

**DIRETORIA DE PESQUISA**

**Projeto de Iniciação Científica**

**SAO - SISTEMA DE ANÁLISE DE OCIOSIDADE PARA AMBIENTE FABRIL**

**Orientador:** Profa. M.Eng. Aparecida de Fátima Castello Rosa

**Curso:** Sistemas de Informação

**Linha de Pesquisa:** Planejamento Estratégico e Governança de TI

**Diretoria dos Cursos de Informática**

**São Paulo**

**Março 2014**

**RESUMO**

As técnicas metaheurísticas têm sido empregadas na resolução de problemas complexos de otimização o que é uma preocupação constante na indústria de manufatura. Neste trabalho será confrontada a técnica metaheurística *Ant Colony Optimization for Continuous Domains* (ACOr - Otimização por Colônia de Formigas no domínio contínuo) com as técnicas Algoritmo Genético e *Simulated Annealing* aplicadas anteriormente a Sistemas de Apoio à Decisão para maximizar a capacidade produtiva por meio da identificação dos equipamentos gargalos e/ou ociosos presentes no ambiente fabril, com vistas à maximização dos resultados com base na margem de contribuição. Para tanto será desenvolvido um denominado SAO – Sistema de Análise de Ociosidade. Os resultados obtidos serão comparados tanto para os valores referentes a maximização da produtividade quanto para o custo computacional (tempo de processamento), com o intuito de testar e validar a robustez e eficiência da referida técnica metaheurística.

Palavras-chave: *Ant Colony Optimization for Continuous Domains.* Teoria das Restrições. Sistemas de Apoio à Decisão. Técnicas Metaheurísticas. Margem de Contribuição.

1. **INTRODUÇÃO**

Uma das preocupações nas últimas décadas é a otimização de processos nas mais diversas áreas do conhecimento humano, o que tem levado pesquisadores a explorar novas técnicas ou métodos de otimização, ou ainda, aprimorar os já existentes (MUNDIM e DELAVY, 2008).

Na indústria manufatureira essa preocupação é constante devido às exigências para que as organizações consigam vencer os desafios competitivos, satisfazer a demanda do mercado e garantir a qualidade do produto com custo mínimo. (BAPTISTA, LIBRANTZ e COPPINI, 2008; MOREIRA et al., 2009).

Esse cenário tem levado as empresas a reverem e efetuarem mudanças radicais nas suas estratégias de produção (YILDIZ, 2009). Os processos de produção são, em geral, muito complexos e envolvem uma grande variedade de materiais, operações e recursos. Um dos segmentos importantes dos processos de produção na indústria manufatureira é a usinagem de materiais dentre os quais os metálicos são mais relevantes.

Problemas de otimização em usinagem, geralmente, são do tipo não-linear e nem sempre podem ser resolvidos por meio de métodos de otimização convencional, que convergem para soluções ótimas locais (SANKAR et al., 2007).

Muitos problemas de otimização têm sido apresentados como NP – Difícil (*NP-hard - nondeterministic polynomial-time hard*), o que significa que o tempo de execução para que o algoritmo garanta a melhor solução cresce exponencialmente com o tamanho do problema. Como exemplo, pode-se citar o Problema do Caixeiro Viajante (PCV) (*Traveling Salesman Problem* - TSP). Esse problema consiste em, dada uma lista de cidades, um caixeiro partindo de uma cidade inicial pretende visitar todas as cidades uma única vez, e regressar à cidade de origem de modo que a distância percorrida seja mínima (EGLESE, 1990).

Uma alternativa para resolução de problemas de otimização complexos e de difícil solução tem sido a utilização das técnicas metaheurísticas.

Elas são constituídas por algoritmos de busca os quais percorrem o espaço de soluções do problema e possuem mecanismos para escapar de ótimos locais, encontrando soluções de qualidade que podem ser “ótimas” ou “próximas de ótima”, com custo computacional viável (BLUM e ROLI, 2003, 2008; EGLESE, 1990).

As técnicas metaheurísticas mais conhecidas são os Algoritmos Genéticos (AG) (HOLLAND, 1975), *Simulated Annealing* (SA) (KIRKPATRICK, GELATTI e VECCHI, 1983), *Ant Colony Optimization* (ACO - Otimização por Colônia de Formigas) (DORIGO, MANIEZZO e COLORNI, 1996), *Ant Colony Optimization for Continuous Domains* (ACOr - Otimização por Colônia de Formigas no Domínio Contínuo) (SOCHA e DORIGO, 2008) e *Particle Swarm Optimization* (PSO - Otimização por Enxame de Partículas) (KENNEDY e EBERHART, 1995).

