

## Técnicas Heurísticas e Meta-Heurísticas para a Resolução de Problemas de Otimização Combinatória

AngelaMazzonetto, Cliceres Mack Dal Bianco

<sup>1</sup>Aluno do Curso de Ciência da Computação –Universidade Regional Integrada(URI)  
Caixa Postal 709 – 98.400-000 – Frederico Westphalen – RS – Brasil

<sup>2</sup>Professor do Curso de Ciência da Computação –Universidade Regional Integrada(URI)  
Caixa Postal 709 – 98.400-000 – Frederico Westphalen – RS – Brasil.

Inf16753@uri.edu.br, cliceres@uri.edu.br

**Abstract.** *This article describes how problems can be solved computationally cuts with techniques called heuristics. Problems arise when cutting industry there is a need to cut the raw material for the manufacture of smaller parts. The heuristics may be applied to classification problems with dimensional, two dimensional, three dimensional, n-dimensional. With that also came the meta-heuristics techniques that bring a not great, but good solution to solve these combinatorial optimization problems in industries.*

**Resumo.** *Este artigo descreve como problemas de cortes podem ser resolvidos computacionalmente com técnicas chamadas heurísticas. O Problema de corte ocorre quando na indústria surge a necessidade de fazer cortes na matéria prima para a fabricação de peças menores. As técnicas heurísticas são consideradas alternativas viáveis para a resolução deste problema podem ser aplicadas em problemas com classificação unidimensional, bidimensional, tridimensional, n-dimensional. Com isso surgiram também as técnicas meta-heurísticas que apesar de não encontrarem a solução ótima, conseguem chegar a uma boa solução com baixo tempo computacional para os problemas de otimização combinatória nas indústrias.*

### 1. Introdução

As indústrias que utilizam matérias primas como madeira, metal, couro e papel tem a necessidade que o material à ser utilizado seja bem aproveitado para reduzir custos e desperdícios, pois estas matérias primas se apresentam no formato de barras, bobinas e placas que necessitam ser cortadas em itens menores para atender uma certa demanda. Devido ao formato padrão destes materiais e a forma com que são processados pode-se causar perdas, resultando em aumento de custos e consequentemente diminuindo a competitividade. Na literatura esse processo é conhecido como Problema de Corte (PC).

O PC pertence à classe de problemas Não\_Polinomial-Difícil (NP-Difícil) significando que não exista algoritmo exato que resolva este problema em tempo polinomial. Esta inviabilidade é atribuída a grande quantidade de combinação possíveis quando o objetivo é a determinação da melhor combinação. Neste caso, o uso de técnicas exatas ou programação matemática para a otimização necessitam de um longo tempo de processamento computacional e não propiciam bons resultados.

Com estudos e pesquisas nesta área surgiram várias técnicas chamadas heurísticas, que diferentemente das técnicas exatas não realizam todas as combinações possíveis, mas empregam estratégias de encontrar soluções boas apenas com algumas combinações. O objetivo das técnicas heurísticas é encontrar uma solução, que seja eficiente, com menor esforço computacional e ao mesmo tempo que obtenha bons resultados.

## 2. Problema de Corte

O problema de corte, de forma genérica, consiste em cortar uma unidade grande (objeto), que esteja disponível, para a produção de um conjunto de unidades pequenas (itens) que estão sendo requisitadas. As formas e medidas do objeto e dos itens são bem especificadas.

“O problema de corte é um problema de otimização combinatória que consiste na determinação de padrões de corte de unidades de material de maneira a produzir um conjunto de unidades menores satisfazendo determinadas restrições. Esse problema aparece em diversos processos industriais de corte onde a matéria prima, em geral disponível em estoque. Correspondem a barras de aço, bobinas de papel e alumínio, placas metálicas e de madeira, chapas de vidro e fibra de vidro, peças de couro, etc. Cada unidade produzida tem dimensões previamente especificadas.” (MORABITO, 1998).

### 2.2. Classificação

A classificação do PC é feita de acordo com as dimensões sendo o primeiro critério a ser considerado, sendo distinguidas quatro situações:

#### 1. Unidimensional

“O PC é unidimensional quando apenas uma dimensão é relevante no processo de corte, como exemplo citar o corte, de barras de aço e bobinas de papel.” (ARENALES, 2003). A figura 1 mostra exemplos de indústrias de barras de aço e bobinas de papel.



