

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

FACULDADE DE ARQUITETURA

ESCOLA DE ENGENHARIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN

Mestrado em Design

**DESIGN DO VESTUÁRIO: PROTÓTIPO FUNCIONAL PARA O
ENCAIXE DE MOLDES NO TECIDO**

ANDRESSA SCHNEIDER ALVES

**PORTO ALEGRE
2010**

ANDRESSA SCHNEIDER ALVES

**DESIGN DO VESTUÁRIO: PROTÓTIPO FUNCIONAL PARA O
ENCAIXE DE MOLDES NO TECIDO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Design.

Orientador: Prof. Dr. José Luís Farinatti Aymone.

PORTO ALEGRE
2010

A474 Alves, Andressa Schneider

Design do vestuário: protótipo funcional para o encaixe de moldes no tecido / Andressa Schneider Alves – 2010.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia e Faculdade de Arquitetura. Programa de Pós-Graduação em Design. Porto Alegre, BR-RS, 2010.

Orientador: Prof. Dr. José Luís Farinatti Aymone

1. Interface gráfica. 2. Indústria do vestuário. 3. Design industrial. I. Aymone, José Luís Farinatti, orient. II. Título.

CDU-744(043)

AGRADECIMENTOS

À minha família, pelo amor, suporte e incentivo durante todas as etapas deste trabalho.

A todas as minhas amigas, que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Ao meu orientador, professor Dr. José Luís Farinatti Aymone, pela orientação e dedicação e por me incentivar na área da pesquisa e docência.

Ao Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS, em especial a equipe do Virtual Design, pelos ensinamentos e pela oportunidade de desenvolver este trabalho.

À CAPES pela bolsa de mestrado concedida que possibilitou uma dedicação integral a este trabalho.

RESUMO

ALVES, Andressa Schneider. **Design do Vestuário: Protótipo Funcional para o Encaixe de Moldes no Tecido**. Porto Alegre, 2010. 172p. Dissertação (Mestrado em Design), Programa de Pós-Graduação em Design, UFRGS, 2010.

Esta dissertação tem por objetivo tratar do problema de encaixe de moldes da indústria do vestuário. O problema consiste no encaixe bidimensional de itens pequenos (moldes), que possuem formas irregulares, dentro de um material que será cortado, que possui forma retangular com largura fixa e comprimento variável. O principal objetivo do encaixe é minimizar o desperdício do material que será cortado, neste caso, o tecido. Para tratar o problema do encaixe bidimensional de moldes propõe-se, a partir do desenvolvimento de uma técnica de encaixe, um protótipo funcional. A concepção da técnica foi realizada com as informações obtidas nas etapas de coleta de dados: dados indiretos (Fundamentação Teórica) e dados diretos (Observações Diretas e Entrevistas com especialistas no encaixe manual). Os dados obtidos nessas etapas e, principalmente, a triangulação dos mesmos, permitiram o desenvolvimento da técnica de encaixe de moldes, que consiste em três partes: representação gráfica do tecido e dos moldes, critérios de ordenamento e construção do *layout*. A técnica proposta está implementada no protótipo funcional *Riscare* através da linguagem *Delphi*. Para construir a interface do *Riscare*, realiza-se uma avaliação da usabilidade de um *software* comercial com a mesma função. Os conceitos avaliados auxiliaram no desenvolvimento da interface do *Riscare*. A criação do protótipo funcional possibilitou a comparação da técnica proposta para o encaixe de moldes com encaixes realizados manualmente, com um *software* comercial e com problemas considerados *benchmarks* da literatura. Na maioria dos testes comparativos realizados, o *Riscare* obteve resultados com rendimentos superiores. Os resultados alcançados mostram a qualidade da técnica proposta e, conseqüentemente, do protótipo funcional desenvolvido.

Palavras-chave: Encaixe; Indústria do vestuário; Protótipo funcional.

ABSTRACT

ALVES, Andressa Schneider. **Garment Design: Functional Prototype for Pattern Fitting along the Fabric**. Porto Alegre, 2010. 172p. Dissertação (Mestrado em Design), Programa de Pós-Graduação em Design, UFRGS, 2010.

The objective of this work is to deal with pattern fitting problem in garment industry. The problem is two-dimensional fitting of small items (patterns) that have irregular shapes, within a material to be cut, which has a rectangular shape with fixed width and variable length. The main purpose of fitting is to minimize the material waste, in this case the fabric to be cut. To address the problem of two-dimensional pattern fitting, a functional prototype is proposed based on the fitting technique developed. The design technique is done with the information obtained in data collection: indirect data (theoretical basis) and direct data (observations and interviews with experts in manual fitting). Data obtained in data collection and its triangulation enabled the development of the pattern fitting technique, which consists of three parts: the graphical representation of the fabric and the pattern, the ranking criteria and layout construction. The proposed technique is implemented in *Riscare* functional prototype, developed using Delphi programming. An usability evaluation of a similar commercial software is performed to build the *Riscare* interface. The criteria evaluated helped the development of *Riscare* interface. The development of a functional prototype allows the comparison of the proposed technique for pattern fitting with fitting performed manually, with a commercial software and literature benchmark problems. In most comparative tests, the *Riscare* obtains results with higher yields. The results show the quality of the proposed technique and the functional prototype developed.

Key-words: Packing; Garment industry; Functional prototype.

ANDRESSA SCHNEIDER ALVES

**DESIGN DO VESTUÁRIO: PROTÓTIPO FUNCIONAL PARA O
ENCAIXE DE MOLDES NO TECIDO**

Dissertação de Mestrado julgada e aprovada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Design no Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. José Luís Farinatti Aymone - Orientador
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Régio Pierre da Silva
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Branca Freitas de Oliveira
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Michel Anzanello (avaliador externo)
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Porto Alegre, 2010

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO - DEMARCAÇÃO DO FENÔMENO	15
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA.....	15
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	17
1.3 PROBLEMA.....	17
1.4 OBJETIVOS.....	17
1.4.1 Objetivo Geral.....	17
1.4.2 Objetivos Específicos.....	17
1.5 HIPÓTESE.....	18
1.6 JUSTIFICATIVA.....	18
1.7 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	19
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1 INTRODUÇÃO À INDÚSTRIA DO VESTUÁRIO.....	21
2.1.1 Restrições e necessidades ao encaixe de moldes na indústria do vestuário	23
2.2 INTRODUÇÃO AOS PROBLEMAS DE CORTE E ENCAIXE.....	27
2.3 TIPOS DE SOLUÇÃO PARA OS PROBLEMAS DE CORTE E ENCAIXE	34
2.3.1 Polígono <i>No-fit</i>	34
2.3.2 Técnica de colocação estratégica <i>bottom-left</i>	36
2.3.3 <i>Local search</i> (Busca Tabu e Resfriamento Simulado)	38
2.3.4 Algoritmo Genético.....	39
2.3.5 <i>Grid</i> , Matriz ou <i>Raster</i>	41
3 METODOLOGIA	46
3.1 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO.....	46
3.2 QUADRO TEÓRICO.....	46
3.3 DOCUMENTAÇÃO DIRETA.....	49
3.4 TÉCNICA DE ENCAIXE PROPOSTA E PROTÓTIPO FUNCIONAL.....	50
4 PROCESSO DE INTERVENÇÃO	52
4.1 PONTOS IMPORTANTES DA FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	52

4.1.1 Critérios para ordenar os moldes -----	52
4.1.2 Início do encaixe -----	53
4.1.3 Critérios para a construção do <i>layout</i> de encaixe -----	54
4.2 OBSERVAÇÕES DIRETAS-----	55
4.2.1 Conclusões obtidas com as observações diretas-----	59
4.3 ENTREVISTAS-----	60
4.3.1 Questões da entrevista-----	61
4.3.2 Síntese dos resultados obtidos nas entrevistas-----	66
4.4 TRIANGULAÇÃO DOS DADOS-----	67
4.4.1 Conclusão da triangulação dos dados-----	68
5 DESCRIÇÃO DA TÉCNICA DE ENCAIXE PROPOSTA -----	71
5.1 REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO TECIDO E DOS MOLDES -----	71
5.2 CRITÉRIOS DE ORDENAMENTO -----	74
5.3 CONSTRUÇÃO DO <i>LAYOUT</i> -----	78
6 RISCARE – PROTÓTIPO FUNCIONAL PARA O ENCAIXE DE MOLDES ---	88
6.1 DESENVOLVIMENTO DA INTERFACE -----	88
6.1.1 Zonas funcionais -----	89
6.1.2 Esquematização dos componentes nas zonas funcionais -----	91
6.1.3 Implementação da interface na linguagem Delphi -----	92
6.1.3.1 Barra de Títulos -----	94
6.1.3.2 Barra de <i>Menus</i> -----	94
6.1.3.3 Criação de painéis -----	94
6.1.3.4 Barra de Ícones -----	95
6.1.3.5 Caixa de diálogo Estrutura Interna -----	96
6.1.3.6 <i>Menu</i> de Moldes -----	96
6.1.3.7 Área de Encaixe -----	98
6.1.3.8 Barra de <i>Status</i> -----	99
6.1.3.9 Barra de Propriedades -----	101
6.2 IMPLEMENTAÇÃO DA TÉCNICA DE ENCAIXE PROPOSTA -----	103
6.2.1 Unidades -----	103
6.2.2 Classes -----	105
6.2.3 Procedimentos e Funções -----	107

7 RESULTADOS	112
7.1 ENCAIXE DE MOLDES UTILIZADOS NAS OBSERVAÇÕES DIRETAS	112
7.1.1 Jardineira infantil	112
7.1.2 Casaco feminino	114
7.2 ENCAIXE DE PROBLEMAS <i>BENCHMARKS</i> DA LITERATURA	117
7.2.1 Biquíni	117
7.2.2 Camisa	119
7.2.3 <i>Tangran</i>	122
7.2.4 Maiô	123
7.2.5 Calça	127
7.2.6 Problema <i>Fu</i>	128
7.2.7 Moldes diversos	130
7.3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	131
8 CONCLUSÕES E SUGESTÕES	137
8.1 CONCLUSÕES	137
8.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	139
REFERÊNCIAS	141
GLOSSÁRIO	147
APÊNDICE A	152
APÊNDICE B	158
APÊNDICE C	157
APÊNDICE D	161

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Amostras de tecido com indicação dos fios da trama e do urdume	23
Figura 02: Amostra de malha retilínea	24
Figura 03: Sugestão de nomenclatura dos diferentes tipos de problemas	31
Figura 04: Deslocamento do polígono “B” pelo contorno do polígono “A” e geração do polígono <i>no-fit</i> de “A” e “B”	35
Figura 05: Etapas para a construção do polígono <i>no-fit</i> de “A” e “B”	35
Figura 06: (a) <i>Grid</i> com baixa resolução, (b) <i>grid</i> com alta resolução, (c) <i>grid</i> com eixo vertical	37
Figura 07: <i>Benchmark</i> desenvolvido com o método novo <i>bottom-left-fill</i>	38
Figura 08: Problema em que a solução ótima não pode ser alcançada por uma heurística <i>bottom-left</i>	38
Figura 09: Esquema do algoritmo genético utilizado em Wong <i>et al.</i> (2009)	41
Figura 10: Representação do objeto através de uma matriz bidimensional	42
Figura 11: Representação do <i>raster</i> 0 e 1 para peças irregulares	43
Figura 12: Representação de uma tentativa de encaixe de duas peças utilizando o método <i>raster</i>	43
Figura 13: Representação de encaixe em um material irregular com uma peça irregular através do método matriz <i>pixel</i>	44
Figura 14: Principais tipos de soluções para o problema do encaixe dos artigos pesquisados	49
Figura 15: Caracterização da amostra	55
Figura 16: Empresas observadas realizando o encaixe da jardineira infantil e do casaco feminino	56
Figura 17: Moldes e desenho técnico da jardineira infantil (modelo 01)	56
Figura 18: Moldes e desenho técnico do casaco feminino (modelo 02)	57
Figura 19: (a) ordem em função decrescente de área, (b) ordem em função decrescente de comprimento, (c) ordem em função decrescente de largura	61
Figura 20: Exemplo de moldes semelhantes com um deles rotacionado 180° (frente e costas do casaco feminino)	62
Figura 21: Representação gráfica da matriz bidimensional do tecido	72
Figura 22: Representação gráfica da matriz bidimensional do molde de um biquíni	73
Figura 23: Sobreposição de dois moldes	74
Figura 24: Combinação dos sete maiores moldes para o encaixe	76
Figura 25: Ponto inicial de inserção dos moldes no tecido	78
Figura 26: Etapas de deslocamento no eixo Y	80
Figura 27: (a) Encaixe com deslocamento no eixo Y, (b) encaixe com deslocamento no	

eixo Y, porém com outra ordem de entrada, (c) Encaixe com deslocamento no eixo X	82
Figura 28: Problema ocasionado pela definição incorreta da dimensão de deslocamento no eixo X	83
Figura 29: Etapas do deslocamento no eixo X	84
Figura 30: Diagrama das etapas principais para a construção do encaixe	87
Figura 31: Definição das zonas funcionais do <i>Riscare</i>	90
Figura 32: Esquematisação de alguns dos componentes das zonas funcionais do <i>Riscare</i>	92
Figura 33: Interface do protótipo funcional <i>Riscare</i>	93
Figura 34: (a) Barra de Títulos e da Barra de <i>Menus</i> executada no Windows XP, (b) Barra de Títulos e da Barra de <i>Menus</i> executada no Windows 7	93
Figura 35: Ícones da Barra de Ícones do <i>Riscare</i> (Abrir, Encaixe, Estrutura Interna, Ajuda)	95
Figura 36: Formulário Estrutura Interna com a guia Moldes selecionada	96
Figura 37: Formulário Estrutura Interna com a Guia Área de Encaixe selecionada	97
Figura 38: <i>Menu</i> de Moldes	98
Figura 39: Área de encaixe	99
Figura 40: Barra de <i>Status</i>	100
Figura 41: Ícones da Barra de <i>Status</i> do <i>Riscare</i> (<i>Zoom In</i> , <i>Zoom Out</i> , <i>Pan</i> , Tempo, Executar, Parar)	100
Figura 42: (a) Guias fechadas, (b) Guia Propriedades do Encaixe aberta	101
Figura 43: Sequência das ações que devem ser realizadas pelo usuário para executar as principais tarefas do programa	102
Figura 44: Estrutura e hierarquia das classes do <i>Riscare</i>	106
Figura 45: Encaixe dos moldes da jardineira infantil no <i>Riscare</i>	113
Figura 46: Encaixe dos moldes da jardineira realizado por um especialista	113
Figura 47: Encaixe dos moldes da jardineira realizado pelo <i>software Audaces Encaixe 7</i>	114
Figura 48: Encaixe dos moldes do casaco feminino realizado no protótipo funcional <i>Riscare</i>	115
Figura 48: Encaixe dos moldes do casaco feminino realizado por um especialista	115
Figura 50: Encaixe dos moldes do casaco feminino realizado pelo <i>software Audaces Encaixe 7</i>	116
Figura 51: Encaixe dos moldes de dois biquínis apresentado em Wong <i>et al.</i> (2009)	117
Figura 52: Encaixe dos moldes de dois biquínis realizado no <i>Riscare</i>	118
Figura 53: Encaixe dos moldes do biquíni (8 repetições) apresentado em Wong <i>et al.</i> (2009)	118
Figura 54: Encaixe dos moldes do biquíni (4 repetições) realizado no <i>Riscare</i>	119
Figura 55: Encaixe dos moldes de um modelo de camisa	119
Figura 56: Encaixe dos moldes da camisa realizado no <i>Riscare</i>	120
Figura 57: Encaixe dos moldes de duas camisas (32 peças)	120
Figura 58: Encaixe dos moldes de duas camisas (32 peças) realizado pelo <i>Riscare</i>	121

Figura 59: Encaixe dos moldes de duas camisas (tamanho menor) realizado pelo <i>Riscare</i>	122
Figura 60: Solução ótima do encaixe do <i>tangran</i>	122
Figura 61: Solução ótima do encaixe do <i>tangran</i> realizado no <i>Riscare</i>	123
Figura 62: Encaixe de 96 moldes que compõem seis maiôs	124
Figura 63: Encaixe de 96 moldes realizado no <i>Riscare</i>	124
Figura 64: Encaixe de 48 moldes que compõem três maiôs realizado por Gomes e Oliveira (2006)	125
Figura 65: Encaixe de 48 moldes que compõem três maiôs maiôs realizado por Burke <i>et al.</i> (2006)	125
Figura 66: Encaixe de 48 moldes que compõem três maiôs realizado no <i>Riscare</i>	126
Figura 67: Encaixe dos moldes de quatro calças	127
Figura 68: Encaixe dos moldes de quatro calças realizado no <i>Riscare</i>	127
Figura 69: Problema <i>Fu</i> apresentado em Hopper (2000 <i>apud</i> BURKE <i>et al.</i> 2006)	128
Figura 70: Problema <i>Fu</i> apresentado em Burke <i>et al.</i> (2006)	128
Figura 71: Problema <i>Fu</i> apresentado em Gomes e Oliveira (2006)	129
Figura 72: Problema <i>Fu</i> apresentado em Martins (2007)	129
Figura 73: Encaixe do problema <i>Fu</i> realizado no <i>Riscare</i>	130
Figura 74: Encaixe de moldes diversos	131
Figura 75: Encaixe de moldes diversos realizado no <i>Riscare</i>	131
Figura 76: Encaixe dos moldes da jardineira infantil sem o ordenamento das sete maiores peças	135

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Classificação dos artigos relacionados aos problemas do corte e encaixe	32
Tabela 02: Etapas seguidas pelos especialistas para o encaixe dos moldes da jardineira Infantil	58
Tabela 03: Etapas seguidas pelos especialistas para o encaixe dos moldes do casaco Feminino	58
Tabela 04: Comprimentos obtidos nas observações diretas	59
Tabela 05: Comparação dos encaixes dos moldes da jardineira infantil	114
Tabela 06: Comparação dos encaixes dos moldes do casaco feminino	116
Tabela 07: Encaixes realizados no <i>Riscare</i> comparados com as melhores soluções encontradas na literatura	132

LISTA DE QUADROS

Quadro 01: Quadro teórico	48
Quadro 02: Síntese dos resultados obtidos nas entrevistas	67
Quadro 03: Síntese da triangulação dos dados secundários e primários	68
Quadro 04: Estrutura das unidades do <i>Riscare</i>	103

1. INTRODUÇÃO – DEMARCAÇÃO DO FENÔMENO

1.1 Contextualização do Tema

O corte de itens, dentro de uma determinada região, para se obter as peças no formato desejado é um problema comum entre áreas distintas: indústria do vestuário, indústria naval, corte de chapas de madeiras, tubos de aço, vidro, couro e papel.

O encaixe desses itens, com variados tamanhos, que são organizados para serem cortados tendo em vista a minimização do desperdício de matéria-prima, é um importante problema com repercussões ambientais, econômicas e na eficiência do processo industrial. Em geral, o problema de encaixe é classificado em duas classes, de acordo com a forma geométrica dos objetos: regulares (tais como retângulos) e irregulares.

O encaixe de formas regulares, comum nas indústrias de madeira, vidro, aço e indústria do papel, é conhecido em inglês como: *cutting stock problem* (ALVAREZ-VALDES *et al.*, 2007), *cutting problem* (HIFI, M'HALLAH e SAADI, 2008) e *bin-packing problem* (PISINGER e SIGURD, 2007).

O encaixe de formas irregulares também é tratado por diferentes nomes: *packing* (WONG *et al.*, 2009), *marker layout problem* (DOWSLAND e DOWSLAND, 1995), *layout problem* (HIFI e M'HALLAH, 2003), *irregular cutting stock problem* (BURKE *et al.*, 2006) e *nesting* (GOMES e OLIVEIRA, 2002); ou alguma combinação de alguns desses termos. Bennell e Oliveira (2008) também citam outros termos, como por exemplo, *polygon placement* e *non-convex cutting stock*.

Os diferentes termos costumam ser abordados pelos mesmos autores, dependendo do artigo pesquisado. Em alguns casos, essas diferenças de nomenclatura estão relacionadas à área em que ocorre o problema de encaixe. As áreas em que o problema de encaixe é mais comum e destina-se a determinar um arranjo eficiente de peças irregulares estão concentradas nas indústrias do vestuário, de couro, indústria naval e de metais.

Apesar de ser um problema comum para diferentes áreas, as considerações práticas fazem com que cada indústria trabalhe com diferentes restrições e objetivos. Nas indústrias em que a influência do custo da matéria-prima sobre o custo do produto acabado é maior, a diminuição do desperdício de material torna-se fundamental para uma maior lucratividade. Uma das indústrias em que o problema do encaixe é decisivo para o custo da peça é a indústria do vestuário.

Na indústria do vestuário, o encaixe de moldes é feito sobre várias camadas de tecido colocadas uma sobre a outra, o enfesto. Assim, o aproveitamento do encaixe é bastante importante, pois permite a redução da perda em várias camadas de tecido, o qual possui largura fixa e comprimento variável, que depende do comprimento da mesa de corte. Um mesmo enfesto pode conter desde apenas um modelo de um único tamanho até vários modelos com diferentes tamanhos. Algumas restrições devem ser observadas para o encaixe de moldes, como por exemplo, o ângulo de rotação.

O processo de encaixe e diminuição do desperdício colabora na eficiência do desenvolvimento de produtos. Os produtos de moda, devido ao próprio ritmo do setor, precisam ser fabricados com tecnologia de apoio. Esta tecnologia pode aumentar a agilidade na produção e trazer uma redução de custos com manutenção da qualidade, gerando um fator de competitividade do produto no mercado. Assim, a tecnologia aplicada ao problema de encaixe de moldes torna viável a produção e comercialização do produto, especialmente no caso de pequenas empresas. É importante destacar que o setor têxtil e de confecção reúne uma das maiores concentrações de micro e pequenas empresas do país. São 30 mil empresas, onde 83% são microempresas e 14,9% pequenas empresas. Dentre essas, 16 mil são fábricas e confecções de produtos do vestuário (ABIT, 2006 *apud* BRITO, 2008). Para as pequenas confecções, a aquisição de *softwares* comerciais de alto custo, que agilizem a produção e minimizem o desperdício no processo de encaixe, muitas vezes, torna-se inviável. Porém, a não aquisição do *software* pode ser determinante na continuidade e crescimento da empresa.

Os *softwares* direcionados a solucionar o problema do encaixe de moldes devem atender as restrições práticas e peculiaridades da indústria do vestuário. Atualmente, a indústria do vestuário conta com alguns *softwares* que prometem solucionar de forma eficiente o problema do encaixe, tais como: DiaminoFashion¹, OptiTex Marker Module², Audaces Vestuário Encaixe³, Delta-R⁴ e AccuNest⁵.

O problema do encaixe de moldes e itens para o corte pode ser considerado um problema prático com aplicação científica. Possui diversos grupos de pesquisa, das mais diversas áreas, desde institutos de têxteis e vestuário a institutos de matemática e operacionalização da produção, motivados a encontrar a melhor solução para o problema.

¹ É comercializado em: <http://www.lectra.com/en/fashion_apparel/products/diaminofashion.html> Acesso em: 18 jul. 2009.

² É comercializado em: <http://www.optitex.com/en/products/main_modules/mark> Acesso em: 12 mar. 2009.

³ É comercializado em: <http://www.audaces.com/novo/pt/produtos/vestuario_encaixe.php> Acesso em: 12 mar. 2009.

⁴ É comercializado em: <<http://www.moda01.com.br/deltar.htm#>> Acesso em: 12 mar. 2009.

⁵ É comercializado em: <http://www.gerbertechnology.com/downloads/pdf/AccuNestEE_IndFab_E.pdf> Acesso em: 12 mar. 2009.

1.2 Delimitação do Tema

Estudo dos problemas bidimensionais de corte (*cutting*) e encaixe (*packing*⁶) de moldes com formas irregulares para posterior corte de tecido aplicado para as necessidades da indústria do vestuário.

1.3 Problema

Como desenvolver um protótipo funcional de uma ferramenta computacional que utilize uma técnica para otimizar o processo de encaixe de moldes para o corte na indústria do vestuário?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo Geral

Desenvolver um protótipo funcional de uma ferramenta computacional para otimizar o processo de encaixe de moldes para o corte na indústria do vestuário.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Conhecer o embasamento teórico que permitirá o esclarecimento do objeto da pesquisa, no intuito de estruturar a técnica para o encaixe de moldes;
- Introduzir a conceituação teórica dos problemas de corte (*cutting*) e encaixe (*packing*);
- Identificar as necessidades específicas para o encaixe de moldes na indústria do vestuário;

⁶ A maioria dos trabalhos em idioma português que foram pesquisados (MIURA, 2008; MARTINS, 2007; TEMPONI, 2007; MARQUES, 2000) traduz o termo *packing* como empacotamento. Nesta dissertação optou-se por traduzir o termo para encaixe. Esta opção foi em decorrência do termo encaixe ser usado para denominar o arranjo de moldes sobre o tecido para posterior corte tanto no meio acadêmico como industrial na área têxtil-confecção.

- Desenvolver uma técnica que otimize o processo de encaixe de moldes.
- Após o desenvolvimento do protótipo funcional, realizar testes comparativos entre encaixes de moldes apresentados em artigos e *software* comercial com o encaixe realizado pela ferramenta computacional.

1.5 Hipótese

Se fosse desenvolvida uma técnica de encaixe de moldes, utilizando uma combinação de alguns conceitos das melhores soluções encontradas por outros autores para o problema, seria possível otimizar o processo de encaixe de moldes para o corte na indústria do vestuário?

1.6 Justificativa

O problema do encaixe de itens com formas irregulares é considerado por Bennell e Oliveira (2008) o mais importante dentre as classificações dos problemas de *cutting e packing*. É um problema com aplicações industriais e decisivo dentro do processo produtivo.

Diversas abordagens têm sido utilizadas para tratar o problema bidimensional do encaixe de itens irregulares. Isso ocorre devido ao próprio caráter dessas abordagens, que são heurísticas⁷.

As abordagens heurísticas podem ser melhoradas principalmente em dois aspectos: eficiência do encaixe, com consequente redução do desperdício de tecido, e agilidade computacional no processo de encaixe. Esses dois fatores são fundamentais para a melhoria do processo produtivo da indústria do vestuário.

A abordagem proposta nesta pesquisa pretende melhorar pelo menos um desses dois fatores que influenciam no desenvolvimento de produtos da indústria do vestuário. Para alcançar uma dessas melhorias serão aliadas algumas técnicas utilizadas por outros autores, descritas na fundamentação teórica, com aspectos importantes obtidos nas observações diretas

⁷ Abordagens heurísticas são conjuntos de regras e métodos que conduzem à descoberta e à resolução de problemas, porém não asseguram a obtenção de soluções ótimas do ponto de vista matemático. As abordagens heurísticas buscam de forma simplificada soluções próximas à solução ótima com tempo computacional reduzido (MIURA, 2008).

e nas entrevistas com especialistas na geração de encaixes manuais. A junção do conhecimento teórico com o conhecimento prático torna a pesquisa proposta relevante, já que poucos dos estudos pesquisados consideram os conhecimentos tácitos dos especialistas (Hifi e M'Hallah, 2003; KOPARDEKAR e MITAL 1999 *apud* MARTINS e TSUZUKI, 2009).

Acredita-se que a técnica proposta para o encaixe de moldes possa alcançar bons resultados contribuindo com a pesquisa acadêmica na área. Porém, para implementar e comparar a técnica proposta também será necessário desenvolver uma ferramenta computacional. O desenvolvimento dessa ferramenta computacional irá, no final da pesquisa, gerar um produto (*software*). Se o *software* alcançar um bom desempenho, pode vir a atender uma demanda de mercado, como por exemplo, as microempresas, que possuem dificuldade em obter *softwares* comerciais de alto custo para a geração de encaixes automatizados. Assim, a pesquisa também pode contribuir para melhorar a competitividade das microempresas, que como citado anteriormente, são maioria no país.

1.7 Estrutura da Dissertação

Este trabalho está estruturado em oito capítulos.

O capítulo 2, **Fundamentação Teórica** tem como objetivo descrever as características do problema pesquisado, assim como apresentar um breve histórico das abordagens utilizadas para solucionar os problemas de corte e encaixe.

O capítulo 3, **Metodologia** descreve a abordagem metodológica selecionada para a pesquisa. São apresentadas como, com o que, com quem e onde foram realizadas cada uma das etapas deste trabalho.

O capítulo 4, **Processo de Intervenção** apresenta as quatro fases que foram seguidas para auxiliar na definição da técnica de encaixe desenvolvida e aplicada neste trabalho. Essas fases foram divididas em quatro sub-capítulos: Pontos Importantes da Fundamentação Teórica, Observações Diretas, Entrevistas e Triangulação dos Dados. O sub-capítulo Pontos Importantes da Fundamentação Teórica aponta as principais questões encontradas na literatura que guiaram as perguntas da entrevista e pontos importantes que devem ser considerados na definição da técnica que será proposta para o problema do encaixe. O sub-capítulo Observações Diretas descreve as técnicas manuais utilizadas por cinco especialistas na construção do encaixe de moldes de dois modelos distintos. O sub-capítulo Entrevistas apresenta as questões abordadas e as respostas obtidas nas entrevistas com o mesmo grupo de

cinco especialistas. O sub-capítulo Triangulação dos Dados compara os diferentes dados obtidos nos três processos de coleta de dados: pesquisa indireta, observações diretas e entrevistas. Essa comparação é fundamental para auxiliar o processo de tomada de decisão da técnica proposta no capítulo 5.

O capítulo 5, **Descrição da Técnica de Encaixe Proposta** está dividido em três sub-capítulos: Representação Gráfica do Tecido e dos Moldes, Critérios de Ordenamento e Construção do *Layout*. O sub-capítulo Representação Gráfica do Tecido e dos Moldes descreve como são representados graficamente o tecido e os moldes para a realização do encaixe. A representação gráfica desses objetos é fundamental no processo de encaixe, já que está associada à técnica proposta. O sub-capítulo Critérios de Ordenamento mostra os critérios propostos para organizar a sequência dos moldes. O sub-capítulo Construção do *Layout* apresenta detalhadamente as etapas propostas para a construção do *layout* de encaixe.

O capítulo 6, **Riscare - Protótipo Funcional para o Encaixe de Moldes** descreve como a técnica proposta no capítulo anterior foi implementada na linguagem de programação *Delphi*. Este capítulo está dividido em dois sub-capítulos: Desenvolvimento da Interface e Implementação da Técnica de Encaixe Proposta.

O capítulo 7, **Resultados** está dividido em três sub-capítulos: Encaixe dos Moldes Utilizados nas Observações Diretas, Encaixe de Problemas *Benchmark* da Literatura e Discussão dos Resultados. O sub-capítulo Encaixe dos Moldes Utilizados nas Observações Diretas apresenta e compara o encaixe de moldes utilizados nas Observações Diretas com o protótipo funcional proposto e com um *software* comercial de encaixe de moldes. O sub-capítulo Encaixe de Problemas *Benchmark* da Literatura refaz o encaixe no protótipo funcional de peças que são apresentadas em artigos. O sub-capítulo Discussão dos Resultados analisa o desempenho do protótipo funcional proposto nas variadas situações de encaixe.

O capítulo 8, **Conclusões e Sugestões** descreve as principais conclusões do trabalho e algumas sugestões para trabalhos futuros.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Introdução à Indústria do Vestuário

A indústria do vestuário está inserida dentro da cadeia têxtil-confecção que é composta pelas indústrias têxteis (fios, tecidos planos, malhas e não-tecidos) e de confecção (vestuário e artigos confeccionados). Rech (2002) também acredita que dentro da cadeia têxtil-confecção está inserido o desenvolvimento de máquinas e equipamentos para a produção têxtil e de confecções.

O principal destino dos tecidos produzidos pelas indústrias têxteis são as indústrias de confecção (SEBRAE, 2001; CALDAS, 1999). A indústria do vestuário, por exemplo, utiliza a matéria-prima desenvolvida na indústria têxtil para a confecção de peças do vestuário que através do varejo chega ao consumidor final.

O processo de transformação da matéria-prima bruta em produto é realizado através de etapas sucessivas: desenvolvimento da peça-piloto (pesquisa, criação e desenho, modelagem, encaixe e corte da peça-piloto, costura da peça-piloto, prova da peça-piloto), produção das peças-piloto aprovadas (gradação dos moldes, encaixe dos moldes nos enfeitos de tecido, corte do enfeito, costura das peças, processos de beneficiamento, acabamento das peças, embalagem) e comercialização das peças produzidas (varejo, atacado, desfiles, editoriais) (FEGHALI e DWYER, 2001).

Nos últimos anos, segundo Feghali e Dwyer (2001), a confecção foi o segmento da cadeia têxtil-confecção que menos apresentou mudanças no sentido da automação, sendo que os avanços obtidos estão concentrados em apenas algumas etapas do processo. Segundo Jones (2005) as mudanças mais intensas concentram-se no desenho de moldes em programas CAD (*Computer Aided Design*), no corte dos moldes, na classificação da grade (quantidade de peças a ser produzida por um tamanho) e no acompanhamento das vendas por sistemas computadorizados. O principal avanço neste setor é a utilização da tecnologia CAD/CAM (*Computer Aided Manufacturing*), tanto nas fases de desenvolvimento (concepção do produto e desenho), como na produção (encaixe e execução do corte dos tecidos). Essas tecnologias permitem que um traje seja cortado e montado em aproximadamente noventa minutos. Em contraste, um traje feito sob encomenda, com muitas operações realizadas à mão (em torno de duzentas), pode levar até três dias para ficar pronto (JONES, 2005).

Dentro deste contexto de produção, as inovações e a utilização de tecnologia afetam diretamente os custos finais dos produtos e, conseqüentemente, a competitividade industrial.

Segundo Jones (2005) e Araújo (1996) é necessário utilizar a menor quantidade possível de tecido para manter a margem de lucro de uma roupa.

A redução do desperdício de tecido faz parte do problema específico encontrado na fase de encaixe dos moldes para o corte de tecidos, que é o principal foco deste trabalho. O problema está presente no corte da peça-piloto e no corte das peças para a produção. No corte da peça-piloto é fundamental saber o consumo de tecido de um modelo para determinar o custo e viabilidade do mesmo.

O processo de encaixe dos moldes na indústria do vestuário ocorre de duas formas: manual ou automatizado. O encaixe manual é feito por especialistas, e segue uma sequência. Primeiramente é realizado o enfesto, nessa etapa os tecidos são colocados um em cima do outro, formando uma pilha (que varia na faixa de 30 a 70 camadas de tecido) em cima da mesa de corte (comprimento variável, em torno de 4m a 30m). Li e Milenkovic (1995) descrevem que na produção de calças, o enfesto é composto por em torno de 60 camadas de tecido. Após feito o enfesto é necessário, para alguns tipos de tecidos, um tempo de pausa para a acomodação dos fios (12 horas a 24 horas). Com o processo inicial realizado são dispostos, pelo especialista humano, os moldes em papel sobre o enfesto, buscando o melhor encaixe entre os moldes. Definida a posição dos moldes, os mesmos são contornados com giz e assim é realizado o risco do tecido. Terminado o risco, o tecido é cortado com uma máquina de corte manipulada pelo especialista humano, que corta com a máquina passando pelo contorno do risco dos moldes (informação verbal⁸).

No encaixe automatizado o processo inicial é semelhante ao descrito no encaixe manual. O enfesto pode ser realizado por uma máquina que dispõem as camadas de tecido uma sobre as outras ou manualmente, como descrito anteriormente. Outra diferença é que o encaixe é realizado por um sistema automatizado que otimiza a colocação dos moldes em um determinado espaço através de um programa de computador. Após realizado o encaixe pelo programa, o mesmo é impresso em papel por uma impressora (*plotter*). Esse papel é colado (cola especial) em cima da primeira camada de tecido do enfesto. O processo de corte pode ser realizado pelo especialista humano através de uma máquina de corte (como no encaixe manual) ou através do corte automatizado (lâmina, laser ou jato de água), que permite que a altura do enfesto seja superior a 60 camadas de tecido (informação verbal⁹).

⁸ Comunicação pessoal com Paulo Enrique Graciano, dono da empresa Adritex Terceirização para Corte de Confecção, em Criciúma (SC), por telefone, em dezembro de 2008.

⁹ Comunicação pessoal com Paulo Enrique Graciano, dono da empresa Adritex Terceirização para Corte de Confecção, em Criciúma (SC), por telefone, em dezembro de 2008.

Em ambos os processos de encaixe, há restrições que devem ser observadas e que são necessidades peculiares a essa tarefa de encaixe de moldes na indústria do vestuário.

2.1.1 Restrições e necessidades ao encaixe de moldes na indústria do vestuário

Uma das principais peculiaridades do processo de encaixe na indústria do vestuário é a possibilidade de rotação dos moldes. Essa peculiaridade está relacionada com a estrutura de entrecruzamento dos fios que compõem os tecidos.

A palavra tecido é uma denominação genérica que descreve os processos de entrelaçamento (ou entrecruzamento) de fios têxteis, pode ser usada para tecidos planos, malhas e não-tecidos (rendas, feltros). Porém, no meio profissional essa denominação é muitas vezes utilizada como sinônimo de tecido plano (TREPTOW, 2003).

Os tecidos planos, um dos tipos de matéria-prima da indústria de confecção, são construídos através do entrecruzamento de fios do urdume e da trama. Os fios que se encontram no sentido longitudinal do tecido e que são representados pela unidade de comprimento são denominados fios do urdume. Os fios de urdume são mais resistentes e tem menor possibilidade de elasticidade (SMITH, 2009). Os fios que se encontram no sentido transversal do tecido e que são representados pela unidade largura são denominados fios da trama (VICENT-RICARD, 1989).

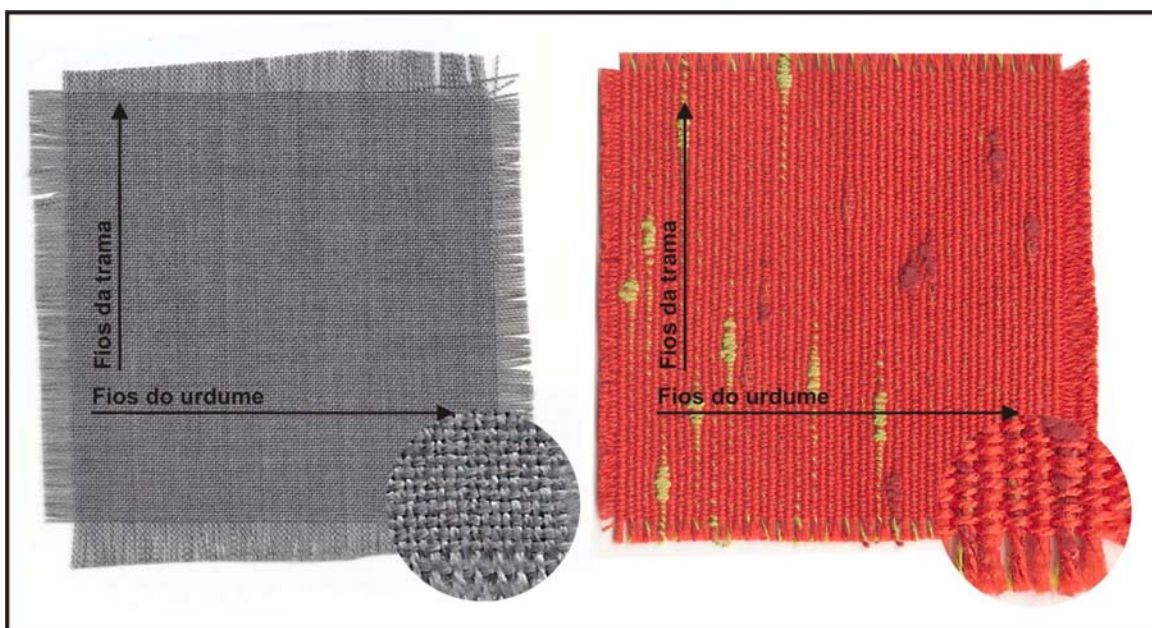


Figura 01: Amostras de tecido com indicação dos fios da trama e do urdume
Fonte: a Autora

As malhas retilíneas ou tricô (fig. 02) dispensam a necessidade dos fios da trama, sendo o produto produzido a partir de um ou mais fios que se entrelaçam sobre si mesmos. São feitos à mão ou à máquina com agulhas. No último caso, os produtos de malhas podem ser elaborados a partir de uma largura fixa e com um comprimento muito maior, gerando rolos de malhas, assim como os tecidos. Nesse caso, as malhas retilíneas também irão passar por todo o processo produtivo da indústria de confecção do vestuário. Também podem ser fabricados peça por peça, utilizando inclusive teares de agulha computadorizada e com aplicação do sistema CAD/CAM que permitem a confecção de peças inteiras em malha, com golas e bolsos, em um curto período de tempo, em torno de quarenta e cinco minutos (JONES, 2005). Dentro da estrutura do complexo têxtil-confecção, as malharias retilíneas relacionam-se diretamente com a etapa de confecção ou com o consumidor final, dependendo do tipo de produto elaborado (GOULARTI FILHO e JENOVEVA NETO, 1997).



Figura 02: Amostra de malha retilínea
Fonte: a Autora

As malhas circulares (tubulares) são obtidas através de agulhas dispostas em um cilindro e os fios são laçados formando um tecido em forma de tubo. O tipo de entrelaçamento das malhas circulares, que formam uma laçada por fio a cada passada de agulhas, proporciona maior elasticidade na largura e no comprimento, quando comparada aos tecidos planos. Um tecido plano produzido com um fio apresenta menor elasticidade do que uma malha produzida com o mesmo fio (TREPTOW, 2003).

Além dos tecidos planos e das malhas existem também os não-tecidos. Os não-tecidos são produzidos por método semelhante ao mais antigo modo de fazer tecido. São construídos a partir da amarração ou entrelaçamento das fibras. O feltro, por exemplo, é construído através do processo de aquecimento e da ação da prensa sobre a lã úmida. Esse processo foi

difundido e ampliado para a produção de tecidos termoplásticos, em que não há trama nem urdume, e permite que os moldes sejam cortados em qualquer direção (JONES, 2005).

Diferentemente dos não-tecidos, a estrutura de entrelaçamento de fios cria a necessidade de que os moldes devem ser cortados respeitando o sentido do fio do urdume. Como o fio de urdume geralmente é o mais pesado e é pré-esticado para tecer uniformemente, ele deve corresponder ao sentido vertical do molde porque dessa forma irá apresentar boa estabilidade no sentido do comprimento. Por este motivo, os moldes geralmente são cortados paralelamente à orela, de forma que a roupa siga o sentido do fio (JONES, 2005; CATELLANI, 2003).

Alguns tecidos possuem sentido único, ou seja, só podem ser cortados com o fio em uma única direção (de cima para baixo ou de baixo para cima no comprimento). Um exemplo são os tecidos estampados com desenhos voltados sempre para o mesmo lado. Outros tecidos, como o veludo, apresentam diferenças de luminosidade quando dispostos em sentidos contrários. Parecem, em alguns casos, ter até cores distintas, mesmo sendo o mesmo tecido. Para que isso não ocorra é necessário que os moldes de uma mesma peça fiquem dispostos sempre no mesmo sentido (SMITH, 2009; TREPTOW, 2003).

Outra possibilidade é o chamado “corte no viés”, que é o posicionamento do fio do molde em um ângulo de 45° entre os fios do urdume e da trama. Em decorrência do posicionamento dos fios de urdume e trama, o “corte no viés” possibilita uma maior maleabilidade do tecido no sentido vertical da peça. Esse tipo de corte é muito utilizado em confecções de vestidos do segmento festa, pelo caimento e movimento que o tecido adquire em função do corte. Uma das desvantagens desse tipo de corte é o desperdício de tecido, já que é mais difícil encaixar os moldes com o fio posicionado em ângulo de 45°; há muito mais perda de tecido do que quando as peças são dispostas paralelamente à orela (JONES, 2005).

Nas indústrias também é comum que alguns moldes, geralmente de tamanho pequeno e de acabamento interno, tenham a possibilidade de giro livre. Um caso, por exemplo, é o molde do revel de um bolso de uma calça. Não fará diferença para o modelo se o molde do revel do bolso está posicionado no encaixe em um ângulo de 45°, 85°, 92°, ou outro qualquer.

A escolha dessas diferentes possibilidades de rotação é comum em *softwares* comerciais, como por exemplo, no sistema Audaces Vestuário Encaixe. Na área acadêmica, os trabalhos pesquisados se dividem em três grupos: não permitem rotação (BURKE *et al.*, 2007; BLAZEWICZ, MORET-SALVADOR e WALKOWIAK, 2004), apenas as duas orientações principais (a original do molde e a obtida pela rotação da peça 180°, descrita em Gomes e Oliveira, 2006) e permitem rotações (BOUGANIS e SHANAHAN, 2007; BABU e

BABU, 2001). Essas possibilidades de rotações também influenciam no rendimento e diminuição do desperdício de material que será cortado.

Os materiais em que os moldes serão cortados são grandes rolos de tecido com um comprimento total que pode alcançar quilômetros. Esses rolos de tecido fixam a largura do retângulo em que os moldes devem ser encaixados e permitem considerar o comprimento como infinito, pela dimensão deste ser muito superior quando comparado com a largura. O número de moldes pode ser superior a 100, mas geralmente é menor do que 20 tipos diferentes, apesar de serem de tamanhos diferentes (GOMES e OLIVEIRA, 2006).

Durante a construção do *layout* de encaixe é necessário também que não ocorra sobreposição entre os moldes. Essa restrição é amplamente aceita entre os pesquisadores da área (WONG et al., 2009; HIFI e M'HALLAH, 2003; GOMES e OLIVEIRA, 2002).

Essas peculiaridades devem ser observadas e entendidas como restrições ao problema de encaixe na indústria do vestuário.

Algumas outras necessidades também são importantes no processo de encaixe de moldes para algumas indústrias de confecção de produtos do vestuário. Pode-se citar: possibilidade de encaixar moldes pela metade em tecidos tubulares, tolerância angular do fio do tecido definida pelo usuário, criação de margem externa nos moldes, encaixe com moldes pré-fixados, possibilidade de mover os moldes manualmente após o encaixe automático, encaixe em tecido listrado, xadrez ou com padronagem em que se deseja coincidir os piques dos moldes para que os padrões se encaixem e ajuste de moldes para tecidos com encolhimento.

Outro problema encontrado e que está relacionado com o processo de encaixe de moldes é a determinação da ordem de corte. Na ordem de corte são definidas quantas peças serão produzidas, em que cores e em quais tamanhos para determinar quantos enfeitos de quantas camadas de quais cores e com que encaixes. Essas necessidades, por uma questão de tempo e por não se enquadrar no escopo da dissertação, não serão abordadas. Outros autores, como Rose e Shier (2007); Martens (2004); Degraeve, Gochet e Jans (2002), dedicaram seus trabalhos a resolução do problema específico da ordem de corte.

Pretende-se neste trabalho respeitar as peculiaridades relacionadas à rotação dos moldes, porém as peças não poderão sofrer rotações durante o processo de encaixe. Caso deseje-se que um molde seja rotacionado, ele já deve iniciar o encaixe com a sua posição definida. O tecido também será considerado como um retângulo com largura fixa e comprimento variável.

2.2 Introdução aos Problemas de Corte e Encaixe

Os problemas de otimização conhecidos como *cutting* (corte) e *packing* (encaixe) intrigam pesquisadores já há algumas décadas. Os trabalhos pioneiros de Gilmore e Gomory (GILMORY e GOMORY, 1961, 1963, 1965 *apud* MARQUES, 2000) despertaram grande interesse na comunidade de pesquisadores e foram responsáveis pelo início de uma sequência de trabalhos na área de otimização combinatória. Gilmore e Gomory (1961 *apud* SWEENEY E PATERNOSTER, 1992) apresentaram uma abordagem para o problema unidimensional do encaixe de itens. A primeira técnica apresentada por eles ficou conhecida como *Column Generation*. Essa técnica encontrou dificuldades de ser aplicada para problemas reais, porém foi a partir dessas publicações que ocorreu um aumento na quantidade de trabalhos abordando o assunto, com o objetivo de encontrar a solução ótima¹⁰ para o problema do *cutting* e do *packing*.

Wäscher, Haussner e Schumann (2007) apresentam uma revisão abrangente dos trabalhos que surgiram a partir da década de 1960 até os dias atuais. Os autores Burke *et al.* (2006), Dowland e Dowland (1995) também apresentam uma revisão dos estudos direcionados a solucionar o problema do encaixe em diferentes áreas.

Na década de 1970, segundo Wäscher, Haussner e Schumann (2007) e Fritsch (1994), alguns pesquisadores (HERZ, 1972; GABOW, 1973; WHITLOCK E CHRISTOFIDES, 1977; CANI, 1979; GAREY e JOHNSON, 1979) deram continuidade ao estudo do problema de encaixe e do corte de itens regulares através da publicação de teses, livros e artigos. Garey e Johnson (1979 *apud* MARQUES, 2000), por exemplo, defenderam que os problemas de corte e encaixe pertencem a uma classe de problemas denominados NP- difícil (do inglês *NP-hard*).

De forma simplificada, podemos dizer que NP-difícil são problemas de programação inteira¹¹ em que a solução ótima dificilmente será encontrada em tempo razoável utilizando abordagens puramente algorítmicas. O esforço computacional para a resolução cresce exponencialmente com o tamanho do problema, de acordo com a quantidade de peças a serem

¹⁰ A solução é considerada ótima quando se obtém a máxima área possível utilizada de matéria-prima, resultando na mínima área desperdiçada de material, tendo todos os limites das formas respeitados, isto é, sem sobreposição.

¹¹ A programação inteira e mista pode ser definida como a resolução de problemas de maximização ou minimização de algum objetivo, atendendo a um conjunto de restrições. Se todas as variáveis do modelo forem números inteiros costuma-se denominar o problema de programação inteira. Como por exemplo, no planejamento de produção, quando a indústria determina que os produtos têm de ser produzidos em quantidades inteiras de peças. O que caracteriza a programação inteira e mista é a presença de ao menos uma restrição de integridade. A restrição de integridade é a exigência de que uma variável assuma um valor inteiro. Caso as restrições de integridade sejam aplicadas apenas a algumas variáveis do modelo, mas não a todas, o problema é denominado de programação mista (LOESCH e HEIN, 2009).

encaixadas (GAREY e JOHNSON, 1979 *apud* MIURA, 2008). Essa dificuldade direcionou os estudos do *cutting* e do *packing* para a busca de soluções heurísticas. As abordagens heurísticas são consideradas métodos não exatos, uma vez que a formulação de métodos exatos torna-se inviável (MARQUES, 2000).

Segundo Fritsch (1994) a continuidade das pesquisas (GOFFMAN *et al.*, 1980; GAREY e JOHNSON, 1981; STOCKMEYER, 1983) durante a década de 1980 deu origem a algoritmos mais rápidos, porém ainda não possuíam o desempenho necessário para serem utilizados pela indústria. Foi também nessa década que começaram a surgir os primeiros trabalhos sobre o encaixe de itens irregulares. Os itens com formas irregulares apresentam peças com geometrias mais complexas e, portanto são mais difíceis de lidar e exigem um esforço computacional maior. Albano e Sapuppo (1980) introduziram os primeiros trabalhos sobre o encaixe de itens irregulares a partir de um algoritmo heurístico baseado no método do polígono *no-fit*. Neste trabalho foi a primeira vez que o termo *no-fit polygon* foi utilizado, apesar de o conceito ter sido introduzido em 1966 por Art (1966 *apud* BURKE *et al.*, 2006; ART, 1966 *apud* DOWSLAND e DOWSLAND, 1995) e mais tarde utilizado por diversos autores. O conceito do polígono *no-fit* é usado para assegurar *layouts* possíveis, ou seja, *layouts* onde as peças não serão sobrepostas e ajustadas dentro da folha. Em outros campos do conhecimento este conceito também é conhecido como Minkowski *sums*.

A importância econômica e operacional de tais problemas, bem como a dificuldade de resolução, motivou pesquisadores para o desenvolvimento de inúmeros trabalhos na década de 1990 até os dias atuais. Nos últimos 20 anos o volume de pesquisas com diferentes abordagens fez com que se tenha hoje uma grande quantidade de material sobre o tema. Há muitas situações em que as peças¹² ou as regiões que as contêm são regulares em sua forma e soluções heurísticas eficazes para muitos dos problemas de corte e encaixe de itens regulares já foram encontradas. Porém, o volume de pesquisas na área é inferior para o encaixe de itens irregulares, quando comparado com a versão retangular do problema.

Segundo Wäscher, Haussner e Schumann (2007) os trabalhos que tratam de problemas de encaixe de formas irregulares são mais escassos na literatura especializada. Principalmente os que envolvem a quantidade de peças produzida, com uma demanda de peças pré-estabelecida para serem encaixadas em uma matéria-prima que não é suficiente para encaixar todas as peças.

¹² No presente trabalho os termos peça e item são utilizados para designar as pequenas partes que são encaixadas em materiais grandes (matéria-prima) para posterior corte. Quando esses termos estão no contexto da indústria do vestuário também é utilizado o termo molde.

Wäscher, Haussner e Schumann (2007) analisaram artigos sobre os problemas do *cutting* e *packing*. Os autores também classificaram em tipologias (categorias homogêneas baseadas em um critério) os trabalhos desenvolvidos. A classificação foi feita com base em cinco critérios e pretende auxiliar os pesquisadores da área a classificarem seus trabalhos e diminuir a variedade de termos para definir o mesmo problema. Assim, a seguir apresentam-se os cinco critérios propostos pelos autores e delimita-se onde a pesquisa proposta se enquadra.

O primeiro critério, dimensionalidade, refere-se à quantidade de dimensões que o problema é tratado, uma dimensão, duas, três ou n dimensões.

O segundo critério corresponde ao tipo de tarefa: maximização de saída ou minimização de entrada. A maximização de saída caracteriza-se por um conjunto de itens pequenos que serão encaixados sobre um conjunto de objetos grandes. Porém, os objetos grandes, como por exemplo, um tecido, uma folha de metal, não são suficientes para acomodar todos os itens pequenos. Nesse caso, todo o espaço disponível dos objetos grandes será utilizado e alguns dos itens pequenos serão encaixados, maximizando o aproveitamento de tecido. A minimização de entrada caracteriza-se por um conjunto de pequenos itens que devem ser encaixados em objetos grandes. Diferentemente do caso anterior, o conjunto de objetos grandes é suficiente para encaixar todos os pequenos itens. Assim, o objetivo é minimizar o desperdício do material que será cortado (objetos grandes). Naturalmente, alguns dos problemas encontrados na prática ou discutidos na literatura podem ser caracterizados pelo fato do problema existir tanto em relação aos grandes objetos quanto aos pequenos itens. Isto requer um alargamento da função objetivo que combina as receitas, a demanda e os custos (maximização do lucro). Wäscher, Haussner e Schumann (2007) consideram essa situação como uma variante do problema.