Em virtude das técnicas metaheurísticas possibilitarem a determinação de soluções factíveis, ótimas ou próximas de ótimas com custo computacional viável e, devido à complexidade das operações envolvidas nos processos de fabricação da indústria de manufatura, elas têm sido aplicadas com sucesso nos mais diversos segmentos: Oysu e Bingul (2009) realizaram uma análise comparativa de três abordagens: AG, SA e AGSA híbrido, aplicados ao problema de otimização da trajetória da ferramenta de corte para minimização dos tempos não produtivos (movimentação de ferramenta de corte de usinagem); Rao e Pawar (2010) utilizaram os algoritmos *Artificial Bee Colony* (ABC), PSO e SA para otimização dos parâmetros em operações de fresamento multipasse; Manjeshwar, Damodaran e Srihari (2009) aplicaram SA para minimizar o *makespan* (tempo total da tarefa no processo) em chão de fábrica com duas máquinas de processamento em lotes; Sardiñas, Santana e Brindis (2009) aplicaram AG para otimização dos parâmetros de corte em processos de torneamento; Yang et al. (2009) aplicaram SA para otimização de parâmetros em usinagem por descargas elétricas. Para a resolução do problema de sequenciamento e programação de tarefas e ferramentas em um sistema de manufatura flexível Udhayakumar e Kumanan (2010) utilizaram o algoritmo de otimização ACO; Póvoa et al. (2013) utilizaram o algoritmo Otimização por Colônia de Formigas no domínio contínuo (ACOr) para o desenvolvimento de um Sistema de Apoio à Decisão denominado OPMP-ACOr Tool, para otimização dos parâmetros na formação do preço de custo em processos de usinagem, com vistas à minimização dos custos de produção; Coppini et al. (2010) propuseram uma metodologia para otimização dos recursos industriais na usinagem de peças de forma racional das disponibilidades da capacidade dos equipamentos utilizando as ociosidades na produção de produtos extras para maximizar a margem de contribuição.

Dentro desse contexto, a proposta desta pesquisa é a investigação e desenvolvimento de um Sistema de Apoio a Decisão (SAD) denominado SAO - Sistema de Análise de Ociosidade que faz uso da técnica metaheurística *Ant Colony Optimization for Continuous Domains* (ACOr) para maximizar a capacidade produtiva por meio da identificação dos equipamentos gargalos e/ou ociosos presentes no ambiente fabril, com vistas à maximização dos resultados utilizando o conceito de Margem de Contribuição (MC).

O próximo tópico apresenta o problema para o qual será desenvolvido o SAD.

* 1. **Minimização da ociosidade e maximização dos resultados com base na margem de contribuição**

Ambientes industriais são altamente competitivos. Fatores como agilidade, flexibilidade, prestação de serviço, qualidade e preços são vantagens competitivas procuradas pelas organizações. Neste cenário, propostas de otimizações de tais fatores são de especial interesse às empresas.

Um dos maiores desafios das empresas prestadoras de serviços em processos de usinagem, em termos de tomada de decisão, é o gerenciamento das atividades operacionais do dia-a-dia, que segundo Singh et al. (2006), na maioria das vezes, ao se executar operações de usinagem, três objetivos são levados em consideração: (a) taxa máxima de produção ou tempo de ciclo mínimo; (b) mínimo custo; e (c) lucro máximo. Encontrar a combinação ideal para alcançar esses objetivos é uma tarefa difícil, principalmente devido ao número de variáveis e restrições envolvidas no processo.

Esses desafios devem considerar a utilização dos equipamentos produtivos, no que diz respeito à maximização da capacidade produtiva por meio da identificação dos equipamentos gargalos e/ou ociosos presentes no ambiente fabril, com vistas à maximização dos resultados.

A Teoria das Restrições (*Theory of Constraints* – TOC), criada por Eliyahu M. Goldratt que na década de 1980 desenvolveu uma metodologia para a administração dos processos de produção industriais, visando à maximização dos resultados. Ela é uma metodologia para identificação dos gargalos, ou seja, a identificação de qualquer elemento ou fator que impede que um sistema alcance um nível melhor de desempenho no que diz respeito a sua meta (GOLDRATT e COX, 1986).

