

## OTIMIZAÇÃO NA UTILIZAÇÃO DE CAIXAS EM CARRINHOS TUBULARES POR MEIO DOS ALGORITMOS FF, FFD, BF E BFD: UM ESTUDO DE CASO APLICADO A UMA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA

Marjorie Nakano; PUCPR; PPGEPS; [nmarjorie@gmail.com](mailto:nmarjorie@gmail.com)  
Ricardo de Almeida; PUCPR; PPGEPS; [ricardo.almeida@pucpr.edu.br](mailto:ricardo.almeida@pucpr.edu.br)  
Maria Teresinha Arns Steiner; PUCPR; PPGEPS; [mariasteiner@pucpr.br](mailto:mariasteiner@pucpr.br)

### Resumo

A crise econômica que assola o país tem feito com que as empresas busquem processos cada vez mais otimizados. A otimização da estrutura física de uma linha de produção visa minimizar os desperdícios, maximizando a qualidade e a produtividade. O presente trabalho trata da otimização do arranjo de caixas, contendo peças de montagem de uma indústria automotiva, dentro de carrinhos tubulares, posicionados na borda de uma das linhas de produção. Para um melhor arranjo das caixas, tratou-se o problema como um Problema de Corte e Empacotamento (PCE) do tipo unidimensional, cuja solução foi obtida por meio dos algoritmos *First Fit* (FF); *First Fit Decreasing* (FFD); *Best Fit* (BF) e *Best Fit Decreasing* (BFD), comparativamente, visando a maximização da quantidade das caixas dentro dos carrinhos. Para tanto, são considerados o tamanho das caixas, a quantidade necessária de cada uma delas e as restrições do processo. Com a aplicação dos algoritmos foi possível alocar todas as caixas nas prateleiras dos carrinhos de forma a maximizar a sua ocupação, minimizando as áreas vazias. Todos os quatro algoritmos apresentaram os mesmos resultados.

**Palavras-chave:** Problema de Corte e Empacotamento; Algoritmo FF; Algoritmo FFD; Algoritmo BF e Algoritmo BFD.

### Abstract

The economic crisis in the country has caused companies to seek ever more optimized processes. The optimization of the physical structure of a production line seeks to minimize wastage and maximize the quality and productivity. This work deals with the optimization of the arrangement of boxes, which contains mounting parts of an automotive industry, within tubular racks, positioned at the edge of one of the production lines. For better arrangement of boxes, the problem was treated as a one dimensional Cutting and Packaging Problem (CPP), which solution was obtained by the algorithms First Fit (FF); First Fit Decreasing (FFD); Best Fit (BF) and Best Fit Decreasing (BFD), comparatively, in order to maximize the number of boxes in the racks. For that, it was considered the size of the boxes, the required amount of each of them and the restrictions of the process. With the application of the algorithms it was possible to allocate all the boxes on the shelves of the racks, maximizing their occupation and minimizing the empty areas. All four algorithms showed the same results.

**Keywords:** Cutting and Packing Problem; FF Algorithm; FFD Algorithm; BF Algorithm e BFD Algorithm.

## 1. Introdução

As indústrias, devido à alta competitividade, buscam constantemente melhorar a utilização dos insumos, as atividades e processos, sendo que o *layout* tem influência direta na eficiência de uma organização, pois é a base de integração desses elementos.

O objetivo do presente trabalho é otimizar o arranjo de caixas dentro de carrinhos tubulares situados na borda de linha (lateral da linha de montagem) de uma indústria automotiva, maximizando a utilização da área dos carrinhos e atendendo a todas as restrições. Para isso, o problema foi tratado como um Problema de Corte e Empacotamento (PCE) do tipo unidimensional.

O presente artigo está organizado da seguinte forma: além desta seção introdutória, a seção 2 detalha o problema abordado; a seção 3 trata da fundamentação teórica, trabalhos correlatos e apresenta as técnicas utilizadas para o problema em pauta. Na seção 4 está a metodologia, sendo que a obtenção e discussão dos resultados são realizadas na seção 5 e, finalmente, na seção 6 são apresentadas as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

## 2. Descrição do Problema

O problema aborda uma linha de montagem que atende hoje dois modelos de carros, sendo que cada modelo possui as suas variantes como, por exemplo, a inclusão ou remoção de algum item ou acessório. Futuramente, a linha de montagem analisada poderá atender mais de cinco modelos.