O terceiro critério apresentado foi a classificação dos objetos grandes, que corresponde ao material em que será cortado e no qual os pequenos itens serão encaixados. Os objetos grandes podem ser classificados em: um único objeto grande ou muitos objetos grandes. Quando é considerado apenas um único objeto grande, as dimensões podem ser todas fixas ou variáveis em uma ou mais dimensões. Quando são muitos objetos grandes, apenas dimensões fixas são consideradas. Essa situação ocorre nos enfeitos de tecido, em que camadas de mesmo comprimento e largura são colocadas uma sobre a outra. Dentro da classificação com vários objetos grandes e dimensões fixas é possível ainda classificar em três grupos diferentes: objetos grandes idênticos, fracamente heterogêneos e fortemente heterogêneos. Se

objetos grandes fossem de tamanhos diferentes não teriam dimensões fixas e pertenceriam à classificação anterior, já que seriam únicos.

O quarto critério definido refere-se à classificação dos itens pequenos que podem ser: itens pequenos idênticos, fracamente heterogêneos e fortemente heterogêneos. Os itens pequenos e idênticos caracterizam-se por apresentarem a mesma forma e tamanho. Um exemplo de itens pequenos idênticos é abordado por Costa, Gomes e Oliveira (2009), os autores apresentam propostas heurísticas para a colocação periódica das peças, que é denominado pelos autores de *lattice packing*. Os itens fracamente heterogêneos podem ser agrupados em pequenas classes que possuem mesma forma e tamanho. Pela definição dos autores, os itens pequenos de mesmo tamanho e forma que requerem diferentes orientações são tratados como diferentes tipos de itens. Os itens fortemente heterogêneos caracterizam-se por terem muito poucos elementos com forma e tamanho idênticos.

O quinto e último critério apresentado por Wäscher, Haussner e Schumann (2007) está relacionado com a forma dos itens pequenos: regulares (retângulos, círculos, cubos, cilindros, esferas) e irregulares, também conhecidos como não-regulares.

Através desses cinco critérios e com base na revisão da bibliografia apresentada por Wäscher, Haussner e Schumann (2007), os autores propuseram uma esquematização (fig. 03) para auxiliar na definição da nomenclatura dos problemas relacionados ao corte e encaixe. Como citado anteriormente, essa proposta foi feita com o intuito de diminuir a variedade de termos utilizados nas definições, e conseqüentemente auxiliar as pesquisas relacionadas com o tema, facilitando a busca de estudos que tratem de problemas com características em comum.

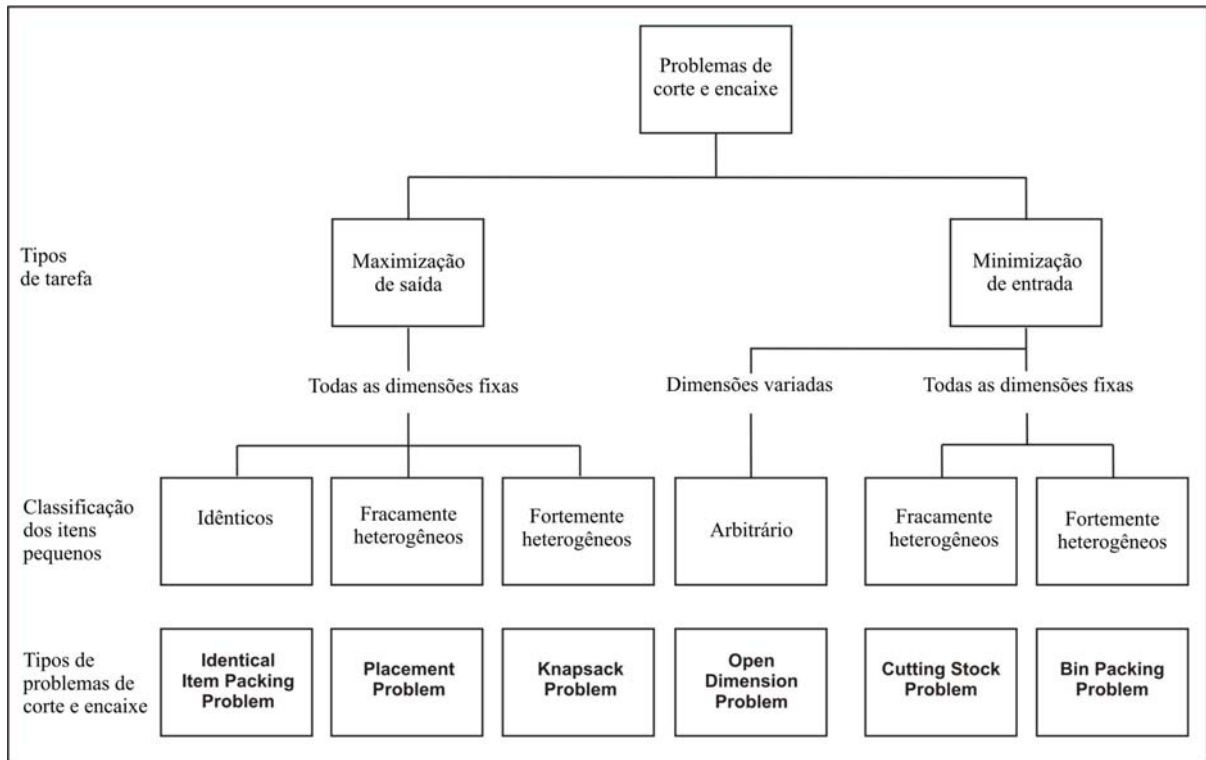


Figura 03: Sugestão de nomenclatura dos diferentes tipos de problemas
 Fonte: Baseado em Wäscher, Haussner e Schumann (2007)

Pela definição de Wäscher, Haussner e Schumann (2007) o problema de encaixe de moldes na indústria do vestuário pode ser classificado como *Open Dimension Problem*. Os autores definem o problema como um conjunto bidimensional de itens pequenos que tem que ser dispostos sobre um grande retângulo (tecido), que possui largura fixa e comprimento variável e tem como objetivo a minimização do desperdício de tecido. Segundo os autores, quando os itens são irregulares em sua forma o problema é tratado por *Irregular Strip Packing Problem*, *Nesting Problem* e *Marker-Making Problem*, como já citado anteriormente. O problema também poderia ser classificado nessa categoria quando é necessário realizar o encaixe, analisar as informações de rendimento e custos para tomar decisões de aprovação de modelos de peças para produção. Um exemplo para uma tomada de decisão seria definir o rendimento do encaixe de moldes para uma determinada peça em uma quantidade de tecido disponível no estoque. A análise das informações de custo da peça pode auxiliar na definição da viabilidade de produção e comercialização da mesma.

Essa classificação do problema do encaixe de moldes na indústria do vestuário, considerando o tecido como largura fixa e comprimento variável, é a mais comum entre a maioria dos autores (WONG *et al.*, 2009; GOMES e OLIVEIRA, 2006; HIFI e HALLAH, 2003; GOMES e OLIVEIRA, 2002). Porém, não considera algumas peculiaridades do processo produtivo da indústria do vestuário, como por exemplo, o tamanho da mesa de corte,

que define um valor máximo de utilização do comprimento de tecido (ARAÚJO, 1996). Esse valor máximo não fixa um comprimento, porém determina um limite máximo de utilização. Rose e Shier (2007) salientam a preocupação com o tamanho da mesa de corte, e para o problema da ordem de corte (*cut scheduling problem*) na indústria do vestuário, consideram o tamanho da mesa de corte como área fixa.

No problema do encaixe de moldes na indústria do vestuário pode ser utilizado apenas um objeto grande, o tecido (corte de peça-piloto) ou vários objetos grandes, enfiado de tecido (corte de peças para produção). Os itens pequenos, os moldes, podem ser fracamente heterogêneos (corte de um único modelo de peça de um tamanho) ou fortemente heterogêneos (demanda variada de modelos ou tamanhos). Em relação à forma dos itens pequenos, os moldes, são irregulares.

Seguindo os critérios de dimensionalidade, forma dos itens pequenos e em relação ao tipo de tarefa, Wäscher, Haussner e Schumann (2007) organizaram em uma Tabela (tab. 01) com os artigos por eles pesquisados. Os problemas de encaixe unidimensional totalizaram 172 artigos, outros 150 referentes ao problema bidimensional de itens regulares e 64 relacionados ao problema bidimensional de itens irregulares. Dentre esses 64, a maioria, 52 artigos sobre minimização de entrada. Através desses números é possível observar que a quantidade de artigos sobre o tema do encaixe de itens irregulares é bem inferior quando comparado a quantidade de artigos dos problemas relacionados aos itens unidimensionais e bidimensionais de formas regulares.

Tabela 01: Classificação dos artigos relacionados aos problemas do corte e encaixe

Tipo de encaixe	1D	2D		3D	Total
		regular	irregular		
Minimização de entrada	108	79	52	24	263
Maximização de saída	64	71	12	35	182
Total	172	150	64	59	445

Fonte: Baseado em Wäscher, Haussner e Schumann (2007)

Bennell e Oliveira (2008) corroboram as constatações de Wäscher, Haussner e Schumann (2007). Para os autores, mesmo o problema do encaixe de formas irregulares sendo relevante para a indústria, a quantidade das publicações são relativamente inferiores quando comparadas com outros problemas de corte e encaixe. Os autores acreditam que uma explicação para isso seja a dificuldade percebida e o tempo necessário para o desenvolvimento de uma ferramenta computacional para avaliar as soluções geradas, uma vez que é mais simples trabalhar com formas regulares do que irregulares.

Atualmente, os modelos desenvolvidos para se encontrar soluções para o problema de encaixe ainda são através de abordagens heurísticas que envolvem regras de posicionamento empíricas (MARTINS, 2007; DOWSLAND e DOWSLAND, 1995).

A heurística é considerada uma técnica que contribui na melhoria da eficiência de um processo de busca, porém pode excluir a obtenção da solução ótima. Na resolução de problemas complexos é necessário decidir entre o dilema da eficiência *versus* a eficácia. Considerando apenas a eficácia, o problema será solucionado, a solução ótima encontrada, porém não há preocupação com o tempo necessário para o processo. Se a eficiência for o objetivo, o problema também será resolvido, isto é, uma solução será encontrada, não necessariamente a melhor, dentro de um tempo razoável, ou seja, a eficiência produz um efeito com o mínimo esforço. Em alguns processos de busca da solução o tempo pode ser uma restrição. Considerando os custos, maior eficácia representa um custo de uso do tempo mais elevado. Já uma elevada eficiência contrapõe-se a isso, há uma redução de tempo para encontrar as soluções, porém as mesmas podem ser de qualidade muito inferior. Na busca de algumas soluções para problemas, é necessário trabalhar com um ponto de equilíbrio entre eficiência e eficácia. Uma alternativa é reduzir as possibilidades de busca de soluções. Uma opção é selecionar as n primeiras soluções que aparecem e escolher a melhor. Outra idéia é diminuir as alternativas de busca através apenas da seleção das melhores possibilidades. Loesch e Hein (2009) comparam a heurística com um guia de turismo, que pode apontar para direções interessantes, porém pode deixar de fora pontos turísticos interessantes para determinados indivíduos. Os autores acreditam que algumas heurísticas podem auxiliar no processo de busca sem necessariamente sacrificar a obtenção da solução ótima. Eles citam, como exemplo, a heurística do “vizinho” mais próximo, que será descrita mais adiante. Assim, as heurísticas podem contribuir na qualidade dos caminhos explorados e pode-se esperar obter boas soluções (embora possivelmente não ótimas) para problemas difíceis (LOESCH e HEIN, 2009).

As abordagens heurísticas podem ser divididas em duas, conforme as regras de posicionamento: determinísticas ou probabilísticas.

As abordagens determinísticas ordenam as formas de acordo com algum critério, como por exemplo, ordem decrescente de área. Também é comum nas abordagens determinísticas a convergência para os melhores resultados que serão encontrados pelo algoritmo após um certo número de iterações. Já as heurísticas probabilísticas tendem a ser mais versáteis e geralmente obtêm melhores resultados. Entretanto, o comportamento dos algoritmos probabilísticos

durante as interações (entre possíveis soluções) não é previsível como no caso das abordagens determinísticas (LINDEN, 2008; MARTINS, 2007).

A seguir são descritas alguns tipos de soluções para o problema de corte e encaixe.

2.3 Tipos de solução para os problemas de corte e encaixe

Como citado anteriormente, as abordagens heurísticas tem sido introduzidas no campo da otimização para solucionar os problemas de corte e encaixe. Os conceitos mais abordados atualmente e que serão descritos a seguir são: *no-fit polygons* (COSTA, GOMES e OLIVEIRA, 2009; BENNELL, DOWSLAND e DOWSLAND, 2001; LI e MILENKOVIC, 1995), o método de colocação estratégica *bottom-left* (BURKE *et al.*, 2006; GOMES e OLIVEIRA, 2002; DOWSLAND e DOWSLAND, 1995), o *local search* (BURKE *et al.*, 2006; GOMES e OLIVEIRA, 2006; MARTINS, 2007) e algoritmos genéticos (WONG *et al.*, 2009; HIFI e HALLAH, 2003). Essas abordagens, em alguns trabalhos, são utilizadas para ordenar a sequência de peças que serão encaixadas e em outros para realizar o *layout* do encaixe, a disposição das peças sobre o material que será cortado.

2.3.1 Polígono *No-fit*

Uma das abordagens heurísticas mais utilizadas, principalmente nas áreas da matemática e da informática é o *no-fit polygons*. O termo *no-fit polygon* corresponde a um polígono que define posições que corresponde à união de dois polígonos pelo encontro dos seus vértices sem que ocorra intersecção. Para definir um polígono *no-fit* é necessário ter um polígono de “obstáculo” que vai deslizar pelo contorno de outro polígono, que fica fixo. Por exemplo, se tivermos dois polígonos, um “A” e um “B”, o polígono “A” fica fixo e o polígono “B” vai deslizar (através de um vértice) pelo contorno dos vértices do polígono “A”. A Figura 04 apresenta o deslocamento do polígono “B” pelo contorno dos vértices do polígono “A”. Após o deslocamento é possível construir o polígono *no-fit* entre “A” e “B” (BENNELL, DOWSLAND e DOWSLAND, 2001).

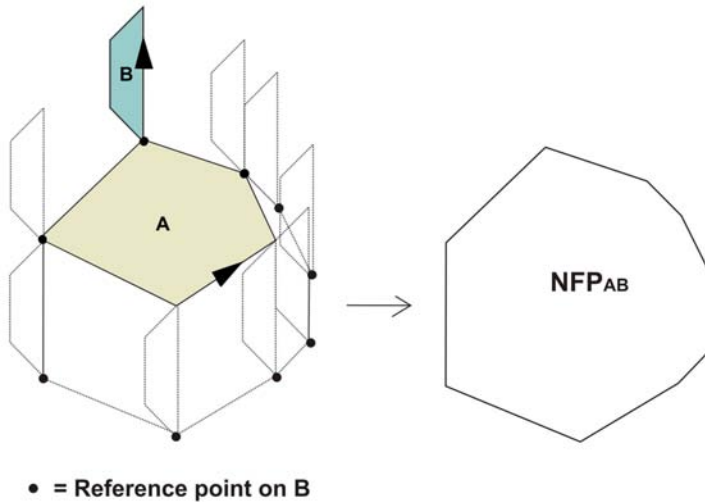


Figura 04: Deslocamento do polígono “B” pelo contorno do polígono “A” e geração do polígono *no-fit* de “A” e “B”.

Fonte: Baseado em Bennell, Dowsland e Dowsland (2001)

O polígono que representa a união de “A” com “B” é construído através da soma dos vetores dos dois polígonos. A Figura 05a apresenta o polígono “A” e o polígono “B”. Os lados são representados por vetores correspondentes, que são colocados em sentido anti-horário no polígono “A” e em sentido horário no polígono “B”. Depois de definidos os vetores para os dois polígonos, todos eles são colocados com uma das extremidades na origem (0,0) (fig. 05b) mantendo a direção original e o tamanho correspondente ao lado do polígono. Ordenando os vetores dos dois polígonos e unindo a extremidade de um vetor na outra extremidade do outro vetor é possível construir um novo polígono (fig. 05c), o polígono *no-fit* de “A” e “B”. Assim, o interior do *no-fit* polígono de “A” e “B” contém o polígono “A” e o polígono “B”.

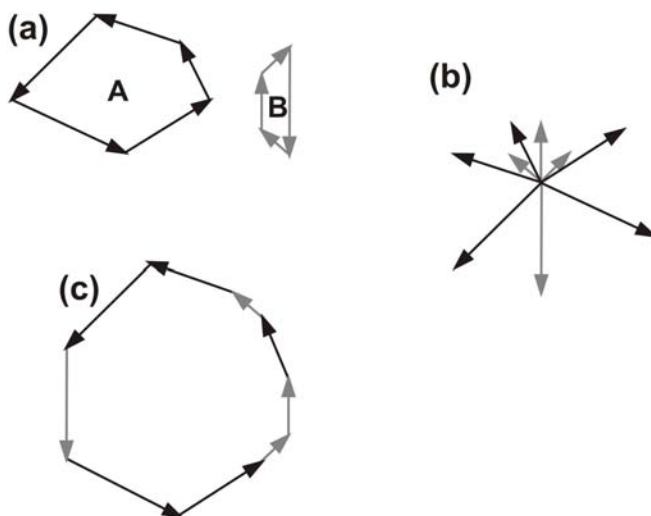


Figura 05: Etapas para a construção do polígono *no-fit* de “A” e “B”

Fonte: Bennell, Dowsland e Dowsland (2001)

Essa abordagem funciona para peças que não possuem concavidades em suas formas, ou seja, peças convexas. Para solucionar este problema uma das opções é a decomposição da peça que possui concavidades em sub-peças convexas, ou seja, peças menores que não apresentem concavidades. A vantagem é a utilização do algoritmo para peças convexas, que é um algoritmo simples, porém há um acréscimo de carga de cálculo computacional. Outra alternativa é o cálculo do polígono *no-fit* a partir de como “B” desliza ao redor do limite da peça “A”, uma abordagem do problema desde os primeiros princípios, utilizada por Bennel, Dowsland e Dowsland (2001).

2.3.2 Técnica de colocação estratégica *Bottom-left*

Outro método heurístico de encaixe de itens é a técnica do *bottom-left*. Essa técnica consiste basicamente em determinar uma ordem para o posicionamento das formas e posicioná-las na seqüência definida nessa ordem na posição mais à esquerda e para baixo disponível (considera-se a largura do tecido posicionado no eixo vertical e o comprimento no eixo horizontal). Uma ordem comum para a inserção das peças é definição em função decrescente de tamanho. Alguns trabalhos (GOMES e OLIVEIRA, 2002; HIFI e HALLAH, 2003) utilizam processos híbridos que combinam algoritmos genéticos para determinar a ordem de posicionamento, ou seja, a seqüência em que as peças são inseridas no material para serem encaixadas com a técnica *bottom-left* para o posicionamento dessa seqüência.

Burke *et al.* (2006) também desenvolveram um algoritmo heurístico que utiliza o *bottom-left*, chamado por eles de novo *bottom-left-fill*, junto com métodos *hill climbing* e busca tabu (*tabu search*). A solução dos autores aborda o encaixe de peças com concavidades, arestas circulares e buracos internos. Os autores substituem o *grid* tradicional, que será discutido posteriormente, por um *grid* baseado em eixos verticais.

A abordagem tradicional utilizando o método *bottom-left* em um *grid* consiste em primeiramente inserir a primeira peça no material que será cortado utilizando o ponto do *grid* mais para a esquerda e para baixo possível. Se não há intersecção de formas, então a peça é atribuída ao material e o processo começa novamente na primeira posição do *grid*. Contudo, se a nova forma intersecta com outra, ela é movida para a próxima posição do *grid* e novamente é testada uma possível intersecção da peça. Esse processo ocorre até que uma posição viável seja encontrada. No trabalho de Burke *et al.* (2006) ao invés das peças serem deslocadas para a próxima posição do *grid* elas são movidas na direção positiva do eixo y.

Caso a peça percorra todo o eixo y e continue intersectando outras peças, ela retorna para baixo do material e é deslocada no eixo x positivo. O eixo x positivo é incrementado por um determinado valor, conhecido como a resolução. O processo é contínuo até que a peça seja encaixada sem sobreposições. O encaixe é finalizado quando todas as peças foram inseridas no material.

Nas abordagens tradicionais, a eficiência do encaixe está diretamente relacionada com a resolução do *grid*. Usar uma baixa resolução para o *grid* (fig. 06a) pode afetar negativamente a qualidade da solução. Por este motivo, Burke *et al.* (2006) propõem a substituição de pontos do *grid* por eixos, como é possível observar na Figura 06c. Esses eixos verticais têm um número infinito de potenciais locais devido a propriedade contínua do eixo y, e por este motivo tem mais chances de produzir encaixes com maior eficácia.

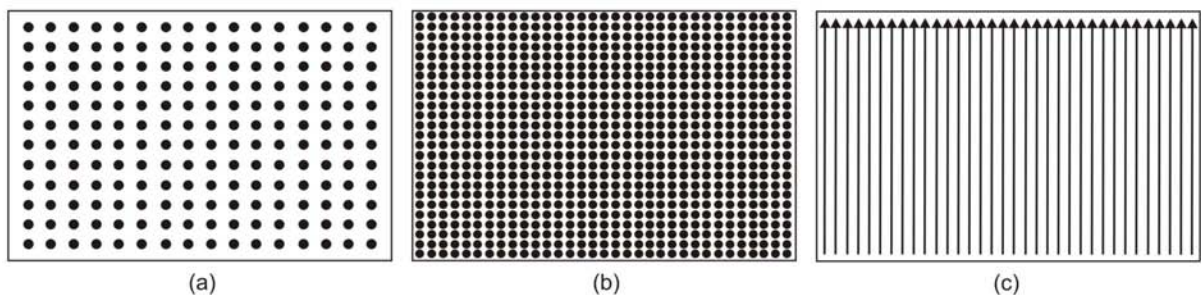


Figura 06: (a) *Grid* com baixa resolução, (b) *grid* com alta resolução, (c) *grid* com eixo vertical
Fonte: Burke *et al.* (2006)

A abordagem utilizada por Burke *et al.* (2006) também não restringe o movimento das formas, quando estão sobrepostas, a um movimento fixo, no caso de um ponto do *grid* para outro. São realizados cálculos das intersecções das primitivas geométricas¹³ que solucionam as sobreposições. Essa solução tem duas vantagens principais: a solução de intersecção entre as peças pode fazer com que elas se toquem e esta precisão é alcançada com um número menor de etapas do que na abordagem tradicional do *grid*. A solução dessas intersecções envolve o cálculo da distância vertical positiva necessária para mudar de posição a peça que está sendo inserida no encaixe. A distância é calculada entre linhas e ou arcos que se intersectam e não entre as peças. Assim, aplicações contínuas de cálculo sempre resolvem as intersecções. Apenas a peça que está sendo inserida no encaixe pode ser movida, as outras já encaixadas não podem ser movimentadas. Os deslocamentos das peças ocorrem durante o processo de encaixe. A Figura 07 mostra um exemplo de encaixe realizado com a abordagem utilizada por Burke *et al.* (2006).

¹³ Burke *et al.* (2006) definem as primitivas geométricas como qualquer arco ou linha.

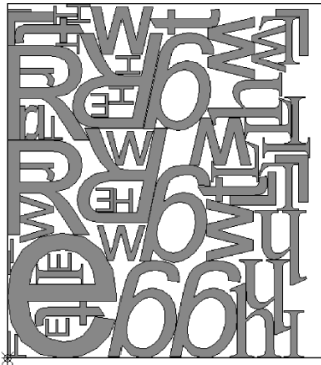


Figura 07: *Benchmark* desenvolvido com o método novo *bottom-left-fill*
 Fonte: Burke *et al.*, 2006

A técnica *bottom-left*, segundo Martins (2007), vem sendo empregada com relativo sucesso em trabalhos da área. O autor também cita que é uma heurística econômica em recursos computacionais e percebe como uma característica positiva a técnica aplicar as peças priorizando o lado esquerdo e a região inferior. Isso permite uma área livre no interior do material, de modo que uma variedade maior de peças pode ser inserida. Porém, o autor destaca que é simples apontar problemas de posicionamento das peças em que o ótimo global de eficiência não é possível de ser atingido através de uma abordagem *bottom-left*, como representado na Figura 08.

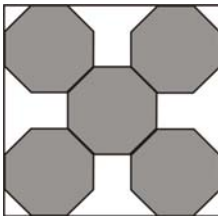


Figura 08: Problema em que a solução ótima não pode ser alcançada por uma heurística *bottom-left*
 Fonte: Martins, 2007

2.3.3 *Local search* (Busca Tabu e Resfriamento Simulado)

O método busca tabu (*tabu search*) tem como principal objetivo forçar a exploração de novas áreas no espaço de busca. Regiões visitadas e que possuem características conhecidas são marcadas e proibidas de serem revisitadas. A diferença entre os diversos métodos de implementação da busca tabu diferem-se principalmente através das duas definições de proibição: proibir que se retorne para sempre em uma região ou proibir que se retorne por um tempo determinado, através da definição de um número de interações (LINDEN, 2008).

A busca tabu implementada por Burke *et al.* (2006) gera um processo com um dado número de “vizinhos” e move a melhor solução em um subconjunto da “vizinhança”. Esta melhor solução é gerada para o próximo ajuste de “vizinhos” e o ciclo continua. O uso da lista *tabu* significa que soluções vistas recentemente dentro de uma lista de comprimentos são proibidas (tornam-se tabu). Em Burke *et al.* (2006) a busca tabu contribuiu na ordenação das peças, que serão encaixadas posteriormente utilizando a técnica *bottom-left* orientada por um *grid* baseado em eixos.

A busca tabu é considerada uma abordagem determinística, ao contrário do resfriamento simulado (*simulated annealing*).

O resfriamento simulado (*simulated annealing*) é uma meta-heurística probabilística adotada por alguns pesquisadores (MARTINS, 2007; GOMES e OLIVEIRA, 2006). Esse método foi desenvolvido para que o processo de otimização tenha a possibilidade de encontrar a solução ótima. O resfriamento simulado é um método de otimização que realiza uma exploração local (*local search*), e explora as diferentes soluções de forma sequencial, passando de uma solução para outra seguinte, possivelmente mais interessante. O início do algoritmo é através de uma solução válida aleatória. Em seguida, o algoritmo realiza uma transformação na solução, produzindo uma nova possível solução. Essa nova possível solução é comparada com a última obtida, antes da transformação. Caso a nova solução apresente um resultado melhor do que a anterior, essa é substituída pela nova. Se a nova solução não for melhor do que a anterior, ela é descartada. O algoritmo realiza essas interações até que um critério de parada específico seja atendido. Geralmente, é definido um número máximo para interações e modificações. Outro critério que pode ser adotado é o de identificar momentos em que o algoritmo está obtendo soluções que não apresentam melhorias, chamado de estado “congelado” do algoritmo. Para evitar essas situações é possível limitar um número máximo de interações sem progresso significativo (MARTINS, 2007; GOMES e OLIVEIRA, 2006).

2.3.4 Algoritmo Genético

Outro método meta-heurístico são os algoritmos genéticos. A ideia que deu origem aos algoritmos genéticos surgiu na década de 40, quando cientistas do ramo da inteligência artificial buscaram inspiração na natureza. Porém, a proposta de utilização de algoritmos genéticos que se tornou conhecida, aconteceu em 1975 por Holland, com a publicação de seu livro “*Adaptation in Natural and Artificial Systems*”.

O algoritmo genético é uma técnica de busca utilizada para encontrar soluções aproximadas. As técnicas são baseadas na biologia evolutiva darwinista e podem ser consideradas como metáforas do processo biológico de evolução natural. Nos algoritmos genéticos são criadas populações com conceitos de hereditariedade e aplicados operadores genéticos: seleção natural, mutação e *crossing over*. Para o processo de evolução é necessário avaliar a qualidade dos indivíduos de uma determinada população através função de avaliação, que corresponde ao grau de adequação de cada indivíduo¹⁴ como solução para o problema (LINDEN, 2008; WONG *et al.*, 2009).

Um algoritmo genético simples e genérico começa através da criação de uma população de indivíduos. A população inicial pode ser gerada aleatoriamente (recomendada por LINDEN, 2008) ou selecionada de acordo com algum critério (HIFI e M'HALLAH, 2003). Cada um desses indivíduos é avaliado através da função de avaliação. Após a avaliação são selecionados os pais para dar origem aos novos indivíduos, os pais com maior valor na função de avaliação terão maiores chances de serem selecionados. No processo de geração de novos indivíduos são aplicados os operadores genéticos. Os indivíduos velhos da população são apagados e os novos avaliados. Os novos indivíduos são inseridos na população e se o tempo de processamento terminou ou algum cromossomo satisfaz os requisitos de desempenho o processo é finalizado. Caso contrário, são selecionados novamente pais para gerar novos indivíduos (LINDEN, 2008).

No trabalho de Wong *et al.* (2009) é utilizado um algoritmo genético para determinar a seqüência das peças que serão encaixadas. Cada indivíduo dessa população é representado por um cromossomo, que consiste em uma seqüência de genes, que é um ajuste de números inteiros para indicar a seqüência das peças que serão encaixadas, criando uma ordem de peças identificadas por números inteiros. Após definida a população inicial, os indivíduos sofrem o “acasalamento genético” e operações de *crossing over* e mutação são realizadas para que os filhos dos indivíduos não sejam iguais os seus pais. No “acasalamento genético” são selecionados dois indivíduos que dão origem a novos indivíduos. Esses novos indivíduos nascem através do cruzamento de uma parte de cada uma das sequências dos indivíduos pais.

Em Wong *et al.* (2009), os indivíduos gerados do “acasalamento genético” formam uma nova população, que irá substituir a população que deu origem a eles. Antes do “acasalamento genético” o melhor indivíduo com o maior valor de aptidão (função de avaliação) da população inicial é reservado e é copiado diretamente para a nova população.

¹⁴ É comum a utilização do termo *string* ou cromossomo significando o mesmo que indivíduo (LINDEN, 2008; BABU e BABU, 2001).

No caso da seleção de indivíduos, em qualquer geração, os indivíduos são selecionados de acordo com as respectivas probabilidades de seleção. Os candidatos que apresentam soluções mais próximas da desejada (com maiores valores na função objetivo) terão maiores probabilidades de seleção para se reproduzirem e darem origem a novos indivíduos. Os indivíduos com menores valores na função objetivo terão maiores chances de sofrerem mutações. No caso específico do encaixe, os indivíduos que apresentam uma sequência de peças que alcança uma eficiência superior de encaixe, quando comparado com os outros indivíduos, têm maiores probabilidades de serem selecionados para darem origem a novos indivíduos. A Figura 09 exemplifica o algoritmo genético implementado em Wong *et al.* (2009).

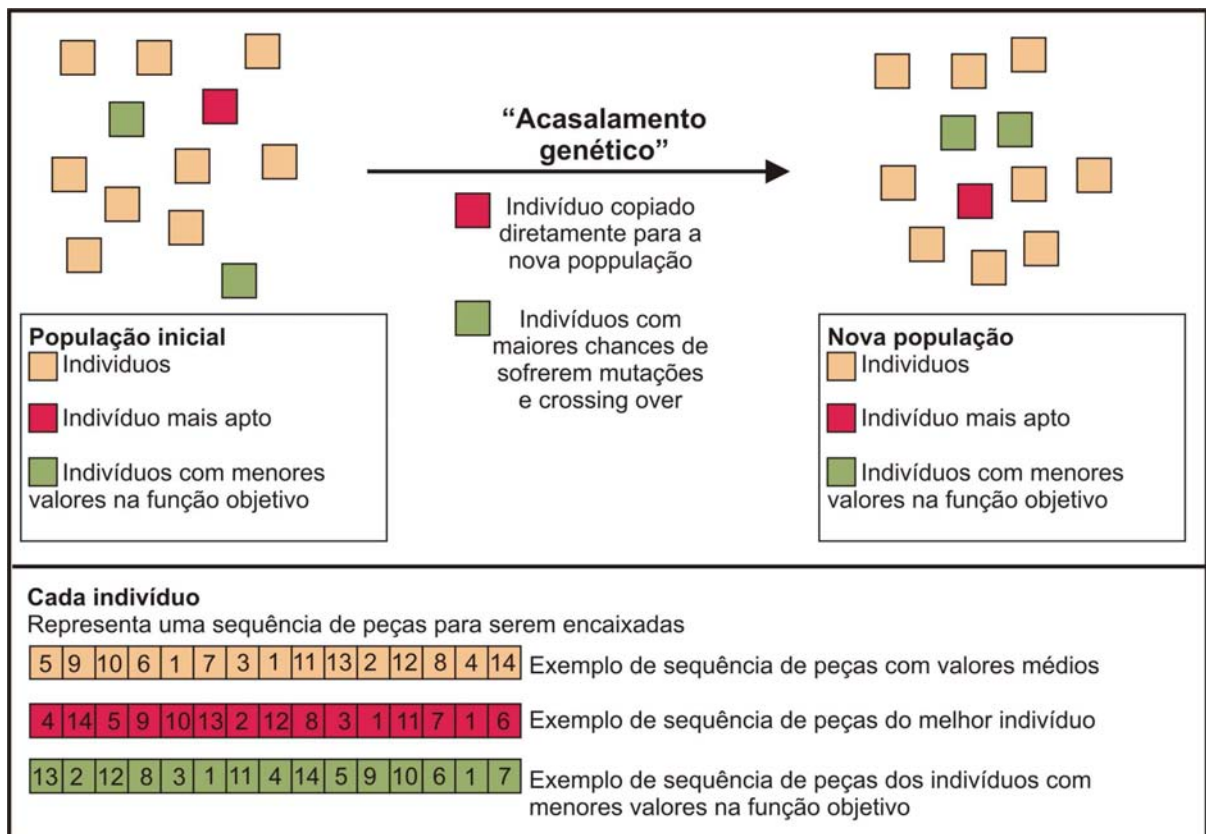


Figura 09: Esquema do algoritmo genético utilizado em Wong *et al.* (2009)
 Fonte: Baseado em Wong *et al.* (2009)

2.3.5 Grid, Matriz ou Raster

Os algoritmos genéticos também podem ser combinados com outras heurísticas. Como citado anteriormente, Wong *et al.* (2009) utilizou o algoritmo genético para determinar a

seqüência das peças que serão encaixadas. Já o algoritmo de encaixe é realizado através de um *grid*. As maiores vantagens do *grid* são a de simplificar o cálculo do processo de encaixe e facilitar a visualização de áreas sobrepostas. Para poder ser inserido no *grid*, cada objeto é dividido em finitas partes de iguais pedaços. Cada um desses pedaços pode assumir um valor de 0 ou 1. O valor 0 indica que o lugar correspondente está vazio. Caso contrário, o 1 indica que um objeto está ocupando aquele lugar. Então, quando o local está ocupado o número 1 é colocado em uma matriz bidimensional (fig. 10).



Figura 10: Representação do objeto através de uma matriz bidimensional
Fonte: Wong *et al.* (2009)

Antes do início do processo de encaixe, todo o material está livre, e contém o número 0 em todas as partes. Para inserir um objeto no *grid*, coloca-se o objeto que vai ser encaixado na parte superior e mais alta do canto direito da matéria-prima. O objeto que foi encaixado anteriormente fica no canto inferior esquerdo. Assim, os cantos superior direito e inferior esquerdo ficam preenchidos pelo número 1. Entre eles está o espaço disponível, representado pelo número 0. O objeto que está sofrendo o processo de encaixe (no canto superior direito) é movido para esquerda e para baixo. Os espaços disponíveis, ou seja, os que contêm o número 0 entre as matrizes dos objetos, são compactados, e se possível são inseridas peças nesses espaços. Se o processo for satisfatório termina. Wong *et al.* (2009) compara os resultados obtidos através da utilização do *grid* e da seleção das peças através do algoritmo genético com outras pesquisas que utilizam o método *bottom-left* e a seleção aleatória das peças.

Outros autores também utilizam o método heurístico do *grid*, também conhecido como matriz *pixel* ou *raster*. Oliveira e Ferreira (1993 *apud* BENNELL e OLIVEIRA, 2008) apresentaram um *grid* (fig. 11) muito semelhante ao de Wong *et al.* (2009), em que também é utilizado o valor 1 para identificar a peça e o valor 0 para o material que será cortado.

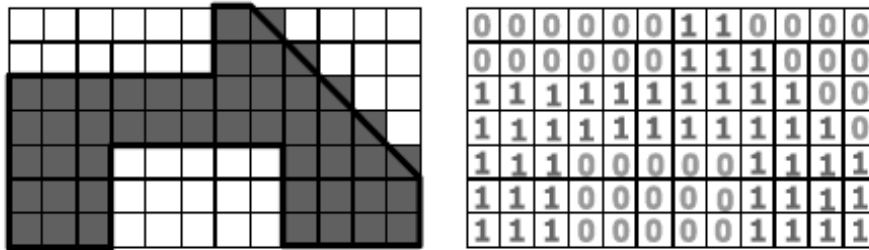


Figura 11: Representação do *raster* 0 e 1 para peças irregulares
Fonte: Oliveira e Ferreira (1993 *apud* BENNELL e OLIVEIRA, 2008)

Segenreich e Braga (1986 *apud* BENNELL e OLIVEIRA, 2008) também apresentaram uma solução baseada em um *grid*. Neste caso, o número 1 é utilizado para determinar os locais de borda das arestas e o número 3 representa o interior das peças. O benefício desses números ocorre no momento de encaixe, quando são inseridas peças na matriz. Os números iguais ou superiores a 4 indicam impossibilidade de colocação da peça naquele local porque representa o somatório de uma aresta de uma peça com o interior de outra peça. Assim, o número 4 indica que peças estão sobrepostas. Números superiores a 4 representam que duas partes internas, representadas pelo número 3, estão sobrepostas. Números iguais ou inferiores a 2 indicam viabilidade da solução, já que representam o contato de duas arestas de peças diferentes ou apenas uma aresta de uma peça. A Figura 12 mostra a representação das peças e uma tentativa de encaixe utilizando o método proposto por Segenreich e Braga (1986 *apud* BENNELL e OLIVEIRA, 2008).

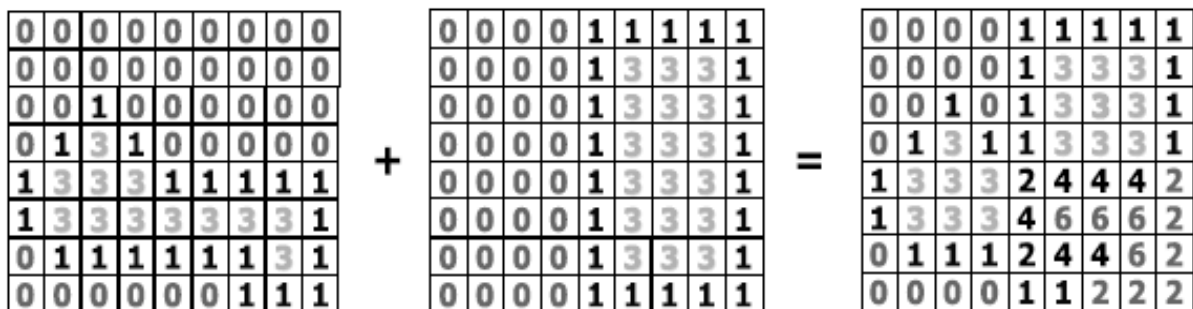


Figura 12: Representação de uma tentativa de encaixe de duas peças utilizando o método *raster*
Fonte: Segenreich e Braga (1986 *apud* Bennell e Oliveira, 2008)

A maioria dos exemplos de implementação do *grid* utilizam o número 0 para representar o material que será cortado e o número 1 para as peças que serão encaixadas. Babu e Babu (2001) inverteram este conceito. Eles utilizam a ideia do *grid* para encaixar itens irregulares dentro de materiais com formas irregulares e com defeitos no interior do material, caso comum no processo de corte do couro (fig. 13). Para os *pixels* totalmente no interior do material que será cortado é atribuído o número 0. Os *pixels* que estão para fora ou sobre as arestas é atribuído o número 1. Porém, esse número é atribuído apenas no lado direito do material. Os *pixels* consecutivos, que estão à esquerda dos mesmos são atribuídos outros números em ordem crescente, como por exemplo, 1, 2, 3, 4, 5... Isso para o material que será cortado. Para a peça que será encaixada é atribuído o número 0 para o interior da peça e para as bordas, sendo o número 1 e seus consecutivos atribuídos apenas para concavidades internas da peça. O objetivo desses números é que o valor de cada *pixel* represente o número de *pixels* necessários para mover a peça para a direita. Esses números facilitam encontrar uma situação de encaixe viável caso seja necessário mover as peças. A atualização da matriz, depois de inserida uma peça, é mais complexa e demorada quando comparada com as soluções a partir de um *grid* descritas anteriormente. Depois de inserir a peça no material que será cortado, os respectivos valores de cada *pixel* são atualizados de 0 para valores positivos, seguindo a mesma orientação do código de inserir números em ordem crescente da direita para a esquerda. A vantagem dessa abordagem é o cálculo da distância de uma peça que se deseja mover com o intuito de eliminar uma posição de impossibilidade. Para isso, é necessário apenas contar os *pixels* na direção desejada.

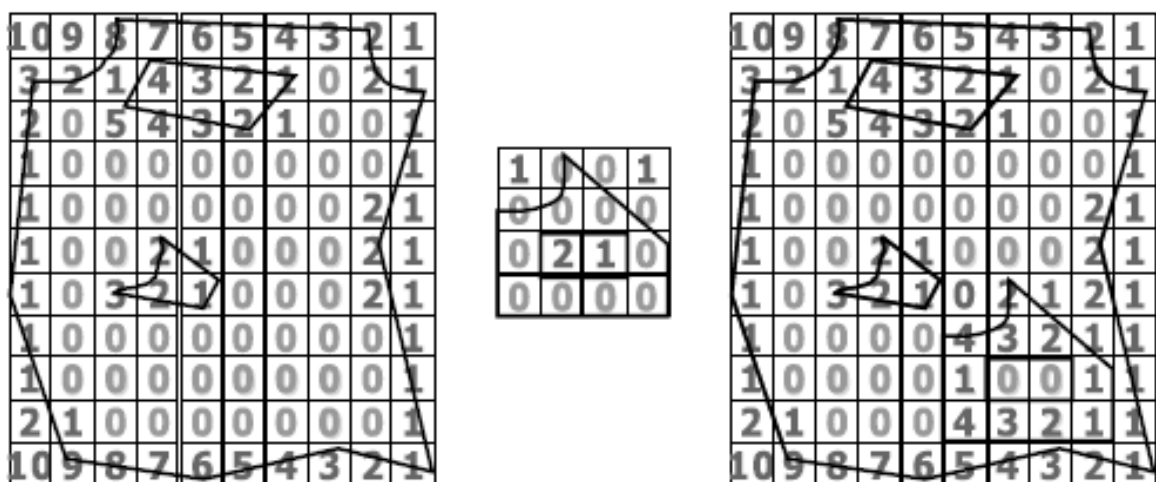


Figura 13: Representação de encaixe em um material irregular com uma peça irregular através do método matriz *pixel*

Fonte: Babu e Babu (2001)

Bennell e Oliveira (2008) destacam que a vantagem geral desses métodos (*grid*, matriz *pixel* e *raster*) é o código, que é simples. Esses métodos também permitem a representação de peças convexas e não convexas e com buracos internos. Porém, os autores destacam que uma das desvantagens é carga de memória computacional exigida. Quanto maior a precisão do *grid* maior também será o esforço computacional necessário. É importante destacar aqui, que apesar do artigo de Bennell e Oliveira (2008) ter sido publicado em 2008, ele foi submetido para avaliação em 2006. De 2006 para os dias atuais os computadores tiveram uma melhoria significativa em suas capacidades de cálculo computacional.

Essa diversidade de métodos heurísticos confirma a imprecisão de tais métodos e a possibilidade de encontrar melhorias em soluções eficientes para os problemas de corte e encaixe. A eficiência dessas heurísticas normalmente é obtida através da comparação com outros métodos heurísticos. As peculiaridades específicas de cada indústria também colaboram na dificuldade de obtenção de métodos gerais.

No mestrado, antes da realização das etapas que serão descritas nos capítulos 4, 5 e 6, começou-se a tratar o problema do encaixe através da construção de um *software* que otimiza o posicionamento de retângulos (a construção é detalhada no Apêndice A). Este *software* (ALVES, AYMONE e TEIXEIRA, 2009) auxiliou na etapa inicial de desenvolvimento do protótipo funcional para o encaixe de moldes da indústria do vestuário.

A descrição de como foram realizadas as etapas que auxiliaram na construção do protótipo funcional e da técnica de encaixe proposta são descritas a seguir no capítulo Metodologia.

3. METODOLOGIA

Pode-se classificar a metodologia proposta segundo alguns critérios. Quanto à natureza da pesquisa é aplicada, que busca a produção de conhecimentos para a aplicação prática voltados à solução de problemas específicos. Quanto ao método científico é hipotético-dedutivo, em que há um problema e será proposta uma possível solução através da dedução de conseqüências. Após a implementação da possível solução serão realizados testes de falseamento pela observação e experimentação. Quanto ao objetivo de estudo, a pesquisa é explicativa, procura identificar os fatores que causam um determinado fenômeno, aprofundando o conhecimento da realidade. Quanto ao critério de abordagem é qualitativa, não utiliza de métodos e técnicas estatísticas e o ambiente é a fonte direta para a coleta de dados em que o pesquisador é o principal elemento.

Para chegar à resposta do problema de pesquisa foram necessárias algumas etapas sistemáticas do método científico que são descritas a seguir.

3.1 Levantamento Bibliográfico

Primeiramente, foi realizado um levantamento bibliográfico para a descoberta de lacunas existentes no tema pesquisado. O conhecimento dessas lacunas foi fundamental para a descoberta e formulação do problema. Com a definição clara e precisa do problema de pesquisa iniciou-se a fundamentação teórica, através da leitura e do fichamento de artigos, livros, teses e dissertações. Essa etapa corresponde a uma das técnicas utilizadas para coleta de dados: a documentação indireta.

3.2 Quadro Teórico

A partir do material pesquisado na fundamentação teórica deste trabalho, observou-se uma diversidade de diferentes tipos de possíveis soluções para o problema do encaixe bidimensional de itens irregulares. Para facilitar o entendimento dos dados pesquisados foi elaborado um quadro teórico (Quadro 01).

O quadro teórico utilizou como fonte de referência publicações dos periódicos: *Computer-Aided Design, Computers & Operations Research, European Journal of*

Operational Research, Operations Research, entre outros. Foram pesquisados 38 artigos (esses artigos estão listados no Apêndice B) e selecionados para a construção do quadro teórico 20 artigos (esses artigos estão listados no Apêndice C). Os artigos selecionados apresentam especificamente pesquisas que tratam do problema do encaixe de itens bidimensionais com formatos irregulares publicados nos últimos dez anos. É importante ressaltar que não foi possível pesquisar todos os artigos que tratavam sobre o problema do encaixe de itens bidimensionais com formatos irregulares publicados nos últimos dez anos. Alguns deles não estão disponíveis.

Com base nos artigos selecionados foi elaborado o quadro teórico que apresenta o tipo de solução utilizada pelo autor para o problema. É importante ressaltar que o problema do encaixe bidimensional possui dois subproblemas: ordenação das peças para serem encaixadas e construção do encaixe (*layout*). Por este motivo, no quadro teórico é comum a utilização de uma solução para ordenar as peças e outra para construir o encaixe. Também é muito comum a utilização de processos híbridos que misturam duas ou mais soluções conhecidas para o problema.

No quadro teórico também está presente, além do tipo de solução utilizada pelo autor, as soluções citadas pelo mesmo. Essa divisão foi criada para marcar os tipos de solução mencionados no artigo pelo autor, mas não utilizados. Essa categoria evidencia a popularidade das soluções, as mais conhecidas e aceitas academicamente.

Com a construção do quadro teórico foi possível montar o gráfico apresentado na Figura 14 com as principais técnicas utilizadas para solucionar o problema do encaixe.

Durante a fase de pesquisa da fundamentação teórica observou-se pontos importantes citados por outros autores que deveriam ser ressaltados no momento das entrevistas e que também eram fundamentais para a formulação posterior da técnica proposta. A listagem desses pontos é descrita no capítulo Processo de Intervenção, sub-capítulo: Pontos Importantes da Fundamentação Teórica.

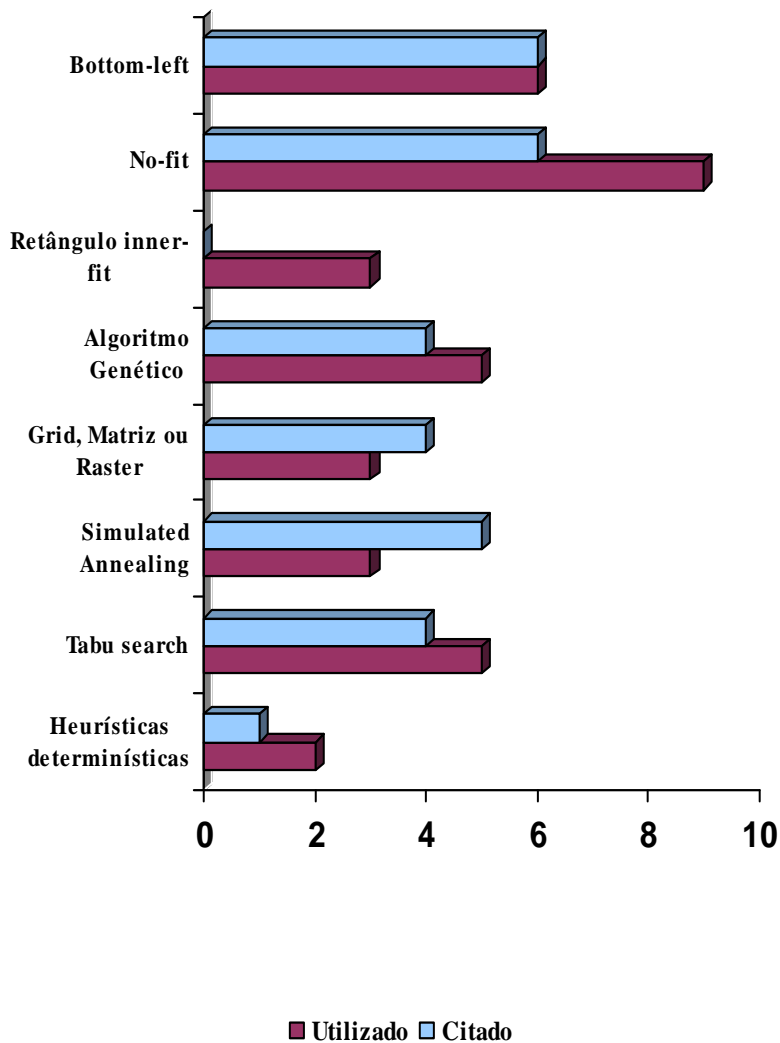


Figura 14: Principais tipos de soluções para o problema do encaixe dos artigos pesquisados
Fonte: a Autora

3.3 Documentação Direta

Com uma parte consistente realizada da fundamentação teórica foi possível iniciar a outra técnica utilizada para coleta de dados: a documentação direta, que foi feita através de observações diretas e entrevistas. No presente trabalho, a documentação direta foi uma pesquisa exploratória, cuja meta era demonstrar a natureza do problema e sugerir possíveis soluções ou novas ideias. Para conseguir informações relevantes na fase de pesquisa da documentação direta, a mesma foi baseada na metodologia de coleta de dados proposta por Kotler e Keller (2006) para pesquisas de marketing. A metodologia utilizada em pesquisas de marketing é baseada no método científico. Os autores sugerem seis etapas para o processo de pesquisa, que serão descritos a seguir.

A primeira etapa corresponde à definição do problema, neste caso foi o mesmo do projeto de pesquisa. A segunda etapa está relacionada com o desenvolvimento do plano de pesquisa e a definição de fonte de dados, abordagens de pesquisa, instrumentos de pesquisa, plano de amostragem e método de contato. A fonte de dados é primária (ou direta) e foi realizada através de entrevistas com alguns profissionais que trabalham com o encaixe manual de moldes na indústria do vestuário. A abordagem de pesquisa foi por observação; antes das entrevistas foi realizada a observação e filmagem de alguns profissionais realizando o encaixe manual de moldes. Essa observação auxiliou na comparação dos passos que seguem para realizar o encaixe de moldes com o que é descrito na entrevista. O instrumento de pesquisa é a observação direta e a entrevista presencial, ambas qualitativas, com questões relativamente estruturadas. As questões da entrevista foram formuladas com base nos pressupostos resultantes dos pontos importantes da fundamentação teórica. Em relação ao plano de amostragem foram definidos três critérios. O primeiro, a unidade da amostra, que como já citado foi composta por profissionais que realizam o encaixe manual de moldes. O tamanho da amostra foi de cinco empresas (representadas por cinco profissionais). O procedimento de amostragem é definido como não-probabilístico (denominado de amostra de julgamento, em que o pesquisador seleciona membros da população que são bons fornecedores de informações precisas). O método de contato foi através da entrevista pessoal. A terceira etapa foi a parte de coleta das informações. A quarta etapa corresponde à análise das informações, em que os dados foram tabulados e a partir dos mesmos feitos algumas conclusões. Na etapa cinco os resultados relevantes são apresentados. Após as entrevistas e observações diretas foi feita a triangulação entre os resultados obtidos nas observações diretas, nas entrevistas com os dados indiretos obtidos na fundamentação teórica. A sexta etapa corresponde à tomada de decisão, em que é feita a avaliação das informações obtidas na coleta de dados da documentação direta e as possíveis aplicações dessas informações.

3.4 Técnica de encaixe proposta e protótipo funcional

Com o embasamento obtido na fase principal da etapa de coleta de dados e com a triangulação dos dados diretos e indiretos obtidos foi definida uma técnica para o encaixe de moldes com formas irregulares aplicado para a indústria do vestuário. A descrição da técnica proposta está no Capítulo 5. Após definida a técnica de encaixe, ela foi implementada na linguagem de programação *Delphi*. A implementação da técnica gerou um protótipo funcional

para o encaixe de moldes. Através desse protótipo funcional foi possível a realização de testes comparativos, descritos no Capítulo 7.

Utilizou-se, para a realização dos testes, um computador com processador Intel® Core™2 Duo T6600 (2.2 GHz, 2 MB L2 cache, 800 MHz FSB), com memória de 3GB e disco rígido de 500GB. Esses testes auxiliaram a determinar a eficiência do encaixe realizado pela técnica proposta e comparar os resultados obtidos com outras pesquisas e com um *software* comercial. Por se tratar de um protótipo funcional, algumas melhorias ainda precisam ser realizadas. Neste trabalho não é apresentado um *software* pronto, do ponto de vista comercial, mas sim, um programa que realiza o encaixe de acordo com a técnica proposta e onde é possível avaliar a mesma.

