

### 3 FLUXOGRAMA PARA FORMAÇÃO DE CÉLULAS DE PRODUÇÃO A PARTIR DA MATRIZ DE PROCESSAMENTO EXPANDIDA

Os algoritmos binários foram apenas um alicerce para o desenvolvimento de novas técnicas de formação de células que evoluíram à medida que a tecnologia também evoluiu. A proposta de expansão da matriz de processamento na forma apresentada nesta dissertação foi toda pautada nesses algoritmos baseados em matriz, exemplificados no capítulo anterior. Verificou-se o potencial destes métodos e as oportunidades de melhoria que poderiam ser implementadas, adicionando algumas variáveis que já vinham sendo examinadas por diversos autores (Malakooti, 2004; Mahdavi e Mahadevan, 2007).

Com a inserção de novas variáveis na matriz inicial, compoem-se a “matriz de processamento expandida”. As variáveis consideradas na matriz expandida adotada nesta dissertação são: o seqüenciamento de produção, tempos de processamento, demanda e capacidade produtiva, permitem o cálculo de atributos importantes, tornando o dimensionamento das células mais amplo. O seqüenciamento está intimamente ligado à estruturação do layout das células, fazendo com que se alinhem as máquinas numa ordem coerente com os fluxos consecutivos de produção.

A primeira diferença a ser percebida na aplicação dessas variáveis é logo visualmente identificada na matriz expandida. A matriz nos algoritmos ROC, CIA e DCA é binária e composta apenas pelo número de peças e número de máquinas envolvidos no sistema e preenchidas por zeros e uns, por se tratar de um sistema binário.

A diferença notada na matriz expandida pode ser observada na Figura 23:

		Máquinas							
		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
Peças	P 1	1		1			1		
	P 2			1					1
	P 3	1		1			1		1
	P 4		1		1			1	
	P 5		1		1	1		1	

(a) Matriz binária utilizada pelos algoritmos ROC, CIA e DCA.

		Máquinas								D
		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	
Peças	P 1	2; 0.1	p	1; 0.3			3; 0.3			200
	P 2			3; 0.3					4; 0.3	200
	P 3	2; 0.2		1; 0.3			3; 0.3		4; 0.3	200
	P 4		2; 0.2		2; 0.2			3; 0.3		200
	P 5		1; 0.2		1; 0.2	2; 0.2		3; 0.3		200
CP		240	240	240	240	240	240	240	240	

(b) Matriz expandida utilizada pelo autor.

Figura 23. Diferença de sintaxe entre uma matriz binária e uma matriz expandida. Fonte: Elaborado pelo autor.

Na matriz expandida (Figura 23b) um volume maior de informações é visualizado. Uma coluna acrescentada à direita da matriz indica a demanda, em um horizonte de tempo, para cada peça a ser produzida. Uma linha também é adicionada na matriz inicial, a qual indica a capacidade produtiva de cada máquina, respeitando-se uma determinada jornada de trabalho.

A sintaxe utilizada nesta dissertação foi baseada em Malakooti *et al.* (2004). Adotada para preencher os dados das células da matriz expandida. Introduce informações do seqüenciamento ordenado pelo qual cada peça irá passar em cada máquina até que se chegue ao produto final. Além dos dados de seqüência, cada elemento da matriz também recebe o tempo de processamento da peça em cada etapa de sua produção em uma respectiva máquina.

O primeiro número preenchido em cada célula da matriz expandida corresponde ao número de seqüenciamento da peça. Por exemplo, a peça P1 começa a ser produzida na máquina M3, logo é identificada pelo número 1, em seguida é movimentada para ser processada na máquina 1 e finalizada na máquina 6. O outro valor dentro de cada célula indica o tempo de processamento da peça na máquina. Portanto, a peça 1 começa a ser produzida na máquina 3 e demora 0.3

unidade de tempo para ser processada nesta etapa, sendo feita em um tempo total de 0.7. Este exemplo está ilustrado na Figura 24.

	Máquinas			Tempo total
	3	1	6	
Peça 1	1; 0.3	2; 0.1	3; 0.3	0.7

Sequenciamento ←      → Tempo de processamento

Figura 24. Indicação do seqüenciamento e tempo de processamento na matriz.

O fluxograma da proposta será apresentado no item a seguir.

### 3.1 FLUXOGRAMA PARA A MATRIZ DE PROCESSAMENTO EXPANDIDA

O Fluxograma da Figura 25 define cada etapa de uso das variáveis introduzidas que formam a matriz expandida, além de determinar os procedimentos quanto ao comportamento da EBD. Existem decisões e necessidades diferentes a partir do momento em que se define se a matriz expandida possui elementos de exceção ou não. No caso em que houver, é verificado se o percentual desse indicador compromete a formação de células a ponto de descartar a matriz ou não. Outra decisão que influencia o caminho do fluxograma é a opção em realocar máquinas, para que se minimize o fluxo intercelular (FIC).