Quando um modelo é lançado, há um planejamento de todas as áreas envolvidas: logística, montagem, qualidade de montagem, produção, entre outras. Este planejamento inclui diversas atividades como, por exemplo, o arranjo de *layout* da borda de linha, onde carrinhos tubulares são posicionados. Esta atividade se inicia quando o planejamento central que fica na Alemanha, envia para o planejamento local no Brasil, uma lista contendo todas as peças do modelo do carro e suas variantes. Os dois grupos em conjunto, definem onde estas peças serão montadas, ou seja, em qual estação estas peças serão designadas. Junto a isso, definem também as ferramentas a serem utilizadas, tempo de montagem de cada peça e o número de pessoas necessárias para a operação, chamado de balanceamento de linha. Realizada a definição da alocação das peças às estações de trabalho, o departamento de logística fica responsável por distribuir as peças para as bordas das estações, isto é, o departamento logístico recebe a lista de peças já definidas e deverá colocar as caixas contendo as peças de montagem nos carrinhos de abastecimento, assim como posicioná-los nas estações

de trabalho. A lista não contém o tamanho das caixas, pois o tamanho é baseado nas dimensões de projetos anteriores; isto é feito apenas para ter uma ideia do espaço físico que elas ocuparão, sendo que estes tamanhos poderão ser menores, maiores ou iguais. A partir do momento em que o primeiro lote de carros de lançamento entra na linha de produção é que acontece um rearranjo do *layout* feito pela área de logística durante o tempo de planejamento. Isto significa que neste momento se saberá se haverá espaço suficiente para todos os carrinhos, se haverá espaço para todas as caixas e se as peças estarão nas posições adequadas. Por exemplo, uma peça que será montada na parte frontal do carro deverá estar disponível em um carrinho próximo a parte frontal do carro. O retrabalho é feito manualmente pelos operadores dentro das estações à medida que as peças são abastecidas.

Todo esse tempo de retrabalho gera um esforço e permanece durante um período significativo que poderia ser minimizado ou evitado. No *layout* atual, os carrinhos não são bem aproveitados, por exemplo, há carrinhos onde não são usados todos os seus níveis (prateleiras) e, além disso, há carrinhos mal posicionados, já que muitas vezes o operador precisa atravessar a estação para buscar as peças. Isso acontece devido às restrições estabelecidas pelo departamento logístico, na qual uma das premissas da disposição das caixas nas prateleiras dos carrinhos é não conter fileiras de caixas que possuem peças diferentes, portanto quando o posto de trabalho é abastecido com as peças de montagem, os próprios operadores, manualmente, distribuem as caixas da melhor forma para facilitar a produção. Além do tempo desperdiçado ao fazer a troca, não há uma instrução de como cada carrinho deverá ser organizado a fim de aproveitar o máximo de área. Desta forma justifica-se a busca por um método para reduzir essa energia e tempos dispendidos desnecessariamente, por meio da otimização dos procedimentos logísticos.

### **3. Fundamentação Teórica**

O objetivo geral do PCE consiste em: arranjar os itens dentro dos objetos, no caso empacotamento; e determinar uma forma de cortar os objetos, produzindo itens, no caso do corte. Como é perceptível existe uma forte relação entre o corte e o empacotamento, que resulta da dualidade entre o material sólido e espaço. O corte pode ser visto como um problema de cortar o espaço vazio dos objetos em partes do espaço que serão ocupadas por itens, enquanto o empacotamento pode ser abordado como o problema de empacotar o espaço ocupado pelos itens, no espaço ocupado pelos objetos.

Os objetos e os itens podem ser definidos em uma, duas ou três dimensões. Os problemas de corte unidimensional levam em consideração apenas um eixo das coordenadas para distribuição do corte como, por exemplo, o corte de barras de ferro. Os itens são selecionados e agrupados em conjuntos que são atribuídos aos objetos de modo que: todos os itens de um conjunto devem caber inteiramente no objeto ao qual foram atribuídos; e os itens devem ser alocados nos objetos sem sobreposição. São utilizadas diferentes denominações para o PCE, como por exemplo: Problema de Corte de Estoque (*Cutting Stock Problem*); *Bin Packing Problem*; *Strip Packing Problem*; e Problema da Mochila (*Knapsack Problem*).

