

Problemas de corte e empacotamento bidimensionais: um aplicativo inteligente para paletização de produtos

Two-dimensional cutting and packaging problems: an intelligent application for palletizing products

DOI:10.34117/bjdv7n1-464

Recebimento dos originais: 18/12/2020

Aceitação para publicação: 18/01/2021

Gerardo Valdisio Rodrigues Viana

Doutor

Universidade Estadual do Ceará

Endereço: Av. Dr. Silas Munguba, 1700 - Itaperi, Fortaleza - CE

E-mail: valdisio.viana@uece.br

Ana Luiza Bessa de Paula Barros

Doutor

Universidade Estadual do Ceará

Endereço: Av. Dr. Silas Munguba, 1700 - Itaperi, Fortaleza - CE

E-mail: analuiza.barros@uece.br

Camila Campos Colares das Dores

Mestre

Universidade Estadual do Ceará

Endereço: Av. Dr. Silas Munguba, 1700 - Itaperi, Fortaleza - CE

E-mail: camilac.colares@uece.br

Jamile Peres Pinho

Graduanda

Universidade Estadual do Ceará

Endereço: Av. Dr. Silas Munguba, 1700 - Itaperi, Fortaleza - CE

E-mail: jamille.peres@aluno.uece.br

Lucas Campelo Santiago

Graduando

Universidade Estadual do Ceará

Endereço: Av. Dr. Silas Munguba, 1700 - Itaperi, Fortaleza - CE

E-mail: lucas.campelo@aluno.uece.br

Lucas de Souza Netto Pedrette

Graduando

Universidade Estadual do Ceará

Endereço: Av. Dr. Silas Munguba, 1700 - Itaperi, Fortaleza - CE

E-mail: lucas.pedrette@aluno.uece.br

Rebeca Teófilo Siqueira

Graduanda

Universidade Estadual do Ceará

Endereço: Av. Dr. Silas Munguba, 1700 - Itaperi, Fortaleza - CE
E-mail: rebecca.teofilo@aluno.uece.br

RESUMO

Inúmeras empresas utilizam em seus processos de logística a paletização (ato de organizar produtos de forma compacta em cima de paletes) como recurso para redução de custos e otimização da utilização dos espaços nos caminhões de transporte e nos armazéns. Tal procedimento é visto pela Ciência da Computação como a representação prática de dois problemas de natureza combinatória chamados corte e empacotamento. Estes problemas são considerados extremamente complexos e, por isso, são classificados como NP-Difíceis, não possuindo algoritmos que os resolvam de forma exata em tempo polinomial. Dessa forma, para resolvê-los de modo satisfatório, lança-se mão de estratégias chamadas heurísticas que, embora não obtenham a solução exata, apresentam uma solução muito próxima da exata a um baixo custo computacional. De acordo com pesquisas prévias, existem poucas soluções disponíveis no mercado, as quais possuem alto custo, inviabilizando a utilização das mesmas por micro, pequenas e médias empresas. Esse trabalho apresenta o desenvolvimento de uma ferramenta simples e acessível, a qual utiliza os métodos heurísticos *First Fit* e *Best Fit* para resolver os problemas de corte e empacotamento de forma bidimensional, atendendo ao processo da paletização de produtos.

Palavras-chave: Bin packing, corte, empacotamento, paletização, otimização.

ABSTRACT

Many companies use palletization in their logistics processes (act of organizing products in a compact way on top of pallets) as a resource to reduce costs and optimize the use of space in transport trucks and warehouses. Such procedure is seen by Computer Science as the practical representation of two problems of a combinatorial nature called cutting and packing. These problems are considered extremely complex and, therefore, are classified as NP-Difficult, not having algorithms that solve them exactly in polynomial time. This way, to solve them in a satisfactory way, one uses strategies called heuristics that, although they do not obtain the exact solution, present a solution very close to the exact one at a low computational cost. According to previous researches, there are few solutions available in the market, which have high cost, making it impossible for micro, small and medium enterprises to use them. This work presents the development of a simple and accessible tool, which uses First Fit and Best Fit heuristic methods to solve the cutting and packaging problems in a two-dimensional way, attending the process of palletization of products.

