

Software para o Encaixe de Moldes com Formato Irregular em Tecidos Listrados

A. S. Alves^{a,b,c}, J. L. F. Aymone^b

^ae-mail

^bPGDesign, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil

^cInstituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil

Resumo

Este artigo propõe uma solução para o problema do encaixe de moldes em tecidos listrados da indústria do vestuário. Os moldes são peças com formato irregular que devem ser dispostos sobre a matéria-prima, neste caso o tecido, para a etapa posterior de corte. No problema específico do encaixe em tecidos listrados, o local em que os moldes são posicionados no tecido deve garantir que, após a confecção da peça, as listras apresentem continuidade. Com base na pesquisa bibliográfica desenvolvida, foi proposto um algoritmo para lidar com o problema de encaixe de moldes em tecidos listrados: algoritmo de encaixe com pré-processamento implementado no software *Riscare Listrado*. Para testar o desempenho do algoritmo foram utilizados seis problemas benchmarks da literatura e proposto um novo problema denominado de camisa masculina. Os problemas benchmarks da literatura foram propostos para matéria-prima lisa e o problema camisa masculina especificamente para tecidos listrados. Quando comparado aos melhores resultados publicados na literatura para matéria-prima lisa, o algoritmo proposto obteve encaixes com eficiências inferiores. Porém, dos sete problemas testados em tecidos listrados, seis apresentaram resultados superiores ao recomendado pela literatura específica da área de moda para tecidos estampados.

Palavras-chave: Encaixe, Tecido listrado, Vestuário.

Software for marker-making problem on striped fabric

Abstract

This article propose the solution for the marker-making problem of patterns on striped fabric in clothing industry. The patterns are pieces with irregular form that should be placed on raw material which is, in this case, the fabric. This fabric is cut after packing. In the specific marker-making problem on striped fabric, the position that patterns are put in the fabric should ensure that, after the clothing sewing, the stripes should present continuity. Thus, the theoretical foundation developed, it was proposing an algorithm for the marker-making problem of patterns on striped fabric: algorithm with pre-processing step implemented in the *Striped Riscare* software. Both algorithms performances are tested with six literature benchmark problems and a new problem called "male shirt" is proposed here. The benchmark problems of literature were initially proposed for clear raw material and the male shirt problem, specifically for striped fabrics. When compared to the best results published in the literature for clear raw material, the algorithm has shown packings with lower efficiencies. However, it showed six results, among seven problems, higher than recommended for the specific literature of fashion design for patterned fabrics.

Keywords: Packing, Striped fabric, Clothing.

1. INTRODUÇÃO

Os problemas de corte e encaixe estão presentes no processo produtivo de diversas indústrias: confecção de vestuário, papel, móveis, sapatos e naval. Nesses problemas é preciso lidar com dois conjuntos de elementos: o primeiro é formado pelas matérias-primas (também chamados de objetos grandes) o segundo, constituído por peças de pequena dimensão (também chamados de itens pequenos ou moldes, como no caso deste trabalho). O objetivo é a disposição das peças pequenas, da melhor maneira possível sobre a matéria-prima, sem que haja sobreposição, para posterior corte (Wäscher, Haubner e Schumann [26]).

A importância desses problemas está relacionada com a economia de matéria-prima, que possui impacto significativo no preço do produto final. Além do benefício econômico, a diminuição do desperdício de matéria-prima também colabora na eficiência do processo produtivo e com questões ambientais (Baldacci *et al.* [4]; Gomes e Oliveira [16]).

Apesar de todas as indústrias terem dificuldades semelhantes na etapa de disposição de itens sobre as matérias-primas, há também necessidades específicas de cada processo produtivo. Wäscher, Haubner e Schumann [26] propuseram uma tipologia de classificação, parcialmente baseada na tipologia apresentada por Dyckhoff[11]. Dentre os diversos problemas da área de corte e encaixe apresentados

no trabalho de Wäscher, Haubner e Schumann [26], a presente pesquisa situa-se na classificação denominada *Open Dimension Problem*. Nesta classe do problema, um conjunto de itens pequenos precisa ser todo alocado em um único objeto grande ou em vários objetos grandes. Em relação às dimensões dos objetos grandes, uma é fixa e outra variável. O (*Two-dimensional*) *Strip Packing Problems* é uma ramificação da classificação *Open Dimension Problem*, em que um conjunto bidimensional de itens pequenos tem que ser alocado em um objeto retangular grande; a largura do objeto grande é fixa, seu comprimento é variável e deve ser minimizado. No caso dos itens pequenos possuem formato irregular (Leung, Lin e Zhang [18]; Oliveira e Ferreira [21]; Bennell e Dowsland [5]) o problema é referido como *Irregular Strip Packing Problem* ou *Nesting Problem* (Baldacci *et al.* [4]; Bennell e Oliveira [7]; Gomes e Oliveira [16]). Em algumas áreas específicas, como, na indústria do vestuário, o mesmo problema pode ser denominado por diferentes nomes, como *Marker-Making Problem* (Bennell e Oliveira [7]; Li e Milenkovic [19]).

Os problemas de corte e encaixe também são classificados na classe de problemas denominados de NP-difícil. O termo NP-difícil é empregado para identificar problemas que não podem ser solucionados rapidamente utilizando abordagens puramente algorítmicas. O esforço computacional para a resolução cresce exponencialmente com o tamanho do problema, de acordo com a quantidade de dados envolvidos. O conhecimento de que um problema pertence à classe NP-difícil fornece uma informação valiosa sobre que linhas de abordagem têm potencial para serem mais produtivas e que a busca por um algoritmo exato não deve ser a prioridade (Garey e Johnson [15]).

Um inconveniente comum dessa área de pesquisa é o fato das soluções serem obtidas através de métodos não exatos o que impossibilita o cálculo da solução ótima, ou seja, a melhor solução. Assim, as soluções propostas sempre podem ser melhoradas em pelo menos dois aspectos: eficiência, medida em percentual de ocupação dos itens pequenos sobre a matéria-prima e tempo computacional para solução de um problema, calculado geralmente em segundos.

Em Alves [1] o *Marker-Making Problem* foi tratado através de uma heurística. Para poder verificar o desempenho (tempo e eficiência) da heurística foi desenvolvido o software *Riscare* para o encaixe de moldes da indústria do vestuário sobre tecidos lisos. A verificação dos resultados obtidos pelo software *Riscare* foi realizada por meio do encaixe de problemas específicos da indústria do vestuário e problemas considerados benchmarks, que estão disponíveis online no website ESICUP-EURO *Special Interest Group on Cutting and Packing*.

Quando moldes da indústria do vestuário são utilizados para o encaixe é preciso considerar algumas especificidades dessa área. Cada molde deve ter uma indicação de como ele deve ser posicionado ao longo do comprimento do tecido. Os moldes podem ser colocados em um único sentido do comprimento do tecido ou nos dois sentidos, pela rotação de 180°. As restrições de rotação estão relacionadas à existência de estampas, pelos e características inerentes do entrelaçamento do tecido. Após a etapa de encaixe, todos os moldes devem estar inseridos no tecido e não deve haver sobreposição entre eles.

Apesar dos problemas benchmarks englobarem exemplos da indústria do vestuário e considerarem as restrições de rotação dos moldes, Nielsen e Odgaard [20], explicam que pode haver uma quantidade elevada de restrições relacionadas a cada tipo de encaixe, dependendo da indústria de origem do problema, que não são abordadas.

Nielsen e Odgaard [20] apresentam uma situação peculiar da indústria do vestuário: o encaixe de moldes em tecidos listrados. Os autores abordam a necessidade que existe na indústria do vestuário de que alguns moldes possuam correspondência de posição na etapa de encaixe. Essa situação ocorre quando há um tipo de tecido com um padrão, como, listras ou um desenho, e esse padrão precisa ter continuidade após a etapa de costura das partes constituintes da roupa.

Diversos outros autores da área de moda e tecnologia do vestuário (Fischer [14]; Tyler [25]; Aldrich [2]; Treptow [23]; Araújo [3]; Yates [28]) enfatizam que na etapa de encaixe em tecidos listrados e xadrezes há a necessidade de posicionamento dos moldes sobre o tecido de modo que as linhas tenham continuidade na peça de roupa após a etapa de costura. Apesar do consenso entre os pesquisadores, há uma lacuna na produção de trabalhos relacionados ao problema específico de colocação de moldes sobre tecidos listrados para posterior corte.

Assim, neste artigo é descrito o algoritmo de encaixe proposto, implementado no software *Riscare* Listrado, para o problema de colocação dos moldes sobre tecidos listrados.

2. DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE RISCARE LISTRADO

A partir do estudo das pesquisas desenvolvidas por Gomes e Oliveira [16], Egeblad, Nielsen e Odgaard [12], Burke *et al.* [8], Burke *et al.* [9], Burke *et al.* [10], Wong *et al.* [27], Leung, Lin e Zhang [18], Elkeran [13], Ko e Kim [17] e Baldacci *et al.* [4] desenvolveu-se uma proposta de algoritmo para resolver o problema de encaixe em tecidos listrados.

