

## 6 Conclusões

O principal objetivo deste trabalho foi apresentar uma heurística híbrida de melhoria, robusta e eficiente, para o problema de *bin packing* (BP). A heurística proposta HI\_BP combina diversos componentes: limites inferiores, método de redução, abordagem dual, heurísticas para outros problemas de otimização combinatória (partição de conjuntos e soma de subconjuntos) e busca tabu. HI\_BP possui três fases: **Construção**, **Redistribuição** e **Melhoria**, além de uma fase inicial de pré-processamento.

Na fase inicial utilizou-se o procedimento de redução MTRP de Martello e Toth [65] e apresentou-se um novo limite inferior  $L_{\theta}$  para BP. Na fase de **Construção** utilizou-se a relação de BP com  $P||C_{\max}$  (chamada de abordagem dual) para criar soluções iniciais onde o número de caixas (processadores) é fixo, a capacidade máxima da caixa pode ser estendida e o objetivo é minimizar a capacidade máxima utilizada (*makespan*). Nesta fase foram propostas quatro heurísticas construtivas (DB3FD, DBFD, DWSFD e DWFD), algumas delas variantes das heurísticas BFD, WFD e LPT.

Na fase de **Redistribuição** utilizou-se duas estratégias básicas. A primeira, de equilíbrio de pesos, é baseada no método de diferenciação de Karmarkar e Karp [55], para o problema de partição de conjuntos. A outra, de desequilíbrio de pesos, é baseada no problema de soma de subconjuntos. A idéia básica da estratégia de equilíbrio de pesos, que seleciona repetidamente um par de caixas e tenta equilibrar o peso das mesmas trocando objetos de lugar é, de certa forma, explorada por outras heurísticas [21, 45]. Entretanto, a combinação da estratégia que equilibra pesos com a estratégia que desequilibra pesos parece ser original. Esta estratégia pode ser utilizada isoladamente como uma boa heurística de balanceamento de pesos.

Na abordagem de busca tabu proposta, utilizada na fase de **Melhoria**, utilizaram-se múltiplas regras para se determinar “valores” para os diferentes tipos de movimento. Na avaliação do melhor movimento, segundo os

“valores”, permitiu-se atribuir prioridades variadas para um mesmo tipo de movimento. Esta abordagem, que pode ser vista como uma variante do “voto persistente” [37], também proporciona uma das fontes de sucesso da abordagem de “oscilação estratégica”, que é visitar sistematicamente soluções viáveis e não viáveis. Embora esta abordagem tenha sido proposta para BP, ela pode ser facilmente adaptada a outros problemas para os quais não se tenha clareza da medida de qualidade de um movimento.

Para avaliar a qualidade da heurística HI\_BP foram utilizados três grupos de instâncias, introduzidos por Falkenauer [20], Scholl et al. [77] e Schwerin e Wäscher [82]. Realizou-se um experimento que avalia a importância de cada uma das fases do algoritmo. Observou-se que a fase de **Redistribuição**, por si só, é capaz de resolver otimamente muitas instâncias. Porém, para as instâncias mais “difíceis”, verificou-se que a fase de **Melhoria**, embora mais demorada, é fundamental. Comparou-se HI\_BP com a heurística **Perturbation MBS’ + VNS**, recentemente apresentada por Fleszar e Hindi [25] e com a heurística **MTPCS** proposta por Schwerin e Wäscher [81]. HI\_BP resolveu otimamente todas as instâncias (1370) dos dois primeiros grupos. Das 217 instâncias do terceiro grupo, HI\_BP melhorou os melhores resultados conhecidos de onze instâncias e só não obteve o valor ótimo de cinco instâncias. Deve-se notar que não se conhece outro método que isoladamente tenha conseguido melhores resultados para as mesmas instâncias.

O sucesso da abordagem dual para BP, utilizada anteriormente por Hübscher e Glover [49] e Scholl et al. [77], motivou a investigação da aplicabilidade da heurística HI\_BP a instâncias do  $P||C_{\max}$ , o que resultou na heurística modificada HI\_PCmax.

Os limites inferiores utilizados em HI\_PCmax foram extraídos de [16] e a fase de **Construção** incorporou a  $1/5 + 2^{-k}$ -aproximação para  $P||C_{\max}$  apresentada por Hochbaum e Shmoys [48]. Os experimentos computacionais foram realizados com instâncias introduzidas por França et al. [26] e por Frangioni et al. [28]. Como para BP, estudou-se a influência das três fases do algoritmo. Observou-se que a heurística construtiva **DWSF** é uma excelente heurística para este problema e, como para BP, concluiu-se que as três fases são importantes. Comparou-se HI\_PCmax com a heurística de melhoria **3-PHASE** proposta por França et al. [26], o método exato de *branch and bound* proposto por Dell’Amico e Martello [16] e os algoritmos *multi-exchange* propostos por Frangioni et al. [27]. HI\_PCmax obteve os melhores resultados para todas as instâncias testadas.

Assim, conclui-se que as principais contribuições desta tese foram um

novo limite inferior para BP; uma boa heurística para equilibrar pesos; uma nova abordagem para a avaliação da qualidade de um movimento usada no método de busca tabu; uma boa heurística construtiva para o  $P||C_{\max}$  e uma heurística robusta e eficiente para os problemas de *bin packing* e escalonamento de tarefas em processadores paralelos idênticos.