De acordo com Rahman (1998):

a) todo sistema deve ter no mínimo uma restrição. Se isso não for verdade, então o sistema real deveria ter lucro ilimitado. Por essa razão, a restrição é alguma coisa que limita o sistema de alcançar alto desempenho versus a meta;

b) a existência das restrições representa oportunidades de melhoria. Originalmente pensando, a TOC apresenta as restrições como algo positivo, não negativo. As restrições determinam o desempenho do sistema. Uma gradual elevação na restrição do sistema vai melhorar o seu desempenho.

Como em todo processo há a existência de recurso restritivo, ou seja, o gargalo, a capacidade fabril tende a seguir a capacidade do recurso restritivo.

Se por um lado, a restrição é algo que limita a capacidade fabril, por outro, o volume da capacidade ociosa pode definir a quantidade de oportunidades de desenvolvimento fabril e também a quantidade de incremento financeiro direto na lucratividade do negócio.

Monks (1987) e Slack (1997) abordam o tema ociosidade industrial a fim de quantificar o espaço de tempo “perdido” e ressaltam a importância desse tempo ser minimizado a fim de garantir a eficiência industrial.

A variação de mix de produtos pode afetar a capacidade produtiva com incremento ou eliminação de horas produtivas por estações ou processos fabris de acordo com as características técnicas dos produtos a serem fabricados (SLACK, 1997).

Para Padoveze (2006) e Martins (2006), métodos de contabilidade e sistemas de custeio consideram a ociosidade como um recurso pago e rateado inserido nos custos industriais.

Desta forma, a identificação e exploração da capacidade disponível dos equipamentos, a correta utilização da velocidade de corte em processos de usinagem (principalmente nos equipamentos identificados como gargalo), a otimização dos parâmetros de usinagem e a variação do mix de produtos poderão gerar eficiência fabril com aumento de capacidade industrial além de reduzir os custos operacionais de usinagem.

Nesta abordagem, dado um mix de produtos extras a serem usinados, em operação de torneamento, deseja-se determinar “quais” produtos e “quantos” fabricar de cada um deles, utilizando-se da capacidade disponível (ociosidade) dos equipamentos, proveniente da produção normal, de modo a maximizar a Margem de Contribuição Total (MCT), priorizando-se a MC ou a data de entrega do produto, dependendo do fator mais restritivo.

As restrições dos equipamentos ou da demanda deverão ser respeitadas. Para tanto se faz necessário identificar no processo fabril onde se localizam os recursos restritivos e não-restritivos e suas capacidades.

É importante ressaltar que a TOC foi utilizada neste trabalho com a única e exclusiva finalidade de caracterizar o que seja gargalo e que explica a presença da ociosidade. Neste sentido, a ociosidade será tratada pela programação de peças que não utilizam o equipamento gargalo visando explorar o que diz Padoveze (2006).

* 1. **Objetivo Geral**

Neste projeto, pretende-se implementar e investigar a aplicação da técnica metaheurística ACOr para maximizar a capacidade produtiva por meio da identificação dos equipamentos gargalos e/ou ociosos presentes no ambiente fabril, com vistas à maximização dos resultados utilizando o conceito de MC. Para tanto será desenvolvido um SAD denominado SAO - Sistema de Análise de Ociosidade.

Pretende-se também comparar os resultados obtidos com técnica ACOr com outras já aplicadas no mesmo problema, no que diz respeito ao custo computacional (tempo de processamento) e também com relação aos valores para o mix de produtos extras a serem fabricados.

* + 1. **Objetivos Específicos 1º Semestre**

Levantamento bibliográfico; estudo e modelagem da técnica metaheurística *Ant Colony Optimization for Continuous Domains*

* + 1. **Objetivos Específicos 2º Semestre**

Modelagem do sistema utilizando diagramas da orientada a objeto; desenvolvimento do módulo do programa referente a ociosidade.

* + 1. **Objetivos Específicos 3º Semestre**

Desenvolvimento do módulo referente a metaheurística ACOr; desenvolvimento da interface gráfica; integração dos módulos desenvolvidos.