A descrição de cada etapa do fluxograma será realizada após a seguir.

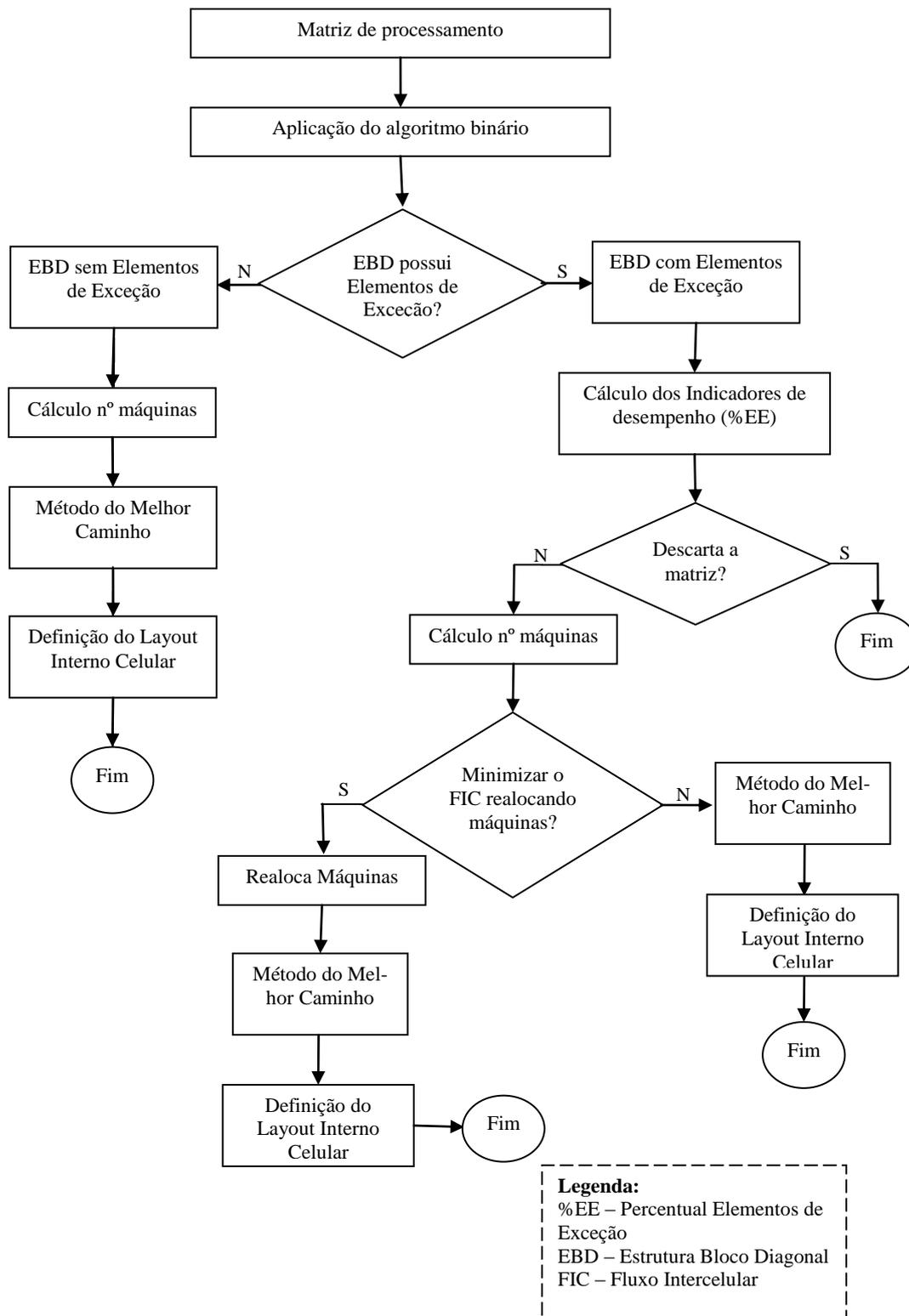


Figura 25. Fluxograma da matriz de processamento expandida.

### 3.2 DESCRIÇÃO DO FLUXOGRAMA

Nesta seção são descritos os principais componentes do fluxograma proposto.

### 3.2.1 Matriz de processamento

A matriz de processamento engloba todo o processo produtivo do qual se deseja obter a formação de células funcionais de produção.

Os dados iniciais com as informações dos elementos envolvidos no sistema são levantados, ou seja, os tipos de peças ou produtos do portfólio da empresa e os diferentes tipos de máquinas utilizados na produção. Como mencionado, a diferença entre as informações da matriz inicial dos métodos algorítmicos pesquisados e da matriz expandida inclui variáveis adicionais que devem ser coletadas. Trata-se dos dados do seqüenciamento individual de cada tipo de produto, os tempos que esses produtos levam para serem processados em cada etapa de fabricação em uma determinada máquina, a quantidade demandada de cada tipo de peça e a jornada de funcionamento das máquinas em um horizonte de planejamento.

