

# 1 Introdução

## 1.1 Motivação

O planejamento de tarefas é um trabalho de resultados economicamente importantes mas de uma dificuldade computacional muito grande. Os problemas de planejamento podem ser encontrados em diversas áreas de aplicação como, por exemplo, operações de produção em indústrias de manufatura, processos computacionais em sistemas operacionais, transporte de cargas, escala de tripulações de vôos e embarque de carga em navios. A grande importância prática faz, portanto, com que problemas de planejamento sejam uma área permanente de pesquisa.

Um problema muito importante de planejamento e de grande utilidade prática é o problema de otimização de embarque de minério em navios. Neste problema, é necessário planejar a descarga de minério dos trens que vêm da mina até o porto, a estocagem deste minério no porto até a chegada do navio responsável pelo transporte, a atracação do navio e, por fim, o embarque do minério no navio. Tudo isto envolve o uso de vários equipamentos e deve ser feito de maneira tal que uma série de objetivos sejam satisfeitos como, por exemplo, a minimização da multa paga pelo porto pela sobrestadia dos navios aguardando a chegada e o embarque do minério, uso racional das áreas do porto, entre outros.

Nos últimos anos, esforços foram voltados para investigar e explorar a aplicação de técnicas de computação evolucionária em vários problemas de planejamento. Uma das principais dificuldades encontradas é a de especificar uma representação de cromossoma apropriada capaz de gerar, sempre, planejamentos viáveis (Bäck et al, 1997). Esta dificuldade se torna ainda mais evidente se for levado em conta as diversas peculiaridades apresentadas pelos diversos tipos de problemas de planejamento que, em alguns casos, podem tornar as representações muito particulares.

Além disso, em alguns tipos de problemas, surgem dificuldades extras como, por exemplo, a necessidade de se planejar ou executar uma determinada tarefa antes de outra. Este tipo de dificuldade ocorre, por exemplo, em problemas do tipo “Dial-A-Ride” onde uma frota de ônibus deve recolher passageiros em

algumas cidades e levá-los para outras atendendo a objetivos como minimizar o consumo de combustível ou o tempo de espera dos passageiros. Ocorre também em problemas de otimização de planejamento de operações de carregamento de minério em portos onde se deve obedecer a ordem de chegada dos navios na hora de proceder com a atracação dos mesmos. Estas restrições de precedência agravam o problema de se encontrar uma representação apropriada dado que, se uma representação gerar soluções que não respeitem estas restrições, estas soluções serão inválidas para o respectivo problema. Como, idealmente, por questão de desempenho, deseja-se um modelo capaz de gerar sempre soluções válidas para o problema, faz-se necessária a idealização de uma ferramenta capaz de contornar essas situações.

## **1.2 Objetivos do Trabalho**

O objetivo fundamental deste trabalho é estudar, implementar e avaliar um modelo evolucionário e suas respectivas representações de cromossomas que tornem viável a solução de problemas de planejamento com restrições de precedência, em particular o problema de otimização de embarque de minério em portos. Para se alcançar este objetivo, é preciso desenvolver uma representação genética para o problema, uma função de avaliação e um conjunto de operadores genéticos capazes de produzir soluções otimizadas.

## **1.3 Descrição do Trabalho**

Esta pesquisa foi estruturada em função dos seguintes passos: estudar a área de otimização de planejamentos; definir um modelo de algoritmo genético e um modelo co-evolucionário para o problema de otimização de embarque de minérios; implementar uma ferramenta de otimização baseada nesses dois modelos e avaliar o resultado a partir do estudo de caso.

O estudo sobre a área de otimização de planejamentos consistiu no levantamento de material sobre os diversos tipos de problemas e as diversas formas de representação usadas para solucioná-los com o uso de técnicas de computação evolucionária.

A definição do modelo de algoritmo genético consistiu da definição da representação do cromossoma, função de avaliação e dos operadores genéticos.

A representação empregou um cromossoma baseado em ordem que leva em consideração a necessidade de se respeitar restrições de precedência. Estas restrições surgem devido a necessidade de se programar e/ou executar algumas tarefas antes de outras. Um exemplo típico deste tipo de situação acontece em problemas do tipo “Dial-A-Ride”, onde um ou mais veículos de transporte precisam pegar passageiros em um determinado conjunto de cidades e levá-los a outras cidades, minimizando o tempo de espera dos passageiros ou a distância percorrida pelos veículos. Os veículos, no entanto, só podem parar nos terminais de destino se tiverem passageiros, o que os obriga a primeiramente ir à cidade que tem passageiros para aquele destino (Moon et al, 2002)(Renaud et al, 2000).

Para solucionar o problema de planejamento, sem permitir que o algoritmo genético crie soluções inválidas, foi feita uma adaptação conceitual e prática de um modelo empregado em problemas do tipo “Dial-A-Ride” que utiliza um grafo dirigido para indicar as precedências das tarefas (Moon et al, 2002). Desta forma, todas as tarefas que devem obrigatoriamente ser executadas antes de outra, constituem nós de origem no grafo, sendo ligadas por arcos dirigidos a todas as tarefas que as sucedem. Partindo deste grafo, a função de avaliação planeja primeiramente as tarefas que não têm antecessores no grafo (ou seja, as tarefas que não têm restrições de precedência). Cada tarefa, ao ser inserida no planejamento, é eliminada do grafo, fazendo portanto com que as tarefas sucessoras percam as restrições de precedência. Esta seqüência de passos é executada até que não haja mais tarefas a planejar no grafo.

