

## APLICAÇÃO DE PROBLEMA DE CORTE UNIDIMENSIONAL À PRODUÇÃO DE CAMISETAS EM UMA FÁBRICA DE PEQUENO PORTE<sup>1</sup>

Bianca D. Silva<sup>a</sup>, Giovanna F. D'Angelo<sup>a</sup>, Luccas M. S. Pereira<sup>a</sup>, Mylena R. Francischini<sup>a</sup>,  
Glauber R. Colnago<sup>a\*</sup>

<sup>a</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo- IFSP  
Câmpus Cubatão-SP, Brasil

Recebido 16/05/2022, aceito 15/11/2023

### RESUMO

Este trabalho propõe a aplicação de um modelo de corte para uma pequena fábrica de camisetas, que possui disponíveis rolos de tecido de tamanhos  $0,9m \times 66,6m$  e  $1,2m \times 50,4m$ . A fábrica possui preferência pelo rolo de maior largura,  $1,2m$ , e para testar se esta escolha é a mais vantajosa, criou-se um modelo adaptado para o caso unidimensional ao definir blocos de frentes, costas e mangas a serem extraídos dos rolos. Considerou-se duas variações no modelo: 1) minimização do custo na produção de uma demanda mínima de camisetas; e 2) maximização da quantidade de camisetas considerando uma quantidade predeterminada de rolos. Foi utilizado o *software* LINGO 19.0 e os resultados, ao analisar custos totais e unitários, mostram que o uso unicamente de rolos de largura  $0,9m$  se mostrou a opção mais vantajosa, contrastando com a preferência atual da fábrica. Além disto, em algumas situações a combinação dos dois tamanhos de rolos pode ser desejável.

**Palavras-chave:** Otimização inteira, Problema de corte unidimensional, Produção têxtil.

### ABSTRACT

This paper proposes the application of a cutting problem to a small T-shirt factory. There are available fabric rolls of the dimensions  $0.9m \times 66.6m$  and  $1.2m \times 50.4m$  and the factory has a preference for the second one. To test if that choice is the most advantageous, a model was created, adapted to the one-dimensional case by defining blocks of the front, back, and sleeves of the T-shirts to be cut from the fabric rolls. Two variations of the problem were created: 1) minimization of the costs to produce a minimum set amount of T-shirts; and 2) maximization of the number of T-shirts to be produced with a fixed number of fabric rolls. Experiments were made using LINGO 19.0 and the results show that using only rolls of  $0.9m$  width is generally the option that provides the minimum costs. However, the combination of two sizes of rolls can be desirable in some instances.

**Keywords:** Integer optimization, One-Dimensional cutting problem, Textile production.

---

\* Autor para correspondência. E-mail: [glauber.colnago@ifsp.edu.br](mailto:glauber.colnago@ifsp.edu.br)  
DOI: <https://doi.org/10.4322/PODes.2023.004>

<sup>1</sup>Todos os autores assumem a responsabilidade pelo conteúdo do artigo.

## **1. Introdução**

A confecção de roupas, uma das etapas da cadeia produtiva têxtil, engloba os segmentos de vestuário, decoração e produtos técnicos (fraldas, embalagens, etc.), sendo que a maior produção se concentra no vestuário, representando cerca de 83% das indústrias de confecção (Nascimento, 2006).

O processo de produção de roupas está associado às fases de pré-montagem (criação, modelagem e corte), montagem (costura) e acabamento. A criação consiste na concepção da roupa, quando são desenhados os modelos e escolhidos os tecidos. Na modelagem, cria-se os moldes das peças das roupas, além da atividade de encaixe, que é o posicionamento dos moldes no tecido de forma a se obter o melhor aproveitamento, minimizando perdas (Nascimento, 2006). Após o processo de encaixe, são feitos os riscos no tecido através da modelagem desejada e o trabalho tem seguimento para o setor de corte, onde as peças das roupas são cortadas, costuradas e as roupas prontas são embaladas, estando disponíveis para a comercialização.

A indústria têxtil produz grandes quantidades de resíduos, principalmente na etapa de modelagem e corte. Diminuir o desperdício, aumentando o rendimento do tecido, reduzindo custos e resíduos, significa, além de aumentar a competitividade das empresas no mercado, a redução dos impactos ambientais (Leite, 2017).

As boas práticas de fabricação estabelecem procedimentos administrativos e técnicos que visam a diminuição da produção de resíduos. Essas práticas podem ser implementadas nas áreas de produção, de manutenção e de logística (Costa, 2016).

Nas etapas de modelagem e corte, pode-se utilizar técnicas matemáticas e computacionais de forma a diminuir as perdas, conforme apresentam Almeida (2014), Javanshir et al. (2010), Nascimento (2006), Sousa (2018), Jorge et al. (2016) e Junior et al. (2013), Jorge et al. (2016) e Sousa (2018). Segundo Sousa (2018), o problema de corte de peças irregulares, que formularam e resolveram problemas de corte aplicados à indústria têxtil, cada um com suas premissas e particularidades.

O problema de corte consiste em definir a disposição de itens, sem sobreposições, dentro de determinados objetos, de modo a obter o melhor aproveitamento possível do espaço ou produzir a maior quantidade possível de itens. O problema de corte tem aplicações além da indústria têxtil, podendo-se citar indústrias de papel, móveis, vidro, plásticos (Aliano Filho e Moretti, 2015), na fabricação de carros, estruturas de prédios, navios, aviões, couro Javanshir et al. (2010), placas metálicas (Lin et al., 2016) e barras de aço (Sousa, 2018).

Este tipo de problema, conforme Aliano Filho e Moretti (2015) explicam, torna-se complexo computacionalmente à medida que o número de variáveis inteiras cresce. Isto justifica a quantidade de trabalhos que exploram o tema propondo diferentes métodos de resolução e premissas.

Há aplicações na indústria têxtil em que as peças são regulares, tratando-se de retângulos, implicando em problemas de corte bidimensionais, como em Nascimento (2006) e Almeida (2014).

Nascimento (2006) resolveram o problema de programação de ordens de corte. Compararam diversos métodos, sendo que alguns são variações de busca em grafos. Nas suas conclusões, os autores exploram a questão do tempo computacional na obtenção de soluções satisfatórias, indicando diferentes métodos em função do tempo disponível (de 1 minuto até tempo irrestrito) para tomar a decisão do corte. Consideraram diversos custos na função objetivo: custo de corte, do enfiado, da perda nas dobras, da perda de aproveitamento de tecido, do estoque, da sobra.

Almeida (2014) desenvolveu uma heurística para resolver o problema de corte da empresa Textilar - Indústrias Têxteis S.A., com o foco na geração de padrões de corte que respeitem as restrições do processo e permitam a minimização de desperdícios. A heurística é baseada na organização por níveis, que pressupõe uma divisão dos objetos grandes em várias partes que são chamadas de níveis.