Keywords: Bin packing, cutting, packing, palletizing, optimization.

1 INTRODUÇÃO

A paletização é um processo que consiste em organizar produtos de forma compacta, em cima de paletes, para promover uma melhor organização do estoque, e facilitar o transporte da carga dentro ou fora do estoque (MORABITO, 1992). Para muitas empresas, a paletização é algo fundamental, desde a armazenagem, passando pela expedição e transporte, até a chegada no destinatário final.

Sua utilização apresenta diversas vantagens, como redução de tempo de movimentação da carga, o que garante melhor aproveitamento homem/hora, melhor utilização dos espaços, com a verticalização em prateleiras e o acondicionamento da carga paletizada; simplificação do controle de inventário; redução significativa de avarias nos produtos; redução de furtos; diminuição nos acidentes de trabalho; redução do tempo de carregamento e descarga de caminhões; dentre outros (MORABITO, 1992).

O problema do corte consiste basicamente em determinar a melhor maneira de cortar peças maiores, de tamanho e quantidade conhecidos, para a obtenção de peças menores, de forma a atender a uma demanda com dimensões e quantidade especificada, respeitando-se determinadas restrições, e minimizando as perdas ou maximizando a utilização do objeto (GILMORE; GOMORY, 1961).

O problema do empacotamento, em sentido estrito, é caracterizado pelo uso de espaço vazio útil em objetos grandes, como veículos, carros, paletes, contentores, bins, e assim por diante. Empacotar itens pequenos nestes objetos pode ser considerado como cortar o espaço vazio dos grandes objetos em partes de espaços vazios, alguns dos quais estão ocupados por pequenos itens, sendo o restante, espaço ocioso (DYCKHOFF, 1990).

Na ciência da computação, o processo de paletização pode ser modelado como dois problemas de natureza combinatória chamados corte e empacotamento (PCE). Devido à forte relação entre os problemas de corte e os problemas de empacotamento, estes são estudados de forma conjunta, pois possuem a mesma estrutura e podem ser descritos de maneira similar. Estes problemas são, em geral, problemas de otimização combinatória, e buscam determinar um arranjo ótimo de peças menores (as quais são denominadas itens) dentro de peças maiores (objetos), obedecendo certas restrições e maximizando a ocupação dos objetos ou minimizando desperdícios (BEZERRA, 2018).

Do ponto de vista computacional, os problemas de corte e empacotamento são considerados bastante complexos, sendo classificados como problemas NP-difíceis (CINTRA, 2004). Nesse contexto, uma alternativa para solucionar esses problemas é a utilização de métodos heurísticos, que, se de um lado não garantem a obtenção da solução ótima do problema, por outro, pode dela se aproximar, garantindo soluções subótimas com baixo esforço computacional, quando comparado à utilização de métodos exatos (TEMPONI; SANTOS, 2007).

Em pesquisas realizadas na internet, não foram encontradas ferramentas gratuitas ou de baixo custo que resolvem este problema. As poucas soluções disponíveis no mercado possuem alto custo, inviabilizando a utilização das mesmas por micro, pequenas

e médias empresas. A ferramenta Cape Pack, líder no mercado mundial de paletização, possui plano básico com valor de US\$2.000,00 por mês por usuário, chegando a US\$17.250,00 por mês por usuário em seu plano mais completo (ESKO, 2020). Dessa forma, a proposta deste projeto é desenvolver uma ferramenta acessível a essas empresas, que utilize métodos heurísticos para resolver os problemas de corte e empacotamento de forma bidimensional, a fim de atender ao processo da paletização de produtos.

2 O PROBLEMA

Os problemas de corte e de empacotamento possuem em comum o fato de se dividir a matéria-prima ou espaço (objetos grandes) em partes menores (itens) de dimensões e formas definidas. Pode-se pensar, por exemplo, em cortar couro de maneira a obter menos retalhos, ou acomodar vários tipos de alimentos dentro de uma caixa, de forma a reduzir o total de espaços vazios, sempre pensando, portanto, na melhor utilização do material ou do espaço disponível (BEZERRA, 2018).

