



Título da Pesquisa: Inteligência Computacional Aplicada ao Problema de Sequenciamento com Alocação de Trabalhadores.

Palavras-chave: Pesquisa Operacional, Inteligência Computacional, ILS, SPWA.

Campus: Governador Valadares

Tipo de Bolsa: PIBIC

Financiador: FAPEMIG

Bolsista (as): Eliezer Campos Miranda

Professor Orientador: Guido Pantuza Júnior

Área de Conhecimento: Engenharia de Produção

Resumo:

O presente trabalho aborda o problema de sequenciamento e alocação de trabalhadores conhecido como *Scheduling Problem With Worker Allocation* (SPWA). Este tem como objetivo, minimizar o número de trabalhadores e o tempo total gasto na execução de todas as tarefas (*makespan*). Para isso, propõe-se a utilização da Inteligência Computacional para obtenção de soluções. Como se trata de um problema NP-difícil, ainda não existem algoritmos que o resolvam de forma ótima em tempo polinomial aceitável. Sendo assim, as soluções encontradas são aproximadas à solução ótima. Portanto, este trabalho propõe um método de resolução para o SPWA que possibilita a geração de soluções viáveis em tempo aceitável, salientando que é possível utilizar de forma otimizada os recursos de uma empresa, reduzindo o número de funcionários e o tempo de execução das tarefas.

INTRODUÇÃO:

As mudanças na economia mundial, devido às crescentes crises, tem deixado o mercado cada vez mais competitivo. As empresas precisam reduzir custos para manter sua saúde financeira e com isso sua existência. Neste cenário, fazem-se necessárias estratégias inteligentes que possibilitem reduzir custos. Uma das maneiras de se reduzir custos é otimizar o uso dos fatores de produção.

Podemos citar a mão-de-obra como um, dos diversos fatores de produção, que mais causa impactos nos custos de uma cadeia produtiva. Segundo a FIESP (2011), em 2009, a mão de obra representou em média, 32,4% dos custos totais dos bens produzidos no Brasil, sendo o valor mais alto entre as 34 maiores economias mundiais. Além disso, segundo o *World Economic Forum* (2013), o Brasil figura em 57º lugar no *ranking* que aponta os países que melhor traduzem capital humano em retorno financeiro, estando atrás de países como Chile, Costa Rica e Uruguai.

Apesar da evidente necessidade de redução de trabalhadores, para assim, reduzir os custos de produção, as empresas têm grandes dificuldades em fazê-la. A redução da mão-de-obra pode acarretar em dificuldades de atendimento aos prazos de entrega de produtos ou serviços. Com isso, surge o problema objeto de estudo desse trabalho, que é conhecido na literatura como problema de sequenciamento com alocação de trabalhadores (*Scheduling Problem with Worker Allocation – SPWA*).

O SPWA compõe-se por um conjunto de trabalhadores, *Worker*, e um conjunto de tarefas, *Job*. Segundo Pantuza Jr. (2012), este problema consiste em alocar as diferentes tarefas aos trabalhadores e propor uma sequência de execução, levando em consideração as restrições individuais de qualificação dos trabalhadores. Ou seja, cada trabalhador somente poderá executar uma tarefa para a qual é qualificado. Além disso, os tempos de execução das tarefas pelos trabalhadores estão sujeitos às habilidades de cada um.

O SPWA é um problema composto por dois objetivos conflitantes: minimizar o número total de trabalhadores e ao mesmo tempo reduzir o tempo total de execução das tarefas, sendo que, segundo Tan *et al.* (2009), trata-se de um problema NP-difícil, ou seja, não é possível encontrar em tempo hábil uma solução ótima global para instâncias com dimensões maiores. Contudo, o objetivo deste trabalho é propor um modelo de aplicação de Inteligência Computacional ao SPWA como uma forma de obter soluções consideravelmente próximas à solução ótima global.

METODOLOGIA:

Para diversos problemas, encontrar uma solução ótima global para instâncias de dimensões elevadas pode ser inviável. Em problemas desta natureza, como é o caso do SPWA, o uso de métodos exatos torna bastante restrito. Por esse motivo, uma gama de trabalhos concentram esforços na utilização de heurísticas para solucionar problemas de tal nível de complexidade. Podem-se definir heurísticas como uma técnica que procura boas soluções, que sejam aproximadas da solução ótima global. Assim apresentamos uma metaheurística baseada no método *Iterated Local Search* (ILS).