4. PROCESSO DE INTERVENÇÃO

O processo de intervenção, assim como descrito na metodologia, foi composto por três etapas: Pontos Importantes da Fundamentação Teórica (dados secundários), Observações Diretas (dados primários) e Entrevistas (dados primários). A seguir são descritas cada uma dessas etapas, a triangulação dos dados e as conclusões provenientes da triangulação.

4.1 Pontos Importantes da Fundamentação Teórica

Durante as leituras da fundamentação teórica foi possível detectar pontos importantes para a elaboração das questões da entrevista e outros fundamentais para a formulação e decisão da técnica proposta neste trabalho para solucionar o problema de encaixe de moldes na indústria do vestuário. Os principais pontos são descritos a seguir e estão organizados em três sub-capítulos: Critérios para ordenar os moldes, Início do encaixe e Critérios para a construção do *layout* de encaixe.

4.1.1 Critérios para ordenar os moldes

Todos os artigos pesquisados, listados no Quadro Teórico definem pelo menos um critério (baseado em um algoritmo) seja para ordenar as peças ou para encaixar as mesmas no retângulo maior. A diversidade de critérios e técnicas utilizadas também é evidenciada no Quadro Teórico. As técnicas implementadas em um trabalho geralmente são comparadas com outras, numa tentativa de avaliar quais são as melhores.

Em Burke e Kendall (1999), por exemplo, a busca tabu alcançou melhores resultados do que o resfriamento simulado, porém o algoritmo genético alcançou resultados piores do que o resfriamento simulado. Esses tipos de resultados não podem ser generalizados, assim não é possível afirmar que o resfriamento simulado é melhor do que o algoritmo genético e pior do que a busca tabu. Os algoritmos dependem principalmente do modo como foram implementados. Quanto mais dirigidos para a solução do problema, mais eficientes costumam ser. Em contrapartida, quanto mais genéricos e aplicáveis para diversos problemas, menos eficientes eles são.

Wolpert e Macready (1996) afirmam a partir do teorema da inexistência do almoço grátis (*No-Free-Lunch Theorem*) que algoritmos de busca¹⁵ apresentam desempenho semelhante quando são aplicados aos diversos problemas existentes. O mais importante dessa teoria é que nenhum algoritmo genérico (possível de ser aplicado para uma variedade de problemas de busca) pode ser melhor do que um algoritmo desenvolvido para a resolução de um problema específico. Um algoritmo de busca deve embutir o máximo de conhecimento sobre o problema.

Com base nessas questões foi possível formular o pressuposto 1: **Ordenar os moldes antes de realizar o encaixe influencia na eficiência do mesmo.**

4.1.2 Início do encaixe

Algumas abordagens da literatura privilegiam as peças maiores (quando o problema é direcionado para a indústria do vestuário as peças podem também serem chamadas de moldes) na construção inicial do encaixe. Gomes e Oliveira (2006) observaram a existência de uma alta diversidade de tamanhos de moldes no problema do encaixe encontrado na indústria do vestuário. Observaram que a colocação dos moldes maiores primeiro é significativa na produção de boas soluções. Os autores dividiram o conjunto de moldes que devia ser encaixado em dois grupos, de acordo com o tamanho dos moldes (o primeiro grupo composto pelos maiores moldes e o segundo grupo continha os menores moldes). Eles usaram um método de busca com grande esforço computacional para colocar o primeiro grupo de moldes (os maiores). Na sequência, utilizaram um algoritmo de busca rápida para inserir o outro grupo de peças (os menores).

M'Hallah, Bouziri e Jilani (2001) observaram o trabalho dos especialistas e afirmam que os mesmos iniciam o encaixe através das maiores peças e tentam encaixar as menores nos espaços que sobram do encaixe das maiores. O método de colocação dos especialistas, segundo os autores, tende a inserir cada peça à esquerda do *layout* e maximizando a utilização total da largura. A colocação também tende a minimizar buracos gerados, aproveitando encaixar peças menores nesses espaços, sempre que possível.

Kopardekar e Mital (1999 *apud* MARTINS e TSUZUKI, 2009) afirmam que as heurísticas determinísticas são baseadas em observações do trabalho de especialistas que

¹⁵ O problema de ordenar os moldes para o encaixe pode ser considerado como um problema de busca.

lidam com o problema de encaixe. As heurísticas determinísticas mais comuns ordenam as peças segundo os critérios: decrescente de área, decrescente de comprimento e decrescente de largura (MARTINS e TSUZUKI, 2009; HIFI e M'HALLAH, 2003; M'HALLAH, BOUZIRI e JILANI, 2001). Kopardekar e Mital (1999 *apud* MARTINS e TSUZUKI, 2009) afirmam que os especialistas tendem a colocar primeiro a maior peça no encaixe. Apesar de simples, esta classificação obtém surpreendentemente bons resultados na maioria dos casos. Isso pode ser explicado pelo fato de um grande número de itens de pequena dimensão poder ser inseridos em uma variedade maior de regiões do que um pequeno número de peças grandes na mesma área.

Com base nessas questões foi possível formular o pressuposto 2: **O encaixe inicia com a colocação das maiores peças primeiro.**

4.1.3 Critérios para a construção do *layout* de encaixe

O problema do encaixe bidimensional, como já citado anteriormente, pode ser dividido em dois subproblemas: ordenação das peças para serem encaixadas e construção do encaixe (*layout*). Os critérios para construção do *layout* são menos diversificados do que os que buscam ordenar as peças para o encaixe.

A partir da fundamentação teórica é possível perceber que diferentes nomes são dados para técnicas de construção do *layout* de encaixe muito semelhantes. Isso ocorre em Wong *et al.* (2009), os autores denominam que a inserção de peças no encaixe ocorre através de uma matriz bidimensional, porém o processo é muito semelhante ao *bottom-left* (encaixar as peças no espaço disponível à esquerda e para baixo). Hifi e M'Hallah (2003) também propõem uma nova técnica para a inserção das peças, afirmam não ser o *bottom-left*, nem uma melhoria do mesmo. Porém, a nova técnica desenvolvida pelos autores contém em seus princípios muitas semelhanças com a técnica *bottom-left*.

Em Burke *et al.* (2006) os autores utilizam o *bottom-left-fill* que parece se distinguir do *bottom-left* pela capacidade de preencher buracos.

A técnica *bottom-left* em muitos trabalhos é utilizada juntamente com outros métodos (WONG *et al.*, 2009; GOMES e OLIVEIRA, 2006; DOWSLAND, VAID e DOWSLAND, 2001; BABU e BABU, 2001). Em alguns destes casos (WONG *et al.*, 2009; BABU e BABU, 2001) o posicionamento das peças no retângulo maior ocorre também através de *grids*. Essa forma de construção do *layout* de encaixe parece ser de simples implementação, porém

Bennell e Oliveira (2008) alertam para o esforço computacional exigido para essa técnica. Em Burke *et al.* (2006) os *grids* são substituídos por eixos.

Outra técnica utilizada para a construção do *layout* de encaixe e que permite a inserção no material que será cortado de duas peças sem que ocorra sobreposição é técnica do polígono *no-fit* (COSTA, GOMES e OLIVEIRA, 2009; BURKE *et al.*, 2007). A técnica do polígono *no-fit* exige esforço computacional inferior quando comparada com algoritmos baseados no campo da inteligência computacional e que se beneficiam de observações da natureza, como algoritmos genéticos, busca tabu e resfriamento simulado.

Com base nessas questões foi possível formular o pressuposto 3: **Os moldes são encaixados no tecido de acordo com algum critério.**

Os pressupostos formulados guiaram as questões das entrevistas que foram realizadas com os especialistas. Cada uma das perguntas teve o intuito de esclarecer ou auxiliar no entendimento de cada um desses pressupostos. Antes das entrevistas foram realizadas as observações diretas em que os pressupostos também auxiliaram na condução das conclusões dos passos utilizados pelos especialistas.

4.2 Observações diretas

As observações diretas foram realizadas através de filmagens com uma amostra de cinco empresas (representadas por cinco profissionais). Após as observações diretas foram realizadas entrevistas com esse mesmo grupo de profissionais. Abaixo, através de gráficos (fig. 15), é apresentada a caracterização da amostra do grupo observado e entrevistado.

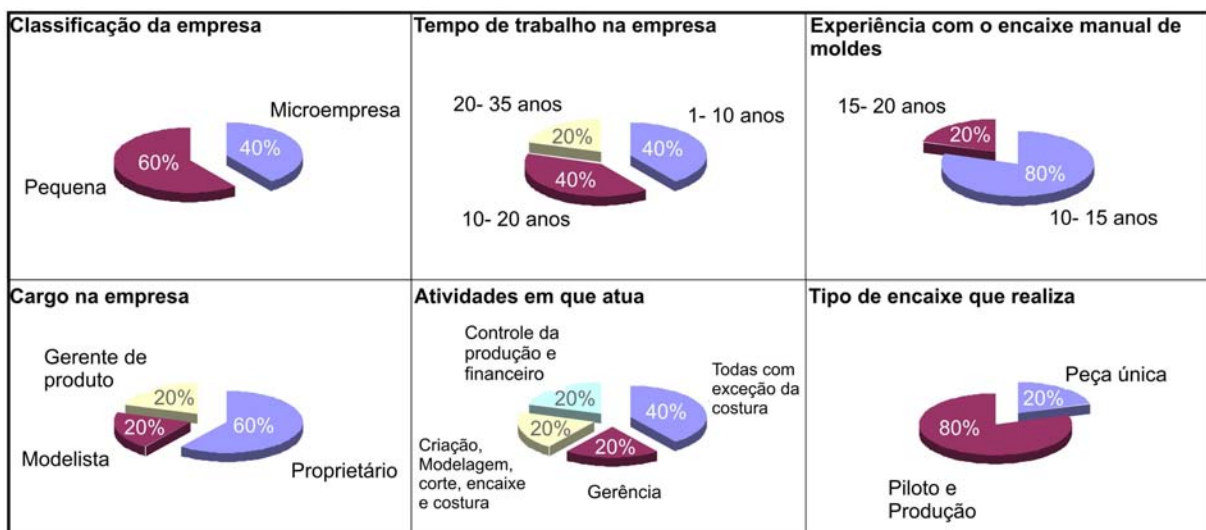


Figura 15: Caracterização da amostra

Fonte: a Autora

Antes das observações foi explicado às empresas para que fim seriam utilizadas as filmagens e uma breve introdução sobre o tema da pesquisa. Dentro da empresa uma pessoa foi escolhida (pela própria empresa) para ser filmada (fig. 16).



Figura 16: Empresas observadas realizando o encaixe da jardineira infantil e do casaco feminino
Fonte: a Autora

Antes do início da filmagem foi apresentada, também para o entrevistado, uma rápida introdução sobre quem era a pesquisadora, do que se tratava a pesquisa e as etapas que seriam seguidas (encaixe manual de duas peças realizado pelo entrevistado, informações sobre dados pessoais para caracterização da amostra com 8 questões e entrevista com um total de 9 perguntas). Após esclarecer essas informações foi entregue os moldes para entrevistado e explicado cada um dos moldes do primeiro modelo (fig. 17), uma jardineira infantil.

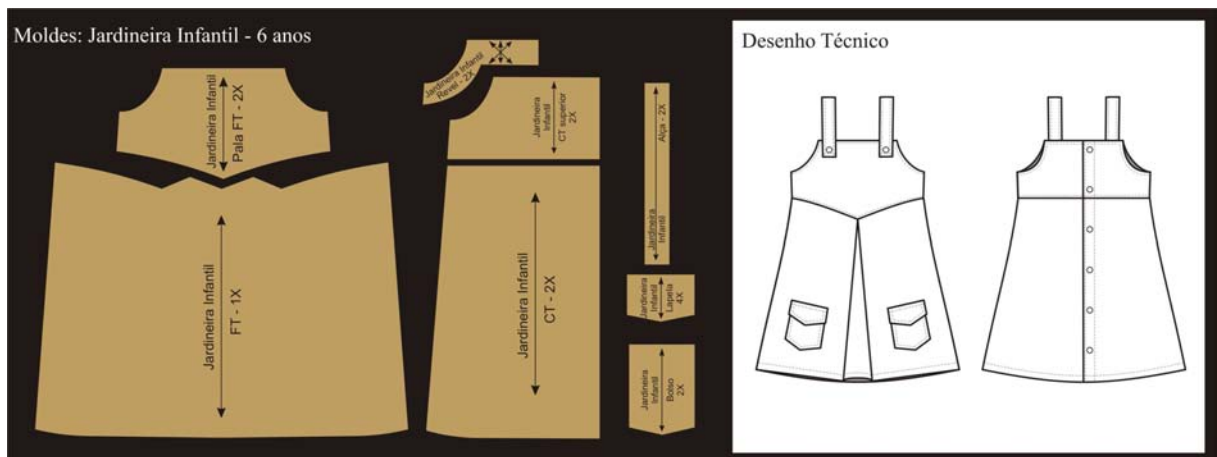


Figura 17: Moldes e desenho técnico da jardineira infantil (modelo 01)
Fonte: a Autora

Após o término do encaixe manual do modelo 01 (jardineira infantil) foi entregue e explicado o segundo modelo (casaco feminino), mais complexo e com um número maior de peças (fig.18).

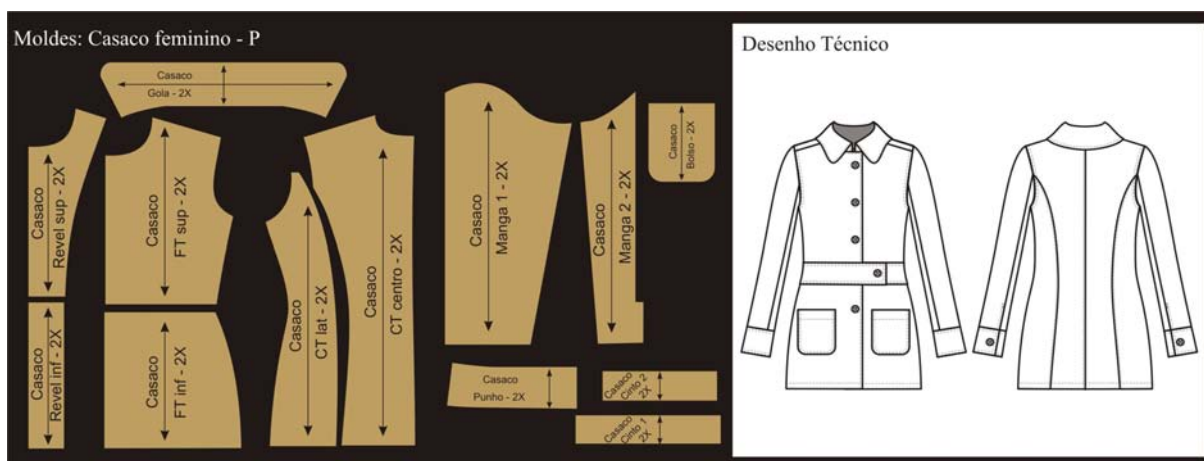


Figura 18: Moldes e desenho técnico do casaco feminino (modelo 02)

Fonte: a Autora

Também foi solicitado que os entrevistados utilizassem o tecido definido para a pesquisa, uma tricoline 100% algodão, com largura de 145 cm (sem considerar a orela) e comprimento de 2,50 m. Assim, todos os participantes utilizaram o mesmo tecido para realizar o encaixe do modelo da jardineira infantil e do casaco feminino. Seguiram a mesma ordem em todo o processo, iniciando pelo modelo da jardineira infantil e finalizando com o casaco feminino. Não foram impostas restrições de tempo e em alguns casos, foi possível observar que os entrevistados não seguiram uma rigidez em relação ao fio do tecido, rotacionando peças à 90° e permitindo também uma pequena tolerância de giro (em torno de 5°) para alguns moldes.

Durante a realização do encaixe todo o processo foi filmado, o que permitiu a construção de tabelas (tab. 02 e 03) com os passos utilizados pelos especialistas para encaixar manualmente os moldes no tecido. O tempo para realizar cada um dos encaixes foi cronometrado, porém não foi divulgado aos entrevistados essa ação da pesquisadora para que não influenciasse negativamente no processo de encaixe. O objetivo não era realizar o encaixe no menor tempo possível, porém é uma informação importante e necessária para comparar os resultados obtidos nas observações e também para uma futura comparação com os resultados que serão obtidos e o tempo gasto para alcançá-los através do encaixe automatizado.

Tabela 02: Etapas seguidas pelos especialistas para o encaixe dos moldes da jardineira infantil

Empresas				
Empresa 1	Empresa 2	Empresa 3	Empresa 4	Empresa 5
Pegou FT e CT	Pegou FT	Encaixou FT	Pegou FT e CT	Encaixou FT
Encaixou a FT	Encaixou FT	Encaixou CT	Encaixou CT	Encaixou CT
Encaixou CT	Encaixou Pala FT	Espelhou CT	Encaixou FT	Encaixou CT superior e Revel
Pegou Pala FT	Pegou Bolso e Lapela	Encaixou Alça	Pegou CT superior e Revel	Tirou Revel
Não encaixou Pala FT	Encaixou Lapela	Pegou CT superior e Revel	Encaixou CT superior	Encaixou Alça
Pegou CT superior	Encaixou Bolso	Encaixou CT superior	Espelhou CT	Encaixou Revel
Moveu CT	Encaixou Alça	Descobriu Revel fio duplo deixou p/ depois	Encaixou Revel	Encaixou FT
Encaixou CT superior	Tirou Alça, Bolso e Lapela	Encaixou Pala FT	Encaixou Pala	Encaixou Bolso
Moveu CT novamente	Encaixou CT	Tentou encaixar Revel	Encaixou Alça	Encaixou Lapelas
Perguntou do Revel	Encaixou CT superior	Pegou Bolso e Lapela	Encaixou Lapelas	Trocou Alça de lugar
Pegou bolso	Encaixou Bolso	Tentou encaixar o Bolso e a Lapela	Encaixou Bolso	Tirou Bolso
Encaixou CT superior	Encaixou Lapela	Tentou encaixar o Revel	Tentou trocar alça de lugar	Encaixou Bolso
Encaixou bolso	Encaixou Alça	Encaixou a Lapela		Trocou Revel de lugar
Encaixou lapela	Encaixou Revel	Tirou Revel		Desceu Bolso e Revel
Encaixou Revel		Encaixou Bolso		Trocou Lapela de lugar
Tirou Revel		Trocou Lapela de lugar		Tentou trocar Bolso, Alça, Revel de lugar
Encaixou mais uma Lapela		Tirou Lapela		Retornou Bolso, Alça, Revel para posição
Pegou Revel		Voltou Lapela para onde estava antes		
Encaixou FT superior		Tentou espelhar CT superior, mas voltou		
Tentou encaixar Revel		Encaixou Revel		
Pegou Alça				
Tirou Bolso e Lapelas				
Encaixou Alça				
Encaixou Bolso e Lapelas				
Pegou Revel				
Moveu CT superior				
Encaixou Revel				
Moveu Lapela				
Encaixou lapela				
Tempo total: 3:50 min	Tempo total: 2:25 min	Tempo total: 5:00 min	Tempo total: 1:44 min	Tempo total: 4:20 min
Total de ações: 31	Total de ações: 16	Total de ações: 22	Total de ações: 14	Total de ações: 19
Rendimento: 0,67 m	Rendimento: 1,00 m	Rendimento: 0,66 m	Rendimento: 0,93 m	Rendimento: 0,70 m

Fonte: a Autora

Tabela 03: Etapas seguidas pelos especialistas para o encaixe dos moldes do casaco feminino

Empresas		
Empresa 1	Empresa 2	Empresa 5
Pegou FT sup e FT inf	Pegou FT	Encaixou CT centro
Pegou CT centro e CT lat	Encaixou FT sup	Encaixou CT lat
Encaixou CT centro e CT lat	Encaixou FT inf	Encaixou FT inf
Encaixou FT inf	Encaixou CT centro	Encaixou FT sup
Encaixou FT sup	Encaixou CT lat	Pegou Cintos 1 e 2, Revel inf, Punho e Manga 2
Espelhou CT centro e CT lat	Encaixou Manga 1	Encaixou Bolso
Pegou Revel inf	Encaixou Bolso	Tentou espelhar CT lat
Pegou Revel sup	Encaixou Revel sup	Tirou Bolso
Largou Revel inf e Revel sup	Encaixou Manga 2	Encaixou Gola
Pegou a Gola	Espelhou Manga 2	Encaixou Manga 2
Largou a Gola	Encaixou Punho	Tentou encaixar Manga 1
Encaixou os Bolsos	Encaixou Gola	Tirou Manga 2
Encaixou Revel inf	Encaixou Cinto 1	Encaixou Manga 1
Encaixou Revel sup	Encaixou Cinto 2	Trocou Gola de lugar
Encaixou Manga 1	Encaixou Revel inf com fio trocado	Encaixou Manga 2
Trocou de lugar Revel sup		Espelhou Gola
Encaixou Gola		Encaixou Revel inf
Espelhou Gola		Encaixou Bolso
Pegou Manga 2		Tentou encaixar Cinto 2
Tirou Revel sup		Encaixou Revel sup
Trocou de lugar Manga 1		Encaixou Cinto 2
Espelhou Manga 1		Encaixou Punho
Encaixou Manga 2		Encaixou Cinto 1
Espelhou Manga 2		
Encaixou Revel sup		
Espelhou Revel sup		
Trocou de lugar Manga 1 e Manga 2		
Espelhou Revel sup		
Encaixou Punho		
Encaixou Cinto 2		
Encaixou Cinto 1		
Tentou trocar Cinto 2 de lugar		
Tempo total: 6:40 min	Tempo total: 3:20 min	Tempo total: 6:10min
Total de ações: 34	Total de ações: 17	Total de ações: 25
Rendimento: 1,58 m	Rendimento: 1,95 m	Rendimento: 1,82 m

Fonte: a Autora

Como se pode observar na Tabela 03 foi possível apenas descrever as ações de encaixe para o casaco feminino de três empresas, as outras duas empresas realizaram o encaixe, porém, por motivos técnicos não foi possível descrever as ações passo a passo. Na

Tabela 04 são apresentados todos os comprimentos obtidos pelas empresas no encaixe do modelo da jardineira infantil e do casaco feminino.

Tabela 04: Comprimentos obtidos nas observações diretas

Modelos	Empresas				
	Empresa 1	Empresa 2	Empresa 3	Empresa 4	Empresa 5
Jardineira Infantil	67,00 cm	100,00 cm	66,00 cm	93,50 cm	70,00 cm
Casaco feminino	158,00 cm	195,00 cm	156,00 cm	200,00 cm	182,00 cm

Fonte: a Autora

4.2.1 Conclusões obtidas com as observações diretas

Através do quadro de ações do encaixe do molde da jardineira infantil é possível observar que todos os participantes começaram pelos moldes da frente (FT) e das costas (CT). Esses moldes são os que possuem maior dimensão do modelo, e girando um deles 180° e encaixando as peças ocupam uma área menor do que sem rotação. Em duas empresas participantes, as que obtiveram os menores comprimentos de tecido essas duas peças foram encaixadas dessa forma. No encaixe do modelo do casaco feminino todos iniciaram dispendo os moldes da parte da frente (FT sup e FT inf) e das costas (CT centro e CT lat) colocando um ao lado do outro, com exceção de uma empresa.

Todos os participantes optaram por realizar o encaixe com o tecido dobrado ao meio (enfestado), assim se há necessidade de cortar duas vezes um molde, ele só é inserido uma vez no tecido, porque o mesmo está dobrado. No encaixe dos moldes da jardineira infantil, todos os participantes começaram pelo início do comprimento e pela dobra do tecido.

Também foi possível observar que as empresas que alcançaram encaixes com menor comprimento (empresa 1, empresa 3 e empresa 5 no encaixe da jardineira infantil e empresa 1 e empresa 5 no encaixe do casaco feminino) utilizaram mais tempo para fazer o encaixe e um número de ações relativamente maior quando comparadas com as outras empresas participantes. Os encaixes com pior rendimento tiveram os números mais baixos de ações realizadas, trocaram menos vezes os moldes de lugar quando comparado aos outros.

Outra análise que pode ser feita com base no quadro de ações do encaixe (em ambos os modelos) é a troca de posição dos moldes. Os moldes de maior dimensão em poucos momentos trocam de posição, uma vez que já foram inseridos na área de encaixe. Quando trocam de posição, esta ação ocorre no início do processo de encaixe. Os moldes de menor

dimensão trocam consideravelmente mais de posições com o intuito de melhorar a eficácia do encaixe.

Durante o processo de encaixe há preocupação com o comprimento do molde, a dimensão que vai influenciar diretamente a utilização do comprimento do tecido. Foi possível observar que se um molde, com um comprimento maior do que a maioria, sobrar para ser encaixado no final do processo e todo o seu comprimento tiver que ser somado ao que já foi encaixado o desperdício será muito maior do que se uma peça com grande largura e pequeno comprimento sobrar para ser encaixada no final.

Houve predominância no encaixe do modelo do casaco feminino em que peças semelhantes com maior comprimento e menor largura, como por exemplo, os moldes da manga e do revel, ficaram agrupados em uma região. Com exceção da empresa 1, no encaixe dos moldes do modelo 2 as peças com comprimento menor do que a maioria foram encaixadas por último.

A seguir são descritas as entrevistas realizadas após as observações e filmagens.

4.3 Entrevistas

As entrevistas foram realizadas com os especialistas em encaixe manual, os mesmos que tinham sido filmados realizando o processo de encaixe. Todos os entrevistados têm experiência (entre 10 e 20 anos) com o encaixe manual de moldes, porém dois dos entrevistados não exercem mais essa atividade dentro da empresa.

Foi seguido um roteiro básico de perguntas que estão relacionadas aos pressupostos elaborados a partir dos Pontos Importantes da Fundamentação Teórica. O pressuposto 1 corresponde a pergunta 1. As perguntas 2, 3 e 4 estão relacionadas com o pressuposto 2 e as perguntas 5, 6, 7 e 8 com o pressuposto 3. Em adição, na última pergunta foi dada uma oportunidade para que os entrevistados pudessem acrescentar informações que considerassem relevantes e que não tinham sido abordadas no decorrer da entrevista. A entrevista foi estruturada, porém não houve rigidez e alguns casos algumas perguntas não foram feitas ao entrevistado, já que o mesmo havia respondido a questão em outra pergunta. Em outros momentos, pelo decorrer da entrevista, algumas perguntas não eram aplicáveis.

A seguir são mostrados os principais pontos de cada pergunta da entrevista. A entrevista na íntegra está disponível no Apêndice D. Nos comentários das respostas das

entrevistas os participantes são referenciados como: empresa 1, empresa 2, empresa 3, empresa 4 e empresa 5.

4.3.1 Questões da entrevista

Questão 1 da entrevista

A entrevista iniciou com a questão “A escolha da ordem em que os moldes serão encaixados é realizado de forma aleatória?”. Essa pergunta foi formulada com base no subproblema do encaixe, descrito por muitos autores (Wong *et al.*, 2009; Hifi e M’Hallah, 2003; Babu e Babu 2001), de ordenar as peças de acordo com algum critério antes de realizar a construção do *layout* do encaixe. Hifi e M’Hallah (2003), como descrito anteriormente, desenvolveram duas heurísticas diferentes para resolver o problema do encaixe de itens regulares e irregulares. Na primeira heurística a ordem das peças é determinada em função decrescente de comprimento, largura e área. Essas três ordens são inseridas no encaixe e a que apresentar menor comprimento é selecionada. A Figura 19 mostra um exemplo com os três critérios de ordenamentos propostos por Hifi e M’Hallah (2003).

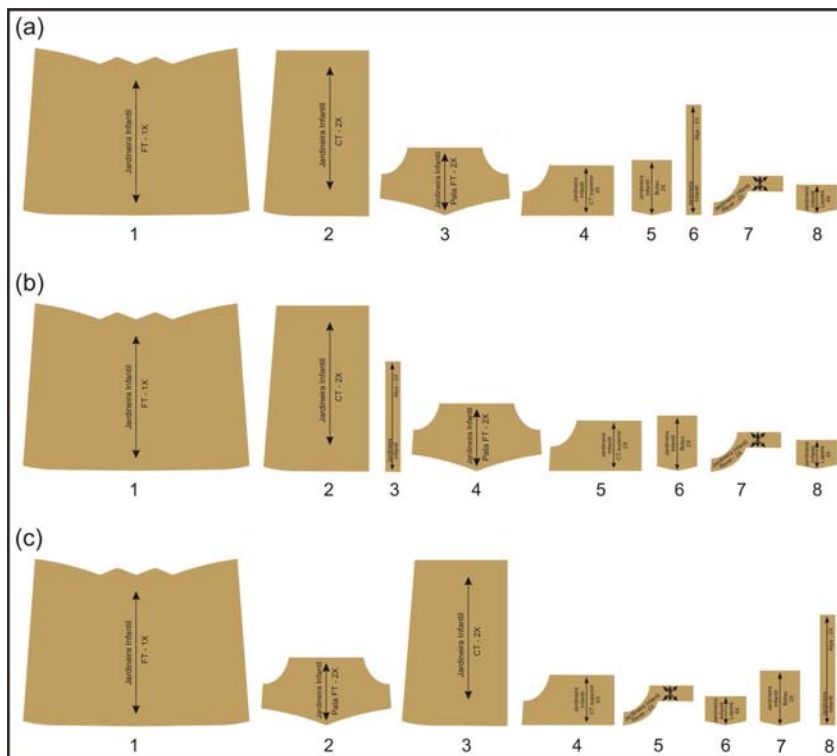


Figura 19: (a) ordem em função decrescente de área, (b) ordem em função decrescente de comprimento, (c) ordem em função decrescente de largura

Fonte: a Autora

A técnica para ordenar as peças utilizada por Hifi e M'Hallah (2003) na primeira heurística desenvolvida por eles coincide com a utilizada por todos os especialistas entrevistados que iniciam o encaixe com os maiores moldes do modelo (ordem decrescente de área). A empresa 2 reforçou que iniciava sempre pelos moldes da frente e das costas porque eram a base do modelo e que geralmente determinavam o maior consumo de tecido. A empresa 3 informou que normalmente começa com os moldes maiores e tem preferência pelos moldes que possuem um ângulo reto. Os moldes desse formato ela posiciona-os com o fio paralelo ao comprimento do tecido e encostado a uma das extremidades laterais do comprimento, dessa forma não desperdiçam tecido e deixam o espaço do meio livre. Na empresa 3 também há uma preferência por encaixar os moldes de uma forma que um deles fique espelhado (giro de 180°), porque segundo a especialista desse modo os moldes tem uma perda menor de tecido (fig. 20). Costa, Gomes e Oliveira (2009) explicam que uma das melhores formas de junção de duas peças semelhantes é rotacionando uma delas 180 graus.

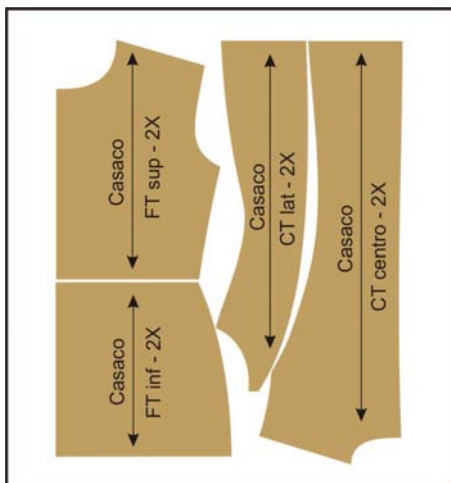


Figura 20: Exemplo de moldes semelhantes com um deles rotacionado 180° (frente e costas do casaco feminino)
Fonte: a Autora

Questão 2 da entrevista

A segunda questão abordada na entrevista foi “Há alguma semelhança de forma ou tamanho entre os moldes que são encaixados em uma sequência, um depois do outro?”. Essa pergunta visava esclarecer a semelhança que havia entre os moldes, caso a pergunta anterior tivesse tido uma resposta negativa (que as peças não eram escolhidas de forma aleatória). Também não poderia ser substituída pela pergunta anterior para não influenciar nas respostas, caso essa ordem não tivesse nenhum parâmetro de escolha.

As empresas 1, 2 e 5 já haviam respondido a questão na pergunta anterior. A empresa 3 esclareceu que as primeiras peças tinham prioridade em função do tamanho e as menores

eram escolhidas em relação ao critério forma. Neste caso, a forma que se encaixava melhor no espaço que havia sobrado do encaixe dos maiores moldes. A empresa 4 ressaltou o critério experiência, que naturalmente já visualiza o encaixe apenas olhando para os moldes. M'Hallah, Bouziri e Jilani (2001) e Dowsland e Dowsland (1995) comentam que a experiência dos especialistas é fundamental para a realização de bons encaixes manuais e que a mesma, em alguns casos, pode levar anos para ser adquirida.

Questão 3 da entrevista

A terceira questão da entrevista foi “Os moldes que são inseridos primeiro no tecido para o encaixe são os de maior dimensão?”. Essa pergunta tinha o intuito de esclarecer e tirar qualquer equívoco que houvesse nas perguntas anteriores. Dessa forma, ela não foi feita nas empresas 1, 4 e 5 que já tinham sido suficientemente claras em suas respostas anteriores. A empresa 2 respondeu que não, que o critério que utiliza não é o da dimensão. Os primeiros moldes que encaixa correspondem a frente e as costas do modelo. É importante considerar que na maioria dos modelos, os moldes da frente e das costas correspondem as peças de maior dimensão, porém em alguns casos isso pode não ocorrer.

Questão 4 da entrevista

Esclarecido o procedimento de ordenação das peças para o encaixe nas perguntas 1, 2 e 3, a quarta questão da entrevista foi “No decorrer do encaixe os moldes de maior dimensão trocam de posição para que melhore o aproveitamento de tecido?”. O intuito dessa pergunta era saber o procedimento de construção do encaixe. Na literatura, são poucas as técnicas que tentam melhorar o rendimento do encaixe com as peças encaixadas, movendo algumas delas para que se ajustem melhor. Uma dessas técnicas é o Jostle (Dowsland e Dowsland, 1998), em que as peças, após encaixadas são movimentadas, no espaço disponível, para a esquerda e para a direita sucessivamente.

Quatro empresas disseram que sim (1, 2, 4 e 5), e dentre essas três evidenciaram que em alguns casos elas podem trocar de posição, porém os moldes menores trocam de posição com mais frequência. A empresa 3 explicou que prefere fixar os maiores moldes primeiro e depois mexer nos menores, trocando os mesmos de posição o quanto for necessário. Ressaltou também que o maior molde ocupa a maior quantidade de tecido, então os outros moldes vão tentar se encaixar nos espaços restantes dos maiores, independente se estão no início, no fim ou no meio.

A empresa 2 disse que não, que geralmente os moldes permanecem onde foram colocados inicialmente.

Questão 5 da entrevista

A questão cinco é semelhante à pergunta anterior: “No decorrer do encaixe os moldes de menor dimensão trocam de posição para que melhore o aproveitamento de tecido?”.

A pergunta não foi feita nas empresas 3 e 4 que já haviam respondido claramente essa questão na pergunta anterior. A empresa 1 ressaltou que os moldes de menor dimensão não tem prioridade e chamou atenção para a concentração dos mesmos na extremidade do tecido. Destacou que o rendimento é pré-definido com os moldes de maior dimensão e que os menores só vão preencher os espaços que sobram. Porém, em alguns casos, como por exemplo, o molde da gola do casaco feminino que possui duas opções de fio (uma com largura maior e comprimento menor e a outra opção o contrário), a preocupação com o molde é em função do seu comprimento, então a opção de como o molde da gola vai ficar no tecido influencia na prioridade do mesmo e na troca de posições.

Questão 6 da entrevista

A sexta questão da entrevista foi “Você encaixa os moldes no tecido colocando os mesmos agrupados mais para um canto tentando preenchê-lo primeiro?”. Essa pergunta foi elaborada em função da popularidade e abrangente utilização da técnica *bottom-left* (ou do *bottom-left-fill*) encontrada na literatura e evidenciada pela construção do quadro teórico. A técnica é utilizada em vários dos trabalhos que alcançaram bons resultados (WONG *et al.*, 2009, BURKE *et al.*, 2006, GOMES e OLIVEIRA, 2006, HIFI e M’HALLAH, 2003). Como já citado anteriormente, Wong *et al.* (2009) e Hifi e M’Hallah (2003) não denominam os métodos utilizados como *bottom-left*. Não se pretende entrar nessa discussão, do que é ou não a técnica *bottom-left*, porém não se pode deixar de evidenciar características do método *bottom-left* em outros métodos descritos e utilizados com relevante eficiência.

A empresa 3 já havia respondido essa questão na pergunta 1 e por este motivo não foi feita a pergunta. A empresa 1 comentou que sempre começa pela lateral e pela barra do tecido, e quando o tecido está dobrado (enfestado), é pela lateral dobrada, porque acredita que se sobrar tecido na parte dobrada o desperdício é maior. A empresa 2 comentou que prefere, quando o tecido tem dobra (está enfestado) iniciar por essa parte com peças inteiras que possam ser colocadas com a metade do molde para aproveitar a dobra do tecido. Quando o modelo tem recorte na frente e nas costas e não tem nenhuma parte que seja inteira (no caso a

frente da jardineira infantil era inteira) não há preferência pelo início da lateral. A empresa 5 evidenciou na resposta o mesmo comentado pela empresa 3, preferindo iniciar com moldes inteiros pela lateral do tecido dobrado (enfestado).

Através das respostas é possível perceber semelhança entre o processo inicial de construção do encaixe manual e o utilizado na técnica *bottom-left*.

Questão 7 da entrevista

A questão 7 dava continuidade a pergunta anterior: “Em caso afirmativo, qual/quais canto(s): superior, inferior, esquerdo ou direito?”

As empresas 1, 2 e 3 já haviam respondido a pergunta na questão anterior. Para as empresas 4 e 5 a pergunta não era aplicável, em função da resposta que haviam dado na questão anterior também.

Questão 8 da entrevista

A oitava questão da entrevista foi “Você tenta primeiro ver como os maiores moldes combinam-se melhor entre eles (em que posição ocupam menos espaço e desperdiçam menos tecido), para depois encaixar os menores moldes?”. Essa pergunta foi direcionada para confirmar algumas questões feitas anteriormente e evidenciar se durante o processo de encaixe eram feitas tentativas de melhorar o posicionamento entre dois moldes. Costa, Gomes e Oliveira (2009) apresentam três técnicas para visualizar o melhor encaixe entre duas peças. Eles buscam a minimização do comprimento, a minimização da largura e a maximização da intersecção (retângulo envolvente na parte em que as peças se tocam).

As empresas 1, 3, 4 e 5 concordaram com a pergunta, e responderam que sim, que buscam encaixar os moldes da melhor forma para que haja um menor desperdício de tecido, porém não deram informações adicionais de como a busca pelo menor desperdício era realizada. Pelo decorrer da entrevista a pergunta não foi aplicada na empresa 2.

Questão 9 da entrevista

A última questão da entrevista foi “Gostaria de relatar alguma outra informação que você considera importante sobre o seu raciocínio durante o processo de encaixe de moldes no tecido?”. Optou-se por deixar uma pergunta final para que o entrevistado pudesse acrescentar informações que considerasse importantes em relação ao processo de encaixe de moldes e que não tinham sido abordadas no decorrer da entrevista.

A empresa 1 ressaltou a importância de observar o molde antes do encaixe, em uma situação, como a do casaco feminino, por exemplo, em que há predominância de moldes inteiros, eles tendem a ter um menor desperdício se ficarem juntos. Mas, a empresa destaca que se essas partes fossem constituídas por partes menores, talvez essa não fosse a melhor forma de uni-las. Também considera que o desperdício de tecido está incluído no custo da peça, mas que é melhor que esse tecido componha uma parte da peça e não seja um desperdício. Essa visão demonstra uma preocupação em evitar um desperdício (resíduo do processo produtivo) que em alguns casos pode ser desnecessário ou pelo menos reduzido consideravelmente.

A empresa 3 comentou que observa a forma que o modelo vai ser costurado, porque normalmente os moldes que vão ter as laterais costuradas apresentam um bom encaixe quando posicionados juntos.

A empresa 5 lembrou da dificuldade em encontrar profissionais capacitados para a realização do encaixe de moldes.

4.3.2 Síntese dos resultados obtidos nas entrevistas

Com os dados qualitativos obtidos nas entrevistas foi construído o Quadro 02. Observam-se algumas similaridades entre as respostas dos entrevistados.

Perguntas	Síntese dos resultados obtidos nas entrevistas				
	Empresa 1	Empresa 2	Empresa 3	Empresa 4	Empresa 5
1 Ordem aleatória	Não, primeiro os moldes maiores. Alguns moldes quando invertidos encaixam melhor.	Não, primeiro frente e costas e depois encaixo o restante.	Não, inicio com as peças maiores e que possuem um ângulo reto para encaixar na lateral.	Não, os moldes maiores primeiro.	Não, sempre na ordem dos moldes maiores para os menores.
2 Semelhança forma ou tamanho	Já respondida na pergunta anterior.	Já respondida na pergunta anterior.	Sim, os primeiros moldes por tamanho e depois pelas formas.	Sim, os maiores moldes e que naturalmente já se encaixam.	Já respondida na pergunta anterior.
3 Moldes de maior dimensão	Já respondida na pergunta anterior.	Não, critério frente e costas primeiro.	Sim.	Já respondida na pergunta anterior.	Já respondida na pergunta anterior.
4 Posição maior dimensão	Sim.	Não, geralmente permanecem onde foram colocados inicialmente.	Sim, mas há preferência em fixar os maiores moldes e mover os menores.	Sim, mas os de menor dimensão trocam mais vezes.	Podem, mas geralmente quem tem prática já sabe onde elas se encaixam melhor.
5 Posição menor dimensão	Não tem tanta prioridade. Há acúmulo de peças menores em uma das laterais.	Sim, prioridade para os moldes maiores e depois os menores vão aleatoriamente nesses espaços.	Já respondida na pergunta anterior.	Já respondida na pergunta anterior.	Sim, nos vãos que sobram do encaixe dos moldes maiores.
6 Canto de início	Início pela dobra (tecido enfiado) e pela barra do tecido.	Início pela orela (quando o molde não tem peça inteira) ou pela dobra (quando o molde tem peça inteira).	Início pelas extremidades laterais, tenho preferência por deixar o espaço do meio livre.	Pelo início.	Quando o tecido está dobrado (enfiado) inicio pela dobra lateral.
7 Qual canto?	Já respondida na pergunta anterior.	Já respondida na pergunta anterior.	Já respondida na pergunta anterior.	Pergunta não aplicável.	Já respondida na pergunta anterior.
8 Moldes combinam entre si	Busco o melhor encaixe entre os moldes, como se fosse um quebra-cabeça.	Pergunta não aplicável.	Isso.	Primeiro os maiores e como eles se encaixam melhor entre eles.	Sim, como eles se encaixam melhor.
9 Outra informação	Moldes inteiros (sem muitos recortes) encaixam-se melhor juntos.	Tenho experiência por isso faço bem o encaixe.	Visualizo como o modelo vai ser costurado, geralmente esses moldes se encaixam bem juntos.	A experiência é fundamental para a realização de um bom encaixe.	Dificuldade em encontrar profissionais que realizem um bom encaixe.

Quadro 02: Síntese dos resultados obtidos nas entrevistas

Fonte: a Autora

Assim, com um total de 9 perguntas foi possível tirar algumas dúvidas que haviam surgido nas Observações Diretas e obter um material fundamental para a triangulação dos dados obtidos nessas três etapas do processo de intervenção.

4.4 Triangulação dos dados

Com os dados obtidos na pesquisa direta e indireta, foi organizado o Quadro 03. A organização dos dados evidencia os pontos coincidentes e auxilia na etapa de tomada de decisão para a definição da técnica proposta para o problema de encaixe de moldes na indústria do vestuário.

Pressupostos	Perguntas	Síntese da triangulação dos dados secundários e primários		
		Fundamentação Teórica (foco nos dados primários)	Observações diretas	Entrevistas
1 Ordenar moldes	1 Ordem aleatória	A utilização de critérios ou heurísticas para ordenar as peças é predominante na literatura.	Iniciam com os maiores moldes, priorizam em seguida os com maior comprimento e por último os menores.	Iniciam pelos maiores moldes.
2 Início com as maiores peças	2 Semelhança forma ou tamanho	Nas abordagens determinísticas são definidos critérios em função do comprimento, largura, área e sobreposição.	Além de iniciarem com os maiores moldes, também encaixam moldes com formas semelhantes juntos.	Prioridade para os maiores moldes e depois para o formato.
	3 Moldes de maior dimensão	_____	Sim, todos iniciaram com os maiores moldes.	A maioria afirmou iniciar com os maiores moldes. Uma das empresa inicia com os moldes da frente e das costas. Nos modelos utilizados esses eram também os maiores moldes.
	4 Posição maior dimensão	A maioria dos métodos pesquisados não troca a posição das peças durante a construção do encaixe. Dowsland e Dowsland (1993) utilizam o Jostle.	Em algumas observações os moldes maiores trocaram de posição (as que obtiveram melhor rendimento), em outras não, permanecem onde tinham sido colocados inicialmente.	A maioria afirmou que os moldes maiores podem em alguns casos trocar de posição, mas que os moldes menores trocam mais vezes pois tentam encaixar nos espaços que sobram.
3 Encaixe de acordo com critério	5 Posição menor dimensão	Predomínio de técnicas que ordenam as peças de diferentes formas. Em Wong <i>et al.</i> (2009), há acúmulo de peças menores na lateral.	Os moldes menores trocaram mais de posição. A troca de posição dos moldes ocorre durante o encaixe.	Os moldes menores trocam mais vezes de posição. Para a empresa 1 os moldes menores não tem prioridade e normalmente estão localizados nas extremidades.
	6 Canto de início	Técnica <i>bottom-left</i> inicia com as peças no canto mais esquerdo e para baixo possível. As peças restantes vão sendo colocadas também com essa prioridade.	Processo muito semelhante com a técnica <i>bottom-left</i> . A maioria inicia por uma das laterais e vai preenchendo o tecido até chegar na outra lateral (como se fossem faixas).	A maioria inicia pela lateral do tecido.
	7 Qual canto?	Esquerda para baixo (<i>bottom-left</i>).	Lateral e barra do tecido.	Lateral e barra do tecido.
3 Encaixe de acordo com critério	8 Moldes combinam entre si	Técnicas variadas, como <i>simulated annealing</i> , algoritmo genético e <i>tabu search</i> .	Prioridade para combinar os maiores moldes entre eles.	Buscam o melhor encaixe entre os moldes.
	9 Outra informação	M'Hallah, Bouziri e Jilani (2001) e Dowsland e Dowsland (1995) citam a dificuldade em formar especialistas em encaixes manuais.	_____	Experiência como fundamental para realizar um bom encaixe.

Quadro 03: Síntese da triangulação dos dados secundários e primários

Fonte: a Autora

4.4.1 Conclusão da triangulação dos dados

Com o intuito de comparar os rendimentos obtidos nos encaixes da observação direta, foram realizados encaixes dos moldes da jardineira infantil e do casaco feminino no *software* Audaces Vestuário Encaixe. O *software* comercial apresentou desempenho superior de 4,42% no encaixe dos moldes da jardineira infantil quando comparado com a empresa 3, que obteve o melhor rendimento entre as empresas observadas, economizando 2,81cm de tecido. É importante destacar que essa comparação foi feita com o tecido enfiado no *software*. No caso dos moldes do casaco feminino, a empresa que obteve o melhor rendimento (empresa 3), conseguiu um encaixe com desempenho superior de 0,14% ao encaixe realizado pelo *software*, economizando 0,23cm de tecido.

A empresa 3, que alcançou os melhores rendimentos de encaixe, apresenta técnica semelhante com a descrita por Gomes e Oliveira (2006). Essa empresa concentra-se no encaixe das maiores peça inicialmente, tentando o melhor encaixe entre as mesmas e após encaixa as menores rapidamente nos espaços que sobraram das maiores. Assim como em

Gomes e Oliveira (2006), há uma separação dos moldes em dois grupos, dos maiores moldes e dos menores. As outras empresas apresentam alguns pontos que também coincidem com essa técnica, como a prioridade para os moldes maiores.

A ordem de entrada dos moldes iniciando com os maiores é unânime entre os especialistas. Para a construção manual do *layout* do encaixe o processo é semelhante ao da técnica *bottom-left*. Os especialistas buscam completar espaços retangulares (com largura fixa e comprimento definido pelo maior molde) e preenchem esse espaço com os moldes menores, completando todo espaço disponível na largura do tecido. Nos dados obtidos na literatura, assim como nos dados diretos, essa técnica apresenta bons resultados, principalmente quando combinada com outros métodos.

Há também a preocupação, no encaixe manual e em alguns artigos (COSTA, GOMES e OLIVEIRA, 2009; HIFI e M'HALLAH, 2003), com o melhor posicionamento de dois moldes entre si. Esse posicionamento pode tender a diminuir a área ocupada pelos dois moldes, o comprimento, a largura ou aumentar o espaço de intersecção em que dois moldes se tocam. Semelhante em alguns aspectos, a técnica do polígono *no-fit* (BURKE *et al.*, 2007) também encaixa os moldes de dois em dois. O espaço de encaixe de dois moldes torna-se um novo polígono e repetindo o processo anterior, um novo molde é somado a esse polígono tornando-se assim outro novo polígono. Porém, a construção do polígono *no-fit* tem as suas peculiaridades, que foram descritas no capítulo Fundamentação Teórica.

Na tabulação das ações realizadas pelos especialistas foram calculados os números totais de ações efetuadas para realizar o encaixe. Em muitos casos, as empresas mediam o comprimento alcançado com um determinado encaixe e depois mudavam algum molde de lugar e retornavam a medir, para saber se tinham conseguido melhorar o rendimento do encaixe. Essa ação de medir e avaliar o comprimento, realizada pelos especialistas, pode ser comparada com a função de avaliação utilizada pelos algoritmos genéticos (WONG *et al.*, 2009). A função de avaliação, como a própria palavra sugere, avalia um critério, no caso do encaixe de moldes, o comprimento ou o rendimento alcançado. O resfriamento simulado também testa uma solução com outra solução do seu vizinho mais próximo, para saber se alcançou resultados melhores. Isso pode parecer óbvio, mas também demonstra a importância de haver diversas opções de encaixe e as mesmas serem avaliadas para definir a solução final.

O algoritmo genético e o resfriamento simulado são exemplos das diferentes abordagens utilizadas para solucionar o problema de encaixe de moldes (que também pode ser considerado como um problema de busca). Essas diversas possibilidades apresentam resultados diferentes nos artigos pesquisados (mesmo quando uma técnica igual é utilizada

para solucionar o mesmo problema). Linden (2008) exemplifica o caso do algoritmo genético, que não necessariamente encontra a solução ótima para um problema, mas quando isso ocorre, nem sempre se consegue repetir o resultado para o mesmo problema. Muitos trabalhos apresentam soluções que em alguns casos são melhores e em outros não, o que ressalta a importância da teoria da inexistência do almoço grátis e comprova que a técnica deve ser direcionada para o problema que deseja-se resolver (WOLPERT e MACREADY, 1996). A forma e a facilidade de implementação do código também são fundamentais para não impedirem o direcionamento adequado para a resolução do problema, evitando buscas consideradas genéricas (BENNELL e OLIVEIRA, 2008; LINDEN, 2008).

5. DESCRIÇÃO DA TÉCNICA DE ENCAIXE PROPOSTA

Os dados obtidos (primários e secundários) e principalmente a triangulação dos mesmos evidenciaram alguns critérios fundamentais na definição da técnica proposta para o encaixe de moldes na indústria do vestuário. Foi avaliada a facilidade de implementação, o desempenho que a mesma pode alcançar e o quanto pode ser direcionada para o problema específico do encaixe de moldes. Somado a isso, se considerou também a capacidade de cálculo computacional, que permite o teste de vários encaixes a partir de diferentes critérios, até que seja definida uma solução final. Também surgiram algumas soluções e ideias através da visualização de encaixes durante o processo de implementação da técnica.

Este capítulo descreve a técnica proposta para o encaixe bidimensional de formas irregulares. Está dividido em três sub-capítulos: Representação Gráfica do Tecido e dos Moldes, Critérios de Ordenamento e Construção do *Layout*.

5.1 Representação Gráfica do Tecido e dos Moldes

A representação gráfica das formas bidimensionais, tanto o tecido (material que será cortado) quanto os moldes, é feita através de uma matriz bidimensional (também chamada de *Grid* ou *Raster*). Cada um desses objetos é dividido em finitas partes de igual dimensão. A dimensão de cada *grid* é igual a um centímetro¹⁶.

O que difere o tecido dos moldes é a informação contida na matriz. Conforme pode ser observado na Figura 21, o tecido, enquanto nenhum molde for encaixado, é todo representado pelo número 0. O número 0 representa um local vazio, em que os moldes podem ser encaixados. A largura do tecido é fixa, definida pelo usuário e o comprimento considerado como infinito (já que sua dimensão é muito superior quando comparada com a largura).

¹⁶ No protótipo funcional desenvolvido a dimensão de cada *grid* corresponde a uma unidade de medida, sendo dependente da unidade de medida dos moldes e do tecido. Como no programa os moldes e o tecido são definidos em centímetros, cada *grid* corresponde a um centímetro.