* + 1. **Objetivos Específicos 4º Semestre**

Testes do sistema SAO; análise e comparação dos resultados obtidos; produção e submissão de artigo.

* 1. **JUSTIFICATIVA**

O uso de técnicas metaheurísticas para a solução de problemas de otimização pode tornar-se uma alternativa interessante àquelas já existentes em alguns problemas de engenharia que, apesar de efetivas, podem ainda ter suas soluções otimizadas. Além disso, o SAD proposto poderá demonstrar de forma convincente e concreta a aplicabilidade da técnica ACOr.

A proposta de desenvolvimento do SAO - Sistema de Análise de Ociosidade, no contexto deste trabalho, mostra-se pertinente devido às características do problema abordado, ao grande número de variáveis e parâmetros envolvidos, assim como a flexibilidade necessária durante o procedimento de análise, negociação e tomadas de decisões para maximizar a capacidade produtiva com vistas à maximização dos resultados.

No cenário apresentado, o SAO - Sistema de Análise de Ociosidade proposto pode tornar-se uma ferramenta auxiliar importante, para que as empresas possam identificar a capacidade disponível (ociosidade) dos equipamentos, proveniente da produção normal, para produção de um mix de produtos extras a serem usinados.

No que se refere à busca por maior qualidade e redução de custos nos processos de produção, as técnicas metaheurísticas de otimização podem ser aplicadas na busca de valores ideais para os fatores controláveis que interferem no processo, visando, principalmente: 1) uma redução da variação do processo e melhor concordância entre os valores nominais obtidos e os valores pretendidos; 2) redução do tempo do processo; 3) redução do custo operacional; 4) melhoria no rendimento do processo.

Ademais, o presente trabalho poderá contribuir na formação dos alunos no que diz respeito à iniciação a pesquisa científica, modelagem e desenvolvimento de sistemas utilizando algoritmos com ênfase em técnicas metaheurísticas e redação de artigos.

1. **TÉCNICAS HEURÍSTICAS**

Em otimização, heurística é uma parte de um algoritmo de otimização que se utiliza da informação atual obtida pelo algoritmo, para encontrar soluções de boa qualidade em um tempo computacional razoável, para problemas de otimização complexos, porém, não garantem que a solução encontrada seja a solução ótima ou o quão próxima uma determinada solução está da solução (WEISE, 2009).

As buscas com base em heurísticas podem ser úteis nos casos onde as técnicas de otimização convencionais (algoritmos com base em Programação Linear, em Programação Dinâmica, em Programação Não-Linear) não são adequadas para resolução de problemas com espaço de busca grande com muitos ótimos locais (MUKHERJEE e RAY, 2006).

A grande desvantagem das heurísticas está na dificuldade de escaparem de ótimos locais. A partir dessa dificuldade, surgiram as técnicas de busca metaheurísticas.

* 1. **Técnicas Metaheurísticas**

As metaheurísticas são métodos que combinam métodos heurísticos básicos com estratégias de alto nível para explorar o espaço de busca (BLUM e ROLI, 2003). Elas possuem mecanismos que possibilitam escapar dos ótimos locais.

As técnicas metaheurísticas são ferramentas poderosas para resolução de problemas de otimização complexos, cujo espaço de busca das soluções ótimas seja muito grande para que se possa determiná-las com precisão por meio de um método determinístico com tempo de processamento aceitável. Estas técnicas utilizam informação e intuição a respeito do problema para produzirem soluções rápidas e de boa qualidade.

Elas são algoritmos de otimização que para escapar de ótimos locais, utilizam-se de alguma heurística básica a qual pode ser uma heurística construtiva que parte de uma solução nula e adiciona elementos para construir uma solução completa, ou uma heurística de busca local que, a partir de uma solução inicial tenta melhorar essa solução por meio de operações de troca, remoção ou inserção, até que não seja mais possível a melhoria dessa solução ou algum outro critério de parada seja satisfeito (HAMMOUCHE, DIAF e SIARRY, 2010).

Dentre as propriedades fundamentais sumarizadas por Blum e Roli (2003) que caracterizam as técnicas metaheurísticas, pode-se destacar:

* são estratégias que "guiam" o processo de busca;
* o objetivo é explorar eficientemente o espaço de busca para encontrar soluções ótimas ou próximas do ótimo;
* as soluções são aproximadas e, geralmente, não-determinísticas;
* incorporam mecanismos para evitar ótimos locais do espaço de busca.