No caso dos problemas de corte, os objetos grandes são dados por materiais sólidos cortados em pequenos itens como peças. Materiais usuais são papel e celulose, metal, vidro, madeira, plásticos, couro e têxteis (DYCKHOFF, 1990). O objetivo é minimizar os desperdícios que têm um impacto direto nos custos de produção. Os problemas de empacotamento, em sentido estrito, são caracterizados por objetos grandes, definidos como o espaço vazio útil dos veículos, carros, paletes, contentores, bins, e assim por diante. Empacotar itens pequenos nestes objetos também pode ser considerado como cortar o espaço vazio dos grandes objetos em partes de espaços vazios, alguns dos quais estão ocupados por pequenos itens, sendo o outro espaço ocioso (DYCKHOFF, 1990). É necessário que se planeje como será feito o empacotamento, de modo que se minimize este espaço ocioso.

De acordo com Temponi e Santos (2007), as estruturas lógicas comuns aos problemas de corte e de empacotamento são um conjunto de objetos maiores, chamados de objetos, e um conjunto de objetos menores, chamados de itens. Os objetos e os itens podem ser definidos em uma, duas ou três dimensões. Os itens, selecionados e agrupados em conjuntos, são atribuídos aos objetos de modo que todos os itens de um conjunto devem caber inteiramente no objeto ao qual foram atribuídos e devem ser colocados nos objetos sem sobreposição.

Os problemas de corte e de empacotamento bidimensionais pertencem a uma classe de problemas onde objetos e itens são classificados por duas dimensões

geométricas. Segundo Andrade et al. (2006), nos problemas bidimensionais, os padrões de corte precisam obedecer diversas restrições físicas impostas pelo tipo de material e pelos equipamentos de corte. Uma dessas restrições é com relação ao tipo de corte, que pode ser guilhotinado, quando o corte se estende de um lado ao outro do objeto, produzindo, a cada corte, dois retângulos; ou não guilhotinado, se o corte acompanhar o contorno do item, sem descaracterizar o objeto. O problema também pode considerar, ou não, a rotação ortogonal dos itens.

3 HEURÍSTICAS PARA PROBLEMAS DE CORTE E EMPACOTAMENTO

Algoritmos heurísticos são aqueles que não apresentam garantia de determinação da solução ótima para o problema estudado. Os métodos aproximativos podem se enquadrar nesta categoria, acrescentando-se que, para estes casos, são conhecidas propriedades com garantia do pior caso. Existem muitos algoritmos aproximados que tratam de problemas de corte e empacotamento (WÄSCHER; GAU, 1996). Alguns destes algoritmos, para problemas com duas dimensões ou mais, são ditos algoritmos de níveis, uma vez que os itens são empacotados em níveis, da esquerda para direita, e o início de um novo nível coincide com o topo do item mais alto do nível anterior. A grande vantagem é que os algoritmos de níveis são rápidos e geram padrões guilhotináveis (ANDRADE et al., 2006).

Por conta de sua boa relação custo-benefício (simplicidade e eficiência), decidiu-se neste trabalho pelo uso e implementação dos algoritmos *First Fit Decreasing Height* e *Best Fit Decreasing Height*.

Segundo Ortmann (2010), o algoritmo *First Fit Decreasing Height* (FFDH) foi desenvolvido por Coffman et al. (1980), e é uma adaptação bidimensional do algoritmo *First Fit Decreasing* para o problema de empacotamento unidimensional de Johnson (1974). O primeiro passo do algoritmo consiste em organizar os itens em ordem decrescente de altura. O primeiro nível então é inicializado com o primeiro item da lista. O nível da altura agora corresponde à altura do item alocado. Os demais itens são alocados sequencialmente da seguinte forma: seja o primeiro nível criado, se o próximo item da lista cabe no nível, empacota-se este item no nível atual. Se ele não couber, então tenta-se inseri-lo no próximo nível, e assim sucessivamente, até que o algoritmo encontre algum nível em que exista espaço suficiente para alocá-lo. Caso o item não caiba em nenhum nível existente, então cria-se um novo nível acima do último nível criado, e atualiza-se a

quantidade de níveis criados. Em seguida, empacota-se o item L_i no canto esquerdo deste novo nível, acima do primeiro item do nível anterior.

