidade de resultados e são os mais difíceis de se interpretar, já que trata de apreciações pessoais (ANZALDÚA-MORALES, 1994). Os mesmos podem não ser válidos ou bons preditores do espaço do produto no mercado consumidor se não forem constituídos por um número elevado de consumidores representativos da população a que se destina o produto e se os avaliadores de laboratórios (julgadores) incorrem nos erros de focar atributos que não são importantes para os consumidores ou subestimar fatores de valor para os mesmos (CÂNDIDO; CAMPOS apud MARTINS, 2002).

A seleção de julgadores nos testes afetivos requer critérios de seleção diferenciados daqueles necessários aos testes discriminatórios e descritivos. O critério principal deve ser a necessidade do julgador de fazer parte do grupo da população alvo do produto. Desta maneira, são os próprios consumidores do produto que devem ser consultados (FARIA; YOTSUYANAGI, 2002). A efetividade dos testes afetivos está no desenvolvimento apropriado da ficha de avaliação pelo especialista sensorial e na seleção adequada de consumidores que representem o público alvo (FARIA; YOTSUYANAGI, 2002). Meilgaard, Civille e Carr (1999) citam quatro razões para se conduzir um teste afetivo: verificação do posicionamento do produto no mercado, otimização da formulação do produto, desenvolvimento de novos produtos e avaliação do potencial do mercado.

O procedimento do *teste de Escala Hedônica* consiste em utilizar variantes da escala hedônica para medir a preferência à amostra. A escala hedônica assume que a preferência do consumidor existe num *continuum* e que a preferência pode ser caracterizada por respostas baseadas em gostar e desgostar. As escalas hedônicas podem ser verbais ou gráficas e a escolha do tipo de escala depende da idade dos julgadores e o número de amostras a avaliar. A escala hedônica mais utilizada é a de 9 pontos por sua simplicidade e facilidade para utilizar (ANZALDÚA-MORALES, 1994).

Os testes afetivos de *Comparação Pareada* e *Ordenação* utilizam o mesmo procedimento dos métodos discriminatórios, descritos anteriormente. A técnica de comparação pareada de preferência é utilizada quando se deseja analisar a preferência de um produto diretamente sobre um segundo produto. No teste de ordenação os consumidores são solicitados a ordenar alguns produtos tanto em ordem decrescente ou crescente de preferência (LAWLESS; HEYMANN, 1998).

A Figura 5 apresenta um quadro resumo com as principais características dos métodos de avaliação sensorial, os testes de avaliação sensorial e suas áreas de aplicação.

MÉTODOS	CARACTERÍSTICAS	TESTES	ÁREAS DE APLICAÇÃO
<b>Discriminatórios</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Determinam se duas amostras são perceptivelmente diferentes</li> <li>- Equipe de julgadores pequena e pré-selecionada</li> <li>- Julgadores podem ser semi-treinados ou treinados</li> <li>- Utilizados para selecionar e treinar julgadores</li> </ul>	<b>Sensibilidade (ou <i>threshold</i>)</b>	Mede a capacidade dos indivíduos de perceber, identificar e/ou diferenciar qualitativa e/ou quantitativamente um ou mais estímulos, pelos órgãos dos sentidos; é aplicado para determinar limiares de detecção, reconhecimento e diferença de ingredientes
		<b>Triangular</b>	Identifica pequenas diferenças entre as amostras e/ou avalia as diferenças que envolvem os atributos organolépticos; n° de julgadores pequeno; amostras homogêneas; utilizado quando a dimensão das diferenças não é conhecida ou muito complexa; estatisticamente eficiente, mas ocasiona fadiga sensorial, pois são testadas 3 amostras

Figura 5: Quadro resumo das características e áreas de aplicação dos métodos e testes de avaliação sensorial

Fonte: elaborada pela autora

MÉTODOS	CARACTERÍSTICAS	TESTES	ÁREAS DE APLICAÇÃO
<b>Discriminatórios</b>		<b>Duo-Trio</b>	Verifica se existe significativa entre duas amostras que receberam tratamentos diferentes; teste com eficiência estatística mais baixa, mas é menos afetado pela fadiga sensorial que o teste triangular
		<b>Pareado</b>	Um dos testes sensoriais mais simples e utilizados; detecta diferença entre duas amostras com relação a uma característica sensorial específica; possibilita a utilização de julgadores não treinados
		<b>Ordenação</b>	Compara diversas amostras ao mesmo tempo com relação a um determinado atributo e verifica se estas diferem entre si; simples, rápido e permite a avaliação de um n° maior de amostras que nos outros testes; não permite quantificar o grau de diferença ou preferência entre amostras
		<b>Comparação Múltipla</b>	Verifica a um só tempo se existe diferença significativa entre várias amostras e uma de referência, e estima o grau dessa diferença; não é recomendado para um n° muito grande de amostras, pois pode ocasionar fadiga sensorial
<b>Descritivos ou Analíticos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Envolvem a identificação, quantificação e descrição dos aspectos sensoriais de um produto através de painéis sensoriais treinados</li> <li>- Julgadores devem ser capazes de detectar e descrever atributos sensoriais de uma amostra e indicar a intensidade com que cada atributo é percebido nas amostras</li> <li>- Utilizam escalas de intervalo ou de proporção</li> <li>- Exigem maior treinamento e habilidades do julgador</li> </ul>	<b>Perfil de Sabor</b>	Em situações onde diversas e variadas amostras devem ser avaliadas por poucos julgadores altamente treinados
		<b>Perfil de Textura</b>	Em situações onde diversas e variadas amostras devem ser avaliadas em relação à textura por poucos julgadores altamente treinados
		<i>Spectrum</i>	Examina o espectro completo dos atributos de um produto; apropriado para diversas aplicações
		<b>Análise Descritiva Quantitativa (QDA)</b>	Utilizado na garantia da qualidade de grandes empresas, onde um grande n° do mesmo tipo de produto deve ser analisado no dia-a-dia por um painel bem treinado

Figura 5: Quadro resumo das características e áreas de aplicação dos métodos e testes de avaliação sensorial (continuação)

Fonte: elaborada pela autora

MÉTODOS	CARACTERÍSTICAS	TESTES	ÁREAS DE APLICAÇÃO
<b>Descritivos ou Analíticos</b>		<b>Tempo-intensidade</b>	Utilizado para amostras em que a intensidade percebida do sabor varia ao longo do tempo que o produto mantém se na boca
<b>Afetivos ou Subjetivos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Avaliam a resposta pessoal (de preferência e/ou aceitação) de consumidores comuns ou potenciais de um produto, projeto ou característica específica de um produto</li> <li>- Os julgadores devem ser os próprios consumidores do produto</li> </ul>	<b>Escala Hedônica</b>	Um ou mais produtos para estudar como a aceitação é distribuída na população representada pelos julgadores
		<b>Comparação Pareada</b>	Utilizada quando se deseja analisar a preferência de um produto diretamente sobre um segundo produto
		<b>Ordenação</b>	Comparação de 3 a 6 amostras ordenando-as em ordem crescente ou decrescente de preferência

Figura 5: Quadro resumo das características e áreas de aplicação dos métodos e testes de avaliação sensorial (continuação)

Fonte: elaborada pela autora

### 2.2.2 Método de Comparação Indireta aos Pares (CIP)

O método de Comparação Indireta aos Pares (CIP) foi proposto por Fogliatto (1997) e posteriormente aperfeiçoado nos trabalhos de Fogliatto e Albin (2001, 2003). Uma das características deste método é capacidade de converter avaliações relativas, provenientes das comparações pareadas das amostras, em avaliações absolutas, que associam um escore a cada amostra. Para isso, fundamenta-se no Processo Analítico Hierárquico (AHP - *Analytic Hierarchy Process*), um método de análise de decisão multicriterial desenvolvido por Saaty (1980).

O AHP resolve o problema de decisão em três estágios: (i) o sistema complexo é decomposto em uma hierarquia de objetivos. A hierarquia é estruturada em diferentes níveis: do topo (objetivo global), por níveis intermediários (os critérios e subcritérios dos quais níveis subsequentes dependem) para o mais baixo nível (as alternativas); (ii) em cada nível da hierarquia, são coletados dados através da comparação pareada simples dos elementos deste nível com respeito a cada elemento de um nível mais alto, e é estimado um vetor de pesos relativos para cada matriz de entrada; e (iii) combinam-se os vetores estimados de pesos relativos para produzir pesos relativos agregados (notas) das alternativas. Através dos resultados quantificados é possível tomar a decisão e reduzir o risco de se tomar uma decisão errada (ZAHEDI, 1986; HSIAO, 2002).

Aplicações do AHP na indústria de alimentos são encontradas nos trabalhos de Bevilacqua, D'Amore e Polonara (2004), Kahraman, Cebeci e Ruan (2004) e Xu, Xu e Chen (2003). Nestes trabalhos, o método foi utilizado na seleção de fornecedores de matérias-primas e na etapa de seleção do projeto a ser desenvolvido, ou seja, como ferramenta para priorização de projetos. Além dos trabalhos acima, aplicações do AHP em desenvolvimento de produto em conjunto com o QFD (Desdobramento da Função Qualidade, na sigla em inglês), podem ser encontradas em Hsiao (2002) e Akgunduz et al. (2002), com objetivo de avaliar diferentes componentes no projeto de novos produtos.

Fogliatto (1997) e Fogliatto e Albin (2001, 2003) foram os primeiros autores a proporem a utilização do AHP como método auxiliar no desenvolvimento de produtos que envolvem atributos sensoriais, como é o caso da indústria de alimentos. Os autores utilizaram nesses trabalhos a estrutura hierárquica do AHP para organizar o processo de seleção de parâmetros a serem considerados na melhoria dos produtos. Além dos seus atributos sensoriais, foram considerados outros critérios de desempenho, tais como custo e variáveis medidas em laboratório.

Baseando-se nas técnicas analíticas do AHP, o método CIP possui como principais vantagens a possibilidade de se obter dados sensoriais a partir de julgadores expostos a treinamento limitado e a existência de um índice de consistência que permite avaliar qualidade dos dados fornecidos pelos julgadores. Através deste método, é possível também medir a consistência dos julgadores a partir de avaliações realizadas com diferentes números de repetições.

As avaliações feitas através do método CIP tendem a ser menos inconsistentes, assim como em outros métodos de determinação de diferença entre múltiplas amostras, por serem disponibilizadas simultaneamente. O método CIP também apresenta bons resultados utilizando julgadores com treinamento limitado, visto que se baseia em comparações pareadas. O método CIP possui como principal desvantagem a fadiga imposta aos julgadores pela apresentação simultânea de amostras, necessitando assim um maior número de sessões de avaliação (FOGLIATTO; ALBIN, 2003).

O procedimento de coleta de dados do método CIP é descrito a seguir. Os julgadores devem ser capazes de identificar o atributo em estudo e serem instruídos a atribuir números de acordo com a escala de intensidade percebida.

Na Figura 6 ilustra-se a maneira na qual as amostras devem estar organizadas nas linhas e colunas de uma matriz de julgamentos. Em cada coluna haverá o resultado de um

teste sensorial realizado por um dado julgador. No teste sensorial é feita a comparação de todas as amostras com uma amostra de referência, identificada no cabeçalho da coluna. Cada julgador para completar um teste realizará  $N-1$  comparações. Uma rodada completa do método CIP exigirá dos julgadores a realização de  $N$  testes. Em cada teste, os julgadores receberam simultaneamente todas as  $N-1$  amostras e mais uma amostra de controle correspondente ao rótulo da coluna. O número de amostras apresentadas ao julgador varia de acordo com o tipo de atributo que está sendo avaliado, sendo o número ideal inferior a 10. A instrução dos julgadores deve ser feita da seguinte maneira (para avaliações feitas sobre um determinado atributo): “Um grupo de amostras será apresentado a você. Uma das amostras será identificada como amostra de controle. Sua tarefa é avaliar a intensidade das amostras em comparação à de controle. A intensidade da amostra de controle corresponde ao centro da escala de avaliação. Amostras consideradas mais intensas que a de controle devem ter seus códigos marcados no lado direito da escala, de acordo com a intensidade percebida; aquelas consideradas menos intensas devem ser marcadas no lado esquerdo da escala. No caso de duas amostras apresentarem a mesma intensidade, escreva seus códigos no mesmo ponto da escala”.

	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>...</b>	<b><math>N</math></b>
<b>1</b>	1	$a_{12}$	<b>...</b>	$a_{1N}$
<b>2</b>	$a_{21}$	1	<b>...</b>	$a_{2N}$
<b>⋮</b>	<b>⋮</b>	<b>⋮</b>	<b>⋮</b>	<b>⋮</b>
<b><math>N</math></b>	$a_{N1}$	$a_{N2}$	<b>...</b>	1

Figura 6: Estrutura genérica da matriz de julgamentos

Fonte: FOGLIATTO, 2003

Uma escala impressa de 15 cm, com três (ou cinco) marcas equidistantes, como exemplificado na parte superior da Figura 7, é entregue a cada julgador. A escolha do tamanho da escala está baseada em pesquisas anteriores que demonstraram maior consistência nos dados quando uma escala de 15 cm é utilizada para avaliar atributos em uma amostra individual. Uma escala de maior comprimento pode ser mais apropriada quando o número de amostras aumenta.