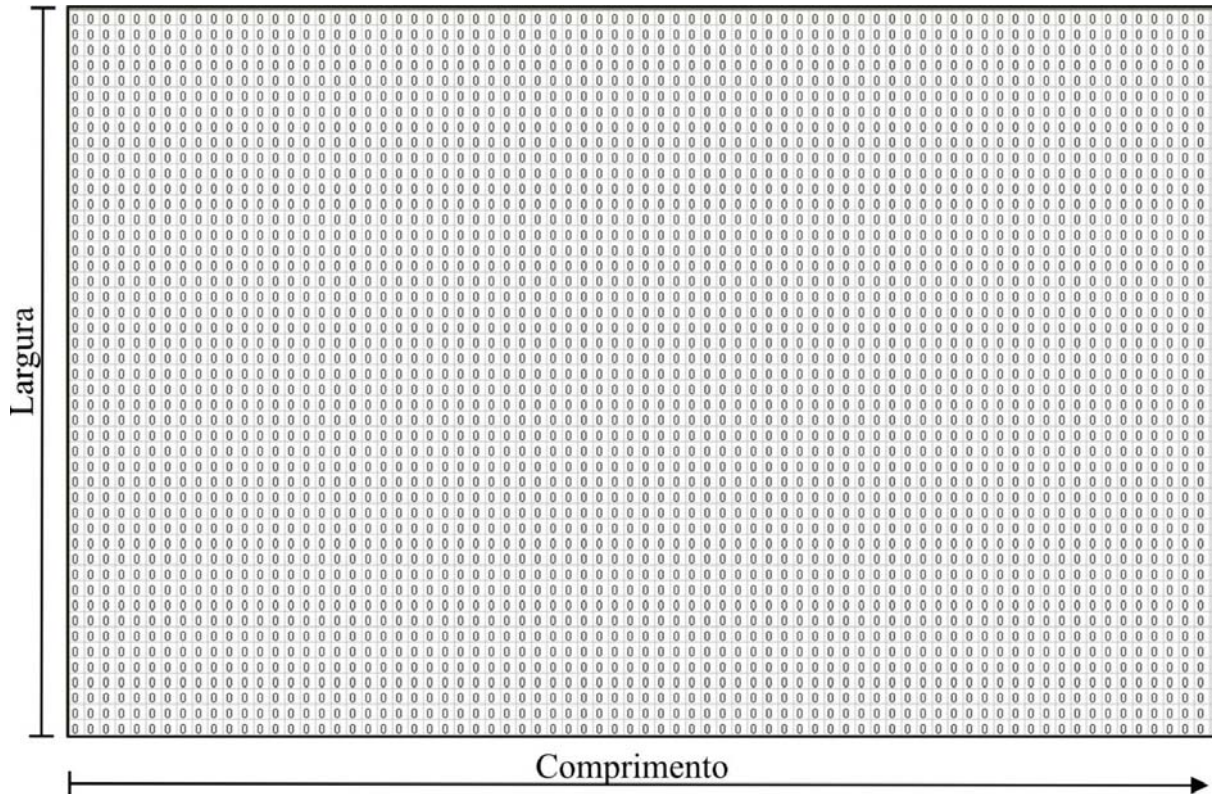


Figura 21: Representação gráfica da matriz bidimensional do tecido
 Fonte: a Autora

A representação da matriz bidimensional dos moldes é feita da mesma forma que em Segenreich e Braga (1986 *apud* Bennell e Oliveira, 2008). Os moldes são contornados por um retângulo envolvente e do mesmo modo que na representação do tecido, os espaços vazios são identificados pelo número 0. Conforme pode ser observado na Figura 22, os *grids* correspondentes ao contorno dos moldes são identificados pelo número 1 e as partes internas pelo número 3. O objetivo dessa representação é facilitar o processo de encaixe através da identificação de áreas sobrepostas de dois moldes.

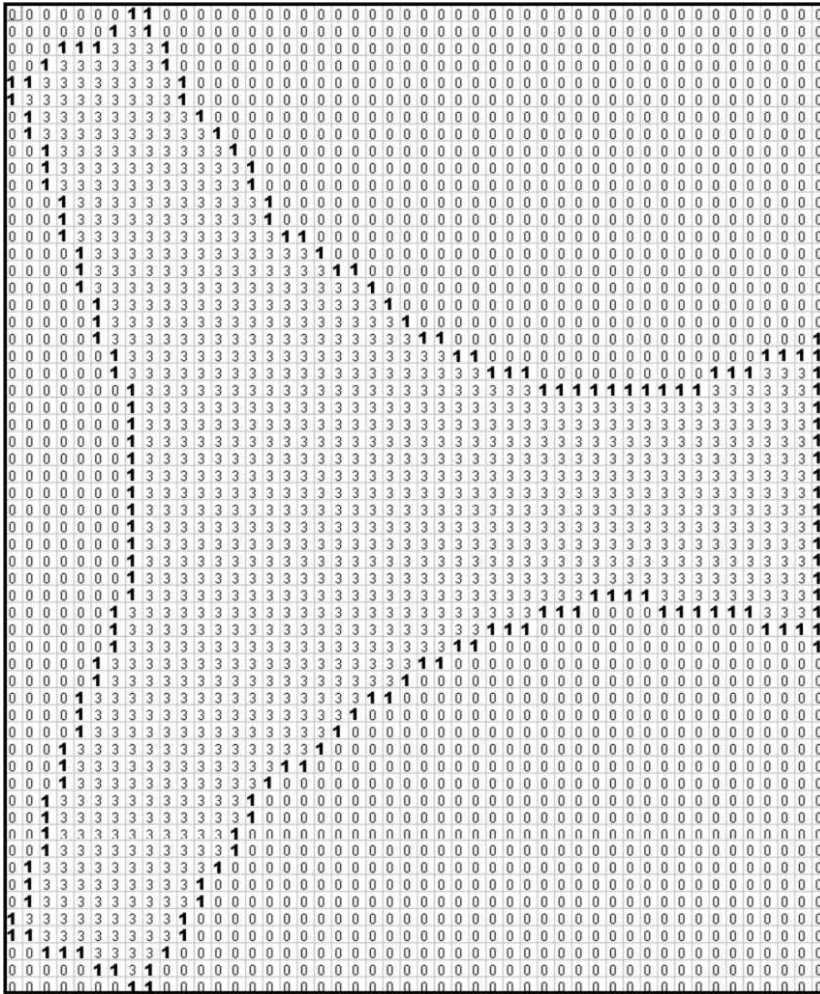


Figura 22: Representação gráfica da matriz bidimensional do molde de um biquíni
Fonte: a Autora

A identificação dos moldes e do tecido através da matriz bidimensional permite que durante o procedimento de encaixe os números contidos nos *grids* e o somatório dos mesmos representem as possibilidades de encaixe. O número 2 indica uma situação possível, em que os contornos de dois moldes se encostam. O número 4 representa uma situação proibida, já que o contorno de um molde encontra-se sobre a parte interna de outro molde. E o número 6 adverte para outra situação não permitida, a sobreposição de duas partes internas de dois moldes.

Na Figura 23 é possível observar dois moldes durante o processo de encaixe. Os números contornados em vermelho na figura indicam situações de impossibilidade, ou seja, sobreposição desses moldes. Para resolver esse problema, o molde menor deverá trocar de posição até que seja encontrado um local disponível. As etapas do processo de deslocamento serão comentadas mais a diante.

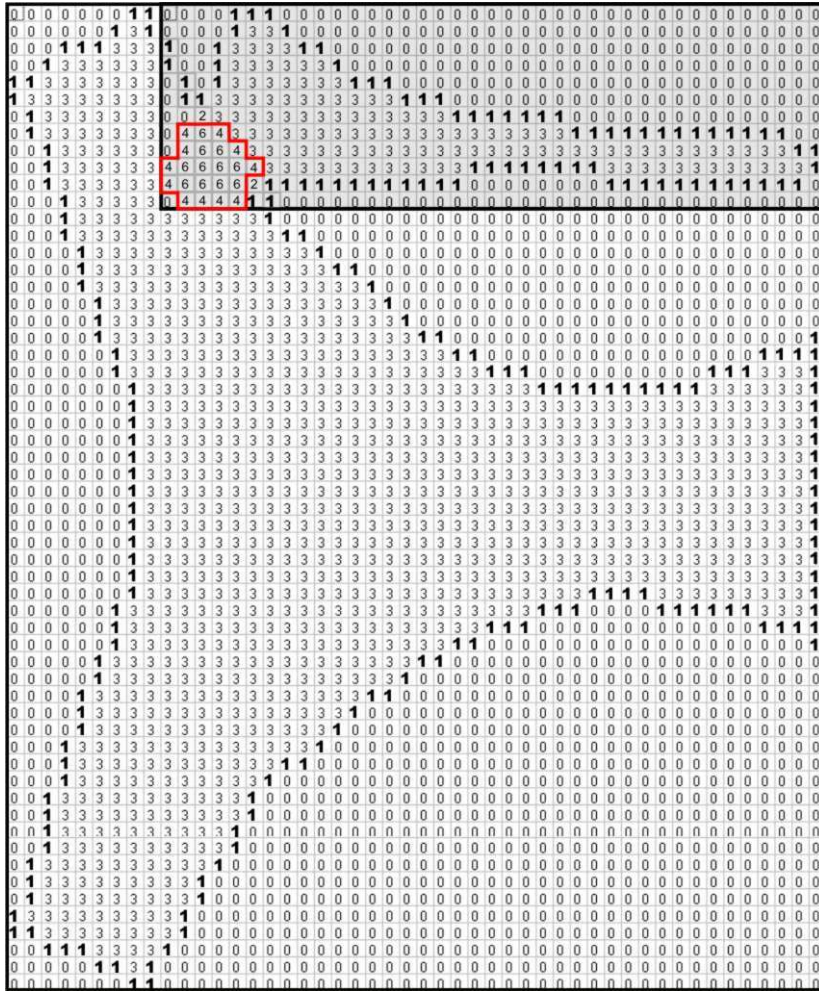


Figura 23: Sobreposição de dois moldes

Fonte: a Autora

A utilização da matriz bidimensional é um modo de representação que permite a utilização no processo de encaixe de formas com buracos e concavidades, indicando partes internas vazias dessas formas (representadas pelo número 0) em que outros moldes podem ser encaixados. A facilidade de implementação dessa forma de representação também é um ponto positivo.

5.2 Critérios de ordenamento

Antes da realização da construção do *layout* de encaixe optou-se por ordenar a sequência de moldes. A triangulação dos dados pesquisados evidencia que critérios e heurísticas de ordenamento costumam gerar encaixes melhores do que escolhas randômicas (WONG *et al.*, 2009).

Foram selecionados cinco critérios de ordenamento. O primeiro deles ordena os moldes em função decrescente de largura. O segundo ordena os moldes em ordem decrescente de comprimento. O terceiro critério dispõe os moldes em ordem decrescente de perímetro. O quarto ordenamento coloca os moldes em ordem decrescente de área.

O quinto e último critério dispõe os sete maiores moldes em todas as sequências possíveis, o que representa um total de 5.040 possibilidades. Caso o usuário deseje encaixar um número inferior a sete moldes, é feita a combinação de todas as sequências possíveis dos moldes. Essas sequências correspondem ao fatorial da quantidade de moldes que se deseja encaixar. No caso de quatro moldes, são 24 possibilidades de ordenamento. Para encaixar cinco moldes, 120 possibilidades e se a quantidade de moldes selecionada for seis, são 720 combinações.

A Figura 24 mostra os passos realizados para a construção das sequências das sete maiores peças. Inicialmente são selecionadas as sete maiores peças que compõem o encaixe e ordenadas em ordem decrescente de área. Na figura 24 as peças são exemplificadas pelas letras **a**, **b**, **c**, **d**, **e**, **f** e **g**. Após a definição das maiores peças, são criados indexadores para cada uma dessas peças.

Os indexadores indicam os locais que cada uma das peças deve ser inserida na sequência das sete maiores peças. O indexador **i1** da maior peça **a** indica que a mesma pode ocupar qualquer uma das sete posições da sequência e por este motivo varia na faixa de **0** até **6**. O indexador **i2** da peça seguinte **b** também indica a posição que essa peça deve ocupar na sequência. Como a peça **b** só é inserida após a peça **a**, o indexador **i2** só pode variar na faixa de **0** até **5** (possibilidades de inserção da peça na sequência). O indexador **i3** da próxima menor peça varia na faixa de **0** até **4** e assim consecutivamente. O valor da multiplicação dessas variações é igual ao fatorial das sete maiores peças.

A peça maior (representada pela letra **a**) preenche o número indicado pelo indexador, que neste caso varia de **0** até **6**. Se o indexador for **0**, ela é colocada no primeiro lugar da sequência, se **1** no segundo local e assim por diante. A segunda maior peça (representada pela letra **b**) é colocada na posição indicada pelo indexador após a inserção da maior peça na sequência. Assim, se o indexador da maior peça (**a**) indica que a mesma deve ficar na primeira posição da sequência e o indexador da segunda maior peça (**b**) também indica que ela deve ficar na primeira posição da sequência, primeiro é inserida a peça **a** e depois, no primeiro local disponível é inserida a peça **b**. Por este motivo, as possibilidades de colocação da peça **b** só variam na faixa de **0** até **5**, porque sempre que a peça **b** for inserida a peça **a** já foi colocada e assim só restam **5** locais disponíveis.

A inserção das peças restantes **c**, **d**, **e**, **f** na sequência ocorre da mesma forma descrita para as peças **a** e **b**. Todas elas são inseridas nos locais indicados pelos indexadores (em que a faixa de variação é igual à quantidade de locais vazios) após a inserção das peças maiores que elas. Por este motivo, a última peça (**g**) não varia porque sempre sobrar  apenas um local disponível para a coloca o dela.

<u>Peças em ordem decrescente de �rea</u>	<u>Indexadores</u>	<u>Defini�o de todas as sequ�ncias das sete maiores pe�as</u>
a, b, c, d, e, f, g	i1 → pe�a a varia de 0-6 i2 → pe�a b varia de 0-5 i3 → pe�a c varia de 0-4 i4 → pe�a d varia de 0-3 i5 → pe�a e varia de 0-2 i6 → pe�a f varia de 0-1	$i_1 \times i_2 \times i_3 \times i_4 \times i_5 \times i_6 = 7 \times 6 \times 5 \times 4 \times 3 \times 2 = 7!$ Total de 5040 possibilidades

Sendo assim:

a fica na posi�o i1	se i1 = 0	→ (a, _, _, _, _, _, _)
	i1 = 1	→ (_, a, _, _, _, _, _)
	i1 = 2	→ (_, _, a, _, _, _, _)
b fica na posi�o i2 ap�s preencher a	se i1 = 0 e i2 = 0	→ (a, b, _, _, _, _, _)
	i1 = 0 i2 = 1	→ (a, _, b, _, _, _, _)
	i1 = 0 i2 = 2	→ (a, _, _, b, _, _, _)
	i1 = 2 i2 = 0	→ (b, _, a, _, _, _, _)
	i1 = 2 i2 = 2	→ (_, _, a, b, _, _, _)
c fica na posi�o i3 ap�s preencher a e b	se i1 = 0 e i2 = 0 i3 = 0	→ (a, b, c, _, _, _, _)
	i1 = 0 i2 = 0 i3 = 1	→ (a, b, _, c, _, _, _)
	i1 = 2 i2 = 2 i3 = 0	→ (c, _, a, b, _, _, _)
	i1 = 2 i2 = 2 i3 = 1	→ (_, c, a, b, _, _, _)
	i1 = 2 i2 = 2 i3 = 2	→ (_, _, a, b, c, _, _)

O procedimento   o mesmo para as peças **d**, **e** e **f**.

A peça **g**   a única que não varia e   inserida no espaço vago deixado pelas outras peças.

Figura 24: Combina o dos sete maiores moldes para o encaixe

Fonte: a Autora

Esse último critério foi baseado em Gomes e Oliveira (2006) que propõem uma heurística que privilegia o encaixe das maiores peças (diferente do critério de combina o das

sete maiores peças) e usam um método mais simples para o encaixe das peças menores. Alguns dos especialistas entrevistados também demonstram a preocupação com o encaixe das maiores peças.

A partir desses dados, foi tentado inicialmente implementar no quinto critério o Princípio de Pareto (80/20) para o problema do encaixe bidimensional (GRIERSON, 2008). Esse princípio afirma que em muitas situações 80% das conseqüências advém de 20% das causas. Com base nesse princípio, o objetivo inicial era separar as 20% maiores causas de impacto no problema (os vinte por cento maiores moldes). Porém, até a realização dos testes não era possível saber o tempo de combinação das 20% maiores peças. Caso o problema tivesse 50 moldes seriam os 10 maiores moldes, o que gera 3.628.800 possibilidades. Em tempo de processamento, não era possível afirmar quanto demoraria a realização do encaixe antes de testar.

A decisão de limitar esse número a sete moldes ocorreu em função do tempo de processamento. Como já mencionado anteriormente, o problema de encaixe aumenta exponencialmente conforme aumenta o número de peças envolvidas no problema. Testes realizados demonstraram que o encaixe com todas as combinações possíveis de quatro moldes demora em torno de vinte minutos. Enquanto que o encaixe de todas as combinações possíveis de sete moldes demora em torno de uma hora e meia¹⁷.

Assim, os testes vieram comprovar que, para a capacidade computacional disponível, era inviável a combinação de, por exemplo, todas as possibilidades de dez moldes. Optou-se por utilizar o número máximo de sete moldes¹⁸. É importante ressaltar que o tempo computacional difere bastante se são selecionados para o encaixe sete moldes ou cinqüenta, mesmo que a combinação de todas as possibilidades seja apenas dos sete maiores moldes.

Após definidos todos os ordenamentos, os moldes são encaixados no tecido, conforme será explicado no próximo sub-capítulo Construção do *Layout*. Após essa etapa é retornado um valor do rendimento do encaixe para cada ordenamento realizado. A seqüência de moldes

¹⁷ Testes realizados em um computador com processador Intel® Core™2 Duo T6600 (2.2 GHz, 2 MB L2 cache, 800 MHz FSB), com memória de 3GB e disco rígido de 500GB.

¹⁸ Nas indústrias do vestuário, a quantidade de moldes selecionados para o encaixe difere bastante, dependendo de alguns fatores como: volume de produção da empresa, tamanho da mesa de corte, encaixe de uma peça-piloto ou encaixe de moldes para produção. Assim, para uma empresa que realiza o encaixe de peças-piloto, os sete maiores moldes podem representar metade ou menos da metade dos moldes a serem encaixados. Para empresas de grande porte, com grande volume de produção, os sete maiores moldes podem representar, em algumas situações, 2% dos moldes a serem encaixados. Nos exemplos da literatura, a quantidade de moldes presentes nos encaixes é bem diversificada e costuma estar na faixa de 10 a 100 moldes.

(ordenamento) que obtiver o melhor rendimento é novamente encaixada e definida como solução final.

5.3 Construção do *Layout*

Após o ordenamento dos moldes é necessário encaixá-los de acordo com algum critério no tecido. A popularidade e os resultados alcançados, disponíveis na literatura, da técnica *bottom-left* (GOMES e OLIVEIRA, 2002; HIFI e HALLAH, 2003) fez com que a mesma fosse utilizada também neste trabalho. A técnica *bottom-left* direciona os moldes mais para baixo e para a esquerda no espaço disponível do material que será cortado.

No presente trabalho, os moldes são colocados no tecido pela coincidência do canto inferior esquerdo do molde com o canto inferior esquerdo do tecido (indicado com um círculo vermelho na fig. 25). Caso haja espaço disponível no tecido (representado pelo 0 na matriz bidimensional) o molde não muda de local. Caso o espaço esteja ocupado o molde é deslocado.

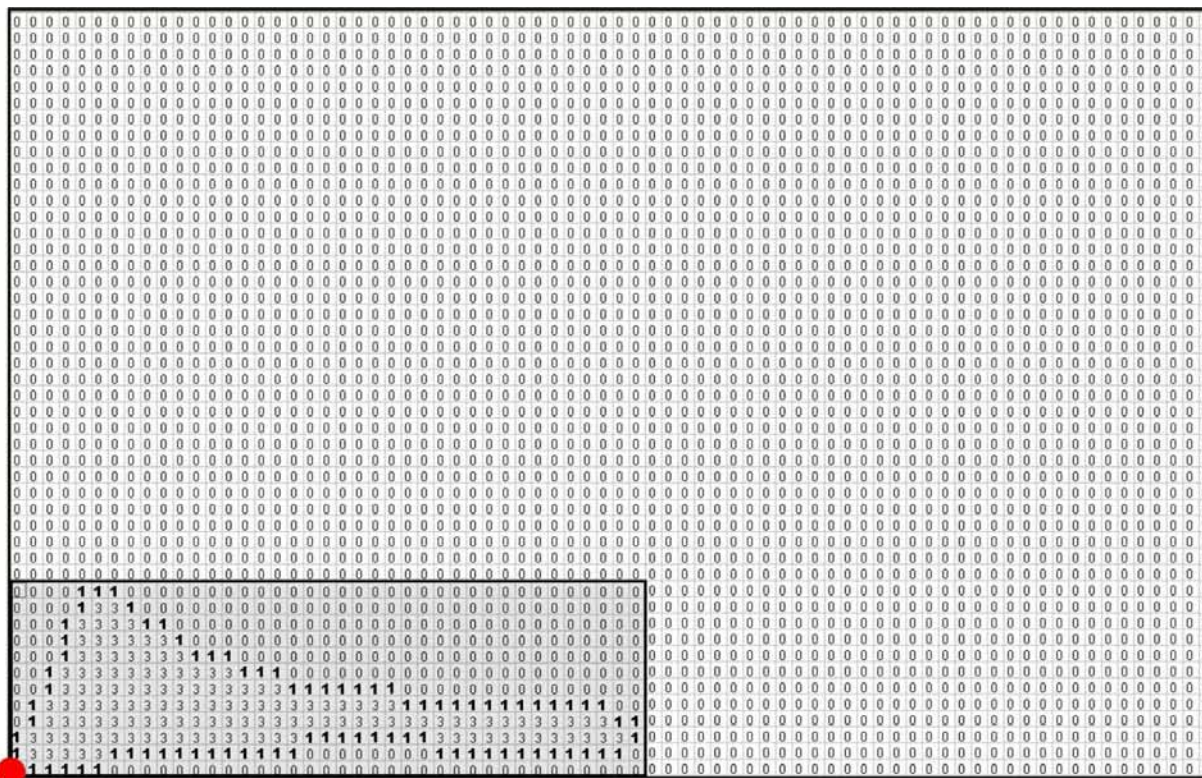


Figura 25: Ponto inicial de inserção dos moldes no tecido

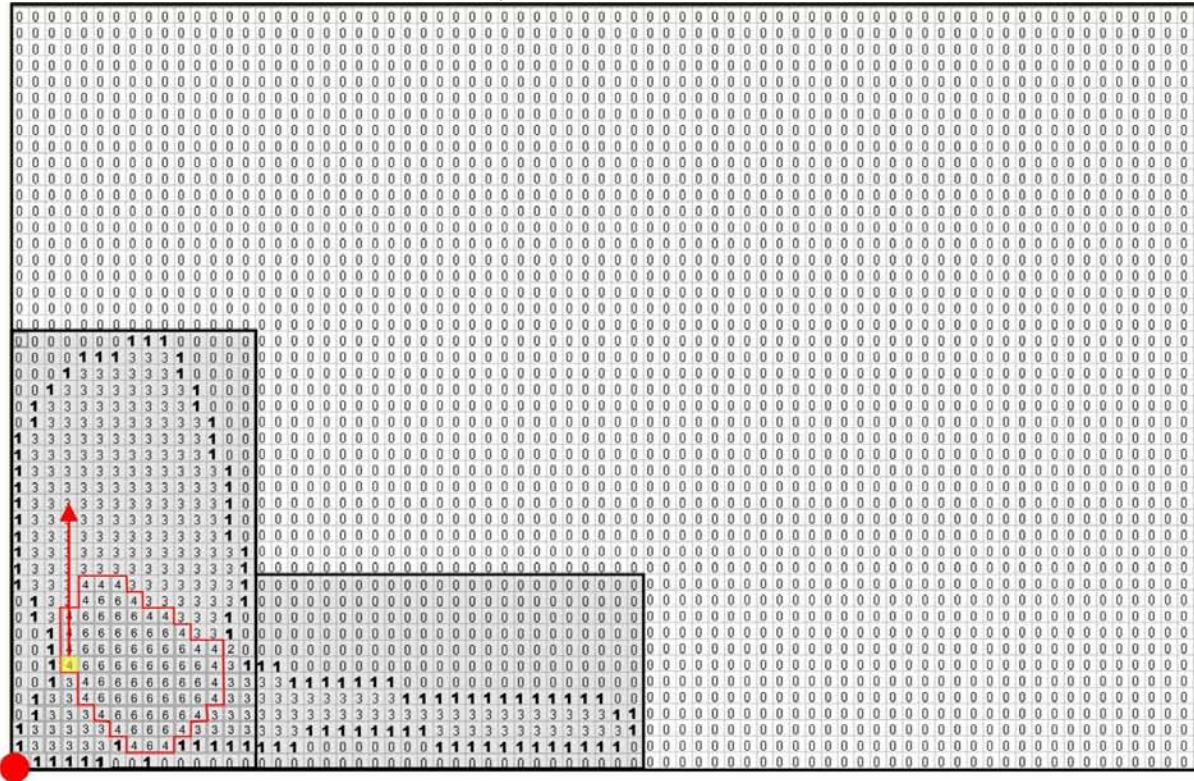
Fonte: a Autora

Para mover o molde da posição inicial optou-se por utilizar duas formas distintas: deslocamento no eixo Y e deslocamento no eixo X.

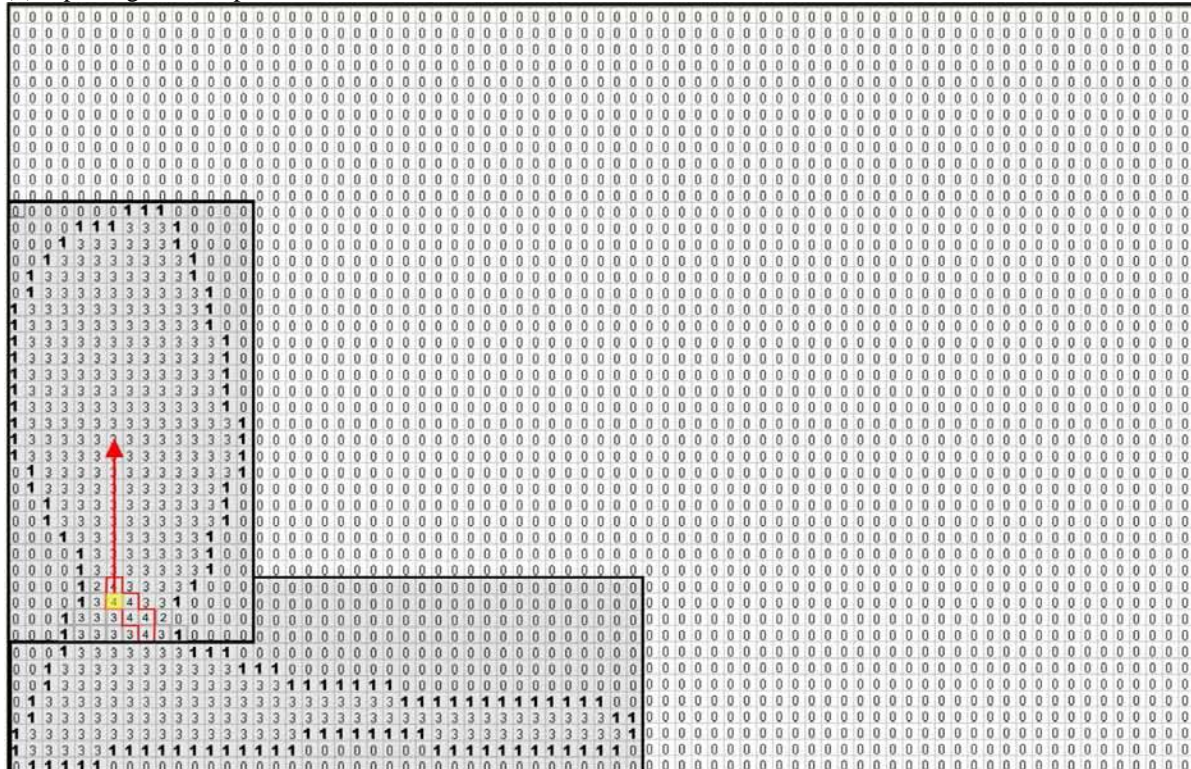
O deslocamento dos moldes no eixo Y ocorre de forma semelhante ao proposto em Burke *et al.* (2006). Após a inserção do primeiro molde no canto esquerdo inferior do tecido (fig. 25), é colocado o molde seguinte (fig. 26a), na mesma posição inicial que foi inserido o primeiro. Cada *grid* da matriz é verificado, iniciando pelo primeiro *grid* do canto esquerdo inferior, percorrendo todos os *grids* correspondentes aquela posição em X no eixo Y. Após verificar o conteúdo dos *grids* no eixo Y na posição zero do eixo X, passa-se para a posição um em X e novamente são percorridos todos os *grids* do eixo Y. O processo é contínuo.

Os conteúdos de uma determinada posição do *grid* do tecido e do molde são verificados até que um dos *grids* contenha um número que indique impossibilidade de colocar o molde naquela posição. Se o resultado da soma dos valores do *grid* resultar no número 4 ou 6 o molde é deslocado para um *grid* na direção superior (eixo Y). Esse processo é realizado consecutivamente até que o molde encontre um espaço disponível. Na Figura 26a é possível observar a área de *grids*, contornada em vermelho, que indica impossibilidade daquela posição, ou seja, sobreposição de dois moldes. Indicado em amarelo na Figura 26a está o primeiro *grid* que quando é verificado adverte que o molde deve ser deslocado. A Figura 26b mostra novamente o molde, após alguns deslocamentos no eixo Y. Novamente é apresentada a área, contornada em vermelho, que mostra impossibilidade de colocação do molde naquela região. A Figura 26c apresenta, após alguns deslocamentos, uma situação de possibilidade para a inserção do segundo molde.

(a) Início do encaixe do segundo molde e identificação de áreas sobrepostas (na identificação do primeiro *grid* com o número 4 ou 6 o molde é deslocado)



(b) após algumas etapas de deslocamento do molde no eixo Y



(c) depois de novos deslocamentos no eixo Y o molde encontra um local disponível

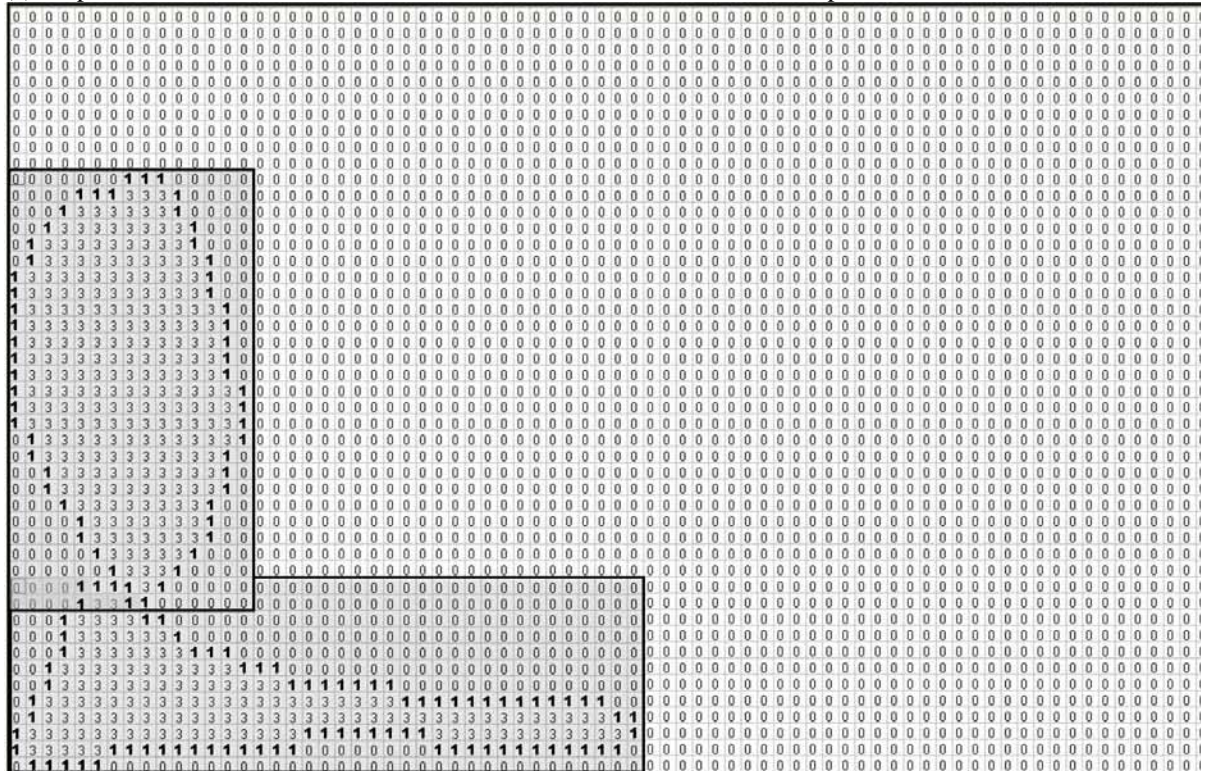


Figura 26: Etapas de deslocamento no eixo Y

Fonte: a Autora

Caso o molde percorra todo o eixo Y da primeira coluna do *grid* e não encontre espaço vazio, é incrementado um *grid* no eixo X. Assim, o molde retorna para o canto inferior esquerdo deslocado um *grid* para a direita. Esse processo é contínuo até a inserção de todos os moldes no tecido.

A partir da visualização de alguns encaixes realizados no eixo Y foi possível detectar a necessidade de deslocar alguns tipos de moldes também no eixo X. Um exemplo dessa situação pode ser vista na Figura 27. Na Figura 27a é possível observar que deslocando as duas peças no eixo Y, elas ficam uma em cima da outra. Trocando a ordem de encaixe, conforme é mostrado na Figura 27b, o problema também não se resolve. Porém, é na Figura 27c que o problema é resolvido através do deslocamento da segunda peça no eixo X.

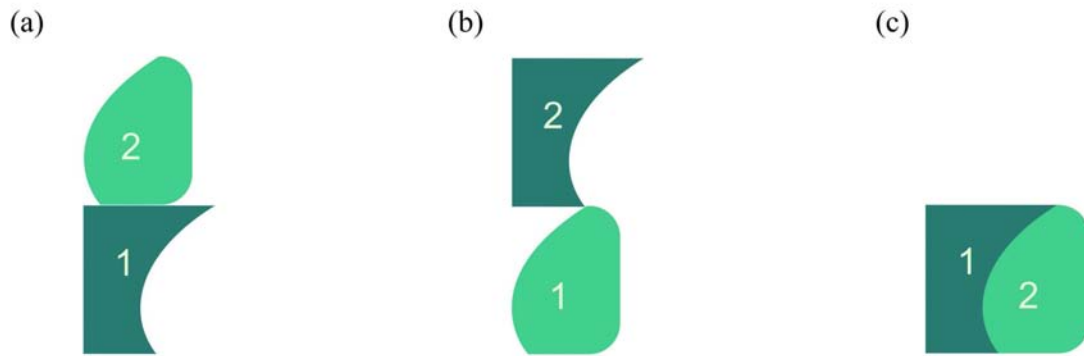


Figura 27: (a) Encaixe com deslocamento no eixo Y, (b) encaixe com deslocamento no eixo Y, porém com outra ordem de entrada, (c) Encaixe com deslocamento no eixo X
Fonte: a Autora

O deslocamento no eixo X, em muitas situações, é fundamental para melhorar o aproveitamento do encaixe de duas peças. Porém, ele não funciona da mesma forma que o deslocamento da peça no eixo Y. No eixo X (referente ao comprimento), não há um limite definido como a largura, por exemplo, já que o comprimento é considerado como infinito. A dimensão máxima possível para o deslocamento no eixo X também não pode ser igual à dimensão da peça anteriormente encaixada, porque pode provocar erros iguais ao da Figura 28.

Na Figura 28 é exemplificado o encaixe de três moldes com a dimensão máxima de deslocamento em X igual ao comprimento dos moldes já encaixados no tecido. Dessa forma, o primeiro molde é disposto no tecido. O seu comprimento é considerado como medida máxima para o deslocamento no eixo X do próximo molde que será encaixado. O segundo molde também é inserido na origem do tecido e percorre todo o comprimento definido até encontrar uma situação de possibilidade. Não encontrando essa situação, ele desloca o valor de um *grid* no eixo Y e percorre novamente todo o comprimento máximo para deslocamento no eixo X. Esse procedimento é contínuo até o molde encontrar um local disponível. Porém, essa situação de possibilidade, em muitos casos não é a ideal. No exemplo da Figura 28 o segundo molde encontra um espaço disponível bem no final do comprimento do primeiro molde. Como a situação é permitida o molde é encaixado naquele local. O mesmo também ocorre para o terceiro molde. Como se pode observar na Figura 28 esse encaixe não é adequado já que a largura do tecido não é utilizada e o comprimento, que deveria ser minimizado, é amplamente empregado.

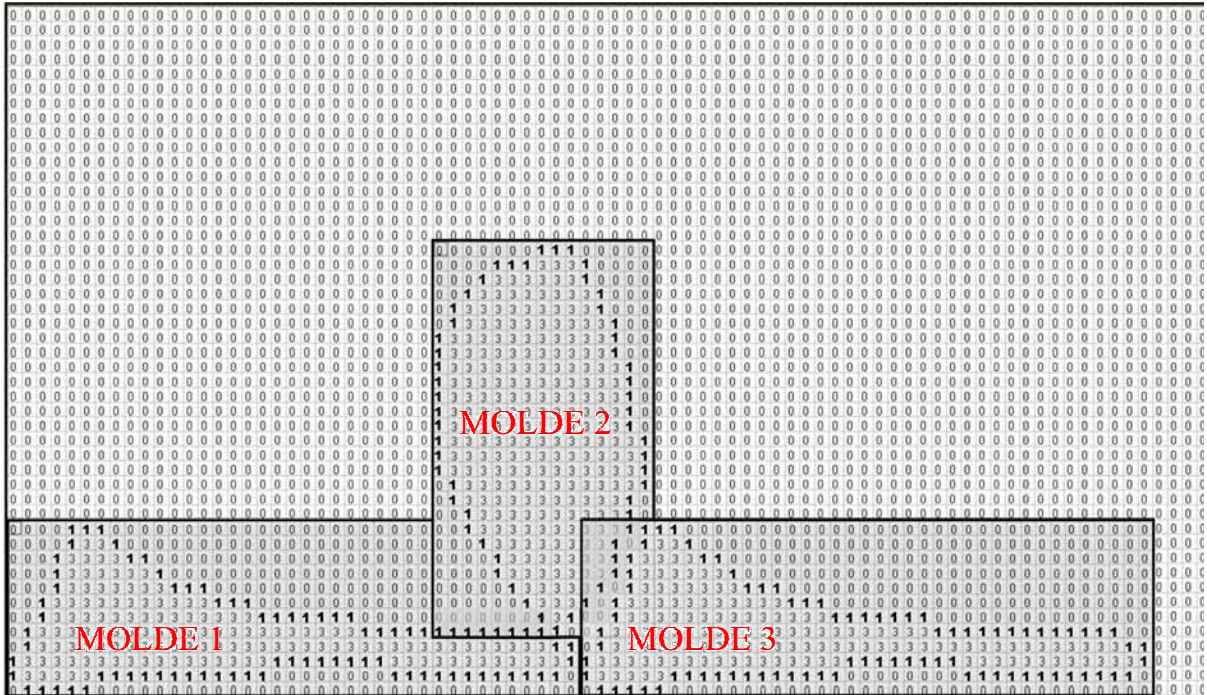


Figura 28: Problema ocasionado pela definição incorreta da dimensão de deslocamento no eixo X
Fonte: a Autora

Através da visualização do problema apresentado na Figura 28 e para poder implementar o deslocamento no eixo X, foi proposto um percentual de deslocamento do eixo X. Esse percentual inicia com o valor correspondente a 40% do comprimento do tecido preenchido por peças já encaixadas. O valor de 40% foi definido com a observação de diferentes encaixes entre dois moldes. Essa visualização demonstrou até que ponto poderia ser proveitoso que um molde deslocasse no eixo X e a partir de que local era preferível que o molde continuasse deslocando no eixo Y.

Com o percentual de deslocamento definido, o encaixe com deslocamento no eixo X ocorre conforme é demonstrado na Figura 29.

O canto inferior esquerdo do retângulo envolvente do primeiro molde é colocado na origem (inferior esquerda) do tecido (conforme mostrado anteriormente na Figura 25). Na Figura 29a é apresentada a colocação do segundo molde. Esse molde é disposto na mesma posição, sobrepondo o anterior. Inicia-se o processo de verificação dos valores dos *grids*. Os *grids* do eixo X são percorridos (até o valor correspondente a 40% do comprimento do tecido preenchido pela peça). Se no processo de verificação for encontrado como resultado do somatório dos *grids* o número 4 ou 6, o molde é deslocado um *grid* para a direita (deslocamento no eixo X). Na Figura 29a a área de impossibilidade pode ser visualizada através do contorno em vermelho. E o primeiro *grid* identificado como sobreposto está

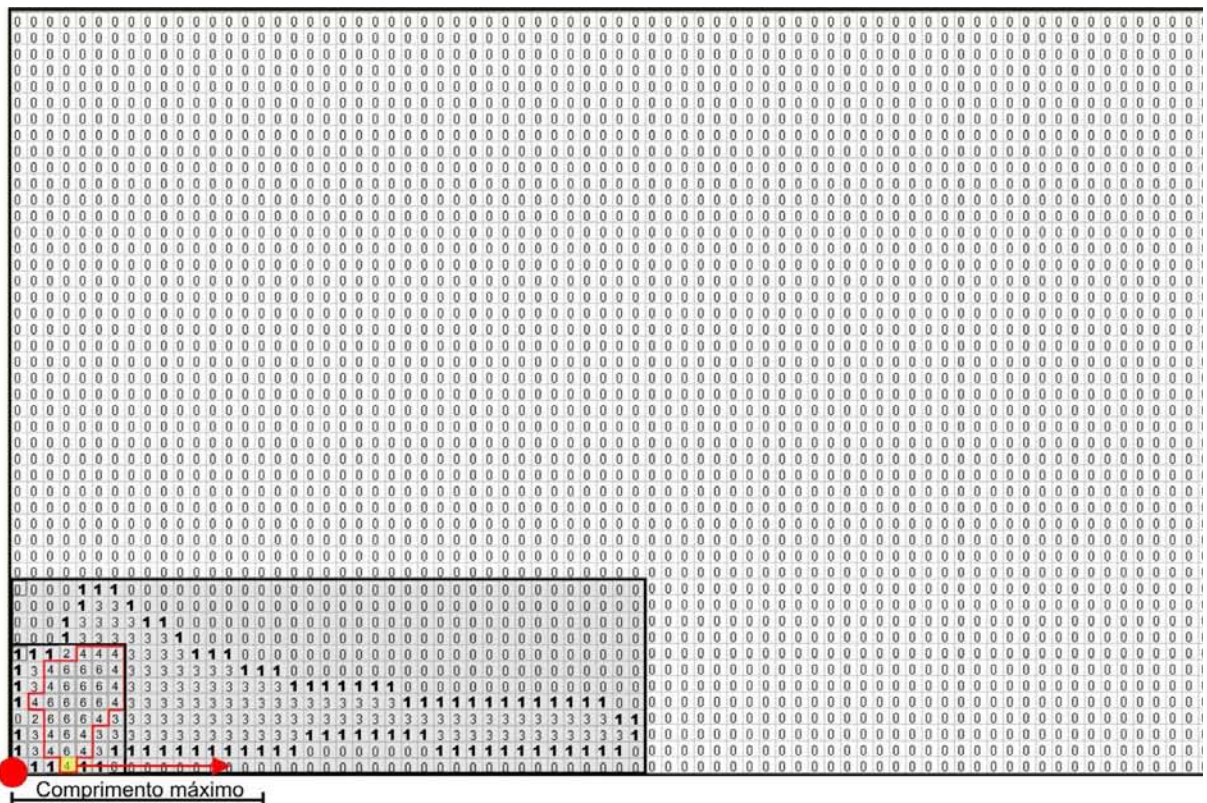
destacado na cor amarela. Caso haja sobreposição, como no exemplo apresentado, e o molde já tenha percorrido todo o valor possível no eixo X, é incrementado um *grid* no eixo Y e novamente todos os *grids* do eixo X são percorridos.

Novamente são verificados todos os *grids* e caso haja sobreposição (verificada através dos números) outra vez o molde é deslocado. A Figura 29b mostra o segundo molde, após diversos deslocamentos no eixo X e Y. Ele encontra-se no limite do comprimento permitido e numa situação de impossibilidade. Assim, ele será deslocado um *grid* no eixo Y e colocado novamente com o valor do x igual a zero.

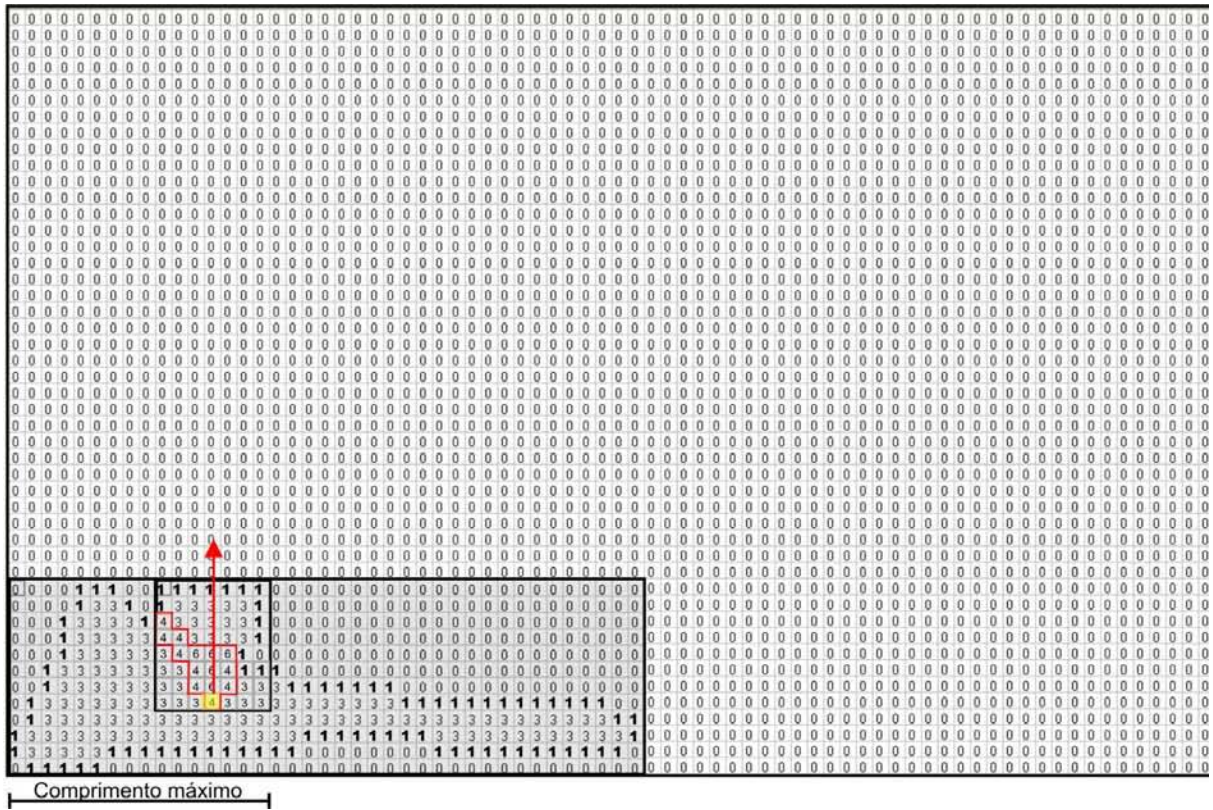
A Figura 29c apresenta o segundo molde após novos deslocamentos no eixo X e Y. Na área destacada pelo contorno em vermelho é possível observar ainda áreas de sobreposição com o molde anteriormente encaixado. Novamente ele é movido pelo eixo X e finalmente o molde encontra um local disponível, conforme se pode observar pela Figura 29d.

Esse processo ocorre sempre sucessivamente até o molde encontrar um espaço disponível. Quando ele encontra um espaço disponível os números contidos nos *grids* são passados para os *grids* do tecido. E para cada novo molde inserido o processo ocorre como se fosse o primeiro molde a ser inserido no tecido, a única diferença é o conteúdo dos *grids* do tecido.

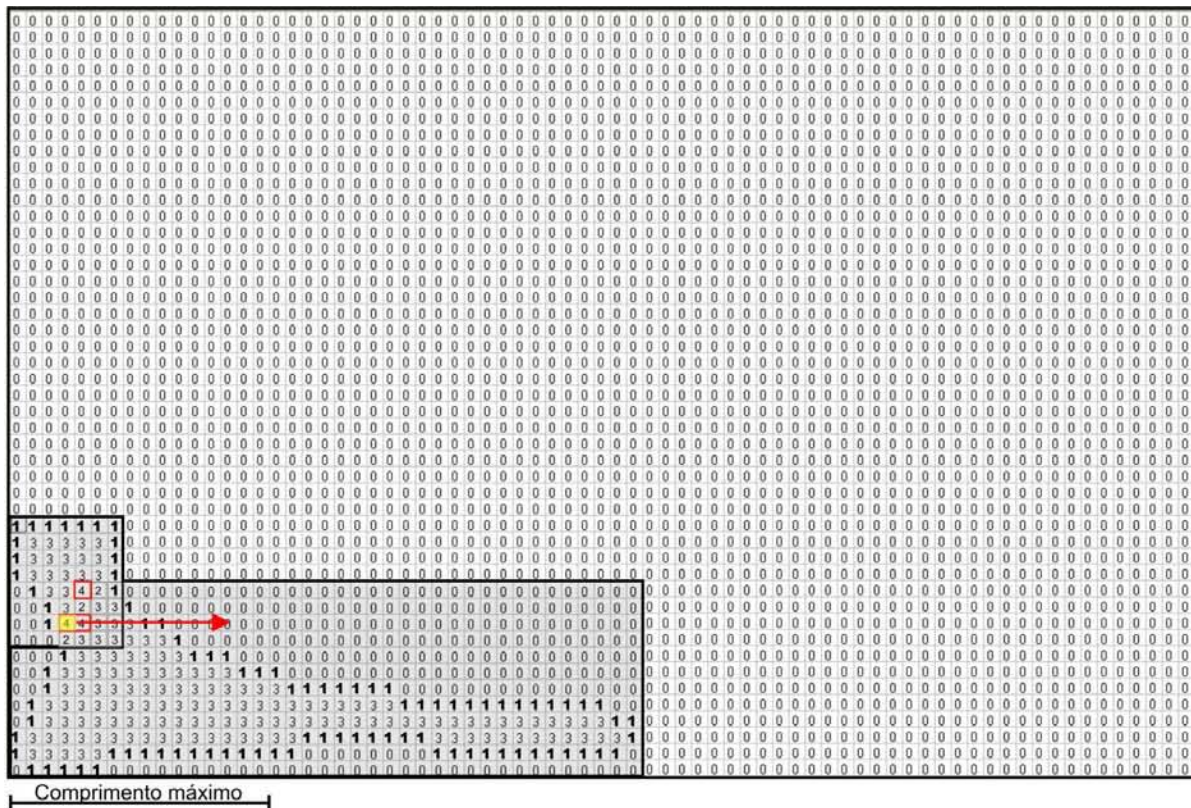
(a) Encaixe com deslocamento no eixo X



(b) quando o molde atinge o máximo do comprimento determinado para o deslocamento no eixo X



(c) depois de incrementado o eixo Y, o molde continua deslocando no eixo X



superior é selecionado como solução final. Porém, para o último critério de ordenamento, por motivos de desempenho computacional, não é possível deslocar as peças no eixo X, apenas no eixo Y. São testados, por exemplo, para um total de sete moldes, 5.043 possibilidades de ordenamentos que são encaixados através do *bottom-left* movendo-se no eixo Y e 4 possibilidades de ordenamentos que são encaixados através do *bottom-left* movendo-se no eixo X.

A Figura 30 mostra um diagrama das principais etapas que são seguidas para a construção do encaixe conforme a técnica proposta.

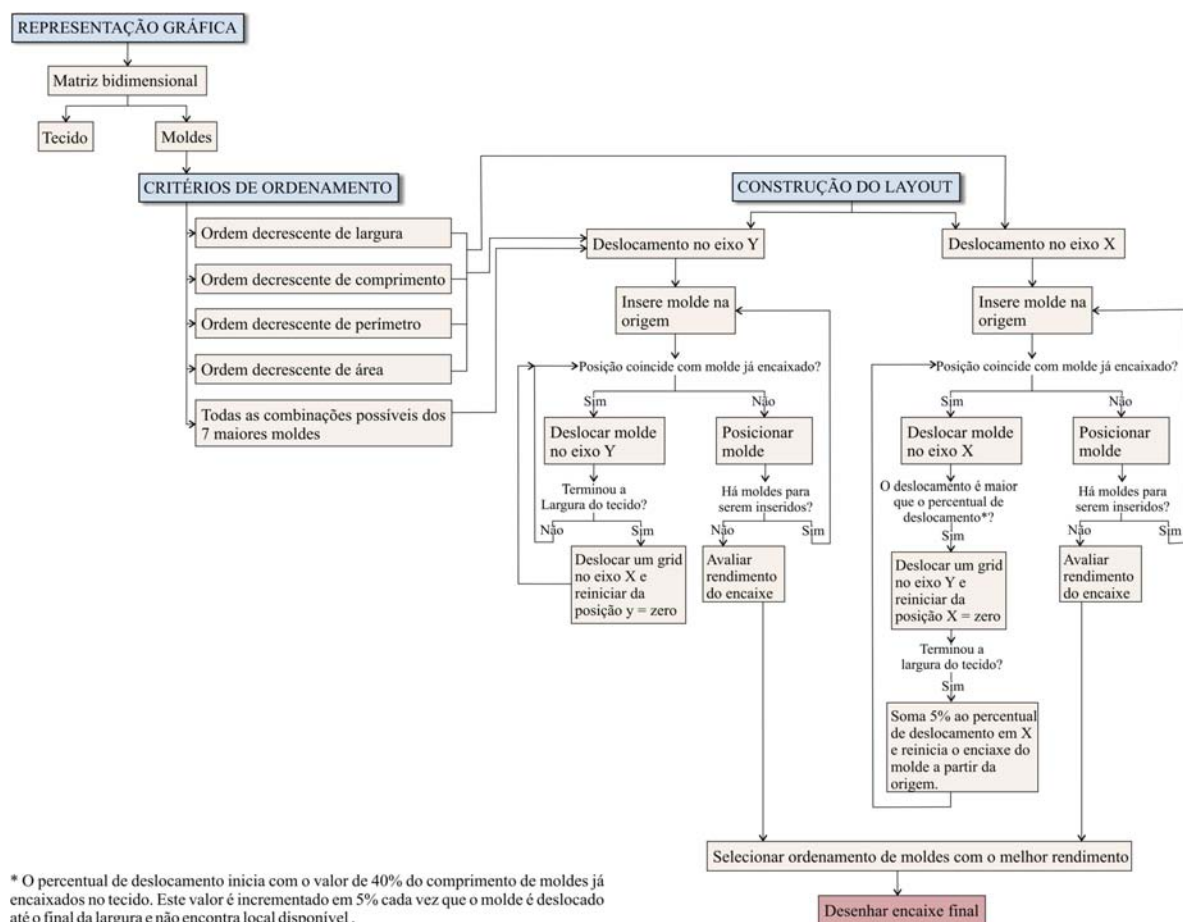


Figura 30: Diagrama das etapas principais para a construção do encaixe

Fonte: a Autora

6. RISCARE – PROTÓTIPO FUNCIONAL PARA O ENCAIXE DE MOLDES

Com as primeiras decisões definidas da técnica proposta para o encaixe de moldes, iniciou-se a construção do *Riscare*, um protótipo funcional para o encaixe de moldes. O programa foi realizado em duas etapas: desenvolvimento da interface e implementação da técnica de encaixe proposta. Utilizou-se a linguagem *Delphi* e, na medida do possível, trabalhou-se com Programação Orientada a Objetos.