Em relação ao algoritmo *Best Fit Decreasing Height* (BFDH), ainda segundo Ortmann (2010), os primeiros estudos foram realizados por Coffman; Shor (1990), e é uma adaptação bidimensional do algoritmo *Best Fit Decreasing* para o problema de empacotamento unidimensional de Johnson et al. (1974). Neste algoritmo são verificadas as áreas restantes de cada nível já criado, sendo o item inserido na área onde o espaço for mais bem utilizado, ou seja, onde a área restante após sua inserção seja menor. O algoritmo é similar ao FFDH no sentido de permitir que níveis anteriormente criados sejam revisitados.

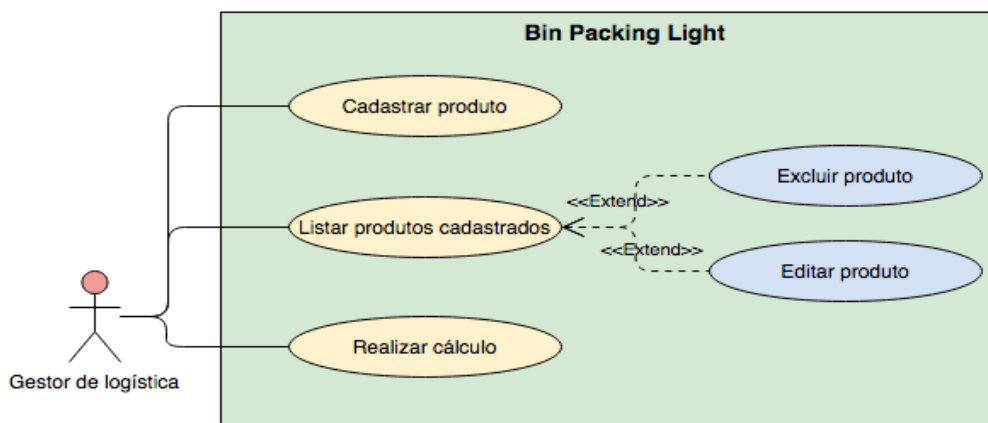
4 A APLICAÇÃO BIN PACKING LIGHT

A aplicação Bin Packing Light foi concebida para ser um ambiente web responsivo e desenvolvida utilizando o PHP como linguagem de *back-end* e HTML+CSS como linguagens de *front-end*. O SGBD utilizado foi o MySQL. Para plotar a saída do cálculo de posicionamento dos produtos no palete, utilizou-se a biblioteca Canvas.

Conforme pode ser visto na Figura 1, a aplicação possui cinco casos de uso. São eles:

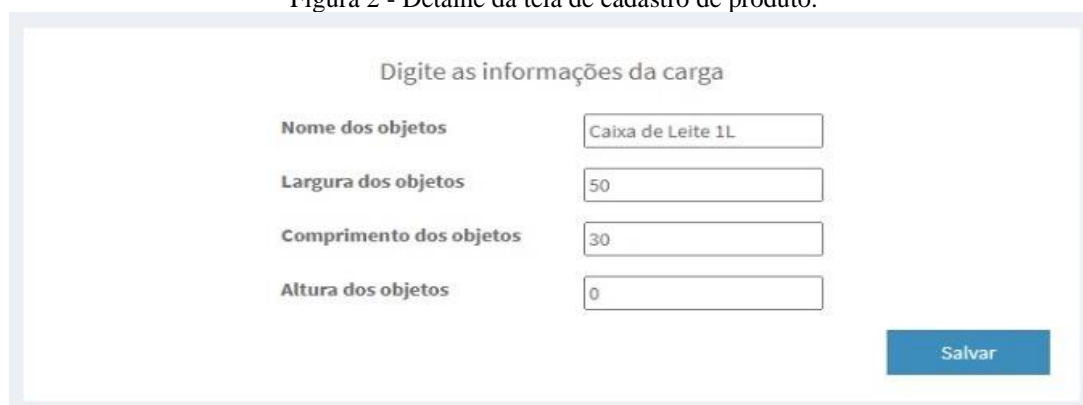
- Cadastrar produto: é possível cadastrar um produto.
- Listar produtos cadastrados: é possível visualizar todos os produtos cadastrados e, além disso, pode-se alterar os dados de um produto (Editar produto) ou excluí-lo (Excluir produto).
- Realizar cálculo: é possível escolher um produto previamente cadastrado, definir as dimensões do palete onde deseja-se armazenar diversos itens desse produto e, por fim, realizar o cálculo de posicionamento ótimo dos itens.

Figura 1 - Diagrama de casos de uso da aplicação. Fonte: os próprios autores.



Na Figura 2 é destacado um detalhe da tela que implementa o caso de uso "Cadastrar produto". Os campos nome, comprimento e largura são de preenchimento obrigatório. Opcionalmente pode-se informar a altura do produto.

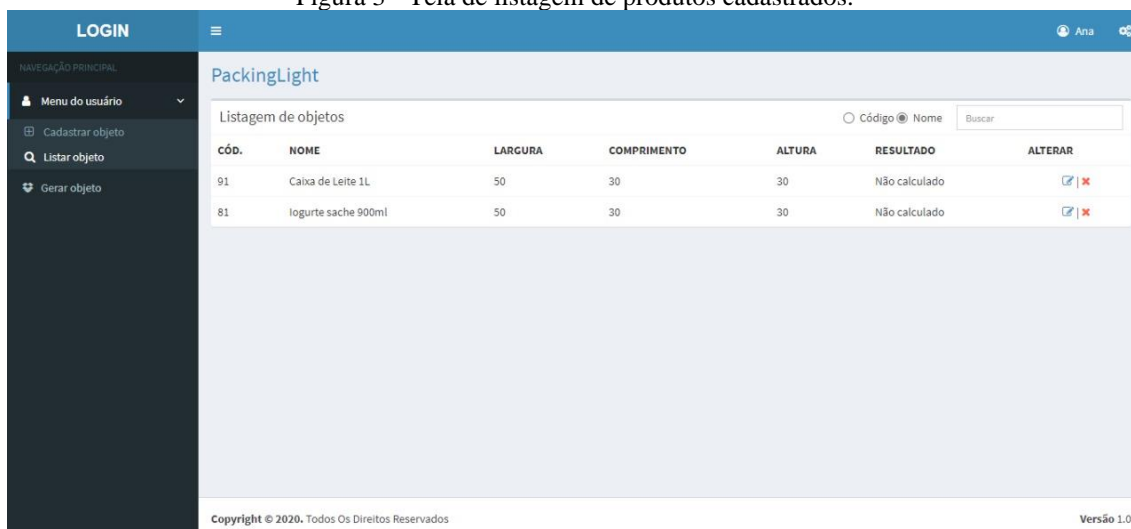
Figura 2 - Detalhe da tela de cadastro de produto.



Fonte: os próprios autores

A Figura 3 mostra o caso de uso "Listar produtos cadastrados". Para cada produto é possível alterar dados e excluir o cadastro.

Figura 3 - Tela de listagem de produtos cadastrados.