As marcas são comumente utilizadas como “âncoras” de avaliação em testes sensoriais. Na escala, conforme demonstrado na parte inferior da Figura 7, deve-se fazer uma marca correspondente à intensidade das amostras e escrever seus códigos. As avaliações são transformadas em valores numéricos, variando de  $\frac{1}{9}$  a 9, para que as linhas da matriz de julgamento possam ser preenchidas.

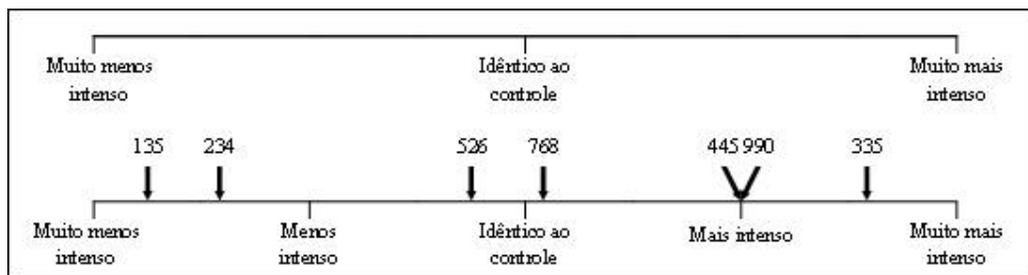


Figura 7: Exemplos de escala (as setas trazem os códigos das amostras)

Fonte: FOGLIATTO, 2003

Ao realizar um teste, cada julgador preencherá uma escala; para que uma rodada do método fique completa,  $N$  testes serão necessários. As marcas nas escalas associadas a cada teste devem ser convertidas a valores numéricos entre  $1/9$  e 9; tais valores são utilizados para preencher as colunas da matriz de julgamento para o julgador realizando as avaliações. A escala de  $1/9$  a 9, que freqüentemente é utilizada em aplicações do AHP, foi proposta por Saaty (1980) e sua interpretação quando amostras forem avaliadas relativamente à intensidade de um dado atributo encontra-se na Figura 8.

Valor	Descrição
$1/9$	amostra muito menos intensa do que a amostra de controle
1	mesma intensidade da amostra de controle
9	amostra muito mais intensa do que a amostra de controle

Figura 8: Elementos da Escala  $[1/9, 9]$

Fonte: elaborada pela autora

Para converter marcas nas escalas em valores numéricos entre  $1/9$  e 9 utiliza-se a equação (1) e as seguintes instruções. Considere que a localização (designada por  $z$ ) de qualquer marca na escala impressa utilizada pelo julgador estará compreendida no intervalo entre  $-s$  e  $s$ . Para marcas à esquerda do centro da escala o sinal de  $z$  é negativo; o sinal é positivo para marcas à direita do centro. Para uma marca  $z$  na escala, o elemento na linha  $i$  e coluna  $j$ ,  $j = 1 \dots N$ ,  $i \neq j$ , expresso no intervalo  $[1/9, 9]$  é dado por:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 + (8z/s) & z \geq 0 \\ [1 - (8z/s)]^{-1} & z < 0 \end{cases} \quad (1)$$

Considere a escala impressa utilizada pelo julgador, apresentada na metade inferior da Figura 7. Suponha que o comprimento total da escala seja 15,0 cm (conseqüentemente,  $s = 7,5$  cm) e que as amostras com códigos 526 e 335 estejam localizadas 1,0 cm para a esquerda e 5,5 cm para a direita do centro da escala, respectivamente (ou seja,  $z_{526} = -1,0$  e  $z_{335} = 5,5$ ). Aplicando a equação (1), obtêm-se os valores numéricos compreendidos entre  $1/9$  e 9 correspondentes as marcas; são eles  $1/2,07$  para a amostra 526 e 8,67 para a amostra 335.

Em uma rodada completa do CIP, para um dado julgador, as amostras  $i$  e  $j$  serão comparadas duas vezes, e os resultados  $a_{ij}$  e  $a_{ji}$  irão compor a matriz de julgamentos. Essas comparações possivelmente não serão recíprocas. O cálculo de  $\bar{a}_{ij}$  é utilizado para que este problema seja resolvido. O valor resultante corresponde ao ponto de centro entre  $a_{ij}$  e  $1/a_{ji}$ ; e deve-se utilizar este valor na matriz de comparações. A matriz de julgamentos final será corrigida tal que qualquer elemento  $a_{ij}$  seja o recíproco de  $a_{ji}$ .

Os custos para completar-se uma matriz de julgamento  $N \times N$ , onde  $N$  testes serão necessários, podem resultar muito altos em determinados casos. Para contornar esse problema, propõe-se o seguinte procedimento alternativo. Tendo-se uma linha qualquer da matriz de julgamento, utilizando-se as expressões da equação (2), pode-se completar as demais linhas da matriz.

$$\begin{cases} a_{ij} = 1/a_{ji} \\ a_{ij} = a_{il} \times a_{lj} \end{cases} \quad (2)$$

para quaisquer amostras  $i, j$  e  $l$ .

A matriz resultante será perfeitamente consistente. Dos  $N$  testes necessários para se preencher uma matriz de julgamentos, deve-se escolher  $M$  testes, tal que  $M < N$ . Para que a escolha das amostras  $M$  seja correta, quando se avalia a intensidade de um dado atributo, deve-se ter cuidado para que a intensidade das mesmas esteja homoganeamente distribuída ao longo da escala. Estas amostras servirão como controle em cada teste. Por exemplo, quando se tem um total de  $N = 10$  testes e  $M = 3$ , deve-se escolher 3 amostras de controle nas quais o atributo em estudo possua intensidades baixa, média e alta.

Considere a execução de  $M (< N)$  testes sensoriais pelo julgador  $k$ . Os resultados de cada teste serão registrados em  $M$  matrizes separadas, com uma única coluna com números. A matriz será completada a partir das expressões na equação (2). A consistência do julgador  $k$  será perfeita quando as  $M$  matrizes resultantes forem iguais, o que dificilmente ocorrerá. No

caso de inconsistência, os pontos de centro dos  $M$  resultados disponíveis nas matrizes podem ser calculados para a obtenção de uma matriz de julgamentos intermediários. Utiliza-se a matriz de pontos de centro para o cálculo de um vetor de pesos, com valores correspondentes à intensidade das amostras percebidas pelo julgador  $k$ . Esta matriz também possibilita a determinação de uma medida de consistência para o julgador.

A obtenção do ponto de centro de um conjunto de valores  $a_{ij}$  é descrita a seguir:

Passo 1 – Os valores  $a_{ij}$  devem ser (inversamente) transformados em valores  $z$  utilizando as expressões:

$$z = \begin{cases} s(a_{ij} - 1)/8 & a_{ij} \geq 1 \\ (1 - a_{ij}^{-1})s/8 & a_{ij} < 1 \end{cases} \quad (3)$$

Passo 2 – Calcula-se a média dos valores resultantes, a qual é convertida no ponto de centro  $a_{ij}$  usando a equação (1).

A notação e as ferramentas analíticas propostas no método CIP para a análise de dados são apresentadas a seguir. São elas: o cálculo de vetores de pesos e índices de razão de consistência, duas ferramentas analíticas elaboradas por Saaty (1980).

Em um vetor de pesos, os escores de intensidade associados a amostras em uma matriz de julgamentos correspondem aos pesos. Razões de consistência demonstram, quando as amostras são avaliadas aos pares, o quanto a transitividade nestas avaliações foi respeitada. As matrizes de julgamentos são utilizadas para o cálculo dos vetores de pesos e das razões de consistência.

Após a coleta de dados, estarão disponíveis no mínimo duas estimativas de cada avaliação pareada. Numa rodada completa do método, todos os  $N$  testes são realizados e  $2N$  estimativas são obtidas; em uma rodada incompleta do método,  $M$  testes são realizados e  $2M$  estimativas são obtidas. A reciprocidade das matrizes, onde  $a_{ij} = 1/a_{ji}$  para quaisquer  $i$  e  $j$ , é requisito para a determinação de vetores de peso e razões de consistência.

A matriz de pontos de centro  $\bar{A}$  possui elementos na diagonal principal com valor 1; elementos (pontos de centro) acima da diagonal são calculados a partir das equações (1) e (3) e elementos abaixo da diagonal principal devem ser recíprocos aos elementos acima da diagonal. A matriz de pontos de centro obtida das avaliações feitas pelo julgador  $k$  é designada por  $\bar{A}_{kp}$ , onde  $p$  denota a variável de resposta ou atributo sensorial em estudo. O cálculo dos vetores de pesos e razões de consistência, descrito a seguir, é realizado a partir dessas matrizes.

A cada matriz  $\bar{\mathbf{A}}_{kp}$  de pontos médios existe um vetor de pesos associado, designado por  $\mathbf{w}_{kp} = [w_{1p}, w_{2p}, \dots, w_{Np}]$ . Conforme Saaty (1980), o vetor de pesos corresponde ao autovetor principal da matriz. Ao avaliar-se a amostra  $j$  em relação ao controle  $i$  se está, na verdade, estimando a razão entre seus pesos de intensidade, ou seja,  $a_{ij} = w_i/w_j$ . Utilizando-se as estimativas  $a_{ij}$ , obtêm-se os valores de  $w_i$  e  $w_j$  fornecidos pelo autovetor. Seja  $\lambda_{\max}$  o maior autovalor de uma matriz  $\bar{\mathbf{A}}_{kp}$ . Seu autovetor principal  $\mathbf{w}_{kp}$  será dado por:

$$\bar{\mathbf{A}}_{kp} \mathbf{w}_{kp} = \lambda_{\max} \mathbf{w}_{kp} \quad (4)$$

Para que um valor aproximado de  $\mathbf{w}_{kp}$  seja encontrado, Winston (1993) sugere o seguinte procedimento:

Passo 1 – Para cada coluna da matriz  $\bar{\mathbf{A}}_{kp}$ , dividir os valores da coluna  $i$  da matriz pela soma dos valores da coluna. Isto gera uma nova matriz (chamada de  $\mathbf{A}_{\text{norm}}$ ), onde a soma dos valores de cada coluna é 1.

Passo 2 – Uma estimativa do elemento  $w_i$  de  $\mathbf{w}_{kp}$  é dado pela média dos valores da linha  $i$  da matriz  $\mathbf{A}_{\text{norm}}$ .

A razão de consistência de um matriz de julgamentos indica a consistência dos julgamentos de comparação pareada (KWIESIELEWICZ; UDEN, 2004).

Para que uma matriz de julgamentos seja consistente,  $a_{ij} = w_i / w_j$ , e  $a_{ij} = 1 / a_{ji}$  para todo  $i$  e  $j$ . Além disso, para quaisquer amostras  $i, j$  e  $l$  na matriz,  $a_{ij} \times a_{jl} = a_{il}$ . Uma medida de consistência para as avaliações que compõem uma matriz de julgamentos pode ser derivada de  $\lambda_{\max}$  na equação (4). Winston (1993) sugere o seguinte procedimento para medir a consistência das avaliações:

Passo 1 – Multiplicar  $\bar{\mathbf{A}}_{kp}$  por  $\mathbf{w}_{kp}$ .

Passo 2 – Determinar  $\lambda_{\max}$  através da equação abaixo:

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{i - \text{ésimo elemento de } (\bar{\mathbf{A}}_{kp} \cdot \mathbf{w}_{kp})}{i - \text{ésimo elemento de } \mathbf{w}_{kp}} \quad (5)$$

No caso de perfeita consistência,  $\lambda_{\max} = N$  para uma matriz de ordem  $N$ . Quando ocorrer inconsistência, Saaty (1980) demonstra que  $\lambda_{\max} > N$  e propõe um índice de consistência dado por:

$$CI = (\lambda_{\max} - N) / (N - 1) \quad (6)$$

O valor de  $CI$  deve ser comparado com um índice aleatório de consistência ( $RI$ ). Este índice foi obtido a partir de 500 matrizes de julgamento de ordem  $N$  aleatoriamente geradas, com valores de julgamento  $a_{ij}$  aleatoriamente selecionados no intervalo  $[1/9, 9]$ . A distância entre uma matriz e a situação de maior inconsistência nas avaliações é visualizada quando compara-se os valores de  $CI$  e  $RI$ . Os valores de  $RI$  na Tabela 2 representam a mediana dos  $CI$ s calculados das matrizes aleatoriamente geradas. A consistência em uma matriz de julgamento é medida através da razão de consistência  $CR$ , dada por:

$$CR = CI/RI \quad (7)$$

Saaty sugere 0,1 como valor limite para  $CR$ . Quando o valor de  $CR$  de uma matriz for maior que 0,1, as suas avaliações deveriam ser revisadas pelo analista. Em avaliações sensoriais esperam-se matrizes com um menor grau de consistência, adotando-se nesses casos valores limites mais altos, como 0,2 ou 0,3 (FOGLIATTO, 2003).

