



AUTORES

JOÃO NUNO TAVARES
Faculdade Ciências -
Universidade Porto
jntavar@fc.up.pt

JOÃO PEDRO PEDROSO
Faculdade Ciências -
Universidade Porto
jpp@fc.up.pt

OTIMIZADOR DE CARGA EM CONTENTORES

Fomos confrontados com o problema prático de embalar tubos num contentor. Mais concretamente, dada uma encomenda de vários tubos (para saneamento, condutas de abastecimento de água, etc.) há que calcular o número mínimo de contentores que devem ser utilizados para transportar os tubos da encomenda (*bin-packing problem*). A complexidade do problema aumenta dada a possibilidade de *telescopagem* dos tubos, isto é, os tubos podem ser colocados dentro de outros tubos de forma recursiva.

História. A empresa FERSIL (Cesar, Oliveira de Azeméis, Portugal), fabricante de tubos de plástico, realizava manualmente a distribuição dos vários tubos de uma encomenda (na ordem dos milhares) por vários contentores, tentando minimizar o seu número. Este processo era tratado pelos funcionários da empresa, com alto nível de qualificação, por um processo de tentativa-erro, com o auxílio de uma folha Excel. Este processo envolvia tempos elevados de resposta aos pedidos dos clientes, com altos custos operacionais. Após um estudo completo dos requisitos, a Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (FCUP), através do gabinete de prestação de serviços GEMAC (Gabinete de Estatística, Modelação e Aplicações Computacionais) celebrou um contrato para criação de um algoritmo de otimização de carga em contentores, e sua implementação computacional, que permitiu uma solução automática para o problema referido.

PROBLEMA MATEMÁTICO.

Os problemas de empacotamento de círculos têm a sua origem na indústria de tubos, onde os custos de transporte representam uma fração importante do custo total da entrega do produto. Os tubos são produzidos por uma máquina de extração contínua e cortados com um

comprimento igual ao do recipiente dentro do qual serão enviados.

Antes de serem colocados no recipiente, eles podem ser inseridos dentro de outros tubos mais grossos, de modo que o uso do espaço do recipiente seja maximizado – um processo chamado telescopagem. Como todos os tubos ocupam o comprimento total do recipiente, maximizar a carga do recipiente é equivalente a maximizar a área preenchida com círculos (ou, mais precisamente, anéis/anéis) numa secção transversal do contentor.

Neste projeto, propusemos um método heurístico que provou ser capaz de produzir soluções muito boas para fins práticos.

Descrevemos a seguir, muito sucintamente, uma forma possível de abordar este problema. Quando se embala um tubo (que tratamos como um círculo) no recipiente retangular, este tubo é telescopado com outros tubos mais finos. A telescopagem é feita de uma maneira recursiva, isto é, qualquer tubo colocado no interior pode ser preenchido com tubos mais finos disponíveis; isso é tentado recursivamente até não haver candidatos que possam ser inseridos. Após a conclusão da telescopagem, o tubo externo (que tem possivelmente outros tubos internos) é inserido no contentor; isso corresponde ao problema mais comum

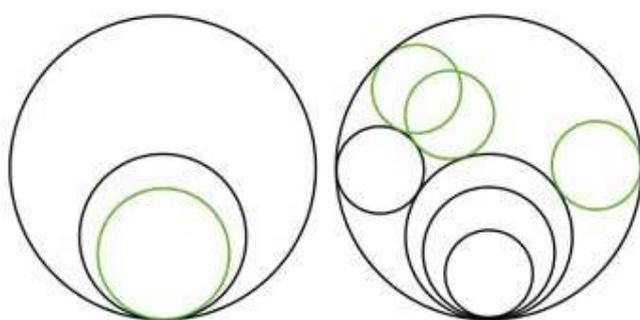


Figura 1. Possibilidades de empacotamento de círculos dentro de outro círculo (telescopagem): possibilidades de posicionamento, dados círculos fixos (a preto). Ver referência [1].

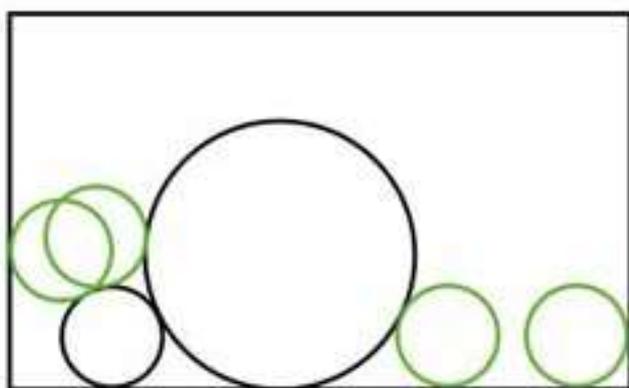


Figura 2: Possibilidades de empacotamento de círculos dentro de um retângulo: possibilidades de posicionamento, dados círculos fixos (a preto). Ver referência [1].

de agrupar círculos diferentes num contentor retangular. A ideia básica para escolher o local de colocação de um círculo é torná-lo tangente a dois outros objetos (a exceção é o primeiro círculo sendo empacotado dentro de um círculo; este é colocado na parte inferior, como mostra a figura 1). Pontos possíveis para a colocação de um círculo tangente a dois objetos são apresentados nas figuras 1 e 2.

Uma heurística para posicionar um círculo consiste em escolher posição de menor ordenada entre as posições possíveis para cada círculo e, para desempate, seleccionar a posição mais à esquerda entre posições com a mesma (menor) ordenada.