The screenshot shows a web application interface for 'PackingLight'. On the left is a dark sidebar with a 'LOGIN' header and a 'Menu do usuário' dropdown containing 'Cadastrar objeto', 'Listar objeto', and 'Gerar objeto'. The main content area has a blue header with 'PackingLight' and a user profile 'Ana'. Below the header is a search bar with radio buttons for 'Código' and 'Nome', and a 'Buscar' button. The main area contains a table with the following data:

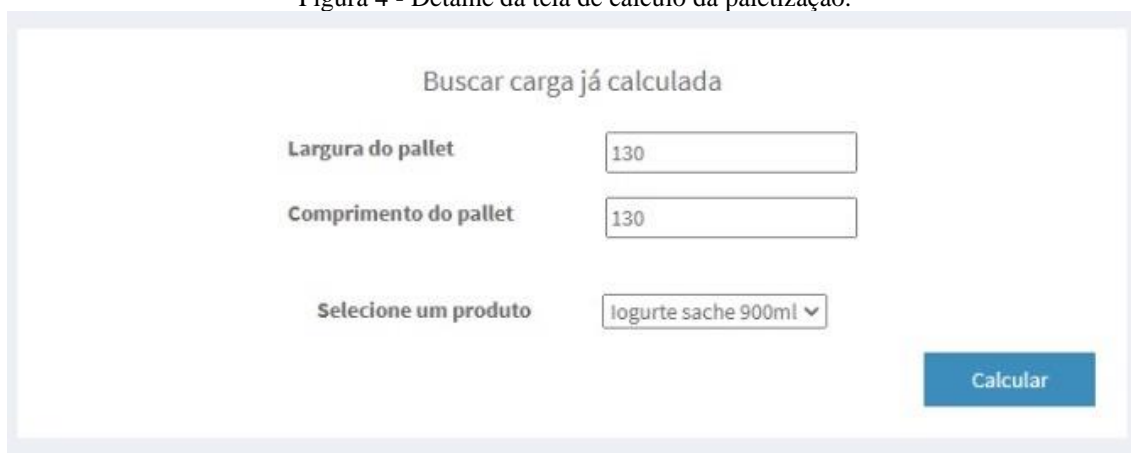
CÓD.	NOME	LARGURA	COMPRIMENTO	ALTURA	RESULTADO	ALTERAR
91	Caixa de Leite 1L	50	30	30	Não calculado	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
81	Iogurte sache 900ml	50	30	30	Não calculado	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

At the bottom of the page, there is a copyright notice: 'Copyright © 2020. Todos Os Direitos Reservados' and a version number: 'Versão 1.0'.

Fonte: os próprios autores.

Um detalhe da tela de cálculo é mostrado na Figura 4. Nela é possível informar as dimensões do pallet e o produto que se deseja posicionar. Destaca-se que o produto já deve ter sido previamente cadastrado no sistema.

Figura 4 - Detalhe da tela de cálculo da paletização.