Este capítulo está dividido em dois sub-capítulos referentes às etapas de desenvolvimento do programa: Desenvolvimento da Interface e Implementação da Técnica de Encaixe Proposta.

6.1 Desenvolvimento da Interface

Na construção da interface do protótipo funcional *Riscare* buscou-se desenvolver uma interface baseada nos conceitos de usabilidade¹⁹.

Para auxiliar na definição dos aspectos mais importantes que a interface deveria englobar foi realizada uma avaliação²⁰ da usabilidade da interface do *software* Audaces Encaixe 7 (*software* comercial para o encaixe de moldes). A avaliação foi feita com o auxílio de uma lista de critérios e perguntas disponível no site ErgoList (ERGOLIST, 2008). Os critérios aos quais estão associados às perguntas do ErgoList somam um total de 18 critérios: presteza, agrupamento por localização, agrupamento por formato, feedback, legibilidade, concisão, ações mínimas, densidade informacional, ações explícitas, controle do usuário, flexibilidade, experiência do usuário, proteção contra erros, mensagens de erro, consistência, significados e compatibilidade.

A avaliação de usabilidade do *software* comercial auxiliou na construção da interface do *Riscare*. As etapas que foram executadas para o desenvolvimento da interface são apresentadas a seguir. Durante a descrição dessas etapas são delineados alguns pontos dos critérios analisados durante a avaliação que colaboraram para que a interface do *Riscare* fosse

¹⁹ Segundo Bastien e Scapin (1993), a usabilidade está diretamente relacionada com a troca de informações que acontece na interface de um sistema e a capacidade do *software* em permitir que o usuário realize as tarefas desejadas. A usabilidade contribui para a “aceitabilidade de um sistema” que, segundo Nielsen (1994), refere-se à capacidade do mesmo em satisfazer todas as necessidades e exigências dos usuários. Segundo Shackel e Richardson (1991), a usabilidade de um *software* diz respeito à facilidade e eficácia do mesmo quando utilizado pelos usuários aos quais ele se destina, na realização de determinadas tarefas e dentro de contextos específicos.

²⁰ A análise completa da usabilidade da interface do *software* Audaces Encaixe 7 pode ser vista em Alves e Aymone (2009).

mais direcionada para o usuário. Não se deseja descrever a avaliação realizada nem apresentar uma revisão completa sobre o tema usabilidade, apenas apresentar as etapas que foram seguidas para a construção da interface e evidenciar alguns pontos dos conceitos de usabilidade que auxiliaram nesse desenvolvimento.

6.1.1 Zonas Funcionais

As áreas que compõem a interface devem estar localizadas em regiões adequadas e utilizadas com consistência para atingir um objetivo. A definição das zonas funcionais do *Riscare* foi influenciada principalmente por um critério de usabilidade: agrupamento/distinção de itens.

O critério agrupamento/distinção de itens refere-se à organização visual dos itens que possuem informações relacionadas de alguma forma. O critério agrupamento/distinção de itens está subdividido em dois critérios: agrupamento/distinção por localização e agrupamento/distinção por formato (ERGOLIST, 2008).

O critério agrupamento por localização evidencia o posicionamento dos itens na interface. Os itens que possuem correspondência devem estar próximos e os que não possuem relação direta devem estar localizados em locais distintos. A localização dos itens indica o pertencimento ou não a uma determinada região (zona funcional) que possui uma função na interface (ERGOLIST, 2008).

O critério agrupamento/distinção por formato corresponde à utilização dos formatos dos itens para transmitir associações e diferenças através das características gráficas, como por exemplo, formato e cor (ERGOLIST, 2008).

Através da identificação da necessidade de se dividir a interface em regiões, para a inserção de componentes com funções semelhantes, foi necessário primeiramente decidir as áreas funcionais que estariam contidas na interface do *Riscare*. Optou-se por dividir a interface em sete áreas: Barra de Títulos, Barra de *Menu*, Barra de Ícones, *Menu* de Moldes, Área de Encaixe e Barra de Propriedades. Com a definição das partes foi esquematizado, conforme pode ser observado na Figura 31, como as zonas funcionais seriam dispostas na interface.

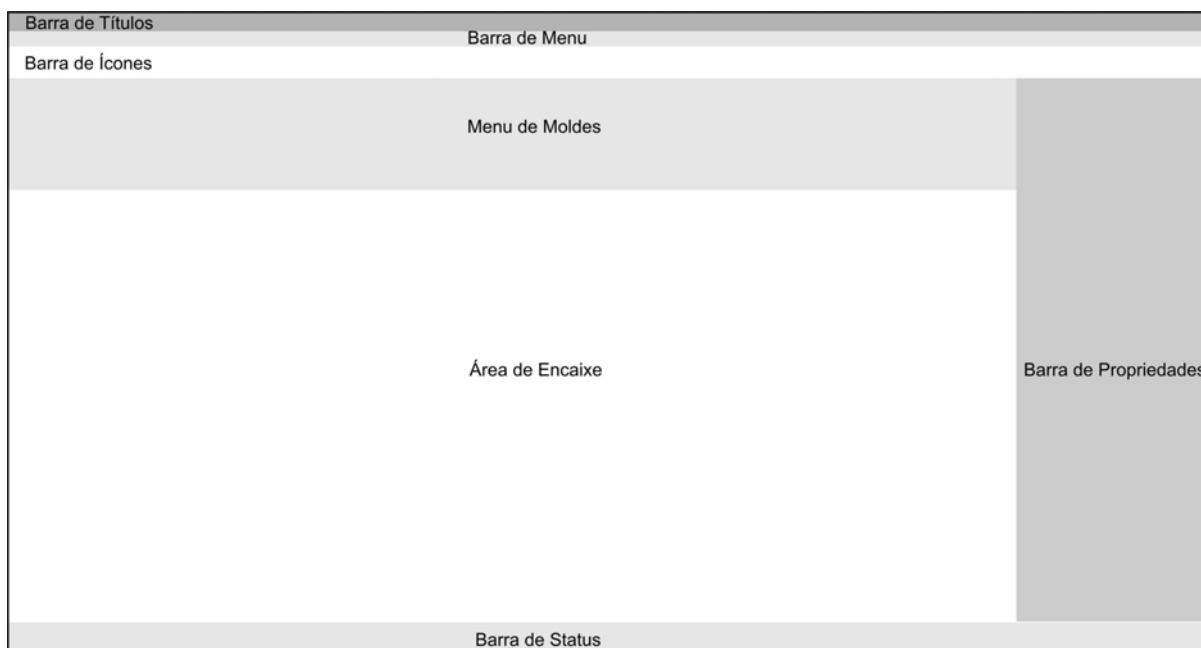


Figura 31: Definição das zonas funcionais do *Riscare*
 Fonte: a Autora

A definição da localização da Barra de Títulos, da Barra de *Menu* e da Barra de Ícones foi realizada levando-se em conta padrões de interfaces utilizadas em programas do sistema *Windows*. Nessas interfaces é comum, na parte superior, estar presente uma faixa estreita com o nome do programa. Logo abaixo está inserido uma Barra com *menus*, seguida de uma Barra de Ícones com botões com as principais ações realizadas pelo programa.

Abaixo dessas três barras, e também com formato retangular foi disposta a área para o *Menu* de Moldes. O *Menu* de Moldes, pelo seu conteúdo, que será descrito mais adiante, deveria ter um formato retangular com a dimensão da largura inferior quando comparado com o seu comprimento e poderia estar disposto na posição horizontal ou vertical. Optou-se pelo formato retangular horizontal para acompanhar a disposição dos menus superiores e também para sobrar um espaço inferior de formato horizontal para a Área de Encaixe.

A Área de Encaixe recebeu espaço privilegiado e central, já que mostra o encaixe de moldes, principal objetivo do programa. A área também apresenta formato retangular e está disposta horizontalmente, seguindo os padrões utilizados em outros programas de encaixe de moldes da indústria do vestuário, como por exemplo, os *softwares Audaces* e *Lectra*.

A área para a Barra de *Status* foi disposta horizontalmente abaixo da Área de Encaixe. Como esta Barra está principalmente relacionada às informações contidas na Área de Encaixe, optou-se que a mesma ficasse disposta na parte inferior desta.

Para o espaço da Barra de Propriedades foi definida uma faixa na lateral direita da interface. Como nessa área estão contidas informações que nem sempre o usuário deseja que estejam visíveis, é possível que a Barra de Propriedades fique minimizada ou maximizada. A escolha de uma dessas opções ocupa, respectivamente, uma faixa vertical menos larga ou mais larga da interface, conforme a necessidade do usuário. Quando a Barra de Propriedades está minimizada ela permite uma visualização maior da Área de Encaixe, já que ocupa um espaço menor.

Buscou-se assim, com a definição da localização das zonas funcionais que as mesmas transmitissem ao usuário uma organização da tela através de regiões funcionais. A partir da definição das zonas funcionais foi possível esquematizar os componentes que pertenceriam a cada uma dessas regiões.

6.1.2 Esquematização dos componentes nas zonas funcionais

O critério agrupamento/ distinção de itens, que auxiliou na definição da localização e formato das zonas funcionais, também contribuiu para a esquematização dos componentes que estariam presentes em cada uma dessas regiões.

Para a esquematização dos componentes buscou-se transmitir associações através das características gráficas desses itens, tentando inserir em uma determinada região formatos semelhantes, cores parecidas. Essas configurações auxiliam o usuário a fazer associações e distinções entre as diferentes partes.

Outro critério que contribuiu para a esquematização dos componentes nas zonas funcionais foi o critério presteza.

O critério presteza mostra como o *software* pode auxiliar o usuário a identificar o contexto no qual se localiza. É importante observar a localização dos títulos, a entrada de dados e outros aspectos que indicam ao usuário onde o mesmo se encontra. Os títulos da interface, das janelas e das caixas de diálogo devem-se encontrar no alto, alinhados ao canto esquerdo ou centralizados, o que facilita a leitura. A entrada de dados, como largura do tecido, por exemplo, deve mostrar uma opção *default*. Em relação às listas que se estendem além da tela, como por exemplo, o *menu* de moldes e a área de encaixe, deve haver barras de rolagem indicando a continuação das mesmas (ERGOLIST, 2008).

Através dos conceitos de presteza e agrupamento/ distinção de itens foi esquematizado a localização de alguns componentes em cada uma das zonas funcionais (fig. 32).

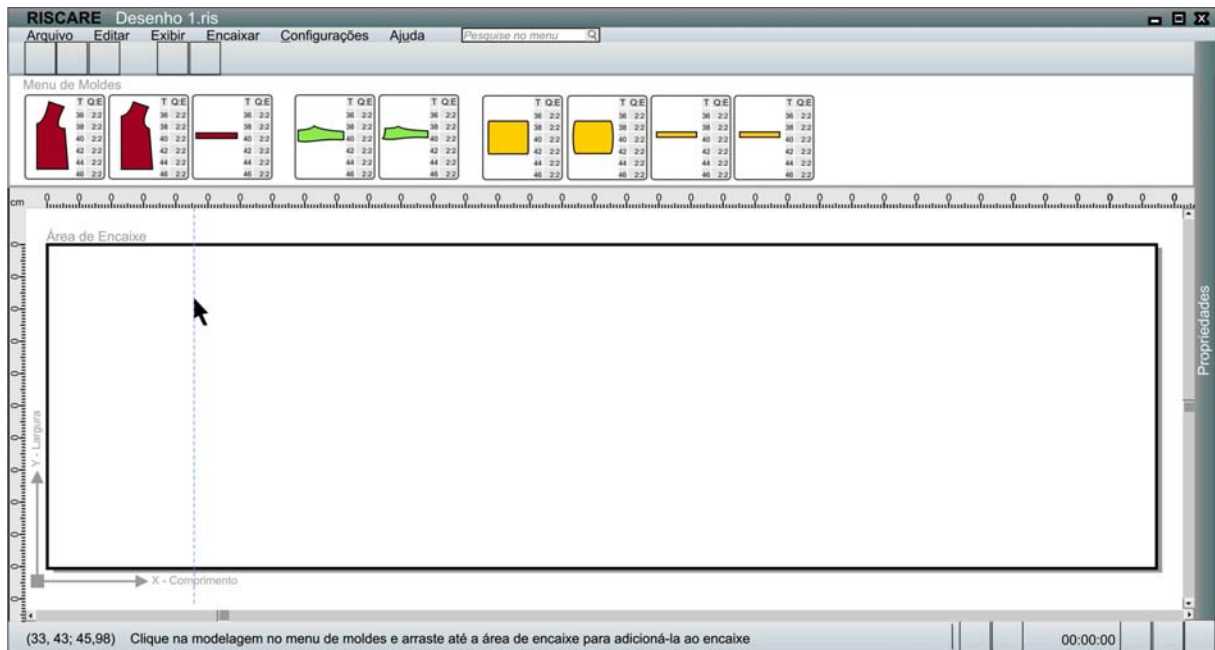


Figura 32: Esquematização de alguns dos componentes das zonas funcionais do *Riscare*
 Fonte: a Autora

Essa esquematização foi feita no *software Corel Draw* e auxiliou na demarcação do tamanho das zonas funcionais e posteriormente na implementação da interface funcional na linguagem Delphi.

6.1.3 Implementação da Interface na linguagem *Delphi*

A criação da interface foi realizada em um formulário, que é uma ferramenta visual do *Delphi* para a colocação específica de componentes (Cantù, 2002). Porém, para conseguir implementar a interface a partir da esquematização dos componentes mostrada na Figura 32 para uma interface funcional na linguagem Delphi, conforme é apresentada na Figura 33, foi necessário uma sucessão de etapas e algumas modificações. Essas etapas são descritas mais adiante e correspondem à implementação das zonas funcionais, dos componentes e aos procedimentos que tiveram que ser adotados para que a interface ficasse mais semelhante ao desejado.

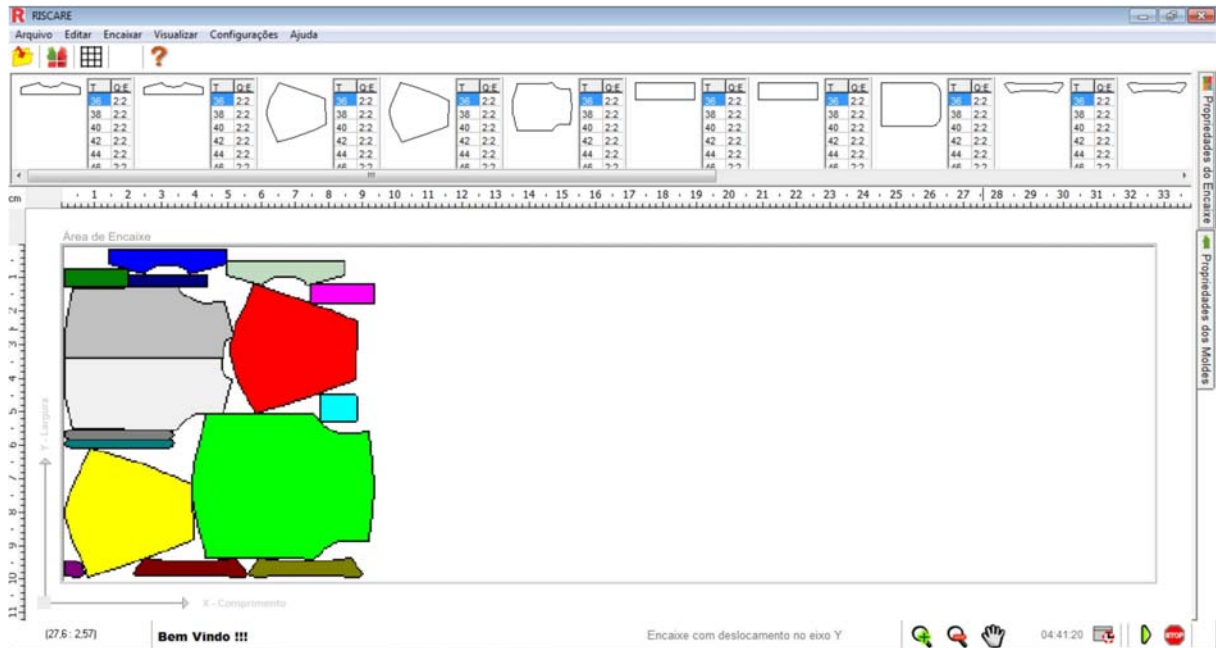


Figura 33: Interface do protótipo funcional *Riscare*
Fonte: a Autora

Algumas ideias que tinham sido propostas na esquematização tiveram que ser modificadas, já que alguns componentes do Delphi não possuem propriedades para a personalização. Isso ocorreu na seleção da cor para a Barra de Títulos e da Barra de *Menus*, em que não foi possível determinar uma cor específica para elas. O programa quando executado no *Windows XP* apresenta uma tonalidade diferente de quando executado no *Windows 7*, conforme pode ser observado na Figura 34.

(a)



(b)

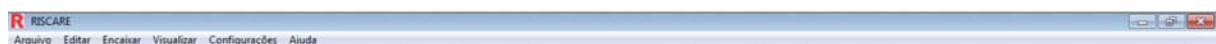


Figura 34: (a) Barra de Títulos e da Barra de *Menus* executada no *Windows XP*, (b) Barra de Títulos e da Barra de *Menus* executada no *Windows 7*

Fonte: a Autora

O mesmo problema de personalização ocorre para outros itens, como por exemplo, as barras de rolagem do *Menu* de Moldes, em que não é possível determinar a dimensão, o formato e nem a cor. Essas situações fizeram com que a implementação da interface na linguagem *Delphi* sofresse alguns ajustes.

A seguir são descritas as principais etapas seguidas para a implementação da interface funcional na linguagem *Delphi* do esquema inicialmente proposto no *software Corel Draw*.

6.1.3.1 Barra de Títulos

Com as adaptações necessárias, iniciou-se a criação da interface com a inserção da Barra de Títulos. Não foi possível, como citado anteriormente, a modificação da cor padrão azul Royal do *Windows XP*. Nessa Barra foi inserida uma imagem para o ícone e o nome do programa. Também não foi possível personalizar os botões Minimizar, Restaurar e Fechar que se encontram na lateral direita da Barra de Títulos.

6.1.3.2 Barra de *Menus*

Após a Barra de Títulos inseriu-se a Barra de *Menus*. Na Barra de *Menus* estão presentes algumas funções que são comuns em aplicativos *Windows*, como as opções Arquivo, Editar e Ajuda. Também foram incluídas outras exclusivas do processo de encaixe: Encaixar, Visualizar e Configurações.

6.1.3.3 Criação de painéis

Após a inserção da Barra de *Menus* foi necessário criar painéis para cada uma das zonas funcionais definidas anteriormente. Segundo Developer's Guide ([200-]), os painéis são uma das melhores formas utilizadas quando se deseja agrupar os componentes visuais de um formulário. Ou seja, reunir em um espaço determinado itens que possuam correspondência e separar por zonas os itens que executem tarefas diferenciadas. Esses painéis são fundamentais quando o formulário é redimensionado pelo usuário, eles asseguram o posicionamento adequado de todos os itens presentes na interface.

A possibilidade de redimensionamento da interface pelo usuário está relacionada ao critério flexibilidade. O critério flexibilidade se refere à possibilidade de personalização da interface pelo usuário, para que o mesmo possa adaptá-la de acordo com as exigências da tarefa e de seus hábitos de trabalho (ERGOLIST, 2008).

6.1.3.4 Barra de Ícones

Após a inserção dos painéis delimitando as zonas funcionais foi criada a Barra de Ícones. Na Barra de Ícones estão presentes os botões (associados a ícones) que executam as principais ações do programa *Riscare*.

Para a criação dos ícones (fig. 35), buscou-se desenvolver imagens conhecidas dos usuários, como o ícone de abrir (semelhante ao padrão utilizado em alguns programas do *Windows*) e o ponto de interrogação do botão ajuda. O desenho dos outros ícones busca transmitir associações entre as ações realizadas por eles e a imagem. Nielsen (1994) destaca que deve ocorrer o reconhecimento ao invés da lembrança. Este conceito está relacionado com o critério significados. Este critério de usabilidade evidencia que os códigos e as denominações devem ser claros e significativos para o usuário, evitando que o mesmo selecione opções equivocadas (ERGOLIST, 2008).



Figura 35: Ícones da Barra de Ícones do *Riscare* (Abrir, Encaixe, Estrutura Interna, Ajuda)
Fonte: a Autora

O desenho dos ícones foi realizado no *software Corel Draw 14*, e as imagens inseridas nos botões. O primeiro ícone apresentado na Figura 35 está associado à ação do botão Abrir. O clique desse botão é o primeiro passo necessário para iniciar um encaixe (ou através da Barra de *Menu*, clicar em Arquivo e depois em Abrir). Está associado a este botão um rótulo textual, quando o usuário deixa o mouse parado sobre o botão, aparece o texto: “Abrir molde”.

A ação do clique sobre o botão Abrir inicializa a caixa de diálogo Abrir do *Windows* e permite que o usuário escolha arquivos no formato DXF. Caso o usuário deseje encaixar moldes que não estão disponíveis na biblioteca do *Riscare*, ele deve construir esses moldes no *software AutoCAD* ou em outro *software* que exporte arquivos no formato DXF.

O segundo ícone apresentado na Figura 35 é do botão Encaixe. Também está associado um rótulo textual a esse botão: “Visualizar Encaixe”. O botão Encaixe desenha na Área de Encaixe o melhor encaixe encontrado pelo programa. Se o *software* fosse comercial, também estaria associado a esse botão todo cálculo necessário para a realização do encaixe.

Como o *software* foi desenvolvido para pesquisa, é interessante poder visualizar a estrutura do encaixe a partir das matrizes bidimensionais representadas pelos *grids*.

Pelo motivo descrito acima foi criado outro botão, o Estrutura Interna (terceiro ícone da Figura 35). A ação do usuário sobre esse botão abre uma nova caixa de diálogo chamada Estrutura Interna do Molde.

6.1.3.5 Caixa de diálogo Estrutura Interna

Na caixa de diálogo Estrutura Interna (fig. 36) o usuário pode selecionar duas guias: Moldes ou Área de Encaixe. A guia Moldes mostra a estrutura da matriz bidimensional de cada um dos moldes, com os números identificando as regiões vazias, as áreas de contorno e a região interna do molde. O usuário tem a opção de mudar o molde que deseja visualizar digitando o número correspondente aquele molde no espaço ao lado da palavra Molde ou manipulando o botão com duas setas, uma para baixo e outra para cima. Também é possível saber a posição de cada *grid* na matriz bidimensional. Se o usuário posicionar o mouse em cima de uma das células da matriz, o texto “Coordenadas da Célula” mostra as distâncias daquele ponto até o topo, para baixo, até a lateral direita e até a lateral esquerda.

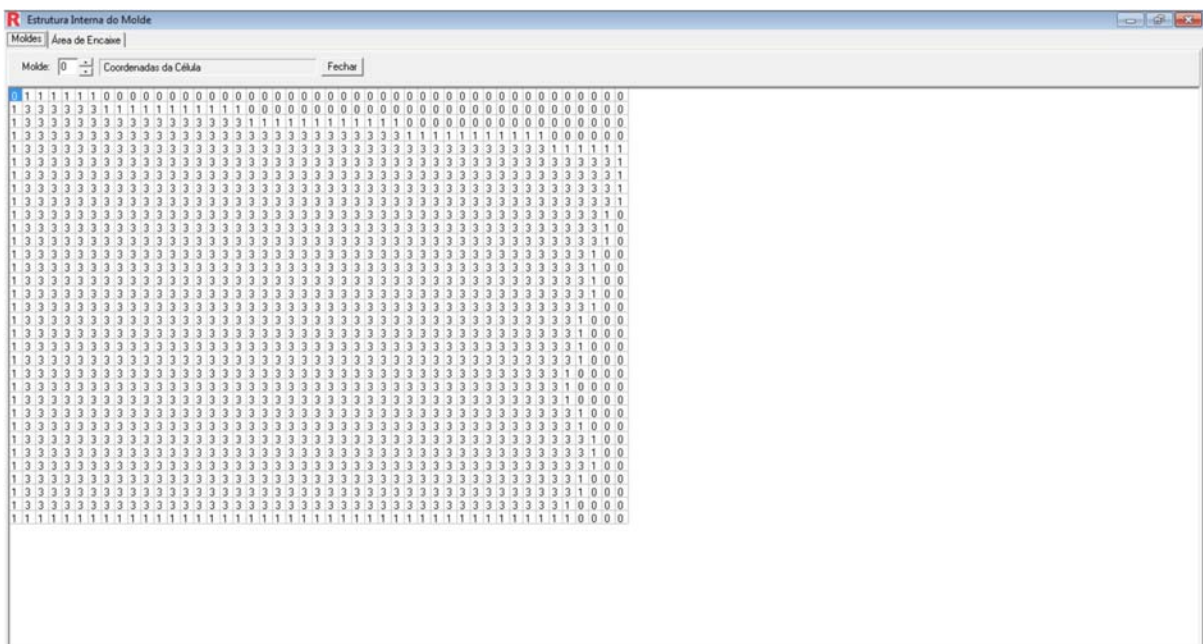


Figura 36: Formulário Estrutura Interna com a guia Moldes selecionada
Fonte: a Autora

A guia Área de Encaixe, conforme pode ser observada na Figura 37, mostra o encaixe dos moldes a partir da estrutura da matriz bidimensional. Assim como na guia Moldes, nessa aba também é possível saber as posições de cada um dos *grids*, sendo necessário apenas que o usuário coloque o mouse em cima de uma das células da matriz.

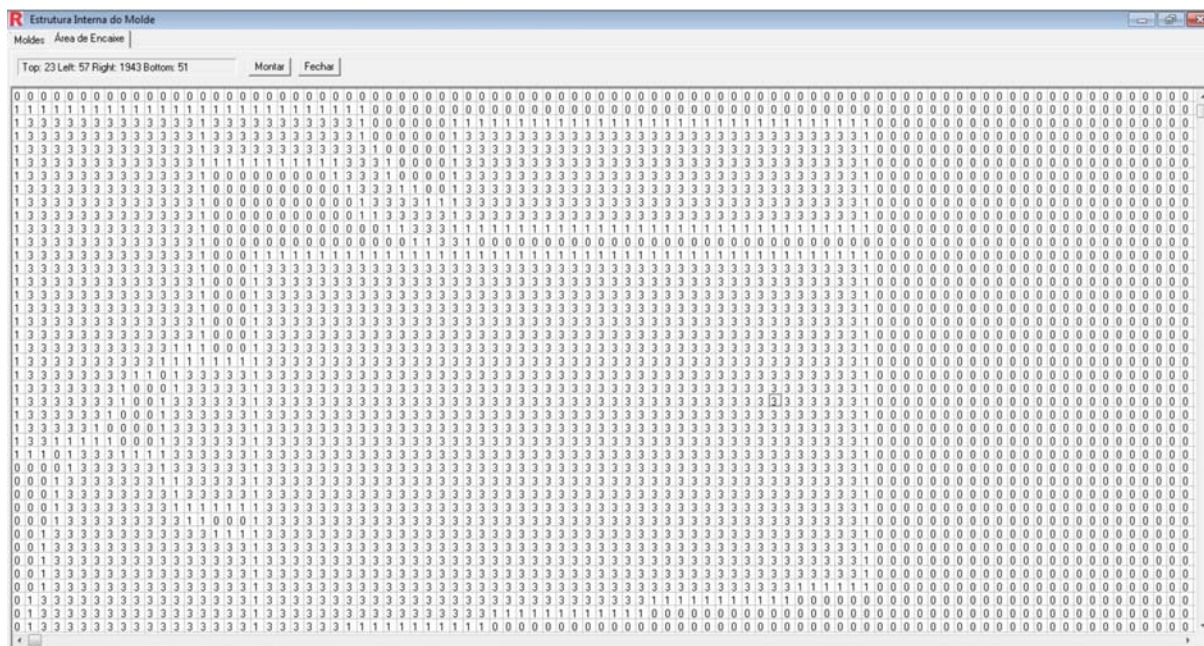


Figura 37: Formulário Estrutura Interna com a Guia Área de Encaixe selecionada

Fonte: a Autora

Na guia Área de Encaixe também está presente o botão mais importante de todo o programa: o botão Montar. A este botão está associado o procedimento de encaixe dos moldes. Após clicar nesse botão, e esperar algum tempo de processamento, pode ser visualizada na parte inferior da guia Área de Encaixe o encaixe dos moldes (aqui representados por matrizes bidimensionais). Para visualizar os moldes na Área de Encaixe da interface principal o usuário deve fechar essa caixa de diálogo e clicar no botão Encaixe. Após o clique desse botão, a imagem do encaixe gerado é mostrada na Área de Encaixe da interface principal.

Quando a caixa de diálogo Estrutura Interna é aberta pelo usuário, não é permitido que o usuário clique na interface principal, a não ser que o mesmo feche a caixa de diálogo Estrutura Interna. Esse processo é utilizado para evitar erros no programa e está associado a outro critério de usabilidade: proteção contra erros. O critério proteção contra erros está relacionado aos procedimentos empregados para detectar e prevenir os erros de entradas de dados, comandos, possíveis ações de conseqüências desastrosas ou não recuperáveis

(ERGOLIST, 2008). Segundo Nielsen (1993) é necessário minimizar a ocorrência de erros já que os mesmos frustram o usuário e afetam a eficiência da interface. Assim, se o usuário desejar retornar a interface principal, ele deve primeiramente fechar a caixa de diálogo Estrutura Interna.

6.1.3.6 Menu de Moldes

Abaixo da Barra de Ícones está o *Menu* de Moldes. Depois de selecionados os moldes no botão Abrir da Barra de Ícones, eles podem ser visualizados pelo usuário, em outra zona funcional, o *Menu* de Moldes (fig. 38).



Figura 38: *Menu* de Moldes
Fonte: a Autora

Dentro do *Menu* de Moldes são desenhados, durante a execução do programa, os moldes abertos pelo usuário. Para poder visualizar todos os moldes abertos, na parte inferior do *Menu* de Moldes encontra-se uma barra de rolagem. Essa barra de rolagem fica visível para o usuário se a lista dos moldes selecionados se estenderem além da dimensão da tela. Cada um dos moldes tem ao seu lado direito uma tabela com os tamanhos dos moldes e a quantidade que deve ser encaixada e a quantidade que realmente foi encaixada daquele molde. Apesar de aparecer na interface, essa tabela ainda não está funcional e os dados que aparecem nela não devem ser considerados.

6.1.3.7 Área de Encaixe

Abaixo do *Menu* de Moldes encontra-se a Área de Encaixe (fig. 39). Essa região é composta por duas régua (uma disposta no sentido vertical e outra na horizontal), a imagem do melhor encaixe gerado, textos e imagens informativas. O componente régua²¹ foi baixado da internet e instalado no *Delphi*. Alguns recursos disponíveis desse componente foram utilizados, como a visualização da posição do mouse na Área de Encaixe.

²¹ Disponível em: < <http://www.torry.net/pages.php?id=162>> Acesso em: 29 ago. 2009, 11: 00

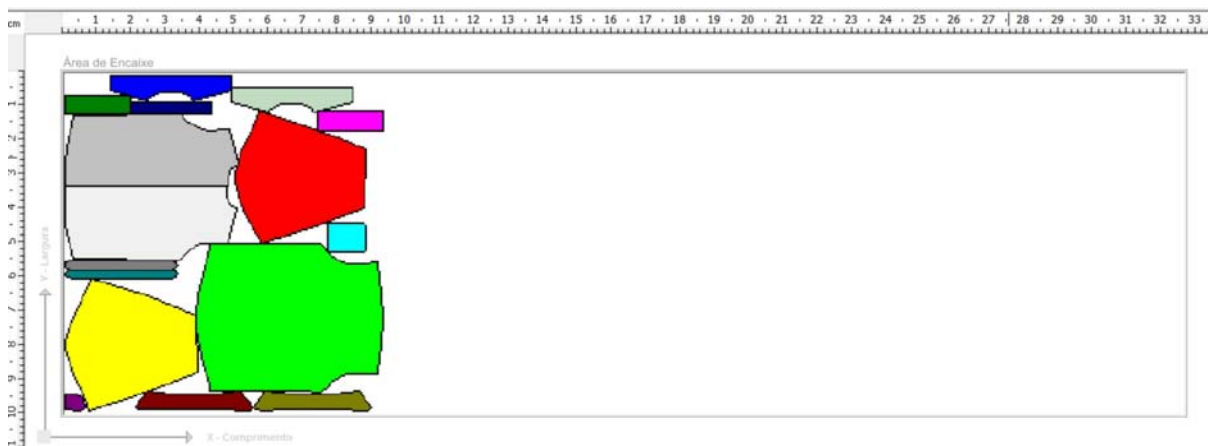


Figura 39: Área de encaixe
Fonte: a Autora

Como não foi encontrada uma forma de inserir textos rotacionados a um ângulo de 90° , optou-se pela utilização de imagens para inserir o texto e as setas indicando os eixos X e Y com a indicação do comprimento e da largura. A palavra Área de Encaixe também foi colocada dessa forma.

Na Área de Encaixe, assim como no restante do programa, optou-se por deixar a maioria dos espaços na cor branca. Este é um efeito positivo da interface e está relacionado ao critério legibilidade. O critério de legibilidade diz respeito à dificuldade ou facilidade de leitura das informações apresentadas na tela (brilho do caractere, contraste letra/fundo, tamanho da fonte, espaçamento entre palavras, espaçamento entre linhas). Uma qualidade da interface e que auxilia na legibilidade das informações é a predominância de espaços em brancos na estruturação da tela (ERGOLIST, 2008).

6.1.3.8 Barra de *Status*

Na parte inferior da interface está localizada a Barra de *Status* (fig. 40). No canto esquerdo da Barra de Status é informada ao usuário, através de um texto, a posição do mouse dentro da imagem da Área de Encaixe. Ao lado desse texto foi inserido um separador visual, que é um componente do *Delphi*. Ao lado desse separador encontra-se outro texto com a frase: “Bem Vindo!!!”. Este texto foi inserido para auxiliar nas ações que o usuário deveria realizar desde quando o mesmo abre o programa até quando deseja obter informações sobre o

rendimento e comprimento alcançados pelo encaixe realizado. Porém, esses textos ainda não foram associados às diversas ações do programa.



Figura 40: Barra de *Status*

Fonte: a Autora

Seguindo pela Barra de *Status* encontra-se outro texto: “Clique para saber informações sobre o encaixe”. O usuário, durante a execução do programa, pode clicar no texto que o programa mostrará um novo texto. Este texto informa o eixo de deslocamento em que foi feito o encaixe e há duas opções: Encaixe com deslocamento no eixo X e Encaixe com deslocamento no eixo Y.

Ao lado desse texto há outro separador visual, e do lado direito desse separador encontram-se outros botões e ícones responsáveis pela manipulação da visualização do encaixe. A Figura 41 mostra mais detalhadamente esses ícones.



Figura 41: Ícones da Barra de *Status* do *Riscare* (*Zoom In*, *Zoom Out*, *Pan*, *Tempo*, *Executar*, *Parar*)

Fonte: a Autora

Assim como no desenho dos ícones dos botões presentes na Barra de Ícones, para os botões da Barra de *Status* também se buscou desenvolver imagens já conhecidas dos usuários. Os botões *Zoom In* e *Zoom Out* mostram o desenho de uma lupa associado a um sinal positivo (para aumentar a imagem) e associado a um sinal negativo (caso se deseje diminuir o tamanho da imagem). Esses botões só manipulam a dimensão da imagem do encaixe, o restante da interface permanece inalterada. No botão *Tempo* também foi associado um ícone conhecido (semelhante ao utilizado no *software 3D Studio Max*), o clique desse botão, após a realização do encaixe, informa ao usuário o tempo gasto para a realização do encaixe, através do texto localizado à esquerda desse botão. As ações dos botões *Pan*, *Executar* e *Parar* ainda não foram implementadas.

A inserção dos botões *Parar* e *Executar*, apesar de ainda não terem sido implementados, tem como objetivo auxiliar os usuários no controle do sistema, como por exemplo, determinar para uma tarefa específica se desejam parar, cancelar, suspender ou

continuar. Este objetivo está relacionado com o critério controle do usuário (ERGOLIST, 2008).

6.1.3.9 Barra de Propriedades

Complementando a interface e localizada na lateral direita estão dispostas verticalmente duas guias referentes à Barra de propriedades: Propriedades do Encaixe e Propriedades dos Moldes. O usuário pode clicar em cima de uma dessas guias e a página referente a ela é aberta. A Figura 42 mostra primeiramente as duas guias fechadas e depois a guia Propriedades do Encaixe aberta. Caso o usuário deseje fechar novamente essa guia, é só clicar em cima novamente.



Figura 42: (a) Guias fechadas, (b) Guia Propriedades do Encaixe aberta
Fonte: a Autora

Na guia Propriedades do Encaixe foi inserida uma tabela²² que é um componente do Delphi. Nessa tabela o programa já exibe um valor *default* da largura para o usuário, mas o

²² Essa tabela é o componente *ValueListEditor*. Segundo a Cantù (2002), o componente *ValueListEditor* é especificamente destinado a lista de textos que usam uma estrutura de duas colunas, em que a primeira apresenta um nome e a segunda um valor. Nas colunas do componente *ValueListEditor* é possível apresentar informações e permitir que o usuário edite as mesmas durante a execução do programa ou deixar o espaço vazio para que o usuário digite a informação. A vantagem desse controle é que se pode personalizar as opções de edição de cada posição da grade ou de cada valor. Para cada posição da grade também é possível determinar se a mesma é somente leitura, o número máximo de caracteres de cada palavra, os itens de uma lista suspensa e a exibição de um botão para mostrar uma caixa de diálogo de edição.

mesmo também pode digitar um novo valor. Essa ação só é permitida para essa primeira linha superior da segunda coluna, referente à largura do tecido para o encaixe. Abaixo da tabela encontram-se três botões: Ok, Cancela e Ajuda. Esses botões servem para validar, cancelar ou auxiliar na definição dos valores editados pelo usuário referentes à largura do tecido.

Depois do encaixe, para o usuário saber informações sobre o comprimento e aproveitamento (rendimento) do encaixe, o mesmo deve clicar na guia Propriedades do Encaixe e essas informações estarão ali. Na guia Propriedades dos Moldes ainda não foram inseridos outros componentes.

Através da organização das zonas funcionais e implementação de componentes disponíveis no *Delphi* foi possível desenvolver e implementar a interface do protótipo funcional *Riscare*. A Figura 43 apresenta esquematicamente as ações que o usuário deve seguir na interface para executar as tarefas principais do programa.

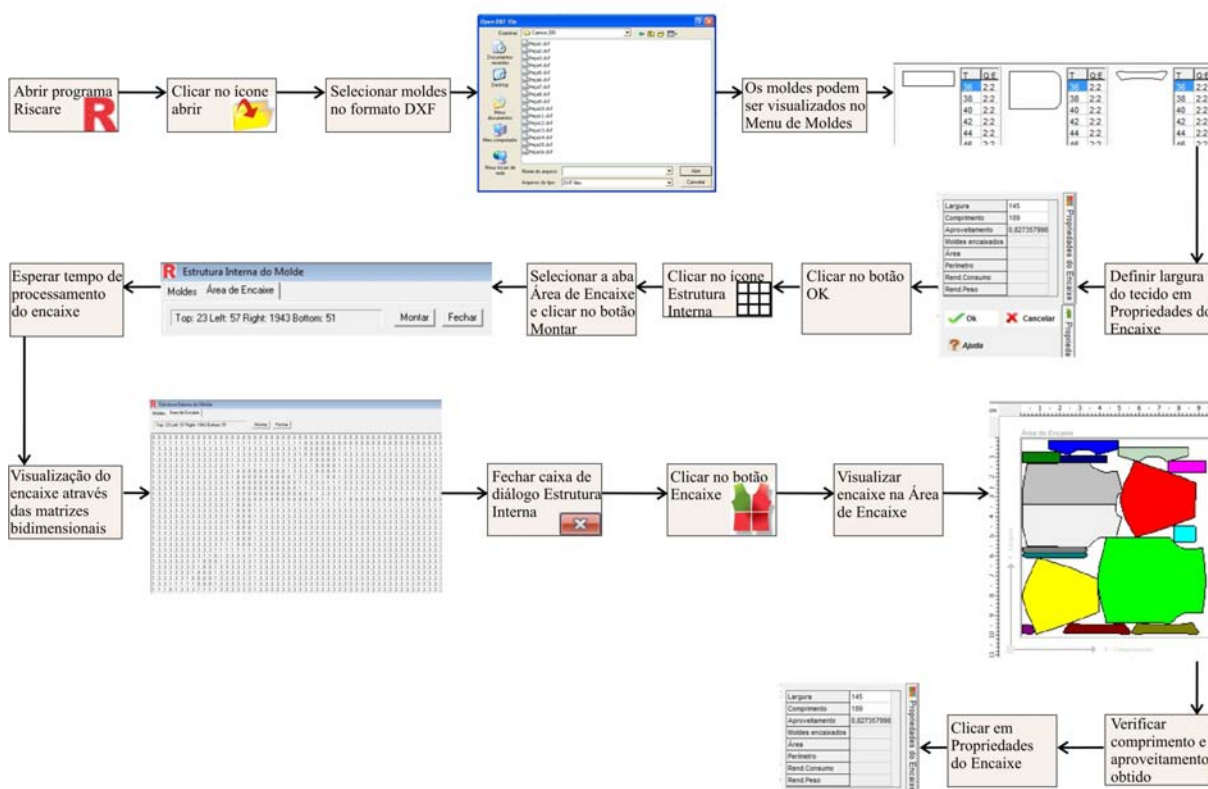


Figura 43: Sequência das ações que devem ser realizadas pelo usuário para executar as principais tarefas do programa

Fonte: a Autora

6.2 Implementação da Técnica de Encaixe Proposta

Com a interface construída foi iniciada a implementação da técnica proposta para o encaixe de moldes. Para organizar as informações contidas no protótipo funcional, a estrutura interna do código foi dividida em unidades. O Quadro 04 mostra as unidades construídas, os conteúdos que estão presentes em cada uma delas e os principais procedimentos e funções contidas em algumas das unidades.

UNIDADES	O QUE CONTÉM	PRINCIPAIS PROCEDIMENTOS E FUNÇÕES
Principal	Objetos, procedimentos e funções relacionados ao funcionamento da interface principal.	_____
Tipos	Declaração das classes (<i>TStatus</i> , <i>TXYPPoint</i> , <i>TArrayPoints</i> , <i>TMatrixPoint</i> , <i>TMatrix</i> , <i>TStockSheet</i> , <i>TModel</i> e <i>TCoresRiscare</i>)	Procedimento <i>AddPatern</i>
Splash	Criação de uma tela de abertura para o protótipo funcional	_____
Constantes	Variáveis que apresentam valores constantes	_____
DXF	Código do leitor de arquivos no formato DXF	_____
Biblioteca	Funções e procedimentos auxiliares de outras unidades	Funções: <i>CriaMolde e LineToPoints</i> Procedimentos: <i>Desenha e SizeandPainDxfImg</i>
Moldes	Procedimentos e funções relacionados ao funcionamento do formulário Estrutura Interna.	Procedimentos: <i>btMontarClick</i> , <i>SeteMaiores</i> , <i>MontaGridEncaixe_Y</i> e <i>MontaGridEncaixe_X</i> Função <i>CalculaRendimento</i>

Quadro 04: Estrutura das unidades do *Riscare*

Fonte: a Autora

6.2.1 Unidades

As unidades são uma forma de se trabalhar com dados independentes. Uma unidade pode ter dados, funções e variáveis locais que não podem ser acessadas por outras unidades. Também é possível dizer qual das unidades pode ser acessada por outra. Essa divisão auxilia na organização do código e permite que o mesmo seja alterado sem afetar outras unidades do programa (CANTÙ, 2002). No protótipo funcional *Riscare* os dados, variáveis, funções e procedimentos que compõem o programa foram organizados em sete unidades (*units*): Principal, Tipos, Splash, Constantes, DXF, Biblioteca e Moldes.

A unidade Principal contém todas as variáveis, funções e procedimentos relacionados à interface principal. Nessa unidade estão associadas todas as ações que devem ocorrer quando o usuário clica em algum dos botões, como o botão Abrir, por exemplo. Ou quando deseja abrir e fechar as guias da lateral direita presentes na interface. Também são definidos nessa parte quais componentes devem estar visíveis para o usuário quando o mesmo abrir o programa. Essa unidade tem acesso a todas as outras, já que muitos dos eventos que iniciam na interface principal também estão relacionados a outras unidades.

Na unidade Tipos foram declaradas as classes do *Riscare*, que serão descritas mais adiante. A estruturação de classes²³ normalmente é a forma utilizada para implementar o conceito de encapsulamento²⁴. Esse conceito compõe, juntamente com os conceitos de herança²⁵ e polimorfismo²⁶, os três conceitos fundamentais da programação orientada a objetos (CANTÙ, 2002).

Na unidade *Splash* foi construído um novo formulário para uma tela de abertura. Essa é uma técnica utilizada em aplicativos para apresentar uma tela inicial, antes que o formulário principal seja exibido. Isso produz um efeito dinâmico e faz o aplicativo parecer mais ativo, pois é exibido algo para o usuário, enquanto o programa é carregado. Também pode proporcionar um belo efeito visual (CANTÙ, 2002).

A unidade Constantes contém variáveis que apresentam valores constantes. Essa unidade não acessa nenhuma outra, já que não tem a necessidade de obter informações contidas em outras unidades. A definição do tamanho das guias laterais presentes na interface, os valores numéricos inseridos no *grid* da matriz bidimensional e o caminho para abrir alguns arquivos são algumas das variáveis de valores constantes contidas nessa unidade.

²³ “Uma classe é um tipo de dados definido pelo usuário, o qual tem um estado (sua representação) e algumas operações (seu comportamento). Uma classe tem alguns dados internos e alguns métodos, na forma de procedimentos ou funções, e normalmente descreve as características genéricas e o comportamento de alguns objetos semelhantes (CANTÙ, 2002, p. 43)”.

²⁴ Dentro de uma classe os dados devem ser ocultos ou encapsulados. O objeto esconde seus dados de outros objetos e permite que os dados sejam acessados apenas por intermédio de seus próprios métodos. Isso é chamado de ocultação de informações. Essa restrição ao acesso é denominada encapsulamento, que protege os dados contra adulteração (CANTÙ, 2002).

²⁵ É possível, no caso de semelhança entre as classes, definir uma nova classe diretamente a partir de outra existente. Frequentemente, duas ou mais classes irão compartilhar os mesmos atributos e métodos. Para que não seja necessário reescrever várias vezes o mesmo código, utiliza-se o conceito de herança para que a classe filha herde o código da classe mãe (CANTÙ, 2002).

²⁶ O termo polimorfismo se refere a um determinado método que pode responder de diferentes formas, em várias classes relacionadas. Quando o método é chamado em uma instância de um objeto de um tipo de classe, em particular, pode se referir a versões diferentes. Só é possível existir polimorfismo se existir uma herança, para que o método se comporte de formas diferentes em cada uma das classes que herdaram a classe mãe (CANTÙ, 2002).

A unidade DXF foi criada para inserir o código de um leitor de DXF²⁷ de código aberto (*open source*) disponível na internet. Os arquivos em DXF são dados em formato de texto de desenhos vetoriais. É uma representação de dados de todas as informações contidas em um arquivo de desenho do AutoCAD. Cada elemento dos dados no arquivo é precedido por um número inteiro que é chamado de código de grupo. O valor do código do grupo indica o tipo de dado do elemento seguinte. Virtualmente todas as informações especificadas em um arquivo de desenho podem ser representadas em formato DXF (DXF REFERENCE, 2008).

O código do leitor de DXF abre os arquivos vetoriais nesse formato, porém foi necessário a criação do procedimento *AddPattern* e da função *LineToPoints* para transformar esses arquivos em matrizes bidimensionais com conteúdos numéricos. Essa transformação será explicada posteriormente, juntamente com outros procedimentos e funções, na seção Procedimentos e Funções deste sub-capítulo.

A unidade *Lib* foi criada para a declaração de funções e procedimentos auxiliares das outras unidades. Por este motivo é permitido que sejam acessadas outras unidades dentro dela (Tipos, Constantes e DXF). Também foram declaradas nessa unidade variáveis públicas utilizadas em todo o programa e que representam os moldes e o tecido em que é realizado o encaixe. Essas variáveis, por serem públicas, podem ser acessadas em qualquer uma das outras unidades. Na unidade *Lib* também estão presentes funções importantes como a *CriaMolde* e a *LineToPoints*; e os procedimentos: *Desenha* e *SizeandPaintDxfImg*.

Na unidade *Pattern* estão todas as funções e procedimentos relacionados ao formulário Estrutura Interna. Como o algoritmo de encaixe é ativado pelo clique do botão Montar na guia Área de Encaixe do formulário Estrutura Interna, é na unidade *Pattern* que estão localizadas os principais procedimentos e funções do programa, responsáveis pelo algoritmo de encaixe. Dentre os procedimentos dessa unidade destaca-se: *MontaGrid*, *btMontarClick*, *MontaGridEncaixe_Y*, *MontaGridEncaixe_X* e *SeteMajores*. Nessa unidade também se encontra uma das funções relacionadas aos procedimentos: *CalculaRendimento*.

6.2.2. Classes

Após a definição das unidades, foram estruturadas as classes na unidade Tipos para a implementação da técnica de encaixe. No protótipo funcional *Riscare* foram criadas oito classes, conforme pode ser observado na Figura 44.

²⁷ Disponível em: < <http://www.csarsfield.com/delphi.shtml> > Acesso em: 15 set. 2009, 14:30

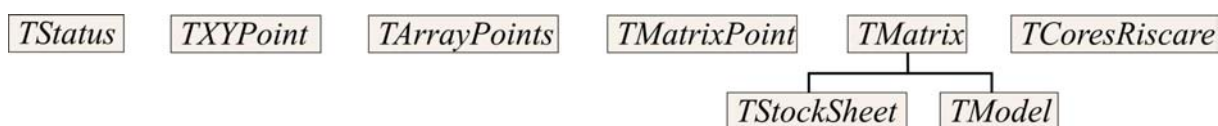


Figura 44: Estrutura e hierarquia das classes do *Riscare*
 Fonte: a Autora

A primeira classe criada foi a *TStatus*. A *TStatus* é a classe referente ao conteúdo numérico de cada célula da matriz bidimensional. Ela pode ter como conteúdo 0 (vazia), 1 (contorno), 2 (contorno de um molde sobre o contorno de outro molde), 3 (interior), 4 (contorno de um molde sobre interior de outro molde) e 6 (interior de um molde sobre o interior de outro molde). Esses conteúdos, como citado anteriormente, foram declarados na unidade Constantes. Caso deseje-se trocar o valor numérico de cada situação não é necessário mexer na variável da classe *TStatus*, apenas trocar o valor dessa variável na unidade Constantes.

Foi criada também a classe *TXYPoint*. Essa classe foi definida como um *record*, que é apenas um registro e não permite que a classe contenha métodos. Dentro desta classe foram definidas as variáveis X e Y. Através dessas variáveis é possível saber a localização dos pontos X e Y de cada um dos *grids* que compõem a matriz. Esses pontos também foram utilizados para saber a localização dos vértices das retas que compõem os arquivos DXF.

Outra classe definida foi a *TArrayPoints* que é um arranjo da classe anterior *TXYPoint*. Essa classe faz um arranjo dos pontos X e Y.

Também foi definida a classe *TMatrixPoint*. Essa classe foi criada para saber as posições de cada uma das células da matriz. Ela se difere da classe *TXYPoint* por apresentar às distâncias de um ponto de coordenadas x e y até o topo, para baixo, para a esquerda, para a direita e o conteúdo numérico de um determinado *grid*. Para saber o conteúdo do *grid*, foi definida uma variável que herda a classe *TStatus* e informa o conteúdo de uma determinada posição.

A classe *TMatrix* foi definida para trabalhar com a estrutura de matriz bidimensional e nela é possível saber a largura, o comprimento, o perímetro, a área e os pontos (*grids*) de cada uma das matrizes (a variável pontos faz um arranjo da classe *TMatrixPoint*).

A classe *TMatrix* também é a classe mãe de outras duas classes: *TStockSheet* e *TModel*. As classes *TModel* e *TStockSheet* herdam a classe *TMatrix*. Suas propriedades e métodos podem ser usados tanto para a matriz do tecido (classe *TStockSheet*) quanto para as matrizes dos moldes (classe *TModel*). O conceito de herança é uma das principais vantagens

de trabalhar com programação orientada a objetos. Não é necessário que as variáveis e métodos da classe *TMatrix* tenham que ser novamente escritos para as classes *TStockSheet* e *TModel*.

A classe *TStockSheet*, uma das classes filhas da *TMatrix*, foi definida para todos os métodos relacionados a área de encaixe, ou seja, a matriz do tecido. A outra classe filha de *TMatrix*, a *TModel*, apresenta as propriedades e métodos relacionados a todos os moldes selecionados pelo o usuário para o encaixe.

A classe *TModel* tem, entre outros métodos, o procedimento já citado *AddPattern*, que é responsável por converter os desenhos (em formato DXF) em uma matriz bidimensional com conteúdo numérico em cada um de seus *grids*.

A última classe criada foi a *TCoresRiscare* que tem procedimentos e métodos para a inserção de cores nos moldes. Essa classe faz um arranjo da classe *TColor*, que é uma classe já existente no *Delphi*.

6.2.3 Procedimentos e Funções

Nessa seção são descritos os procedimentos e funções mais importantes para a implementação da técnica e do protótipo funcional. Os procedimentos citados aqui somam um total de sete ações: *AddPattern*, *Desenha*, *SizeandPaintDxfImg*, *btMontarClick*, *SeteMajores*, *MontaGridEncaixe_Y* e *MontaGridEncaixe_X*. As funções somam um total de três: *CriaMolde*, *LineToPoints* e *CalculaRendimento*.

No procedimento *AddPattern* são definidas as áreas externas e as áreas internas do molde e com essa informação determinados os conteúdos numéricos de cada uma das partes que compõem a matriz bidimensional. No momento em que é chamado o procedimento *AddPattern*, as células com conteúdo do contorno do molde (valor numérico 1) já foram desenhadas pela função *LineToPoints*.

A função *LineToPoints* transforma cada uma das linhas do arquivo DXF em pontos. Na função *LineToPoints* são passados os valores do x e do y do início e do fim de uma reta do arquivo DXF. A função devolve um arranjo de pontos (classe *TArrayPoints*), que são os pontos x e y do início da reta até o final. É um deslocamento na reta através de pontos. Esses pontos são utilizados para preencher o contorno do modelo.