Partiu-se de uma ideia inicial para o algoritmo e montou-se uma sequência de etapas que deveriam ser seguidas pelo algoritmo. Antes da implementação do algoritmo no software *Riscare* Listrado, fizeram-se diversas simulações manuais. Muitas situações não previstas foram identificadas e corrigidas durante as simulações. Ao final do processo chegou-se a um fluxograma, que ainda sofreu diversas modificações até chegar ao algoritmo final descrito na seção 5.2. Para a implementação dos algoritmos utilizou-se o software Delphi 7. A seção 3 deste artigo descreve a abordagem geométrica empregada no software *Riscare* Listrado para a representação gráfica dos moldes e do tecido. A seção 4 apresenta como foi solucionado o problema de rotação em 180° dos moldes. A seção 5 descreve o algoritmo de encaixe implementado no software *Riscare* Listrado. A seção 6 mostra os resultados alcançados e a seção 7 as considerações finais do artigo.

3. REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS MOLDES E DO TECIDO

Para os dois tipos de formas geométricas envolvidos no problema, o tecido e os moldes, a representação gráfica é feita através do método *raster*. O método *raster* é uma abordagem geométrica que divide o material que será cortado e as peças que serão encaixadas em finitas partes de mesma dimensão. Essas partes são chamadas de *grids* e o conjunto de *grids* é denominado de matriz. A divisão das formas geométricas em *grids* contribui para a redução da informação geométrica dos polígonos. Dentro de cada *grid* há um número que informa se aquele *grid* corresponde a um espaço vazio ou preenchido. Diferentes autores têm implementado o conceito do método *raster* de maneiras distintas (Bennell e Oliveira [6]; Wong *et al.* [27]; Baldacci *et al.* [4]).

No *Riscare* Listrado optou-se por utilizar nos *grids* os números 0, 1 e 3, do mesmo modo proposto Segenreich e Braga [23]. O número 0 representa *grids* vazios, o número 1 é utilizado para indicar os contornos dos polígonos e o número

3 representa o interior das peças. Os autores utilizaram esses números para facilitar na etapa de encaixe a verificação das posições entre duas peças: se estão sobrepostas, se tocam ou estão distantes. Se a soma de dois *grids* resultar no número 4 significa que naquele *grid* há o contorno de uma peça sobre o interior de outra. Caso o resultado da soma seja 6, sabe-se que duas partes internas, representadas pelo número 3, estão sobrepostas. O número 2 representa a sobreposição de dois contornos. A Figura 1 mostra um exemplo de molde representado através do método *raster*.



Figura 1: Molde representado pelo método *raster*.

Como é possível observar na Figura 1 foi proposta uma nova forma de transmitir informações, ainda não empregada no método *raster*: cores. As cores foram empregadas especificamente para auxiliar o encaixe de moldes em tecidos listrados. Para poder realizar o encaixe em tecidos listrados é preciso também trabalhar a representação gráfica dos moldes e do tecido para poder identificar o tipo de listra (vertical ou horizontal), o tamanho do módulo da listra, o *grid* de coincidência e a localização do módulo da listra nos moldes e no tecido. O tamanho do módulo da listra é a menor área que inclui todas as listras que compõem o desenho. Após a repetição do módulo, que pode ter diferentes posições, é gerado o padrão (também chamado de padronagem) (Rüthschilling [22]). O *grid* de coincidência e a localização do módulo da listra identificam a posição específica que o molde deve ficar no padrão do tecido. A importância da localização do módulo nos moldes fica mais evidente após a etapa de costura, quando a peça está pronta e é possível identificar a continuidade ou não das diferentes listras de um módulo.

Em decorrência da construção da interface do software e com o objetivo de obter o melhor aproveitamento da tela, as listras verticais nos moldes e na interface do software aparecem nas imagens como horizontais, uma vez que estão no sentido do comprimento do tecido. O mesmo ocorre com as listras horizontais, que aparecem como listras verticais e estão no sentido da largura do tecido. Assim, na Figura 1 pode-se identificar a listra como vertical, o tamanho do módulo da listra com 8 unidades, o *grid* de coincidência indicado pela cor vermelha e os *grids* de localização do módulo da listra pela cor azul. Os *grids* de cor azul indicam sempre o início do módulo

da listra. A cada repetição do módulo os *grids* recebem a cor azul.

O tecido, no início do encaixe, sempre está totalmente vazio. Dessa forma, todos os *grids* do tecido contêm o número 0. A Figura 2 mostra a representação gráfica de uma parte do tecido antes do início do encaixe. Na Figura 2 é possível observar o comprimento do tecido, representado pelo eixo y e a largura do tecido, indicada pelo eixo x.

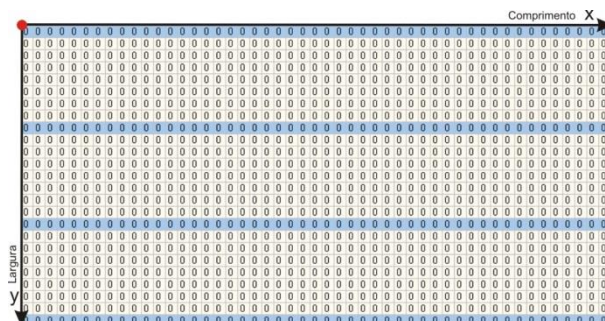


Figura 2: Tecido representado pelo método *raster*.

A cada etapa, e conforme os moldes são encaixados no tecido, os números contidos nos moldes passam para o tecido. Os conteúdos numéricos auxiliam o processo de encaixe através da detecção de moldes sobrepostos. Enquanto as cores nos *grids* permitem a correta colocação dos moldes sobre o tecido para que depois das partes costuradas a roupa apresente continuidade nas listras.

4. ROTAÇÃO DOS MOLDES EM 180°

Os moldes possuem uma orientação inicial de 0°, porém pode ser desejável que os moldes rotacionem em 180° na etapa de encaixe, para melhorar a eficiência. Para poder rotacionar os moldes em 180° é preciso criar uma nova matriz com modificações nas posições numéricas e nas cores.

A Figura 3 apresenta um molde sem rotação (0°), uma simulação da rotação em 180° e o início da construção do novo molde com rotação. O novo molde (180°) terá a mesma largura e comprimento do molde sem rotação. As informações numéricas no molde com rotação de 180° são preenchidas a partir da primeira linha do novo molde, no sentido da esquerda para a direita e recebem o conteúdo numérico da última linha do molde sem rotação no sentido da direita para a esquerda. A segunda e demais linhas são construídas da mesma forma, até que a última linha do molde 180° recebe as informações da primeira linha do molde 0°.

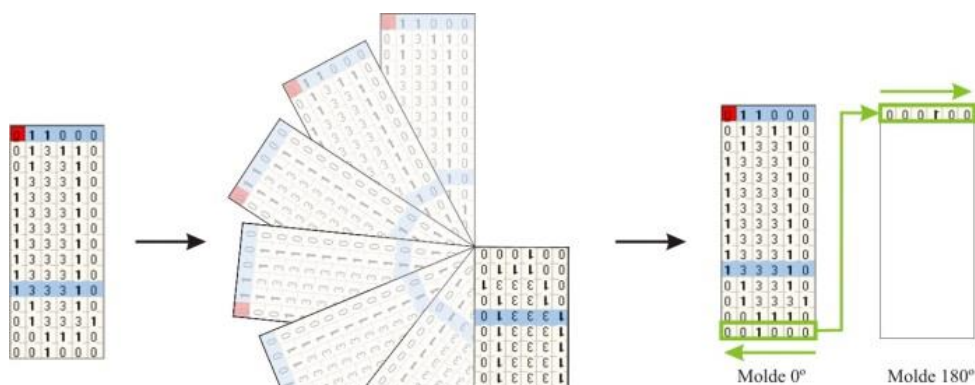


Figura 3: Construção do molde com rotação de 180°.

A Figura 4 mostra o molde 0° e o molde 180°, representados através da matriz, contendo as informações numéricas nos *grids* e as cores indicativas do início do módulo (azul) e do ponto de coincidência (vermelho). Também há o padrão de tecido atrás dos moldes para demonstrar que o início do módulo da listra garante que após o molde 180° ser cortado, não será possível distingui-lo do molde 0°. Na Figura 4 fica mais clara a diferença existente entre os *grids* na cor azul, que servem para indicar a localização do módulo e a padronagem do tecido nas cores azul e vermelho.

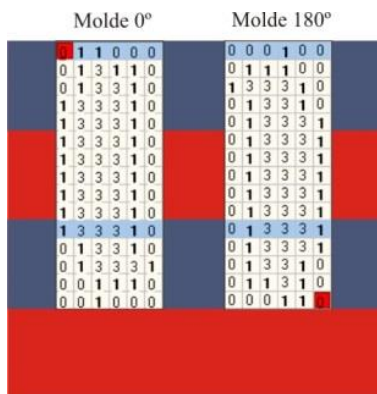


Figura 4: Molde com rotação de 0° e molde com rotação de 180° em tecido listrado.

5. ALGORITMO DE ENCAIXE COM ETAPA DE PRÉ-PROCESSAMENTO

O algoritmo de encaixe utiliza uma etapa de pré-processamento para obter um conjunto de posições sem sobreposição entre duas peças. Essas informações são utilizadas na definição da sequência de moldes que serão colocados sobre o tecido na fase de encaixe. Essas duas etapas, pré-processamento e construção do encaixe, são detalhadas nas próximas seções.