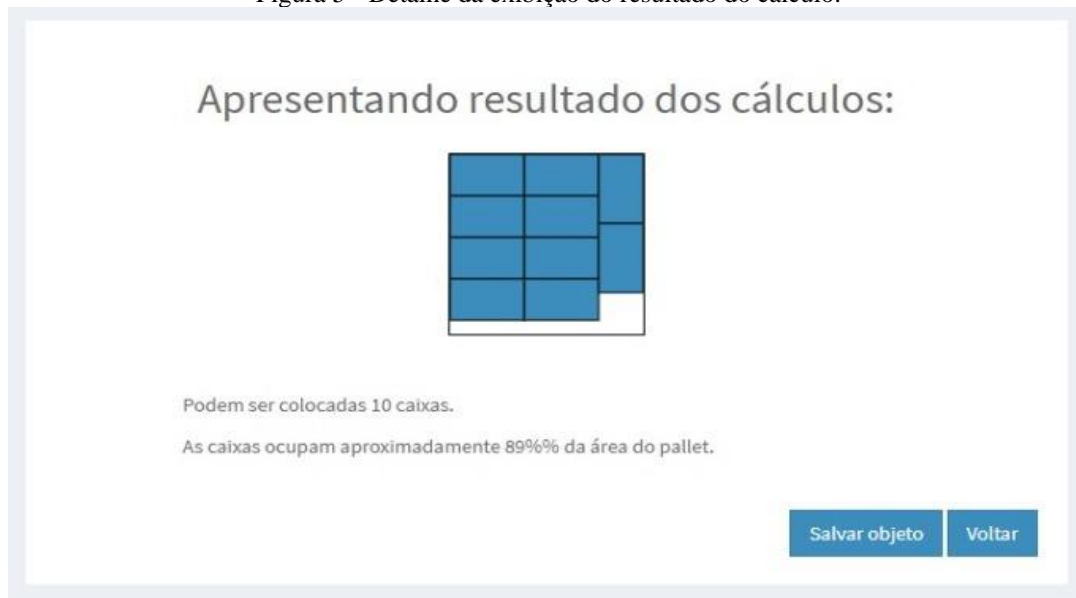


The screenshot shows a form titled 'Buscar carga já calculada'. It contains three input fields: 'Largura do pallet' with the value '130', 'Comprimento do pallet' with the value '130', and 'Selecione um produto' with a dropdown menu showing 'Iogurte sache 900ml'. A blue 'Calcular' button is located at the bottom right of the form.

Fonte: os próprios autores.

O resultado do cálculo é mostrado na Figura 5. Nesta tela são exibidas a sugestão de distribuição dos produtos em uma camada do pallet, a quantidade de itens alocados em cada camada, e o percentual de aproveitamento da área do pallet. Para concretização do processo de paletização, deve-se construir várias camadas idênticas, porém rotacionadas, a fim de possibilitar o equilíbrio da carga.

Figura 5 - Detalhe da exibição do resultado do cálculo.



Fonte: os próprios autores.

5 PROVA DE CONCEITO

Em parceria com uma indústria sediada no Estado do Ceará, foi realizada uma prova de conceito do uso do sistema. Foram selecionados para o teste os 5 produtos com maior demanda de transporte. Suas dimensões e respectivos lastros praticados pela empresa estão demonstrados na Tabela 1. O lastro é a quantidade máxima de caixas do produto que a empresa consegue acomodar em 1 camada do pallet. Nesta tabela também são apresentados o lastro otimizado (calculado pelo sistema) e o percentual de ganho.

Tabela 1 - Dados da prova de conceito

Código do produto	Larg.	Compr.	Lastro empresa	Lastro otimizado	% de ganho
01	28,0cm	40,0cm	8	9	12,5%
02	16,0cm	38,0cm	17	18	5,9%
03	22,0cm	33,0cm	13	15	15,4%
04	33,5cm	47,0cm	6	6	0%
05	26,5cm	39,0cm	9	9	0%

O produto **01** teve seu lastro aumentado de 8 para 9 caixas. A perda no pallet que era inicialmente de 25,3% da área reduziu-se para 16% (representando um ganho de 12,5%).

O produto **02** teve seu lastro aumentado de 17 para 18 caixas. A perda no pallet que era inicialmente de 13,9% da área reduziu-se para 8,8% (representando um ganho de 5,9%).

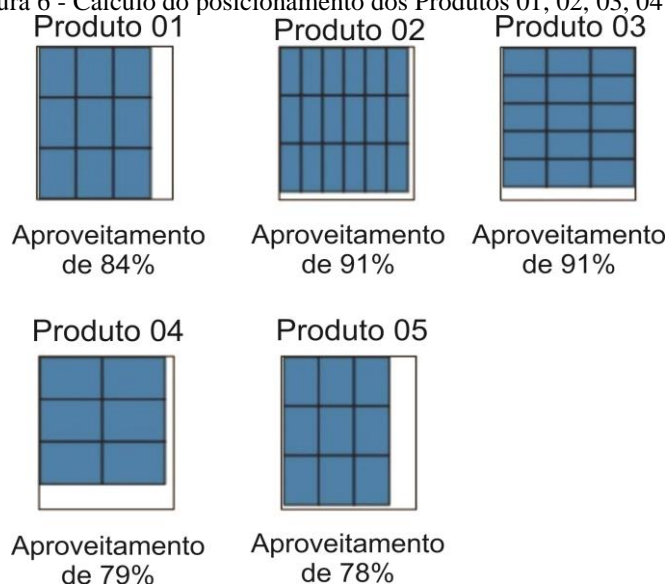
O produto **03** teve seu lastro aumentado de 13 para 15 caixas. A perda no pallet que era inicialmente de 21,4% da área reduziu-se para 9,3% (representando um ganho de 15,4%).