As metaheurísticas pertencem à classe dos algoritmos de otimização estocásticos, pois se utilizam de aleatoriedade para encontrar a solução ótima (ou próximas do ótimo) de um problema complexo.

* 1. ***Ant Colony Optimization* - ACO**

A metaheurística *Ant Colony Optimization* (ACO) foi introduzida por Marco Dorigo e seus colegas nos anos 1990. O desenvolvimento desse algoritmo foi inspirado no comportamento de colônia de formigas reais. Elas vivem em colônias e o seu comportamento é focado na sobrevivência da colônia e não na sobrevivência individual. (DORIGO, MANIEZZO e COLORNI, 1996)

O comportamento que inspirou a ACO é o comportamento forrageiro das formigas, principalmente no que diz respeito, como as formigas podem encontrar caminhos mais curtos entre as fontes de alimentos e seu ninho (BLUM, 2005; HAMMOUCHE, DIAF e SIARRY, 2010).

A comunicação entre as formigas é realizada por meio de uma substância química denominada de feromônio que é acumulativo e também evaporativo (YANG et al., 2009).

Em algumas espécies de formigas, o feromônio é utilizado para criar trilhas (caminhos). As formigas utilizam essas trilhas de feromônios que são depositados no chão para marcar o caminho, por exemplo, entre o ninho e uma fonte de alimento.

As formigas sentem o cheiro do feromônio, e quando elas têm que escolher um caminho, escolhem, com maior probabilidade, o caminho com maior quantidade de feromônio. Dessa forma, uma colônia é capaz de escolher, sob certas condições, o caminho mais curto para a fonte de exploração (DRÉO et al*.*, 2006).

Computacionalmente, esse comportamento é explorado por formigas artificiais, de modo que as formigas artificiais, cooperando entre si, procurem pelas melhores soluções factíveis para um dado problema de otimização (YANG e ZHUANG, 2010).

* 1. ***Ant Colony System for Continuous Domains* - ACOR**

Socha e Dorigo (2008) desenvolveram uma extensão da metaheurística ACO para otimizar problemas cujo domínio das variáveis é contínuo. Sendo o ACOR muito próximo da formulação original do ACO, com o ACOR é possível considerar problemas com variáveis no domínio discreto e contínuo.

O algoritmo ACOR envolve o uso de formigas artificiais que trabalham cooperativamente, comunicando-se por meio de trilhas de feromônio artificial.

Em linhas gerais, o ACOR mantém armazenado em uma tabela as N soluções que representam o feromônio. Também utiliza um conjunto de Funções de Densidade e Probabilidade (do inglês, *Probability Density Function* - PDF) com distribuição normal, como método probabilístico de amostragem.

1. **MATERIAIS E MÉTODOS**

A metodologia bem como os recursos necessários para o desenvolvimento deste projeto é apresentada nos itens a seguir.

* 1. **Metodologia**

Com o intuito de familiarizar o aluno com as técnicas metaheurísticas, a técnica ACOr será implementada em linguagem de programação Visual Basic ou em linguagem de programação Java com interface gráfica.

A comparação e a viabilidade do emprego da técnica ACOr será testada no problema de minimização da ociosidade e maximização da margem de contribuição já estudados e solucionados anteriormente aplicando as técnicas metaheurísticas GA e SA permitindo assim a validação da técnica proposta. (COPPINI et al., 2009, 2010; ROSA, 2011).

* 1. **Recursos Humanos**

**- Orientador**: Profª. M.Eng. Aparecida de Fátima Castello Rosa – Uninove

- Para cada objetivo específico será necessário seis alunos.

* 1. **Recursos Físicos**
     1. **Hardware**

Serão utilizados os computadores do laboratório de informática da Universidade Nove de Julho -Uninove.

* + 1. **Softwares**

Serão utilizados, de forma combinada ou não, os seguintes softwares e aplicativos:

* Sistema Operacional Windows.
* Astah - ferramenta de apoio à criação de diagramas UML (*Unified Modeling Language*) para modelagem do sistema.
* Linguagem de Programação Java com API Swing para o desenvolvimento da interface gráfica do sistema.
* Eclipse – Ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) gratuito e de código aberto para desenvolvedores de software nas linguagens Java.
* NetBeans - Ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) gratuito e de código aberto para desenvolvedores de software nas linguagens Java
* Microsoft Visual Studio (2010 ou 2012) – pacote de programas da Microsoft para desenvolvimento de software especialmente dedicado ao .NET Framework utilizando a linguagem C#.
  1. **Grupo de pesquisa/vínculo a outros projetos**

Grupo de Pesquisa: Núcleo de Estudos de Métodos Numéricos Aplicados à Engenharia de Produção.

