



UMA REVISÃO DAS FORMAS DE REPRESENTAÇÃO E AVALIAÇÃO PARA O PROBLEMA DE FORMAÇÃO DE CÉLULAS DE MANUFATURA COM A UTILIZAÇÃO DE ALGORITMOS GENÉTICOS

Creusa Sayuri Tahara - tahara@sc.usp.br

Escola de Engenharia de São Carlos – USP – São Carlos – SP

Departamento de Engenharia Mecânica – Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica

Núcleo de Manufatura Avançada – Laboratório de Simulação de Eventos Discretos

Av. Dr. Carlos Botelho, 1465 Vila Pureza CEP. 13560-250 São Carlos –SP Tel. 016 273-9432

Eduardo Vila Gonçalves Filho - evila@sc.usp.br

Resumo. *Nos sistemas de produção atuais, a filosofia da Tecnologia de Grupo (TG) ainda desempenha um papel importante, mesmo que novos modelos de produção tenham ganhado maior enfoque. Desta forma, o problema de formação de células de manufatura, umas das aplicações diretas de TG, ainda desperta o interesse para muitos pesquisadores, por ser um problema de grande importância prática para o processo de implementação e manutenção de um sistema de manufatura celular e por ser um problema de solução complexa, pois depende da análise de restrições de origens variadas, em geral relacionadas ao tipo de produção. Este é um dos pontos motivadores para prosseguir com pesquisas nessa linha. Uma ferramenta que tem proporcionado grande avanço nas análises desse problema é o algoritmo genético. Contudo o bom desempenho do algoritmo genético depende da adequada escolha de alguns parâmetros e funções. Neste trabalho, fazemos uma revisão das formas de representação do problema de formação de células de manufatura (definição do cromossomo) mais usuais, conjuntamente com a função de avaliação, destacando as principais vantagens e desvantagens de tais formas de representação e avaliação.*

Palavras chave: Formação de células, Manufatura celular, Algoritmos genéticos

1. INTRODUÇÃO

Um novo cenário mundial está sendo formado, como resultado de muitas mudanças na forma de pensar, de consumir, de administrar, enfim, temos novos paradigmas para coordenar as empresas em harmonia com as mudanças econômicas, sociais e políticas. Desta forma, existe uma preocupação constante em buscar novas formas de obter vantagens competitivas, seja com a introdução de novas tecnologias, ciência ou pelo uso da criatividade nos meios de produção. Complementando esta idéia, um sistema de produção cujos conceitos se baseiam em regras simples e até mesmo intuitivas, como a manufatura celular, ainda encontram adeptos para sua implantação já que fornecem a base para apoiar outras mudanças no modo de produzir e inclusive de relacionamento em grupo na empresa. Embora não sejam idéias novas,

datam de meados da década de cinquenta, ainda não atingiram todo o seu potencial de utilização, e sempre encontram novas formas de aplicação.

A formação de células de manufatura é a fase inicial para a implementação do sistema de manufatura celular. Esta é uma etapa de primordial importância, já que todo o planejamento e controle da produção será afetado por esta organização, incluindo o compartilhamento das tarefas pelos grupos de trabalho da célula. Devido a esta importância, muitos algoritmos foram desenvolvidos para auxiliar ao processo de decisões na implantação de células, como: programação inteira, análise de clusters, inteligência artificial, redes neurais, teoria de grafos, algoritmos genéticos. Os algoritmos genéticos geraram uma nova perspectiva para o projeto de células de manufatura, na busca por um avanço incremental na solução do problema. Os algoritmos genéticos avaliam muitas soluções ao mesmo tempo, necessitando para tal, de uma peculiar característica de pesquisa e de representação do problema. Em geral a implementação é simples e os resultados são satisfatórios, mas para tal, duas características devem ser muito bem analisadas: a forma de representação do problema e a função de avaliação do mesmo. Na verdade são os principais e primeiros pontos a serem definidos e assim podemos compreender a importância dos mesmos. Neste trabalho, elaboramos uma revisão das principais formas de representação e funções de avaliação com comentários comparativos.