**Figura 6. Cortes de barras de aço e bobinas de papel.** Fonte (Tianjin; Darcepel)

#### 2. Bidimensional

“O PC é bidimensional quando duas dimensões, largura(L) e comprimento (C) são relevantes no processo de corte, uma vez que as peças cortadas têm a mesma espessura. Este problema ocorre, por exemplo, no corte chapas retangulares de madeira, aço e vidro.” (SILVEIRA, 2008). Na figura 2 é um exemplo de indústria de chapas de madeira.



**Figura 2. Indústria madeireira, cortes de chapas.** Fonte (CasaeOferta)

### 3. Tridimensional

“O problema é tridimensional quando três dimensões são relevantes no processo de corte. Exemplo: corte de blocos de espumas para fabricação de colchões, travesseiros, etc. O maior número de aplicações práticas ocorre na solução para o problema de empacotamento. Por exemplo, o carregamento de contêiner.” (FACCIO, 2008). A figura 3 é exemplo de uma indústria de corte de blocos de espumas e em paralelo ao carregamento de contêineres.



**Figura 3. Combinação de blocos.** Fonte (Ecoflex; Brasil)

### 4. N-Dimensionais

“O problema é N-dimensional quando são relevantes mais de três dimensões. Por exemplo, o investimento no mercado financeiro em vários períodos.” (FACCIO, 2008).

#### 2.3. Indústrias

“Nas indústrias, cortes e empacotamentos constituem componentes importantes na formação do custo final dos produtos, e qualquer redução de custos é sempre bem-vinda. Porém, trata-se de um problema de otimização combinatória NP-difícil que na prática são extremamente difíceis de serem resolvidos por algoritmos exatos para a obtenção da solução ótima. Sendo que esta solução requer muito tempo de processamento computacional. Para contornar essa restrição de tempo utiliza-se algoritmos heurísticos, que nem sempre garantem a solução ótima, mas garantem uma solução muito boa com baixo esforço computacional.” (CONSTANTINO E GOMES, 2002).

O problema do corte está ligado as mais variadas indústrias, por exemplo moveleira, metalúrgica, calçadista, vidreira e metalúrgica todas tem seus processos produtivos derivados do corte da matéria-prima entretanto cada indústria tem sua peculiaridades recebendo uma classificação diferenciada e tendo soluções singulares.

#### 2.4. Técnicas de resolução

Os problemas de corte são resolvidos através de programação matemática ou de técnicas conhecidas como heurísticas e meta-heurísticas. As técnicas heurísticas trazem uma vantagem em relação aos métodos exatos, pois empregam estratégias para realizar as combinações, estas estratégias dispensa a realização de todas as combinações possíveis em uma instância de problemas, conseqüentemente despende menos processamento e tempo computacional possibilitando soluções factíveis. A seguir será conceituado as técnicas heurísticas, bem como será apresentado a classificação das meta-heurísticas.

##### 2.4.1. Heurísticas

“Uma heurística é um procedimento algorítmico desenvolvido através de um modelo cognitivo, usualmente através de regras baseadas na experiência dos desenvolvedores. Ao contrário dos métodos exatos, que buscam encontrar uma forma algorítmica de achar uma solução ótima através da combinação ou busca de todas as soluções possíveis, as heurísticas normalmente tendem a apresentar um certo grau de conhecimento acerca do comportamento do problema, gerando um número muito menor de soluções.” (CORDENONSI, 2008).

“Entre os fatores que tornam interessante a utilização de algoritmos heurísticos na

resolução de um determinado problema, pode-se citar a possibilidade de oferecer soluções boas para problemas cujos métodos exatos sejam inexistentes ou que requerem um tempo muito alto de processamento e/ou quando o tempo de resposta necessário seja definido e finito. As técnicas heurísticas podem ser construtivas ou de busca local.”(DIAZ et al., 1996).

- Construtivas

“Uma heurística construtiva, ou míope, consiste em tentar encontrar uma boa rota, considerando a cada interação somente o próximo passo, ou seja, o critério de escolha é basicamente local” (CAMPELLO, MACULAN, 1994). “Ela parte de uma solução vazia e constrói a rota, por exemplo, inserindo sempre uma cidade de cada vez, até atingir a rota completa. Algoritmos construtivos não possuem nenhum esquema de backtracking, ou seja, após inserir uma cidade, não é possível retirá-la da rota.” (CORDENONSI, 2008).