Logo, a matriz de processamento obrigatoriamente deverá conter:

- Quantidade de peças diferentes a ser utilizada pela máquina  $i$ , enumeradas e introduzidas no eixo vertical;
- Quantidade de máquinas diferentes a ser utilizada para o processamento da peça  $j$ , enumeradas e introduzidas no eixo horizontal;
- Demanda de cada tipo de peça, à direita da matriz;
- Capacidade produtiva de cada tipo de máquina em uma jornada de trabalho, inserida abaixo da matriz;
- O seqüenciamento produtivo de cada tipo de peça;
- Tempos de processamento de cada tipo de peça em uma máquina.

Haja vista a inserção destas variáveis, a matriz de processamento ou matriz inicial perde temporariamente sua característica binária, que novamente será recuperada no passo a seguir, no tratamento algorítmico.

### 3.2.2 Aplicação do algoritmo binário

Apesar das informações adicionadas na matriz de processamento, nesta etapa, os diferentes algoritmos de formação de células baseado em matriz, são aplicados. Apenas um algoritmo necessita ser utilizado, a não ser que, para efeito

de comparação de resultado entre algoritmos, o projetista deseja aplicar outros.

Os algoritmos mais utilizados são o ROC e o DCA, pois apresentam resultados muito semelhantes. Neste trabalho, considerando a pouca variação de resultado entre os algoritmos, será adotado o ROC.

Nesta etapa do fluxograma, o tratamento algorítmico, não deve ser levado em consideração a coluna com os dados de demanda das peças, nem a linha com a capacidade produtiva das máquinas. Estas podem ser momentaneamente excluídas da matriz, bem como as informações de seqüenciamento e tempo de processamento, estes elementos serão considerados como elementos “1” da matriz binária.

Após a execução do algoritmo, a matriz final é obtida, e as células de produção são identificadas e formadas na matriz, a partir da Estrutura Bloco Diagonal.

A Figura 26 ilustra uma matriz expandida inicial e a matriz final formada pelo tratamento algorítmico pelo qual a matriz se submeteu.

		Máquinas								
		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	D
Peças	P1	2; 0.1		1; 0.3			3; 0.3			200
	P2			1; 0.3					2; 0.3	200
	P3	2; 0.2		1; 0.3			3; 0.3		4; 0.3	200
	P4		2; 0.2		2; 0.2			3; 0.3		200
	P5		1; 0.2		1; 0.2	2; 0.2		3; 0.3		200
	CP	240	240	240	240	240	240	240	240	

(a) Matriz Inicial.

		Máquinas								
		M3	M1	M6	M8	M2	M5	M4	M7	D
Peças	P3	1; 0.3	2; 0.1	3; 0.3	4; 0.3					200
	P1	1; 0.3	2; 0.2	3; 0.3						200
	P2	1; 0.3			2; 0.3					200
	P4					2; 0.2		2; 0.2	3; 0.3	200
	P5					1; 0.2	2; 0.2	1; 0.2	3; 0.3	200
CP	240	240	240	240	240	240	240	240		

(b) Matriz Final.

Figura 26. Matriz inicial e matriz final da matriz de processamento expandida.

Logo a Figura 26(b) apresenta a estrutura das células dessa forma:

- Célula 1 – Máquinas M1, M3, M6 e M8. Peças 1, 2 e 3.

- Célula 2 – Máquinas M2, M4, M5 e M7. Peças 4 e 5.

### 3.2.3 Verifica a existência de elementos de exceção na matriz expandida

Esta etapa consiste em verificar se a matriz de processamento expandida, obtida pelo algoritmo binário, gerou elementos fora da Estrutura Bloco Diagonal.

Para o caso em que não houve elementos de exceção, admite-se que a EBD formada é considerada perfeita e é dada continuidade pelo primeiro ramo do fluxograma. Caso contrário, em que há elementos de exceção, admite-se que a EBD não é perfeita e a próxima etapa é calcular o percentual destes elementos de exceção e determinar se a matriz será descartada ou não.

### 3.2.4 Estrutura Bloco Diagonal sem elementos de exceção

A verificação realizada na seção anterior define a existência ou não de elementos excepcionais. Para o caso em que não exista a presença desses elementos, o ramo a ser seguido é o da EBD sem elementos de exceção.

		Máquinas							
		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	D
Peças	P1	1;1.5	2;0.3	4;0.3	3;0.2				100
	P2	2;1.5	1;0.2	3;0.2	4;0.2				100
	P3	1;0.7	2;0.1		3;0.1				100
	P4					1;0.1	2;0.2	3;0.1	100
	P5					1;0.1	2;0.3	3;0.1	100
	P6					1;0.1	3;0.2	2;0.1	100
CP		240	240	240	240	240	240	240	

Figura 27. EBD sem elementos de exceção. Fonte: Elaborado pelo autor.