Tabela 1  
Valores de índice aleatório de consistência ( $RI$ ) para matrizes de ordem  $N = 3, \dots, 10$  encontrados por Saaty (1980)

$N$	3	4	5	6	7	8	9	10
$RI$	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.51

Fonte: SAATY, 1980

Os valores de  $RI$  na Tabela 1 podem ser utilizados quando rodadas completas do método são realizadas. No caso de rodadas incompletas, o valor de  $RI$  vai depender do valor de  $M$ . De maneira geral,  $RI$  decresce à medida que  $M$  se aproxima de 1, quando não é mais possível proceder com a verificação de consistência.

No capítulo seguinte são apresentadas propostas de melhorias no Método de Comparação Indireta aos Pares (CIP), de maneira que o procedimento de coleta de dados possa ser adaptado para diferentes métodos de teste de avaliação sensorial e que a confiabilidade do CIP aumente através da validação dos Índices Aleatórios de Consistência ( $RI$ ) e determinação de  $RI$  para diferentes cenários.

### 3 MELHORIAS NO MÉTODO DE COMPARAÇÃO INDIRETA AOS PARES

Neste capítulo são apresentadas melhorias no método de Comparação Indireta aos Pares (CIP) proposto por Fogliatto (1997) e apresentado no Capítulo 2. As melhorias propostas visam aumentar a confiabilidade e aplicabilidade do CIP na otimização de produtos.

#### 3.1 ADAPTAÇÕES NOS MÉTODOS DE COLETA DE DADOS SENSORIAIS À ESTRUTURA DE ANÁLISE DE DADOS DO CIP

A literatura apresenta uma considerável variedade de métodos de coleta de dados sensoriais, dos menos complexos, como os testes discriminatórios simples, aos mais sofisticados, como o método de tempo-intensidade. O método CIP foi desenvolvido com vistas à otimização multivariada, a partir do método de comparação pareada. Comparações pareadas são usadas nos métodos discriminatórios simples, quando o objetivo é detectar diferença entre duas amostras, e nos métodos afetivos, quando se deseja verificar a preferência de uma amostra sobre outra.

Nesta seção são apresentadas adaptações nos métodos de coleta de dados sensoriais descritivos, capazes de fornecer informações detalhadas sobre as amostras. Serão considerados os métodos de Análise Descritiva Quantitativa, *Spectrum*, Perfil de Sabor e Perfil de Textura. Tais métodos apresentam, como característica em comum, o fato de seus procedimentos de coleta de dados estarem baseados em avaliações absolutas. As adaptações aqui apresentadas estão baseadas no trabalho de Fogliatto, Albin e Tepper (1999). Naquele trabalho, os autores realizaram uma otimização multivariada a partir de dados obtidos pelo método *Spectrum*.

A adaptação proposta a seguir permitirá ao analista a transformação dos dados sensoriais de forma que os mesmos possam ser utilizados na estrutura de análise de dados do CIP. Esta adaptação não se restringe ao método CIP; os dados sensoriais adaptados podem ser utilizados em outros métodos de otimização multivariada disponíveis na literatura, citados no capítulo anterior.

Na coleta dos dados sensoriais, considera-se a existência de  $P$  atributos sensoriais,  $T$  amostras e um painel sensorial composto por  $K$  julgadores, onde cada julgador avalia uma mesma amostra  $R$  vezes. Os dados quantitativos gerados pelos julgadores são designados por  $Y_{itr}^{(k)}$ , correspondendo à avaliação sensorial do atributo  $i = 1, \dots, P$ , na amostra  $t = 1, \dots, T$ , repetição  $r = 1, \dots, R$ , e julgador  $k = 1, \dots, K$ .

No primeiro passo da adaptação, para cada um dos  $P$  atributos avaliados geram-se modelos individuais de regressão utilizando a Regressão de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO); ver Stapleton (1995), entre outros. Tais modelos relacionam os fatores controláveis do experimento, cujos tratamentos geraram as amostras analisadas, com os atributos. Atributos não modeláveis como função dos fatores controláveis do experimento devem ser eliminados e o valor de  $P$ , redefinido para o número de atributos remanescentes.

O próximo passo é determinar se os atributos remanescentes apresentam correlação significativa. Em caso positivo, novos modelos de regressão deverão ser gerados utilizando a regressão multivariada, que leva em conta a correlação entre as respostas; ver Hair et al. (2005). Nesta etapa deve-se considerar  $\hat{Y}_{it}^{(k)}$  como o valor estimado do atributo  $i$  na amostra  $t$  analisada pelo julgador  $k$ , obtido através do modelo de regressão.

O passo seguinte é a determinação de um valor alvo  $\tau_i$  e limites de especificação máximo e mínimo, designados por  $Y_i^S$  e  $Y_i^I$ , para os atributos,  $i = 1, \dots, P$ , a partir da avaliação de um produto similar de referência (*benchmarking*). O produto de referência deve representar as características desejadas para o produto em desenvolvimento. O valor alvo  $\tau_i$  será dado pela média da avaliação feita pelos julgadores sobre o produto de referência, relativamente ao atributo  $i$ ; os limites  $Y_i^I$  e  $Y_i^S$  corresponderão à menor e maior avaliações, respectivamente, obtidas para o atributo  $i$ , considerando todos os julgadores.

Matrizes de comparação quantitativas, que comparam as amostras relativamente a um determinado atributo, devem então ser criadas. Para o atributo  $i$  e julgador  $k$ , o vetor de pesos de distância-do-alvo conterá os pesos associados a cada amostra. Esse vetor é assim determinado. Inicialmente, transformam-se as estimativas  $\hat{Y}_{it}^{(k)}$ ,  $t = 1, \dots, T$ , em valores de preferência utilizando a equação (DERRINGER; SUICH, 1980):

$$\hat{d}_{it}^{(k)} = \begin{cases} \left( \frac{\hat{Y}_{it}^{(k)} - Y_i^I}{\tau_i - Y_i^I} \right) & \text{se } Y_i^I \leq \hat{Y}_{it}^{(k)} < \tau_i \\ \left( \frac{\hat{Y}_{it}^{(k)} - Y_i^S}{\tau_i - Y_i^S} \right) & \text{se } \tau_i \leq \hat{Y}_{it}^{(k)} < Y_i^S \\ 0, & \text{se } \hat{Y}_{it}^{(k)} > Y_i^S \text{ ou } \hat{Y}_{it}^{(k)} < Y_i^I \end{cases} \quad (8)$$

A equação (8) transforma as estimativas  $\hat{Y}_{it}^{(k)}$  em valores de preferência, no intervalo entre 0 e 1, onde 1 denota a maior preferência. Quando  $\hat{d}_{it}^{(k)} = 1$ ,  $\hat{Y}_{it}^{(k)} = \tau_i$ ; quando  $\hat{d}_{it}^{(k)} = 0$ ,  $\hat{Y}_{it}^{(k)}$  está localizada além do intervalo formado pelos limites de especificação.

A seguir, reescrevem-se os valores de preferência em uma escala de [1,9] utilizando a equação:

$$\hat{h}_{it}^{(k)} = (\hat{d}_{it}^{(k)} * 8) + 1, \quad i = 1, \dots, P; t = 1, \dots, T; k = 1, \dots, k. \quad (9)$$

A transformação na equação (9) é opcional e tem por objetivo obter matrizes de comparação diretamente comparáveis. Tal cenário pode ser desejável em situações onde matrizes de comparação subjetivas, baseadas em opiniões de especialistas, são também utilizadas no procedimento de otimização multivariada.

O vetor de pesos de distâncias do alvo é, então, determinado a partir da simples normalização dos valores [1,9], isto é:

$$w_{it}^{(k)} = \left( \sum_{t=1}^T \hat{h}_{it}^{(k)} \right)^{-1} \hat{h}_{it}^{(k)}, i = 1, \dots, P; t = 1, \dots, T; k = 1, \dots, k. \quad (10)$$

Ao final destes passos, estará disponível, para cada atributo e julgador, um vetor de pesos, cuja soma dos pesos é igual a 1, contendo os pesos absolutos de cada amostra.

Os julgadores podem ser também avaliados quanto à sua variância, no caso de repetições nas avaliações de uma mesma amostra terem sido realizadas. Deseja-se, assim, atribuir pesos de importância altos a julgadores com pequena variância nas avaliações. Para tanto, determina-se  $\hat{V}_i^{(k)}$ , a variância estimada do atributo  $i$  obtida a partir das  $R$  avaliações feitas pelo julgador  $k$ , através das seguintes equações:

$$\hat{V}_{it}^{(k)} = \frac{1}{R-1} \sum_{r=1}^R (Y_{itr}^{(k)} - \bar{Y}_{it}^{(k)})^2, \quad \bar{Y}_{it}^{(k)} = \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R Y_{itr}^{(k)}, \quad \text{e} \quad \hat{V}_i^{(k)} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \hat{V}_{it}^{(k)}. \quad (11)$$

Na seqüência, as variâncias  $\hat{V}_i^{(k)}$ ,  $k = 1, \dots, K$ , são reescritas como valores de preferência, usando a seguinte expressão (DERRINGER; SUICH, 1980):

$$\hat{d}_i = \begin{cases} 1, & \text{if } V_i^{(k)} = 0 \\ \left( \frac{V_i^{(k)} - V_i^S}{-V_i^S} \right), & \text{if } 0 < V_i^{(k)} \leq V_i^S, \\ 0, & \text{if } V_i^{(k)} > V_i^S \end{cases} \quad (12)$$

onde  $V_i^s$  designa a máxima variância aceitável para julgadores avaliando o atributo  $i$ . Observe que variâncias próximas a zero resultam em valores de preferência próximos de 1. Por fim, como passo opcional, reescrevem-se os valores de preferência em uma escala de [1,9] utilizando a equação (9), e determina-se o vetor de pesos utilizando a equação (10). O procedimento deve ser repetido para todos os atributos e julgadores.

Para a obtenção de vetores de pesos finais para cada atributo, deve-se multiplicar o vetor de peso  $w_{it}^{(k)}$  do atributo em questão pelo peso de importância atribuído ao julgador a partir da análise de sua variância nas avaliações. Por fim, calcula-se uma média ponderada dos vetores e normaliza-se o vetor de pesos resultante.

### 3.2 VALIDAÇÃO DOS VALORES DO ÍNDICE ALEATÓRIO DE CONSISTÊNCIA (RI)

Esta seção inicia com uma verificação dos índices aleatórios de consistência (RI) propostos por Saaty (1980) e dados na Tabela 1. Tais índices foram obtidos pelo autor a partir de simulações onde valores de uma escala de  $\frac{1}{i}$  a  $i$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots, 9$ , foram aleatoriamente gerados e utilizados para escrever matrizes de comparação, a partir das quais se calcularam os valores de CI (ver procedimento na seção 2.2.2 desta dissertação). Os valores de RI informados por Saaty (1980) na Tabela 1 correspondem à média dos CIs obtidos para matrizes de diferentes ordens. Naquela simulação, entretanto, somente 17 valores  $(\frac{1}{9}, \frac{1}{8}, \dots, \frac{1}{2}, 1, 2, \dots, 8, 9)$  foram utilizados na construção das matrizes. Assim, nesta seção apresenta-se uma tabela de índices aleatórios de consistência (RI) gerados a partir de valores aleatórios obtidos de uma escala contínua entre  $\frac{1}{i}$  e  $i$  (onde  $i$  assume qualquer valor entre 1 e 9). Esses valores de RI são utilizados para o cálculo da razão de consistência dos julgadores para casos onde a matriz de julgamentos é completamente preenchida pelo julgador em um painel sensorial (ou seja, todas as amostras do estudo são utilizadas como amostra de referência).

Na validação dos RIs foram seguidos 4 passos, descritos a seguir.

**Passo 1 (Geração de matrizes)** – foram geradas aleatoriamente 500 matrizes de ordem  $N$  ( $N = 3, 4, 5, \dots, 10$ ). As matrizes, designadas por  $\bar{A}_{kp}$ , foram geradas com valores de julgamento  $a_{ij}$  aleatoriamente selecionados na escala de  $\frac{1}{i}$  a  $i$ , onde  $i = 1, 2, \dots, 7, 8, 9$ . As

matrizes foram construídas em planilha eletrônica e os números aleatórios foram obtidos por programação em *Visual Basic for Applications* (VBA). Valores da escala foram amostrados com a mesma probabilidade  $p = \frac{1}{17}$ .

Nas matrizes foram preenchidas as células acima da diagonal principal, como mostra em realce o exemplo de matriz aleatória de ordem  $N = 3$  na Figura 9(a). Os valores da diagonal inferior satisfazem a propriedade  $a_{ji}=1/a_{ij}$ .

$\bar{A}_{kp}$		
1	2	0,125
1/2	1	0,125
1/0,125	1/0,125	1

(a)

$A_{norm}$		
0,105	0,182	0,1
0,053	0,091	0,1
0,842	0,727	0,8

(b)

$w_{kp}$
0,129
0,081
0,79

(c)

$\bar{A}_{kp} w_{kp}$
0,39
0,244
2,471

(d)

Figura 9: Exemplificação dos passos de validação dos valores de RI

Fonte: elaborada pela autora

**Passo 2 (Normalização das matrizes)** – neste passo, dividiu-se os valores de cada coluna  $i$  da matriz  $\bar{A}_{kp}$  pela soma dos valores da coluna  $i$ , gerando uma nova matriz chamada de  $A_{norm}$ , onde a soma de cada coluna é 1 (um). A Figura 9(b) mostra a matriz normalizada correspondente à matriz exemplificada na Figura 9(a).