No entanto, frequentemente os problemas de corte aplicados à produção de roupas tratam de encaixar itens irregulares no tecido. É o caso explorado por Junior et al. (2013), Jorge et al. (2016) e Sousa (2018). Segundo Sousa (2018), o problema de corte de peças irregulares, Jorge et al. (2016) e Sousa (2018). Segundo Sousa (2018), o problema de corte de peças irregulares é tão ou mais complexo que o de peças regulares e seu estudo é de extrema importância para problemas práticos, sobretudo relacionado ao segmento têxtil.

Junior et al. (2013) utilizaram uma metodologia híbrida que combina algoritmo genético e a heurística *bottom-left greedy*. Jorge et al. (2016) propuseram um modelo de corte de aventais e forros de luva, itens irregulares, e utilizaram a heurística *bottom-left*, obtendo taxas de ocupação do tecido superiores a 83%.

Sousa (2018) estudara o problema de corte bidimensional com peças irregulares e desenvolveram um método inspirado em *first fit decreasing*.

Justamente por conta da maior complexidade para lidar com peças irregulares, pode ser conveniente aproximar estes tipos de itens por formas regulares, como retângulos. Javanshir et al. (2010), por exemplo, consideraram que as partes das calças, como pernas e bolsos, são retângulos. Os autores usaram *simulated annealing*, definindo o tamanho ótimo dos rolos de tecidos para produzir calças de um único tamanho.

Além da simplificação proposta por Javanshir et al. (2010), pode-se considerar retângulos que englobem vários itens de uma única vez. Assim, pode-se estabelecer que um grupo de itens seja um item maior, ou um bloco. Ainda mais, aproveitando-se do formato dos tecidos, que possuem largura pequena (de 0,9m e 1,2m no caso estudado no presente trabalho), se comparada com o comprimento (mais de 50m), pode-se estabelecer que cada bloco possui a largura do tecido e, assim, o problema torna-se unidimensional, decidindo-se apenas quantos blocos serão extraídos do tecido (que seriam as barras em um problema unidimensional). Isto diminui a complexidade do modelo.

A literatura sobre problemas de corte unidimensionais é vasta. Poldi (2003), por exemplo, considerou o problema de corte de estoque inteiro unidimensional e Poldi e Arenales (2010) expandiram o problema para o caso multiperíodo.

Heis et al. (2010) propuseram um método de algoritmo genético para resolver o problema de corte com várias barras em estoque com tamanhos diferentes e em quantidade limitada.

Oliveira et al. (2014) e Menon e Schrage (2002) aplicaram o problema de corte na indústria de papel. Menon e Schrage (2002) adicionaram a alocação de ordenação dos pedidos dos consumidores.

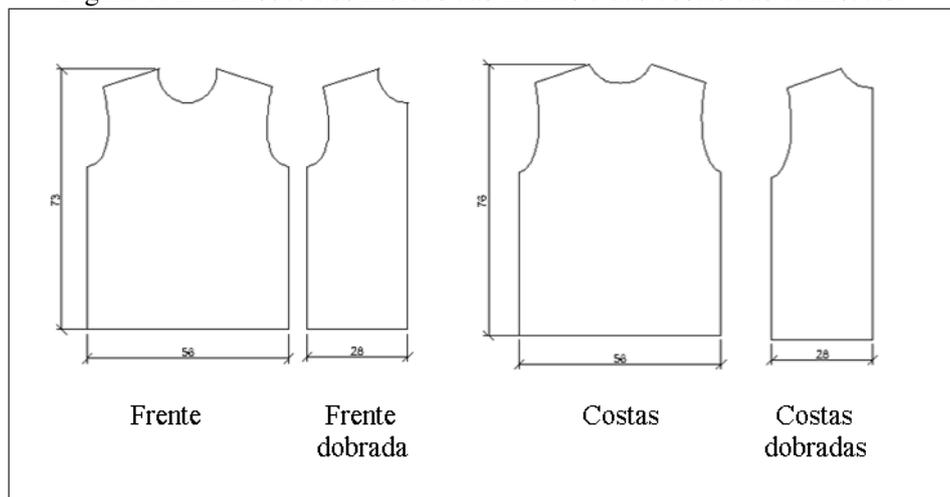
Aliano Filho e Moretti (2015) propuseram um algoritmo de *simulated annealing* para resolver o problema de corte unidimensional. A formulação de corte apresentada considera um tipo de objeto em estoque, do qual será cortada uma quantidade mínima demandada de itens, sendo que a decisão é a frequência em que os padrões de corte devem aparecer. Os resultados mostram que a metodologia proposta possui melhor desempenho onde os itens são do mesmo tamanho, sendo apenas pequenos ou apenas grandes, e há queda de eficiência onde os itens têm tamanhos variados.

Assim, o problema de corte proposto neste trabalho, que possui uma natureza originalmente bidimensional, com elementos irregulares, foi adaptado para um problema de corte unidimensional, buscando diminuir a dimensão e complexidade do modelo com o propósito de obter decisões da fábrica em tempo hábil. As variações do modelo proposto visam minimizar o custo na produção de uma demanda mínima de camisetas e maximizar a produção de camisetas que podem ser produzidas com uma quantidade fixa de rolos. O modelo proposto visou definir planos de cortes para alcançar um melhor aproveitamento do tecido e apresentou ganhos com relação à prática atual da fábrica, mostrando que há a possibilidade de diminuir os custos na produção de camisetas.