2. FORMAÇÃO DE CÉLULAS DE MANUFATURA

Um ponto de concordância no gerenciamento da produção é o fato de que a manufatura celular possibilita melhorias para a organização, mas às custas de alteração radicais no modo de produzir, envolvendo muitos setores e despendendo certo tempo para a sua efetivação. Para obtenção de ganhos significativos, as mudanças não são elementares.

O problema de formação de células de manufatura em geral é visto como um processo de agrupamento de máquinas e famílias de peças. A formação de células envolve restrições que variam conforme a empresa, tornando o problema de difícil generalização. Para a solução deste problema, foram propostos vários métodos e técnicas com o objetivo de alcançar sempre uma solução viável para implementação real. Em muitas situações, o projeto de células de manufatura será composto de quatro subproblemas com alta interação: formação de família de peça e máquinas; duplicação de máquinas; definição do layout intracelular e layout intercelular, ARVINDH & IRANI, (1994). Esses subproblemas dificultam frequentemente a identificação de composições permanentes de famílias de peças/máquinas.

Segundo IRANI et al. (1993) a manufatura celular moderna com os novos sistemas de manipulação e controle de chão-de-fábrica, deve ser projetada prevendo movimentos inter-células, ou seja, células não independentes. Isso pode ocorrer já que existe a possibilidade de quebra de máquinas ou hora-extra de máquinas, etc. Os procedimentos que utilizam a representação de agrupamento matriz peça-máquina para projeto de célula não incorporam a informação de distâncias entre células e intra-células, direção do fluxo, volume, localização de máquinas e configuração do sistema de manipulação de materiais. A informação de tamanho, forma e proximidades das máquinas são perdidos no arranjo linear. Os elementos excepcionais, fora da diagonal principal não caracterizam como os movimentos inter-células são afetados. Muitos autores têm investigado a utilidade do layout híbrido, similar ao conceito de célula virtual. Um outro conceito de manufatura celular, proposto inicialmente em 1982 pelo National Bureau of Standards é o de manufatura celular virtual. A manufatura virtual é definida como a integração de modelos computacionais que representem a estrutura completa e precisa dos sistemas de manufatura e a simulação de seus comportamentos lógicos e físicos

referentes a uma determinada operação, IWATA et al. (1995) apud VALÉRIO NETTO *et al.* (1998).

3 ABORDAGENS PARA FORMAÇÃO DE CÉLULAS

Na prática, dificilmente as indústrias utilizam um método específico para resolver o problema de formação de células, mas utilizam informações de tipo de peça, roteiro de produção, volume de produção, tipo de material, etc. Contudo MEREDITH (1992), define quatro abordagens para resolver o problema de formação de células:

- tecnologia de grupo (Sistema de Classificação e Codificação - SCC) como uma primeira etapa, já que o SCC não identifica células e nem famílias;
- análise de cluster, programação matemática;
- roteiros de fabricação para formar famílias, não forma células;
- identificação de famílias e células simultaneamente (são uma coletânea de métodos como a utilização de coeficientes de similaridade, etc).

Devido a existência de grande quantidade de métodos e técnicas, podemos encontrar várias abordagens para resumir o problema de projeto de células, dentre as quais, analisaremos a descrita em TAHARA et al. (1997). Segundo a referida abordagem, podemos inicialmente dividir o projeto de células como: orientado pelo projeto e orientado pelo processo. A partir dessa divisão, encontramos os métodos associados a cada abordagem e as diversas técnicas que podem ser implementadas para o desenvolvimento do projeto. A figura 1 ilustra a abordagem.