5.1 Etapa de pré-processamento

A etapa de pré-processamento faz uma combinação entre dois moldes. Essa combinação é feita para todos os moldes. Assim, para cada uma das combinações guarda-se um conjunto de posições admissíveis de encaixe.

No caso de uma peça composta por três moldes (frente, costas e manga), o molde da frente combina com o molde das costas, da manga e outro da frente. O molde das costas também combina com outro molde das costas, com o da frente e com o molde da manga. A manga também combina com outro molde de manga, com o da frente e com o das costas. Os moldes são combinados entre eles porque normalmente o encaixe é feito com mais de uma peça do mesmo modelo. Os moldes também combinam entre si mais de uma vez, isso ocorre porque na etapa de pré-processamento um molde é definido como Peça móvel (*Pm*) e o outro como Peça fixa (*Pf*).

Para fazer o encaixe entre dois moldes, na etapa de pré-processamento, é necessária uma pequena amostra do tecido. Essa amostra não deve ter a mesma largura e o comprimento do tecido do encaixe, mas é preciso que ela tenha um tamanho que possa conter os dois moldes. O molde *Pf* é inserido no centro do tecido, enquanto que o molde *Pm* precisa ter espaço suficiente para contornar o molde *Pf*. Além desse espaço, é preciso também considerar as listras do tecido, principalmente a localização do módulo no tecido e em cada um dos moldes.

Assim, pode-se dizer que o tamanho do tecido na etapa de pré-processamento é dinâmico e definido de acordo com os moldes que são encaixados e o tipo de listra (vertical ou horizontal). A Equação 1 apresenta o cálculo para definir a largura do tecido (*Lt*) para listras verticais.

$$Lt = LPf + 2(LPm + TI) \quad (1)$$

Onde:

Lt = Largura do tecido;

LPf = Largura da Peça fixa;

LPm = Largura da Peça móvel;

TI = Tamanho do módulo da listra.

O cálculo do comprimento do tecido, para listras verticais, foi feito através da Equação 2.

$$Ct = CPf + 2(CPm) \quad (2)$$

Onde:

Ct = Comprimento do tecido;

CPf = Comprimento da Peça fixa;

CPm = Comprimento da Peça móvel.

Após definido o tamanho do tecido para a etapa de pré-processamento, coloca-se primeiro o molde *Pf* no centro do tecido. Entende-se o tecido e os moldes como tendo origem ($x = 0, y = 0$) no canto superior esquerdo. O molde *Pf* é inserido no tecido através do cálculo de dois valores. O primeiro indica o deslocamento do molde *Pf* da parte superior do tecido em direção ao centro, esse valor é denominado *Dy*. O segundo representa o deslocamento do molde *Pf* da lateral esquerda do tecido em direção ao centro, esse valor é denominado *Dx*. A Figura 5 mostra de modo esquemático essas dimensões.

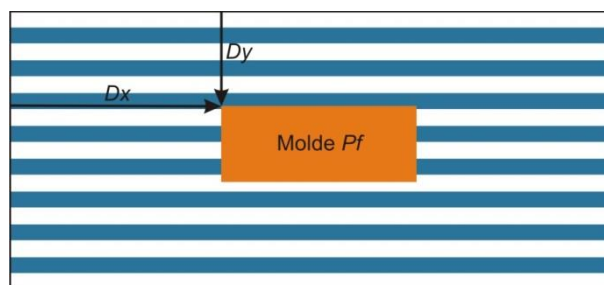


Figura 5: Representação da localização do Molde *Pf*.

Para tecidos listrados verticais, a posição *Dy* do molde *Pf* é definida pela Equação 3 e a posição *Dx* pela Equação 4.

$$DyPf = LPm + TI \quad (3)$$

$$DxPf = CPm - 1 \quad (4)$$

A Figura 6 mostra um exemplo, através da representação *raster*, do tecido dimensionado para a etapa de pré-processamento e o molde *Pf* inserido no centro do tecido após o cálculo de *Dy* e *Dx* pelas Equações 3 e 4.

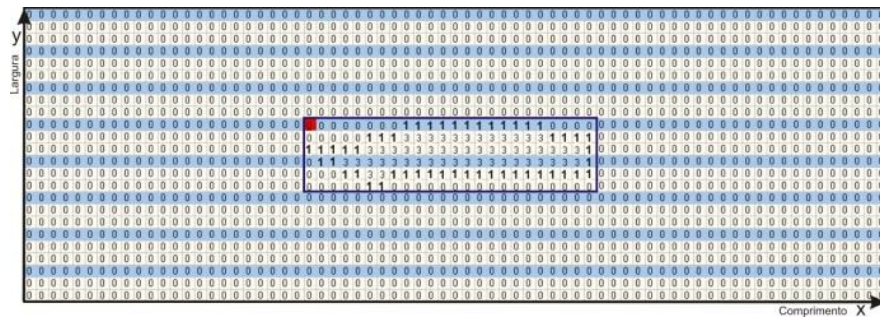


Figura 6: Encaixe do molde Pf na etapa de pré-processamento.

Após a inserção do molde Pf, é colocado o molde Pm na lateral esquerda inferior do tecido. A posição inicial exata do molde Pm também é definida através de dois deslocamentos. O deslocamento do molde Pm da parte superior do tecido para baixo, assim como o deslocamento da lateral esquerda para a direita também são denominados de Dy e Dx. As Equações 5 e 6 mostram o cálculo para listras verticais.

$$DyPm = DyPf + LPf + TI \quad (5)$$

$$DxPm = 0 \quad (6)$$

A Figura 7 apresenta a primeira posição onde é inserido o molde Pm.

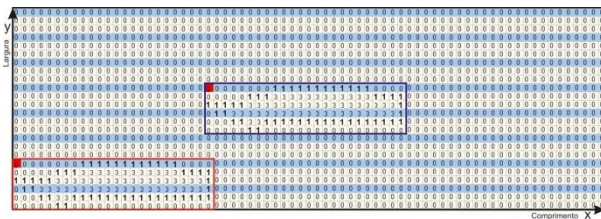


Figura 7: Primeiro local de inserção do molde Pm na etapa de pré-processamento.

Nesse exemplo, o molde Pm encontrou um local disponível, ou seja, sem sobreposição entre os moldes. Quando um local sem sobreposição é encontrado, diversas informações sobre o encaixe são guardadas, essa etapa é explicada na seção 5.1.1.

Para cada posição no eixo x do tecido é inserido o molde Pm no eixo y e uma determinada quantidade de vezes. Essa quantidade de deslocamentos é denominada Qd. A Equação 7 descreve o cálculo para listras verticais.

$$Qd = 2 + Trunc\left(\frac{LPf}{TI} + \frac{LPm}{TI} + 0,99\right) \quad (7)$$

Onde:

Qd = Quantidade de deslocamentos para moldes com mesma largura;

Trunc = A função Trunc retorna a parte inteira de um número decimal. Como se deseja um arredondamento para cima do resultado da divisão foi somado 0,99 ao resultado;

LPf = Largura molde Pf;

LPm = Largura molde Pm;

TI = Tamanho do módulo da listra.

Para o exemplo mostrado na Figura 7 o resultado da Equação 7 é de 6 unidades. Assim, para cada posição no eixo x, o molde Pm será inserido em 6 locais diferentes no eixo y. Esse procedimento foi adotado para garantir que o molde Pm

percorra toda a lateral do molde Pf. Como pode ser observado na Equação 7, a quantidade de locais de inserção do molde Pm no eixo y é dependente da largura dos moldes e do tamanho do módulo da listra (TI). A Figura 8 mostra o primeiro deslocamento (segunda posição encontrada) no eixo y na posição 0 do eixo x.

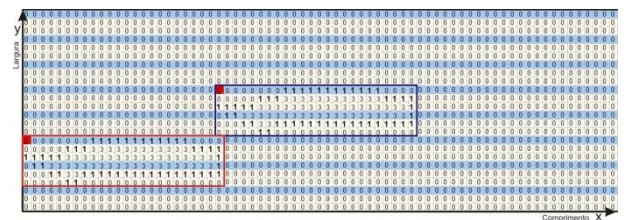


Figura 8: Segundo local de inserção do molde da Pm no eixo y na posição 0 do eixo x.

Como pode ser observado na Figura 8, o deslocamento no eixo y é feito em direção à parte superior do tecido. O valor do deslocamento é igual ao tamanho do módulo da listra (TI). As próximas quatro imagens (figs. 9, 10, 11 e 12) apresentam o restante da sequência de deslocamentos do molde Pm no eixo y, para a posição 0 no eixo x.

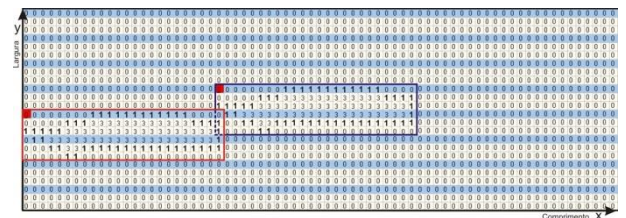


Figura 9: Terceiro local de inserção do molde Pm no eixo y na posição 0 do eixo x.