Para o PCE do tipo *Bin Packing*, MIURA (2008) escreve que os mesmos são fundamentais no planejamento da produção de vários segmentos industriais, cujo objetivo é minimizar os efeitos negativos gerados por desperdício de materiais e também relevante no planejamento logístico como armazenagem, movimentação e transporte, visando minimizar espaços ociosos.

XAVIER (2006) realizou um estudo na área de otimização combinatória, mais especificamente, sobre PCE. Trata-se de uma grande classe de problemas onde há um ou mais objetos grandes  $n$ -dimensionais, chamados de recipientes, e vários objetos menores também  $n$ -dimensionais chamados de itens. O objetivo é empacotar itens dentro de recipientes maximizando ou minimizando uma dada função objetivo. Talvez os dois PCEs mais conhecidos sejam o *Bin Packing Problem* e o *Knapsack Problem*. No primeiro problema há uma lista de itens e um número infinito de recipientes iguais e o objetivo é empacotar todos os itens no menor número de recipientes possível. No segundo problema, são considerados: um único recipiente; e uma lista de itens, cada um com determinado valor, sendo o objetivo empacotar os itens da lista que maximizem a soma de seus valores.

Para o presente trabalho, o problema é otimizar o arranjo físico de caixas, contendo peças de montagem; essas caixas devem ser designadas para carrinhos tubulares que, por sua vez, são posicionados na borda de linha de uma Estação de Trabalho (ET). As caixas possuem diferentes dimensões.

### **3.1. Trabalhos Correlatos**

A seguir estão descritos, sucintamente, alguns trabalhos relacionados aos PCEs. SILVA e SOMA (2003) apresentam um algoritmo polinomial para um problema de empacotamento de contêineres com estabilidade estática da carga na qual o principal objetivo é apresentar uma técnica que encontre boas soluções para o empacotamento de *bins*

tridimensionais (3D-BPP) com a restrição adicional que os itens empacotados estejam em equilíbrio dentro dos *bins*. O procedimento para o preenchimento dos itens dentro dos *bins* utiliza o princípio da alocação em pontos de cantos. O problema é NP-difícil. Os autores apresentam grande quantidade de experimentos computacionais para problemas com até 90 itens (com e sem estabilidade estática) e os resultados foram comparados com os já obtidos da literatura.

ROSIN *et al.* (2009) escrevem que o problema de *Bin Packing* com *bins* heterogêneos, ou de tamanho variável, é uma generalização do tradicional problema de *Bin Packing* no qual *bins* de diferentes capacidades (e diferentes custos) estão disponíveis para a alocação de um conjunto de objetos cujos pesos são conhecidos. O objetivo dos autores foi alocar todos os objetos ou itens de modo a minimizar o custo total dos *bins* utilizados. Ao contrário do problema de *Bin Packing* tradicional, em que os *bins* são idênticos, o trabalho apresenta um problema mais complexo e ainda pouco explorado na literatura. O trabalho é motivado pela sua aplicação em problemas de distribuição de produtos e mercadorias, nos quais entregas devem ser alocadas a veículos de uma frota heterogênea de tal forma que o custo da frota requerida para atendimento de todas as entregas seja minimizado e as capacidades dos veículos não sejam violadas.

MIURA (2008) trata o problema de agrupamento de cargas fracionadas na distribuição de cimento ensacado partindo de um depósito central. O problema consiste em definir quais entregas de cimento serão carregadas juntas em um determinado veículo, de modo a aproveitar ao máximo sua capacidade e, ao mesmo tempo, reduzir o custo com o frete pago aos transportadores que farão sua distribuição. O método de resolução proposto foi dividido em três fases: na primeira, as entregas pertencentes a um mesmo cliente são agrupadas prioritariamente. Na segunda, são agrupadas as entregas de clientes dentro de uma mesma cidade sendo que, neste caso, foi considerado que as entregas estão localizadas em um único ponto. Assim, a distância entre os clientes se torna irrelevante e é proposto um método baseado em Algoritmos Genéticos para resolução do problema de *Bin Packing*. Na terceira, é considerado o agrupamento para pontos de entrega pertencentes a cidades diferentes, onde as distâncias rodoviárias são consideradas. Nessa fase é proposta uma variação do método anterior e são incorporadas ao modelo algumas heurísticas para a resolução de problemas de roteirização de veículos.