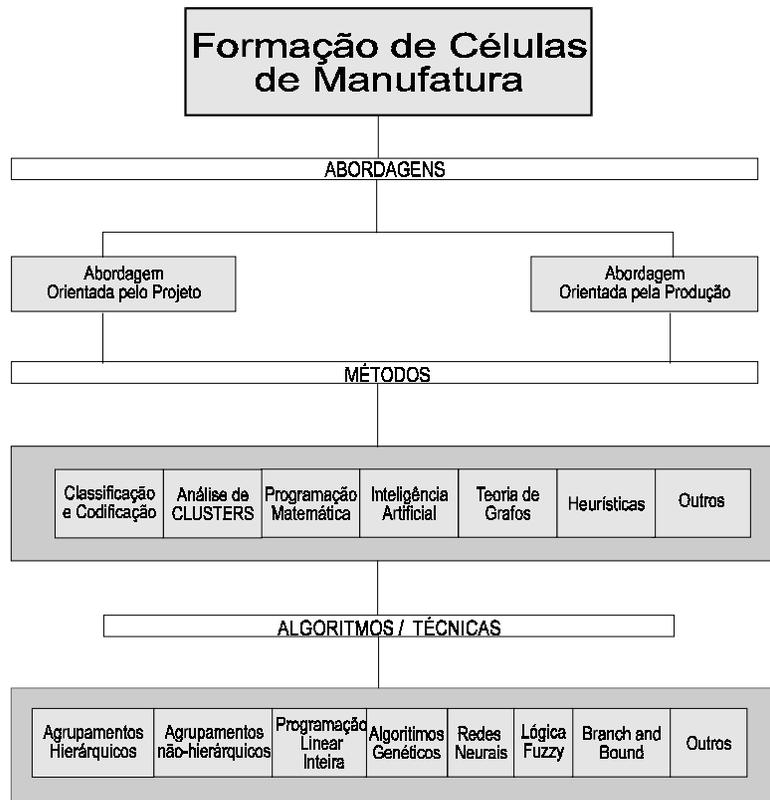


Figura 1: Classificação das abordagens para formação de células

Antes de iniciar a implantação das células de manufatura, a administração da empresa deve realizar um planejamento global das atividades ou dos estágios a serem desenvolvidos. O projeto de células de manufatura compreende uma série de decisões, as quais devem ser organizadas e integradas para que um bom resultado seja obtido, desde a escolha do tipo e quantidade de equipamentos que formarão a célula e que conjunto de componentes serão produzidos, etapas descritas em CHOUBINEH (1988). Esta é uma difícil tarefa, já que existe uma gama de combinações bastante ampla. A célula de manufatura deve ser o resultado de uma interação entre o nível de projeto e o nível operacional, pois tanto a carga de trabalho de cada célula (formação de filas) quanto a flexibilidade são pontos vitais para uma boa implantação.

3. ALGORITMOS GENÉTICOS

Os problemas de otimização são resolvidos por meio de muitas técnicas, sendo algumas de simples utilização com resultados aproximados e outras mais sofisticadas envolvendo maior tempo computacional mas fornecendo ótimos resultados. Contudo, muitos problemas, principalmente aqueles com características combinatorias encontram dificuldade de solução devido a complexidade computacional. Estes problemas são bem resolvidos com a utilização de algoritmo genético (AG).

Algoritmo genético é um método computacional de busca baseado em mecanismos de evolução natural e genética. Estes mecanismos combinam a sobrevivência dos mais ajustados com uma estrutura de troca aleatória de informações.

O princípio básico de funcionamento dos algoritmos genéticos é de simples programação e descrição, mas seu comportamento muitas vezes pode ser complexo, já que dependem da utilização de operadores que realizam funções de reprodução, cruzamento e mutação, semelhante ao processo biológico. O algoritmo genético funciona iterativamente com uma população de possíveis soluções e cada iteração corresponde a uma nova geração de soluções, sendo que as mais aptas (que fornecem um maior valor para a função de ajuste) continuam para as próximas gerações. Assim, o primeiro passo para a aplicação dos AGs é a representação das possíveis soluções no espaço de busca como uma seqüência de símbolos, uma *string* de *bits*, números, etc. A solução estruturada é chamada de cromossomo artificial sendo que cada elemento dessa seqüência é chamado gene e o seu possível valor é chamado alelo.