No exemplo da Figura 27, as duas áreas destacadas indicam as células que se formaram, neste caso, Célula 1 composta pelas máquinas M1, M2, M3 e M4 que produzem as peças 1, 2 e 3 e a Célula 2 composta pelas máquinas M5, M6 e M7 que produzem as peças 4, 5 e 6. Não há elementos preenchidos fora das delimitações das células, ou seja, não há elementos de exceção. Isso significa que

tem-se uma EBD perfeita, vale ressaltar, também, que no parágrafo anterior foi citado o termo elemento “1”, isto por fazer referência à matriz binária do algoritmo que for usado. Porém, na verdade, esses elementos “1” são preenchidos com as informações de seqüência de produção e tempo de processamento das peças nas máquinas, respectivamente.

O ideal é que sempre seja possível formar EBD perfeita, mas nem sempre é possível fazer com que isso aconteça. De qualquer forma, existe aplicabilidade de células de produção em EBD imperfeita, como será visto mais adiante.

### 3.2.5 Cálculo do número de máquinas

Xambre e Vilarinho (2003) relatam que um dos principais objetivos do problema de formação de células é encontrar um grupo de máquinas dentro das células que minimize o fluxo intercelular.

Ainda de acordo com Xambre e Vilarinho (2003), poder estabelecer a quantidade de máquinas de um mesmo tipo, permitindo a alocação e operação nas células é oferecer um grau de liberdade a mais nesses métodos, e ainda afirmam que esta análise pode promover uma redução no fluxo intercelular.

O método utilizado para o cálculo do número de máquinas foi baseado em Francis *et al.* (1992), cujo objetivo é definir uma taxa de exigência de equipamentos. Para isto, foi utilizada a taxa de produção desejada de cada peça (demanda), o tempo de produção padrão para cada peça e a capacidade produtiva em horas/mês de cada máquina. A equação de Francis *et al.* (1992) é ilustrada abaixo:

$$M_j = \sum_{i=1}^n \frac{P_{ij} \times T_{ij}}{H_{ij}}$$

Onde:

$M_j$  = número de máquinas do tipo j a ser requerido

$P_{ij}$  = taxa de produção desejada da peça i na máquina j

$T_{ij}$  = tempo de produção da peça i na máquina j

$H_{ij}$  = capacidade máxima produtiva de um máquina j em um período de tempo determinado

n = número de peças

Foram utilizadas estas mesmas variáveis para o cálculo do número de máquinas, de acordo com exemplo ilustrativo da Figura 27.

Com as células de produção formadas, o cálculo do número de máquinas será efetuado. Para isso, um novo valor será inserido em cada um dos elementos não-nulos da matriz. Trata-se da aplicação da equação de Francis et al. (1992) descrita acima. Multiplica-se o tempo de processamento da peça  $i$  na máquina  $j$  pela demanda desta peça, em seguida realiza-se a razão entre o número obtido e a capacidade produtiva da máquina  $j$ , o valor obtido será incluído ao lado direito do tempo de processamento dos elementos da matriz.

Exemplificando, para o cálculo da Peça 1 e Máquina 1:

$$M_j = \sum_{i=1}^n \frac{P_{ij} \times T_{ij}}{H_{ij}} \Rightarrow \frac{1.5 \times 100}{240} = 0,62$$

Este procedimento é realizado para todos os elementos e resulta na configuração da Figura 28.

		Máquinas							
		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	D
Peças	P 1	1;1.5;0.62	2;0.3;0.12	4;0.3;0.12	3;0.2;0.08				100
	P 2	2;1.5;0.62	1;0.2;0.08	3;0.2;0.08	4;0.2;0.08				100
	P 3	1;0.7;0.29	2;0.1;0.04		3;0.1;0.04				100
	P 4					1;01;0.04	2;0.2;0.08	3;0.1;0.04	100
	P 5					1;01;0.04	2;0.3;0.12	3;0.1;0.04	100
	P 6					1;01;0.04	3;0.2;0.08	2;0.1;0.04	100
CP		240	240	240	240	240	240	240	

Figura 28. EBD com nível de processamento da demanda das peças pela capacidade de produção.

Em seguida, para estabelecer a quantidade de cada máquina, basta somar o valor obtido no passo anterior para todas as peças contidas em uma coluna de uma respectiva máquina.

Exemplificando, o nível de produção da máquina M1:

$$0.62 + 0.62 + 0.29 \Rightarrow 1,5$$

O resultado mostra que uma máquina apenas não é suficiente para atender a produção. Nesses casos, sempre se adota o número inteiro seguinte para identificar a quantidade de máquinas necessárias.