É claro que, havendo mais de uma tarefa sem precedentes no grafo em um determinado momento, deve existir uma heurística capaz de selecionar uma delas para ser planejada. É para essa função que o cromossoma é definido. Nesta representação, o cromossoma é uma lista de tarefas, sendo que as posições no início do cromossoma têm maior prioridade e serão planejadas antes das outras (respeitando-se sempre as restrições de precedência).

A função de avaliação por sua vez foi definida objetivando a solução do problema de otimização de embarque de minério de ferro em um porto fictício. Neste tipo de problema, em algumas situações, deseja-se contemplar mais de um objetivo ao mesmo tempo. Neste caso no entanto, foi utilizado o objetivo

considerado mais importante em geral para este tipo de otimização: minimizar a multa paga por sobrestadia do navio no porto.

Os operadores genéticos (crossover e mutação) por sua vez buscam recombinar o valor das prioridades de execução das tarefas, de modo a obter novos planejamentos com menor multa (e no caso da função de avaliação com múltiplos objetivos, além de menor multa, também menor número de pilhas e de minério estocado). Para isto, foram implementados 3 operadores de crossover e 2 operadores de mutação. Os operadores de crossover implementados foram crossover de mapeamento parcial (*partially-mapped crossover* – PMX), crossover de ordem (*order crossover* – OX) e crossover de ciclo (*cycle crossover* – CX) (Michalewicz, 1996). Os operadores de mutação implementados foram os de troca (*swap*) e inversão de posição (*position inversion* – PI) (Michalewicz, 1996). Estes operadores são comumente utilizados em problemas baseados em ordem, tanto de planejamento como para problemas de caixeiro-viajante.

Na definição do modelo co-evolucionário, criou-se uma segunda população responsável por selecionar os recursos utilizados para realizar as tarefas. Esta seleção no modelo convencional é feita através de uma heurística simples: dada uma lista fixa e invariável de recursos que podem ser usados para uma determinada tarefa, selecione o primeiro que estiver disponível. Esta heurística faz com que a ordem na qual as tarefas são planejadas determine quais os recursos que serão utilizados para executá-las. No entanto, nem sempre um cromossoma que indique uma boa solução para a ordem da execução das tarefas indicará uma boa solução para a escolha de recursos na execução das tarefas. Fica clara portanto a necessidade de se valer de outra maneira para selecionar os recursos usados na execução das tarefas e é para resolver este problema que usou-se um modelo co-evolucionário cooperativo.

Neste tipo de modelo, duas ou mais populações interagem de forma cooperativa de modo a se atingir um ou mais objetivos em comum. Existem duas razões principais para se decompor a solução do problema em diversas populações. Em primeiro lugar, os algoritmos genéticos convencionais impedem, a longo prazo, a preservação de certos componentes da solução pois, por estarem codificados por completo em um indivíduo, eles são avaliados como um todo e apenas os subcomponentes que pertencem a indivíduos com avaliações altas serão preservados. Em segundo lugar, o fato da representação estar relacionada a uma

solução completa e por não haver interações entre os membros da população, não existe pressão evolucionária para a ocorrência de co-adaptação, ou seja, não existe pressão para a adaptação de um subcomponente dada a ocorrência de uma mudança em outro subcomponente.

Finalmente, o estudo de caso para a implementação de um otimizador utilizando estes modelos para o embarque de minério de ferro em um porto fictício foi implementado. Os recursos escolhidos foram selecionados de forma criteriosa de modo a se aproximar de um porto real, neste caso o Porto de Tubarão, em Vitória – Espírito Santo, operado pela Companhia Vale do Rio Doce. Os resultados foram comparados com a busca aleatória para se avaliar a qualidade das soluções obtidas.

#### **1.4 Organização da Dissertação**

Esta dissertação está dividida em cinco capítulos adicionais, descritos a seguir.

O capítulo 2 resume o levantamento sobre problemas de otimização de planejamentos, em particular o planejamento de tarefas e o uso de recursos em portos de embarque de minério, e detalha algumas das representações possíveis utilizando algoritmos genéticos.

O capítulo 3 discute o problema do caixeiro viajante convencional e o problema do caixeiro viajante com restrições de precedência, bem como as representação de soluções baseadas em ordem e os modelos co-evolucionários cooperativos.

O capítulo 4 descreve em detalhes os modelos desenvolvidos nesta dissertação, apresentando as representações utilizadas neste trabalho, as funções de avaliação e os operadores genéticos utilizados.

O capítulo 5 descreve a implementação de uma ferramenta para o estudo de casos da otimização do embarque de minério de ferro em um porto fictício.

Por fim, o capítulo 6 apresenta as conclusões do trabalho e sugere novas direções para a continuação da pesquisa apresentada.