Inicia-se a otimização com um conjunto de soluções obtidas aleatoriamente ou por algum processo heurístico de forma que a população gerada seja representativa do espaço de busca. Novos candidatos a solução são, então, obtidos a partir da população atual por meio da aplicação de operadores genéticos artificiais. Com base em uma política de seleção natural, a população de soluções retorna ao seu tamanho original, sobrevivendo apenas as melhores soluções.

Os operadores genéticos comumente empregados são: cruzamento, mutação e reprodução. O operador cruzamento é utilizado para obter-se soluções a partir de partes trocadas de duas soluções selecionadas na população atual. O operador mutação é empregado para promover alterações arbitrárias em um ou mais elementos da *string* de uma solução. Este processo é controlado por uma probabilidade de mutação que em geral é pequena. A mutação garante uma chance de maior exploração no espaço de soluções. O operador reprodução duplica o cromossomo com a função de avaliação mais ajustada. Este operador garante que os cromossomos mais ajustados sobrevivam para gerações futuras e que novos cromossomos herdem suas características. A política de seleção, que avalia a função de ajuste, mantém o número de soluções da população constante, pela sobrevivência das soluções que mais se aproximam da meta, as soluções mais adaptadas num paralelo com a teoria da evolução. Assim, com uma boa estruturação do problema, definida pela representação cromossômica do problema e forma de avaliação, e uma combinação conveniente dos operadores as soluções convergem em direção à solução ótima do problema.

3.1 Formas de representação e avaliação

Os problemas resolvidos pelos algoritmos genéticos abrangem muitas áreas do conhecimento, bastando para tal que se encontre uma forma adequada de representação da solução. O tipo mais comum e mais fácil de ser trabalhado pelo algoritmo genético é a representação por uma *string* binária. Nesse caso, os operadores tornam-se diretamente aplicáveis e de fácil manipulação. Contudo, em muitos casos não é possível encontrar uma representação tão elementar do problema, tornando necessária a criação de estruturas mais elaboradas.

VENUGOPAL & NARENDRAN (1992), é o primeiro artigo de aplicação do algoritmo genético para formação de células de manufatura. O tempo de processamento de cada peça em diferentes máquinas, demanda de cada peça e carga de trabalho em cada máquina para diferentes peças são incluídos na análise. Contudo, a consideração explícita de

muitos objetivos é difícil, sendo então muito importante definir um número tratável de objetivos que sejam distintos e mensuráveis.

O algoritmo genético tem a propriedade de paralelismo implícita, pois trabalha com uma população de soluções simultaneamente. A estrutura é feita da seguinte forma:

- O alelo representa o número da célula;
- A string com os números das células representa um cromossomo (cromossomo máquina-célula);

O cromossomo tem um alelo para cada máquina. O tamanho do cromossomo é igual ao número de máquinas. A posição do alelo representa a máquina enquanto o valor representa a célula. Utiliza duas populações, uma para avaliar cada critério. Os operadores utilizam um cromossomo de cada população. Os elementos são selecionados de acordo com uma probabilidade calculada. Os resultados foram animadores, mostrando-se efetivos em oferecer uma coleção de soluções satisfatórias.