Assim, apenas os *grids* correspondentes ao contorno do molde apresentam conteúdo quando é inicializado o procedimento *AddPattern*. Para a identificação da localização de um ponto (área interna ou externa do molde) é necessário a partir do ponto incrementar e

decrementar o seu valor em todas as direções. O seja, é como se o procedimento percorresse todos os *grid* em ângulo reto a partir de um determinado ponto (para cima, para baixo, para à esquerda e para à direita). Caso sejam percorridos todos esses *grids* e encontrado o número 1 (contorno do molde) em todos os sentidos percorridos, aquela posição é considerada como interior e recebe o número 3. Caso não seja encontrado o número 1 em alguma das direções, o *grid* é considerado como espaço disponível e recebe o número 0. Dessa forma, são definidos os conteúdos das matrizes bidimensionais com os valores numéricos correspondentes a cada uma das áreas dos moldes.

O procedimento descrito acima, o *AddPattern*, é o resultado da função *CriaMolde*. Essa função é chamada na unidade principal quando o botão Abrir é clicado pelo usuário. Assim, quando o usuário seleciona os moldes que deseja abrir, o programa chama a função *CriaMolde* e como resultado dessa função converte os arquivos em formato DXF em matrizes bidimensionais com conteúdo. Essa transformação inicia através da função *CriaMolde*, porém só ocorre através da combinação de duas funções (*CriaMolde* e *LineToPoints*) e um procedimento (*AddPattern*).

Também são criados dentro da função *CriaMolde* objetos dinamicamente para a exibição dos moldes na Barra de Moldes. Dentro dessa função é chamado o procedimento *SizeandPaintDxfImg*, que desenha o arquivo em formato DXF para a exibição do molde em formato vetorial na Barra de Moldes.

Com a construção e definição das áreas (através dos conteúdos) da matriz dos moldes é possível iniciar os procedimentos e funções relacionados à técnica de encaixe.

O procedimento *MontaGrid* cria *grids* no formulário Estrutura Interna na aba Moldes (para os moldes) e na aba Área de Encaixe (para o tecido). No procedimento *MontaGrid* são desenhadas as linhas e colunas do *grid*, que recebem respectivamente a largura e comprimento da matriz dos moldes ou do tecido (variáveis privadas da classe *TMatrix* declaradas na unidade Tipos).

É importante ressaltar que o procedimento *MontaGrid* cria um *grid* (*String grid*) visual e não uma matriz bidimensional abstrata formada por finitas partes (*grids* ou células) como o procedimento *AddPattern*. O conteúdo definido de cada um das matrizes através do procedimento *AddPattern* é repassado para o *grid* visual através do procedimento *MontaGrid* e o usuário pode visualizar a estrutura em forma de matriz bidimensional no formulário Estrutura Interna. Assim, esse procedimento cria *grids* com as dimensões e conteúdos de cada um dos moldes, que podem ser visualizados na aba Molde do formulário Estrutura Interna. Na aba Área de Encaixe o procedimento *MontaGrid* cria um outro *grid* com as dimensões de

largura definida pelo usuário para o tecido. O tecido é inicializado com os *grids* vazios (conteúdo representado pelo número 0).

Relacionado ao formulário Estrutura Interna também está o procedimento *btMontarClick*, associado ao clique do botão Montar do formulário. Esse procedimento é o principal da unidade *Pattern*. Dentro dele foram declaradas algumas variáveis internas, entre elas destaca-se: *arLargura*, *arComprimento*, *arPerímetro*, *arArea* e *arRendimento*. Todas essas variáveis são arranjos (do tipo *array*). As quatro primeiras foram declaradas para os critérios de ordenamento: Largura, Comprimento, Perímetro e Área (já citados no capítulo Descrição da Técnica Proposta). E a última variável, *arRendimento*, guarda os valores referentes ao aproveitamento de cada encaixe efetuado.

Dessa forma, no procedimento *btMontarClick* as peças são ordenadas em função de quatro critérios. Após o ordenamento dos moldes, em ordem decrescente desses critérios, é chamado o procedimento *SeteMajores*. Esse procedimento fornece as diversas sequências de moldes de todos os ordenamentos possíveis a partir da combinação dos sete maiores moldes.

Após definidos todos os ordenamentos, as sequências dos moldes ficam guardadas, e para cada uma delas é realizado o encaixe e verificado o rendimento desse encaixe. Para realizar o encaixe de cada uma dessas sequências de moldes é chamado o procedimento *MontaGridEncaixe_Y*. Após todos os encaixes serem realizados, os rendimentos obtidos em cada um deles são ordenados e é possível saber qual foi o encaixe que obteve o melhor aproveitamento de tecido.

O mesmo processo que é realizado para o procedimento *MontaGridEncaixe_Y* também é feito para *MontaGridEncaixe_X*. Porém, como citado anteriormente, no *MontaGridEncaixe_X* não é encaixado a sequência obtida com todos os ordenamentos possíveis a partir da combinação dos sete maiores moldes (procedimento *SeteMajores*). Também são guardados os rendimentos e após a realização de todos os encaixes é possível saber qual deles obteve o melhor aproveitamento de tecido. O maior rendimento obtido com deslocamento no eixo X é comparado como maior obtido com deslocamento no eixo Y. A sequência de moldes que apresentar maior rendimento é a solução final e novamente é encaixada.

O procedimento *MontaGridEncaixe_Y* verifica o conteúdo de cada célula da matriz do molde. Se a soma do conteúdo de uma célula da matriz do molde com o conteúdo de uma célula da matriz do tecido resultar no valor 4 ou 6 (situações não permitidas) a matriz é deslocada um *grid* no eixo Y e o processo de verificação dos conteúdos das células é interrompido. O processo de verificação é reinicializado a partir da origem da matriz do

molde, que neste caso foi deslocada um *grid* no eixo y da matriz do tecido. Novamente o somatório dos conteúdos das células são verificados. Essa verificação inicia na origem da matriz do molde, com o x e o y iguais a zero e percorre primeiro todo o eixo y. Caso não haja situação de impossibilidade, todo o eixo y será percorrido novamente, porém não mais na posição zero do x e sim na posição um. O processo é contínuo até que se encontre uma posição de impossibilidade ou que todas as células tenham sido percorridas e representem uma situação possível. Caso haja impossibilidade e a matriz do molde percorra todo o eixo y da matriz do tecido e não encontre um local disponível, ela é deslocada o valor de um *grid* no eixo x da matriz do tecido.

É necessário observar que há uma diferença entre a verificação dos conteúdos das células e o deslocamento dos moldes. Quando os conteúdos são verificados, as células são percorridas, porém os moldes permanecem imóveis no tecido. Só quando uma situação de impossibilidade é encontrada que o ponto de inserção da origem do molde muda (é incrementado a partir da origem). Quando a situação de possibilidade de inserção do molde é encontrada, o conteúdo (*status*) de cada célula é repassado para aquela determinada posição da matriz do tecido. Através dessa sequência o processo pode ser o mesmo para cada novo molde que é inserido no tecido, a única diferença estará no conteúdo das células do tecido.

O procedimento *MontaGridEncaixe_X* ocorre de forma semelhante ao procedimento *MontaGridEncaixe_Y*. Porém a verificação do conteúdo das células inicia nas células do eixo x, na posição zero do eixo y. Se a soma do conteúdo de uma célula da matriz do molde com o conteúdo de uma célula da matriz do tecido resultar no valor 4 ou 6 (situações não permitidas) a matriz é deslocada um *grid* no eixo x e interrompe o processo de verificação dos conteúdos das células. O processo é reinicializado na origem da matriz do molde, agora deslocada o valor de um *grid* para a direita no tecido. Essa matriz será deslocada até o valor limite de 40% do comprimento das peças já encaixadas no tecido. Caso o molde percorra esse comprimento e não encontre espaço disponível, é incrementado o valor de um *grid* no eixo y. Novamente o programa interrompe o processo de verificação e o reinicializa com a origem da matriz do molde deslocada. Se chegar ao limite do eixo y e não encontrar local disponível, o valor limite de deslocamento no eixo x é incrementado em 5%. Assim como no procedimento *MontaGridEncaixe_Y*, quando a situação de possibilidade de inserção do molde é encontrada, o conteúdo (*status*) de cada célula é repassado para aquela determinada posição da matriz do tecido.

Dentro dos procedimentos *MontaGridEncaixe_Y* e *MontaGridEncaixe_X* é chamada a função *CalculaRendimento*. Essa função é responsável por avaliar cada um dos encaixes

realizados, para que posteriormente possa ser definido o melhor. Dentro da função *CalculaRendimento* foi declarada a variável *maiorx*, que recebe o valor da última célula ocupada na matriz. Com o valor dessa variável, é feito um processo de verificação de toda a matriz até a célula indicada pelo valor do *maiorx*. Durante o processo de verificação são contadas as células vazias e as cheias. Quando o processo é finalizado é possível saber o rendimento (ou aproveitamento) de um determinado encaixe através do valor das células cheias dividido pelo somatório das células cheias e vazias²⁸.

Os valores do rendimento de cada encaixe são guardados junto com os ordenamentos de cada uma das sequências dos moldes. Assim, é possível saber, após a realização de todos os encaixes, qual ordenamento obteve o melhor rendimento.

Com a informação do melhor rendimento obtido é possível desenhar o encaixe com a melhor solução. Essa ação é efetuada através do clique do botão Encaixe presente na Barra de Ícones da interface principal. O clique desse botão chama o procedimento *Desenha*.

O procedimento *Desenha* é responsável pela criação da imagem do melhor encaixe dos moldes na interface principal. Dentro desse procedimento a informação mais importante está nos pontos de inserção dos moldes. Os pontos de inserção indicam os locais de origem que os moldes devem ser desenhados. Essas informações são obtidas nos procedimentos *MontaGridEncaixe_Y* e *MontaGridEncaixe_X* quando o melhor encaixe é novamente desenhado. Com essa informação, no procedimento *Desenha* é possível inserir os moldes no local exato calculado pelo algoritmo de encaixe.

Dessa forma, com a estrutura de classes, conceito de herança, interação dos dados, procedimentos e funções de todas as unidades criadas foi possível implementar a técnica proposta para o encaixe de moldes na linguagem *Delphi*. Após a implementação foi possível a realização de alguns testes para comparar a eficiência da técnica com outros métodos utilizados. Esses testes são descritos a seguir no capítulo Resultados.

²⁸ O cálculo da eficiência do encaixe para determinar o rendimento do tecido foi baseado em Araújo (1996), que define a eficiência como a divisão da área total dos moldes pela área total da folha de tecido multiplicado por 100.

7. RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados dos encaixes alcançados com o protótipo funcional *Riscare*. Está dividido em três sub-capítulos: Encaixe dos Moldes Utilizados nas Observações Diretas, Encaixe de Problemas *Benchmarks* da literatura e Discussão dos Resultados. Para a realização dos encaixes no *Riscare* foi utilizado um computador com processador Intel® Core™2 Duo T6600 (2.2 GHz, 2 MB L2 cache, 800 MHz FSB), com memória de 3GB e disco rígido de 500GB.

7.1 Encaixe dos Moldes Utilizados nas Observações Diretas

Este sub-capítulo apresenta o encaixe obtido dos moldes da jardineira infantil e do casaco feminino no protótipo funcional *Riscare*. Para poder verificar o desempenho do protótipo funcional e da técnica proposta, o encaixe dos moldes da jardineira e do casaco, além de serem realizados no *Riscare* são comparados com o melhor encaixe efetuado pelos especialistas nas Observações Diretas. Para ter mais uma fonte de comparação, os moldes também foram encaixados no *software* comercial *Audaces Encaixe 7*.

Os encaixes foram efetuados com o tecido enfestado (apenas metade dos moldes são encaixados e metade da largura do tecido é utilizada). Esse também foi o modo escolhido e utilizado pelos especialistas para realizar o encaixe dos moldes.

7.1.1 Jardineira infantil

Os moldes da jardineira infantil compõem um total de 15 peças. Os encaixes manuais realizados com os moldes da jardineira, como citado anteriormente, foram com o tecido enfestado, ou seja, só é utilizada a metade da largura do tecido (72,5 cm) e metade dos moldes são encaixados. Os moldes inteiros, como por exemplo, a frente da jardineira, é dobrada ao meio coincidindo com a dobra do tecido.

A Figura 45 apresenta o encaixe obtido no protótipo funcional *Riscare* que alcançou um comprimento de 64 cm e rendimento (aproveitamento) de 86,52%. O tempo para a realização do encaixe foi de 57 minutos e 29 segundos.

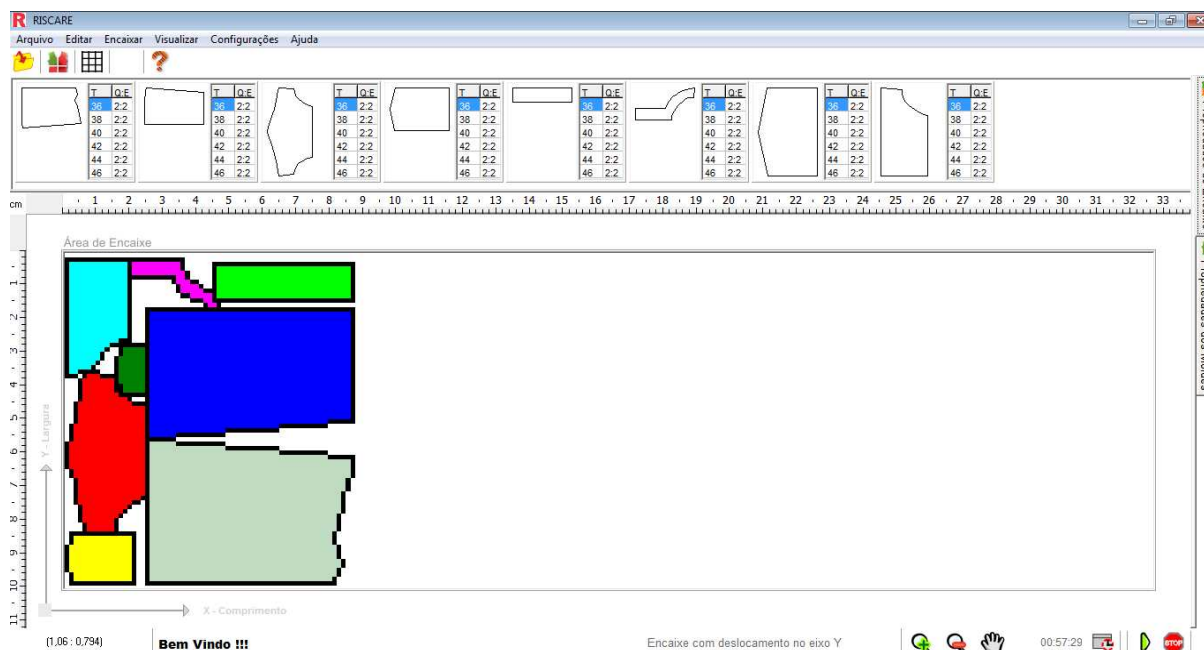


Figura 45: Encaixe dos moldes da jardineira infantil no *Riscare*

Fonte: a Autora

A Figura 46 apresenta o melhor encaixe dos moldes da jardineira realizado por um especialista nas Observações Diretas, também com o tecido enfestado. O encaixe apresentado na Figura 46 alcançou o comprimento de 66 cm e rendimento de 83,90%. O tempo utilizado pelo especialista para a realização do encaixe foi de 5 minutos.

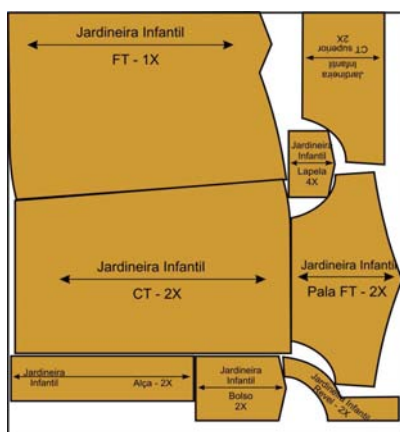


Figura 46: Encaixe dos moldes da jardineira realizado por um especialista

Fonte: a Autora

A Figura 47 mostra a interface do *software Audaces Encaixe 7* com o encaixe dos moldes da jardineira infantil. O encaixe realizado pelo *software* comercial obteve um comprimento de 63,5cm e aproveitamento de 87,21%. O tempo utilizado para a realização do encaixe foi de 10 minutos.

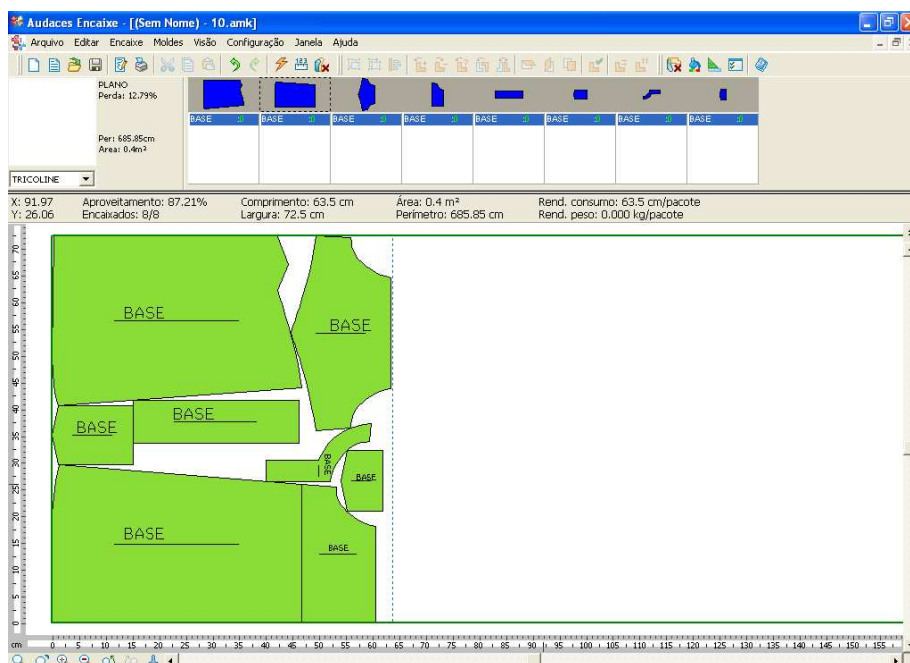


Figura 47: Encaixe dos moldes da jardineira realizado pelo *software Audaces Encaixe 7*
Fonte: a Autora

A Tabela 05 mostra os comprimentos obtidos, rendimentos e tempo para a realização dos encaixes dos moldes da jardineira nas três formas avaliadas. Através da visualização da Tabela 05 é possível perceber que o *Riscare*, quando comparado com *software Audaces Encaixe 7* obteve um encaixe com comprimento superior de 0,5 cm. Quando comparado ao encaixe realizado pelo especialista, o *Riscare* alcançou um comprimento inferior de 2 cm.

Tabela 05: Comparação dos encaixes dos moldes da jardineira infantil

Encaixe	Largura	Comprimento	Rendimento (aproveitamento)	Tempo
Riscare enfastado	72,5 cm	64 cm	86,52%	57 min e 29 seg
Manual enfastado	72,5 cm	66 cm	83,90%	5 min
Audaces enfastado	72,5 cm	63,5 cm	87,21%	10 min

Fonte: a Autora

7.1.2 Casaco feminino

Os moldes do casaco feminino somam um total de 26 peças. Os encaixes manuais realizados com os moldes do casaco, assim como na jardineira infantil, também foram com o tecido enfastado (72,5cm). Os encaixes comparativos realizados no *Riscare* e no *software Audaces Encaixe 7* também utilizaram o tecido com a largura de 72,5 cm. Diferentemente dos

moldes da jardineira, nesse modelo não há nenhum molde inteiro, que necessite ser dobrado ao meio quando o encaixe ocorre com o tecido enfiado.

A Figura 48 apresenta o encaixe obtido no protótipo funcional *Riscare* que alcançou um comprimento de 157 cm e rendimento (aproveitamento) de 82,28%. O tempo empregado pelo *Riscare* para a realização do encaixe foi de 1 hora 15 minutos e 47 segundos.

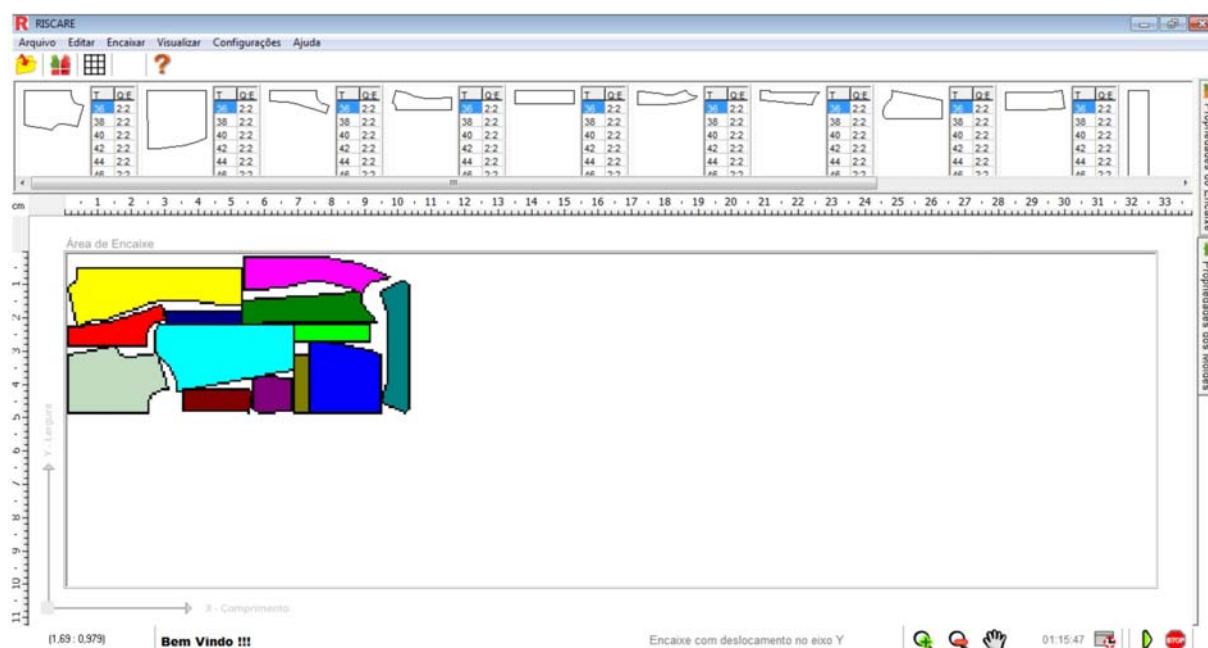


Figura 48: Encaixe dos moldes do casaco feminino realizado no protótipo funcional *Riscare*
Fonte: a Autora

A Figura 49 apresenta um dos encaixes realizado por um especialista, dos moldes do casaco feminino, também com o tecido enfiado. O encaixe²⁹ apresentado na Figura 49 obteve o comprimento de 158 cm e rendimento de 81,76%. O tempo utilizado pelo especialista foi de 6 minutos e 40 segundos.

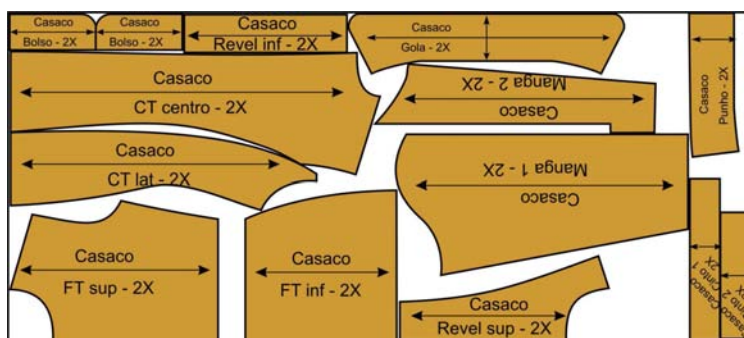


Figura 49: Encaixe dos moldes do casaco feminino realizado por um especialista
Fonte: a Autora

²⁹ O encaixe apresentado na Figura 48 é da Empresa 1 e foi o segundo melhor encaixe dos moldes do casaco obtido pelos especialistas. Por problemas técnicos não foi possível mostrar a imagem do encaixe da Empresa 3, que alcançou o melhor encaixe dos moldes do casaco com 156 cm.

A Figura 50 mostra a interface do *software Audaces Encaixe 7* com o encaixe dos moldes do casaco. O encaixe realizado pelo *software* comercial obteve um comprimento de 156,23 cm e aproveitamento de 82,69%. O tempo utilizado para a realização do encaixe foi de 10 minutos.

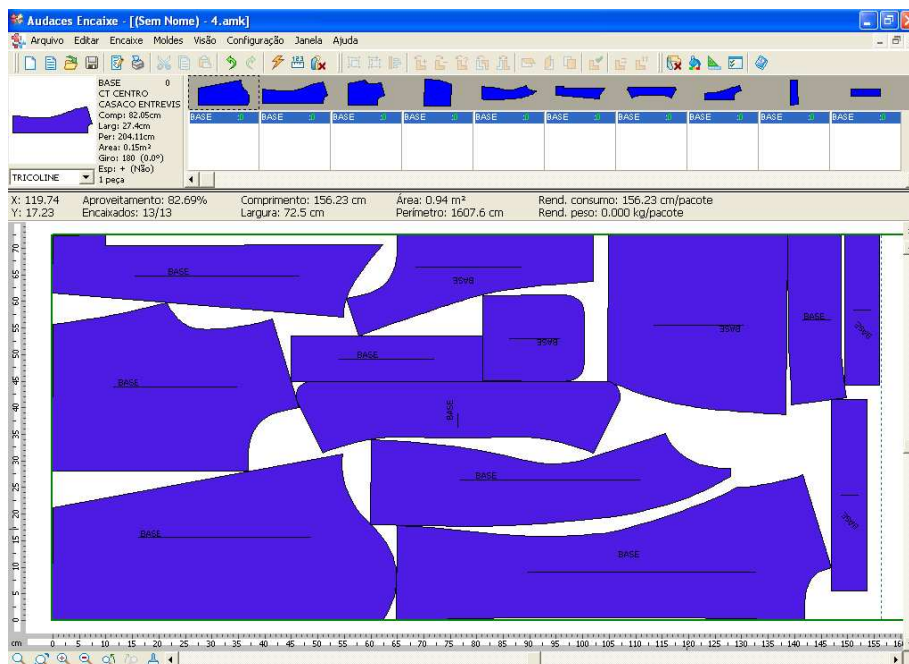


Figura 50: Encaixe dos moldes do casaco feminino realizado pelo *software Audaces Encaixe 7*
Fonte: a Autora

Através da Tabela 06 é possível visualizar os comprimentos obtidos, os rendimentos e o tempo para a realização dos encaixes dos moldes do casaco feminino nas três formas avaliadas. O *Riscare* quando comparado com o encaixe realizado pelo especialista nas Observações Diretas obteve um encaixe com comprimento inferior de 1 cm. Quando comparado ao *software Audaces Encaixe 7* o *Riscare* alcançou um encaixe com comprimento superior de 0,77 cm.

Tabela 06: Comparação dos encaixes dos moldes do casaco feminino

Encaixe	Largura	Comprimento	Rendimento (aproveitamento)	Tempo
Riscare enfastado	72,5 cm	157 cm	82,28%	1 h 15 min e 47 seg
Manual enfastado	72,5 cm	158 cm	81,76%	6 min e 40 seg
Audaces enfastado	72,5 cm	156,23 cm	82,69%	10 min

Fonte: a Autora

7.2 Encaixe de Problemas *Benchmarks* da Literatura

Com o intuito de comparar a técnica utilizada no protótipo funcional *Riscare* com o trabalho de outros autores, foram selecionados 10 problemas de encaixe encontrados em alguns dos artigos pesquisados. As peças foram refeitas no programa AutoCAD e encaixadas no *Riscare*, para que os comprimentos obtidos pudessem ser comparados. Foram selecionados alguns problemas como o *tangran*, por exemplo, que não são moldes da indústria do vestuário, porém são compostos de peças com formatos irregulares.

7.2.1 Biquíni

A Figura 51 mostra o encaixe de moldes de um modelo de biquíni (repetido duas vezes) publicado em Wong *et al.* (2009). O encaixe é composto por 12 moldes e utiliza a técnica do algoritmo genético para realizar o encaixe. O encaixe apresentado pelos autores obteve comprimento³⁰ de 60,5 cm (com largura de 200 cm) e rendimento de 58,81%.



Figura 51: Encaixe dos moldes de dois biquínis apresentado em Wong *et al.* (2009)
Fonte: Wong *et al.* (2009)

A Figura 52 mostra o encaixe dos moldes do biquíni realizado no *Riscare*. O encaixe obteve um comprimento de 59 cm e rendimento (aproveitamento) de 60,30%. O tempo empregado para a realização do encaixe foi de 3 horas 9 minutos e 7 segundos. O encaixe

³⁰ Wong *et al.* (2009) não apresentam a largura do tecido em que os moldes foram encaixados. Os autores publicam o comprimento obtido pela técnica. Fazendo um cálculo de proporcionalidade é possível descobrir a largura do tecido utilizada. Em Wong *et al.* (2009) as medidas estão na unidade de polegadas e não em centímetros ou unidades. Por este motivo, as unidades da largura quando convertidas de polegadas para centímetros tornam-se números fracionados. Dessa forma, optou-se por utilizar como parâmetro as imagens publicadas pelos autores, estabelecendo uma largura padrão (100 ou 200 cm) e através de uma regra de proporcionalidade das imagens publicadas obter o comprimento alcançado também em centímetros.

realizado pelo *Riscare* do modelo do biquíni alcançou um comprimento inferior de 1,5 cm quando comparado ao encaixe obtido em Wong *et al.* (2009).

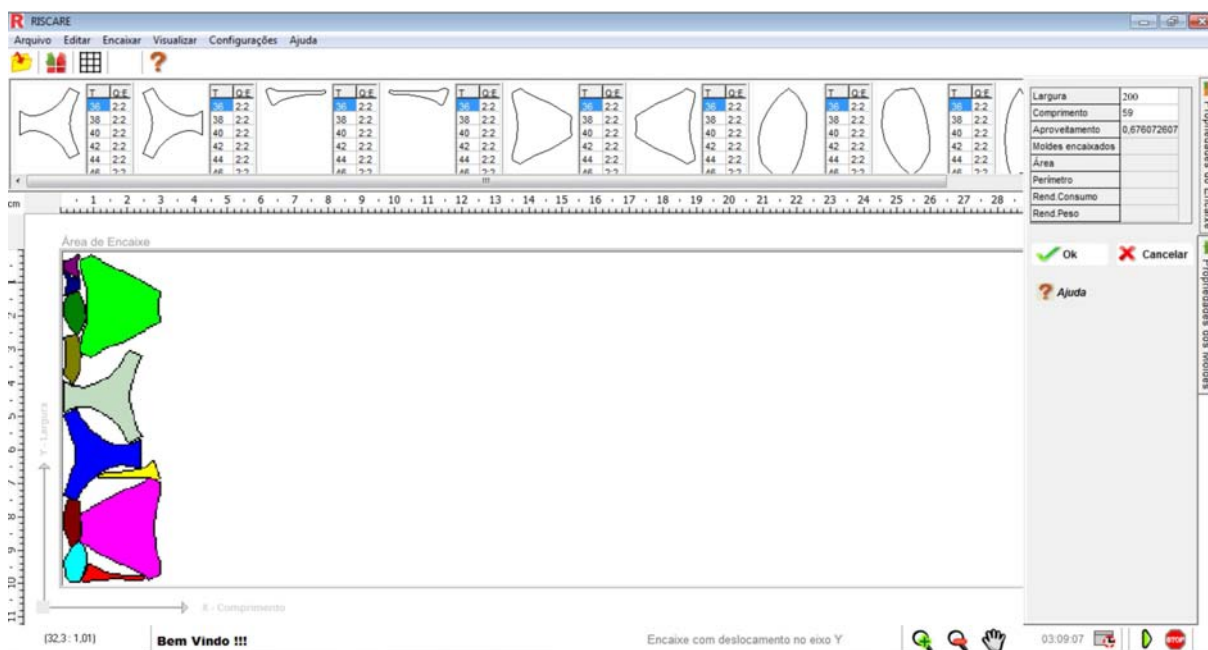


Figura 52: Encaixe dos moldes de dois biquínis realizado no *Riscare*
Fonte: a Autora

A Figura 53 mostra outro encaixe do biquíni, também apresentado em Wong *et al.* (2009), com 8 conjuntos de moldes que compõem o modelo do biquíni apresentado anteriormente, totalizando 48 moldes. O encaixe obteve um comprimento de 270,24 cm (largura de 200 cm) e rendimento de 56,62%.

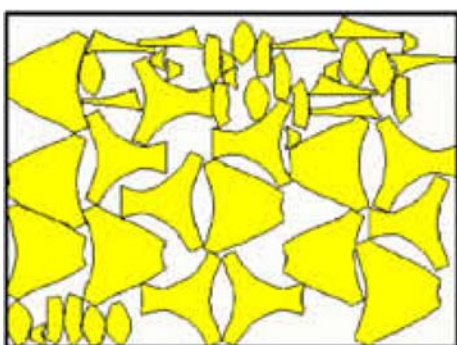


Figura 53: Encaixe dos moldes do biquíni (8 repetições) apresentado em Wong *et al.* (2009)
Fonte: Wong *et al.* (2009)

O encaixe com 8 repetições do modelo do biquíni também foi realizado no *Riscare* e é apresentado na Figura 54. O encaixe obteve um comprimento de 227 cm e rendimento de

67,40 %. O tempo para a realização do encaixe foi de 12 horas 27 minutos e 03 segundos. O comprimento do encaixe realizado pelo *Riscare* foi 43,24 cm menor quando comparado pelo apresentado em Wong *et al.* (2009).

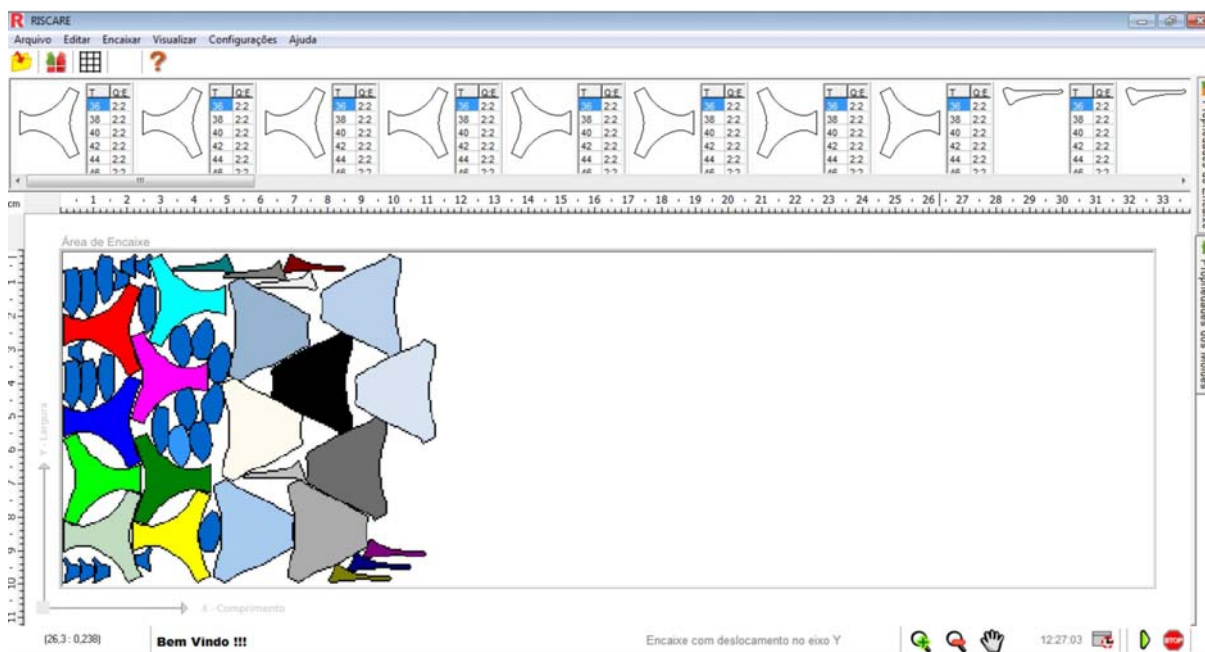


Figura 54: Encaixe dos moldes do biquíni (4 repetições) realizado no *Riscare*
Fonte: a Autora

7.2.2 Camisa

Em Wong *et al.* (2009) também são apresentados os moldes de um modelo de camisa. A Figura 55 mostra o encaixe dos moldes do modelo da camisa que é composto por 16 partes. A técnica utilizada para o encaixe combina o algoritmo genético com a estrutura de *grid*. O encaixe apresentado pelos autores obteve comprimento de 217,27 cm (largura de 200 cm) e rendimento de 72,51%.

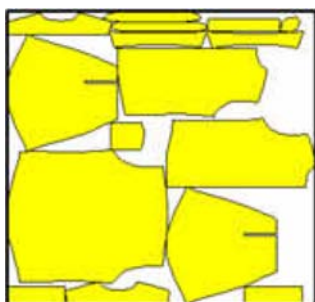


Figura 55: Encaixe dos moldes de um modelo de camisa
Fonte: Wong *et al.* (2009)

Os moldes da camisa foram refeitos no *software* AutoCAD e encaixados no *Riscare*. A Figura 56 apresenta o encaixe realizado que obteve um comprimento de 189 cm e rendimento de 83,35%. O tempo empregado para a realização do encaixe foi de 4 horas 41 minutos e 20 segundos. Comparando os comprimentos do encaixe obtido pelo *Riscare* com o publicado em Wong et al. (2009) é possível verificar que o *Riscare* obteve um comprimento inferior de 28,27 cm, realizando dessa forma um encaixe mais otimizado.

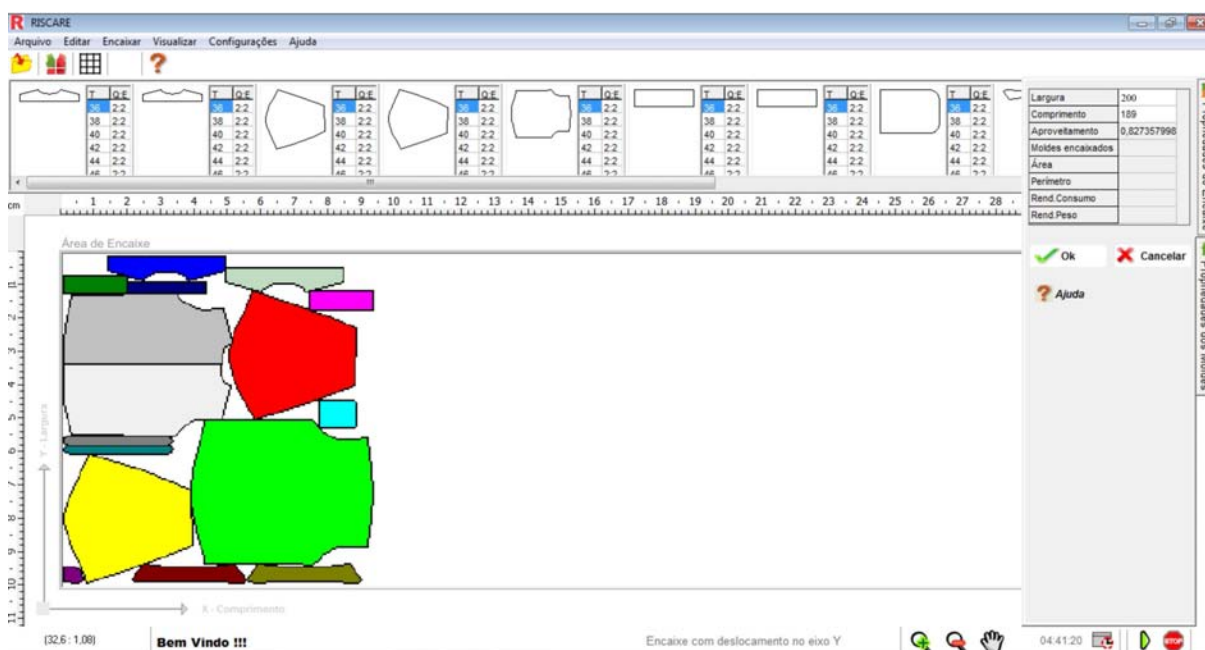


Figura 56: Encaixe dos moldes da camisa realizado no *Riscare*
Fonte: Wong *et al.* (2009)

A Figura 57 mostra outro encaixe dos moldes da camisa, com 32 moldes correspondentes a 2 camisas³¹, também apresentado em Wong *et al.* (2009). O encaixe obteve um comprimento de 433 cm (largura de 200 cm) e rendimento de 75,63%.

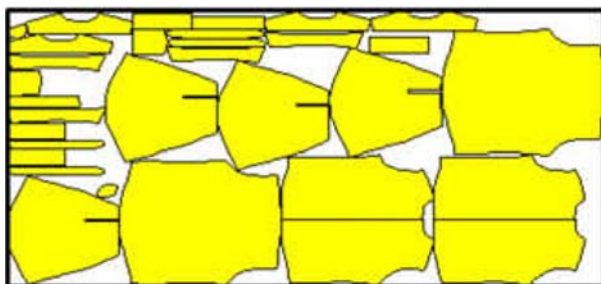


Figura 57: Encaixe dos moldes de duas camisas (32 peças)
Fonte: Wong *et al.* (2009)

³¹ Os moldes do encaixe da Figura 57 são um pouco maiores do que os moldes da Figura 55.

A Figura 58 exibi o encaixe dos moldes de duas camisas realizados no *Riscare*. O encaixe obteve um comprimento de 408 cm e rendimento de 80,06% (largura de 200 cm). O tempo para a realização do encaixe foi de 12 horas 16 minutos e 57 segundos. O comprimento do encaixe obtido pelo *Riscare* foi 25 cm inferior quando comparado ao encaixe publicado em Wong *et al.* (2009).

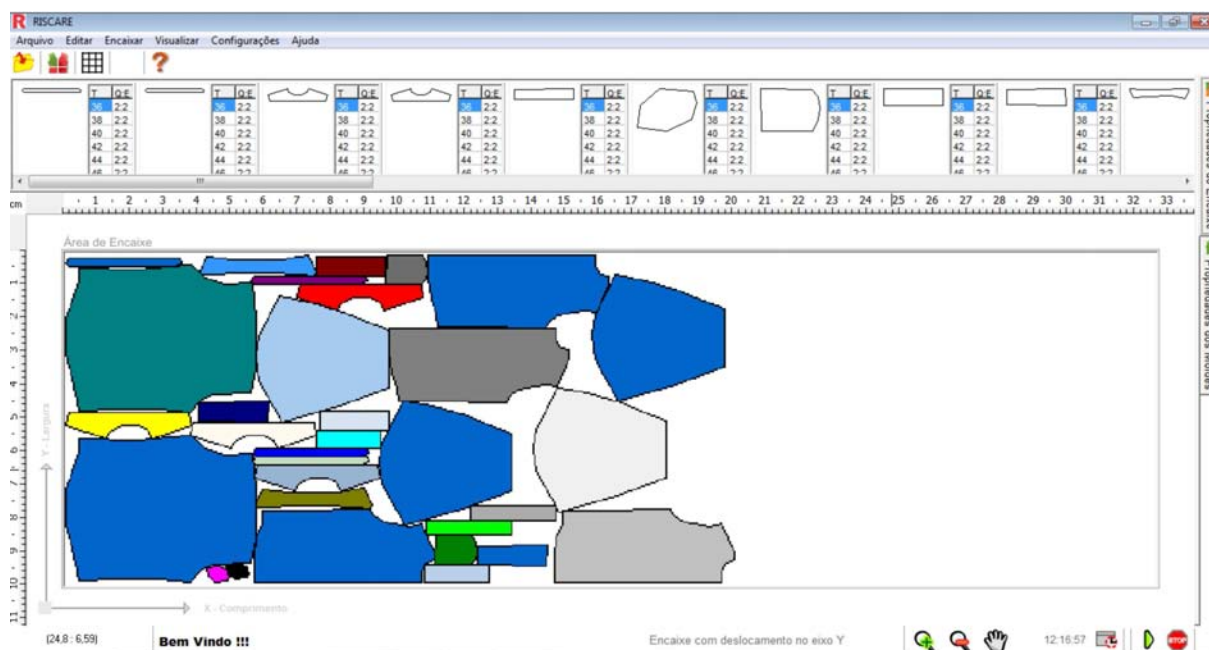


Figura 58: Encaixe dos moldes de duas camisas (32 peças) realizado pelo *Riscare*
Fonte: Wong *et al.* (2009)

Como os moldes apresentados nas Figuras 56 e 58 não são exatamente iguais, optou-se por encaixar os moldes da Figura 56 duas vezes, ou seja, realizar o encaixe de duas camisas com o tamanho dos moldes apresentado na Figura 55. Esse encaixe pode ser visualizado na Figura 59 e obteve um comprimento de 380 cm e rendimento de 83,90%. O tempo utilizado para a realização do encaixe foi de 11 horas 37 minutos e 56 segundos.

Através dos dados obtidos do encaixe da Figura 59 é possível confrontar este encaixe com o da Figura 56. Se o comprimento obtido do encaixe dos moldes de duas camisas for comparado ao encaixe, também obtido pelo *Riscare*, dos moldes de uma camisa, o encaixe apresentado na Figura 59 pode ser considerado pior do que o encaixe da Figura 56. O comprimento do encaixe da Figura 56 se multiplicado por dois daria um comprimento de 378 cm, número que é inferior ao obtido no encaixe simultâneo dos moldes de duas camisas, apresentado na Figura 59.

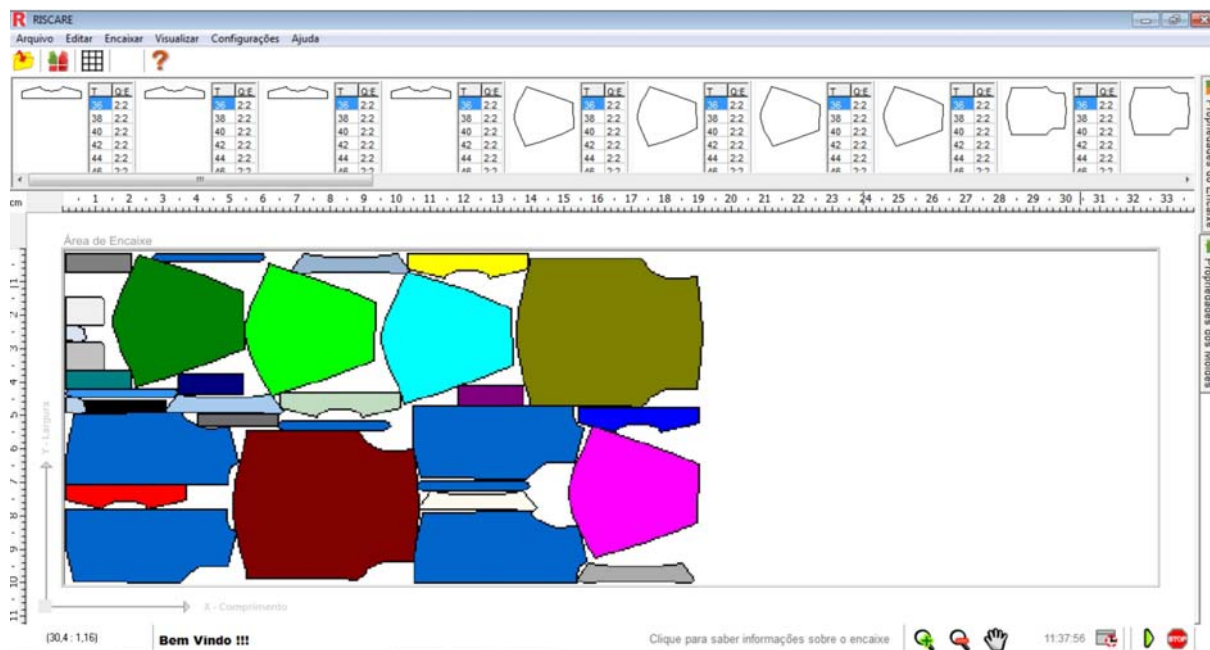


Figura 59: Encaixe dos moldes de duas camisas (tamanho menor) realizado pelo *Riscare*
 Fonte: a Autora

7.2.3 Tangran

A Figura 60 mostra o encaixe perfeito de um *tangran* publicado em Martins e Tsuzuki (2009). O *tangran* é um quebra-cabeça composto por 7 partes, que quando encaixadas da melhor forma formam um quadrado.

Em Martins (2007) o autor defende que este é um problema particularmente difícil porque apresenta múltiplos mínimos locais de valores muito próximos, ou seja, muitas soluções próximas a solução ótima. Para alcançar a solução ótima do problema os autores utilizaram a técnica do *no-fit polygon* combinada com o *simulated annealing*. É importante destacar que a heurística desenvolvida em Martins e Tsuzuki (2009) permite a rotação das peças durante o encaixe.

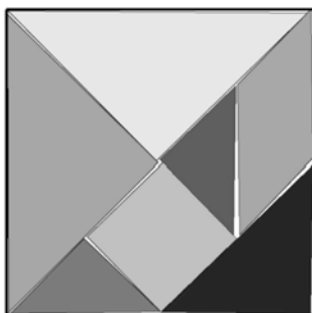


Figura 60: Solução ótima do encaixe do *tangran*
 Fonte: Martins e Tsuzuki (2009)

Com o intuito de comparar o desempenho do protótipo funcional *Riscare*, o problema do *tangran* também foi realizado no programa. O encaixe apresentado na Figura 61 demonstra que o *Riscare* também conseguiu a solução ótima para o problema do encaixe do *tangran*. O tempo para a realização do encaixe foi de 2 horas 27 minutos e 22 segundos. Diferentemente do trabalho publicado em Martins (2007), no *Riscare* as peças já foram inseridas no encaixe com o ângulo de rotação determinado.

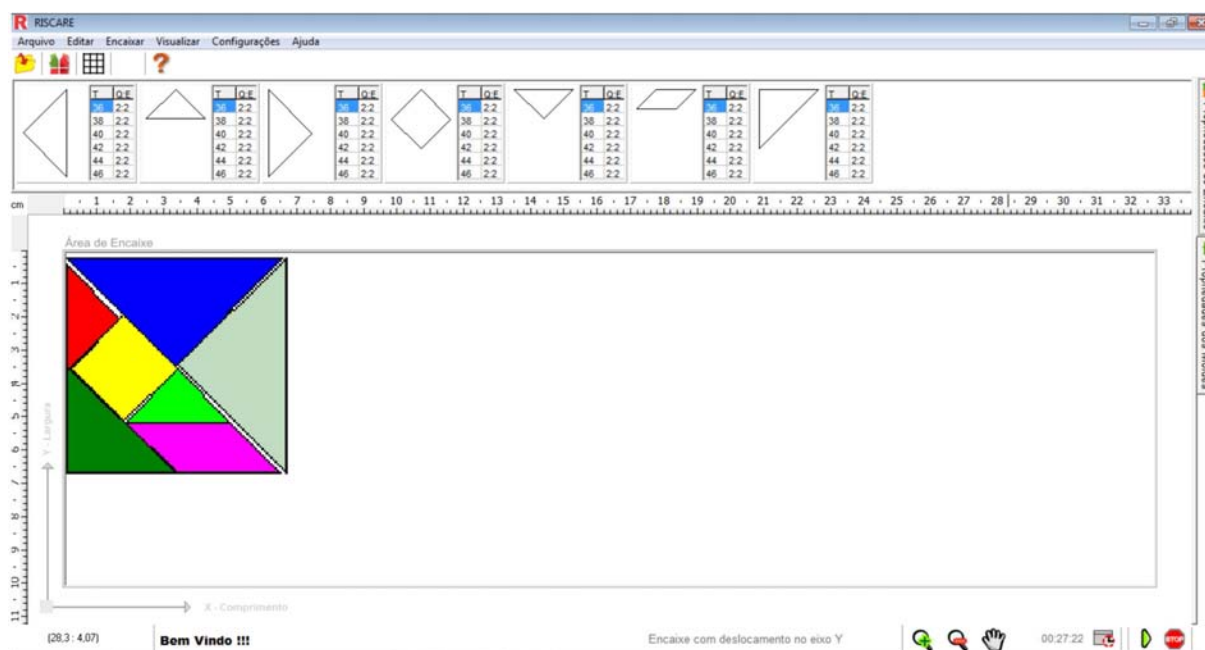


Figura 61: Solução ótima do encaixe do *tangran* realizado no *Riscare*

Fonte: a Autora

7.2.4 Maiô

As imagens apresentadas a seguir apresentam o encaixe dos moldes de um modelo de maiô. Cada modelo do maiô é composto por 16 moldes. Este é um problema conhecido na literatura e tratado por diferentes autores (BENNEL e OLIVEIRA, 2008; BOUGANIS e SHANAHAN, 2007; GOMES e OLIVEIRA, 2006 e BURKE *et al.*, 2006).

A Figura 62 mostra o encaixe de seis conjuntos de moldes do maiô publicado em Bennell e Oliveira (2008). A Figura 62 não foi publicada como o resultado do trabalho apresentado por Bennell e Oliveira (2008), mas como um exemplo de encaixe da indústria do

vestuário. O encaixe obteve um comprimento³² de 14.309,60 unidades e rendimento de 61,78%.



Figura 62: Encaixe de 96 moldes que compõem seis maiôs
Fonte: Bennel e Oliveira (2008)

O encaixe dos 96 moldes que compõem os seis conjuntos de maiôs foi feito também no *Riscare*. O encaixe, mostrado na Figura 63 alcançou o comprimento de 12.982,50 unidades e rendimento de 68,09 %. O tempo utilizado para a realização do encaixe foi de 10 horas 53 minutos e 22 segundos. Quando comparado ao encaixe publicado em Bennel e Oliveira (2008) o encaixe realizado pelo *Riscare* obteve um comprimento inferior de 1.327,10 unidades, conseguindo assim um encaixe com melhor aproveitamento de tecido.