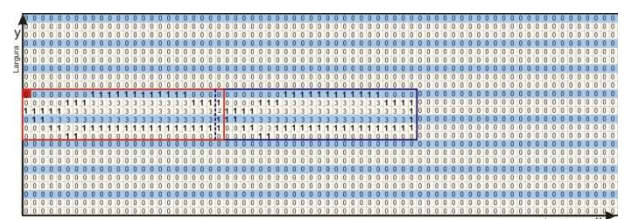


Figura 10: Quarto local de inserção do molde da Pm no eixo y na posição 0 do eixo x.

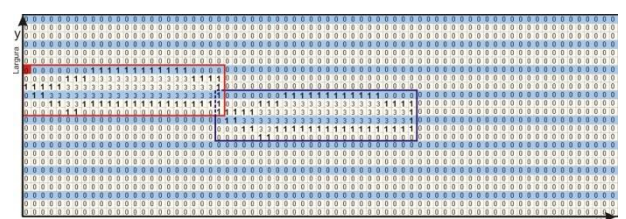


Figura 11: Quinto local de inserção do molde da Pm no eixo y na posição 0 do eixo x.

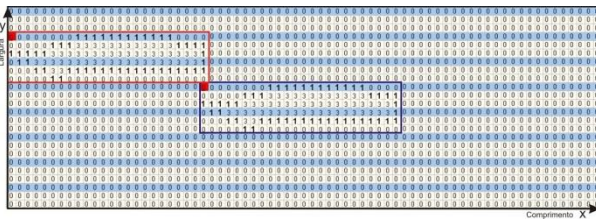


Figura 12: Sexto local de inserção do molde da Pm no eixo x na posição 0 do eixo x.

Após os deslocamentos no eixo y, desloca-se o molde Pm no eixo x, um grid para à direita. A Figura 13 apresenta esse deslocamento. O molde Pm ainda será inserido em mais cinco locais (Qd) no eixo y antes de deslocar-se novamente no eixo x. Caso ocorra sobreposição entre os moldes, o molde Pm é deslocado para cima no valor do tamanho do módulo da listra (Tl).

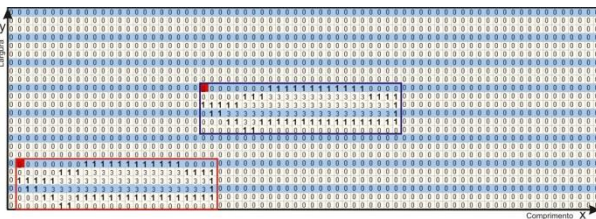


Figura 13: Deslocamento do molde Pm no eixo x na etapa de pré-processamento.

Para saber até qual ponto o molde Pm deve percorrer o eixo x, utiliza-se a Equação 8. A Equação 8 calcula Tx, ou seja, o valor total que deve ser deslocado o molde Pm no eixo x. Quando o molde Pm alcança a posição calculada por Tx termina a etapa de pré-processamento. O valor de Tx é igual a

soma do comprimento do molde Pm mais o comprimento do molde Pf menos dois grids, como mostrado na Equação 8.

$$Tx = CPm + CPF - 2 \tag{8}$$

Para o exemplo da Figura 13, o resultado da Equação 8 seria de 46 unidades. A Figura 14 mostra a última posição do molde Pm após todos os deslocamentos nos eixos x e y.

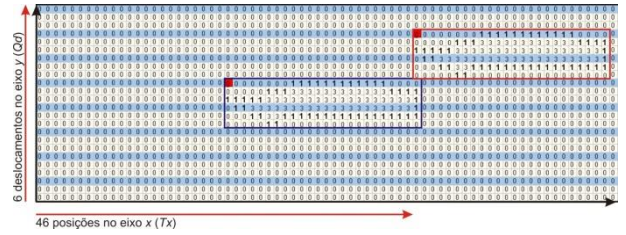


Figura 14: Última posição do molde Pm no eixo x e y na etapa de pré-processamento.

5.1.1 Registro das informações da etapa de pré-processamento

As informações obtidas na etapa de pré-processamento somam um volume elevado. Por esse motivo, optou-se por guardá-las em um arquivo do software Excel. Nesse arquivo ficam registrados: o número da combinação dos moldes, a identificação do molde Pf, a identificação do molde Pm, o comprimento do encaixe, a largura do encaixe, a eficiência do retângulo envolvente, a eficiência do polígono envolvente, relação entre eficiência do retângulo envolvente e do polígono envolvente, posição no eixo x do molde Pf, posição no eixo y do molde Pf, posição no eixo x do molde Pm, posição no eixo y do molde Pm e ângulo de rotação do molde Pf e do molde Pm. A Figura 15 mostra a interface do software Excel com as informações que são guardadas.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
	Peça Fixa	Peça Móvel	Comprimento	Largura	Eficiência Retângulo	Eficiência Polígono	Relação eficiência	Posição X Peça Fixa	Posição Y Peça Fixa	Posição X Peça Móvel	Posição Y Peça Móvel	Rotação Pf	Rotação Pm	Nota
2	0	0	29	27	0,535121328224777	1	0,464878677775225	14	27	0	0	0	0	0
3	1	0	29	14	1	1	1	14	27	0	0	0	0	0
4	1	0	29	27	0,535121328224777	1	0,464878677775225	14	27	0	0	0	0	0
5	1	0	31	31	0,88540766052127	1	0,5145932047773	14	31	0	0	0	0	0
6	1	1	31	14	0,711981566820176	1	0,288018433179724	14	31	0	0	0	0	0
7	1	1	31	14	0,711981566820176	1	0,288018433179724	14	31	0	0	0	0	0
8	1	1	31	50	0,508064516128032	1	0,481935483870968	14	50	0	0	0	0	0
9	1	1	31	50	0,480048426150121	1	0,539951573849879	14	50	0	0	0	0	0
10	1	4	62	63	0,758614014711576	1	0,241389985288424	67	62	0	0	0	0	0
11	1	4	62	59	0,807771806531625	1	0,192228193468375	67	62	0	0	0	0	0
12	1	4	62	59	0,807771806531625	1	0,192228193468375	67	62	0	0	0	0	0
13	1	4	62	59	0,807771806531625	1	0,192228193468375	67	62	0	0	0	0	0
14	1	4	62	62	0,770653029110936	1	0,229346970869064	67	62	0	0	0	0	0
15	1	4	62	50	0,813108448275862	1	0,386896551724138	72	51	0	0	0	0	0
16	1	5	67	58	0,803085299455535	1	0,196914702544465	72	51	0	0	0	0	0
17	1	5	67	58	0,803085299455535	1	0,196914702544465	72	51	0	0	0	0	0
18	1	5	67	41	0,247406784412672	1	0,23259521587328	72	51	0	0	0	0	0
19	1	5	67	42	0,732621784345922	1	0,267378215054078	72	51	0	0	0	0	0
20	1	5	67	58	0,805867622504537	1	0,194132377495463	72	51	0	0	0	0	0
21	1	5	67	58	0,805867622504537	1	0,194132377495463	72	51	0	0	0	0	0
22	1	5	67	49	0,627482376280849	1	0,37250762393151	72	51	0	0	0	0	0
23	1	5	67	14	0,555137844611529	1	0,444862155388471	42	0	0	0	0	0	0
24	1	18	78	47	0,689667212220404	1	0,32033278779596	63	60	0	0	0	0	0
25	1	18	78	47	0,68848881614839	1	0,3515111385161	63	60	0	0	0	0	0
26	1	18	78	47	0,671031098583011	1	0,328968903436989	63	60	0	0	0	0	0
27	1	42	77	47	0,67753523072672	1	0,3246476927328	62	60	0	0	0	0	0
28	1	42	77	47	0,6750485589942	1	0,32495164410058	62	60	0	0	0	0	0

Figura 15: Registro de informações em arquivo no software Excel.

Uma das vantagens da etapa de pré-processamento e do registro de informações é o cálculo dessa etapa uma única vez para cada modelo de roupa. Por exemplo, os moldes de uma camisa ou de dez camisas são os mesmos, a única diferença é a quantidade de cada um dos moldes. Assim, é preciso executar a etapa de pré-processamento uma única vez.

5.1.2 Cálculo da eficiência

Duas informações contidas no arquivo do Excel e que são fundamentais para a etapa de encaixe dos moldes são a eficiência do retângulo envolvente e a eficiência do polígono envolvente. As duas eficiências são calculadas para cada combinação de dois moldes em uma posição específica. Assim, pode-se avaliar, segundo as eficiências, qual combinação é melhor.