Repete-se este procedimento para as outras máquinas da matriz e duas novas linhas são acrescentadas ao sistema, respectivamente indicando o somatório dos tempos de produção de toda a demanda para cada tipo de peça produzida por uma máquina e a quantidade necessária de máquinas para atender esta demanda de produção. A Figura 29 retrata a nova expansão da matriz:

		Máquinas							
		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	D
Peças	P <sub>1</sub>	1;1.5;0.62	2;0.3;0.12	4;0.3;0.12	3;0.2;0.08				100
	P <sub>2</sub>	2;1.5;0.62	1;0.2;0.08	3;0.2;0.08	4;0.2;0.08				100
	P <sub>3</sub>	1;0.7;0.29	2;0.1;0.04		3;0.1;0.04				100
	P <sub>4</sub>					1;01;0.04	2;0.2;0.08	3;0.1;0.04	100
	P <sub>5</sub>					1;01;0.04	2;0.3;0.12	3;0.1;0.04	100
	P <sub>6</sub>					1;01;0.04	3;0.2;0.08	2;0.1;0.04	100
CP		240	240	240	240	240	240	240	
Σ		1,5	0,24	0,2	0,2	0,12	0,28	0,12	
QM		2	1	1	1	1	1	1	

Figura 29. Matriz final expandida com o somatório do nível de processamento e quantidade de máquinas para cada tipo.

### 3.2.6 Método do Melhor Caminho

Em um Sistema de Manufatura Celular tem-se o interesse de definir como será realizada a configuração do layout da célula de produção, de modo a facilitar os processos e os fluxos de materiais, ferramentas e mão-de-obra. O processo de montagem do layout físico das células passa a ser um passo consecutivo ao de obtenção das famílias de produtos e máquinas definidos pela formação de células.

Mahdavi e Mahadevan (2007) afirmam que a estruturação do layout das células é uma abordagem pouco associada aos métodos de formação de células de produção que utilizam matriz de processamento.

Foi baseado neste fato que se buscou um método capaz de agregar estas duas etapas do SMC, ou seja, tanto a formação de células quanto o layout de cada célula formada. O método tem como objetivo gerar o caminho-padrão ou layout das células formadas pelo processo de obtenção de células de produção. Utilizando-se das informações dos dados de seqüenciamento da produção e dos fluxos consecutivos dentro das células. O Método do Melhor Caminho (MMC) caracteriza-se por ser o diferencial desta dissertação, pois introduz uma nova

forma de construção do layout associada à uma matriz de formação de células.

O MMC foi assim denominado, pois analisa os fluxos consecutivos a partir da análise de elos entre as máquinas, de acordo com informações do seqüenciamento de produção das peças, formando ao fim da construção dos elos, um caminho com maior número de fluxos de cada célula.

O primeiro passo é verificar o número de etapas de seqüência de produção que cada peça possui dentro de uma célula. Neste caso, a Figura 30 mostra apenas os dados de seqüenciamento de produção das peças.

		Máquinas							D
		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	
Peças	P1	1	2	4	3				100
	P2	2	1	3	4				100
	P3	1	2		3				100
	P4					1	2	3	100
	P5					1	2	3	100
	P6					1	3	2	100
CP		240	240	240	240	240	240	240	
$\Sigma$		1,5	0,24	0,2	0,2	0,12	0,28	0,12	
QM		2	1	1	1	1	1	1	

Figura 30. Exemplo para formação do Método do Melhor Caminho.

Pode-se observar na Figura 30, que existem no máximo quatro atividades no seqüenciamento da célula 1 e três etapas na célula 2, gerando três e dois elos, respectivamente.

Tabela 1. Tabela de fluxos consecutivos sem preenchimento.

Fluxos Consecutivos		
Célula 1		
1 → 2	2 → 3	3 → 4
Célula 2		
1 → 2	2 → 3	

A Tabela 1 é a tabela de fluxos consecutivos. Para criá-la, deve-se observar quantos elos de seqüenciamento são necessários para cada célula, o número de elos corresponderá ao número de colunas da nova tabela de fluxos consecutivos. No item anterior foram observados três e dois elos de seqüenciamento para as duas células. As seqüências escritas em cada coluna indicam qual etapa do

seqüenciamento os elos estão fazendo referência. Como regra, sempre se prioriza a construção do caminho obedecendo aos elos da etapa 1 de produção até a última.

Construída a tabela, o passo seguinte é preencher as colunas observando na matriz os pares de máquinas que correspondem ao respectivo elo, determinando quantas vezes esta seqüência se repete para cada peça, esgotando todas as possibilidades.

Por exemplo, na matriz da Figura 30 é observado que a peça P1 e a peça P3, têm como seqüenciamento inicial (1→2) as máquinas M1 e M2, ou seja, para ambas as peças, a primeira atividade de confecção da peça inicia-se na máquina M1 e a próxima etapa é processá-las na máquina M2. E a peça 2, para este elo 1→2, é inicialmente processada na máquina M2 e em seguida na máquina M1. Portanto preenche-se a coluna 1 da Tabela 2 da seguinte maneira,  $M1 \rightarrow M2 = 2$  (peças P1 e P3) e  $M2 \rightarrow M1 = 1$  (peça P1). O restante da Tabela 2 é preenchido para as células 1 e 2:

Tabela 2. Tabela de fluxos consecutivos preenchida.