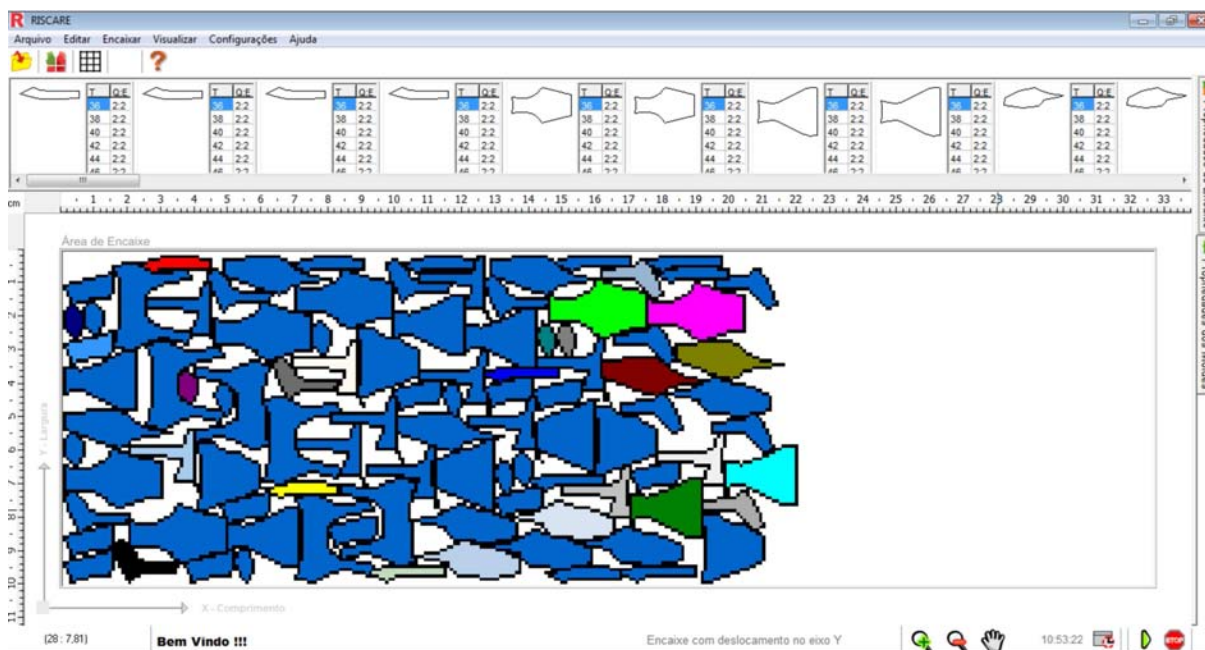


Figura 63: Encaixe de 96 moldes realizado no *Riscare*
Fonte: a Autora

³² Em Bennel e Oliveira (2008), pelo fato de o encaixe ser uma imagem exemplificativa, não há informações sobre o comprimento nem o rendimento do encaixe. Esses dados foram obtidos através da comparação da Figura 60 com a imagem do encaixe do maiô publicada em Gomes e Oliveira (2006) que apresenta dados detalhados.

Gomes e Oliveira (2006) apresentam o encaixe de 48 moldes que compõem três conjuntos de maiôs (fig. 64). O melhor encaixe obtido pelos autores alcançou o comprimento de 5.948,37 unidades e rendimento de 74,37%.

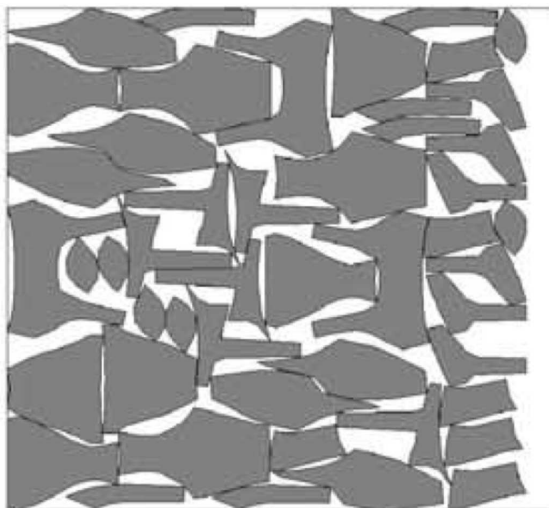


Figura 64: Encaixe de 48 moldes que compõem três maiôs realizado por Gomes e Oliveira (2006)
Fonte: Gomes e Oliveira (2006)

Burke *et al.* (2006) também realizaram o encaixe (fig. 65) de 48 moldes que compõem três conjuntos de maiôs. O melhor encaixe conseguido pelos autores alcançou o comprimento de 6.462,40 unidades e rendimento de 68,4%.

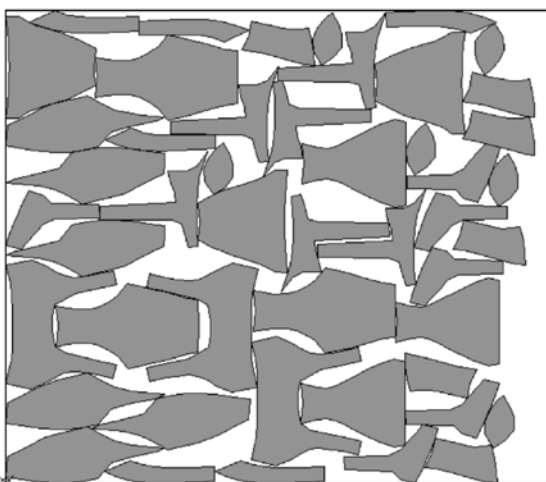


Figura 65: Encaixe de 48 moldes que compõem três maiôs realizado por Burke *et al.* (2006)
Fonte: Burke *et al.* (2006)

Para poder comparar com os resultados obtidos em Burke *et al.* (2006) e Gomes e Oliveira (2006), os moldes do maiô foram refeitos e encaixados no *Riscare*. A Figura 66 mostra o encaixe dos 48 moldes que compõem os três conjuntos de maiô. O encaixe realizado

pele *Riscare* obteve o comprimento de 6.635,50 unidades e rendimento de 66,61%. O tempo empregado para a realização do encaixe foi de 2 horas 33 minutos e 17 segundos.

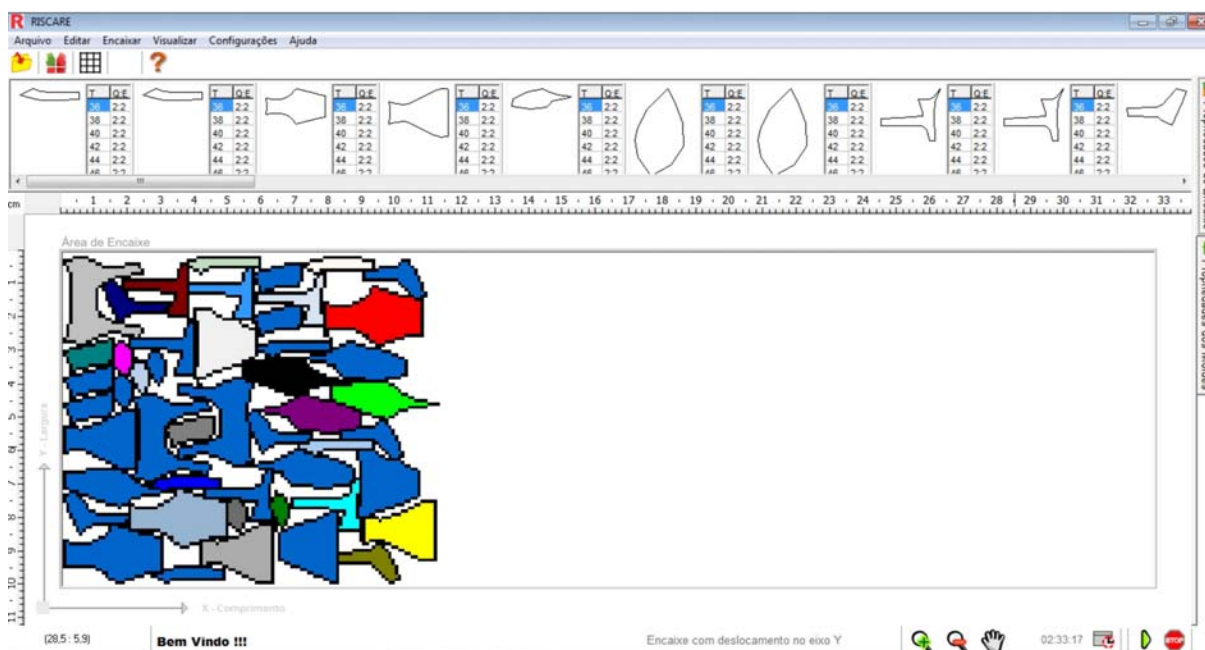


Figura 66: Encaixe de 48 moldes que compõem três maiôs realizado no *Riscare*
Fonte: a Autora

O encaixe realizado pelo *Riscare* encontrou uma boa solução, com comprimento um pouco maior (173,1 unidades) do que o obtido em Burke *et al.* (2006). Porém, quando comparado ao melhor comprimento alcançado em Gomes e Oliveira (2006) a diferença do encaixe realizado pelo *Riscare* é maior em 687,13 unidades. É importante ressaltar aqui que nos trabalhos de Burke *et al.* (2006) e Gomes e Oliveira (2006) são permitidas as rotações de 180° para os moldes. No *Riscare*, os moldes devem ser abertos no programa com as rotações já definidas.

O encaixe do *Riscare* apresentado na Figura 63 (seis maiôs) também pode ser considerado melhor do que o da Figura 66 (três maiôs). Essa análise é possível através da comparação da medida do comprimento do encaixe dos seis maiôs com a medida do comprimento do encaixe dos três maiôs. Se a medida do comprimento do encaixe dos seis maiôs fosse dividida por dois daria como resultado um número bem inferior (6.491,25 unidades) ao comprimento obtido no encaixe dos três maiôs (6.635,50 unidades).

7.2.5 Calça

A Figura 67 apresenta o encaixe de quatro calças, totalizando 64 moldes. Esse encaixe foi publicado em Gomes e Oliveira (2006) que utilizaram o *simulated annealing* e a programação linear. O melhor encaixe das quatro calças obteve um comprimento de 242,11 unidades e rendimento de 89,96%.

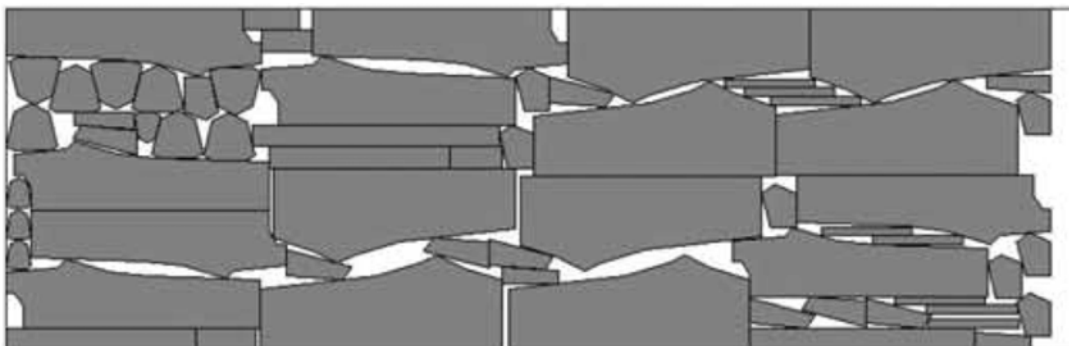


Figura 67: Encaixe dos moldes de quatro calças
Fonte: Gomes e Oliveira (2006)

O desenho dos moldes da calça proposto em Gomes e Oliveira (2006) foi refeito e o encaixe realizado no *Riscare* (fig. 68). O encaixe das quatro calças alcançou um comprimento de 247,14 unidades e rendimento de 88,12%. O tempo para a realização do encaixe foi de 3 horas 35 minutos e 59 segundos. O encaixe realizado no *Riscare* obteve um comprimento superior de 5,03 unidades quando comparado com Gomes e Oliveira (2006).

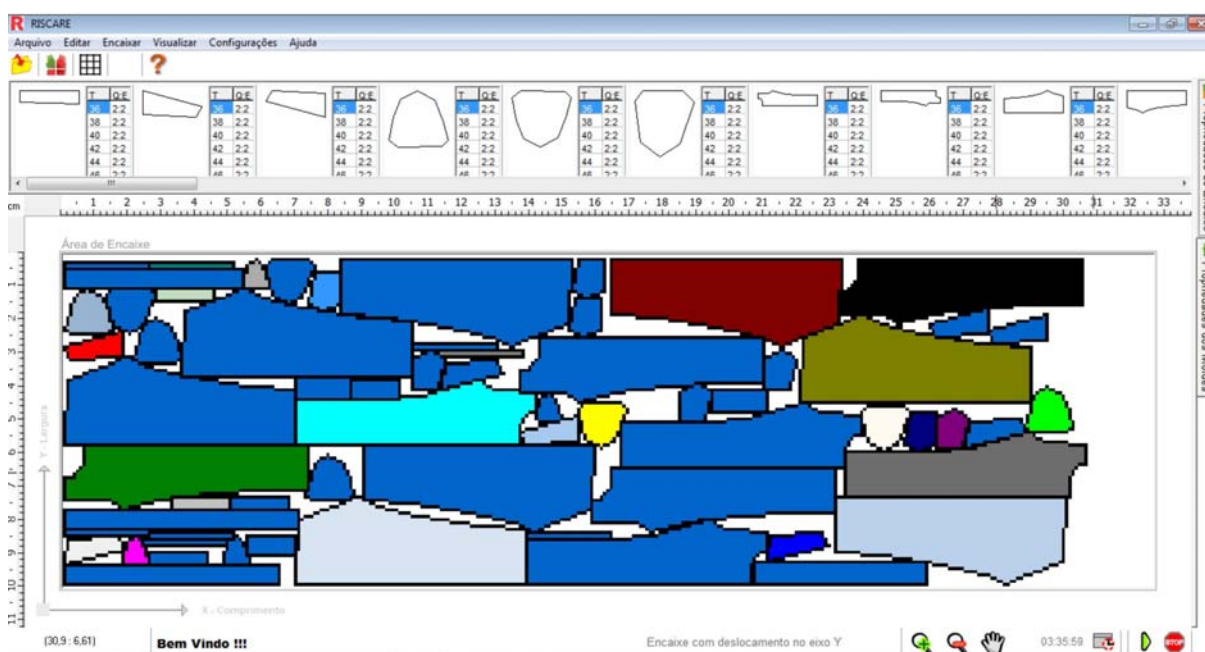


Figura 68: Encaixe dos moldes de quatro calças realizado no *Riscare*
Fonte: a Autora

7.2.6 Problema *Fu*

O problema conhecido como *Fu* é composto por 12 formas irregulares e regulares, para as quais são admitidas três rotações possíveis: 0° , 90° e 180° . Este problema é apresentado em diversos trabalhos da literatura (BURKE *et al.*, 2006; GOMES e OLIVEIRA, 2006; MARTINS, 2007).

A Figura 69 mostra o encaixe realizado por Hopper (2000 *apud* BURKE *et al.*, 2006) que obteve o comprimento de 34 unidades e rendimento de 81,56%.

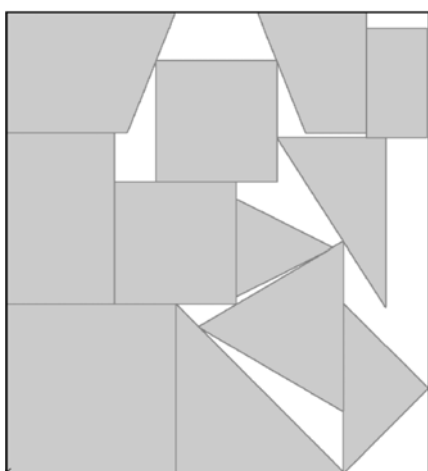


Figura 69: Problema *Fu* apresentado em Hopper (2000 *apud* BURKE *et al.* 2006)
Fonte: Burke *et al.* (2006)

O problema *Fu* também foi realizado por Burke *et al.* (2006), em que era permitido que as peças rotacionassem o ângulo de 90° . A Figura 70 mostra a disposição das peças e o encaixe obtido de 32,80 unidades de comprimento e 86,9% de rendimento.

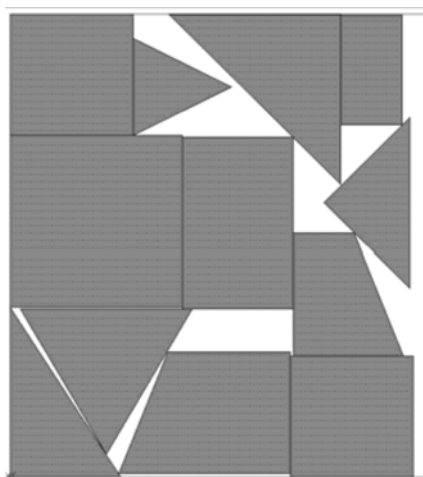


Figura 70: Problema *Fu* apresentado em Burke *et al.* (2006)
Fonte: Burke *et al.* (2006)

A Figura 71 apresenta a solução de encaixe encontrada em Gomes e Oliveira (2006) para o problema *Fu*. Os autores obtiveram um comprimento de 30,59 unidades e rendimento de 90,96%.

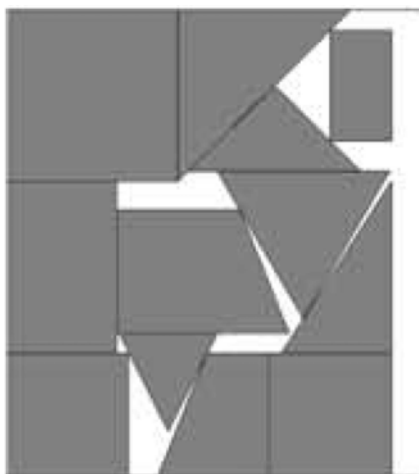


Figura 71: Problema *Fu* apresentado em Gomes e Oliveira (2006)
Fonte: Gomes e Oliveira (2006)

A Figura 72 mostra duas possibilidades de encaixe para o problema *Fu* apresentado em Martins (2007). Ambas as possibilidades de encaixe obtiveram o mesmo comprimento de 29,81 unidades e rendimento de 93,33%.

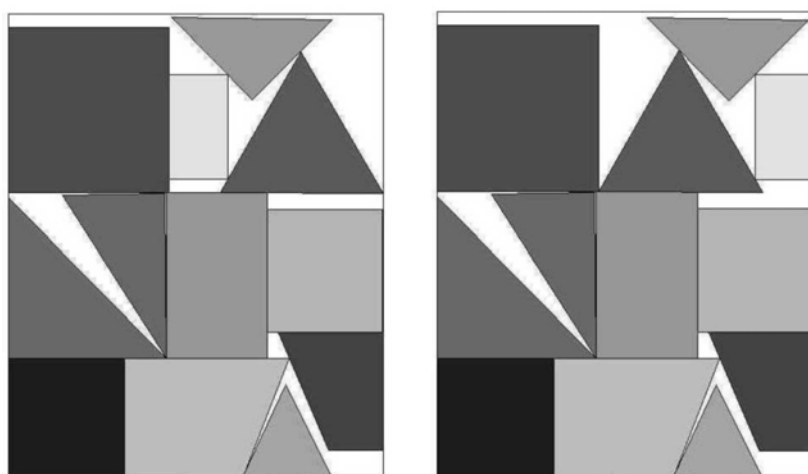


Figura 72: Problema *Fu* apresentado em Martins (2007)
Fonte: Martins (2007)

O encaixe das peças do problema *Fu* também foi realizado no *Riscare*. Porém, as possibilidades de rotação das peças (0° , 90° e 180°) durante o encaixe ainda não são permitidas no protótipo funcional. Assim, foram feitas algumas rotações de algumas peças

que compõem o problema. O melhor encaixe obtido pelo *Riscare* é apresentado na Figura 73. O encaixe alcançou um comprimento de 32,96 unidades e rendimento de 84,13%. O tempo empregado para a realização do problema *Fu* foi de 1 hora 50 minutos e 41 segundos. O encaixe obtido pelo *Riscare* é melhor do que o encontrado em Hopper (2000 *apud* BURKE *et al.*, 2006), porém é pior do que os encaixes publicados em Burke *et al.* (2006), Gomes e Oliveira (2006) e Martins (2007).

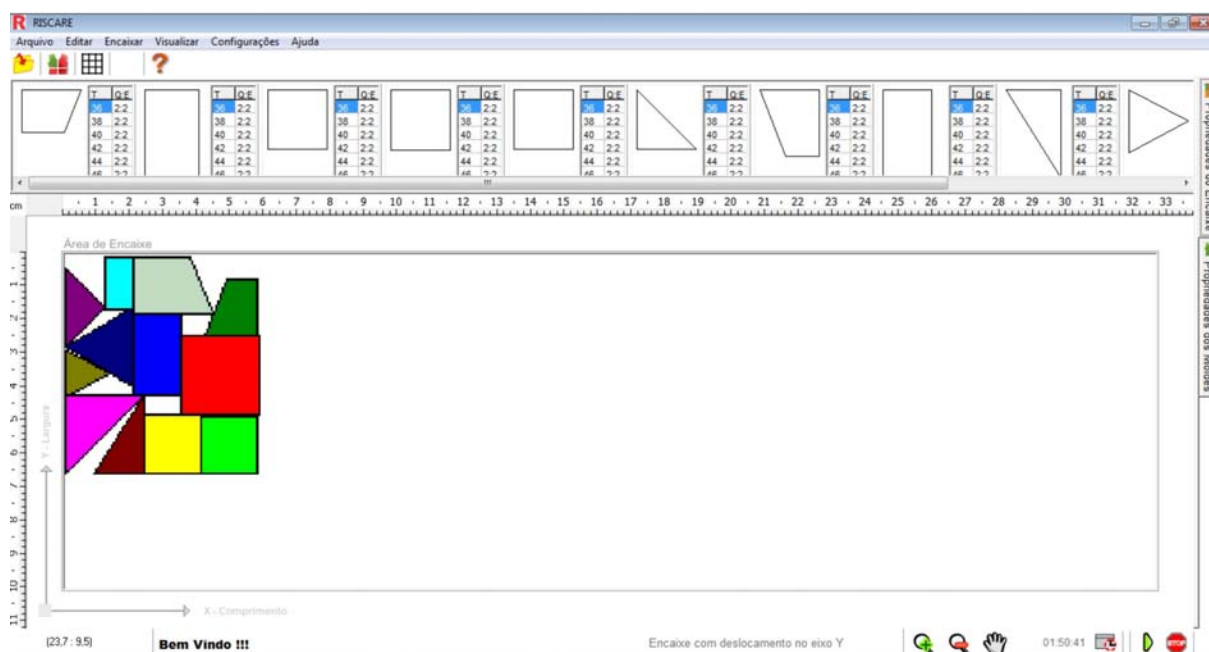


Figura 73: Encaixe do problema *Fu* realizado no *Riscare*
Fonte: a Autora

7.2.7 Moldes diversos

Hifi e M'Hallah (2003) apresentaram um exemplo de encaixe com moldes diversos da indústria do vestuário³³. O encaixe apresentado na Figura 74 foi realizado a partir do algoritmo genético. Hifi e M'Hallah (2003) inicializam a população do algoritmo genético com um ordenamento determinístico (comprimento, largura e área). O encaixe dos autores obteve um comprimento de 156 unidades e rendimento de 78,30%.

³³ Problema proposto inicialmente por Grinde (1996).

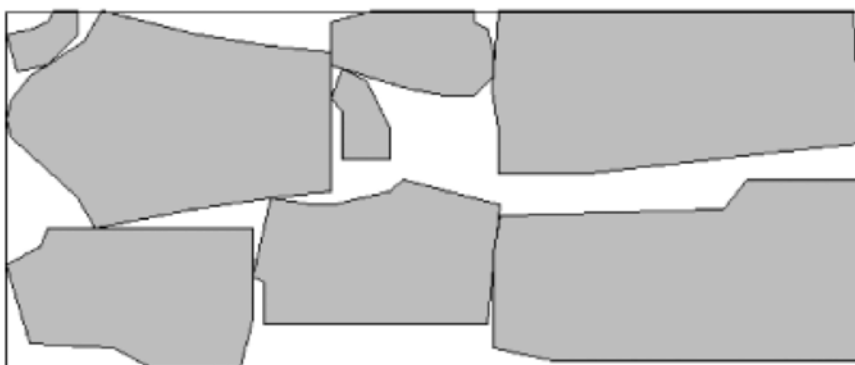


Figura 74: Encaixe de moldes diversos
Fonte: Hifi e M'Hallah (2003)

A Figura 75 mostra o encaixe dos moldes proposto em Hifi e M'Hallah (2003) realizado no *Riscare*. O encaixe obteve um comprimento de 155 unidades e 78,81% de rendimento. O tempo empregado para o problema foi de 11 horas 4 minutos e 37 segundos. O comprimento do encaixe realizado no *Riscare* obteve um comprimento inferior de 1 unidade quando comparado ao publicado em Hifi e M'Hallah (2003).

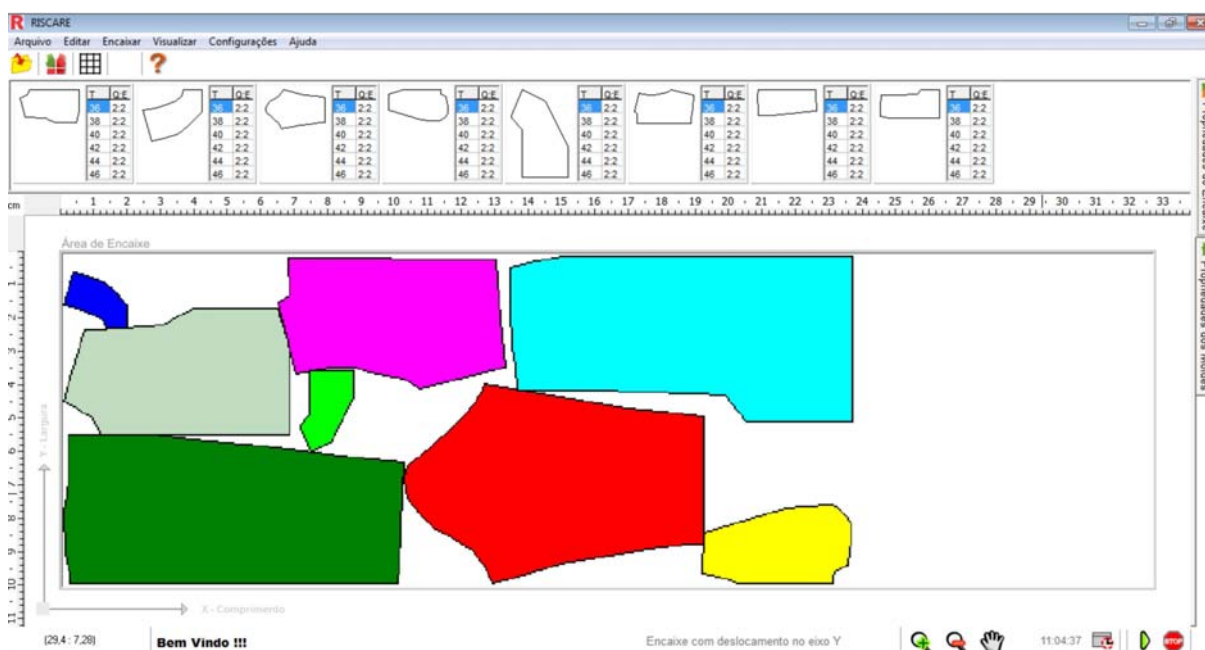


Figura 75: Encaixe de moldes diversos realizado no *Riscare*
Fonte: a Autora

7.3 Discussão dos Resultados

Através dos problemas encontrados na literatura e dos moldes utilizados nas observações diretas pode-se comprovar que o *Riscare* obteve bons resultados de encaixes para

peças com formato irregular. O protótipo comporta-se adequadamente produzindo soluções de encaixe sem sobreposição de formas.

No encaixe dos moldes da jardineira e do casaco, utilizados nas Observações Diretas, o *Riscare* apresentou um comprimento que não foi maior que 1cm do que o encaixe realizado pelo *software* comercial *Audaces* Encaixe 7. Quando comparado com os melhores encaixes manuais o *Riscare* apresentou uma solução com comprimento menor³⁴, na faixa de 1 a 2cm. Esse dado comprova a eficiência da técnica utilizada, porém o tempo para o processamento ainda está muito longo. Este tempo para o cálculo computacional decorre principalmente do procedimento de combinar as sete maiores peças e da resolução do *grid* (influenciada pelo tamanho dos moldes).

Além das comparações realizadas com os moldes das Observações Diretas também foram feitos encaixes com problemas conhecidos na literatura. Para fazer uma síntese do que foi apresentado no sub-capítulo Encaixe de Problemas *Benchmarks* da Literatura foi construída a Tabela 07. Essa tabela faz uma comparação dos encaixes realizados no *Riscare* com os melhores resultados apresentados nos problemas *benchmarks* da literatura e mostra a quantidade de peças envolvidas no problema, os comprimentos, rendimentos, tempos e a melhoria (em alguns casos) obtida pelo *Riscare*.

Tabela 07: Encaixes realizados no *Riscare* comparados com as melhores soluções encontradas na literatura

Problema	Quantidade de peças	Comprimento	Rendimento (aproveitamento ou eficiência)	Tempo	Comprimento do melhor resultado publicado na literatura	Rendimento do melhor resultado publicado na literatura	Melhoria (%)
Biquíni	12	59 cm	67,60%	3h 09min 07seg	60,5 cm	58,81%	+ 11,73%
Biquíni	48	227 cm	70,88%	12h 27min 03seg	270,24 cm	56,62%	+ 25,18%
Camisa	16	189 cm	83,35%	4h 41min 20seg	217,27 cm	72,51%	+ 14,94%
Camisa	32	408 cm	80,64%	11h 37min 56seg	433 cm	75,63%	+ 06,62%
<i>Tangran</i>	7	————	Solução ótima	27min 22seg	————	Solução ótima	————
Maiô	96	12.982,50 unidades	68,09%	10h 53min 22seg	14.309,60 unidades	61,68%	+ 10,39%
Maiô	48	6.635,50 unidades	66,61%	2h 33min 17seg	5.948,37 unidades	74,37%	- 10,43%
Calça	64	247,14 unidades	88,12%	3h 35min 59seg	242,11 unidades	89,96%	- 2,04%
Problema <i>Fu</i>	12	32,96 unidades	84,13%	1h 50min 31seg	29,81 unidades	93,33%	- 9,85%
Moldes diversos	8	155 unidades	78,81%	11h 04min 37seg	156 unidades	78,30%	+ 0,65%

Fonte: a Autora

³⁴ O *Riscare*, quando comparado ao encaixe realizado pela Empresa 3, obteve um comprimento superior no encaixe do casaco de 1cm.

Através da visualização da Tabela 07 é possível perceber que dentre os 10 problemas apresentados, o *Riscare* alcançou, em 6 deles, comprimentos menores e com melhores rendimentos e em 1 obteve a solução ótima.

Os encaixes que apresentam comprimentos com resultados muito próximos não devem ser analisados com rigidez, já que pequenas diferenças nos desenhos dos moldes também pode ocasionar pequenas diferenças nos resultados dos comprimentos dos encaixes.

Alguns encaixes, como o do biquíni com 48 moldes, obtiveram rendimentos muito superiores aos publicados na literatura. Isso demonstra não só a qualidade da técnica proposta, mas também uma contribuição para as pesquisas sobre o problema.

A obtenção de encaixes de moldes com rendimentos superiores aos publicados na literatura comprova que a técnica está direcionada para o problema específico do encaixe dos moldes da indústria do vestuário, confirmando a teoria da inexistência do almoço grátis (WOLPERT e MACREADY, 1996). Quando as peças utilizadas para o encaixe não são moldes, como no problema *Fu*, a técnica não se mostra direcionada para problema, encontrando um dos piores resultados de todas as comparações.

O problema do *tangran* também é composto por peças que não são moldes e o *Riscare* conseguiu encontrar a solução ótima para o problema. Porém, é importante lembrar que este problema é composto de 7 peças e o *Riscare* combina as sete maiores peças entre elas. Dessa forma, a sequência necessária para a solução ótima seria encontrada pelo *Riscare*.

O encaixe dos moldes do modelo de maiô foi outro problema *benchmark* que também foi comparado. O encaixe, realizado no *Riscare*, do maiô com 96 moldes, como citado anteriormente, pode ser considerado melhor do que o encaixe do maiô com 48 moldes também realizado no *Riscare*. Essa afirmação pode ser feita através da divisão (por dois) do comprimento obtido no encaixe de 96 moldes e pela verificação que o comprimento obtido dessa divisão seria inferior ao encaixe com 48 moldes. É importante lembrar que tanto para o encaixe dos 96 moldes, como para o encaixe dos 48 moldes, as peças que foram ordenadas em todas as sequências possíveis foram as sete maiores e as restantes se mantêm na mesma sequência. De um lado, o encaixe com 48 moldes tem uma variedade maior na sequência dos moldes, enquanto que o encaixe com 96 moldes apresenta maiores possibilidades de combinação na inserção das peças no *layout* de encaixe, aumentando a chance de um rendimento melhor. Isso demonstra que não necessariamente é a variedade da sequência dos moldes que influencia no encaixe e sim a posição que essa ordem determina onde a peça será inserida no tecido.

Outra análise que pode ser feita através da Tabela 07 é em relação aos tempos para a realização dos encaixes. É possível perceber uma diferença considerável do tempo necessário para realizar alguns encaixes. Um exemplo é a comparação do tempo para o encaixe do biquíni com 48 moldes com o tempo necessário para o encaixe do maiô também com 48 moldes. No primeiro, o tempo gasto foi de 12 horas 27 minutos e 3 segundos. No segundo, o tempo utilizado foi de 2 horas 33 minutos e 17 segundos. Essa diferença ocorre em função do tamanho dos arquivos em DXF que influenciam a resolução do *grid* utilizado e, conseqüentemente, o tempo gasto para a construção do *layout* do encaixe. Para poder se ter uma idéia da diferença de tamanho dos arquivos em DXF, os moldes do biquíni são duas vezes maiores que os moldes do maiô.

A comparação entre os tempos para a realização do encaixe também muda muito dependendo da quantidade de moldes que são encaixados. O tempo gasto para a realização do encaixe com 96 moldes do maiô (10 horas 53 minutos e 22 segundos) foi muito superior ao dobro do tempo gasto para o encaixe do mesmo maiô, porém com 48 moldes (2 horas 33 minutos e 17 segundos). Pela visualização dos tempos é possível perceber que um não é a metade do outro.

Para funcionar de forma mais eficiente, o *Riscare* necessita de uma melhoria do tempo necessário para a realização dos encaixes. Esta melhoria está relacionada ao critério de ordenar as sete maiores peças que, quando implementado no programa, acarretou um acréscimo de tempo de cálculo computacional. Esse procedimento, combinado com o tempo gasto para a inserção das peças no tecido para a verificação do rendimento de uma determinada sequência, é responsável pelo elevado tempo na realização dos encaixes.

Apesar de acarretar uma sobrecarga de cálculo computacional, o critério de ordenar as sete maiores peças (procedimento *SeteMaiores*) e o deslocamento no eixo Y foram o critério e a forma de construção do *layout* de encaixe utilizado em todas as soluções finais realizadas neste capítulo. Este procedimento foi o que encontrou as melhores soluções de encaixe nos problemas realizados, com o menor comprimento dentre todas as sequências e deslocamentos realizados pelo *Riscare*, e por este motivo escolhido pelo programa como solução final. Isso demonstra que o critério de ordenar as sete maiores peças alcançou soluções de encaixe melhores do que as geradas pelos outros critérios.

A Figura 76 exemplifica a importância da utilização do critério de ordenar as sete maiores peças (procedimento *SeteMaiores*). O encaixe da Figura 76 usa o deslocamento no eixo X e Y, porém não emprega o critério de ordenamento das sete maiores peças. O tempo

para a realização do encaixe foi de 17 segundos, com o comprimento utilizado de tecido de 78 cm e rendimento de 72,10%.



Figura 76: Encaixe dos moldes da jardineira infantil sem o ordenamento das sete maiores peças
Fonte: a Autora

O encaixe dos mesmos moldes da Figura 76 foi apresentado na Figura 45 com todos os critérios empregados. O encaixe da Figura 45 alcançou um comprimento de 64 cm e rendimento (aproveitamento) de 86,52%. O tempo para a realização do encaixe foi de 57 minutos e 29 segundos.

Através da comparação dos tempos empregados para a realização do encaixe da Figura 76 com o tempo utilizado para o encaixe da Figura 45 fica evidente a carga de cálculo computacional relacionada com o procedimento de ordenar as sete maiores peças. Por outro lado, a diferença de 14,42% no rendimento dos encaixes comprova as melhorias obtidas com o emprego do procedimento de ordenar as sete maiores peças para a redução do desperdício de tecido.

A utilização do deslocamento no eixo Y em todas as soluções finais e o não uso do deslocamento no eixo X não significa que o mesmo não tenha potencial para obtenção de bons encaixes. Talvez seja necessária a utilização do deslocamento no eixo X de outra forma. Uma possibilidade seria encaixar duas peças através do deslocamento no eixo X e verificar se esse encaixe alcança um aproveitamento (determinado por um retângulo envolvente) próximo a 100%. Assim, a representação de duas peças poderia tornar-se, para facilitar o encaixe, uma,

diminuindo a quantidade de peças envolvidas no problema e conseqüentemente o tempo computacional.

Sendo assim, é possível verificar que a técnica proposta e principalmente o critério de ordenar as sete maiores peças obteve bons resultados de encaixes. Esses bons resultados foram alcançados quando a técnica é comparada aos encaixes realizados manualmente, no *software Audaces*, ou quando comparada aos problemas *benchmarks* da literatura.

8. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Este capítulo apresenta as conclusões deste trabalho e também propõe algumas sugestões para trabalhos futuros na área.

8.1 Conclusões

Neste trabalho foi construído um protótipo funcional através da implementação de uma técnica para o processo de encaixe de moldes da indústria do vestuário. Com a apresentação dos resultados obtidos pelo *Riscare* foi possível comprovar que a técnica proposta e, conseqüentemente, o protótipo criado obtém bons resultados de encaixe.

Quando os encaixes obtidos pelo *Riscare* são comparados ao *software* comercial *Audaces Encaixe 7*, os resultados dos comprimentos alcançados são muito semelhantes. Este *software* comercial está presente no mercado desde 1992 e tem, no mínimo, 18 anos de pesquisas na área de encaixe de moldes.

Ao se comparar os encaixes realizados pelo *Riscare* com os encaixes dos problemas *benchmarks* da literatura, na maioria dos casos, os encaixes realizados no protótipo funcional alcançam melhores soluções.

Os resultados positivos com encaixes mais otimizados obtidos pelo *Riscare* comprovam que a metodologia utilizada neste trabalho possibilitou o desenvolvimento de uma técnica direcionada para o problema específico do encaixe dos moldes da indústria do vestuário. A junção do conhecimento tácito com o conhecimento científico e principalmente a triangulação dos dados obtidos nas diferentes formas de coleta de dados evidenciaram pontos importantes e fundamentais para a obtenção de bons resultados pela técnica proposta.

Sendo assim, a hipótese formulada no início do trabalho: “Se fosse desenvolvida uma técnica de encaixe de moldes, utilizando uma combinação de alguns conceitos das melhores soluções encontradas por outros autores para o problema, seria possível otimizar o processo de encaixe de moldes para o corte na indústria do vestuário?” pode ser considerada verdadeira.

Através da combinação de uma técnica que privilegia as maiores peças (baseada em GOMES e OLIVEIRA, 2006), critérios de ordenamento (alguns utilizados em HIFI e M’HALLAH, 2003), uso do *grid* (BABU e BABU, 2001), emprego de números no *grid* para identificar as diferentes partes dos moldes (SEGENREICH e BRAGA, 1986 *apud* BENNELL

e OLIVEIRA, 2008), deslocamento no eixo Y (BURKE *et al.*, 2006) e a utilização do *bottom-left* (GOMES e OLIVEIRA, 2002) foi possível desenvolver uma técnica que obteve, na maioria dos casos, resultados melhores de encaixe.

Além disso, também foram propostas técnicas relevantes e inéditas na literatura para a realização do encaixe, como o ordenamento das sete maiores peças e o deslocamento no eixo X. Entre elas, destaca-se o critério de ordenar as sete maiores peças, procedimento utilizado em todos os encaixes mais otimizados encontrados no *Riscare*.

O critério de ordenar as sete maiores peças e o deslocamento dos moldes no eixo X foram propostos durante o desenvolvimento da técnica de encaixe, através da observação dos deslocamentos entre diferentes formatos de moldes e dedução de melhorias que poderiam ser realizadas.

A observação e a dedução de consequências fazem parte do método científico hipotético-dedutivo empregado neste trabalho. As ações de observação e dedução de consequências, os dados obtidos através do conhecimento tácito de profissionais que trabalham com o encaixe de moldes e o conhecimento científico de pesquisadores da área, permitiram o desenvolvimento de uma pesquisa relevante para os problemas de encaixe bidimensional de formas irregulares.

Através da técnica proposta implementada no *Riscare* foi possível construir um protótipo funcional que utilizou procedimentos já conhecidos no meio acadêmico e sugerir novas técnicas para o problema do encaixe bidimensional de itens irregulares obtendo bons resultados de encaixes.

Como resultado do trabalho desenvolvido, espera-se conseguir a publicação de artigos decorrentes da dissertação em periódicos internacionais, além dos artigos em congressos que já vêm sendo publicados.

É importante lembrar que o problema de encaixe de moldes (itens com formatos irregulares) é um problema científico com ampla aplicação industrial. As melhorias obtidas pelo *Riscare* na realização dos encaixes tornam-se ainda mais importantes porque se encontram situadas no contexto de um problema prático da indústria do vestuário. Nessa indústria, a economia de tecido alcançado com um encaixe influencia não só uma única camada de tecido e sim várias camadas de tecido que são enfiadas para o corte. Assim, um encaixe que melhora em 30 cm o comprimento de tecido pode tornar-se uma economia para a empresa de 1.800 cm (caso o enfiado tenha 60 camadas de tecido).

O custo da matéria-prima na indústria do vestuário representa em torno de 40% a 50% do custo do produto final (ARAÚJO, 1996). Assim, a influência da redução do desperdício de

matéria-prima é refletida em aproximadamente metade do custo do produto acabado. Uma redução do consumo de tecido em 20% acarreta em aproximadamente uma diminuição de 10% no valor do produto final confeccionado que chega ao consumidor.

A tecnologia aplicada na resolução dos problemas de encaixe aumenta a velocidade na produção do produto confeccionado e traz uma redução de custos com a manutenção da qualidade. A combinação desses dois fatores gera competitividade do produto no mercado. Além das questões econômicas que a redução do desperdício influencia, ela também colabora na eficiência do processo industrial e com questões ambientais.

Neste trabalho foi possível desenvolver um protótipo funcional de qualidade que, com algumas melhorias, pode vir a atender necessidades reais das indústrias do vestuário. Essas melhorias concentram-se principalmente na agilidade da técnica, aumentando a rapidez na geração da solução, na possibilidade de rotação dos moldes, no desenho dos moldes de forma mais simplificada, na implementação de funções auxiliares que não estão diretamente relacionadas ao encaixe e na impressão do encaixe através de um *plotter*. Essas são algumas restrições que ainda impedem o *Riscare* de tornar-se um *software* comercial e atender as necessidades relacionadas ao encaixe dos moldes nas indústrias e empresas do vestuário.

Essas necessidades são mais evidentes nas microempresas, que ainda não possuem condições de adquirirem *softwares* comerciais de custo elevado. Através das Observações Diretas e Entrevistas verificou-se a dificuldade de acesso das microempresas a *softwares* comerciais de valor elevado. Porém, essas empresas são as principais produtoras de produtos confeccionados no Brasil (em torno de 83%, o que representa 13 mil microempresas no setor de confecções de produtos do vestuário) e a não aquisição de tecnologia de apoio reflete na competitividade dessas empresas.

Assim, o trabalho desenvolvido com a utilização de técnicas relevantes e a melhoria de resultados na área de estudo dos problemas de corte e encaixe contribuiu para a área acadêmica. Também se colaborou para a resolução de um problema real de aplicação prática com o qual a maioria das empresas de confecção precisa lidar.

8.2 Sugestões

Apresentam-se algumas sugestões para futuros trabalhos.

- Melhoria no tempo de geração da solução da técnica proposta, principalmente do critério de ordenar as sete maiores peças.

- Exploração das possibilidades de utilização do deslocamento no eixo X.
- Utilização da técnica proposta para encaixe de itens com formas irregulares em materiais também com formas irregulares, como por exemplo, o couro.
- Utilização da técnica proposta para identificação de partes com defeitos no material que será cortado.
- Adaptação da técnica proposta para problemas de corte e encaixe unidimensionais e tridimensionais.
- Avaliação da usabilidade da interface proposta.

REFERÊNCIAS

- ALBANO, A.; SAPUPPO G. **Optimal allocation of two-dimensional irregular shapes using heuristic search methods**. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 10, p. 242–248, 1980.
- ALVAREZ-VALDES, R.; MARTI, R.; TAMARIT, J. M.; PARAJON, A. **GRASP and Path Relinking for the Two-Dimensional Two-Stage Cutting-Stock Problem**. Informs Journal on Computing, 19, p. 261 – 272, jan., 2007.
- ALVES, A. S.; AYMONE, J. L. F.; TEIXEIRA, F. G. Design do Vestuário: metodologia e *software* de encaixe de modelagens no tecido. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE PESQUISA EM DESIGN, 5, 2009, Bauru. **Anais do 5º Congresso Internacional de Pesquisa em Design**. Bauru, 2009.
- ALVES, A. S.; AYMONE, J. L. F. A interface gráfica em um software para o encaixe de modelagens no design de vestuário. In: XIII Congresso da Sociedade Ibero-americana de gráfica digital, XIII, 2009, São Paulo. **Anais do XIII Congresso da Sociedade Ibero-americana de Gráfica Digital**. São Paulo, 2009.
- ARAÚJO, M. **Tecnologia do Vestuário**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1996.
- BABU, A. R.; BABU, N. R. **A generic approach for nesting of 2-D parts in 2-D sheets using genetic and heuristic algorithms**. Computer-Aided Design, 33, p. 879-891, 2001.
- BASTIEN, J. M. C.; SCAPIN, D. L. **Ergonomic Criteria for the Evaluation of Human-Computer Interfaces**. Technical Report, 156, 1993.
- BENNELL, J. A.; DOWSLAND, K. A.; DOWSLAND, W. B. **The irregular cutting-stock problem – a new procedure for deriving the no-fit polygon**. Computers & Operations Research, 28, p. 271-287, 2001.
- BENNELL, J. A.; OLIVEIRA, J. F. **The geometry of nesting problems: a tutorial**. European Journal of Operational Research, 184, p. 397-415, 2008.
- BLAZEWICZ, J.; MORET-SALVADOR, A.; WALKOWIAK, R. **Parallel tabu search approaches for two-dimensional cutting**. Parallel Processing Letters, 14 (1), p. 23-32, 2004.

BOUGANIS, A.; SHANAHAN. **A Vision-Based Intelligent System for Packing 2-D Irregular Shapes**. IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, 4, 3, p. 382-394, 2007.

BRITO, V. **Crise pode representar oportunidade para setor têxtil e de confecção**. Out. 2008. Disponível em:
<http://www.sebraemg.com.br/Geral/VisualizarDestaque.aspx?Cod_destaque=5273&navegacao=27.10.2008+-+Crise+pode+representar+oportunidade+para+setor+t%C3%AAxtil+e+de+confec%C3%A7%C3%A3o> Acesso em: 13 mar. 2009.

BURKE, E. K.; HELLIER, R.; KENDALL, G. ; WHITWELL G. **A New Bottom-Left-Fill Heuristic Algorithm for the Two-Dimensional Irregular Packing Problem**. Operations Research, 54, p. 587–601, may-jun, 2006.

BURKE, E. K.; HELLIER, R.; KENDALL, G. ; WHITWELL G. **Complete and robust no-fit polygon generation for the irregular stock cutting problem**. European Journal of Operational Research, 179, p. 27 – 49, 2007

BURKE, E. K.; KENDALL, G. **Applying Evolutionary Algorithms and the No Fit Polygon to the Nesting Problem**, Conference IC-AI, 204A, 1999

CALDAS, D. **Universo da Moda**: curso online. São Paulo: Anhembi Morumbi, 1999.

CANTÙ, M. **Dominando o Delphi 6**: “A Bíblia”. São Paulo: MAKRON Books, 2002.

CATELLANI, R. M. **Moda Ilustrada de A a Z**. Baurueri, SP: Manole, 2003.

COSTA, M. T.; GOMES, A. M.; OLIVEIRA, J. F. **Heuristic approaches to large-scale periodic packing of irregular shapes on a rectangular sheet**. European Journal of Operational Research, 192, p. 29-40, 2009.

DEGRAEVE, Z.; GOCHET, W.; JANS, R. **Alternative formulations for a layout problem in the fashion industry**. European Journal of Operational Research, 143, p. 80–93, 2002.

DEVELOPER’S GUIDE. [S. l]: Borland Software Corporation, [200-]. Arquivo pdf. Disponível em:
<http://docs.embarcadero.com/products/rad_studio/delphi7/D7_DevelopersGuide.pdf> Acesso em: 24 ago. 2009, 17: 30

DOWSLAND, K. A.; DOWSLAND, W. B. **Solution approaches to irregular nesting problems.** European Journal of Operational Research, 84, p. 506-521, 1995.

DOWSLAND, K. A.; VAID, S.; DOWSLAND, W. B. **An algorithm for polygon placement using a bottom-left strategy.** European Journal of Operational Research, 141, p. 371-381, 2001.

DXF REFERENCE. San Rafael: Autodesk, 2008. Arquivo pdf. Disponível em: <http://images.autodesk.com/adsk/files/acad_dxf.pdf> Acesso em: 4 ago. 2009.

ERGOLIST. Jan. 2008. Disponível em: <<http://www.labiutil.inf.ufsc.br/ergolist/>> Acesso em: 2 ago. 2009.

FEGHALI, M. K.; DWYER, D. **As engrenagens da moda.** Rio de Janeiro: Ed. Senac, 2001.

FRITSCH, Andreas. **Cutting Stock by Iterated.** 19 dez. 1994. Disponível em: <www.inf.uos.de/papers_html/or_94/node2.html> Acesso em: 24 out. 2008, 15: 30

GOMES, A. M.; OLIVEIRA, J. F. **A 2-exchange heuristic for nesting problems.** European Journal of Operational Research, 141, p. 359-370, 2002.

GOMES, A. M.; OLIVEIRA, J. F. **Solving Irregular Strip Packing problems by hybridising simulated annealing and linear programming.** European Journal of Operational Research, 171, p. 811-829, 2006.

GOULARTI FILHO, A.; JENOVEVA NETO, R. **A indústria do vestuário: economia, estética e tecnologia.** Florianópolis: Letras Contemporâneas, 1997.

GRIERSON, D. E. **Pareto multi-criteria decision making.** Advanced Engineering Informatics, 22, p. 371-384, 2008.

GRINDE, R. B. **Applying minimal enclosure tools to the pattern layout problem.** Working paper, University of New Hampshire, 1996.

HIFI, M.; M'HALLAH, R. **A hybrid algorithm for the two-dimensional layout problem: The cases of regular and irregular shapes.** International Transactions in Operational Research, 10, p. 195-216, 2003.

HIFI, M.; M'HALLAH, R.; SAADI, T. **Algorithms for the Constrained Two-Staged Two-Dimensional Cutting Problem**. *Informs Journal on Computing*, 20(2), p. 212 – 221, jan., 2008.

JONES, S.F. **Fashion Design**: manual do estilista. São Paulo: Cosac Naify, 2005.

KOTLER, P. e KELLER, K. L., **Administração de Marketing**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2006.

LI, Z.; MILENKOVIC, V. **Compaction and Separation Algorithms for Non-Convex Polygons and Their Applications**. *European Journal of Operational Research*, 84, p.539-561, 1995.

LINDEN, R. **Algoritmos Genéticos**. Rio de Janeiro: Brasport, 2008.

LOESCH, C.; HEIN, N. **Pesquisa Operacional**: fundamentos e modelos. São Paulo: Saraiva, 2009.

MANUAL DIGITAL AUDACES VESTUÁRIO MOLDES. [S. l]: Audaces Automação e Informática Industrial, [200-]. Arquivo pdf.

MARQUES, F. P. **O problema da mochila compartimentada**. Dissertação (mestrado) – Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

MARTENS, J. **Two genetic algorithms to solve a layout problem in the fashion industry** *European Journal of Operational Research*, 154, p. 304-322, mar, 2004.

MARTINS, T. C. **Estudo do Recozimento Simulado e do Polígono de Obstrução Aplicados ao Problema de Empacotamento Rotacional de Polígonos Irregulares Não-Convexos em Recipientes Fechados**. Tese (doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

MARTINS, T.C.; TSUZUKI, M.S.G. **Simulated annealing applied to the irregular rotational placement of shapes over containers with fixed dimensions**. *Expert Systems with Applications*, 2009. Não paginado.

M'HALLAH, R.; BOUZIRI, A.; JILANI, W. **Layout of Two Dimensional Irregular Shapes Using Genetic Algorithms**. *IEA/AIE, LNAI 2070*, p. 403-411, 2001

MIURA, M. **Modelagem Heurística no Problema de Distribuição de Cargas Fracionadas de Cimento**. Dissertação (mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

MORRIS, B. **Fashion Ilustrator**: manual do ilustrador de moda. São Paulo: Cosac Naify, 2007.

NIELSEN, J. Heuristic Evaluation, In Nielsen, J., and Mack, R.L (Eds.), **Usability Inspection Methods**, New York: John Wiley & Sons, 1994.

PISINGER, D.; SIGURD, M. **Using Decomposition Techniques and Constraint Programming for Solving the Two-Dimensional Bin-Packing Problem**. *Inform Journal on Computing*, 19(1), p. 36 – 51, jan., 2007.

RECH, S. **Moda**: por um fio de qualidade. Florianópolis: Udesc, 2002.

ROSA, S. **Alfaiataria – Modelagem Plana Masculina**. São Paulo: Senac, 2008.

ROSE, D. M.; SHIER, D. R. **Cut Scheduling in the apparel industry**. *Computers e Operations Research*, 34, p. 3209-3228, 2007.

SERVIÇO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS DE SÃO PAULO – SEBRAE-SP. **O Desempenho das MPEs no Setor Têxtil-Confeção**. São Paulo, 2001.

SHACKEL, B.; RICHARDSON, S. **Human Factors for Informatics Usability**, Cambridge: Cambridge University Press, 1991.

SILVEIRA, I. Material didático: **Tecnologia da Modelagem II**. Florianópolis: UDESC, Centro de Artes, [200-].

SMITH, A. **The Sewing Book**. [S.l.]: Prentice Hall, 2009.

SWEENEY, P. E.; PATERNOSTER, E. R. **Cutting and Packing Problems: A Categorized, Application-Orientated Research Bibliography**. *Operations Research*, 43, p. 691-706, 1992.

TEMPONI, E. C. C. **Uma Proposta de Resolução do Problema de Corte Bidimensional via Abordagem Metaheurística**. Dissertação (Mestrado) – Curso de Mestrado em

Modelagem Matemática e Computacional, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007

TREPTOW, D. E. **Inventando Moda**: Planejamento de coleção. Brusque: Ed. do Autor, 2003.

VICENT-RICARD, F. **As espirais da moda**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1989.

WÄSCHER, G.; HAUSSNER, H.; SCHUMANN, H. **An Improved Typology of Cutting and Packing Problems**. European Journal of Operational Research, 183, p.1109- 1130, 2007.