1. **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

BAPTISTA, E. A.; LIBRANTZ, A. F. H.; COPPINI, N. L. *Analyses of the parameters influence on the price determination based on the contribution margin concept for cutting process*. In: *International Conference on Advanced Manufacturing System and Technology*, 2008, Udine, Italy: Springer. **Anais**... Udine, Italy, 2008, v.1, p. 27-34.

BLUM, C. *Ant colony optimization: Introduction and recent trends.* ***Physics of Life Reviews****,* v. 2, n. 4, p. 353-373, 2005.

BLUM, C.; ROLI, A. *Metaheuristics in Combinatorial Optimization: Overview and Conceptual Comparison.* ***ACM Computing Surveys****,* v. 35, n. 3, p. 268–308, 2003

BLUM, C.; ROLI, A. *Hybrid metaheuristics: an introduction*. In: BLUM, C.; AGUILERA, M. J.; ROLI, A; SAMPLES, M. ***Hybrid Metaheuristics: An Emerging Approach to Optimization (Studies in Computational Intelligence)***. Berlin Heidelberg: Springer. Cap. 1, p. 1-30, 2008.

COPPINI, N. L.; LIBRANTZ, A. F. H.; CARVALHO, A. A. M.; RODORIGO, R.; ROSA, A. F. C. *The Idleness Analysis During Maching: Searching for Best Organizational Results*. **In**: 30° Congresso Ibero-Latino-Americano de métodos computacionais em engenharia- CILAMCE, 2009, Búzios - RJ:. 2009, p. 1-10.

COPPINI, N. L.; LIBRANTZ, A. F. H.; ROSA, A. F. C.; CARVALHO, A. A. M. *Simulated Annealing Applied to Minimize the Idleness and Maximize the Contribution*. **In**: 2nd International Conference on Engineering Optimization. Lisboa - Portugal:, 2010, p. 1-10.

DORIGO, M.; MANIEZZO, V.; COLORNI, A. *The Ant System: optimization by a colony of cooperating agents*. ***IEEE* *Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*.** Part B: *Cybernetics*, v.26, n.1, p. 29-41, 1996.

DRÉO, J.; PÉTROWSKI, A.; SIARRY, P.; TAILLARD, E. ***Metaheuristics for Hard Optimization - Methods and Case Studies***. Springer, 2006.

EGLESE, R. W. *Simulated Annealing: A tool for Operational Research.* ***European Journal of Operational Research***, v.46, p.271-281, 1990.

GOLDRATT, E. M.; COX, J. **A meta: um processo de aprimoramento contínuo**. São Paulo: IMAM, 1986.

HAMMOUCHE, K.; DIAF, M.; SIARRY, P. *A comparative study of various meta-heuristic techniques applied to the multilevel thresholding problem.* ***Engineering Applications of Artificial Intelligence***. v.23, n.5, p. 676-688, Aug. 2010.

HOLLAND, J. H. ***Adaptation in Natural and Artificial Systems***. Massachusetts: MIT Press, 1975.

KENNEDY, J.; EBERHART, R. C. *Particle swarm optimization*. ***Proceedings*** *- IEEE International Conference on Neural Networks*, *v.4*, p. 1942–1948, 1995.

KIRKPATRICK, S.; GELATTI, C. D.; VECCHI, M. P. *Optimization by Simulated Annealing.* ***Science, New Series***, v.220, n.4598, p. 671-680, May. 1983.

MANJESHWAR, P. K.; DAMODARAN, P.; SRIHARI, K. *Minimizing makespan in a flow shop with two batch-processing machines using Simulated Annealing.* ***Robotics and Computer-Integrated Manufacturing***. v.25, p. 667–679, 2009.

MARTINS, E. **Contabilidade de Custos**. 9ª. ed. São Paulo - SP: Editora Atlas S. A., 2006.

MONKS, J. **Administração da Produção**. São Paulo: McGraw-Hill, 1987.