Fluxos Consecutivos		
Célula 1		
1 → 2	2 → 3	3 → 4
M1 → M2 = 2	M2 → M4 = 2	M4 → M3 = 1
M2 → M1 = 1	M1 → M3 = 1	M3 → M4 = 1
Célula 2		
1 → 2	2 → 3	
M5 → M6 = 2	M6 → M7 = 2	
M5 → M7 = 1	M7 → M6 = 1	

Para obter o Melhor Caminho, basta seguir a soma dos elos sendo que o maior valor para esta soma é o caminho a ser escolhido. As células destacadas, com a adição ao lado, formam o caminho a ser escolhido.

Uma regra básica deve ser levada em consideração. Um par de máquinas que forma um elo só pode ser inserido no caminho se a máquina que inicia esse conjunto for a máquina que finda o par do elo antecessor. Isto para que não haja repetição de máquinas no caminho.

Por exemplo, na Célula 1, no elo 1→2, o par de máquinas escolhido foi  $M1 \rightarrow M2$ . Ou seja, o elo 2→3 só pode ser iniciado pela máquina M2. Portanto, independentemente de no elo 2→3 o par de máquinas  $M2 \rightarrow M4$  apresentar maior valor, não seria possível que o par  $M1 \rightarrow M3$  fosse adotado, visto que quebraria a

seqüência do caminho. Assim como uma máquina já utilizada em um elo anterior não pode aparecer novamente no melhor caminho, mais um motivo para que o par M1→M3 não fosse utilizado. Em síntese, três critérios devem ser levados em consideração:

- A primeira máquina de um par de um elo deve ser igual à segunda máquina do elo anterior;
- Um tipo de máquina jamais deverá ser repetido na construção do caminho;
- Obedecidos os critérios anteriores, o par de máquinas a ser escolhido no elo deve ser o que apresentar maior quantidade de repetições de fluxo.

### 3.2.7 Definição do layout interno celular

O layout interno celular é definido em função do Método do Melhor Caminho solucionado no item anterior. Basta verificar a seqüência de máquinas dispostas no método.

A Tabela 2 mostra a disposição das máquinas para as duas células do exemplo. Logo, podemos definir o seqüenciamento dos dois layouts:

- Célula 1: M1 – M2 – M4 – M3
- Célula 2: M5 – M6 – M7

A disposição das máquinas dentro das células não tem um critério pré-estabelecido. Porém, em layout celular usualmente o layout em “U” é utilizado.

É importante observar que mesmo nos casos em que existe a duplicação de um mesmo tipo de máquina para atender à demanda de produção, será utilizado o conceito de centros de produção. Ou seja, máquinas do mesmo tipo são alinhadas como se fosse uma única máquina, não alterando o arranjo físico celular. Na Figura 31 a máquina M1 é um exemplo de como deveria ser alinhada em caso de duplicação de máquinas.

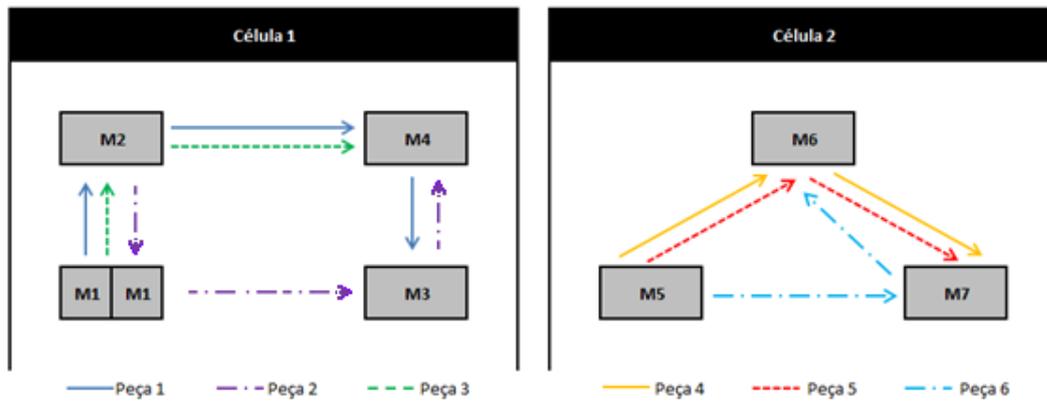


Figura 31. Layout celular para a matriz da Figura 30.

### 3.2.8 Estrutura bloco diagonal com elementos de exceção

Até o item anterior, tratou-se da ramificação da EBD sem elementos de exceção. Neste item, começa a ser discutida a metodologia para os casos que caminham pelo outro ramo do fluxograma, ou seja, as matrizes que apresentam elementos fora das células de produção, fator que conceitua a EBD com elementos de exceção.

Por não se tratar de uma formação perfeita, as células não conseguem ser auto-suficientes para atender suas demandas de produção. Ou seja, não são independentes, haja vista que determinadas peças, por questões de especificação, necessitam ser produzidas em uma máquina que, na formação da EBD, foi alocada em outra célula.