**Passo 3 (Cálculo do autovetor principal das matrizes)** – o autovetor principal da matriz  $\bar{A}_{kp}$  pode ser obtido calculando a média dos valores das linhas da matriz  $A_{norm}$ . Na Figura 9(c) tem-se o autovetor principal ( $w_{kp}$ ) da matriz apresentada na Figura 9(a).

**Passo 4 (Cálculo do Índice de Consistência - CI)** – para o cálculo de CI, primeiramente multiplicou-se a matriz  $\bar{A}_{kp}$  pelo seu autovetor principal  $w_{kp}$  (Figura 9(d)). A partir da eq. (5), foi determinado o maior autovetor ( $\lambda_{max}$ ) da matriz  $\bar{A}_{kp}$ . Para a matriz aleatória de ordem  $N = 3$  apresentada na Figura 9(a),  $\lambda_{max} = 3,05$ . Sendo a matriz inconsistente ( $\lambda_{max} > 3$ ), utilizou-se a eq. (6) para o cálculo do CI correspondente. No exemplo da Figura 9, o CI resultante é de 0,3. Calculou-se o valor de CI para 500 matrizes aleatórias geradas seguindo os passos 1 a 4 aqui descritos. Os valores obtidos para matrizes de ordem 3 a 10 encontram-se no Apêndice Eletrônico A. A média dos 500 valores de CI para cada ordem de matriz representa o valor do seu índice aleatório de consistência (RI) correspondente.

O estudo de Vargas (1982) teve como um de seus objetivos a construção de uma tabela de valores de índice aleatórios (RI) de maneira similar à utilizada neste trabalho, que

por sua vez está baseado no estudo de Saaty (1980). O autor em seu experimento, para matrizes de ordem  $N = 3, 4, \dots, 13$ , obteve valores de  $\lambda_{\max}$  os quais verificou seguir uma distribuição normal truncada ( $\lambda_{\max} \geq N$ ), com média e desvio-padrão  $\mu(N)$  e  $s(N)/\sqrt{500}$ , respectivamente, onde 500 (quinhentos) é o tamanho da amostra. Os valores dos índices de consistência também eram normalmente distribuídos com média:

$$\bar{\mu} = \frac{\mu(N) - N}{(N - 1)}, \quad (13)$$

e desvio-padrão:

$$\frac{s(N)}{\sqrt{500\sqrt{N-1}}} = \sigma(N)/\sqrt{500}. \quad (14)$$

Os valores de índices aleatórios de consistência encontrados por Vargas (1982), contidos na Tabela 2, foram semelhantes àqueles encontrados por Saaty (1980), apresentados na Tabela 1.

Tabela 2  
Valores de índice aleatório de consistência (RI) e desvio-padrão para matrizes de ordem  $N = 3, \dots, 9$  encontrados por Vargas (1982)

$N$	3	4	5	6	7	8	9
$\bar{\mu} = RI$	0,5381	0,8832	1,1045	1,2525	1,3334	1,4217	1,4457
$DesvPad = \sigma(N)/\sqrt{500}$	0,0433	0,0475	0,0470	0,0420	0,0371	0,0322	0,0288

Fonte: VARGAS, 1982

Nesta dissertação, a média (RI) e o desvio-padrão dos 500 valores de índices de consistência (CI), calculados a partir das equações (13) e (14), respectivamente, estão apresentados na Tabela 3. Esses valores validam os encontrados por Vargas (1982) na Tabela 2, visto que os intervalos  $\bar{\mu} \pm 3\sigma$  da simulação apresentam amplitude inferior aos intervalos de  $\bar{\mu} \pm 3\sigma$  encontrados pelo autor. Os valores da Tabela 3 também são semelhantes aos encontrados por Saaty (1980), na Tabela 1.

Tabela 3  
Valores validados de índice aleatório de consistência (RI) e desvio-padrão para matrizes de ordem  $N = 3, \dots, 10$

$N$	3	4	5	6	7	8	9	10
$\bar{\mu} = RI$	0,561	0,889	1,135	1,267	1,370	1,443	1,475	1,507
$DesvPad = \sigma(N)/\sqrt{500}$	0,0328	0,0282	0,0241	0,0186	0,0169	0,0121	0,0106	0,0102

Fonte: elaborada pela autora

Conforme descrito anteriormente, foi construída uma tabela de valores de índice aleatório de consistência (RI) para utilização em cenários onde as matrizes de julgamento são completamente preenchidas através do procedimento proposto no método de Comparação Indireta aos Pares (CIP). Para construção desta tabela de RIs, procedeu-se de maneira similar ao descrito anteriormente.

No passo 1, foram geradas 500 matrizes de julgamento aleatórias ( $\bar{A}_{kp}$ ) de ordem  $N$  ( $N = 3,4,5,\dots,10$ ). Contudo, os valores de julgamento da matriz ( $\bar{A}_{kp}$ )  $a_{ij}$  foram aleatoriamente amostrados do intervalo entre  $\frac{1}{i}$  e  $i$ , onde  $i$  assume qualquer valor entre 1 e 9 (limitou-se a simulação a valores de  $i$  com duas casas após a vírgula). Tais valores podem ser obtidos quando da utilização do método CIP, o que justifica a geração da tabela. Todos os valores no intervalo acima referido foram amostrados com igual probabilidade. Nas matrizes, foram preenchidas as células acima da diagonal principal; os valores da diagonal inferior satisfazem a propriedade  $a_{ji}=1/a_{ij}$ .

Os passos seguintes de normalização de matrizes, cálculo do autovetor principal das matrizes e cálculo do Índice de Consistência (CI), foram semelhantes aos descritos no início desta seção. O valor de CI foi calculado para 500 matrizes aleatórias. Os valores das 500 matrizes encontram-se no Apêndice Eletrônico B. A Tabela 4 apresenta a média dos 500 valores de CI, ou seja, o valor do índice aleatório de consistência (RI) e o desvio-padrão, calculados a partir das equações (13) e (14), respectivamente.

Tabela 4  
Valores de índice aleatório de consistência (RI) para utilização no CIP considerando matrizes de ordem  $N = 3,\dots,10$

$N$	3	4	5	6	7	8	9	10
$\bar{\mu} = RI$	0,294	0,501	0,658	0,704	0,752	0,790	0,821	0,856
$DesvPad = \sigma(N)/\sqrt{500}$	0,01676	0,01723	0,01579	0,01292	0,01102	0,009072	0,008392	0,007515

Fonte: elaborada pela autora

Comparando os resultados nas Tabelas 3 e 4, verifica-se que os valores de  $RI$  da Tabela 3 são aproximadamente o dobro daqueles apresentados na Tabela 4. Tal resultado é esperado já que a simulação que gerou os resultados na Tabela 3 utilizou uma amostragem aleatória de um conjunto de 17 valores para gerar as matrizes de comparação, ao passo que a simulação com resultados na Tabela 4 foi baseada em uma amostragem aleatória de um universo de 16001 valores possíveis. Na prática, isso implica em uma menor tolerância com

relação à inconsistência nas avaliações quando da utilização de uma escala de  $\frac{1}{i}$  e  $i$ , onde  $i$  pode assumir qualquer valor.

### 3.3 ÍNDICE ALEATÓRIO DE CONSISTÊNCIA (RI) PARA MATRIZES DE COMPARAÇÃO INCOMPLETAS

Nesta seção apresenta-se o desenvolvimento de uma tabela de índices aleatórios de consistência para casos onde a matriz de julgamento não tiver sido completamente preenchida. O preenchimento de apenas algumas linhas da matriz de julgamento é um procedimento alternativo do método CIP, uma vez que o preenchimento completo da matriz pode resultar em painéis sensoriais proibitivos em termos de custos.

Os índices aleatórios de consistência na Tabela 5 foram obtidos através de um estudo de simulação, onde matrizes de comparação eram construídas com valores de julgamento  $a_{ij}$  aleatoriamente amostrados do intervalo entre  $\frac{1}{i}$  e  $i$ , onde  $i$  assume qualquer valor entre 1 e 9 (limitou-se a simulação a valores de  $i$  com duas casas após a vírgula), visto que quando se utilizando o método CIP os valores encontrados não são discretos.

Para obtenção dos índices na Tabela 5, utilizou-se a seqüência de passos descrita a seguir.

**Passo 1 (Geração de matrizes incompletas)** – foram geradas 500 matrizes para cada combinação de  $N$  e  $x$ , onde  $N$  ( $N= 1,2,\dots,10$ ) é a ordem da matriz e  $x$  ( $x= 2,\dots,9$ ) o número de linhas preenchidas. Para uma dada matriz, apenas  $x$  linhas de julgamentos (isto é, com valores aleatórios de julgamento  $a_{ij}$ ) encontram-se disponíveis. As demais linhas da matriz são obtidas a partir das relações  $a_{ji}=1/a_{ij}$  e  $a_{ij} = a_{il} \times a_{lj}$ , para quaisquer valores de  $i, j, l$ . As matrizes foram construídas em planilha eletrônica e os números aleatórios obtidos por programação em *Visual Basic for Application* (VBA). Os valores aleatórios  $a_{ij}$  foram registrados em  $M$  matrizes separadas, cada qual com uma única linha preenchida por estes valores, conforme exemplificado na Figura 10 para o caso de duas matrizes de ordem  $3 \times 3$ . As linhas não realçadas das matrizes  $\mathbf{M}_1$  e  $\mathbf{M}_2$  foram obtidas utilizando as relações acima mencionadas.

**Passo 2 (Cálculo dos pontos de centro)** – neste passo foram calculados os pontos de centro dos  $M$  resultados disponíveis para cada célula  $(i, j)$  nas matrizes geradas no Passo 1 (no exemplo da Figura 10, tais matrizes correspondem a  $\mathbf{M}_1$  e  $\mathbf{M}_2$ ). Primeiramente, os valores  $a_{ij}$  foram transformados em valores  $z$  utilizando a eq. (3). A Figura 11(a) e 11(b) apresenta os

valores de  $z$  obtidos a partir das matrizes  $M_1$  e  $M_2$  da Figura 10. A média dos valores de  $z$  resultantes foi calculada (conforme apresentado na Figura 11(c)) e convertida em ponto de centro  $a_{ij}$  usando a equação (1), gerando uma matriz de pontos de centro  $\bar{A}$  (Figura 11(d)).

$M_1$			$M_2$		
1	4,48	0,23	1	1,923	0,846
$1/4,48$	1	0,051	0,52	1	0,44
$1/0,23$	19,48	1	1,182	2,273	1

Figura 10: Exemplo de geração de matrizes incompletas

Fonte: elaborada pela autora

Foram calculadas 500 matrizes de pontos de centro  $\bar{A}$  de ordem  $N$  ( $N= 1,2,\dots,10$ ) com elementos na diagonal principal com valor 1; elementos acima da diagonal foram calculados a partir das equações (3) e (1); elementos abaixo da diagonal principal são os recíprocos dos elementos acima da diagonal.

Valores de $z - M_1$			Valores de $z - M_2$			Médias de $z$			$\bar{A}$		
0	3,26	-3,14	0	0,86	-0,17	0	2,06	-1,65	1	3,20	0,36
-3,26	0	-17,3	-0,86	0	-1,19	-2,06	0	-9,26	0,31	1	0,09
3,14	17,32	0	0,17	1,19	0	1,66	9,26	0	2,76	10,88	1
(a)			(b)			(c)			(d)		

Figura 11: Exemplo do passo 2

Fonte: elaborada pela autora

**Passo 3 (Normalização das matrizes)** – dividiram-se os valores de cada coluna  $i$  da matriz de ponto de centro  $\bar{A}$  pela soma dos valores da coluna, gerando uma nova matriz  $A_{\text{norm}}$ , onde a soma de cada coluna é igual a 1 (um). A Figura 12 traz a matriz normalizada do exemplo apresentado na Figura 11(d).

$A_{\text{norm}}$		
0,245	0,212	0,249
0,077	0,066	0,063
0,678	0,721	0,688

Figura 12: Exemplo de matriz normalizada

Fonte: elaborada pela autora

**Passo 4 (Cálculo do autovetor principal das matrizes)** – o autovetor principal da matriz  $\bar{\mathbf{A}}$  foi obtido calculando a média dos valores das linhas da matriz  $\mathbf{A}_{\text{norm}}$ . Na Figura 13(a) tem-se o autovetor principal ( $\mathbf{w}$ ) da matriz apresentada na Figura 12.