## 2. Materiais e Métodos

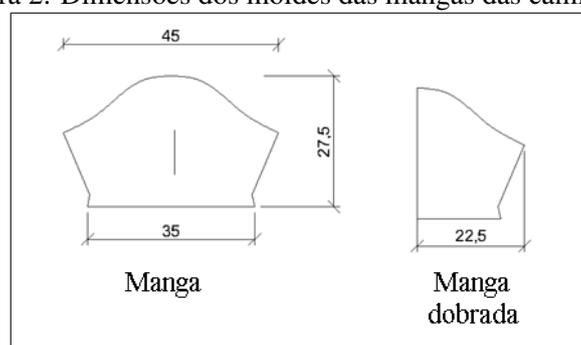
No problema de corte deste trabalho foi considerado um único tamanho de camisetas, estabelecido como tamanho grande para a fábrica. Para a confecção de uma camiseta são necessárias quatro peças, sendo frente e costas, apresentados na Figura 1, e um par de mangas (Figura 2). As medidas nos moldes são dadas em centímetros. Estas peças são retiradas de uma malha em formato tubular, conforme a Figura 3, ou seja, a malha desenrolada possui duas folhas sobrepostas e conectadas nas laterais. Assim, há a possibilidade de cortar o molde dobrado nas extremidades da folha do rolo, de modo que, ao abrir, terá uma peça inteira. As malhas, geralmente de algodão, poliéster ou mistas, são comercializadas em rolos de 20kg fechados com duas opções comuns de largura: 0,9m e 1,2m. Cada tamanho de rolo possui características próprias, que variam também com o tipo de malha. No presente trabalho considerou-se uma malha mista composta de poliéster (65%) e viscose (35%), sendo que um rolo de 0,9m de largura possui rendimento de 3,33m de comprimento por kg, que garante 66,6m no rolo. Neste caso, o custo é de 27,55R\$/kg, implicando em um custo de R\$551 por rolo. Já o rolo de 1,2m de largura da mesma malha possui rendimento de 2,52m de comprimento por kg, que dá 50,4m e um custo de 27,80R\$/kg, ou o custo de R\$556 no rolo. Através destas informações, verifica-se que o custo por  $m^2$  dos dois tipos de rolo é aproximadamente o mesmo:  $R\$ 551/(0,9m \times 66,6m) \approx 9,19 R\$/m^2$  e  $R\$ 556/(1,2m \times 50,4m) \approx 9,19 R\$/m^2$ .

Figura 1: Dimensões dos moldes das frentes e das costas das camisetas.



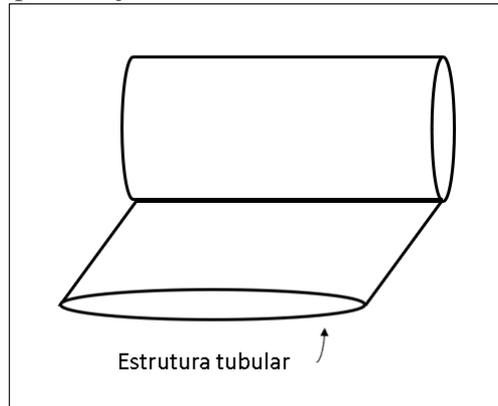
Fonte: Autoria própria.

Figura 2: Dimensões dos moldes das mangas das camisetas.



Fonte: Autoria própria.

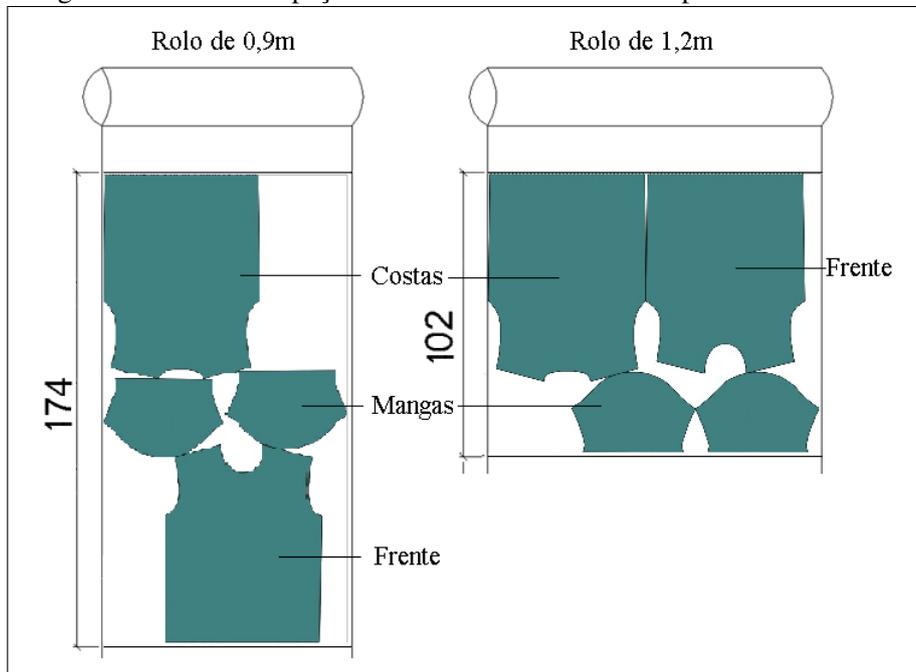
Figura 3: Representação do rolo com a malha em formato tubular.



Fonte: Autoria própria.

Atualmente na fábrica, os moldes são feitos para uma camiseta, o que implica em duas, por conta da estrutura tubular do tecido. A Figura 4 apresenta o molde utilizado atualmente na fábrica para os rolos de 0,9m e de 1,2m, sendo que os comprimentos dos moldes são de 174cm e 102cm, respectivamente. Assim, deseja-se verificar quantas camisetas são possíveis com um rolo de 0,9m, deve-se dividir o tamanho do rolo (66,6m) por 1,74m, o que dá 33,33, ou seja, 33 camisetas extraídas de uma camada apenas e, conseqüentemente, são extraídas 66 camisetas das duas camadas. Seguindo o mesmo raciocínio para um rolo de 1,2m, divide-se 50,4m por 1,02m, e multiplica-se por 2, chegando-se a 98 camisetas. A Tabela 1 apresenta as quantidades máximas de camisetas em função da quantidade de rolos.

Figura 4: Moldes das peças das camisetas nos rolos na prática da fábrica.



Fonte: Autoria própria.

Tabela 1: Quantidades de camisetas que podem ser extraídas dos rolos de acordo com a prática atual.

Quantidade de rolos	Produção máxima de camisetas	
	Rolo de 0,9m	Rolo de 1,2m
1	76	98
2	152	196
3	228	294
4	306	394
5	382	492
6	458	590
7	536	690
8	612	788
9	688	886
10	766	986

Fonte: Autoria própria.