## **3.2. Técnicas Utilizadas**

Nesta seção são apresentadas as quatro técnicas utilizadas para resolver o problema abordado descrito na seção 2.

### **3.2.1. *First Fit Decreasing* (FFD)**

O algoritmo FFD resolve o PCE para diversos objetos. Para FARIA (2006), o funcionamento deste algoritmo baseia-se na ideia de que há uma fila de itens a serem encaixados nos objetos; se o primeiro item não utilizado puder ser encaixado na solução corrente, deverá ser iniciada outra solução. O algoritmo FFD utiliza apenas a restrição física do problema, não fazendo mais nenhuma restrição aos itens que serão utilizados na solução.

### **3.2.2. *First Fit* (FF)**

O FF é do tipo *on-line*, ou seja, os itens a serem empacotados não são conhecidos previamente, o que difere do FFD. Ainda para FARIA (2006), os dois métodos trabalham tentando inserir um a um estes itens nos *bins* já existentes na solução, testando cada *bin* na ordem em que foram criados, verificando se estes possuem espaço para armazená-los. Caso ainda não tenha sido criado nenhum *bin* ou todos os *bins* criados não possuam espaço suficiente para armazenar um item será criado um novo *bin* onde será empacotado este item.

### **3.2.3. *Best-Fit* (BF)**

O BF, também considerado do tipo *on-line*, a cada alocação todos os objetos são avaliados e o que apresentar a menor sobra de espaço após a alocação é selecionado, sendo que o desempate é feito a favor do menor índice. Nota-se que é equivalente a escolher o objeto com o maior nível. Assim, um novo objeto é aberto quando não é possível alocar um item em nenhum dos objetos anteriores.

### **3.2.4. *Best-Fit-Decreasing* (BFD)**

O BFD, semelhante ao FFD, consiste em ordenar o objeto com os itens em ordem decrescente de tamanho antes de aplicar o BF. Por causa do conhecimento prévio sobre toda a instância, esse algoritmo é *off-line*, onde todos os dados do problema são conhecidos pelo

algoritmo previamente, e justamente pela possibilidade de ordenação prévia, garantem melhor desempenho.

#### 4. Metodologia Adotada

Para solucionar o problema apresentado, ou seja, otimizar a posição das caixas e maximizar a sua quantidade dentro de cada carrinho, primeiramente foi organizada a Tabela 1, que apresenta as dimensões das caixas. Na primeira coluna “Descrição” está o nome da peça; na segunda coluna “Quantidade” é a quantidade de caixas necessárias para o lote de peças e na última coluna, “Dimensão”, estão as dimensões das caixas (largura e comprimento) dadas em milímetros.

Para execução dos quatro algoritmos, FF, FFD, BF e BFD, visando otimizar o arranjo das caixas dentro dos carrinhos, foram seguidos os seguintes passos:

- a) Considerar a dimensão de área interna do carrinho como sendo 1970 mm x 830 mm; como serão utilizados algoritmos de corte unidimensional, a dimensão utilizada como restrição é de 1970 mm, ou seja, a maior dimensão;
- b) O número de carrinhos a ser utilizado é 4 unidades; como cada carrinho possui 3 níveis ou prateleiras, a quantidade de objetos considerada é de 3 por carrinho, totalizando 12 objetos. As caixas seriam os itens a serem distribuídos em cada um dos 3 níveis de cada carrinho;
- c) Agrupar peças similares que são embaladas em mais de uma caixa. Esta quantidade é destacada em negrito na coluna “Quantidade” da Tabela 1. O objetivo de unir essas caixas é para que essas peças permaneçam juntas em um mesmo carrinho na execução dos algoritmos;
- d) Definir, peça por peça, as dimensões que ficarão no comprimento do carrinho, de acordo com a dimensão da caixa (comprimento x largura); a seleção foi feita manualmente. As células identificadas em amarelo nas Tabelas 1 e 2 são as dimensões que ficarão no comprimento do carrinho. As caixas só poderão ser alocadas “em fila” (uma atrás da outra), se as peças nelas contidas forem as mesmas. A Figura 1 mostra um exemplo de arranjo da peça “Moldura do comando de botão”, a qual o requer um total de 6 caixas, sendo que elas estão dispostas no carrinho em 3 fileiras.
- e) Após determinar a posição na prateleira, qual dimensão da caixa ficará no comprimento ou largura do carrinho, a Tabela 2, na coluna “Quantidade Fileira”, fornece o número de fileiras de caixas para uma determinada peça que é possível alocar no carrinho, ou seja, se

a quantidade de caixas é 6, a coluna “Quantidade de fileiras” mostrará em quantas fileiras é possível distribuir essas caixas.