WOLPERT, D. H; MACREADY, W. G. **No Free Lunch Theorems for Optimization**. [S.l.: s.n.] 2006

WONG, W. K.; WANG, W. W.; MOK, P. Y.; LEUNG, P. Y. S.; KWONG, C. K. **Solving the two-dimensional irregular objects allocation problems by using a two-stage packing approach**. Expert Systems with Applications, 36, p. 3489-3496, 2009.

GLOSSÁRIO

Este glossário visa auxiliar o entendimento de palavras referentes à indústria do vestuário, que em muitos casos assumem significados especiais quando usadas neste contexto.

ACABAMENTO: Incluem as últimas etapas, os retoques necessários para que uma peça fique pronta (CATELLANI, 2003).

ARMAÇÃO (ou LIGAMENTO): é o modo como o fio de urdume é ligado ou cruzado com os fios da trama. Dois casos são possíveis: ou os fios de urdume passam sobre os fios de trama ou o inverso. Existem três ligamentos fundamentais: tela ou tafetá, sarja e cetim (VICENT-RICARD, 1989)

BENEFICIAMENTO: Termo utilizado para todas as operações nos substratos têxteis que visam torná-los mais adequados para os desejados fins (CATELLANI, 2003).

CABEÇA DA MANGA: Parte superior da manga, que se situa na altura do ombro (JONES, 2005).

CAIMENTO: Modo pelo qual o tecido se comporta quando a roupa é usada (JONES, 2005).

CORTE ENVIESADO: é o corte na diagonal do tecido. Técnica levada à perfeição por Madeleine Vionnet (CALDAS, 1999).

CÓS: Peça de tecido em formato de tira que é usado em algumas peças do vestuário, especialmente em saias e calças para fazer o arremate na cintura (CATELLANI, 2003).

COSTURA: Junção por meio de pontos de duas ou mais partes (CATELLANI, 2003).

ELASTANO: Fibra de polímeros sintéticos com propriedades semelhantes a borracha natural, ou seja, possui a capacidade de esticar e retornar à dimensão normal (CATELLANI, 2003).

ENCAIXE: Melhor maneira de aproveitamento dos materiais. O operador qualificado (especialista humano) dispõem os moldes visando a melhor combinação entre as diferentes partes da peça para obtenção do melhor aproveitamento (CATELLANI, 2003).

ENFESTO DE TECIDO: Processo pelo qual os tecidos são dispostos um em cima do outro formando uma pilha em cima da mesa de corte. O fio do tecido deve ser obedecido e nunca devem ser enfiados tecidos de duas peças diferentes, pois pode ocorrer diferenças de tonalidades (CATELLANI, 2003).

FIO: Termo genérico utilizado para denominar cordões de fibras têxteis, filamentos ou outro material utilizado para tecer ou para ser entrelaçado (CATELLANI, 2003).

FIO (do molde): Indicação marcada no molde e pela a qual o mesmo deve ser colocado sobre o tecido, de acordo com a direção correta da trama e do urdume (CATELLANI, 2003).

FIOS: Conjunto de fibras cuja finalidade principal é a produção de tecidos, caracterizam-se pelo comprimento elevado e pequena espessura. Podem ser constituídos por fibras naturais, artificiais ou sintéticas (ROSA, 2008).

GIZ: Lápis, geralmente feito de carbonato ou sulfato de cálcio, que auxilia na marcação do tecido que será cortado (CATELLANI, 2003).

GOLA: Parte que compõem o vestuário. Situa-se no decote da peça junto e em volta do pescoço (CATELLANI, 2003).

GRADUAÇÃO DOS MOLDES: Processo no qual uma série consecutiva de tamanhos de um modelo são produzidos a partir de um tamanho pré-determinado denominado de molde base (ROSA, 2008).

MALHA: Tecido em que a construção é feita do entrelaçamento de um fio com ele mesmo. Também podem ser entrelaçados em conjunto outros fios (CATELLANI, 2003).

MALHA CIRCULAR: É construída com agulhas de lingüeta colocadas em um cilindro (CATELLANI, 2003).

MALHA RETILÍNEA: É construída com máquinas retilíneas, como a máquina de tricô que possui uma ou duas placas de agulhas retas colocadas no plano horizontal (CATELLANI, 2003).

MÁQUINA DE CORTE: Máquinas de disco ou de faca para o corte do material (tecido) (CATELLANI, 2003).

MODELAGEM: Processo de construção dos moldes que vão permitir o corte e a reprodução de peças de roupa. O profissional responsável por essa tarefa é o modelista. Também se diz modelagem plana (CALDAS, 1999). Ato de criar os moldes das diferentes partes que constituem uma peça (CATELLANI, 2003).

MODELO: Conjunto de moldes que formam uma peça do vestuário (MANUAL DIGITAL AUDACES VESTUÁRIO MOLDES, [200-]).

MOLDE: Guia para a criação de peças iguais ou similares. Uma peça do vestuário (ou modelo) é composta de um conjunto de moldes (MORRIS, 2007).

MOLDE BASE: Molde a partir do qual os outros tamanhos são obtidos. O molde base estará pronto para a graduação após ter sido produzido um protótipo ou peça-piloto e o mesmo ter sido submetido à aprovação (ROSA, 2008).

NÃO-TECIDOS: são estruturas planas obtidas pelo cruzamento ou ligação de fibras têxteis repartidas direcionalmente ou ao acaso, onde a ligação ou coesão interna é assegurada por métodos mecânicos, físicos ou químicos. Apresentam propriedades que diferem das dos tecidos convencionais, e suas aplicações se encontram tanto no segmento têxtil como no industrial (VICENT-RICARD, 1989).

OURELA: Arremate lateral com entrelaçamento diferenciado disposto no sentido do comprimento encontrado em tecidos planos e malhas circulares (ROSA, 2008; CATELLANI, 2003).

PALA: Parte superior de peças do vestuário que cobrem o peito, porém também pode ser usada para denominar partes superiores de saias e calças (CATELLANI, 2003).

PEÇA-PILOTO (ou protótipo): Peça confeccionada para testes e visualização do modelo, se aprovada serve de padrão (junto com uma ficha de especificações) para a confecção das outras peças da produção (JONES, 2005).

PIQUE: Pontos de referências utilizados para indicar o local exato da união ou sobreposição de peças (SILVEIRA, [200-]).

PUNHO: Parte final das mangas que segue o contorno do pulso (CATELLANI, 2003).

RECORTE: Divisão de moldes em duas ou mais partes. São usados para dar melhor caimento à peça, ajustando-a ao corpo ou agregando uma quantidade maior de tecido (CATELLANI, 2003).

REVEL: Parte interna da abertura da frente de mantôs e casacos. Também é usado como sinônimo de limpeza (CATELLANI, 2003).

SAIA: Peça do vestuário que inicia na região da cintura e desce podendo ter diferentes comprimentos (CATELLANI, 2003).

SENTIDO ÚNICO: Alguns tipos de tecidos precisam ser cortados seguindo sempre a mesma direção, entre eles pode-se citar alguns tipos de estampados e felpudos (JONES, 2005).

TECIDO ENFESTADO: Referente ao tecido que é dobrado ao meio, no sentido da largura (CATELLANI, 2003).

TECIDO PLANO: É o resultado do entrecruzamento de dois conjuntos de fios que se cruzam em ângulo reto denominados de urdume e de trama (VICENT-RICARD, 1989).

TÊXTIL: Termo utilizado para todas as fases de fabricação de produtos derivados de fibras ou filamentos. Abrange tecidos planos, malhas e artigos do vestuário. É imprescindível que os

produtos mantenham as características de maleabilidade dos tecidos originais (CATELLANI, 2003).

TRAMA: é constituída pelos fios que se encontram no sentido transversal do tecido, e é representada pela unidade de largura (VICENT-RICARD, 1989).

TRICÔ: Malha construída a partir do urdume que reproduz os pontos do tricô manual (CATELLANI, 2003).

TRICOLINE: Tecido produzido com fio de espessura fina de algodão (CATELLANI, 2003).

URDUME: é constituído pelos fios que se encontram no sentido longitudinal do tecido, e é representado pela unidade de comprimento (VICENT-RICARD, 1989).

VELUDO: Tecido construído por três conjuntos de fios: trama, urdume e um conjunto extra de fios que formam os pêlos. Esses pêlos são cortados de maneira uniforme e rentes a superfície (CATELLANI, 2003).

APÊNDICE A

A seguir é descrito o *software* que realiza o encaixe de retângulos. Primeiramente é explicada a entrada de dados, após a técnica de encaixe e finaliza com os resultados obtidos.

ENTRADA DE DADOS

A entrada de dados consiste em uma janela onde se define as dimensões do material a ser cortado e dos retângulos a serem encaixados. Inicialmente, o usuário dimensiona a largura e o comprimento do material que será cortado em “Dimensionar Tecido” e clica no botão “Desenha Tecido”. O *software* desenha no lado direito o material dimensionado na cor vermelha. Em seguida, deve-se definir as dimensões dos retângulos que serão encaixados e a quantidade de peças para cada tipo de retângulo em “Definir Retângulos” (fig. 01). O valor em “x” é a largura e em “y” é o comprimento dos retângulos.

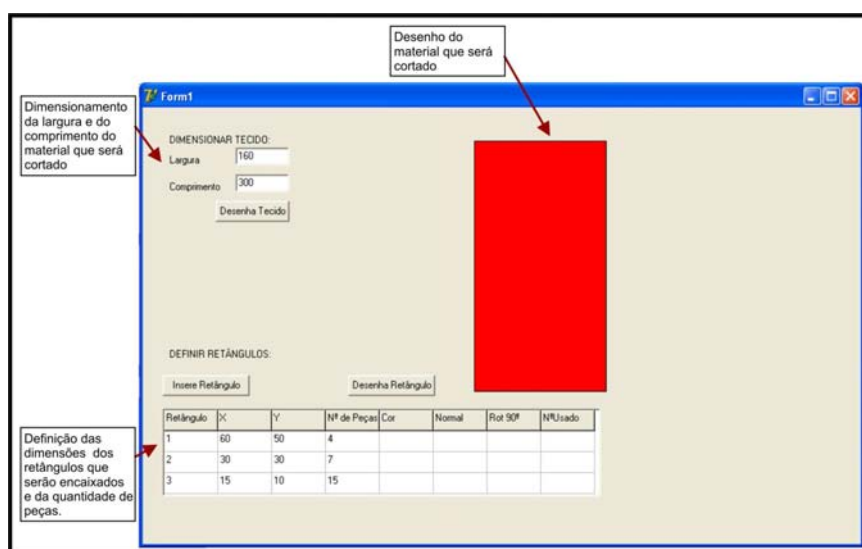


Figura 01: Entrada de dados e interface do software em desenvolvimento
Fonte: a Autora

Não há um número limitado para os tipos de retângulos nem para a quantidade de peças dos mesmos. Cada vez que o usuário quiser inserir um novo tipo de retângulo basta clicar no botão “Inserir Retângulo”. Para realizar os encaixes dos retângulos dimensionados na tabela clica-se no botão “Desenha Retângulo”. A técnica de encaixe, que será descrita na próxima seção, está associada ao clique desse botão.

TÉCNICA DE ENCAIXE

A técnica de encaixe consiste em três etapas: (1) encaixe do retângulo com maior dimensão no eixo “x”(largura), (2) encaixe dos retângulos com sobra de material lateral e (3) redimensionamento da área a ser preenchida após o passo (2) e continuidade do processo de encaixe. O encaixe segue sempre esta seqüência, as etapas são apresentadas a seguir.

- Encaixe do retângulo com maior dimensão em “x” (largura)

Os retângulos (dimensionados pelo usuário na tabela da Entrada de Dados) são ordenados, para serem encaixados, em função da maior dimensão em “x”.

Assim, o retângulo com a maior dimensão em “x” é colocado primeiro no canto esquerdo superior. Se houver mais de um retângulo desse tipo (com as mesmas dimensões em “x” e “y”) o programa continua desenhando na lateral do último retângulo inserido. A Figura 02 mostra um encaixe sem sobra de tecido lateral, apenas sobra de tecido inferior.

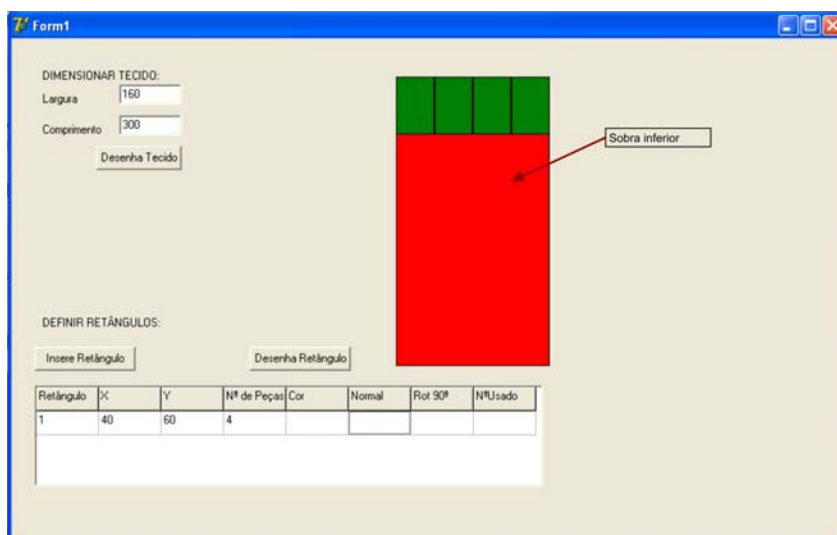


Figura 02: Exemplo de encaixe em que não há sobra de tecido lateral, apenas sobra de material inferior
Fonte: a Autora

Se os retângulos forem encaixados e não sobrar tecido na lateral, o programa redimensiona o material que será cortado (sobra inferior) e reinicia o processo de encaixe da mesma forma, até que todos os retângulos tenham sido utilizados.

- Encaixe dos retângulos com sobra de tecido lateral

Caso os retângulos sejam encaixados e sobre tecido na lateral, o material que será cortado é dividido em duas partes (uma lateral e outra inferior).

A dimensão de cada uma dessas partes é guardada no programa e ordenada em forma crescente de acordo com a sua área. Assim, serão sempre utilizadas as sobras de menor área primeiro. Na Figura 03, mostra-se um exemplo em que a sobra lateral será utilizada primeiro.

Os retângulos que serão encaixados, sempre na ordem dos maiores na dimensão “x” para os menores, são utilizados, primeiro, para preencher a menor parte, que foi dividida, do material a ser cortado. Caso o primeiro retângulo seja maior que o espaço disponível, se faz a tentativa com um retângulo menor e, assim, consecutivamente até que o maior retângulo possível seja inserido no espaço. Se nenhum retângulo for menor que o espaço disponível, o local fica vazio.

Depois de tentar se preencher a menor parte, o processo é repetido com o próximo espaço disponível, que no caso da Figura 03 é a sobra inferior (sempre do menor espaço guardado para o maior).

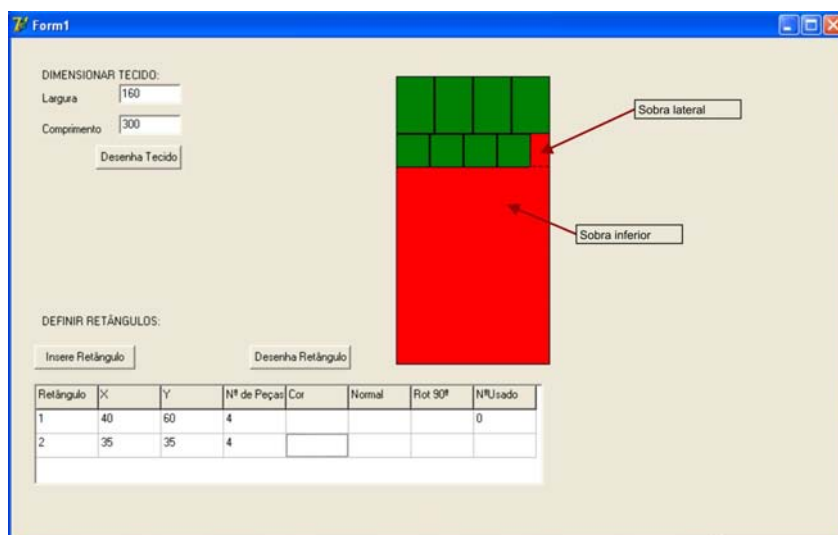


Figura 03: Exemplo de encaixe em que há sobra de material lateral e inferior
Fonte: a Autora

- Redimensionamento da área a ser preenchida após o passo anterior e continuidade do processo

Caso seja inserido um retângulo no espaço disponível na sobra lateral e o mesmo não preencha todo o espaço (fig. 04) é feita uma nova divisão. Essa divisão redimensiona o espaço e há uma sobra na lateral e uma lateral inferior, situação igual a que ocorre na Figura 03.

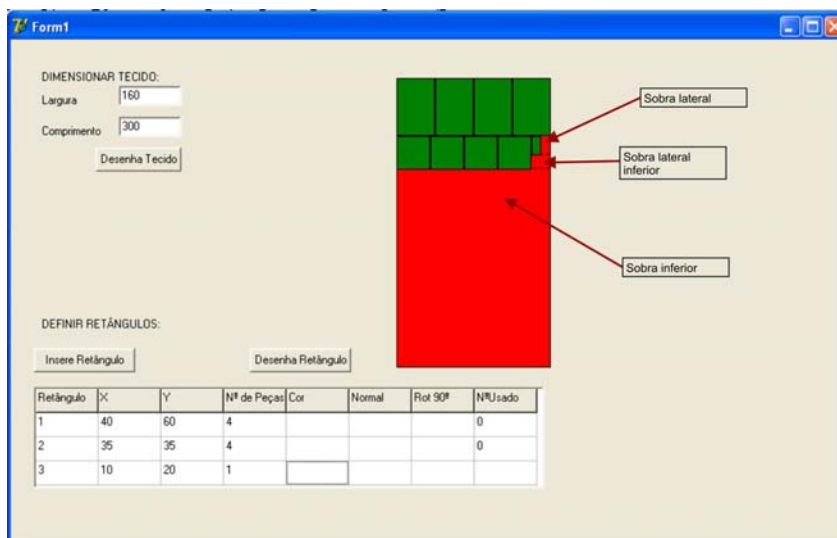


Figura 04: Exemplo de encaixe em que há sobra de material lateral, lateral inferior e inferior
Fonte: a Autora

Em resumo, na metodologia desenvolvida, os retângulos, com exceção do primeiro, são encaixados sempre na sobra do material do encaixe anterior, de modo a utilizar os menores espaços primeiro e encaixar os maiores retângulos nesses espaços. Assim, o processo é contínuo até que todas as peças tenham sido utilizadas ou que não haja mais espaço no material para o encaixe.

RESULTADOS

Com o intuito de comparação com trabalhos de outros autores, é apresentado um encaixe feito pelo *software* em desenvolvimento. A Figura 05 apresenta o encaixe de sete tipos diferentes de retângulos, com um total de 41 peças.

A eficiência do encaixe pode ser medida pelo quociente entre a área dos retângulos encaixados e a área do material em que é feito o encaixe (WONG *et al.*, 2009). Através desse cálculo, o encaixe da Figura 05 apresenta eficiência de 97,8%. Para o cálculo foi considerado o comprimento máximo preenchido pelos retângulos (2,50m) e não o dimensionado (3,00m), já que geralmente esse comprimento pode ser variável. O tempo gasto para a realização do encaixe pelo *software* é praticamente nulo e aparece automaticamente após o clique no botão “Desenha Retângulo”, mostrando a rapidez da metodologia desenvolvida.

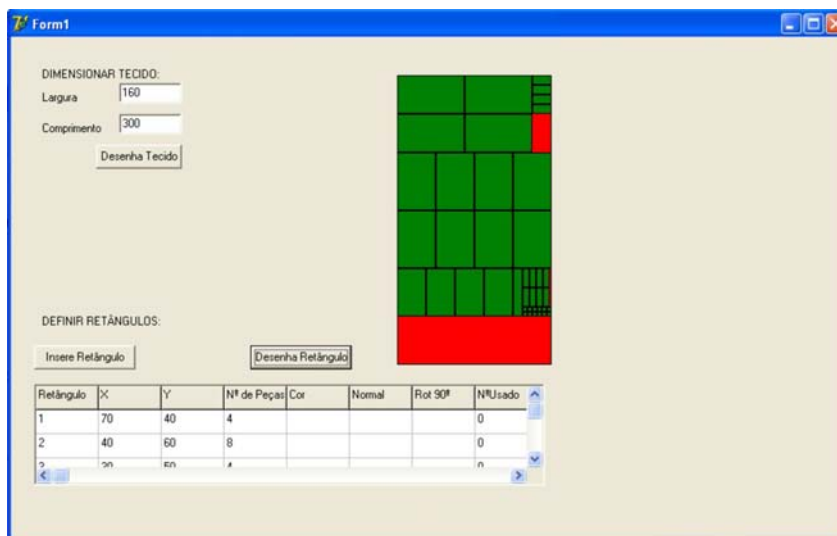


Figura 05: Encaixe de retângulos realizado pelo software em desenvolvimento
Fonte: a Autora

O encaixe apresentado na Figura 05 demonstra que *software* ainda necessita de ajustes. Para funcionar de acordo com a metodologia descrita anteriormente, os últimos retângulos encaixados na lateral direita inferior (de dimensões menores) deveriam ter sido inseridos na sobra que aparece na lateral direita superior.

O exemplo apresentado para encaixe de peças retangulares, quando comparado com Wong *et al.* (2009), mostra uma semelhança. Estes autores desenvolveram um algoritmo baseado em um *grid* (para a localização dos moldes) e em algoritmos genéticos (para a seleção da seqüência dos moldes que serão inseridas) para solucionar o problema de encaixe, chamado pelos autores de *packing problem*. Essa solução é aplicada para o encaixe de moldes da indústria do vestuário em um tecido que será cortado. A solução encontrada por eles quando comparada a outros algoritmos (*bottom-left* para a localização das peças no encaixe e *random search* para a seleção da seqüência das peças que serão encaixadas primeiro) apresenta um aproveitamento melhor do tecido.

Comparando os encaixes dos moldes (fig. 06 e 07) gerados por Wong *et al.* (2009) com o encaixe dos retângulos gerados pelo *software* de encaixe de retângulos (fig. 05), é possível perceber o acúmulo de itens na lateral direita em ambos os casos. A eficiência do encaixe de Wong *et al.* (2009) é de 75,74% (fig. 06) e 56,85% (fig. 07). O exemplo da Figura 05 apresenta eficiência de 97,8%. O *software* apresentado aqui trata apenas do encaixe de retângulos, que podem ser encaixados mais facilmente. Dessa forma, só é possível concluir, através da comparação com os encaixes mostrados em Wong *et al.* (2009), sobre as semelhanças visuais da disposição das peças menores e concentração desses itens nas mesmas regiões.

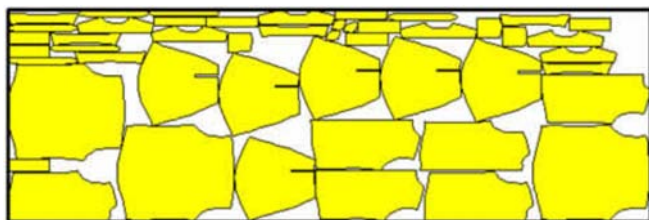


Figura 06: Encaixe dos moldes de uma camisa com eficiência de 75,74%
Fonte: Wong *et al.* (2009)



Figura 07: Encaixe dos moldes de um biquíni com eficiência de 56,85%
Fonte: Wong *et al.* (2009)

Os dois exemplos de modelos, a camisa e o biquíni, apresentados por Wong *et al.* (2009) contêm peças pequenas que ficam mais agrupadas na lateral direita. Os exemplos aqui apresentados do *software* também concentram os retângulos de menor área na lateral direita. Isso demonstra que a metodologia proposta está direcionada de maneira adequada. Além disso, o alto índice de eficiência obtido pelo *software* também indica a qualidade do algoritmo.

APÊNDICE B

Lista dos artigos pesquisados para a construção do quadro teórico.

ALVAREZ-VALDES, R.; MARTI, R.; TAMARIT, J. M.; PARAJON, A. **GRASP and Path Relinking for the Two-Dimensional Two-Stage Cutting-Stock Problem.** *Informs Journal on Computing*, 19, p. 261 – 272, jan, 2007.

BABU, A. R.; BABU, N. R. **A generic approach for nesting of 2-D parts in 2-D sheets using genetic and heuristic algorithms.** *Computer-Aided Design*, 33, p. 879-891, 2001.

BENNEL, J. A.; DOWSLAND, K. A. **Hybridising Tabu Search with Optimisation Techniques for Irregular Stock Cutting.** *Management Science*, 47(8), p. 1160-1172, 2001.

BENNEL, J. A.; DOWSLAND, K. A.; DOWSLAND, W. B. **The irregular cutting-stock problem – a new procedure for deriving the no-fit polygon.** *Computers & Operations Research*, 28, p. 271-287, 2001.

BENNEL, J. A.; OLIVEIRA, J. F. **The geometry of nesting problems: a tutorial.** *European Journal of Operational Research*, 184, p. 397-415, 2008.

BLAZEWICZ, J.; MORET-SALVADOR, A.; WALKOWIAK, R. **Parallel tabu search approaches for two-dimensional cutting.** *Parallel Processing Letters*, 14 (1), p. 23-32, 2004.

BOUGANIS, A.; SHANAHAN. **A Vision-Based Intelligent System for Packing 2-D Irregular Shapes.** *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 4, 3, p. 382-394, 2007.

BURKE, E. K.; KENDALL, G. **Applying Evolutionary Algorithms and the No Fit Polygon to the Nesting Problem,** *Conference IC-AI*, 204A, 1999

BURKE, E. K.; KENDALL, G.; HELLIER, R. **A New Placement Heuristic for the Orthogonal Stock-Cutting Problem.** *Operations Research*, 52(4), p. 655 – 671, jul, 2004.

BURKE, E. K.; HELLIER, R.; KENDALL, G. ; WHITWELL G. **A New Bottom-Left-Fill Heuristic Algorithm for the Two-Dimensional Irregular Packing Problem.** *Operations Research*, 54, p. 587–601, may-jun, 2006.

BURKE, E. K.; HELLIER, R.; KENDALL, G. ; WHITWELL G. **Complete and robust no-fit polygon generation for the irregular stock cutting problem.** *European Journal of Operational Research*, 179, p. 27 – 49, 2007

CHU, C.; ANTONIO, J. **Approximation Algorithms to Solve Real-Life Multicriteria Cutting Stock Problems.** *Operations Research*, 47(4), p. 495 – 508, jul, 1999.

COSTA, M. T.; GOMES, A. M.; OLIVEIRA, J. F. **Heuristic approaches to large-scale periodic packing of irregular shapes on a rectangular sheet.** *European Journal of Operational Research*, 192, p. 29-40, 2009.

- DEGRAEVE, Z.; GOCHET, W.; JANS, R. **Alternative formulations for a layout problem in the fashion industry**. European Journal of Operational Research, 143, p. 80–93, 2002.
- DEGRAEVE, Z.; SCHRAGE, L. **Optimal Integer Solutions to Industrial Cutting Stock Problems**. INFORMS Journal on Computing, 11(4), p.406 – 419, jan, 1999.
- DEGRAEVE, Z.; VANDEBROEK, M. **A Mixed Integer Programming Model for Solving a Layout Problem in the Fashion Industry**. Management Science, 44(3), p. 301 – 310, mar, 1998.
- DOWSLAND, K. A.; VAID, S.; DOWSLAND, W. B. **An algorithm for polygon placement using a bottom-left strategy**. European Journal of Operational Research, 141, p. 371–381, 2002.
- GOMES, A. M.; OLIVEIRA, J. F. **A 2-exchange heuristic for nesting problems**. European Journal of Operational Research, 141, p. 359-370, 2002.
- GOMES, A. M.; OLIVEIRA, J. F. **Solving Irregular Strip Packing problems by hybridising simulated annealing and linear programming**. European Journal of Operational Research, 171, p. 811-829, 2006.
- HIFI, M.; M'HALLAH, R. **An Exact Algorithm for Constrained Two-Dimensional Two-Stage Cutting Problems**. Operations Research, 53(1), p.140 – 150, jan, 2005.
- HIFI, M.; M'HALLAH, R. **A hybrid algorithm for the two-dimensional layout problem: The cases of regular and irregular shapes**. International Transactions in Operational Research, 10, p. 195-216, 2003.
- HIFI, M.; M'HALLAH, R.; SAADI, T. **Algorithms for the Constrained Two-Stage Two-Dimensional Cutting Problem**. INFORMS Journal on Computing, 20(2), p. 212-221, jan., 2008.
- HOPPER, E. **Two-dimensional packing utilizing evolutionary algorithms and other meta-heuristic methods**, Ph.D.dissertation, School Eng., Cardiff Univ., Cardiff, U.K., 2000.
- HOPPER, E.; TURTON, B. C. H.; **An empirical investigation of meta-heuristic and heuristic algorithms for a 2D packing problem**. European Journal of Operational Research, 128, p. 34-57, 2001.
- KIM, H.; CHO, S. **Application of interactive genetic algorithm to fashion design** Engineering Applications of Artificial Intelligence 13 (2000) 635-644
- MARTENS, J. **Two genetic algorithms to solve a layout problem in the fashion industry** European Journal of Operational Research, 154, p. 304-322, mar, 2004.
- MARTINS, T.C.; TSUZUKI, M.S.G. **Simulated annealing applied to the irregular rotational placement of shapes over containers with fixed dimensions**. Expert Systems with Applications, 2009. Não paginado.

M'HALLAH, R.; BOUZIRI, A.; JILANI, W. **Layout of Two Dimensional Irregular Shapes Using Genetic Algorithms.** IEA/AIE, LNAI 2070, p. 403-411, 2001

MILENKOVIC, V. J. **Densest Translation Lattice Packing of Non-Convex Polygons.** Computational Geometry, p. 280-289, 2000.

MENON, S.; SCHRAGE, L. **Order Allocation for Stock Cutting in the Paper Industry.** Operations Research, 50(2), p. 324 – 332, mar, 2002.

OLIVEIRA, J. F.; GOMES, A. M.; FERREIRA, J. S. **TOPOS – A new constructive algorithm for nesting problems.** OR Spektrum, 22, p. 263–284, 2000.

PISINGER, D.; SIGURD, M. **Using Decomposition Techniques and Constraint Programming for Solving the Two-Dimensional Bin-Packing Problem.** INFORMS Journal on Computing, 19(1), p. 36-51, jan., 2007.

SHIOMI, Y.; SUGI, M.; OTA, J. **The Solution of 2-Dimensional Rectangular Cutting Stock problem Considering Cutting Process.** IEEE Conference on Automation Science and Engineering, sept, 2007.

STOYAN, Y; SCHEITHAUER, G.; GIL, N.; ROMANOVA, T. **Phi-functions for complex 2D-objects.** Quartely Journal of the Belgian, French and Italian Operations Research Societies, p. 69-84, 2004.

VANDERBECK, F. **Exact Algorithm for Minimising the Number of Setups in the One-Dimensional Cutting Stock Problem.** Operations Research, 48(6), p. 915 – 926, nov, 2000.

WÄSCHER, G.; HAUSSNER, H.; SCHUMANN, H. **An Improved Typology of Cutting and Packing Problems.** European Journal of Operational Research, 183, p.1109- 1130, 2007.

WONG, W. K.; WANG, W. W.; MOK, P. Y.; LEUNG, P. Y. S.; KWONG, C. K. **Solving the two-dimensional irregular objects allocation problems by using a two-stage packing approach.** Expert Systems with Applications, 36, p. 3489-3496, 2009.

YEUNG, L.H.W.; TANG, W.K.S. **A Hybrid Genetic Approach for Garment Cutting in the Clothing Industry.** IEEE Transactions on Industrial Electronics, 50 (3), jun, 2003.

APÊNDICE C

Lista dos artigos selecionados para a construção do quadro teórico. Os artigos abaixo tratam especificamente dos problemas de encaixe de itens bidimensionais com formatos irregulares.

BABU, A. R.; BABU, N. R. **A generic approach for nesting of 2-D parts in 2-D sheets using genetic and heuristic algorithms.** *Computer-Aided Design*, 33, p. 879-891, 2001.

BENNELL, J. A.; DOWSLAND, K. A. **Hybridising Tabu Search with Optimisation Techniques for Irregular Stock Cutting.** *Management Science*, 47(8), p. 1160-1172, 2001.

BENNELL, J. A.; DOWSLAND, K. A.; DOWSLAND, W. B. **The irregular cutting-stock problem – a new procedure for deriving the no-fit polygon.** *Computers & Operations Research*, 28, p. 271-287, 2001.

BENNELL, J. A.; OLIVEIRA, J. F. **The geometry of nesting problems: a tutorial.** *European Journal of Operational Research*, 184, p. 397-415, 2008.

BLAZEWICZ, J.; MORET-SALVADOR, A.; WALKOWIAK, R. **Parallel tabu search approaches for two-dimensional cutting.** *Parallel Processing Letters*, 14 (1), p. 23-32, 2004.

BOUGANIS, A.; SHANAHAN. **A Vision-Based Intelligent System for Packing 2-D Irregular Shapes.** *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 4, 3, p. 382-394, 2007.

BURKE, E. K.; KENDALL, G. **Applying Evolutionary Algorithms and the No Fit Polygon to the Nesting Problem,** *Conference IC-AI*, 204A, 1999

BURKE, E. K.; HELLIER, R.; KENDALL, G. ; WHITWELL G. **A New Bottom-Left-Fill Heuristic Algorithm for the Two-Dimensional Irregular Packing Problem.** *Operations Research*, 54, p. 587–601, may-jun, 2006.

BURKE, E. K.; HELLIER, R.; KENDALL, G. ; WHITWELL G. **Complete and robust no-fit polygon generation for the irregular stock cutting problem.** *European Journal of Operational Research*, 179, p. 27 – 49, 2007

COSTA, M. T.; GOMES, A. M.; OLIVEIRA, J. F. **Heuristic approaches to large-scale periodic packing of irregular shapes on a rectangular sheet.** *European Journal of Operational Research*, 192, p. 29-40, 2009.

DOWSLAND, K. A.; VAID, S.; DOWSLAND, W. B. **An algorithm for polygon placement using a bottom-left strategy.** *European Journal of Operational Research*, 141, p. 371–381, 2002.

GOMES, A. M.; OLIVEIRA, J. F. **A 2-exchange heuristic for nesting problems.** *European Journal of Operational Research*, 141, p. 359-370, 2002.

- GOMES, A. M.; OLIVEIRA, J. F. **Solving Irregular Strip Packing problems by hybridising simulated annealing and linear programming.** European Journal of Operational Research, 171, p. 811-829, 2006.
- HIFI, M.; M'HALLAH, R. **A hybrid algorithm for the two-dimensional layout problem: The cases of regular and irregular shapes.** International Transactions in Operational Research, 10, p. 195-216, 2003.
- MARTINS, T.C.; TSUZUKI, M.S.G. **Simulated annealing applied to the irregular rotational placement of shapes over containers with fixed dimensions.** Expert Systems with Applications, 2009. Não paginado.
- M'HALLAH, R.; BOUZIRI, A.; JILANI, W. **Layout of Two Dimensional Irregular Shapes Using Genetic Algorithms.** IEA/AIE, LNAI 2070, p. 403-411, 2001
- MILENKOVIC, V. J. **Densest Translation Lattice Packing of Non-Convex Polygons.** Computational Geometry, p. 280-289, 2000.
- OLIVEIRA, J. F.; GOMES, A. M.; FERREIRA, J. S. **TOPOS – A new constructive algorithm for nesting problems.** OR Spektrum, 22, p. 263–284, 2000.
- STOYAN, Y; SCHEITHAUER, G.; GIL, N.; ROMANOVA, T. **Phi-functions for complex 2D-objects.** Quartely Journal of the Belgian, French and Italian Operations Research Societies, p. 69-84, 2004.
- WONG, W. K.; WANG, W. W.; MOK, P. Y.; LEUNG, P. Y. S.; KWONG, C. K. **Solving the two-dimensional irregular objects allocation problems by using a two-stage packing approach.** Expert Systems with Applications, 36, p. 3489-3496, 2009.

APÊNDICE D

Questão 1: A escolha da ordem em que os moldes serão encaixados é realizado de forma aleatória?

EMPRESA 1: Eu já visualizo o molde, vejo mais ou menos. É um quebra-cabeça, não deixa de ser um quebra-cabeça. Ele tem que encaixar no menor espaço possível. Tem também a prática de ficar encaixando, já vejo mais ou menos onde se encaixa o quê. Onde aquele desenho vai estar, os espaços que estão sobrando, eu visualizo meio que pronto o encaixe em cima do tecido. Eu já visualizo o encaixe e vou adequando essa informação da melhor maneira possível. **Tem alguma peça que tu pensa em pegar primeiro?** Primeiro as grandes, as peças maiores, quanto mais rápido tirar as maiores melhor, o final fica para as menores. **Eu observei que tu juntou as duas partes das costas do casaco, que já fecham naturalmente na peça, manga também, tu percebe alguma tendência de deixar essas partes, que já vão ser costuradas juntas, também unidas no encaixe?** Não, é como eu te falei, você direciona o desenho, o quebra-cabeça tem várias pontas que se você observar você vai saber que aquela peça vai encaixar ali. Aqui no caso da manga e da frente do casaco está bem claro que as costas com a frente invertida encaixam bem melhor do que uma manga com uma parte da frente ou das costas. Além disso, a frente e as costas elas são as partes maiores e devem estar juntas, sabe porquê? Você vai estar tirando uma medida de uma costa, se você não tirar a frente junto, essa mesma medida vai somar lá em baixo e dar um rendimento bem maior. E tento preencher o espaço com as partes menores. Eu prefiro sempre encaixar primeiro as partes maiores para depois encaixar as menores.

EMPRESA 2: Geralmente eu procuro seguir uma ordem, encaixo primeiro frente e costas e depois vou encaixando o restante, manga, recortes. A princípio sempre inicio com frente e costas, é a base, é a parte maior do tecido que você vai usar, daí você já tem uma dimensão do que você vai gastar de pano. Então, primeiro frente e costas e depois o restante são os detalhes, manga você sempre tira de uma lateral e consegue encaixar um detalhe. Bolsos, golas, você encaixa depois.

EMPRESA 3: Não, primeiro eu gosto de fazer com o tecido dobrado porque as duas partes ficam iguais. Quando você repete ou faz espelhado, eu acho que perde mais (tecido).

Normalmente eu começo com as peças maiores e as que têm um ângulo reto que eu possa colocar paralelo ao tecido, nas extremidades laterais do tecido. Eu sempre encaixo e no meio eu vou fazendo. Eu tento encaixar de um jeito que ela fique espelhada, a menor daqui com a maior de lá (se referindo a frente e costas, que uma tinha rotacionado 180° para encaixar melhor com a outra) para ter a menor perda de tecido.

EMPRESA 4: Não, eu coloco as peças maiores primeiro.

EMPRESA 5: Eu penso em uma ordem que eu vou pegar os moldes. Eu sempre parto do maior para o menor, eu vejo quais são os maiores, nesse caso aqui (referindo-se aos moldes do casaco) a frente, as costas e a manga são os maiores moldes, a base da manga, onde vai a cabeça da manga gasta, a frente e as costas se são inteiras é o que gasta mais. Então, eu procuro encaixar horizontalmente esses maiores, porque são os de maior consumo. E os outros menores eu vou encaixar horizontalmente na altura dos maiores. Isso para economizar tecido, se eu começar do pequeno não dá certo, porque é o grande que faz o encaixe, que me dá os espaços de encaixe para os pequenos. Então, eu tenho que ver a melhor forma, de mexer com os moldes de um jeito ou de outro até achar o melhor rendimento, sempre marcando a lateral com a régua, para ver se a modificação que está sendo feita no encaixe gera a melhor posição. Às vezes é necessário voltar atrás porque o encaixe melhor já tinha sido feito antes. Vai se mexendo com os moldes, mas é os grandes que ditam onde vai ficar os pequenos.

Questão 2: Há alguma semelhança de forma ou tamanho entre os moldes que são encaixados em uma sequência, um depois do outro?

EMPRESA 1: (já respondida na pergunta anterior)

EMPRESA 2: (já respondida na pergunta anterior)

EMPRESA 3: Sim. Primeiro eu faço por tamanho, a primeira sequência eu faço por tamanho, pego a maior e coloco, e depois pelas formas.

EMPRESA 4: Sim, as maiores e que naturalmente já se encaixam, as partes da frente juntas, as partes das costas também. Tenho muito tempo de experiência, eu naturalmente olho as peças e já sei onde encaixar.

EMPRESA 5: (já respondida na pergunta anterior)

Questão 3: Os moldes que são inseridos primeiro no tecido para o encaixe são os de maior dimensão?

EMPRESA 1: (já respondida)

EMPRESA 2: Não, sempre utilizo o critério de frente e costas primeiro, tanto para peças pequenas ou roupas grandes, vestidos. Para qualquer tipo de roupa eu sigo sempre esse mesmo critério. Às vezes você vai cortar e dependendo da peça ou se o cliente trouxe pouco tecido, se você tirar as peças menores primeiro você acaba não tendo para as partes principais. Então, quando se tira frente e costas sempre vai sobrar um entremeio, vai sobrar uma parte das cavas, que você pode usar para encaixar um bolso, uma lapela, daí você aproveita mais o tecido.

EMPRESA 3: Sim.

EMPRESA 4: (já respondida na pergunta anterior)

EMPRESA 5: (já respondida)

Questão 4: No decorrer do encaixe os moldes de maior dimensão trocam de posição para que melhore o aproveitamento de tecido?

EMPRESA 1: Costumam. Tanto que essa aqui tava de cabeça para lá (se referindo a um molde das costas do casaco) no mesmo sentido, eu tive que virar para pode encaixar ela melhor.

EMPRESA 2: Não, geralmente elas permanecem onde as coloquei primeiro.

EMPRESA 3: Sim. Se bem que eu prefiro fixar as maiores e mexer com as menores. Porque a maior é que vai tomar maior quantidade de tecido. Vai gastar mais tecido, então aquela é aquela, as outras eu posso colocar com base na maior, independente se ela está no início no meio ou no fim é aquele espaço, em cima disso eu tento por as menores.

EMPRESA 4: Sim trocam, mas as de menor dimensão trocam mais vezes.

EMPRESA 5: Podem trocar também, mas geralmente quem tem prática já sabe onde elas se encaixam melhor.

Questão 5: No decorrer do encaixe os moldes de menor dimensão trocam de posição para que melhore o aproveitamento de tecido?

EMPRESA 1: As de menor dimensão não têm tanta prioridade assim, porque se você observar as de menor dimensão estão nas extremidades. Porque já está meio pré-definido o rendimento da peça com as de maior dimensão, as menores elas só preenchem os espaços. A não ser que...esses casos em que, por exemplo, o punho, se o punho estivesse com o sentido do fio trocado (que deixasse a peça com maior comprimento do que largura) eu não teria deixado ele para o final. Se o sentido do fio é o de menor rendimento ele fica para o final, se ele é de maior rendimento ele vai sendo encaixado junto com as peças maiores. Nessa situação o rendimento dele é de 10 centímetros, se o fio tivesse na outra direção o rendimento seria de quase 30 centímetros. Então, eu teria que dar prioridade para ele. O caso da gola do casaco também, a gola ela normalmente sai nos dois fios, daí você faz a opção, nesse caso como a manga está junto ela sai junto com a gola. Se não tivesse a manga eu já teria deixado ela com o fio ao contrário, ocupando maior largura e menor comprimento do tecido.

EMPRESA 2: Sim, em relação as menores peças sim, sempre seguindo a orientação do fio do tecido, para você não inverter peças ou cortar no sentido contrário do pano. Eu sempre dou prioridade para as partes maiores e depois vou encaixando o restante aleatoriamente. Tanto faz peça grande, peça pequena, a mesma sequência.

EMPRESA 3: (já respondida na pergunta anterior)

EMPRESA 4: (já respondida na pergunta anterior)

EMPRESA 5: Sim, sem dúvida. Porque as maiores tu faz o encaixe delas, vão sobrar vãos, nesses vãos é que tu vai mexer nos menores. E os menores tu vai mexer para cá, para lá, e como eles são muitos, tu pode ir vendo qual é o melhor consumo ou o menor consumo.

Questão 6: Você encaixa os moldes no tecido colocando os mesmos agrupados mais para um canto tentando preenchê-lo primeiro?

EMPRESA 1: Eu começo sempre pela lateral. **Tu prefere o tecido enfestado?** É, no caso aqui porque é mais rápido, se você está fazendo piloto é mais rápido trabalhar com ele enfestado do que ele aberto, é encaixar o dobro. Também é mais simples você encaixar com ele enfestado, eu começo pela dobra porque sempre sobra oureola. Eu não posso deixar sobrar na dobra porque o gasto é muito maior. Minha preferência é começar pela dobra, eu acho que é o certo também. E pela barra do tecido.

EMPRESA 2: Assim, quando o casaco tem recorte nas costas eu procuro jogar ele para o lado da ourela. Se for uma costa inteira eu procuro aproveitar a dobra do tecido (tecido enfestado). Daí eu já encaixo na dobra do tecido, se ele não tiver marcado. Tem muito tecido que vem com aquele friso que não sai nunca mais. Mas quando tem recorte você pode usar tanto a parte da ourela quanto outra.

EMPRESA 3: (já respondida)

EMPRESA 4: Não, pelo início.

EMPRESA 5: Quando o tecido está enfestado, como nesse caso aqui (referindo-se ao tecido do encaixe do casaco), que ele está dobrado em dois, eu procuro colocar na dobra as partes que são sem costura no meio. Porque se eu virar ao contrário ela vai ficar partida. E daí eu vou perder a peça. Se a modelagem tiver as costas inteira, ou uma manga que o molde seja

dobrado, eu tenho que colocar esse molde na dobra, então ele já tem o seu lugar específico no encaixe.

Questão 7: Em caso afirmativo, qual/quais canto(s): superior, inferior, esquerdo ou direito?

EMPRESA 1: (já respondida na pergunta anterior)

EMPRESA 2: (já respondida na pergunta anterior)

EMPRESA 3: (já respondida)

EMPRESA 4: (pergunta não aplicável)

EMPRESA 5: (já respondida)

Questão 8: Você tenta primeiro ver como os maiores moldes combinam-se melhor entre eles (em que posição ocupam menos espaço e desperdiçam menos tecido), para depois encaixar os menores moldes?

EMPRESA 1: As modelagens formam um quebra-cabeça, é lógico que eu vou buscar sempre as que têm maior afinidade entre elas.

EMPRESA 2: (pergunta não aplicável em função do decorrer da entrevista)

EMPRESA 3: Isso.

EMPRESA 4: Sim, como eu te falei, pego as maiores e como elas se encaixam melhor, depois vou inserindo as menores.

EMPRESA 5: Sim, como elas se encaixam melhor. Aqui, por exemplo, a cabeça da manga, como eu expliquei ela encaixe melhor, geralmente, na altura do ombro, quando termina o

ombro no molde da frente e das costas, sobra um vão e ali, como a manga consome muito, aí eu encaixo ela no espaço entre os ombros dos moldes, o melhor lugar que eu achei. A gola também, ela tem um bico na ponta como eu posso colocar ela nos dois sentidos (horizontal ou vertical), nesse caso é melhor colocar no sentido horizontal porque esse bico da gola ele vai encaixar no decote das costas, então já economiza de três a quatro centímetros só no encaixe. Aqui também, nesse vão eu aproveito o espaço para encaixar o bolso. Eu estou tirando também, junto com eles os cintos e o punho, então isso aqui já me dá uma economia grande. Aqui também, essa folha da manga, a folha de trás da manga do blazer, encaixa no outro decote, tem um bico, o bico encaixado no espaço que sobra do decote do molde faz uma economia de seis centímetros e meio. E aqui dá para economizar mais, por exemplo, se eu aproximar mais a distância de passar o giz, também economiza, fica mais pertinho. Economizei aqui mais um centímetro. Eu tendo a distância suficiente do risco do giz, já é suficiente, porque eu vou cortar com máquina precisa de corte, não vou cortar com tesoura. Com essa máquina, que tem uma lâmina precisa eu vou passar exatamente em cima do risco. Então, eu não preciso que fique muito afastado uma peça da outra, só se eu fosse cortar com tesoura. Isso já me dá uma boa economia porque eu posso encostar um molde no outro.

Questão 9: Gostaria de relatar alguma outra informação que você considera importante sobre o seu raciocínio durante o processo de encaixe de moldes no tecido?

EMPRESA 1: Depois que eu faço o encaixe eu tento analisar ele de novo, se têm alternativas que eu posso melhorar. Busco o melhor rendimento, porque isso que vai me dar o custo, o melhor preço. **Quando tu analisa, pensa em trocar as peças maiores ou as menores?** Depende do molde, o molde quando ele tem muito recorte, muito pedaço, você tem que tentar adaptar o melhor possível. Quando ele tem mais inteiras, como esse molde aqui do casaco, só tem um recorte lateral nas costas, a frente também só tem um recorte no meio, você identifica elas como as partes que vão se unir. E elas estão basicamente iguais umas com as outras. Se essa frente do casaco tivesse mais uma pala, e a manga também tivesse um recorte, eu já ia buscar uma melhor identificação entre elas, porque talvez essa colocação aqui não fosse a ideal. De repente essa manga aqui, vê que está sobrando um espaço aqui, esse espaço aqui está sendo inútil porque eu vou perder esse tecido. Essa perda está incluída no custo, mas é muito melhor aproveitar o tecido, afinal de contas ele existe, ele tem que estar dentro da peça. Então eu vou buscar dentro dessas partes encaixar essas lacunas. Para não sobrar tecido, para

realmente ele existir na peça e fazer parte da composição do custo material mesmo, não só abstrato. Aqui esse desperdício vai estar no custo, mas não vai estar compondo uma parte da peça.

EMPRESA 2: Não, o básico é isso, não tem muito segredo o encaixe e a modelagem. É só você ter um início, você se baseia pelo tronco da peça, que é o principal, frente, costas e manga, daí o restante, recortes, lapelas, você tira de uma lateralzinha. Não tem muito segredo. É tranquilo, eu acho. Porque eu trabalho faz tempo também. Para mim, roupa não tem segredo nem medo, olho, corto, monto e vamos provar e fazer dar certo. E sempre dá.

EMPRESA 3: Eu procuro ver como ela vai ser cortada mesmo, essa parte é daqui, essa dali. Porque se elas vão ser costuradas, normalmente elas têm o melhor encaixe juntas, normalmente. Nem sempre, por exemplo, essas duas partes das costas, eu tento colocar elas juntas, porque elas vão ser costuradas juntas, então ela tem um encaixe menor, ela tem uma perda menor, é a parte que mais encaixa. Normalmente eu faço isso. Depois, quando são retas, cintos, eu tento por mais no fim porque aí eu tento fazer o melhor aqui (referindo-se a parte inicial) e aqui é um reto, então eu tento economizar, eu coloco as maiores no lado, as menores no meio, daí eu tento virar de um lado, de outro, e essas eu sempre faço no final (referindo-se as partes mais retas), cintos.

EMPRESA 4: A experiência, eu considero fundamental para a realização do encaixe. Acredito que quem têm pouca prática, 5 anos, não sabe fazer tão bem.

EMPRESA 5: O essencial é saber que tem que encaixar no melhor espaço possível, e não fazer da primeira vez, colocar os moldes e já achar que é o melhor. Sempre fazer uma marcação na mesa e mexer de novo, aí não deu, mexe de novo, de repente acha uma melhor maneira de economizar. Porque se é uma peça que tu vai fazer uma só, que tu tem tecido de sobra, não tem problema de ter que economizar, tudo bem, mas se tu faz industrialmente, vai fazer muitas peças, isso pesa no orçamento, qualquer centímetro influencia muito quando é uma quantidade grande. Um centímetro em cem peças é um metro, dependendo do que for fazer, saí outra peça. É importante o encaixe no corte, o fio do tecido também, porque se tu cortar uma peça que enviesada, não obedecer o fio do tecido, ela fica enviesada e tu perde a peça. Ela não dá um bom caimento e a costureira não consegue nem costurar direito. Isso por causa de uma roupa que não foi bem cortada. E outra coisa sobre o corte, são os tecidos. Têm

tecidos que tem luminosidade, se tu cortar fora do fio do tecido, terá problema de luminosidade. Então se na mesma peça tu colocou um molde errado, no fio errado, ela vai parecer que é outro tecido, que é outra cor. O cotelê, o veludo, tecidos de festa, tem esse problema de luminosidade. Os tecidos floreados, estampados têm que ver a melhor forma de encaixe das estampas, das listras, para elas terem o mesmo sentido, enfim, em muitos tecidos é necessário ter cuidado. O chiffon, tecidos bem fininhos, eles exigem que tu coloque um papel, se tu quer que eles fiquem bem retinhos, tu coloca um papel por baixo alfinetado e daí tu usa o papel como molde e não o tecido para cortar. Porque o tecido pode entortar, tem que ter muito cuidado com certos tecidos no cortar. No mais é isso, economizar o máximo quando for corte industrial. Quando for um corte simples, de uma peça só e tem bastante tecido a gente não se preocupa muito com isso, com quanto que vai sobrar de retalhos. Na quantidade, principalmente numa empresa isso é muito importante. O cortador também é uma pessoa que precisa ser treinada para isso. É importante também a parte moral da pessoa ter consciência social perante a empresa. Se ele (o cortador) economizar para a empresa, ele está colaborando com a empresa e com ele próprio. Hoje o que acontece é o contrário, é difícil encontrar pessoas preparadas nesse sentido. A pessoa sabe cortar, mas não faz o melhor por comodidade, por interesse próprio. A malha também tem um lado dela que ela desfia, e o outro lado não desfia, então tu tem que colocar os moldes de acordo com o fio certo para o lado que não desfia, senão pode puxar o fio todo. Têm cortadores que não observam isso. Na peça pronta tu não vai notar, tu vai notar é depois no uso. Para ter uma qualidade boa também deve ser observado isso. Outra coisa, é que a malha tem que descansar de doze a vinte e quatro horas. Isso para soltar do rolo, porque ela vem prensada no rolo e até ela se acomodar leva esse tempo. Se tu cortar antes, pode ter problema de encolhimento. Tecido de algodão também, os tecidos de fio natural encolhem. Os tecidos de fio sintético, como são derivados do polietileno, que são plásticos, microfibras, seda artificial, esses tecidos não encolhem, mas os de fibra natural encolhem. É necessário saber se ele já veio com pré-encolhimento ou se não veio a gente tem que encolher, e daí são vários processos, umedecer, deixar ele descansar, para ele fazer o encolhimento. Acho que é isso.

Este trabalho foi realizado com o apoio da CAPES que concedeu bolsa de mestrado.