Para calcular a eficiência do retângulo envolvente, obtêm-se os pontos extremos do encaixe de dois moldes: *grid* ocupado com menor valor no eixo *x*, *grid* ocupado com maior valor no eixo *x*, *grid* ocupado com menor valor no eixo *y* e *grid* ocupado com maior valor no eixo *y*. Esses pontos representam os cantos do retângulo envolvente. Dentro do retângulo envolvente são contados os *grids* preenchidos (com os números 1, 2, 3) e os *grids* vazios (com o número 0) dos dois moldes. Para saber a eficiência do retângulo envolvente (E_r) utiliza-se a Equação 9.

$$E_r = \frac{\text{GridsCheios}}{\text{GridsCheios} + \text{GridsVazios}} \quad (9)$$

A Figura 16 mostra um exemplo de encaixe e da área do retângulo envolvente, destacada pelo retângulo com contorno na cor preta. Também estão indicados: o *grid* ocupado com menor valor no eixo *x*, *grid* ocupado com maior valor no eixo *x*, *grid* ocupado com menor valor no eixo *y* e *grid* ocupado com maior valor no eixo *y*.

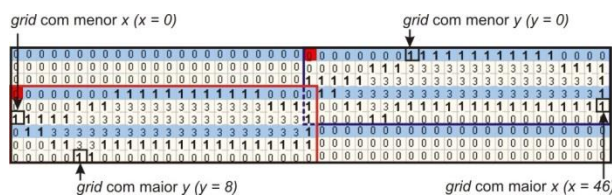


Figura 16: Retângulo envolvente de dois moldes.

Nesse exemplo, o número de espaços vazios é de 221 *grids*, os espaços cheios são 202. Sendo assim, a eficiência do retângulo envolvente é de 47,75%. Considerou-se que, para o encaixe final, apenas o cálculo da eficiência do retângulo envolvente não era suficiente para decidir qual combinação entre dois moldes em uma determinada posição era a melhor. Assim, optou-se por calcular outra eficiência, a do polígono envolvente, que não considerasse o espaço vazio ao redor dos moldes, já que esse espaço pode ser ocupado por outros moldes na etapa de encaixe.

Para calcular a eficiência do polígono envolvente utilizaram-se os pontos extremos do retângulo envolvente. O polígono envolvente não considera os *grids* vazios que são externos ao polígono, somente os *grids* vazios que estão localizados entre os dois moldes.

Assim, para construir o polígono envolvente foram contados os *grids* exteriores com zeros. Iniciou-se a contagem na parte inferior esquerda do retângulo envolvente. Para cada posição no eixo *x* foram somados os *grids* com zeros no eixo *y*. A contagem foi feita de baixo para cima até encontrar um *grid* ocupado. O mesmo procedimento foi realizado a partir do canto superior esquerdo, porém de cima para baixo. Dessa forma, no final da contagem obteve-se o total de *grids* vazios exteriores aos moldes.

A Figura 17 mostra o polígono envolvente (contorno na cor preta) do encaixe dos dois moldes apresentados anteriormente. Na cor laranja estão os números dos *grids* que representam espaços vazios exteriores ao polígono envolvente e na cor verde um único *grid* que está no interior do retângulo envolvente, entre os dois polígonos.



Figura 17: Polígono envolvente de dois moldes.

Para saber a eficiência do polígono envolvente (E_p) emprega-se a Equação 10:

$$E_p = \frac{\text{GridsCheios}}{\text{GridsCheios} + \text{GridsVazios} - \text{GridsExteriores}} \quad (10)$$

No exemplo da Figura 17, há 202 *grids* cheios, 221 *grids* vazios, sendo que desses 220 são vazios exteriores ao polígono envolvente (cor laranja). Através da Equação 10 sabe-se que a eficiência do polígono envolvente é de 99,50%.

O cálculo da eficiência do polígono envolvente é utilizado na etapa de construção do encaixe, como será apresentado na próxima seção.

5.2 Construção do encaixe

Com a fase de pré-processamento concluída, é possível iniciar o encaixe dos moldes. Após vários testes na fase de encaixe, percebeu-se o que os autores Gomes e Oliveira [16] já haviam descrito que os maiores moldes possuem maior influência na eficiência do encaixe. Assim, optou-se por dividir os moldes em dois grupos: maiores e menores. No grupo dos maiores moldes, está o molde com maior área e todos os moldes que tenham mais de 20% da área do maior molde. Os moldes que possuem área menor ou igual a 20% do maior molde, são classificados no grupo dos menores moldes. Para cada um dos grupos de moldes é realizada uma forma de encaixe diferente. Todos os moldes maiores são colocados no tecido antes dos moldes menores. Tenta-se inserir os moldes menores nos espaços deixados entre os moldes maiores.

Para o grupo dos maiores moldes executa-se a etapa de pré-processamento. Inicia-se o encaixe com a escolha aleatória de um molde do grupo dos maiores. Esse primeiro molde é inserido no canto superior esquerdo do tecido, técnica conhecida como *bottom-left*.

Após definido o primeiro molde precisa-se descobrir qual é o próximo molde que será colocado no tecido. Para escolher esse molde é feita uma varredura no arquivo da etapa de pré-processamento e são guardadas todas as combinações do primeiro molde inserido no tecido com os outros moldes. Essas combinações são ordenadas. Ao longo de todo o processo de encaixe são feitos três ordenamentos diferentes, que dependem da posição do último molde inserido no tecido. Após a inserção do primeiro molde no canto superior esquerdo emprega-se o ordenamento 1 para decidir o próximo molde que será colocado no tecido.

No ordenamento 1 a prioridade é colocar em primeiro, na classificação das combinações entre dois moldes (P_f e P_m), o molde P_m que possui a menor distância da lateral do tecido no eixo *x*. As combinações entre dois moldes terão distâncias diferentes da lateral do tecido no eixo *x*. Isso ocorre porque aqui está se analisando a distância do molde P_m até a lateral do tecido quando ele está encaixado com o molde P_f em uma determinada posição (etapa de pré-processamento). Para os moldes P_m que possuem a mesma distância da lateral do tecido, é feito um novo ordenamento. Esse ordenamento classifica os moldes P_m segundo a melhor eficiência do polígono envolvente.

A Figura 18 faz uma simulação do ordenamento 1 que ocorre dentro do software Riscare Listrado. Na Figura 5 estão destacadas as colunas que participam do ordenamento. A primeira coluna marcada com contorno preto é denominada de *Peça Fixa* (B) e indica o número que representa um determinado molde P_f . O molde P_f é aquele que já foi colocado no tecido, no exemplo, é o molde representado pelo número 0. A próxima coluna, chamada *Peça Móvel* (C) mostra os números de diferentes moldes P_m . Esses moldes foram ordenados primeiro pela menor distância do molde até a largura do tecido no eixo *x*, indicado na coluna *Posição x Peça*

Móvel (K). E depois, para as situações em que o valor era igual para a distância do molde até a largura do tecido, foram classificados pela maior eficiência, coluna *Eficiência Polígono*

(G). A coluna K possui os números ordenados do menor para o maior, enquanto que a coluna G têm os números do maior para o menor.

Peça Fixa	Peça Móvel	Comprimento	Largura	Eficiência Retângulo	Eficiência Polígono	Relação eficiência	Posição X Peça Fixa	Posição Y Peça Fixa	Posição X Peça Móvel	Posição Y Peça Móvel	Rotação Pf	Rotação Mq
2	0	27	14	0.535121328224777	1	0.464878671775223	14	27	14	27	0	0
3	0	29	14	1	1	0.464878671775223	14	27	14	27	0	0
4	0	29	14	0.535121328224777	1	0.464878671775223	14	27	14	27	0	0
5	120	31	21	0.485407066052227	1	0.51459293947773	16	20	20	60	0	0
6	121	31	14	0.711991566920276	1	0.289018483179724	16	20	20	60	0	0
7	115	31	14	0.711991566920276	1	0.289018483179724	16	20	20	60	0	0
8	116	31	14	0.508094518129032	1	0.481395483870298	16	20	20	60	0	0
9	110	31	14	0.480048426150121	1	0.539951573849879	16	20	20	60	0	0
10	180	44	63	0.758614014711576	1	0.24138898288424	67	72	72	60	0	0
11	131	44	59	0.807771806531625	1	0.192228193468375	67	72	72	60	0	0
12	132	44	59	0.807771806531625	1	0.192228193468375	67	72	72	60	0	0
13	133	44	59	0.807771806531625	1	0.192228193468375	67	72	72	60	0	0
14	134	44	61	0.770653029110936	1	0.22946970889064	67	72	72	60	0	0
15	104	50	50	0.813103448273862	1	0.388896551724138	72	51	51	60	0	0
16	105	50	58	0.80308529945535	1	0.196914700544465	72	51	51	60	0	0
17	106	50	58	0.80308529945535	1	0.196914700544465	72	51	51	60	0	0
18	107	50	41	0.747406784412972	1	0.252395215587328	72	51	51	60	0	0
19	108	50	42	0.732621784549923	1	0.267378215654079	72	51	51	60	0	0
20	109	50	58	0.805807622504537	1	0.194192377495463	72	51	51	60	0	0
21	100	50	58	0.805807622504537	1	0.194192377495463	72	51	51	60	0	0
22	101	50	49	0.827492376260849	1	0.37250762339151	72	51	51	60	0	0
23	190	57	54	0.555137844611529	1	0.444862155388471	42	20	20	60	0	0
24	1163	78	47	0.688667212220404	1	0.33032787779596	63	60	60	60	0	0
25	1164	78	47	0.688667212220404	1	0.33032787779596	63	60	60	60	0	0
26	1165	78	47	0.688667212220404	1	0.33032787779596	63	60	60	60	0	0
27	1422	77	47	0.67753523072672	1	0.3246476927328	62	60	60	60	0	0
28	1423	77	47	0.67504835588942	1	0.32495164410056	62	60	60	60	0	0

Figura 18: Simulação do ordenamento 1.