Tabela 1 - Dimensões das caixas

Descrição	Quantidade	Dimensão (mm)	
MOLDURA DO COMANDO DE BOTÃO	6	365	470
TAMPA DE REVESTIMENTO	4	200	290
ACABAMENTO INFERIOR ESQUERDO	4	360	470
ACABAMENTO INFERIOR DIREITO	4	360	465
SAÍDA DO AR CENTRAL	4	360	470
ACABAMENTO CENTRAL ESQUERDO	4	360	470
ACABAMENTO CENTRAL DIREITO	4	360	470
ACABAMENTO PLÁSTICO CENTRAL	4	240	370
ACABAMENTO DE SAÍDA DE AR CS	4	465	730
ESTRUTURA DE APOIO COPOS	4	360	470
APOIO DO RADIO	4	365	480
BARRA	2	225	730
MOLDURA DO RÁDIO	2	230	725
MANGUEIRA 1	2	225	730
MANGUEIRA 2	2	225	730
COMANDO DE BOTÃO	2	360	470
CAPA DE CABOS	2	360	480
PEÇA PLÁSTICA	2	480	735
ABRAÇADEIRA DE MANGUEIRA 1	1	200	290
ABRAÇADEIRA DE MANGUEIRA 2	1	200	290
ABRAÇADEIRA DE MANGUEIRA 3	1	200	290
PLÁSTICO SAÍDA DE AR CENTRAL 1	1	470	725
CAPA PLÁSTICA DE ABERTURA	1	180	235
BARRA ESTABILIZADORA	1	360	475
CANALIZADOR DE CHUVA	1	360	475
ABRAÇADEIRA DE MANGUEIRA 4	1	200	290
CAPA EMBORRACHADA	1	355	475
SAÍDA DO AR DIREITO	1	470	725
METAL DE SUPORTE ESQUERDO 1	1	180	235
METAL DE SUPORTE ESQUERDO 2	1	180	240
PLÁSTICO SAÍDA DE AR CENTRAL 2	1	230	730
PARTE INTERNA DE APOIO DE COPOS 1	1	180	235
BOTÃO DA SAÍDA DE AR	1	180	235
PARTE INTERNA DE APOIO DE COPOS 2	1	180	235
PARTE INTERNA DE APOIO DE COPOS 3	1	360	470
PEÇA INTERNA CENTRAL	1	200	290
ESPUMA	1	235	370
SAÍDA DO AR CENTRAL CS	1	460	715
RÁDIO 1	1	180	235
RÁDIO 2	1	360	470
PARAUSO PARA FIXAÇÃO DE PEÇA PLÁSTICA	1	200	290
SENSOR	1	200	290