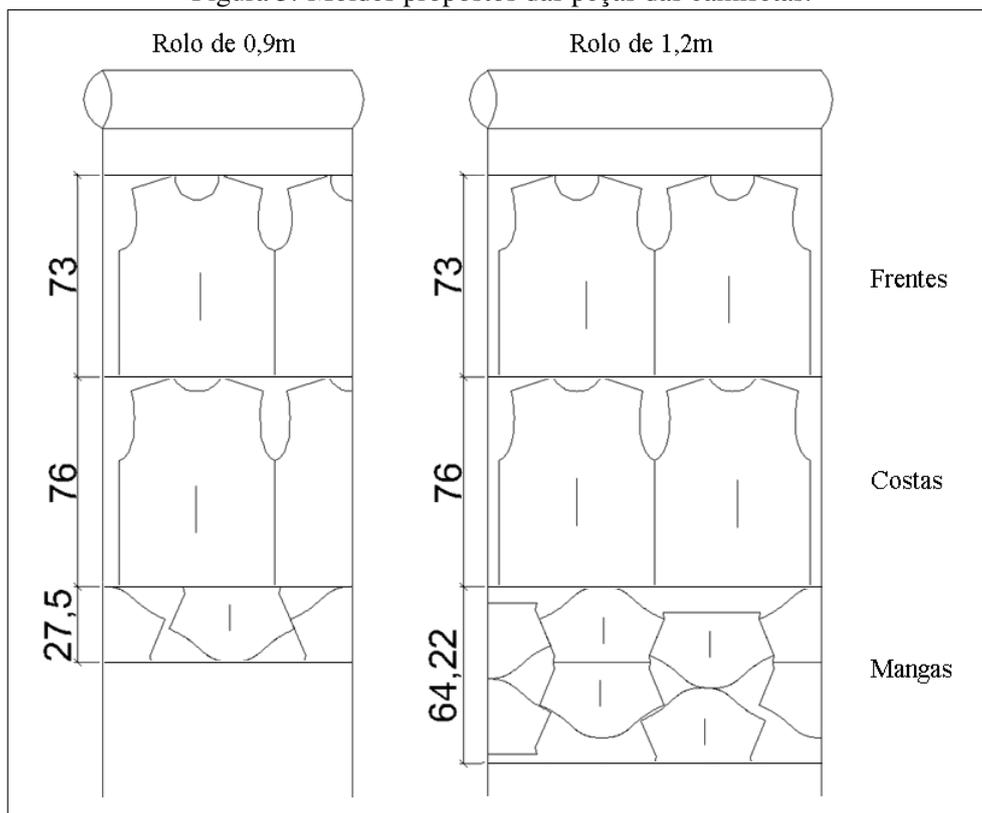
O modelo proposto visa realizar um melhor aproveitamento dos rolos, seja maximizando a quantidade de camisetas que podem ser produzidas com um ou mais rolos, seja minimizando a quantidade de rolos necessários para produzir uma quantidade mínima de camisetas. Se fossem consideradas diretamente as partes das camisetas como itens individuais, teria-se então um problema de corte bidimensional. Neste caso, os itens são irregulares, o que aumentaria mais a complexidade do problema. Para fins de praticidade e viabilidade da metodologia para o caso estudado, estabeleceu-se blocos de partes das camisetas, e estes blocos tratam-se então dos itens a serem extraídos do rolo. Como a largura destes blocos é definida pelo rolo, estes blocos são considerados como itens unidimensionais, sendo que o comprimento é a dimensão. A escolha de quantas partes das peças das camisetas definem um bloco foi feita manualmente com o auxílio dos funcionários da fábrica, chegando-se aos blocos apresentados na Figura 5. Verifica-se na figura que, para os rolos de 0,9m, o primeiro bloco de cima consiste em 3 frentes (com comprimento de 73cm), sendo que há uma frente à esquerda e metade de outra frente à direita. Isto pode ser feito por conta da estrutura tubular da malha, conforme mencionado anteriormente, fazendo com que a frente da esquerda esteja sobreposta a outra (garantindo duas frentes), e duas metades de uma frente (à direita) estejam sobrepostas entre si (resultando em uma frente completa após a abertura da malha), totalizando 3 frentes no bloco. Este é considerado um item unidimensional de 73cm a ser extraído do rolo. Os demais blocos para o rolo de 0,9m são um de 3 costas (76cm) e outro de 4 mangas (27,5cm). Para os rolos de 1,2m são propostos blocos de 4 frentes (73cm de comprimento), de 4 costas (76cm) e de 12 mangas (64,22cm).

Na proposta de disposição das partes das camisetas na malha, é importante respeitar a estrutura da trama do tecido, pois a forma com que os fios são entrelaçados resulta nas características de elasticidade e comportamento das peças quando prontas. Assim, para evitar que as peças fiquem deformadas e irregulares após a camiseta pronta, deve-se extrair todas as partes no mesmo sentido que, no caso, é vertical nos moldes apresentados.

Assim, formulou-se dois modelos de corte unidimensional, ambos como problemas de programação inteira. Os modelos unidimensionais propostos possuem similaridades com o problema de corte de estoque unidimensional com vários tipos de barras em estoque citado por Poldi (2003). As barras seriam os rolos de tecido e os itens seriam os blocos de partes das camisetas. No entanto, há diferenças, uma vez que o modelo citado por Poldi (2003), considera a demanda dos itens, sendo que no presente trabalho a demanda não é de itens/blocos diretamente, mas sim das camisetas (produto final), cujas partes são extraídas dos itens/blocos.

O primeiro modelo proposto busca minimizar o custo para a produção de uma quantidade mínima de camisetas e está apresentado na formulação (1)-(11).

Figura 5: Moldes propostos das peças das camisetas.



Fonte: Autoria própria.

No modelo, os índices são definidos da seguinte forma:

- $i$ : índice do tipo de rolo disponível;
- $j$ : índice de cada um dos rolos de um determinado tipo.

Os parâmetros de entrada são:

- $r_i$ : quantidade de rolos disponíveis do tipo  $i$ ;
- $r$ : quantidade total de rolos, somando todos os tipos;
- $v$ : quantidade mínima de camisetas a serem produzidas;
- $p_i$ : quantidade de frentes de cada bloco do rolo tipo  $i$ ;
- $q_i$ : quantidade de costas de cada bloco do rolo tipo  $i$ ;
- $s_i$ : quantidade de pares de mangas de cada bloco do rolo tipo  $i$ ;
- $a_i$ : comprimento de um bloco de frentes do rolo tipo  $i$ ;
- $b_i$ : comprimento de um bloco de costas do rolo tipo  $i$ ;
- $c_i$ : comprimento de um bloco de mangas do rolo tipo  $i$ ;
- $k_i$ : custo de um rolo do tipo  $i$ ;
- $l_i$ : comprimento de um rolo do tipo  $i$ ;
- $\alpha$ : peso para minimizar o custo;
- $\beta$ : peso para maximizar a quantidade de camisetas produzidas;
- $M$ : valor suficientemente grande.