$\mathbf{w}$	$\bar{\mathbf{A}} \mathbf{w}$
0,235	0,707
0,069	0,206
0,696	2,094
(a)	(b)

Figura 13: Exemplo dos passos 4 e 5

Fonte: elaborada pela autora

**Passo 5 (Cálculo do Índice de Consistência - CI)** – para o cálculo de CI, primeiramente multiplicou-se a matriz  $\bar{\mathbf{A}}$  pelo seu autovetor principal  $\mathbf{w}$ . Esta operação encontra-se exemplificada na Figura 13(b). A partir da equação (5), foi determinado  $\lambda_{\text{max}}$ , o maior autovetor da matriz. Para a matriz de pontos de centro  $\bar{\mathbf{A}}$  de ordem  $N = 3$  (e  $x = 2$ ) exemplificada na Figura 11(d),  $\lambda_{\text{max}} = 3,00$ . No exemplo, a matriz é perfeitamente consistente ( $\lambda_{\text{max}} = N$ ), resultando em um valor de CI igual a zero. Nos casos onde a matriz é inconsistente ( $\lambda_{\text{max}} > N$ ), utilizou-se a equação (6) para o cálculo do CI.

O valor de CI, conforme os passos descritos anteriormente, foi calculado para cada matriz de pontos de centro. Os valores das 500 matrizes encontram-se no Apêndice Eletrônico C. A média dos 500 valores de CI representa o valor do índice aleatório de consistência (RI), apresentados na Tabela 5. Pode-se notar que os valores na tabela apresentam pequenas inconsistências inerentes ao processo de simulação. Por exemplo, analisando a última linha é possível observar que os valores não apresentam crescimento sistemático a medida em que o valor de  $x$  aumenta, como seria esperado. Outras inconsistências similares podem ser observadas analisando linhas e colunas da tabela.

Para contornar as inconsistências encontradas na Tabela 5, ajustou-se o seguinte meta-modelo aos dados experimentais.

$$\text{Meta Modelo} = -0,163 + (0,137 N)^{0,308} + (0,046 x)^{0,2} \quad (16)$$

Na Tabela 6 podem ser visualizados os valores de RI previstos utilizando a equação 16.

Tabela 5  
Valores de índice aleatório de consistência (RI) para matrizes incompletas de ordem  $N = 3, \dots, 10$  com valores  $a_{ij}$  selecionados a partir de escala contínua

$\begin{matrix} x \\ N \times N \end{matrix}$	2	3	4	5	6	7	8	9
3×3	0,029							
4×4	0,0476	0,0698						
5×5	0,0662	0,1029	0,1149					
6×6	0,0807	0,1233	0,128	0,1324				
7×7	0,0869	0,1255	0,1474	0,148	0,1605			
8×8	0,0989	0,145	0,1597	0,166	0,1568	0,1621		
9×9	0,1049	0,1457	0,1664	0,1679	0,1702	0,1644	0,1641	
10×10	0,1091	0,153	0,1749	0,172	0,1693	0,1854	0,1695	0,1657

Fonte: elaborada pela autora

Tabela 6  
Valores ajustados de índice aleatório de consistência (RI) para matrizes incompletas de ordem  $N = 3, \dots, 10$  com valores  $a_{ij}$  selecionados a partir de escala contínua

$\begin{matrix} x \\ N \times N \end{matrix}$	2	3	4	5	6	7	8	9
3×3	0,0294							
4×4	0,0473	0,0931						
5×5	0,0623	0,1081	0,1149					
6×6	0,0753	0,1211	0,128	0,1324				
7×7	0,0869	0,1327	0,1396	0,144	0,1474			
8×8	0,0974	0,1433	0,1501	0,1545	0,1579	0,1607		
9×9	0,1070	0,1529	0,1597	0,1642	0,1675	0,1703	0,1726	
10×10	0,1160	0,1618	0,1686	0,1731	0,1765	0,1792	0,1816	0,1836

Fonte: elaborada pela autora

## 4 APLICAÇÃO PRÁTICA

Este capítulo destina-se à descrição da aplicação do método de Comparação Indireta aos Pares (CIP). O método, descrito no Capítulo 2 e com melhorias propostas no Capítulo 3, é aplicado numa empresa alimentícia tradicional do setor de chocolates localizada em Porto Alegre – RS.

A empresa, criada no século 19, é a primeira indústria de chocolates do Brasil e teve, até o ano de 1982, uma administração familiar. Em 2002, depois de ser administrada por 2 diferentes grupos, foi incorporada a uma tradicional empresa de produção de balas, caramelos, goma de mascar e pirulitos do sul do país. Com isso, a empresa consolidou o investimento em novas formulações de produtos, em embalagens, no fortalecimento da marca no mercado nacional e inserção no mercado internacional. A empresa exporta seus produtos para África do Sul, México, Costa Rica, Omã, Jamaica, Ghana, Panamá, República Dominicana, Equador, Israel, Ilhas Fiji e Nova Zelândia.

As características da empresa, com relação ao processo de desenvolvimento de produto, permitiram a aplicação do método de Comparação Indireta aos Pares. A seguir, serão apresentadas as etapas constituintes da aplicação do método de CIP na empresa em estudo.

### 4.1 METODOLOGIA DE INTERVENÇÃO

Para a aplicação do método, utilizou-se uma metodologia de intervenção dividida em 5 etapas, como mostra o fluxograma da Figura 14.

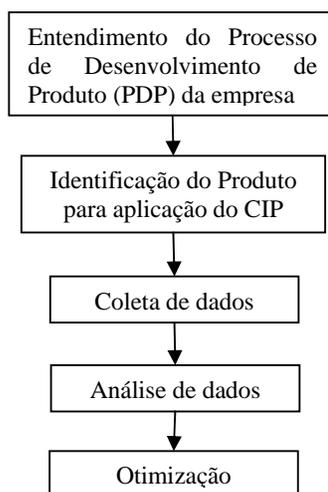


Figura 14: Fluxograma da metodologia de intervenção

Fonte: elaborada pela autora

## 4.2 ENTENDIMENTO DO PDP DA EMPRESA

O processo de desenvolvimento de produto (PDP) da empresa ocorre dentro do setor de pesquisa e desenvolvimento (P&D) de produtos. O setor de P&D possui uma equipe composta por uma engenheira química, uma engenheira de alimentos, uma estagiária de engenharia de alimentos e uma técnica em química.

Foi realizada uma reunião inicial com as engenheiras do setor de P&D, na qual se pôde entender como ocorre o PDP. A etapa inicial é de livre geração de idéias, onde qualquer indivíduo seja interno ou externo à empresa, pode contribuir com sugestões. As sugestões são avaliadas individualmente pela direção da empresa, que decide pela continuidade ou não do estudo da idéia. Caso aprovada, a idéia vira projeto, sendo a primeira etapa do projeto a priorização. Esta priorização é feita, primeiramente, por uma análise teórica através de uma Matriz de Prioridades. O resultado da Matriz é avaliado pela direção, que define os projetos prioritários. No entanto, projetos considerados prioritários podem perder lugar para idéias que surjam como prioridades máximas.

Os projetos prioritários têm suas especificações sugeridas pela direção e pelo setor de marketing. Estas especificações são então encaminhadas ao Comitê de Projetos (laboratório, produção, compras, coordenador de projetos, comercial, marketing) que avalia a viabilidade técnica da proposta, podendo fazer alterações nas especificações. Com as especificações definidas, os integrantes do Comitê de Projetos iniciam o desenvolvimento dos protótipos de produto, embalagem e materiais de lançamento.

A aprovação de protótipos é feita em conjunto entre o Comitê de Projetos e a direção da empresa. Aprovado um protótipo, inicia-se a etapa de aquisição de insumos e equipamentos, de maneira a viabilizar a produção do produto. As etapas de venda e comunicação ao mercado iniciam-se quando a fábrica estiver pronta para produzir. O processo de desenvolvimento de produtos termina com a avaliação do produto, após seu lançamento, quanto a sua eficácia (retorno sobre o investimento do projeto) e a percepção dos clientes e consumidores (pesquisas).

Nesta etapa, ficou confirmada a possibilidade de aplicação do CIP em algum dos processos de desenvolvimento de produto, mais especificamente na fase de avaliação de protótipos de produtos.

#### 4.3 IDENTIFICAÇÃO DO PRODUTO PARA APLICAÇÃO DO MÉTODO CIP

O produto definido para a aplicação do método no processo de desenvolvimento de produto foi uma barra de chocolate de 100 gramas. Isto porque o produto encontrava-se na fase de avaliação de protótipos, na qual são realizados testes sensoriais. A barra de chocolate teve suas especificações sugeridas ao Comitê de Projetos pela direção e setor de marketing da empresa, na fase anterior à avaliação de protótipos. A proposta era a utilização de matérias primas e ingredientes já disponíveis na empresa para produção de uma barra de chocolate que tivesse como apelo de *marketing* ser uma barra Napolitano. Sendo assim, esta barra deveria ter três camadas de igual espessura e diferentes sabores: chocolate preto, recheio de sabor morango e chocolate branco.

Na avaliação técnica realizada pelo Comitê de Projetos sobre a viabilidade da proposta, foi considerada que a barra de chocolate era enjoativa em relação à doçura. Desta maneira, a variável sensorial a ser analisada na avaliação dos protótipos foi o quanto enjoativa em relação à doçura eram as amostras.

Foram utilizados para a produção dos protótipos três tipos de ingredientes: chocolate meio-amargo, chocolate branco e recheio sabor de morango. O recheio sabor de morango já é utilizado em um produto da empresa de grande aceitação no mercado, assim como os chocolates meio-amargo e branco.

Foram produzidos quatro protótipos em escala de laboratório, no setor de P&D, com características semelhantes à barra que seria produzida em escala industrial. As barras de chocolate de 100g foram moldadas em formas, com quantidade de chocolate branco igual para todos os protótipos. A variação estava na quantidade de recheio de morango, que variava na faixa de 33 a 36%, e de chocolate meio-amargo, que tinha sua quantidade ajustada de acordo com o recheio.

Para a avaliação destes protótipos, foram consideradas variáveis usuais de resposta e variáveis subjetivas avaliadas a partir de painéis sensoriais. A existência desses dois tipos específicos de variáveis permitiu a aplicação do método de Comparação Indireta aos Pares.

#### 4.4 COLETA DE DADOS

Os testes sensoriais foram realizados no Laboratório de Análise Sensorial do Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos (ICTA) da UFRGS e em uma sala de apoio do setor de desenvolvimento de produtos da empresa de chocolates. O laboratório do ICTA conta com

cabines individuais, e a sala de apoio da empresa de chocolates conta com mesas individuais separadas de maneira que a interação entre os julgadores não é possível. Esses locais apresentam ambiente calmo e livre de odores.

Os julgadores foram recrutados dentre estudantes, pesquisadores e colaboradores do Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos (ICTA) da UFRGS e junto ao quadro de colaboradores da empresa de alimentos. Quarenta e sete julgadores realizaram os testes sensoriais.

Na preparação das amostras, as barras de chocolate de 100g foram cortadas em quatro pedaços de 25g com auxílio de faca de aço inoxidável. As amostras foram apresentadas simultaneamente aos julgadores em recipientes brancos de material inerte e inodoro. Foram apresentadas simultaneamente, por seção, três amostras codificadas com números de três algarismos (ordem completamente aleatória), mais uma amostra de controle ou referência identificada com a letra C, conforme mostra a Figura 15. Um copo de água foi entregue a cada julgador para ser utilizado na realização do teste. A ordem de apresentação foi balanceada e aleatorizada, de modo que todas as amostras apareceram um mesmo número de vezes em uma determinada posição, porém em ordem aleatória para cada julgador.

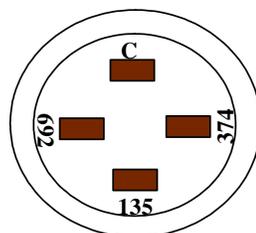


Figura 15: Apresentação das amostras

Fonte: elaborada pela autora

Antes de cada seção, os julgadores receberam as instruções necessárias para realizar o teste e esclareceram suas dúvidas. Os julgadores foram instruídos quanto ao uso da ficha (Figura 16) e aos objetivos do teste. Também foram instruídos a beber água antes de iniciar o teste, entre cada amostra e ao final do teste. Também foram dadas instruções quanto à maneira de provar as amostras: a amostra de controle foi provada no início dos testes e entre uma amostra e outra. A ordem de prova de amostras foi da esquerda para a direita.

O teste sensorial, para verificar o quanto enjoativas em relação à doçura são as amostras em comparação à amostra de controle, foi realizado segundo o método de Comparação Indireta aos Pares, descrito na seção 2.2.2. Não foram utilizadas as adaptações de métodos descritivos, uma vez que não havia julgadores treinados à disposição.

Para a coleta de dados, optou-se pelo procedimento alternativo, de maneira a reduzir o número de testes necessários para obtenção das matrizes de julgamento. O preenchimento completo da matriz  $4 \times 4$ , onde 4 é o número de amostras, resultaria em custos elevados de elaboração das amostras para a empresa, bem como fadiga sensorial nos julgadores.

Cada julgador realizou duas seções de teste com diferentes amostras de controle. Os testes foram realizados em dias diferentes, porém no mesmo horário do dia. Em cada uma das seções de teste, cada julgador preencheu uma escala de avaliação impressa na ficha (Figura 16). As marcas nas escalas associadas a cada teste foram convertidas em valores numéricos entre  $\frac{1}{9}$  e 9. Na avaliação de quanto enjoativa são as amostras em relação à amostra de controle, o valor  $\frac{1}{9}$  corresponde à uma amostra muito mais enjoativa do que a amostra de controle, 9 corresponde à uma amostra muito menos enjoativa, e 1 é atribuído quando a amostra apresentar a mesma intensidade da amostra de controle. Estes valores foram registrados em uma matriz com uma única coluna com números, na qual o rótulo da linha corresponde à amostra de controle. Com isso, cada julgador possui duas matrizes com uma única linha com números, que posteriormente foram completadas com as expressões da equação (2).