O algoritmo proposto inicia sua execução a partir de uma solução inicial S_0 criada de forma aleatória. A partir dessa solução um refinamento é feito utilizando o algoritmo VND. Em seguida o algoritmo executa perturbações através de quatro movimentos, os quais possibilitam a geração de uma nova solução S' que é comparada à melhor solução corrente. Caso a solução S' encontrada seja melhor que a solução corrente S_0 a nova solução assume a condição de solução corrente e repete-se o procedimento. Caso contrário, é feito um novo movimento e com uma nova solução encontrada faz-se a comparação novamente, repetido o procedimento até que se obedeça ao critério de parada previamente estabelecido.

REPRESENTAÇÃO DE UMA SOLUÇÃO

Uma solução pode ser representada por uma matriz $S_{[Worker \times (Job + 1)]}$. Dessa forma, os movimentos das estruturas de vizinhança se tornam mais simples e naturais. Assim, o algoritmo torna-se menos complexo e a avaliação das soluções é facilitada.

A Figura 1 exemplifica uma possível solução S . A primeira coluna apresenta os trabalhadores. A coluna “Útil” indica se o funcionário i realiza uma tarefa j qualquer. As colunas “Tarefas” indicam as tarefas alocadas a cada trabalhador e sua respectiva sequência. No exemplo da Figura 1, o valor 1 da primeira linha (**Trabalhador 1**) e coluna “Útil” indica que o funcionário 1 está sendo utilizado. Os valores das outras colunas indicam que o funcionário 1 executará as tarefas 1, 3 e 4, nesta ordem. O valor 0 na segunda linha (**Trabalhador 2**), coluna “Útil” indica que o trabalhador 2 está ocioso. Logo ele não executará nenhuma tarefa. Para o trabalhador 4 temos que ele executará as tarefas 2 e 5, nesta ordem.

Trabalhador	Útil	Tarefas				
1	1	1	3	4	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	1	2	5	0	0	0

FIGURA 1: Representação de uma solução S .

Para explorar o espaço de soluções do problema foram utilizados quatro movimentos que são apresentados a seguir:

Movimento de troca: Esse movimento consiste em selecionar aleatoriamente um trabalhador que está sendo utilizado. Em seguida a última tarefa desse trabalhador é selecionada e a mesma é realocada aleatoriamente para outro trabalhador. Na figura 2, a última tarefa do trabalhador um é selecionada e realocada para o trabalhador 4.

Movimento Troca Gulosa: Esse movimento consiste em escolher o operador com o maior tempo do instante término da última tarefa (*makespan*) e realocar a sua última tarefa para outro operador, este segundo, escolhido de forma aleatória. Na figura 3 o trabalhador 4 é selecionado por possuir o maior tempo de execução das tarefas e sua última tarefa (número 2) é realocada para o trabalhador 3, este escolhido de forma aleatória.

Movimento Troca com Retirada de Trabalhadores: Esse movimento consiste em selecionar um trabalhador útil, ou seja, que está realizando alguma tarefa, e realocar todas as suas tarefas de forma aleatória para outros trabalhadores úteis. Na figura 4, o trabalhador 1 é selecionado e todas as suas tarefas são realocadas de forma aleatória aos demais trabalhadores úteis. Dessa forma, o trabalhador 1 passa a se tornar não útil, pois não irá executar nenhuma tarefa.

Movimento Troca Dual:

Esse movimento consiste em selecionar de forma aleatória um trabalhador útil e realocar aleatoriamente as duas últimas tarefas deste trabalhador à outros trabalhadores que serão escolhidos também de forma aleatória. Na figura 5, o trabalhador 4 é selecionado e têm sua última tarefa realocada ao trabalhador 3 e sua penúltima tarefa realocada ao trabalhador 2.

Trabalhador	Útil	Tarefas				
1	1	1	3	4		
2	0					
3	0					
4	1	6	5	2		
Trabalhador	Útil	Tarefas				
1	1	1	3			
2	0					
3	0					
4	1	6	5	2	4	

FIGURA 2: Representação do Movimento de troca.

Trabalhador	Útil	Tarefas				
1	1	1	3			
2	0					
3	1	4				
4	1	6	5	2		
Trabalhador	Útil	Tarefas				
1	1	1	3			
2	0					
3	1	4	2			
4	1	6	5			

FIGURA 3: Representação do Movimento Troca Gulosa.

Trabalhador	Útil	Tarefas				
1	1	1	3	4		
2	0					
3	0					
4	1	6	5	2		
Trabalhador	Útil	Tarefas				
1	0					
2	0	4	3			
3	0	1				
4	1	6	5	2	4	

FIGURA 4: Representação do Movimento Troca com Retirada de Trabalhadores.