Para colocar o molde *Pm* no tecido são utilizadas as informações gravadas na etapa de pré-processamento. Dessa forma, sabe-se a posição exata que o molde *Pm* deve ficar em relação ao molde *Pf* no tecido. Tenta-se inserir o molde com a posição e informações descritas na primeira linha da Figura 18. Caso haja sobreposição tenta-se colocar o molde com as informações descritas na próxima linha da Figura 18. O processo só termina quando se encontra uma posição em que o molde que não sobrepõem nenhum outro. A Figura 19 mostra o encaixe do molde *Pf*, primeiro que foi inserido, e do molde *Pm*, o que foi colocado depois com as informações da etapa de pré-processamento e ordenamento 1.

colocado no encaixe.

O ordenamento 2 também classifica os moldes *Pm* de acordo com a menor distância da lateral do tecido no eixo x. Porém, quando esses valores são iguais, são ordenados para desempate, do maior para o menor, os valores da posição no eixo y do molde *Pm*. Essa coluna é denominada de Posição y Peça Móvel (L). O objetivo do ordenamento 2 é inserir o molde *Pm* o mais próximo da lateral esquerda e inferior do tecido. A Figura 21 mostra a inserção do molde *Pm* através do ordenamento 2.

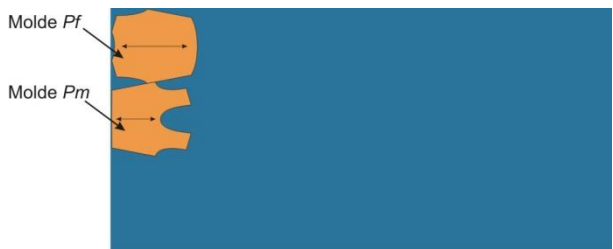


Figura 19: Inserção do primeiro e do segundo molde no tecido.

Quando o molde *Pm* é inserido no tecido ele se torna o novo molde *Pf*. A busca pela próxima peça é igual a descrita anteriormente e utiliza o ordenamento 1. A Figura 20 mostra o encaixe do novo molde *Pm*.

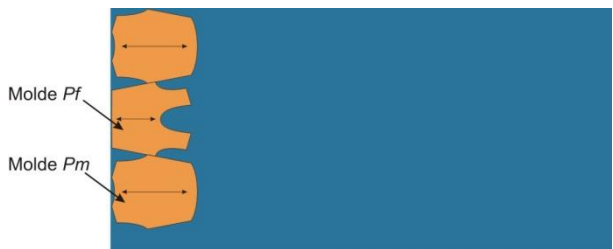


Figura 20: Inserção do terceiro molde no tecido.

Quando mais nenhum molde pode ser inserido no limite da largura inferior do tecido, como ocorre na Figura 20, utiliza-se o ordenamento 2 para decidir qual será o próximo molde

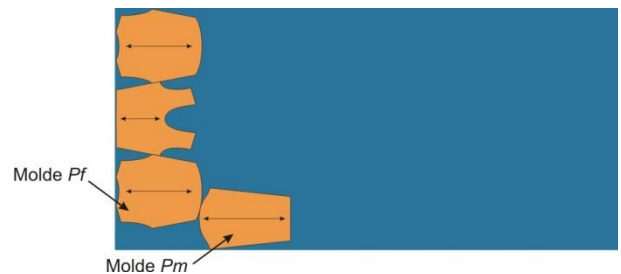


Figura 21: Inserção do quarto molde no tecido pelo ordenamento 2.

Os próximos moldes são escolhidos através do ordenamento 1 até não haver mais espaço suficiente na parte superior do tecido. A Figura 22 mostra quando o encaixe dos moldes alcança essa situação.

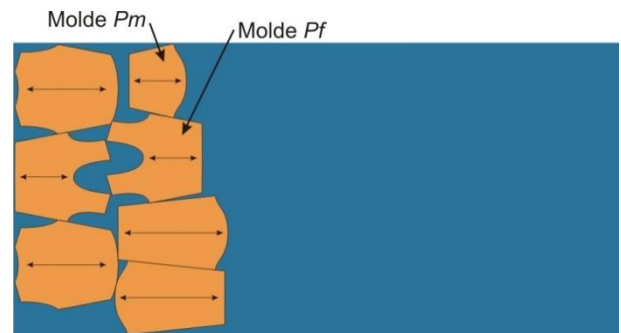


Figura 22: Inserção do molde que atinge a parte superior do tecido.

Quando não há mais espaço disponível para inserção de moldes na parte superior do tecido, o próximo molde é

escolhido através do ordenamento 3. O ordenamento 3 também classifica os moldes Pm de acordo com a menor distância da lateral do tecido no eixo x. Porém, quando esses valores são iguais, são ordenados para desempate, do menor para o maior, os valores da posição no eixo y do molde Pm . Essa coluna é denominada de Posição y Peça Móvel (L). A diferença entre o ordenamento 2 e o 3 é que o ordenamento 2 busca o maior valor no eixo y do molde Pm , enquanto que o ordenamento 3 procura o menor valor. O objetivo do ordenamento 3 é inserir o molde Pm o mais próximo da lateral esquerda e superior do tecido. A Figura 23 mostra a inserção do molde Pm através do ordenamento 3.

Figura 23: Inserção do molde que atinge a parte superior do tecido.

O processo de inserção dos moldes é igual para o restante do tecido. Usa-se o ordenamento 1 para colocação de todos os moldes. Porém, há três exceções: primeiro molde, que é inserido no canto superior esquerdo do tecido; quando não há mais local disponível na extremidade inferior, emprega-se o ordenamento 2 e quando não há mais local disponível na extremidade superior, utiliza-se o ordenamento 3.

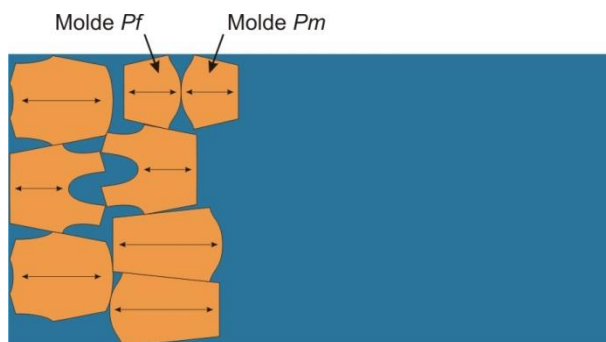


Figura 24: Inserção do molde pelo ordenamento 3.

Após a inserção dos maiores moldes, inicia-se a colocação do grupo dos moldes menores. Os moldes menores são ordenados em uma sequência de acordo com o seu tamanho (área) e colocados do maior para o menor. Assim, inicia-se com o maior molde e termina-se com o menor. O molde que será inserido começa na posição superior esquerda do tecido. Enquanto houver sobreposição entre os moldes ele é deslocado no valor de um *grid* para baixo no eixo y. Se o molde não encontrar um local disponível e atingir a largura inferior do tecido, é incrementado um *grid* no eixo x e o molde retorna para a posição inicial no eixo y. O processo só termina quando o molde encontra um local sem sobreposição.

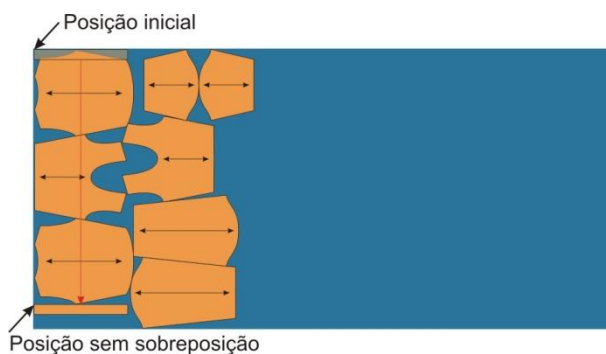


Figura 25: Inserção de molde do grupo dos menores moldes.

A Figura 24 mostra uma simulação do encaixe de um molde do grupo dos menores moldes. É possível perceber na

imagem a posição inicial do molde, no canto superior esquerdo. Porém, nesta posição há sobreposição e o molde precisa encontrar um novo local. Assim, há deslocamentos no eixo y até o molde encontrar um local disponível, como apresentado na imagem.

Como os moldes que participam dessa etapa são moldes pequenos, aumenta as chances de conseguirem um espaço disponível entre os moldes maiores, já colocados no tecido.

Abaixo é descrito o algoritmo do encaixe dos moldes em tecidos listrados com as informações descritas nesta seção. O algoritmo utiliza a divisão dos moldes em maiores e menores, a etapa de pré-processamento e os ordenamentos das sequências de combinações entre dois moldes.