**ANÁLISE SENSORIAL DE CHOCOLATE**

**Nome:** \_\_\_\_\_ **Hora:** \_\_\_\_\_

**Data:** \_\_\_\_\_

Um grupo de amostras será apresentado a você; uma das amostras será apresentada como amostra de controle. Sua tarefa é avaliar o quanto enjoativa em relação à doçura são as amostras em comparação à amostra de controle. A amostra de controle está posicionada no centro da escala de avaliação. Amostras consideradas mais enjoativas do que a amostra de controle devem ter seus códigos marcados no lado direito da escala, de acordo com a intensidade percebida; aquelas consideradas menos enjoativas, devem ser marcadas no lado esquerdo da escala. No caso das amostras serem iguais, escreva os seus códigos no mesmo ponto da escala.

CONTROLE

  
↓

---

Muito menos  
enjoativa

Idêntico ao  
Controle

Muito mais  
enjoativa

Figura 16: Ficha de avaliação

Fonte: elaborada pela autora

Na Figura 17 (a) e (b) é apresentado um exemplo das duas matrizes preenchidas por um dado julgador ( $k = 12$ ). Os valores numéricos em destaque são aqueles convertidos a partir das marcas nas escalas de teste. O valor 2,92 apresentado na segunda linha da matriz da Figura 17(a), por exemplo, indica que a amostra de controle 2 é um pouco menos enjoativa que a amostra 1. As amostras de controle nestes testes eram as amostras 1 e 4, como indicado no rótulo da coluna. Os demais valores foram completados com as expressões da equação (2).

Quando as matrizes resultantes de um julgador foram iguais, sua perfeita consistência foi confirmada. No caso de inconsistência das matrizes, os pontos de centro dos resultados disponíveis nas matrizes foram calculados para a obtenção de uma matriz de julgamentos intermediários. Para isso, transformou-se inversamente os valores  $a_{ij}$  em valores  $z$  utilizando as expressões da equação (3). A Figura 18 (a) e (b) mostra os valores  $z$  para as matrizes apresentadas na Figura 17.

Amostra	1	2	3	4
1	<b>1</b>	0,34	0,70	4,73
2	<b>2,92</b>	1	2,047	13,82
3	<b>1,427</b>	0,489	1	6,753
4	<b>0,211</b>	0,072	0,148	1

(a)

Amostra	1	2	3	4
1	1	0,095	0,193	<b>0,46</b>
2	10,52	1	2,028	<b>4,84</b>
3	5,187	0,493	1	<b>2,387</b>
4	2,17	0,21	0,42	<b>1</b>

(b)

Figura 17: Matrizes de julgamento do julgador 12

Fonte: elaborada pela autora

	1	2	3	4
1	0,00	-1,80	-0,40	3,50
2	1,80	0,00	0,98	12,02
3	0,40	-0,98	0,00	5,39
4	-3,50	-12,02	-5,39	0,00

(a)

	1	2	3	4
1	0,00	-8,92	-3,93	-1,10
2	8,92	0,00	0,96	3,60
3	3,93	-0,96	0,00	1,30
4	1,10	-3,60	-1,30	0,00

(b)

Figura 18: Matrizes com valores  $z$

Fonte: elaborada pela autora

A média dos valores  $z$  resultantes foi calculada (Figura 19-(a)) e convertida em ponto de centro  $a_{ij}$  usando a equação (1), gerando a matriz de julgamentos intermediária (Figura 19-(b)).

Médias de z	1	2	3	4
1	0,00	-5,36	-2,16	1,20
2	5,36	0,00	0,97	7,81
3	2,16	-0,97	0,00	3,35
4	-1,20	-7,81	-3,35	0,00

(a)

$\bar{A}_{12p}$	1	2	3	4
1	1	0,149	0,302	2,28
2	6,719	1	2,037	9,331
3	3,307	0,491	1	4,57
4	0,439	0,107	0,219	1

(b)

Figura 19: Matrizes de julgamento do julgador 12

Fonte: elaborada pela autora

Os resultados dos testes sensoriais dos 47 julgadores encontram-se no Apêndice Eletrônico D.

#### 4.5 ANÁLISE DOS DADOS

Os dados foram obtidos a partir dos testes sensoriais realizados por 47 provadores, conforme descrito na seção 4.4. As matrizes de julgamentos dos provadores  $\bar{A}_{kp}$ , obtidas a partir dos resultados das avaliações, foram utilizadas para o cálculo do vetor de pesos, com valores correspondentes à intensidade das amostras percebidas pelo julgador  $k$ . O maior valor no vetor de pesos corresponde à amostra menos enjoativa em relação à doçura. A matriz  $\bar{A}_{kp}$  também possibilitou a determinação de uma medida de consistência para o julgador.

##### 4.5.1 Vetores de peso

Para o cálculo do autovetor principal  $w_{kp}$ , utilizou-se o procedimento sugerido por Winston (1993) descrito na seção 2.2.2. No primeiro passo, calculou-se a matriz normalizada a partir da matriz  $\bar{A}_{kp}$ . Na Figura 20, apresenta-se a matriz normalizada do julgador  $k = 12$ , dando continuidade à análise do exemplo na Figura 17.

$A_{\text{norm}}$	1	2	3	4
1	0,09	0,09	0,08	0,13
2	0,59	0,57	0,57	0,54
3	0,29	0,28	0,28	0,27
4	0,04	0,06	0,06	0,06

Figura 20: Matriz normalizada de um dado julgador

Fonte: elaborada pela autora

O passo seguinte foi encontrar o valor aproximado de  $w_{kp}$ . A Figura 21 apresenta o vetor de pesos para as amostras do julgador  $k = 12$ . Neste exemplo, o julgador avaliou a amostra 2, com maior peso, como a menos enjoativa.

$w_{12p}$
0,10
0,57
0,28
0,05

Figura 21: Vetor de pesos do julgador 12

Fonte: elaborada pela autora

Os vetores de peso dos 47 julgadores encontram-se no Apêndice Eletrônico D.

#### 4.5.2 Razões de consistência

Para o cálculo da consistência das avaliações dos julgadores, primeiramente multiplicou-se a matriz de julgamentos  $\bar{A}_{kp}$  pelo vetor de peso  $w_{kp}$  dos julgadores. Na Figura 22, tem-se a multiplicação de julgamentos  $\bar{A}_{12p}$  por  $w_{12p}$ .

$\bar{A}_{12p} w_{12p}$
0,39
2,30
1,13
0,22

Figura 22: Multiplicação de  $A_{12p}$  por  $w_{12p}$

Fonte: elaborada pela autora

O valor  $\lambda_{\max}$  foi determinado a partir da equação (5).

No caso de perfeita consistência do julgador, o valor de  $\lambda_{\max}$  para o julgador seria igual ao número de amostras, ou seja, igual a 4. No caso de inconsistência ( $\lambda_{\max} > 4$ ), um índice de consistência foi calculado pela equação (6). Para o julgador 12, o valor de  $\lambda_{\max}$  foi igual a 4,03 e o valor do índice de consistência foi igual a 0,01.

O valor de  $CI$  foi comparado com um índice aleatório de consistência ( $RI$ ) de uma matriz  $4 \times 4$  em que 2 linhas são preenchidas (ver Tabela 4). A consistência da matriz de julgamento deste julgador foi medida através da razão de consistência  $CR$ , que obteve um valor de 0,22. O julgador com a maior razão de consistência  $CR$  foi de 19,06, isto é, uma consistência muito baixa. O valor mínimo de  $CR$  foi de 0,00, que indica a perfeita

consistência do julgador. A Tabela 7 apresenta o desempenho dos 47 julgadores. Pode-se observar que 18 julgadores obtiveram valores de razão de consistência baixos, demonstrando uma boa consistência destes julgadores.

Tabela 7  
Desempenho dos julgadores

<b>CR</b>	<b>Nº de julgadores</b>
0,00 – 0,49	18
0,50 – 1,00	10
1,01 – 4,00	9
4,01 – 19,06	10

Fonte: elaborada pela autora

Os valores das razões de consistência dos 47 julgadores encontram-se no Apêndice Eletrônico D.

#### 4.6 OTIMIZAÇÃO DO PRODUTO

Para a otimização do produto, foi gerado um vetor de pesos finais para as amostras, em que foram considerados todos os julgadores ponderados pela sua razão de consistência. A equação (15) demonstra o cálculo do vetor de pesos finais:

$$\mathbf{w}_p = \frac{\sum_{k=1}^K \frac{1}{CR_k}}{\sum_{k=1}^K \frac{1}{CR_k}} \times w_{kp} \quad (15)$$

O vetor de pesos para as quatro amostras analisadas está apresentado na Figura 23. No vetor, é verificada a preferência, ou seja, amostra menos enjoativa, para a amostra número 2.

$\mathbf{w}_p$
0,28
0,49
0,12
0,11

Figura 23: Vetor de pesos finais

Fonte: elaborada pela autora

Em uma segunda etapa da otimização, foi desenvolvido um modelo de regressão que relacionava os pesos finais de cada amostra (encontrados no vetor final de cada julgador) com

a quantidade de recheio sabor morango ( $I$ ), variável dentro da faixa de 33 a 36%. O modelo obtido pela regressão múltipla foi:

$$\text{Peso da amostra} = -6443,46 + 559,178 I - 16,1629 I^2 + 0,155613 I^3 \quad (17)$$

O coeficiente de determinação do modelo na equação (17) foi  $R^2 = 60,64\%$ .

Para encontrar o valor ótimo de recheio que maximizava o peso da amostra, utilizou-se o *software* de otimização *What's Best*. Utilizou-se a equação (17) como função objetivo de um problema de maximização, restrito a região experimental da variável  $I$  (isto é, entre 33 a 36% de variação). No ponto ótimo (correspondendo a um valor de preferência de 0,53 para a função objetivo), o valor assumido por  $I$  foi de 33,7%. Porém, a precisão do processo industrial não permitiu a utilização desta porcentagem exata de recheio. Sendo assim, a quantidade ótima de recheio de morango na barra de chocolate foi estabelecida como 34%.

O ponto ótimo da otimização indica como ideal uma barra de chocolate com composição intermediária entre as amostras 1 e 2 (mais próxima dessa última). Grafando-se a função objetivo como função da variável  $I$ , observa-se a não-linearidade da função e seu ponto de máximo em  $w = 0,53$ ; ver Figura 24. A composição final do produto analisado foi a seguinte: 37% de chocolate meio-amargo, 34% de recheio sabor morango e 29% de chocolate branco.

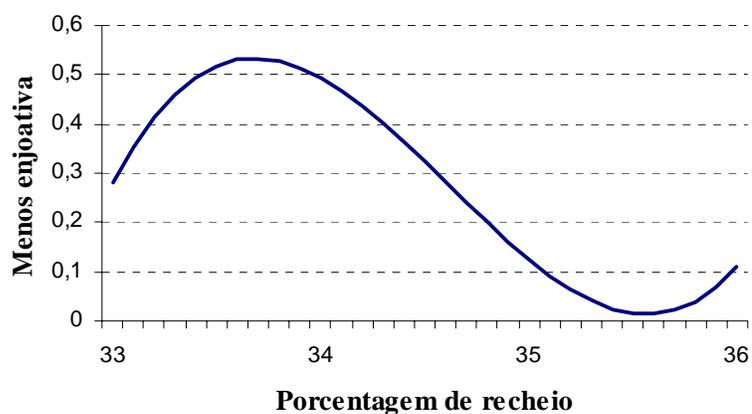


Figura 24: Valores de preferência em função do percentual de recheio

Fonte: elaborada pela autora

Um segundo modelo de regressão foi obtido através da função densidade de Weibull. Este modelo está apresentado no Apêndice eletrônico E.

A barra de chocolate Napolitano foi lançada em agosto de 2005, com grande aceitação pelo mercado. Nos últimos meses de 2006, o produto tem estado entre os 5 itens mais vendidos da empresa, sendo que em outubro de 2006 bateu o seu recorde de vendas. A barra foi a vencedora do “Prêmio de Produto Alimentício Mais Inovador da América do Sul”, conhecido como o “Oscar” da indústria de alimentos, promovido pela *Food Ingredients South America* (FISA), em 2006, na sua 12ª edição.

#### 4.7 VALIDAÇÃO DA OTIMIZAÇÃO

A validação da barra de chocolate Napolitano não foi possível em função da imprecisão do processo industrial, que não permite a utilização de valores não inteiros de composição dos ingredientes. A amostra com 34% de recheio (variável *I*) já havia sido testada anteriormente, correspondendo à amostra 2 dos painéis sensoriais, a qual foi considerada como a menos enjoativa pelos julgadores.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta seção serão apresentadas as principais conclusões obtidas do estudo e algumas sugestões para trabalhos futuros.