Em GRAVEL et al.(1998) um algoritmo genético é apresentado para resolver o problema de formação de células para produtos com múltiplos roteiros. O método gera um conjunto de soluções que podem ser selecionadas pelo gerente de produção de acordo com objetivos específicos. Um particular procedimento para implementação do algoritmo é utilizado chamado procedimento genético *double-loop*. O *loop* externo usa cromossomos que representam a locação de máquinas para células. Os genes do cromossomo máquina-célula representam todas as máquinas do sistema de produção em questão. O valor de cada gene indica a célula a que a máquina pertence. Cada cromossomo é avaliado por um segundo procedimento genético, o *loop* interno, no qual os cromossomos representam a alocação de peças aos roteiros. Cada gene desse cromossomo representa uma peça e o valor assumido pelo gene representa o roteiro alocado para a respectiva peça.. Cada célula produzida no *loop* externo é avaliada de acordo com o alocação de peça-roteiro encontrada no *loop* interno. Esta forma de representação determina como os operadores genéticos serão implementados e utilizados, contudo mantendo as mesmas características básicas.

Em GUPTA et al. (1996) o problema de formação de células é representado como cada gene sendo um número de célula e a posição do gene no cromossomo representa o número de máquina. O tamanho do cromossomo representa o número de máquinas considerado no problema.

A representação do problema de formação de células para JOINES et al. (1996) é realizada por um vetor de $(m + n)$ variáveis inteiras, em que m e n indicam as máquinas e peças respectivamente. Em JOINES et al. (1995) é sugerida a mesma forma de representação.

Em AL-SULTAN & FEDJKI (1997) a solução do problema é definida como um vetor de tamanho n onde o valor do i -ésimo elemento representa a família para a qual a peça i foi alocada. Esta é uma típica representação para o problema e em geral os resultados obtidos são bastante satisfatórios, já que os operadores podem ser aplicados diretamente sem grande necessidade de melhorias.

HSU & SU (1998) mencionam também que a primeira tarefa crítica é a representação genética da solução do problema. Então também sugerem que cada solução, representada por um cromossomo, o gene representa a célula em que a máquina (representada pela posição do gene) deve ser alocada.

Resumidamente, as informações anteriores estão listados na tabela 1.

4. CONCLUSÃO

É notória a importância da manufatura celular para os sistemas de produção e conseqüentemente o problema de formação de células. Muitos algoritmos são sugeridos e

novos enfoques para o problema são levantados, como por exemplo a utilização das idéias de seleção e evolução natural, os algoritmos genéticos, para incorporar novas perspectivas de maior aplicabilidade da técnica. Neste trabalho elaboramos uma breve revisão, já que ainda são poucos os trabalhos propostos para o problema de formação de células utilizando os algoritmos genéticos, enfocando as formas de representação e avaliação. Dos trabalhos analisados, verificamos que apesar de ainda pouco explorada para resolver o problema de formação de células, a técnica possui uma grande flexibilidade para incorporação de novas idéias e para contornar problemas reais, necessitando para tal de recursos computacionais relativamente simples. Contudo, isto depende em muito da familiaridade com o problema e de todos os detalhes peculiares a ele. Espera-se que com as pesquisas observadas, tenhamos uma solução que realmente represente um avanço incremental em novas direções, com novas propostas para problemas antigos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL-SULTAN, K. S. , FEDJKI, C.A., 1997, A genetic algorithm for the part family formation problem. *Production Planning & Control*, v. 8, n.8, p.788-796.
- ARVINDH, B., IRANI, S.A., 1994, Cell formation: the need for an integrated solution of the subproblems *International Journal of Production research* v 32 n 5 p. 1197-1218.
- CHOOBINEH, F. , 1988, A framework for the design of cellular manufacturing systems. **Introduction Journal of Production Research**, v. 26, n. 7, p. 1161-1172.
- GRAVEL, M., NSAKANDA, A. L., PRICE, W. 1998, Efficient solutions to the cell-formation problem with multiple routings via a double-loop genetic algorithm. *European Journal of Operational Research*, v. 109, p.286-298.
- GUPTA, Y., GUPTA, M. , KUMAR, A., SUNDARAM, C. 1996, A genetic algorithm-based approach to cell composition and layout design problems. *Introduction Journal of Production Research*
- HSU, C-M., SU, C-T. 1998, Multi-objective machine-component grouping in cellular manufacturing: a genetic algorithm. *Production Planning & Control*, v. 9, n.2, p.155-166.
- IRANI, S.A., CAVALIER, M., COHEN, P.H. , 1993, Virtual manufacturing cells: exploiting layout design and intercell flows for the machine sharing problem. *Int. Prod. Res.*, v.31, n. 4, p. 791-810.
- JOINES, J. A., CULBRETH, C.T. KING, R.E., 1995, Manufacturing cell design using an integer-based genetic algorithm. *Flexible automation and intelligent manufacturing*
- JOINES, J. A., CULBRETH, C.T. KING, R.E., 1996, Manufacturing cell design: an integer programming model employing genetic algorithms. *IIE Transactions*
- JOINES, J.A., KAY, M.G., KING, R.E., 1997, A hybrid-genetic algorithm for manufacturing cell design. *Notas*.
- KAZEROONI, M. LUONG, L.H.S., ABHARY, K., 1995, Cell formation using genetic algorithms *Flexible automation and intelligent manufacturing*.
- MEREDITH, J. R. *The management of operations: a conceptual emphasis*. 4 ed. John Wiley & Sons Inc. , New York, 1992.
- TAHARA, C. S., CARVALHO, M., M., GONÇALVES FILHO, E., V., 1997, Revisão das Técnicas para Formação de células de manufatura. XVII ENEGEP, CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, ANAIS de Congresso, Gramado, RS, 06-09 out.
- VALÉRIO NETO, A. TAHARA, C.S. PORTO, A. J.V., GONÇALVES, E. V., 1998, Realidade virtual e suas aplicações na área de manufatura, treinamento, simulação e desenvolvimento de produto, *Revista Gestão & Produção*.