1. Dividir os moldes em dois grupos: maiores e menores
2. //Para os moldes maiores
3. Executar a etapa de pré-processamento
4. Escolher um molde Pf aleatoriamente
5. Inserir o molde Pf no canto superior esquerdo do tecido
6. Repetir {
7. Se alcançou a largura inferior do tecido:
8. Executar ordenamento 2
9. Caso contrário:
10. Executar ordenamento 1
11. Se alcançou a largura superior do tecido:
12. Executar ordenamento 3
13. Caso contrário:
14. Executar ordenamento 1
15. Inserir o molde Pm no tecido
16. $Pf := Pm$
17. Parar quando terminar os moldes
18. }
19. //Para os moldes menores
20. Ordenar sequência dos moldes do maior para o menor
21. Repetir {
22. Inserir molde no canto superior esquerdo
23. Se há sobreposição com outros moldes:
24. Desloca um *grid* no eixo y para baixo
25. Se alcançou a largura inferior do tecido:
26. Incrementa um *grid* no eixo x e retorna para a posição inicial no eixo y
27. Caso contrário:
28. Inserir molde no tecido
30. Encaixar próximo molde da sequência
31. Parar quando terminar os moldes
32. }
33. //Quando não houver mais moldes
34. Calcular eficiência e comprimento do encaixe

Figura 26: Algoritmo de encaixe com pré-processamento.

Assim, o algoritmo proposto utiliza as informações obtidas no encaixe entre dois moldes na etapa de pré-processamento para a construção do encaixe final entre os maiores moldes. Os moldes menores são inseridos, sempre que possível, nos espaços deixados pelos moldes maiores.

6. RESULTADOS

Para poder analisar o desempenho do algoritmo desenvolvido realizaram-se diversos encaixes com problemas considerados benchmarks da literatura. Esses problemas estão disponíveis no website ESICUP-EURO *Special Interest Group on Cutting and Packing*. Dentre todos os benchmarks disponíveis no website ESICUP-EURO, selecionou-se seis conjuntos de moldes da indústria do vestuário. A Tabela 1 apresenta as características dos seis benchmarks da indústria do vestuário escolhidos no website ESICUP-EURO. Nas colunas são descritos o nome do

problema, a quantidade total de moldes, as orientações permitidas e a largura do tecido.

Como os problemas da Tabela 1 foram propostos para o encaixe em tecidos lisos, nenhum deles possui definição da localização do módulo das listras nos moldes. Por esse motivo optou-se por definir para todos os moldes dos problemas benchmarks a localização do módulo das listras no primeiro *grid* do canto superior esquerdo.

Tabela 1: Característica dos problemas benchmarks.

Problema	Número total de moldes	Orientações permitidas	Largura tecido
Albano	24	0º, 180º	4900
Dagli	30	0º, 180º	60
Mao	20	0º, 90º, 180º	2550
Marques	24	0º, 90º, 180º	104
Shirts	99	0º, 180º	40
Trousers	64	0º, 180º	79

Também foi proposto um novo problema denominado de Camisa masculina. Selecionou-se um problema real, com pontos de coincidência que respeitam a continuidade das listras após a etapa de costura. A Tabela 2 mostra as informações de número total de moldes, as orientações permitidas e a largura do tecido para o problema.

Tabela 2: Características do problema camisa masculina.

Problema	Número total de moldes	Orientações permitidas	Largura tecido
Camisa masculina	18	0º, 180º	160

Estabeleceu-se, para os testes, o tamanho do módulo da listra em 10 unidades. Testaram-se os sete problemas para listras verticais e horizontais. Cada problema foi executado 4 vezes e registrou-se a melhor eficiência gerada, entre as 4 obtidas, e o tempo necessário. Para avaliar o desempenho do algoritmo utilizaram-se os parâmetros de eficiência e tempo. Para os testes utilizou-se um computador com processador Intel® Core™ i7 com memória de 8GB e disco rígido de 1TB.

A Tabela 3 mostra as eficiências em percentual e o tempo em segundos. Na primeira coluna estão os nomes dos problemas que constituem um conjunto de moldes. Na segunda coluna e suas subdivisões estão os resultados obtidos para módulo com listra vertical. São mostradas a melhor eficiência encontrada e o tempo de processamento. Na terceira coluna e suas subdivisões estão os resultados obtidos com o módulo de listra horizontal. Também são mostradas a melhor eficiência encontrada e o tempo de processamento. As melhores eficiências estão destacadas em negrito.

Tabela 3: Encaixes realizados no Riscare Listrado.

Problema	Listra vertical		Listra horizontal	
	Melhor	Tempo	Melhor	Tempo
Albano	72,03	28	73,90	24
Dagli	71,41	55	66,35	85
Mao	55,53	923	61,18	284
Marques	69,98	1	77,01	6
Shirts	78,02	75	79,37	10
Trousers	74,17	1209	78,40	55
Camisa masc.	74,41	18	Não se aplica	Não se aplica

A Tabela 3 apresenta um total de 7 problemas. Desses, o problema Camisa masculina só foi testado para módulo de listra vertical, já que usualmente esse modelo não é confeccionado em tecidos com listras horizontais. Dos 6 problemas restantes, cinco apresentaram melhores eficiências em módulos de listra horizontal, enquanto apenas o problema

Dagli obteve melhor eficiência em módulo de listra vertical. O problema Dagli e Marques foram os únicos que apresentaram tempo de processamento menor em módulo de listra vertical.

As Figuras 26, 27, 28, 29, 30, 31 e 32 mostram a interface do software Riscare Listrado com o encaixe dos problemas da Tabela 4 que obtiveram as melhores eficiências utilizando o algoritmo de encaixe com pré-processamento. Nas figuras, é possível obter as informações do comprimento, eficiência (Aproveitamento) e o tempo de processamento alcançado. Em todas as figuras a localização do início do módulo da listra é representada por uma linha de espessura fina na cor vermelha. A linha de cor vermelha marca a repetição do módulo e não o desenho do módulo, que pode ter diferentes espessuras de listras e cores.

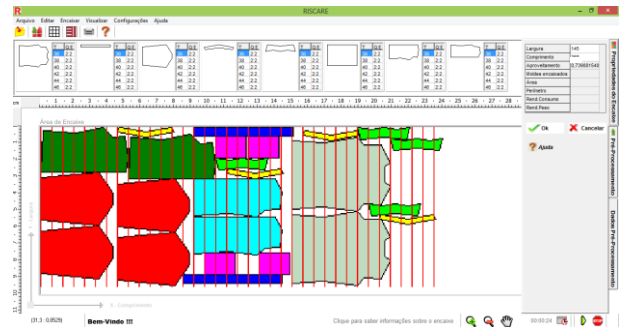


Figura 27: Encaixe problema Albano em listra horizontal.

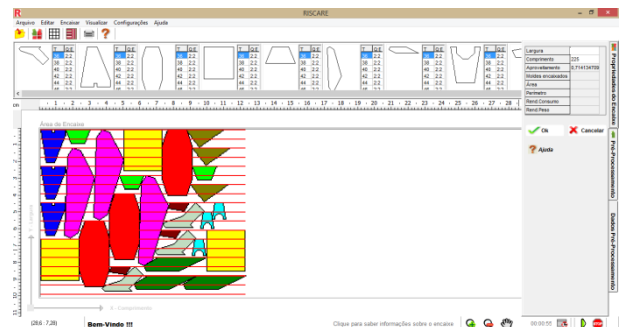


Figura 28: Encaixe problema Dagli em listra vertical.

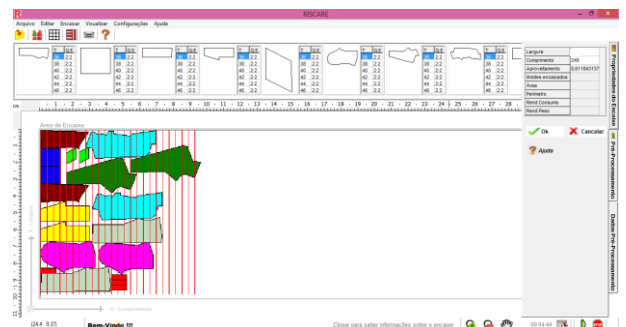


Figura 29: Encaixe problema Mao em listra horizontal.



Figura 30: Encaixe problema Marques em listra horizontal.

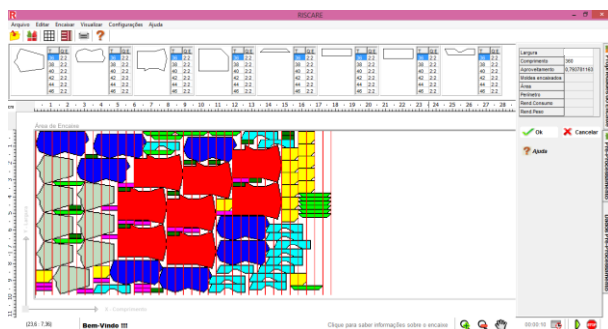
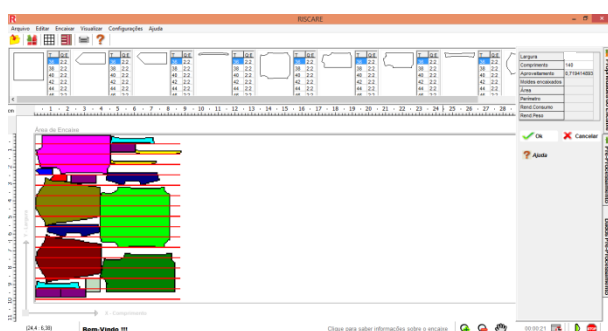
Figura 31: Encaixe problema *Shirts* em listra horizontal.Figura 32: Encaixe problema *Trousers* em listra horizontal.