As variáveis de decisão são:

- $u_{ij}$ : vale 1 se o rolo  $j$  do tipo  $i$  é utilizado e 0, caso contrário;
- $x_{ij}$ : quantidade de blocos de frentes a serem cortados do rolo  $j$  do tipo  $i$ ;
- $y_{ij}$ : quantidade de blocos de costas a serem cortados do rolo  $j$  do tipo  $i$ ;
- $z_{ij}$ : quantidade de blocos de mangas a serem cortados do rolo  $j$  do tipo  $i$ ;
- $W$ : variável inteira, sendo a quantidade total de camisetas;
- $K$ : variável real, sendo o custo total dos rolos.

$$\text{Minimizar } \alpha K - \beta W \quad (1)$$

Sujeito a:

$$K = \sum_{i=1}^2 k_i \sum_{j=1}^{r_i} u_{ij} \quad (2)$$

$$W \leq \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^{r_i} p_i x_{ij} \quad (3)$$

$$W \leq \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^{r_i} q_i y_{ij} \quad (4)$$

$$W \leq \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^{r_i} s_i z_{ij} \quad (5)$$

$$W \geq v \quad (6)$$

$$x_{ij} + y_{ij} + z_{ij} \leq M u_{ij}, i \in \{1, 2\}, j \in \{1, \dots, r_i\} \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^{r_i} u_{ij} \leq r \quad (8)$$

$$a_i x_{ij} + b_i y_{ij} + c_i z_{ij} \leq l_i, i \in \{1, 2\}, j \in \{1, \dots, r_i\} \quad (9)$$

$$x_{ij}, y_{ij}, z_{ij} \in \mathbb{Z}^+, i \in \{1, 2\}, j \in \{1, \dots, r_i\} \quad (10)$$

$$u_{ij} \in \{0, 1\}, i \in \{1, 2\}, j \in \{1, \dots, r_i\} \quad (11)$$

A função em (1) é uma ponderação entre o custo  $K$  (a ser minimizado) e a quantidade de camisetas  $W$  (a ser maximizada). Como o objetivo principal é a minimização do custo, então  $\alpha$  deve ser suficientemente maior que  $\beta$ . A restrição (2) representa o custo total dos rolos escolhidos, enquanto as restrições (3), (4) e (5) garantem que a quantidade total de camisetas seja o menor valor entre a quantidade de frentes, costas e pares de mangas definidas no corte. A quantidade mínima de camisetas a serem produzidas é garantida pela restrição (6).

A restrição (7) faz com que um corte feito em algum bloco no rolo  $j$  do tipo  $i$  obrigue aquele bloco ser contabilizado através da variável binária  $u_{ij}$ . A equação (8) estabelece a quantidade

máxima de rolos utilizados como  $r$ , enquanto a (9) garante que seja respeitado o comprimento máximo  $l_i$  de cada rolo utilizado. Por último, (10) e (11) são restrições de conjunto.

O segundo modelo consiste em maximizar a quantidade de camisetas a serem produzidas a partir de uma quantidade pré-fixada de rolos ( $r$ ). Neste caso, a restrição (6) é eliminada, pois, não há a obrigação de uma produção mínima de camisetas; e a função objetivo em (1) é substituída pela (12).

$$\text{Maximizar } \beta W - \alpha K \quad (12)$$

Os parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$ , assim como as variáveis  $W$  e  $K$ , da função objetivo (12) são os mesmos da (1).

Assim, tem-se dois modelos:

- **Modelo 1:** Minimização do custo na produção de uma demanda mínima pré-estabelecida de camisetas (formulação (1)-(11));
- **Modelo 2:** Maximização da quantidade de camisetas que podem ser produzidas com uma quantidade fixa de rolos (formulação (2)-(5) e (7)-(12)).

### 3. Resultados e Discussão

Os resultados apresentados estão baseados em seis casos, sendo dois (Prática 1 e Prática 2) utilizando dados de acordo com o que é realizado atualmente na fábrica, e quatro experimentos. Visando comparar os experimentos e as práticas, considerou-se demandas mínimas de centenas de camisetas (100 a 1000 camisetas) e quantidades de rolos (1 a 10).

Os casos baseados na realidade atual consideram apenas um tipo de rolo de cada vez:

- **Prática 1:** Utilização apenas de rolos de largura 0,9m;
- **Prática 2:** Utilização apenas de rolos de largura 1,2m.

Ambos os casos acima consideram os dados apresentados na Tabela 1. Inclusive, a fábrica possui preferência pelos rolos de largura 1,2m por conta de uma maior disponibilidade destes junto ao fornecedor usual e, por ser de maior largura, os responsáveis pela confecção se diziam induzidos intuitivamente a esperar um maior rendimento dele.

Os custos totais e unitários destas práticas estão na Tabela 2 e na Tabela 3. Considera-se quantas camisetas podem ser produzidas com uma quantidade de rolos de um tipo e com os moldes da Figura 4. Os custos totais são os custos dos rolos, e os unitários são os totais divididos pelas quantidades de camisetas. Assim, com um rolo de 0,9m é possível extrair 76 camisetas com o custo de R\$551 e custo por camiseta de R\$7,25.

Por outro lado, os experimentos foram feitos utilizando o *software* LINGO 19.0 em um computador com um processador Intel(R) Core(TM) i5-7200U CPU, 2.50GHz com 12,0 GB de RAM. São quatro experimentos, definidos da seguinte forma:

- **Cenário 1:** Modelo 1 - formulação (1)-(11) - minimiza o custo na produção de uma demanda mínima pré-estabelecida de camisetas;
- **Cenário 2:** Modelo 2 - formulação (2)-(5) e (7)-(12) - maximiza a quantidade de camisetas que podem ser produzidas com uma quantidade fixa de rolos ( $r$ );
- **Cenário 3:** Modelo 1 - formulação (1)-(11) - minimiza o custo na produção de uma demanda mínima de camisetas considerando que determinadas partes das roupas (blocos) sejam associadas a determinados tamanhos de rolo, ou seja, fixa-se alguns  $x_{ij}$ ,  $y_{ij}$  e  $z_{ij}$  iguais a zero;
- **Cenário 4:** Modelo 2 - formulação (2)-(5) e (7)-(12) - maximiza a quantidade de camisetas considerando apenas rolos de largura 1,2m, ou seja,  $r_1 = 0$  e  $r_2 > 0$ .

Tabela 2: Dados da Prática 1 usando apenas rolos de 0,9m.

Quantidade		Custo (R\$)	
rolos	camisetas	Total	Unitário
1	76	551	7,250
2	152	1102	7,250
3	228	1653	7,250
4	306	2204	7,203
5	382	2755	7,212
6	458	3306	7,218
7	536	3857	7,196
8	612	4408	7,203
9	688	4959	7,208
10	766	5510	7,193

Fonte: Autoria própria.

Tabela 3: Dados da Prática 2 usando apenas rolos de 1,2m.

Quantidade		Custo (R\$)	
rolos	camisetas	Total	Unitário
1	98	556	5,673
2	196	1112	5,673
3	294	1668	5,673
4	394	2224	5,645
5	492	2780	5,650
6	590	3336	5,654
7	690	3892	5,641
8	788	4448	5,645
9	886	5004	5,648
10	986	5560	5,639

Fonte: Autoria própria.