VENUGOPAL, V. & NARENDRAN, T.T., 1992, A genetic algorithm approach to the machine-component grouping problem with multiple objectives. **Computers Ind. engng.** V 22, n. 4 p. 469-480.

A REVIEW OF THE REPRESENTATION AND EVALUATION FORMS OF THE CELL FORMATION PROBLEM USING GENETIC ALGORITHMS

Abstract. In the current production systems, the philosophy of the Group Technology (GT) still plays an important part, even though new production models have received more attention. Therefore, the problem of cell formation of manufacturing, one of the direct applications of GT, still raises the interest of many researchers, as it is a problem of great practical importance for the implementation process and maintenance of a cellular manufacturing system and it also forms a complex solution, because it depends on the analysis of constraints of varied origins, in general related to the production type. This is one of the points of motivation for continuing research in that line. A tool that has been providing great progress in the analysis of that problem is the genetic algorithm. However, the good acting of the genetic algorithm depends on the appropriate choice of some parameters and functions. In this paper, we present a review of the forms of representation (definition of the chromosome) and evaluation of the problem of cell formation for manufacturing.

Keywords: Cell formation, Cellular manufacturing, Genetic algorithms

Tabela 1: Tipos de representação e função de avaliação para o problema de formação de células.

Tipo	Representação	Função de Avaliação
1	<p>Cada gene representa um número de célula e a posição do gene no cromossomo representa uma máquina. (1,1,2,3,2,1,3) Célula 1: máquina 1, máquina 2 e máquina 6 Célula 2: máquinas 3 e 5 Célula 3: máquinas 4 e 7</p>	<p>Função Multi-objetivo ponderada: $F = \frac{(w_1 \times (1 - F_1) + w_2 \times (1 - F_2) + w_3 \times (1 - F_3))}{(w_1 + w_2 + w_3)} - Penalidade$</p>
2	<p>Cada gene representa um número de célula e a posição do gene no cromossomo representa uma máquina.</p>	$f(t) = \begin{cases} f_{\max} - g(t) & \text{quando } g(t) < f_{\max} \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$ <p>$g(t)$ é a função objetivo de uma solução, f_{\max} é o maior valor da função objetivo na geração</p>
3	<p>As primeiras m variáveis do cromossomo representam as m máquinas e as n demais representam as peças.</p>	<p>Eficiência do grupo: $\frac{e - e_0}{e + e_v}$ e_0 é o número de elementos excepcionais e é o número de operações na matriz.</p>
4	<p>Cada gene representa um número de célula e a posição do gene no cromossomo representa uma máquina.</p>	$f_1 = F_1^{\max} - F_1^{\max} \quad \text{quando } F_1 < F_1^{\max}$ $= 0 \quad \text{caso contrário}$ $f_2 = F_2^{\max} - F_2^{\max} \quad \text{quando } F_2 < F_2^{\max}$ $= 0 \quad \text{caso contrário}$ <p>F_1^{\max} e F_2^{\max} podem ser escolhidos como coeficiente de entrada positivos suficientemente grandes.</p>