Fonte: Os autores

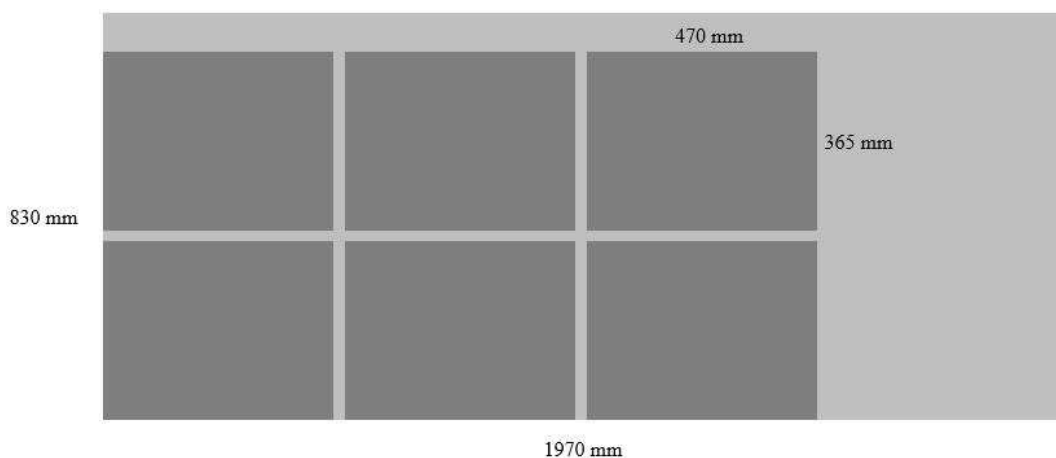


Tabela 2 – Quantidade de fileiras de caixas

Descrição	Quantidade	Dimensão (mm)		Quantidade de Fileiras
MOLDURA DO COMANDO DE BOTÃO	6	365	470	3
TAMPA DE REVESTIMENTO	4	200	290	1
ACABAMENTO INFERIOR ESQUERDO	4	360	470	2
ACABAMENTO INFERIOR DIREITO	4	360	465	2
SAÍDA DO AR CENTRAL	4	360	470	2
ACABAMENTO CENTRAL ESQUERDO	4	360	470	2
ACABAMENTO CENTRAL DIREITO	4	360	470	2
ACABAMENTO PLÁSTICO CENTRAL	4	240	370	2
ACABAMENTO DE SAÍDA DE AR CS	4	465	730	4
ESTRUTURA DE APOIO COPOS	4	360	470	2
APOIO DO RADIO	4	365	480	2
BARRA	2	225	730	1
MOLDURA DO RÁDIO	2	230	725	1
MANGUEIRA1	2	225	730	1
MANGUEIRA 2	2	225	730	1
COMANDO DE BOTÃO	2	360	470	1
CAPA DE CABOS	2	360	480	1
PEÇA PLÁSTICA	2	480	735	2

Fonte: Os autores

Figura 1 - Exemplo de posicionamento de caixas



Fonte: Os autores

## 5. Obtenção e Discussão dos Resultados

Nesta seção são apresentados e discutidos os resultados da otimização das caixas dentro dos carrinhos com a utilização dos algoritmos FF, FFD, BF e BFD, de forma comparativa.

### 5.1 Resultados para o algoritmo FF

Os resultados obtidos por meio do algoritmo FF são mostrados na Tabela 3. A primeira coluna “Nº de Objetos” fornece a quantidade total de níveis de prateleiras. A segunda coluna “Ocupação total (mm)” é o espaço ocupado pelas caixas; na terceira coluna “Perda (mm)” é o espaço vazio que não foi ocupado pelas caixas no comprimento do carrinho e, por fim, na quarta coluna “Combinação no objeto” mostra o arranjo das caixas, conforme a dimensão que foi definida para que ficasse no comprimento do carrinho, conforme Tabelas 1 e 2.

Tabela 3 – Resultados do algoritmo FF

Nº de Objetos	Ocupação total (mm)	Perda (mm)	Combinação no objeto										
1	1900	70	470	470	470	290	200						
2	1870	100	470	470	465	465							
3	1880	90	470	470	470	470							
4	1880	90	470	470	370	370	200						
5	1860	110	465	465	465	465							
6	1900	70	470	470	480	480							
7	1925	45	730	725	470								
8	1940	30	730	730	480								
9	1810	160	480	480	200	470	180						
10	1925	45	360	360	200	355	470	180					
11	1925	45	180	230	180	180	180	360	200	235	180		
12	1220	750	460	360	200	200							
<b>Total = 1.605</b>													

Fonte: Os autores

O resultado obtido pelo algoritmo FF mostra a perda de espaço em cada prateleira de acordo com o arranjo de caixas feito pelo algoritmo. A perda total é o somatório da coluna “Perda (mm)”, que resulta no valor de 1.605mm, que corresponde a soma das áreas vazias de todas as prateleiras dos 4 carrinhos.

### 5.2 Resultados para o algoritmo FFD

Os resultados obtidos pelo algoritmo FFD são mostrados na Tabela 4, onde pode-se observar que a perda total foi de 1.605mm, similar ao resultado do algoritmo FF.