### 5.1 CONCLUSÕES

A competitividade da indústria alimentícia está ligada à busca constante por novos produtos, aumento da qualidade, maior tempo de vida de prateleira dos produtos, aumento da produtividade e menor custo. Neste cenário, as empresas precisam estar atentas às necessidades e gostos dos consumidores em relação aos produtos, bem como necessitam cada vez mais otimizar seus produtos e processos industriais.

A maioria desses produtos e processos é avaliada por mais de uma característica de qualidade. Na seleção do melhor projeto e fatores controláveis, todas as medidas de qualidade devem ser consideradas simultaneamente. No setor alimentício além de indicadores de desempenho usuais, como peso e viscosidade do item analisado, painéis sensoriais são frequentemente usados para avaliar um produto. Quando um painel sensorial é necessário para avaliar um produto, o pesquisador ou engenheiro confronta-se com a necessidade de otimização do produto ou processo considerando tanto dados do painel sensorial como medidas usuais de qualidade.

A realização desta dissertação permitiu a formulação de algumas conclusões a respeito da otimização multivariada de produtos com variáveis sensoriais, assim como sugestões para trabalhos futuros.

O objetivo principal dessa dissertação foi a proposição de melhorias no método de Comparação Indireta aos Pares (CIP) que aumentem sua confiabilidade e aplicabilidade na otimização de produtos. O método CIP é fundamentado na otimização multivariada de produtos com variáveis sensoriais. Para tanto, foi necessário um levantamento teórico a respeito da otimização multivariada de produtos. A revisão sobre avaliação sensorial forneceu uma visão geral de seus principais métodos. O estudo também apresentou uma breve revisão sobre o método de Comparação Indireta aos Pares, proposto por Fogliatto (1997).

A adaptação do método CIP para diferentes procedimentos de coleta de dados sensoriais foi um dos objetivos específicos dessa dissertação. O método CIP está baseado na comparação pareada das amostras. Os métodos de Análise Descritiva Quantitativa, *Spectrum*, Perfil de Sabor e Perfil de Textura, classificados como métodos de avaliação sensorial

descritivos, foram adaptados de maneira a serem utilizados na estrutura de análise de dados do CIP. Essa estrutura permite a otimização multivariada das respostas.

A validação dos valores do índice aleatório de consistência (RI) utilizados para a análise de dados do CIP onde a matriz de julgamentos seja completamente preenchida, e a construção de novas tabelas de RIs para cenários nos quais a matriz de julgamento não é completamente preenchida foram também objetivos específicos da dissertação. Tanto a validação quanto a construção de novas tabelas foram possíveis através da simulação de matrizes aleatórias.

Uma aplicação prática permitiu a ilustração de parte das melhorias propostas. A aplicação prática foi realizada em uma empresa de chocolates localizada em Porto Alegre-RS, abordando o processo de desenvolvimento de uma barra de chocolate de 100g. A barra de chocolate é produzida a partir de três ingredientes, chocolate meio-amargo e branco e recheio sabor morango. A opção por este produto na aplicação prática foi em razão da etapa do PDP em que se encontrava.

A aplicação prática comprovou-se eficaz na medida em que possibilitou o atendimento dos objetivos inicialmente estabelecidos. A otimização mostrou que dentre as quatro amostras de barra de chocolate analisadas, a amostra 2 foi identificada como a menos enjoativa. Também na otimização foi verificada que a quantidade de recheio sabor morango de 33,7% levaria a um resultado ótimo, porém essa quantidade não foi utilizada na prática em razão da imprecisão do processo industrial. Dessa maneira, um valor inteiro mais próximo do ótimo, ou seja, 34% de recheio sabor morango, foi considerado para a produção em escala industrial das barras de chocolate Napolitano.

A aplicação prática permitiu formular algumas conclusões positivas a respeito da utilização do método CIP, na medida em que se verificou reconhecimento do método como importante instrumento para o desenvolvimento e otimização de produtos com variáveis sensoriais. Este reconhecimento consuma-se através da percepção de que o método CIP pode ser aplicado, dados os ajustes requeridos, em desenvolvimento e otimização de produtos com características semelhantes.

## 5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O estudo aqui desenvolvido pode ser estendido para além dos limites desta dissertação de mestrado. Na seqüência são apresentadas sugestões de estudos futuros através da aplicação do método de Comparação Indireta aos Pares.

As adaptações realizadas nos métodos de coleta de dados sensoriais descritivos não foram testadas através de aplicação prática. Dessa forma, sugere-se que seja realizada uma aplicação destes métodos de coleta de dados e que os dados coletados sejam analisados através da estrutura de análise do CIP, garantindo assim o aumento de sua aplicabilidade.

A literatura apresenta uma considerável variedade de métodos de coleta de dados sensoriais. Nesta dissertação foram adaptados para a estrutura de análise de dados do CIP somente métodos descritivos de coleta de dados. A adaptação de outros métodos de coleta de dados constitui-se em assunto interessante para a realização de trabalho futuro.

A aplicação prática do CIP com as melhorias propostas nesta dissertação se restringiu a um mesmo procedimento de coleta de dados. Nesse procedimento os julgadores faziam o preenchimento de apenas duas linhas das matrizes de julgamentos. A execução de diferentes procedimentos de coleta de dados onde a matriz de julgamentos é preenchida com números diferentes de linhas apresenta-se como uma extensão interessante para este trabalho, uma vez que permitirá a utilização e validação da nova tabela com valores de RIs.

## REFERÊNCIAS

AKGUNDUZ, A.; ZETU, D.; BANERJEE, P.; LIANG, D. Evaluation of sub-component alternatives in product design processes. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**. Vol. 18, p. 69-81, 2002.

ALMEIDA, T. C. A.; HOUGH, G.; DAMÁSIO, M. H.; SILVA, M. A. A. P. **Avanços em análise sensorial**. São Paulo: Livraria Varela, 1999. 286p

AMERINE, A. A.; PANGBORN, R. M.; ROESSLER, E. B. **Principles of Sensory Evaluation of Food**. EUA: Academic Press, 1965. 602p

ANTONY, J. Multi-response Optimization in Industrial Experiments using Taguchi's Quality Loss Function and Principal Component Analysis. **Quality and Reliability Engineering International**. Vol. 16, p. 3-8, 2000.

ANZALDÚA-MORALES, A. A. **La evaluación sensorial de los alimentos em la teoría y la práctica**. Zaragoza: Editorial Acribia S.A., 1994. 198 p

ARTILES-LEÓN, N. A pragmatic approach to multiple-response problems using loss functions. **Quality Engineering**. Vol. 9, p. 213-220, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14141: Escalas utilizadas em análise sensorial dos alimentos e bebidas**. São Paulo: 1998.

BEVILACQUA, M.; D'AMORE, A.; POLONARA, F. A multi-criteria decision approach to choosing the optimal blanching-freezing system. **Journal of Food Engineering**. Vol. 63, p. 253-263, 2004.

CARLYLE, W. M.; MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. Optimization Problems and Methods in Quality Control and Improvement. **Journal of Quality Technology**. Vol. 32, n° 1, p. 1-17, 2000.

CARNEIRO, R. L.; SILVA, R. S. S. F.; BORSATO, D.; BONA, E. Métodos de gradiente para otimização simultânea: estudo de casos de sistemas alimentares. **Semina: Ciências Agrárias**. Vol. 26, n° 3, p. 353-362, 2005.

CASTRO, I. A.; SILVA, R. S. F.; TIRAPEGUI, J.; BONA, E. Simultaneous Optimization of Response Variables in Protein Mixture Formulation: Constrained Simplex Method Approach. **International Journal of Food Science and Technology**. Vol. 38, p. 103-110, 2003.

CATEN, C. S. **Método de Otimização de Produtos e Processos medidos por Múltiplas Características de Qualidade**. Porto Alegre: UFRGS, 1995. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995.

CATEN, C. S.; RIBEIRO, J.L. **Custos da Qualidade e da Manufatura: Um estudo de caso na indústria química**. Porto Alegre: Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - UFRGS, 1995. Relatório Técnico.

CH'NG, C.K.; QHAH, S.H.; LOW, H.C. Index  $C_{pm}^*$  in Multiple Response Optimization. **Quality Engineering**. Vol.17, p. 165-171, 2005.

CHANG, S.I.; SHIVPURI, R. A Multiple-objective Decision-making Approach for Assessing Simultaneous Improvement in Die Life and Casting Quality in a Die Casting Process. **Quality Engineering**. Vol. 7, n°2, p. 371-383, 1994-95.

CHEN, M. J.; LIN, C. W. Factors affecting the water-holding capacity of fibrinogen/plasma protein gels optimized by response surface methodology. **Journal of Food Science**. Vol. 67, n° 7, p. 2579-2582, 2002.

CHEN, M.-J.; CHEN, K.-N.; LIN, C.-W. Optimization on response surface models for the optimal manufacturing conditions of dairy tofu. **Journal of Food Engineering**. Vol. 68, p. 471-480, 2005.

CHIAO, C. H.; HAMADA, M. Analyzing Experiments with Degradation Data for Improving Reliability and for Achieving Robust Reliability. **Quality and Reliability Engineering International**. Vol. 17, n°5, p. 333-344, 2001.

CURT, C.; ALLAIS, I.; PERROT, N.; LEBLANC, V.; TRYSTRAM, G. Optimization of the meat emulsification process using at-line human evaluations and the Simplex method. **Journal of Food Engineering**. Vol. 64, p. 33-41, 2004.

DAS, P. Concurrent Optimization of Multiresponse Product Performance. **Quality Engineering**. Vol. 11, n.3, p. 365-368, 1999.

DEL CASTILLO, E; MOTGOMERY, D. C.; MCCARVILLE, D. R. Modified Desirability Functions for Multiple Response Optimization. **Journal of Quality Technology**. Vol. 28, n° 3, p. 337-352, 1996.

DELLA MODESTA, R. C. **Manual de Análise Sensorial de Alimentos e Bebidas: geral**. Rio de Janeiro: Embrapa-CTAA, 1994. 115p

DERRINGER, G.; SUICH, R. Simultaneous Optimization of Several Response Variables. **Journal of Quality Technology**. Vol. 12, n°4, p. 214-219, 1980.

DUTCOSKY, S. D. **Análise sensorial de alimentos**. Curitiba: Champagnat, 1996. 123p

ECHEVESTE, M. E. S. **Planejamento da Otimização Experimental de Processos Industriais**. Porto Alegre: UFRGS, 1997. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997.

ELSAYED, E. A.; CHEN, A. Optimal Levels of Process Parameters for Products with Multiple Characteristics. **International Journal of Production Research**. Vol. 31, N° 5, p. 1117-1132, 1993.

FAN, L.-P.; ZHANG, M.; XIAO, G.-N.; SUN, J.-C.; TAO, Q. The optimization of vacuum frying to dehydrate carrot chips. **International Journal of Food Science and Technology**. Vol. 40, p. 911-919, 2005.

FARIA, E. V.; YOTSUYANAGI, K. **Técnicas de Análise Sensorial**. 1ª Edição. Campinas: ITAL/LAFISE, 2002. 116p

FOGLIATTO, F. S. Proposta metodológica para coleta e análise de dados sensoriais no desenvolvimento de produtos e em estudos de confiabilidade. In: 4º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto, 2003, Gramado/RS. **Anais**. 1CD.

FOGLIATTO, F. S. Techniques for modeling and optimizing multiresponse experiments – a survey. **Produto & Produção**. Vol. 3, n°2, p.29-38, 1999.

FOGLIATTO, F. S. **The Hierarchical Multiresponse Optimization Method**. New Jersey: New Brunswick Rutgers University, 1997. Ph.D. Dissertation. Industrial and Systems Engineering Department, New Brunswick Rutgers University, 1997.

FOGLIATTO, F. S.; ALBIN, S.L. A hierarchical method for evaluating products with quantitative and sensory characteristics. **IIE Transactions**. Vol. 33, p.1081-1092, 2001.

FOGLIATTO, F. S.; ALBIN, S.L. An AHP-based procedure for sensory data collection and analysis in quality and reliability applications. **Food Quality & Preference**. Vol. 14, p.375-385, 2003.

FOGLIATTO, F. S.; ALBIN, S.L. Optimizing Multiresponse Experiments using the Accuracy of Prediction as an Optimization Criterion. **Quality Engineering**. Vol. 12, n.4, p.523-533, 2000.

FOGLIATTO, F. S.; ALBIN, S.L.; SILVA, A. M. S. A Method for Sensory Data Collection and Analysis in Product Development. In: XX ENEGEP – Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2000, São Paulo/SP. **Anais**. 1CD

FOGLIATTO, F. S.; ALBIN, S.L.; TEPPER, B. J. A Hierarchical Approach to Optimizing Descriptive Analysis Multiresponse Experiments. **Journal of Sensory Studies**. Vol. 14, n°4 p.443-465, 1999.

FOGLIATTO, F. S.; ROSA, A. P. F. Multiresponse optimization of products with quality characteristics represented by profiles. In: 9èmes Journées Européennes Agro-Industrie et Méthodes Statistiques, 2006, Montpellier, França. **Proceedings of the Agrostat 2006**. Montpellier, França : Université Montpellier, 2006. v. 1. p. 1-10.