“As heurísticas construtivas, em muitos casos, são aplicadas para se obter uma solução inicial que poderá ser melhorada por outras heurísticas. Quase sempre esta solução inicial retornada pode ser melhorada e, para isto, emprega-se um artifício de melhoria sobre ela, a fim de encontrar um resultado mais interessante.” (VELASCO, 2005).

- Busca Local

“As heurísticas de melhoria ou Busca Local são técnicas baseadas na noção de vizinhança. A Busca Local começa a partir de uma solução inicial viável, que pode ser obtida por uma heurística construtiva ou produzida aleatoriamente, da qual se gera uma vizinhança de soluções, ou seja, conjunto de soluções obtidas a partir de modificações feitas na solução inicial, visando escolher o melhor vizinho para ser a nova solução corrente, seguindo um critério de escolha. Nas heurísticas construtivas o processo é interrompido quando encontra uma solução, já na Busca Local, o processo é repetido até que o critério de parada seja atendido.” (NORONHA, 2001).

#### 2.4.2. Meta-Heurísticas

“Na década de 80 surgem as meta-heurísticas que se caracterizam por pesquisas sobre vizinhanças, distinguindo-se do tipo anterior por permitirem movimentos para soluções por qualidade de forma controlada, ou seja, em algoritmos baseados em heurística puras como por exemplo, Busca Local, as soluções acabam por ficar presas em ótimos locais, uma vez que só aceitam movimentos para soluções de melhor qualidade numa vizinhança. As meta-heurísticas são vistas como uma evolução pois permitem uma piora na solução para fugir de locais ótimos.” (PILEGGI, 2007).

As meta-heurísticas são métodos mais eficazes de busca local que possibilitam encontrar soluções melhores. Executam procedimentos de busca em vizinhanças, que evitam a parada prematura em ótimos locais durante a procura de soluções de melhor qualidade, aumentando as chances de se chegar ao ótimo global, podendo até mesmo usar uma estratégia de piorar as soluções, a fim de escapar do ótimo local. Este processo respeita uma sequência de passos bem definidos, até atingir um critério de parada.

Os dois principais tipos de meta-heurísticas são as que se baseiam na descrição de trajetórias, por exemplo: *Simulated Annealing*, Busca Tabu, GRASP e as baseadas em populações, por exemplo: algoritmos genéticos, Colônias de Formigas.

A utilização de algoritmos populacionais prevê a exploração de várias regiões do espaço de busca a cada iteração, expandindo a possibilidade de selecionar boas rotas. Diversas trajetórias são testadas e combinadas, gerando novas soluções através dos operadores de recombinação dos algoritmos apresentados. As heurísticas não populacionais exploram somente um elemento da vizinhança a cada nova interação, gerando somente uma

trajetória de soluções.

- Trajetórias

A **Busca Tabu** é um tipo de busca local com procedimentos determinísticos, que procura registrar e usar de forma inteligente as informações sobre a história da busca, a fim de realizar decisões mais eficientes no percurso em direção ao ótimo.

“O método começa a partir de uma solução inicial viável e para cada solução corrente do problema gera-se uma vizinhança. Uma pesquisa é feita para determinar o melhor vizinho, ou melhor, uma função objetivo avalia as soluções vizinhas e um movimento para melhor solução vizinha é feito. Para evitar ciclos e orientar o algoritmo na fuga de ótimos locais é definida uma memória de curta duração contendo movimentos proibidos, chamada de Lista Tabu.” (GLOVER, 1997). O processo pode ser interrompido, definindo-se um número de iterações a partir do momento em que não se obtém modificações no valor da melhor solução.

A metodologia **GRASP** para construir uma solução, ao invés de considerar apenas um candidato disponível para a escolha, ela cria um conjunto de candidatos, que será escolhido aleatoriamente, desta maneira ela pode construir várias soluções diferentes e aplicar um procedimento de busca local com o objetivo de melhorar cada uma destas soluções iniciais.