Essas ferramentas especificam um procedimento *ávido* para obter soluções para a versão de minimização de contentores nos problemas de empacotamento de círculos (RCPP): criar sequencialmente novos contentores para o embalamento de tubos, inserindo em cada um deles tubos telescopados, até que a lista de tubos remanescentes

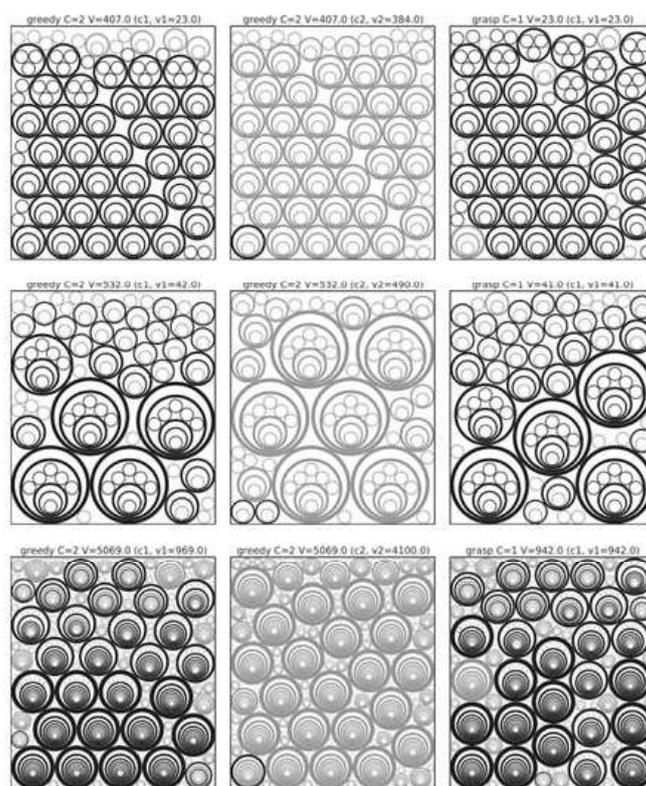


Figura 3. Gráficos de soluções obtidas com construção ávida (esquerda e centro) e com GRASP (mediana de soluções obtida em 25 observações independentes, à direita) para pequenas instâncias: s03i1 (topo), s05i1 (centro) e s16i1 (inferior). Os tubos requeridos estão representados a preto e os não requeridos a cinza. Ver referência [1].

esteja vazia.

Quanto à versão de maximização de carga, o procedimento é adaptado da seguinte forma: após o acondicionamento de um contentor com os tubos exigidos, o contentor e os tubos internos são preenchidos com tubos não requeridos, novamente de forma ávida. Isso é feito a partir do tubo mais valioso não requerido, até que nenhum tubo adicional possa ser inserido sem se sobrepor, ou até que a lista de tubos não solicitados esteja vazia. Novos contentores são abertos apenas enquanto houver tubos exigidos não embalados.

Este problema é mais geral que o empacotamento de círculos, que é conhecido, na teoria da complexidade computacional, por ser do tipo NP. Um outro fator de complexidade resulta do facto de haver encomendas com tubos de vários comprimentos. Este problema foi também abordado, resultando na criação de um algoritmo de divisão longitudinal ótima do contentor em módulos (subconten-

tores virtuais).

Neste curto artigo, não é possível detalhar os modelos de otimização que foram usados. Estes modelos, suas limitações, e os algoritmos construídos estão extensivamente descritos na referência [1], para a qual remetemos a atenção do leitor mais interessado. Na figura 3 apresentamos algumas das soluções obtidas.

IMPLEMENTAÇÃO.

Foi proposto um algoritmo baseado num procedimento de busca adaptativa, com componente aleatória (GRASP = *greedy randomized adaptive search procedure*) sendo o seu desempenho avaliado num conjunto de instâncias de referência.

1. Estudos preliminares (quatro meses) – O objetivo desta fase foi a caracterização das necessidades reais dos promotores e a especificação do modus operandi, métodos e programas do *software* para a entrega do *workflow*, e as características necessárias para uma melhor integração no sistema de informação da Fersil.

2. Desenvolvimento de Algoritmo de Estudo e Distribuição (oito meses) - Esta fase consistiu no estudo, na modelação matemática e em rotinas de desenvolvimento que otimizam a colocação de dos tubos, incluindo a possibilidade de telescopagem. A abordagem final usou técnicas GRASP (*random and greedy adaptive search procedure*). Foram desenvolvidos códigos em Python, para empacotamento 3D de caixas, e para empacotamento e telescopagem de tubos.

RESULTADOS.

Com a implementação do programa de otimização de carga de contentores, destinado a aumentar a eficiência a curto

prazo dos processos associados ao orçamento e à execução de carga, conseguiu-se um impacto muito significativo na redução do custo desses processos e melhorias significativas na qualidade dos serviços prestados a clientes, com impacto imediato na sua satisfação. A solução implementada resultou numa importante melhoria dos processos logísticos e comerciais da Fersil, aumentando significativamente a sua competitividade.

BIBLIOGRAFIA

[1]. João Pedro Pedroso, Sílvia Cunha e João Nuno Tavares, "Recursive circle packing problems". *International Transactions in Operational Research* 23 (1), June 2014, DOI: 10.1111/itor.12107.

CONTACTOS

João Nuno Tavares (Project head)

Departamento de Matemática, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. Rua do Campo Alegre s/n 4169-007, Porto Portugal, jntavar@fc.up.pt

João Pedro Pedroso

Departamento de Ciência dos Computadores, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Rua do Campo Alegre s/n 4169-007, Porto Portugal, jpp@fc.up.pt

FERSIL PORTUGAL

Zona Industrial de Cesar, Rua das Matas, Cesar – Oliveira de Azeméis (Portugal), fersil@fersil.com

Coordenação do espaço PT-MATHS-IN: Paula Amaral,
Universidade Nova de Lisboa, pt-maths-in@spm.pt.



Visite-nos em <https://clube.spm.pt>