Trabalhador	Útil	Tarefas				
1	1	1	3			
2	1	4				
3	0					
4	1	6	5	2		
Trabalhador	Útil	Tarefas				
1	1	1	3			
2	1	4	5			
3	1	2				
4	1	6	5	2		

FIGURA 5: Representação do Movimento Troca Dual.

RESULTADOS E DISCUSSÕES:

Para efetuar os testes do método proposto foram utilizadas 4 instâncias-teste, essas retiradas de Pantuza Jr. (2012). Elas distinguem-se umas das outras pelo número de trabalhadores e tarefas. A tabela 1 apresenta as quantidades de trabalhadores utilizados em cada instância e o número de tarefas a serem executadas.

TABELA 1: Características das Instâncias-teste

	Trabalhadores (Worker)	Tarefas (job)
Instância 1	5	10
Instância 2	10	50
Instância 3	15	100
Instância 4	25	100

O algoritmo proposto foi desenvolvido em linguagem C, usando o compilador C++ Builder 5 da Borland. O algoritmo foi testado em um PC Pentium T4400, com 2,2 GHz e 4 GB de memória Ram sob plataforma Windows 7.

O algoritmo foi inicialmente submetido a uma bateria de testes preliminares para calibrar os diversos parâmetros existentes. O parâmetro definido foi o número de iterações de cada execução.

Com o parâmetro determinado, o algoritmo foi submetido a uma bateria de testes de 100 execuções para cada instância-teste. A tabela 2 mostra o tempo gasto, em segundos, pelo algoritmo proposto bem como os valores alcançados pela função objetivo (**FO**). Os valores da tabela 2 estão divididos entre menor, médio e maior valor.

Tabela 2: Função Objetivo e Tempo de execução.

	Instancia 1			Instancia 2			Instancia 3			Instancia 4		
	Maior	Média	Menor	Maior	Média	Menor	Maior	Média	Menor	Maior	Média	Menor
FO	32	26,3	21	179	153,4	17,1	337	299,3	92	399	342,3	108
Tempo (seg)	3,2	1,7	0	11	6,7	2,3	2,7	1,2	0,6	4,1	2,1	1,2

Analisando os resultados das funções objetivos percebe-se que as instâncias 3 e 4 apresentaram valores aproximados. Uma vez que as duas diferenciam-se pela quantidade de trabalhadores alocados, podemos que este não é um grande influenciador na variação dos valores das funções objetivo.

O gráfico 1 apresenta o comportamento da função objetivo ao longo das iterações efetuadas para a Instância 4 (mais complexa).

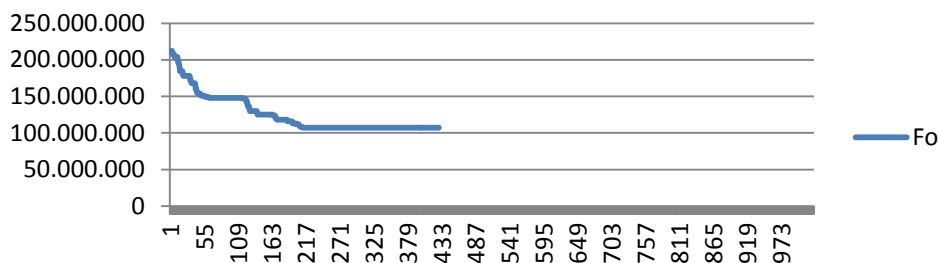


GRÁFICO 1: Relação entre Função objetivo e iterações.

A partir do gráfico 1 é possível concluir que a partir de 200 iterações o valor da função objetivo permanece constante, isso mostra que iterações posteriores à esse valor são desnecessárias.

CONCLUSÕES:

O presente trabalho propôs um algoritmo baseado em inteligência computacional para a solução do problema de sequenciamento com alocação de trabalhadores (SPWA), objetivando minimizar o *makespan* e o número de trabalhadores.

A partir dos testes realizados percebe-se que o algoritmo proposto é capaz de produzir soluções eficientes em tempo hábil, podendo assim auxiliar na tomada de decisão e reduzir custos com mão-de-obra sem comprometer prazos.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA:

FIESP. Encargos trabalhistas sobre folha de salários e seus impactos no Brasil e no mundo. *Relatório Técnico*. Fiesp/Decomtec. São Paulo – SP, 2011.

PANTUZA JR, G. (2012). Um algoritmo VNS multiobjetivo para o problema de sequenciamento com alocação de trabalhadores. *Anais do Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional – SBPO 2012*. Rio de Janeiro, RJ.

WORLD ECONOMIC FORUM. The Human Capital Report. *Committed to improving the State of the World*. Coogny/Geneva. Switzerland, 2013.