I) a função gulosa, a qual define a qualidade dos elementos incluídos na lista restrita e das soluções iniciais construídas, influenciando assim no desempenho do procedimento de busca local;

II) a estrutura de vizinhança e o procedimento de busca local, que definem o espaço de soluções (em função da solução inicial) a ser explorado e a maneira como esta exploração é feita;

“O *Simulated Annealing* é uma técnica de busca local probabilística, que insere conceitos de mecânica estatística dentro do mundo da otimização combinatória. Fundamentado em uma relação de semelhança com a termodinâmica, quando se simula o resfriamento, gradual e vagaroso, de um conjunto de átomos, previamente perturbados, com aquecimento de um sólido. Se o resfriamento for muito rápido, seus átomos formarão uma estrutura irregular e enfraquecida. Este processo físico é conhecido como recozimento.” (KIRKPATRICK; GELATT; VECCHI, 1983).

“A capacidade de o *Simulated Annealing* aceitar movimentos indesejáveis é que o torna capaz de convergir para soluções bem próximas da ótima.” (DIAZ et al, 1996; NORONHA, 2001; SOUZA, 2002).

“A **meta-heurística ILS - Interated Local Search** consiste em buscar um bom resultado para o problema caminhando por ótimos locais. A cada iteração do algoritmo ILS é realizado perturbações na solução corrente baseadas nas soluções já encontradas. Nesta nova solução é realizado a busca local e apos aplicados os critérios de aceitação, a nova solução poderá ser aceita ou não. Este processo iterativo se repete até que a condição de parada seja atingida. A qualidade da solução inicial é importante por afetar o desempenho do algoritmo, dado que soluções iniciais de baixa qualidade demandam de custo computacional para serem refinadas em contrapartida, soluções iniciais de boa qualidade melhoram significativamente a performance do algoritmo.” (LOURENÇO, et. Al 2002).

- Populacional

A **Colônia de Formigas** é a simulação do comportamento de um conjunto de agentes que cooperam para resolver um problema de otimização por meio de comunicações muito simples.

“As formigas são capazes de encontrar o caminho entre sua colônia e uma fonte de alimento sem utilizar dados visuais da região onde se encontra. Ao longo do caminho que cada formiga trilha é depositada uma substância química chamada ferormônio que, quando captada por indivíduos de uma mesma espécie, provoca reações comportamentais e serve como meio de comunicação entre eles. Estes animais, assim que partem a procura de alimento, tomam caminhos aleatórios, mas tendem a seguir trilhas onde a concentração de ferormônio seja maior. À medida que mais formigas passam pelo mesmo caminho atrairá um número cada vez maior de indivíduos. É através deste mecanismo que as formigas são capazes de localizar o alimento partindo de sua colônia de forma cooperativa e eficiente.” (MEDEIROS, 2009).

“Algoritmos Genéticos são algoritmos de otimização global, baseados nos mecanismos de seleção natural e da genética. Os algoritmos baseados nesta técnica seguem o princípio da seleção natural e sobrevivência do mais apto. De acordo com Charles Darwin, “Quanto melhor um indivíduo se adaptar ao seu meio ambiente, melhor será sua chance de sobreviver e gerar descendentes”.” (GOLDBERG, 1989).

### 3. Conclusão

Conclui-se que diversas empresas, dentre as quais metalúrgica, calçadista, vidreira e moveleira utilizam matéria prima que necessita de vários cortes para obtenção de itens menores e fabricar as peças. Assim sendo, são utilizadas as técnicas heurísticas que, com menor esforço computacional, vão em busca da solução que gere o menor desperdício possível dessa matéria prima.

As técnicas heurísticas são subdivididas, dentre outras, em construtivas e busca local, que se detêm a encontrar a melhor solução, porém ficam limitadas aos “ótimos locais”.

A partir das técnicas heurísticas foram desenvolvidas as técnicas meta-heurísticas, que pesquisam, de outra forma, por soluções de combinatória. Estas fazem com que possam surgir pioras momentâneas na solução para sair dos locais ótimos, mas que propiciam a busca pelo ótimo global, melhorando assim a busca pela solução do problema.

Este estudo propiciou conhecer as características do problema de corte e as técnicas que possibilitam sua resolução. A segunda fase deste estudo será desenvolver um algoritmo empregando a metodologia da heurística construtiva e com a solução proveniente desta etapa pretende-se ainda aperfeiçoar o algoritmo através de meta-heurísticas ou metaheurísticas híbridas.

Para verificar a eficiência da solução irá se comparar com outros resultados da literatura, além disso, a meta final será testar o algoritmo desenvolvido em indústrias de pequeno porte favorecendo o aproveitamento de matéria-prima e contribuindo para competitividade das mesmas.