Mesmo não sendo uma estrutura perfeita, as Estruturas Bloco Diagonal com elementos de exceção podem ser aceitas, mediante análise de indicadores de desempenho. Aliás, de acordo com diversos autores já citados é difícil encontrar um sistema produtivo real que seja ótimo. Isto por que a movimentação intercelular pode não representar tanto prejuízo quanto ao funcionamento do sistema de células de produção.

		Máquinas							D
		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	
Peças	P 1	1;1.5	2;0.3	4;0.3	3;0.2			5;0.1	100
	P 2	2;1.5	1;0.2	3;0.2	4;0.2				100
	P 3	1;0.7	2;0.1		3;0.1		4;0.2		100
	P 4					1;0.1	2;0.2	3;0.1	100
	P 5		3;0.2			1;0.1	2;0.3	4;0.1	100
	P 6					1;0.1	3;0.2	2;0.1	100
CP		240	240	240	240	240	240	240	

Figura 32. Matriz de EBD com elementos de exceção.

A Figura 32 mostra a matriz contendo três elementos de exceção, os quais se encontram fora das duas áreas de células de produção destacadas.

Tomando como exemplo a peça 5, para que esta seja produzida, , verifica-se que na etapa 3 de seu seqüenciamento de produção é necessário ser movimentada para a Célula 1 para ser processada pela máquina M2. Esta movimentação entre células acontece, também, para a peças 1 e 3, respectivamente nas máquinas M7 e M6.

Nos itens que seguem, serão descritas as variações de como tratar este caso.

### 3.2.9 Cálculo do percentual de Elementos de Exceção (%EE)

O cálculo deste indicador de desempenho serve para dar um direcionamento ao tratamento da matriz. O percentual de elementos de exceção permitirá algumas interpretações quanto ao grau de satisfação do resultado da aplicação do algoritmo.

Como visto no Capítulo 2, existem outros indicadores para medir o desempenho das células. Após uma análise sobre os efeitos do indicador de utilização de máquinas e de eficiência de agrupamento, percebeu-se pouca influência nas decisões do fluxograma, além de ter sido estabelecido outra forma de medir a utilização das máquinas, explicada na seção anterior. Portanto, nem o %MU, nem o %GE foram considerados.

Quando a Estrutura Bloco Diagonal é perfeita, o percentual do indicador será de 0%, garantindo que sob hipótese alguma esta configuração de formação de células deverá ser descartada.

Por outro lado, quando houver elementos de exceção em uma matriz, caracterizando uma Estrutura Bloco Diagonal com elementos de exceção haverá margem para algumas interpretações a serem discutidas adiante.

O primeiro parâmetro a ser definido será estabelecer limites de aceitação para valores do indicador. Não foi notado no processo de pesquisa de referencial bibliográfico um estudo que parametrizasse estes valores. Porém, uma grande quantidade de artigos realizou comparações entre algoritmos que se basearam nestes indicadores para mensurar qual modelo propiciaria melhores resultados, sem determinar se baixos percentuais de %EE, %MU e %GE inviabilizariam a opção pelo uso de layout celular.

Haja vista o alto grau de investimento financeiro e estrutural necessário para readequar um sistema de produção tradicional para um sistema baseado em layout celular, julgou-se necessário avaliar se é viável realizar este empreendimento ou não.

O limite de aceitação estabelecido neste trabalho foi de  $\%EE \leq 20\%$ . Percentuais de Elementos de Exceção acima de 20% implicarão em um alto fluxo de entradas e saídas de peças e material entre células, compartilhamento maior de máquinas podendo comprometer a capacidade produtiva das mesmas e gerar estoques em processo, pode haver necessidade de incremento de mão-de-obra específica para realizar a movimentação de material entre células, além de tempos de *set-up* maiores e aumento dos custos totais, além de descaracterizar o conceito do Sistema de Manufatura Celular. Deste modo, poderia ser priorizado um sistema produtivo único.

### **3.2.10 Decisão de descartar a matriz**

Esta tomada de decisão está vinculada ao resultado proporcionado pelo percentual de elementos de exceção.

Se este indicador estiver ultrapassando o limite de aceitação estipulado, a matriz é descartada, chegando ao final de um dos ramos do fluxograma, dando fim ao processo de formação de células. O que significa que é melhor não introduzir o sistema de manufatura celular pois foi encontrada similaridade entre produtos a ponto de produzir em células independentes.

Do contrário, caso o percentual de elementos de exceção mostre que é

possível realizar a aplicação da formação de células, entendendo que a existência de elementos excepcionais não irá influenciar negativamente no processo, é dado continuidade no ramo remanescente do fluxograma, calculando o número de máquinas e assim por diante, de acordo com a ordem o fluxograma da Figura 25.