FUNG, C.-P.; KANG, P.-C. Multi-response optimization in friction properties of PBT composites using Taguchi method and principal components analysis. **Journal of Materials Processing technology**. Artigo aceito para publicação, aguarda impressão, 2005.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 3<sup>a</sup> Edição. São Paulo: Editora Atlas S.A., 1991. 159 p

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 5<sup>a</sup> Edição. São Paulo: Editoras Atlas S.A., 1999. 206 p

GRIZOTTO, R. K.; BRUNS, R. E.; AGUIRRE, J. A.; BATISTA, G. Otimização via Metodologia de Superfície de Respostas dos parâmetros tecnológicos para produção de fruta estruturada e desidratada a partir de polpa concentrada de mamão. **Ciênc. Tecnol. Aliment.** Vol. 25, n<sup>o</sup> 1, p. 158-164, 2005.

HAIR Jr., J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Análise Multivariada de Dados**. 5<sup>a</sup> Edição. Porto Alegre: Bookman, 2005.

HARRINGTON Jr., E.C. The Desirability Function. **Industrial Quality Control**. Vol. 21, n<sup>o</sup> 10, p. 494-498, 1965.

HOUGH, G.; SANCHEZ, R.; BARBIERI, T.; MARTINEZ, E. Sensory Optimization of a Powdered Chocolate Milk Formula. **Food Quality and Preference**. Vol. 8, n<sup>o</sup> 3, p. 213-221, 1997.

HSIAO, S-W. Concurrent design method for developing a new product. **International Journal of Industrial Ergonomics**. Vol. 29, p. 41-55, 2002.

HSIEH, K.; TONG, L. Optimization of multiple quality responses involving qualitative and quantitative characteristics in IC manufacturing using neural networks. **Computers in Industry**. Vol. 46, p 1-12, 2001.

HUANG, S.; QUAIL, K.; MOSS, R. The optimization of a laboratory processing procedure for southern-style Chinese steamed bread. **International Journal of Food Science and Technology**. Vol.33, p. 345-357, 1998.

KAHRAMAN, C.; CEBECI, U.; RUAN, D. Multi-attribute comparison of catering service companies using fuzzy AHP: The case of Turkey. **International Journal of Production Economics**. Vol.84, p. 171-184, 2004.

KO, Y.-H.; KIM, K.-J.; JUN, C.-H. A New Loss Function-Based Method for Multiresponse Optimization. **Journal of Quality Technology**. Vol. 37, n° 1, p. 50-59, 2005.

KWIESIELEWICZ, M.; UDEN, E. Inconsistent and contradictory judgments in pairwise comparison method in the AHP. **Computers & Operations Research**. Vol.31, p. 713-719, 2004.

LAWLESS, H. T.; HEYMANN, H. **Sensory Evaluation of Food: Principles and Practices**. New York: Chapman & Hall, 1998. 819p

LEE, J.; YE, L.; LANDEN, W. O.; EITENMILLER, R. R. Optimization of an extraction procedure for the quantification of vitamin E in tomato and broccoli using response surface methodology. **Journal of Food Composition and Analysis**. Vol. 13, p.45-57, 2000.

LEÓN, R. V.; SHOEMAKER, A. C.; KACKER, R. N. Performance Measures Independent of Adjustment – An Explanation and Extension Of Taguchi's Signal-to-Noise Ratios. **Technometrics**. Vol. 29, n°3, p. 253-265, 1987.

LI, J.L.; LI, C.L. The use of grey-fuzzy logic in the optimization of the manufacturing process. **Journal of Materials Processing Technology**. Vol. 160, p. 9-14, 2005.

LI, T.S.; SU, C.T.; CHIANG, T.L. Applying robust multi-response quality engineering for parameter selection using a novel neural-genetic algorithm. **Computers in Industry**. Vol. 50, p. 113-122, 2003.

LOGOTHETIS, N.; HAIGH, A. Characterizing and Optimizing Multi-response Processes by the Taguchi Method. **Quality & Reliability Engineering International**. Vol.4, p. 159-169, 1988.

LU, D.; ANTONY, J. Optimization of multiple responses using a fuzzy-rule based inference system. **International Journal of Production Research**. Vol. 40, n°7, p.1613-1625, 2002.

LUCAS, J. M. How to achieve a robust process using response surface methodology. **Journal of Quality Technology**. Vol. 26, n°4, p.248-260, 1994.

MARTINS, C. M. R. **Proposta Metodológica para Otimização de Formulações de Alimentos**. Porto Alegre: UFRGS, 2002. Dissertação de Mestrado Profissional em Engenharia de Produção. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002.

MEILGAARD, M.; CIVILLE, G. V.; CARR, B. T. **Sensory Evaluation Techniques**. 3<sup>a</sup> Edição. Boca Raton: CRC Press, 1999. 387p

MENDES, L. C.; MENEZES, H. C.; APARECIDA, M., SILVA A. P. Optimization of the roasting of robusta coffee (*C. canephora conillon*) using acceptability testes and RSM. **Food Quality & Preference**. Vol. 12, p.153-162, 2001.

MONTEIRO, C. L. B. **Técnicas de Avaliação Sensorial**. 2<sup>a</sup> Edição. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, CEPPA, 1984. 101p

MONTGOMERY, D. C. **Design and Analysis of Experiments**. 5<sup>a</sup> Edição. New York: John Wiley and Sons, 2001. 684p

MOSKOWITZ, H. R. One Practitioner's Overview to Applied Product Optimization. **Food Quality & Preference**. Vol. 6, p.75-81, 1995.

MOSKOWITZ, H. R. **Product testing and sensory evaluation of foods**. Westport: Food & Nutrition Press, 1983. 605p

MURPHY, T.E.; TSUI, K.-L.; ALLEN, J.K. A review of robust design methods for multiple responses. **Research in Engineering Design**. Vol. 11, p. 201-215, 2005.

MURRAY, J. M.; DELAHUNTY, C. M.; BAXTER, I. A. Descriptive sensory analysis: past, present and future. **Food Research International**. Vol. 34, p. 461-471, 2001.

MYERS, R. H.; CARTER Jr., W. H. Response Surface Techniques for Dual Response Systems. **Technometrics**. Vol. 15, n<sup>o</sup>2, p. 301-317, 1973.

MYERS, R. H.; KHURI, A. I.; VINING, G. Response Surface Alternatives to the Taguchi Robust Parameter Design Approach. **The American Statistician**. Vol. 46, n<sup>o</sup>2, p. 131-139, 1992.

NANDA, V.; SINGH, S.; RAINA, C.S.; JINDAL, N.; SINGH, K.; SAXENA, D.C. Optimization of the process variables for the preparation of processed paneer using response surface methodology. *European Food Research and Technology*. Vol. 218, n°2, p. 529-534, 2004.

OH, H.L. Variation Tolerant Design. **In Proceedings of the Conference on Uncertainty in Engineering Design**, Maryland, USA, 1988.

ORTIZ Jr., F.; SIMPSON, J.R.; PIGNATIELLO Jr., J.J.; HEREDIA-LANGNER, A. A Genetic Algorithm Approach to Multiple-Response Optimization. **Journal of Quality Technology**. Vol. 36, N° 4, p. 432-450, 2004.

PARK, K.S.; KIM, K.-J. Optimizing multi-response surface problems: How to use multi-objective optimization techniques. **IEE Transactions**. Vol. 37, p. 523-532, 2005.

PASA, G. S. **Método de Otimização Experimental de Formulações**. Porto Alegre: UFRGS, 1996. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1996.

PETIOT, J.; YANNOU, B. Measuring consumer perceptions for a better comprehension, specification and assessment of product semantics. **International Journal of Industrial Ergonomics**. Artigo aceito para publicação, aguarda impressão, 2003.

PIGGOTT, J. R.; SIMPSON, S. J.; WILLIAMS, A. R. Sensory analysis. **International Journal of Food Science and Technology**. Vol. 33, p. 7-18, 1998.

PIGNATIELLO Jr., J. J. Strategies for Robust Multiresponse Quality Engineering. **IEE Transactions**. Vol. 25, p. 5-15, 1993.

PIZZOLATO, M. ; CATEN, Carla S Ten ; FOGLIATTO, Flávio Sanson . Definição do prazo de garantia de um produto otimizado experimentalmente. **Gestão & Produção**. Vol. 12, n° 2, p. 239-253, 2005.

PIZZOLATO, M. **Método de Otimização Experimental da Qualidade e Durabilidade de Produtos: Um Estudo de Caso em Produto Fabricado por Injeção de Plástico**. Porto Alegre: UFRGS, 2002. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção. Programa de

Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002.

PLANTE, R. D. Process capability: a criterion for optimizing multiple response product and process design. **IIE Transactions**. Vol. 33, p. 497-509, 2001.

PORRETA, A.; BIRZI, A. C.; VICINI, E. Effects of ultra-high hydrostatic pressure treatments on the quality of tomato juice. **Food Chemistry**. Vol. 52, p. 35-41, 1995.

QANNARI, E. M.; COURCOUX, P.; SÉMÉNOU, M. New models for the analysis of paired comparison data; segmentation of the panel. **Food Quality & Preference**. Vol. 11, p. 71-76, 2000.

RAIMAN, L. B.; CASE, K. E. The Development and Implementation of Multivariate Cost of Poor Quality Loss Function. **IMSE Working Paper**. Penn State University, 1992.

RIBEIRO, J. L. D.; FOGLIATTO, F. S.; CATEN, C. S. Minimizing Manufacturing and Quality Costs in Multiresponse Optimization. **Quality Engineering**. Vol. 13, n°4, p. 559-569, 2001.

RIBEIRO, J. L.; ELSAYED, E. A. A case study on process optimization using the gradient loss function. **International Journal of Production Research**. Vol. 33, n° 5, p. 3233-3248, 1995.

RIBEIRO, J.L.; CATEN, C. **Projeto de Experimentos**. Porto Alegre: Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - UFRGS, 2003. Apostila de aula.

SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process**. EUA: McGraw-Hill, 1980.

SAN JUAN, E.M.; EDRA, E.V.; FADRIGALAN, E. N.; LUSTRE, A. O.; RESURRECCION, A. V. A. Consumer-Based Optimization of Peanut-Chocolate Bar Using Response Surface Methodology. **Journal of Food Processing and Preservation**. Vol. 29, p. 208-227, 2005.

SHAH, H.K.; MONTGOMERY, D.C.; CARLYLE, W.M. Response surface modeling and optimization in multiresponse experiments using seemingly unrelated regressions. **Quality Engineering**. Vo.16, n° 3, p. 387-397, 2004.

SIDEL, J.L.; STONE, H. The role of sensory evaluation in the food industry. **Food Quality & Preference**. Vol. 4, p.65-73, 1993.

STAPLETON, J. H. **Linear Statistical Models**. New York: John Wiley, 1995. 449p.

STONE, H.; SIDEL, J.L. **Sensory Evaluation Practices**. New York: Academic Press, 1993.

TEIXEIRA, E.; MEINERT E. M.; BARBETTA P. A. **Análise Sensorial de Alimentos**. Florianópolis: Editora da UFSC, 1987.

TRIBUS, M.; SZONYL, G. An Alternative View of the Taguchi Approach. **Quality Progress**. Vol. 22, p. 46-52, 1989.

VARGAS, L.G. Reciprocal matrices with random coefficients. **Mathematical Modelling**. Vol. 3, p. 69-81, 1982.

VINNING, G. G. A compromise approach to multiresponse optimization. **Journal of Quality Technology**. Vol. 30, p.309-313, 1998.

WERKEMA, M. C. C.; AGUIAR, S. **Análise de Regressão: Como entender o relacionamento entre as variáveis de um processo**. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, Vol. 7, 1996. 311p. (a)

WERKEMA, M. C. C.; AGUIAR, S. **Planejamento e Análise de Experimentos: Como identificar e avaliar as principais variáveis influentes em um processo**. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, Vol. 8, 1996. 294p. (b)

WINSTON, W.L. **Operations Research: applications and algorithms**. 3<sup>a</sup> Edição. Belmont: Duxbury Press, 1993.

WU, F.-C. Optimization of Correlated Multiple Quality Characteristics Using Desirability Function. **Quality Engineering**. Vol. 17, p. 119-126, 2005.

WURL, S.J.; ALBIN, S. L. A Comparison of Multiresponse Optimization: Sensitivity to Parameter Selection. **Quality Engineering**. Vol. 11, n°3, p. 405-415, 1999.

XU, K.; LIN, D. K. J.; TANG, L.-C.; XIE, M. Multiresponse systems optimization using a goal attainment approach. **IEE Transactions**. Vol. 36, p. 433-445, 2004.

XU, S.; XU, L. D., CHEN, X. Determining optimum edible films for kiwifruits using an analytical hierarchy process. **Computers & Operations Research**. Vol. 30, p. 877-886, 2003.

YUM, B.J.; KO, S.W. On Parameter Design Optimization Procedures. **Quality & Reliability Engineering Internacional**. Vol.7, p. 39-46, 1991.

ZAHEDI, F. The analytic hierarchy process—a survey of the method and its applications. **Interfaces**. Vol.16, n°4, p. 96-108, 1986.