### Referências

- Cherri, A. C. (2009) “Algumas extensões do problema de corte de estoque com sobras reaproveitáveis.”Tese(Doutorado em Ciências Matemáticas e da Computação) – Universidade de São Paulo, SÃO CARLOS.
- Fernandes, A. C. (2000) “Proposta de uma metodologia para cortar peles de couro na indústria de calçados.”GESTÃO E PRODUÇÃO. 2000.

- Hopper, E. (2003) "Two-dimensional packing utilizing evolutionary algorithms and other meta-heuristic methods." Ph.D. thesis, University of Wales, Cardiff, UK.
- Morabito, R.; Arenales, M. (1998) "Otimização das Operações de Corte de Chapas na Indústria de Móveis." In: Oficina Nacional de PCE, XX CNMAC, 2, 1998, Curitiba. Anais. P. 43-52, 1998.
- Mosqueira, P.G. "Redução de ciclos da serra no problema de corte de estoque bidimensional na indústria de móveis." São José do Rio Preto, São Paulo, 2008.
- Pileggi, C. G.; Morabito, R.; Arenales, M. N. (2007) "Heurísticas para os problemas de geração e sequenciamento de padrões de corte bidimensionais." Pesquisa Operacional, v.27, n.3, p.549-568.
- Velasco, S. A. (2005) "GRASP para o problema de corte bidimensional guilhotinado e restrito." Dissertação (Mestrado em Ciências de Engenharia) - Universidade Estadual do Norte Fluminense.
- Taminato, A. Y. "Problema de corte aplicado à indústrias de Vidros." Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica - IMECC, UNICAMP
- Poldi, K. C. e Arenales, M. N. (2003) "O Problema de Corte de Estoque Unidimensional Inteiro com Restrições de Estoque." Anais do XXXV SBPO - Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Natal- RN.
- Cordenonsi, A. Z. (2008) "Ambientes, Objetos e Dialogicidade: Uma Estratégia de Ensino Superior em Heurísticas e Metaheurísticas." Tese de Doutorado: Programa de Pós-Graduação em Informática na Educação – UFRGS.
- Constantino, A. A. e Gomes, A. M. (2002) "Um algoritmo genético híbrido para o problema de corte industrial bidimensional." Departamento de Informática, Universidade Estadual de Maringá.
- Faccio, A. P. (2008) "Propostas de Solução para o Problema de Corte de Estoque Bidimensional de uma Fábrica de Móveis de Pequeno Porte." Dissertação de Mestrado Pós-Graduação em Matemática Aplicada.
- Temponi, E. C. C. (2007) "Uma Proposta de Resolução do Problema de Corte Bidimensional via Abordagem Metaheurística." Dissertação de Mestrado, submetida ao Curso de Mestrado em Modelagem Matemática e Computacional.
- Silveira, C. A. G. (2008) "Otimização Bidimensional de corte de estoque." Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Jakobs, S. "On Genetic Algorithms for the Packing of Polygons." Eur. J. Opera. Res., Hamps, v. 88, p. 165-181.
- Darcepel. "Rebobinamento de Bobinas de Papel Recuperação de Bobinas Danificadas." Disponível em: <<http://www.darcepel.com.br/rebobinamento.htm>>, Acesso em: 01 out. 2012.

Bresil Consulting. Disponível em: <[http://www.bresil-consulting.com/transporte-maritimo-internacional-brasil.asp?id\\_pa=1811](http://www.bresil-consulting.com/transporte-maritimo-internacional-brasil.asp?id_pa=1811)>, Acesso em: 01 out. 2012.

CasaeOferta. “Brasil: 13 º maior fornecedor de móveis do mundo.” Disponível em: <<http://casaeoferta.blogspot.com.br/2011/02/brasil-13-maior-fornecedor-de-moveis-do.html>>, Acesso em: 01 out. 2012.

Tianjin. “12114 livre de corte de barras de aço.” Disponível em: <<http://portuguese.alibaba.com/product-gs/12114-free-cutting-steel-bar-526656913.html>>, Acesso em: 01 out. 2012.

Ecoflex. “Linha Industrial.” Disponível em: <<http://www.ecoflexnet.com.br/linha/info/tipo/linha/id/5>>, Acesso em: 01 out. 2012.