Nota-se que os quatro cenários são variações dos dois modelos apresentados, sendo que, dependendo do cenário, fixa-se variáveis ou altera-se parâmetros, informações que são apresentadas ao longo da seção. Percebe-se que o Cenário 3 é uma modificação do Cenário 1 e ele foi criado com o objetivo de verificar os resultados de um tipo de corte mais simples, que associa determinadas partes das camisetas a determinados tamanhos de rolo. O Cenário 4 é uma variação do Cenário 2 e estabelece a utilização apenas de rolos de largura 1,2m, pois, conforme explanado nas discussões mais a frente, os resultados do Cenário 2 tiverem apenas rolos de largura 0,9m.

Os parâmetros são comuns a todos os cenários e estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Parâmetros comuns a todos os cenários.

Largura	$i$	$p_i$	$q_i$	$s_i$	$a_i$	$b_i$	$c_i$	$k_i$	$l_i$
0,9m	1	3	3	2	0,76m	0,73m	0,2750m	R\$551	66,60m
1,2m	2	4	4	6	0,76m	0,73m	0,6422m	R\$556	50,40m

Fonte: Autoria própria.

No Cenário 1, que busca prioritariamente o mínimo custo e, de forma secundária, a máxima quantidade de camisetas que podem ser produzidas com a quantidade de rolos necessária, em (1) foram considerados os pesos  $\alpha = 1000$  e  $\beta = 1$ . A demanda de camisetas a serem produzidas varia de 100 a 1000 nos experimentos, conforme a Tabela 5. Nota-se que todas as soluções obtidas consistem apenas no uso dos rolos de menor largura, apesar da possibilidade do uso dos de 1,2m. Na tabela, verifica-se que, por exemplo, para a produção de 500 camisetas, o menor custo é obtido com cinco rolos de 0,9m de largura. É possível fabricar 24 camisetas a mais que as

500 demandadas, ou 4,8%. Isto dá um custo total de R\$2755 e um custo unitário de R\$5,258 por camiseta. A produção extra de camisetas fica entre 4% e 5%. Para todos os casos, a solução ótima é encontrada com a obtenção apenas de rolos de 0,9m. Para todas as demandas, a quantidade média que um rolo pode produzir é maior que 100 camisetas; com dois rolos produz-se mais que 200 camisetas, e assim por diante. O custo unitário varia e não possui um decréscimo significativo à medida que a quantidade de camisetas aumenta, como é comumente esperado quando há aumento de escala. Os tempos de resolução foram insignificantes para a aplicação, mantendo-se sempre abaixo de 1 segundo e as soluções ótimas foram encontradas (*gap* de otimalidade igual a 0,00%).

Tabela 5: Resultados do Cenário 1.

Quantidade de camisetas		Produção extra	Quantidade de rolos		Custo (R\$)		Tempo (s)
Mínima ( $v$ )	Possível ( $W$ )		0,9m	1,2m	Total	Unitário	
100	104	4,0%	1	0	551	5,298	0,18
200	210	5,0%	2	0	1102	5,248	0,16
300	314	4,7%	3	0	1653	5,264	0,45
400	420	5,0%	4	0	2204	5,248	0,20
500	524	4,8%	5	0	2755	5,258	0,97
600	630	5,0%	6	0	3306	5,248	0,16
700	734	4,9%	7	0	3857	5,255	0,55
800	840	5,0%	8	0	4408	5,248	0,72
900	944	4,9%	9	0	4959	5,253	0,39
1000	1050	5,0%	10	0	5510	5,248	0,21

Fonte: Autoria própria.

No Cenário 2, buscou-se maximizar a quantidade de camisetas que podem ser produzidas com uma quantidade fixa de rolos de qualquer tipo. Em (12) utilizou-se  $\beta = 1000$  e  $\alpha = 1$ . Estabeleceu-se um limite de tempo de 600 segundos para cada teste. Os resultados estão na Tabela 6. Pode-se ver que o critério de tempo foi atingido para as quantidades de rolos de 5 a 9, com o maior *gap* de 0,22%.

A maioria dos resultados apresenta situações que combinam os diferentes rolos. Por exemplo, com cinco rolos, a quantidade máxima de camisetas que se pode produzir é 528 com um rolo de 0,9m e quatro de 1,2m. São quatro camisetas a mais que para o uso de cinco rolos de 0,9m apenas (Tabela 5), sendo que o custo total aumenta de R\$2755 (Tabela 5) para R\$2775 (Tabela 6), mas o custo unitário diminui de R\$5,258 para R\$5,256, representando um percentual de queda no custo unitário de 0,13%. Nota-se que há diminuição no custo unitário ao combinar rolos para uma quantidade total de 3, 5 e 7 rolos, o que pode ser melhor visto na Tabela 10, que apresenta os custos unitários de todos os cenários.

Tabela 6: Resultados do Cenário 2.

Quantidade		Quantidade de rolos		Custo (R\$)		Tempo (s)	<i>Gap</i>
Total de rolos ( $r$ )	camisetas ( $W$ )	0,9m	1,2m	Total	Unitário		
1	104	1	0	551	5,298	0,16	0,00%
2	210	2	0	1102	5,248	0,58	0,00%
3	316	1	2	1663	5,263	66,83	0,00%
4	422	1	3	2219	5,258	515,40	0,00%
5	528	1	4	2775	5,256	600,00	0,09%
6	633	2	4	3326	5,254	600,00	0,14%
7	739	2	5	3882	5,253	600,00	0,12%
8	844	3	5	4433	5,252	600,00	0,22%
9	950	2	7	4994	5,257	600,00	0,19%
10	1054	2	8	5550	5,266	0,30	0,00%

Fonte: Autoria própria.

Analisando a distribuição das partes das camisetas destinadas aos diferentes rolos das soluções da Tabela 6, pode-se verificar que o modelo aloca majoritariamente as frentes e as costas nos rolos de 1, 2m e as mangas nos rolos de 0, 9m (Tabela 7). Na média, 86% das frentes e 96% das costas são extraídas dos rolos de 1, 2m e 92% das mangas são obtidas dos rolos de 0, 9m. Com base nisto o terceiro cenário foi proposto. Ele minimiza o custo total na produção (com  $\alpha = 1000$  e  $\beta = 1$  em (1)), mas considerando que as mangas necessariamente sejam extraídas de rolos de 0, 9m e as frentes e costas sejam extraídas de rolos de 1, 2m. Estas condições forçam  $x_{1j} = y_{1j} = 0$  e  $z_{2j} = 0$ .

Os resultados estão na Tabela 8. Pode-se verificar que os custos unitários são maiores que os do Cenário 1, uma vez que há a necessidade de uma quantidade maior de rolos. No Cenário 1, 5 rolos são suficientes para a produção de 500 camisetas, enquanto no 2, são necessários 6 rolos para a mesma quantidade de camisetas.