MOREIRA, A. A.; OLIVEIRA, N. R.; RAMOS, N. L.; TABOSA, C. M.; RODRIGUES, M. V. Utilização de ponto de equilíbrio para análise de margem de lucro operacional através de simulações de custos fixos e variáveis em uma indústria metalgráfica Cearense. **In:** ENEGEP - XXIX Encontro Nacional De Engenharia De Produção. Salvador, BA, 2009.

MUNDIM, K. C.; DELAVY, V. C. T. Otimização Global de Processos Usando o Método *Generalized Simulated Annealing*. **Revista Processos Químicos.** n.4, p. 9-23. Jul/Dez. 2008.

OYSU, C.; BINGUL, Z. *Application of heuristic and hybrid-GASA algorithms to tool-path optimization problem for minimizing airtime during machining.* ***Engineering Applications of Artificial Intelligence.*** v.22, n.3, p. 389-396, Apr. 2009.

PADOVEZE, C. L. **Curso básico gerencial de custos**. São Paulo: Atlas, 2006.

PÓVOA, G. B.; FRIZENNI, M. M. S.; SILVA, B. C.; MAGALHÃES, W.; VIEIRA, F. D.; ROSA, A. F. C. Otimização de parâmetros em usinagem por meio da metaherística colônia de formigas. **In**: 15º SIMPÓSIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA (SICT-2013). São Paulo – SP, 2013, p. 108.

RAHMAN, S. *Theory of constraints: A review of philosophy and its applications.* ***International Journal of Operations & Production Management***, v. 18, n. 4, 1998, p. 336-355.

RAO, R. V.; PAWAR, P. J. *Parameter optimization of a multi-pass milling process using non-traditional.* ***Applied Soft Computing.*** v.10, n.2, p.445-456, Mar. 2010.

ROSA, A. F. C**. Um Estudo Comparativo das Técnicas Metaheurísticas Algoritmo Genético e Simulated Annealing Aplicadas a Sistemas de Apoio à Decisão para Otimização de Parâmetros em Processos de Usinagem.** Universidade Nove de Julho – UNINOVE, 2011. 177 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Nove de Julho – UNINOVE, São Paulo, 2011

SANKAR, R. S.; ASOKAN, P.; SARAVANAN, R.; KUMANAN, S.; PRABHAHARAN, G. *Selection of machining parameters for constrained machining problem using evolutionary computation.* ***International Journal of Advanced Manufacturing Technology***, v.32, n. 9-10, p. 892–901, Apr. 2007.

SARDIÑAS, R. Q.; SANTANA, M. R.; BRINDIS, E. A. *Genetic Algorithm-based multi-objective optimization of cutting parameters in turning processes.* ***Engineering Applications of Artificial Intelligence***, v.19, n.2, p.127-133, Mar. 2006.

SINGH, G.; CHOUDHARY, A. K.; KARUNAKARAN, K. P.; TIWARI, M. K. *An evolutionary approach for multi-pass turning operations. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B:* ***Journal Engineering Manufacture****.* v. 220, n. 2, p. 145-162, 2006.

SLACK, N. **Administração da produção**. Tradução de Vários tradutores. São Paulo: Atlas, 1997.

SOCHA, K., & DORIGO, M. *Ant colony optimization for continuous domains*. ***European Journal of Operational Research*** *,* v. 185, n.3, 1155–1173, 2008.

UDHAYAKUMAR, P.; KUMANAN, S. *Sequencing and scheduling of job and tool in a flexible manufacturing system using ant colony.* ***The International Journal of Advanced Manufacturing Technology***. v. 50, n. 9-12, p. 1075-1084, 2010

YANG, J.; ZHUANG, Y. *An improved ant colony optimization algorithm for solving a complex combinatorial optimization problem.* ***Applied Soft Computing***. v. 10, p. 653-660, 2010.

YANG, S.; SRINIVAS, J.; MOHAN, S.; LEE, D.; BALAJI, S. *Optimization of electric discharge machining using Simulated Annealing.* ***Journal of Materials Processing Technology***. v.209, p. 4471–4475, 2009.

YILDIZ, A. R. *An effective hybrid immune-hill climbing optimization approach for solving design and manufacturing optimization problems in industry.* ***Journal of Materials Processing Technology***. v.209, n.6, p. 2773-2780, Mar. 2009.