Os produtos **04** e **05** não tiveram seus lastros otimizados.

A média de ganho de utilização da área do pallet para os produtos estudados foi de 6,8%. Ao considerar as alturas dos pallets praticadas pela empresa, os novos lastros otimizados e as demandas semanais de transporte, há um aumento de 8.904 caixas para 10.368 caixas paletizadas, correspondendo a uma melhoria de 16,4%.

Na Figura 6 são mostrados os resultados dos cálculos de posicionamento dos cinco produtos.

Figura 6 - Cálculo do posicionamento dos Produtos 01, 02, 03, 04 e 05



6 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou uma ferramenta computacional simples, que utiliza métodos heurísticos para resolver os problemas de corte e empacotamento de forma bidimensional, a fim de atender ao processo da paletização de produtos. Através da prova de conceito realizada em uma indústria, evidenciou-se que a ferramenta é capaz de otimizar o processo de paletização realizado, gerando uma considerável economia à empresa.

Como trabalho futuro pretende-se agregar à ferramenta algoritmos que permitam também o empacotamento de itens diferentes entre si (com dimensões de largura, comprimento e altura distintos).

REFERÊNCIAS

ANDRADE, C. E. d. et al. Um algoritmo exato para o Problema de Empacotamento Bidimensional em Faixas. Dissertação (Mestrado) — Universidade Estadual de Campinas, 2006.

BEZERRA, V. M. R. Problemas de empacotamento bidimensional em níveis: estratégias baseadas em modelagem matemática. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2018.

CINTRA, G. F. Algoritmos para problemas de corte de guilhotina bidimensional. Tese (Doutorado) — Instituto de Matemática e Estatística da Universidade de São Paulo, 01/04/2004., 2004.

COFFMAN JR, E. G.; GAREY, M. R.; JOHNSON, D. S.; TARJAN, R. E. Performance bounds for level-oriented two-dimensional packing algorithms. *SIAM Journal on Computing*, SIAM, v. 9, n. 4, p. 808–826, 1980.

COFFMAN JR, E.; SHOR, P. Average-case analysis of cutting and packing in two dimensions. *European Journal of Operational Research*, Elsevier, v. 44, n. 2, p. 134–144, 1990.

DYCKHOFF, H. A typology of cutting and packing problems. *European Journal of Operational Research*, Elsevier, v. 44, n. 2, p. 145–159, 1990.

ESKO. Cape pack, plans and pricing, 2020. Disponível em: <<https://www.esko.com/en/products/cape-pack/buy>>. Acesso em: 01 de nov. de 2020.

GILMORE, P. C.; GOMORY, R. E. A linear programming approach to the cutting-stock problem. *Operations research*, INFORMS, v. 9, n. 6, p. 849–859, 1961.

JOHNSON, D. S. Fast algorithms for bin packing. *Journal of Computer and System Sciences*, Elsevier, v. 8, n. 3, p. 272–314, 1974.

MORABITO Reinaldo. Uma Abordagem em Grafo E/OU para o Problema do Empacotamento: Aplicação ao Carregamento de Paletes e Contêineres. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) –Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, 1992.

ORTMANN, F. Heuristics for offline rectangular packing problems. Tese (Doutorado) — Stellenbosch: University of Stellenbosch, 2010.

TEMPONI, E. C. C.; SANTOS, F. A. dos. Uma metaheurística híbrida grasp-ils aplicada à solução do problema de corte bi-dimensional guilhotinado. XXXIX Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Fortaleza. Anais... Fortaleza, 2007.

VAZIRANI, V. *Approximation Algorithms*, Springer, 2001.

WÄSCHER, G.; GAU, T. Heuristics for the integer one-dimensional cutting stock problem: a computational study. *OR Spektrum*, 1996.