Figura 33: Encaixe problema Camisa masculina em listra vertical.

A Tabela 4 compara os resultados de tempo e eficiência obtidos pelo algoritmo proposto com os melhores resultados encontrados na literatura. Foram selecionadas as melhores eficiências encontradas pelo Riscare Listrado, independentemente do tipo da listra, se vertical ou horizontal. Para definir os melhores resultados da literatura para o encaixe dos problemas benchmarks comparou-se os resultados dos trabalhos dos autores Gomes e Oliveira [16], Egeblad, Nielsen e Odgaard [12], Burke *et al.* [10], Leung, Lin e Zhang [18] e Elkeran [13]. Para todos os problemas tratados Elkeran [13] obteve as melhores eficiências de encaixe em matéria-prima lisa.

Tabela 4: Comparação entre o algoritmo proposto e o trabalho de Elkeran [13].

Problema	Algoritmo proposto		Elkeran [13]	
	Eficiência	Tempo	Eficiência	Tempo
Albano	73,90	24	89,58	1200
Dagli	71,41	55	89,51	1200
Mao	61,18	284	85,44	1200
Marques	77,01	6	90,59	1200
<i>Shirts</i>	79,37	10	88,96	1200
<i>Trousers</i>	78,40	55	91,00	1200
Camisa masc.	74,41	18	Não se aplica	Não se aplica

O algoritmo de encaixe com pré-processamento foi proposto para tecidos listrados e quando comparado com os melhores resultados encontrados na literatura para a versão lisa do problema apresenta resultados inferiores de eficiência. Aldrich [2] cita o valor de eficiência acima de 80% como o esperado pelos fabricantes para a confecção de roupas em tecidos lisos. Enquanto Araújo [3] recomenda a faixa de 65% a 70% de eficiência como valores esperados de eficiência para tecidos com estampa.

Dos sete problemas testados, três conseguiram valores entre 75% e 80%, três obtiveram valores entre 70% e 75% e um abaixo de 70%.

Em relação aos tempos de processamento apresentados na Tabela 4, nota-se uma grande diferença entre os valores obtidos pelo algoritmo proposto quando comparado à referência da literatura. É importante salientar que o tempo necessário para a etapa de pré-processamento não é considerado no tempo de encaixe. Isso ocorre porque a etapa de pré-processamento só precisa ser executada uma única vez para cada modelo, independente de quantas vezes e cópias do modelo se deseja encaixar. Durante os testes verificou-se que o tempo necessário para calcular a etapa de pré-processamento com a rotação dos moldes em 180° era demasiadamente elevado para as necessidades das indústrias de confecção. Assim, apesar do algoritmo ter sido desenvolvido para contemplar essa funcionalidade, optou-se por realizar os testes sem a possibilidade de rotação dos moldes.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo desta pesquisa expandiu-se o estudo sobre o problema de encaixe de moldes em tecidos listrados. Desenvolveu-se um algoritmo específico para o problema de colocação dos moldes sobre tecidos listrados que considera as restrições de posição e rotação inerentes ao problema.

A solução proposta no presente trabalho atende a diversos aspectos que colaboram para a competitividade das roupas confeccionadas em tecidos listrados. Dentre os benefícios destaca-se que, na solução proposta, um molde, que constitui uma parte da roupa, terá as mesmas posições das listras em todos os lugares, mesmo que ele tenha mais de uma cópia no encaixe. Assim, após a etapa de corte, não é preciso separar diferentes grupos de tecido para a etapa de costura, já que todas as partes possuem as listras no mesmo local. Outro ponto positivo é que todas as peças confeccionadas apresentam o mesmo aspecto. Para que isso seja possível, não houve considerável perda de matéria-prima, uma vez que a eficiência de utilização do tecido pode ser alta. Além disso, o usuário pode identificar a localização específica do módulo da listra para cada molde. O processo é 100% automatizado, assim não é preciso que o usuário encaixe manualmente nenhum dos moldes. Considerando os diversos benefícios da solução proposta e com a implementação de algumas melhorias para uso com fim comercial, o software Riscare Listrado pode vir a atender a uma demanda de mercado e auxiliar para aumentar a competitividade de diversas micro e pequenas empresas brasileiras.

Todos esses dados ressaltam a importância dos resultados obtidos por esta pesquisa para problemas reais da confecção de produtos do vestuário. Acredita-se que o trabalho desenvolvido pode também colaborar com outros problemas reais, de outros sistemas produtivos, que possuam restrições que precisam ser consideradas para o encaixe das peças. Acredita-se também que o presente trabalho colaborou com a diminuição de uma lacuna existente em duas áreas de pesquisas que estão interligadas: corte e encaixe e desenvolvimento de produtos do vestuário.

REFERÊNCIAS

- [1]. Alves, A. S. Design do vestuário: técnica e software de encaixe de moldes no tecido. Dissertação (mestrado) – Faculdade de Arquitetura e Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.
- [2]. Aldrich, W. Modelagem plana para moda feminina. Bookman, Porto Alegre, 2014.
- [3]. Araújo, M. Tecnologia do Vestuário. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1996.
- [4]. Baldacci, R., Boschetti, M. A., Ganovelli M., Maniezzo, V. Algorithms for nesting with defects. *Discrete Applied Mathematics*, 163, (2014), 17-33.
- [5]. Bennell, J. A., Dowland, K. A. Hybridising tabu search with optimisation techniques for irregular stock cutting. *Management Science*, 47, (2001), 1160-1172.
- [6]. Bennell, J. A., Oliveira, J. F. The geometry of nesting problems: a tutorial. *European Journal of Operational Research*, 184, (2008), 397-415.
- [7]. Bennell, J. A., Oliveira, J. F. A tutorial in irregular shape packing problems. *Journal of the Operational Research Society*, 60, (2009), 93-105.
- [8]. 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, (2006), 587 – 601.
- [9]. 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, (2007), 27 – 49.
- [10]. Burke, E. K., Hellier, R., Kendall, G., Whitwell, G. Irregular Packing Using the Line and Arc No-Fit Polygon. *Operations Research*, 58, (2010), 948 – 970.
- [11]. Dyckhoff, H. A typology of cutting and packing problems. *European Journal of Operational Research*, 44, (1990), 145–159.
- [12]. Egeblad, J.; Nielsen, B. K., Odgaard, A. Fast neighborhood search for two- and three-dimensional nesting problems. *European Journal of Operational Research*, 183, (2007), 1249-1266.
- [13]. Elkeran, A. A new approach for sheet nesting problem using guided cuckoo search and pairwise clustering. *European Journal of Operational Research*, 231, (2013), 757-769.
- [14]. Fischer, A. Construção de vestuário. Bookman, Porto Alegre, 2010.
- [15]. Garey, M. R, Johnson, D. S. *Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness*. W. H. Freeman and Company, New York, 1979.
- [16]. Gomes, A. M.; Oliveira, J. F. Solving Irregular Strip Packing problems by hybridising simulated annealing and linear programming. *European Journal of Operational Research*, 171, (2006), 811-829.
- [17]. Ko, E., Kim, S. Garment Pattern Nesting Using Image Analysis and Three-Dimensional Simulation. *Fibers and Polymers*, 14, (2013), 860-865.
- [18]. Leung, S. C. H., Lin, Y.; Zhang, D. Extend local search algorithm based on nonlinear programming for two-dimensional irregular strip packing problem. *Computers & Operations Research*, 39, (2012), 678- 686.
- [19]. Li, Z., Milenkovic, V. J. Compaction and separation algorithms for non-convex polygons and their applications. *European Journal of Operational Research*, 84, (1995), 539–561.
- [20]. Nielsen, B. K., Odgaard, A. Fast Neighborhood Search for the Nesting Problem. Technical Report, University of Copenhagen, Copenhagen, 2003.
- [21]. Oliveira, J. F. C., Ferreira, J. A. S. Algorithms for nesting problems. In: Vidal, R.V.V. (Ed.). *Applied Simulated Annealing*. Springer-Verlag, Berlin, 1993, 255–273.
- [22]. Rütshchilling, E. A. Design de Superfície. Editora da UFRGS, Porto Alegre, 2008.
- [23]. Segenreich, S. A., Braga, L. M. Optimal nesting of general plane figures: a Monte Carlo heuristical approach. *Computers & Graphics*, 10, (1986), 229 – 237.
- [24]. Treptow, D. Inventando moda: planejamento de coleção. Empório do Livro, São Paulo, 2013.
- [25]. Tyler, D. J. Carr and Latham's Technology of Clothing Manufacture. Blackwell Publishing, Hong Kong, 2008.
- [26]. Wäscher, G., Haussner, H., Schumann, H. An Improved Typology of Cutting and Packing Problems. *European Journal of Operational Research*, 183, (2007), 1109- 1130.
- [27]. 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, (2009), 3489-3496.
- [28]. Yates, M. Textiles: a handbook for designers. W. W. Norton & Company, New York, 1995.