Tabela 4 – Resultados do algoritmo FFD

Nº de Objetos	Ocupação total (mm)	Perda (mm)	Combinação no objeto										
1	1940	30	480	730	730								
2	1935	35	480	725	730								
3	1910	60	470	480	480	480							
4	1880	90	470	470	470	470							
5	1880	90	470	470	470	470							
6	1880	90	470	470	470	470							
7	1875	95	465	470	470	470							
8	1860	110	465	465	465	465							
9	1935	15	290	370	370	465	460						
10	1795	175	360	360	355	360	360						
11	1865	105	200	200	200	200	230	200	235	200	200		
12	1260	710	180	180	180	180	180	180	180				
<b>Total = 1.605</b>													

Fonte: Os autores

### 5.3. Resultados para o algoritmo BF

Os resultados obtidos pelo algoritmo BF são mostrados na Tabela 5; neste caso, a perda total também foi de 1.605mm.

### 5.4. Resultados para o algoritmo BFD

Os resultados obtidos pelo algoritmo BF são mostrados na Tabela 6; a perda total foi de 1.605 mm também.

## 6. Conclusões

A solução fornecida pelos quatro algoritmos utilizados forneceu a designação das caixas contendo as peças de montagem dentro dos carrinhos para a Estação de Trabalho analisada. As peças (itens) designadas para a referida estação foram alocadas de forma que ocupassem os carrinhos (objeto) deixando o mínimo de área vazia, otimizando a utilização dos mesmos.

Tabela 5 – Resultados do algoritmo BF

Nº de Objetos	Ocupação total (mm)	Perda (mm)	Combinação no objeto										
1	1900	70	470	470	470	290	200						
2	1870	100	470	470	470	465	465						
3	1880	90	470	470	470	470	470						
4	1880	90	470	470	370	370	200						
5	1860	110	465	465	465	465							
6	1900	70	470	470	480	480							
7	1935	35	730	725	480								
8	1930	40	730	730	470								
9	1810	160	480	480	200	470	180						
10	1925	45	360	360	200	355	470	180					
11	1925	45	180	230	180	180	180	360	200	235	180		
12	1220	750	460	360	200	200							
<b>Total = 1.605</b>													

Fonte: Os autores

Apesar de todos os algoritmos FF, FFD, BF e BFD apresentarem a mesma perda (1.605 mm), foi escolhido como sugestão de arranjo das caixas, o resultado fornecido pelo algoritmo BFD, por apresentar uma melhor composição (Tabela 6).

Para saber se houve ganho no tempo de ciclo na Estação de Trabalho analisada, com o arranjo das caixas dentro dos carrinhos, seria necessário realizar a implementação deste resultado na prática, comparando o tempo e composição atuais com o tempo e composição obtidos pelo algoritmo BFD.

Tabela 6 – Resultados do algoritmo BFD

Nº de Objetos	Ocupação total (mm)	Perda (mm)	Combinação no objeto											
1	1940	30	480	730	730									
2	1935	35	480	725	730									
3	1910	60	470	480	480	480								
4	1880	90	470	470	470	470								
5	1880	90	470	470	470	470								
6	1880	90	470	470	470	470								
7	1875	95	465	470	470	470								
8	1860	110	465	465	465	465								
9	1955	15	290	370	370	465	460							
10	1795	175	360	360	355	360	360							
11	1865	105	200	200	200	200	230	200	235	200	200			
12	1260	710	180	180	180	180	180	180	180					
<b>Total = 1.605</b>														

Fonte: Os autores

## REFERÊNCIAS

FARIA, Alisson Oliveira. **Otimização do Problema de corte e empacotamento unidimensional utilizando algoritmo genético**. Lavras: UFLA, 2006. 90p. Monografia (Graduação em Ciência da Computação) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

MIURA, Marcos. **Modelagem Heurística no Problema de Distribuição de Cargas Fracionadas de Cimento**. São Paulo: USP, 2008. 94f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

ROSIN, Rafael; GUAZZELLI, Cauê Sauter; CUNHA, Claudio Barbieri. Heurística para o Problema de Bin-Packing com Bins de Diferentes Tamanhos no Contexto Logístico. **XLI SBPO**, Porto Seguro, 01-09/set. 2009.

SILVA, José Lassance de Castro; SOMA, Nei Yoshihiro. Um Algoritmo Polinomial para o Problema de Empacotamento de Contêineres com Estabilidade Estática da Carga. **Pesquisa Operacional**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 1, jan./abr. 2003.

XAVIER, Eduardo Candido. **Algoritmos para Problemas de Empacotamento**. Campinas: UNICAMP, 2006. 151f. Tese (Doutorado) – Instituto de Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.