Tabela 7: Distribuição das partes das camisetas no Cenário 2.

Rolos	Quantidade Camisetas	Distribuição de frentes		Distribuição de costas		Distribuição de pares de mangas	
		0, 9m	1, 2m	0, 9m	1, 2m	0, 9m	1, 2m
3	316	38%	62%	0%	100%	83%	17%
4	422	1%	99%	16%	84%	84%	16%
5	528	2%	98%	0%	100%	88%	13%
6	633	24%	76%	5%	95%	99%	1%
7	738	10%	90%	7%	93%	100%	0%
8	845	36%	64%	6%	94%	96%	4%
9	950	3%	97%	0%	100%	96%	4%
10	1056	1%	99%	1%	99%	90%	10%
	Média	14%	86%	4%	96%	92%	8%

Fonte: Autoria própria.

Tabela 8: Resultados do Cenário 3.

Quantidade de camisetas		Quantidade de rolos		Custo (R\$)		Tempo (s)	Gap
Mínima ( $v$ )	Possível ( $W$ )	0, 9m	1, 2m	Total	Unitário		
300	404	1	3	2219	5,493	0,14	0,00%
400	404	1	3	2219	5,493	0,20	0,00%
500	540	2	4	3326	6,159	0,14	0,00%
600	676	2	5	3882	5,743	0,39	0,00%
700	808	2	6	4438	5,493	0,21	0,00%
800	808	2	6	4438	5,493	0,20	0,00%
900	944	2	7	4994	5,290	0,46	0,00%
1000	1080	3	8	6101	5,649	0,24	0,00%

Fonte: Autoria própria.

Por último, no Cenário 4, ao considerar apenas rolos de 1, 2m ( $r_1 = 0$ ) no modelo para maximização da quantidade de camisetas (com  $\beta = 1000$  e  $\alpha = 1$  em (12)), chega-se aos resultados da Tabela 9. Alguns testes atingiram o limite de tempo de 600 segundos, com o gap máximo de 1, 05%. O custo unitário na maioria dos casos é superior a R\$5, 300.

Os resultados de todos os experimentos e práticas foram comparados. Os resultados consolidados estão na Tabela 10, sendo que cada linha está associada a uma quantidade de rolos, cuja combinação depende de cada cenário. A tabela expõe os custos unitários das camisetas que podem ser produzidas com as quantidades de rolos estabelecidas e a comparação percentual dos custos unitários com relação ao Cenário 1, o que apresentou os menores custos em geral.

É importante ressaltar que para o Cenário 3, não foram obtidos resultados para determinadas quantidades de rolos, como, por exemplo para 5, em que o mínimo de 400 camisetas exigiu 4 rolos e o mínimo de 500 camisetas exigiu 6 rolos (Tabela 8).

Tabela 9: Resultados do Cenário 4.

Quantidade de rolos 1, 2m	Quantidade de camisetas	Custo (R\$)		Tempo (s)	Gap
		Total	Unitário		
1	104	556	5,346	0,07	0,00%
2	208	1112	5,346	0,37	0,00%
3	312	1668	5,346	600,00	1,05%
4	420	2224	5,295	600,00	0,10%
5	524	2780	5,305	600,00	0,29%
6	628	3336	5,312	600,00	0,42%
7	732	3892	5,317	600,00	0,51%
8	840	4448	5,295	600,00	0,10%
9	944	5004	5,301	600,00	0,20%
10	1048	5560	5,305	600,00	0,29%

Fonte: Autoria própria.

Verifica-se na Tabela 10 que as soluções do modelo do Cenário 3 possuem geralmente os maiores custos unitários, sendo que apenas para 9 rolos o custo é menor que a solução dos rolos de 1, 2m: R\$5, 290 contra R\$5, 301. Depois, os custos unitários do Cenário 4, que apresentou apenas rolos de 1, 2m, são maiores. Comparando com as práticas atuais, verifica-se que os custos unitários de utilizar apenas rolos de 0, 9m estão muito acima dos demais custos unitários, inclusive da Prática 2, que utiliza apenas rolos de 1, 2m. Assim, verifica-se que entre as práticas atuais, a fábrica acertadamente escolhe os rolos de 1, 2m. No entanto, com os experimentos, verifica-se que há a possibilidade de diminuir custos utilizando apenas rolos de 0, 9m, que é a solução do Cenário 1. Tomando como exemplo a quantidade de 1 rolo, o custo unitário do Cenário 1 é R\$5, 290 contra R\$5, 673 da Prática 2, o que dá uma diminuição de 7, 09%.

A Tabela 11 apresenta a comparação percentual dos custos unitários com o Cenário 1. Verifica-se que as Práticas 1 e 2 apresentam, respetivamente, custos 37, 2% e 7, 56% maiores que o melhor cenário. O Cenário 3 (7, 34%) e a Prática 2 (7, 56%) apresentam diferenças médias próximas, quando comparadas com o Cenário 1, sendo que para 4, 8 e 9 rolos, o custo médio do Cenário 3 é melhor que o da Prática 2. O Cenário 3 possui um molde mais simples do que os demais cenários (todas as mangas devem ser extraídas dos rolos de 0, 9m, enquanto as frentes e costas, dos rolos de 1, 2m). Esta facilidade no molde do Cenário 3 pode tornar este cenário desejável em escalas em que seja possível utilizar 4 rolos ou para um uso acima de 8 rolos, em comparação com a Prática 2.

O Cenário 4 apresenta uma diferença de 1, 15% e o Cenário 2 possui resultados mais competitivos com o Cenário 1, sendo que o Cenário 2 possui menor custo que as soluções do Cenário 1 para 3, 5 e 7 rolos. A diferença média é de 0, 07% do modelo combinado com relação ao outro.

Tabela 10: Custos unitários de todos os experimentos.

Quantidade de rolos	Custo unitário (R\$) dos cenários e práticas					
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Prática 1	Prática 2
1	5,298	5,298		5,346	7,250	5,673
2	5,248	5,248		5,346	7,250	5,673
3	5,264	5,263		5,346	7,250	5,673
4	5,248	5,258	5,493	5,295	7,203	5,645
5	5,258	5,256		5,305	7,212	5,650
6	5,248	5,254	6,159	5,312	7,218	5,654
7	5,255	5,253	5,743	5,317	7,196	5,641
8	5,248	5,252	5,493	5,295	7,203	5,645
9	5,253	5,257	5,290	5,301	7,208	5,648
10	5,248	5,266		5,305	7,193	5,639

Fonte: Autoria própria.

Tabela 11: Comparação dos custos unitários com relação ao Cenário 1.