5	<p>Procedimento genético <i>double-loop</i>. O <i>loop</i> externo usa cromossomos que representam a locação de máquinas para células. Os genes do cromossomo máquina-célula representam todos as máquinas do sistema de produção em questão. O valor de cada gene indica a célula a que a máquina pertence.</p>	<p>Dois objetivos são considerados: F1 = minimizar movimentos inter-celular; F2 = balanceamento da carga de máquinas dentro da célula É considerada então uma soma ponderada: $F = w1F1 + w2F2$</p>
6	<p>O problema é definido como um vetor de tamanho n onde o valor do i-ésimo elemento representa a família para a qual a peça i foi alocada.</p>	$p_i = \frac{f_{\max} - f_i}{\sum_{i=1}^n (f_{\max} - f_i)}$ <p>p_i = probabilidade de seleção f_i = função objetivo n = tamanho da população f_{\max} = máximo valor da função objetivo</p>

Tabela 1: Continuação

Tip o	Vantagens	Desvantagens	Referência
1	<ol style="list-style-type: none"> 1. O algoritmo considera muitos aspectos realistas; 2. O impacto do layout da célula é analisado; 3. Otimização de múltiplos objetivos 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Os procedimentos não são bem adaptados para problemas de diferentes escalas; 2. A otimização simultânea de múltiplos objetivos é difícil e alguns <i>tradeoffs</i> devem ser feitos. 	HSU & SU (1998)
2	<ol style="list-style-type: none"> 1. Otimização de múltiplos objetivos; 2. Análise de dois tipos de layout da célula 3. Tratamento estatístico para escolha do parâmetros 4. Elaboração diferenciada de operadores genéticos 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Para a otimização da função objetivo múltipla, não é possível obter um único resultado; 2. O número de células deve ser informado 	GUPTA et al. (1996)
3	<ol style="list-style-type: none"> 1. Utilização de um procedimento para melhorar a busca local 2. A abordagem responde a algumas limitações de outros métodos 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Maior complexidade de implementação; 2. Maior complexidade para incorporação de restrições importantes ao problema. 	JOINES et al. (1997)
4	<ol style="list-style-type: none"> 1. Independe da função objetivo 2. considera vários aspectos reais 3. primeiro trabalho aplicando algoritmos genéticos para resolver o problema de formação de células 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Utiliza exemplos pequenos 	VENUGOPAL & NARENDRAN, (1992)
5	<ol style="list-style-type: none"> 1. Problema de formação de células para produtos com múltiplos roteiros; 2. O método gera um conjunto de soluções que podem ser selecionadas pelo gerente de produção de acordo com objetivos específicos 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Existe a dependência do sistema por um especialista para decidir por uma solução dentre um conjunto de soluções possíveis; 	GRAVEL et al. (1998)
6	<ol style="list-style-type: none"> 1. Uma heurística simples; 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Especificação dos parâmetros como: tamanho de cada família de peças, número de famílias de peças. 2. Analisa apenas soluções propostas na literatura 	AL-SULTAN & FEDJKI (1997)