Quantidade de rolos	Custo unitário (R\$) dos experimentos				
	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Prática 1	Prática 2
1	0,00%		0,91%	36,84%	7,09%
2	0,00%		1,88%	38,16%	8,12%
3	-0,03%		1,55%	37,72%	7,77%
4	0,20%	4,67%	0,91%	37,25%	7,57%
5	-0,04%		0,91%	37,17%	7,47%
6	0,13%	17,37%	1,23%	37,55%	7,75%
7	-0,03%	9,28%	1,18%	36,94%	7,34%
8	0,09%	4,67%	0,91%	37,25%	7,57%
9	0,07%	0,71%	0,91%	37,21%	7,51%
10	0,34%		1,10%	37,08%	7,46%
Média	0,07%	7,34%	1,15%	37,32%	7,56%

Fonte: Autoria própria.

#### 4. Conclusões

Foi proposto um modelo de corte para a produção de camisetas em uma pequena fábrica através do corte de frentes, costas e mangas das camisetas em dois tipos de rolos de tecido, um de tamanho  $0,9m \times 66,60m$  e outro,  $1,2m \times 50,40m$ . Os experimentos foram feitos com dados reais de custos dos rolos e dimensões de camisetas de um único tamanho. Os moldes foram agrupados em blocos específicos de cada tipo de peça e para cada tamanho de rolo, o que possibilitou adaptar o modelo para um modelo de corte unidimensional.

A formulação matemática contempla os objetivos de minimização do custo na produção de uma demanda mínima de camisetas e a maximização da quantidade de camisetas que podem ser produzidas com uma quantidade fixa de rolos.

Através dos experimentos e da comparação com a prática realizada na fábrica, chegou-se à conclusão que, apesar do preço do  $m^2$  de tecido nos dois rolos ser o mesmo, o rolo de menor largura,  $0,9m$ , possibilitou os menores custos totais e os menores custos unitários.

Um segundo cenário, combinando os dois tipos de rolos, garante que, em alguns casos, o custo unitário das camisetas seja menor que o caso anterior.

Tendo em vista que a produção possui várias etapas manuais, e que as soluções anteriores podem eventualmente dificultar o gerenciamento de quais blocos devem ser extraídos de quais rolos para que os custos sejam mínimos, foi então proposto um cenário que contemplava a combinação dos dois tipos de rolos, mas que todas as mangas seriam retiradas dos rolos de  $0,9m$  de largura e todas as frentes e costas seriam extraídas de rolos de  $1,2m$  de largura. Esta manobra tenderia a facilitar o processo e verificou-se que, para determinados volumes de produção, pode ser uma solução com custo competitivo.

O cenário com apenas rolos de  $1,2m$  apresentou os piores resultados.

Os custos obtidos nos experimentos foram comparados com soluções praticadas na fábrica, que possui maior preferência pelos rolos de  $1,2m$ . Os custos unitários obtidos com este rolo com os moldes utilizados são de fato menores que os obtidos com o rolo de  $0,9m$ , mas os resultados dos experimentos contrastam com o que é realizado na fábrica, mostrando que há margem para a diminuição de custos ao utilizar de forma mais eficiente rolos de  $0,9m$ .

Em futuros trabalhos, considerar diferentes tamanhos de camisetas pode tornar as análises ainda mais realistas. Pode-se incluir variáveis no modelo para contemplar o corte das partes de maneira sobreposta no enfiado, quando se sobrepõe camadas do tecido para que a quantidade de cortes seja menor para diminuir o volume de trabalho manual no corte.

Há potencial de melhor aproveitamento do tecido quando consideradas as partes das camisetas como itens individuais, e não como blocos, mas a quantidade de variáveis do modelo aumenta significativamente, o que pode inviabilizar a obtenção de soluções razoáveis em tempo

hável.

A abordagem adotada neste trabalho se mostrou satisfatória, apresentando soluções em tempo hábil, de até dez minutos, e garantindo a minimização de custos na produção de camisetas.

## Referências

Aliano Filho, A. e Moretti, A. C. Um simulated annealing no problema do corte unidimensional inteiro. *Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics*, v. 3, n. 1, 2015.

Almeida, R. N. P. S. *Redução de desperdícios no processo de corte em empresas Têxtil-Lar*. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2014.

Costa, E. N. *Análise de produção mais limpa (P+L) em uma empresa de confecção têxtil em Cuiabá-MT*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação de Tecnologia em Gestão Ambiental) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, Campus Cuiabá-Bela Vista, Cuiabá-MT, 2016.

Heis, A., Constantino, A. A. e Araujo, S. A. Um algoritmo genético para o problema de corte unidimensional inteiro. *Revista Técnico Científica do IFSC*, v. 1, n. 1, p. 8–12, 2010.

Javanshir, H., Rezaei, S., Najar, S. S. e Ganji, S. S. Two-dimensional cutting stock management in fabric industries and optimizing the large object's length. *International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences*, v. 4, n. 3, p. 243–249, 2010.

Jorge, A. R., Mundim, L. R., Andretta, M. e Cherri, L. H. O problema de corte de itens irregulares: Aplicação na indústria de corte de aventais e forros de luva. *Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento*, v. 8, n. 3, p. 214–235, 2016.

Junior, B. A., Pinheiro, P. R. e Saraiva, R. D. A hybrid methodology for nesting irregular shapes: Case study on a textile industry. *IFAC Proceedings Volumes*, v. 46, n. 24, p. 15–20, 2013.

Leite, L. P. *Controle de matéria prima no setor de corte para redução de desperdício em uma confecção*. 33 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Têxtil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana-PR, 2017.

Lin, T. Y., Chen, S. M. e Yu, M. T. Solving the cutting-stock problem by using the sequential quadratic programming optimization method. In: *Proceedings of the 2016 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*. Bali, Indonesia, IEEE, 2016. p. 1699–1702.

Menon, S. e Schrage, L. Order allocation for stock cutting in the paper industry. *Operations Research*, v. 50, n. 2, p. 324–332, 2002.

Nascimento, D. B. *Otimização da programação de ordens de corte em indústrias têxteis*. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 2006.

Oliveira, B., Salvador, R. e Silva, V. M. D. Otimização do problema de corte unidimensional: um estudo de caso na indústria papelreira. *Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção*, v. 2, n. 3, p. 52–65, 2014.

Poldi, K. C. *Algumas extensões do problema de corte de estoque*. Dissertação (Mestrado em Ciências de Computação e Matemática Computacional) – Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos-SP, 2003.

Poldi, K. C. e Arenales, M. N. O problema de corte de estoque unidimensional multiperíodo. *Pesquisa Operacional*, v. 30, n. 1, p. 153–174, 2010.

Sousa, R. A. *Um estudo sobre o problema de corte bidimensional com peças irregulares em uma empresa têxtil*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Paraná, Jandaia do Sul-PR, 2018.