### **3.2.11 Decisão de minimizar o fluxo intercelular realocando máquinas**

Quando uma matriz com EBD com elementos de exceção não é descartada, outra decisão pode ser tomada quanto ao destino do procedimento metodológico.

Xambre e Vilarinho (2003) propuseram que a replicação do número de máquinas, para máquinas que não atendem a demanda trabalhando sozinhas, fosse uma alternativa à redução do fluxo intercelular.

Logo, em casos em que a empresa possa arcar com os altos custos de investimento em maquinário para que possa trabalhar em ambiente de layout celular, pode haver a possibilidade da realocação de máquinas entre células, de modo a diminuir este fluxo. Neste caso, opta-se pela decisão de minimizar o fluxo intercelular realocando máquinas.

Para o caso em que não é possível (ou não é necessário) este alto investimento, e o fluxo intercelular não comprometa a formação das células de manufatura, se aceita manter os elementos de exceção da forma como se apresentam na matriz final sem que haja necessidade de minimização do FIC, e é dado continuidade à seqüência do fluxograma, realizando o Método do Melhor Caminho e definindo o layout celular do sistema.

Estes elementos de exceção não prejudicarão, e também não irão alterar o processo de construção do Método do Melhor Caminho e a definição do Layout.

Por outro lado, o processo de decisão de realocar máquinas não está simplesmente atrelado ao fato de se querer que máquinas mudem de uma célula para outra. O fato de haver suporte financeiro capaz de realizar investimento em equipamentos, também não é exclusivamente determinante para a esta deliberação. É necessário análise de como irão se comportar as variáveis envolvidas no sistema.

A principal análise deve ser feita em relação ao tempo de produção total das peças para as quantidades demandas de cada máquina.

Uma máquina só pode ser realocada para outra célula mediante acontecimento de uma entre duas situações. Primeiro, se o número de elementos de exceção atendidos pela máquina for superior ao número de peças que a máquina produz na célula original. Este caso é raro de acontecer, pois não foi visualizado em nenhum trabalho do referencial bibliográfico. Geralmente a quantidade maior de produção de peças que uma máquina atende fica agrupada a uma célula. O segundo caso é o mais comum, a máquina pode ser realocada se esta foi replicada para atender a demanda produtiva tanto dos elementos de exceção quanto das peças que estão incluídas em sua célula original.

Analisando especificamente o segundo caso, ainda não se tem embasamento suficiente para decidir pela realocação da máquina. Mais duas questões devem ser levadas em consideração: quando uma máquina replicada para atender a demanda é deslocada para outra célula (levando os elementos de exceção), porém a máquina que ficou na célula original será capaz de suprir a demanda das peças contidas nesta célula? A máquina que foi realocada, ao atender especificamente os elementos de exceção, ficará subutilizada?

São as respostas destas duas perguntas que definirão se é possível alterar a estrutura das células realocando máquinas ou não.

Para isto, a resposta do primeiro questionamento deverá ser positiva. Desse modo, a máquina que continuará na célula original deverá suprir a demanda, pois não faz sentido medidas paliativas como horas extras para atender a produção, sendo que na outra célula a máquina estará ociosa. Pode-se ainda deslocar uma máquina para a outra célula e manter mais de uma máquina para atender a demanda na célula de origem, porém o investimento pode ser elevado e incoerente.

A resposta do segundo questionamento deverá, necessariamente, ser negativa. Isto porque não é viável operacional e economicamente mudar uma máquina de célula para que ela se torne subutilizada.

Portanto, caso seja assertiva a decisão de realocar máquinas, este procedimento é realizado, e será mais detalhado no item subsequente.

### **3.2.12 Realocar máquinas**

A decisão de realocar máquinas implica na alteração estrutural da matriz

final. A matriz passa a ganhar componentes (máquinas) replicados, ou seja, colunas são inseridas e as células são modificadas para atender este procedimento.

Para realizar a realocação de máquinas, basta replicar as informações da coluna da máquina em questão, adicionando ao fim da célula que receberá esta máquina, redefinindo a demarcação da EBD. Caso haja uma movimentação, e não uma replicação de máquina, o mesmo procedimento deve ser realizado.

		Máquinas								
		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	D
P 1		1;1.5;0.62	2;0.6;0.25	4;0.5;0.20	3;0.4;0.17					100
P 2		2;1.5;0.62	1;0.2;0.08	3;0.5;0.20			4;0.7;0.29			100
P 3		1;0.7;0.29	2;0.4;0.17		3;0.4;0.17		4;0.7;0.29			100
P 4						1;0.5;0.2	2;1.5;0.62	3;0.5;0.20	4;0.7;0.29	100
P 5						1;0.4;0.17	2;0.7;0.29	3;0.1;0.04	4;0.5;0.20	100
P 6						1;0.3;0.12	3;0.2;0.08	2;0.4;0.17	2;0.2;0.08	100
CP		240	240	240	240	240	240	240	240	
$\Sigma$		1,5	0,5	0,4	0,34	0,49	1,57	0,41	0,57	
QM		2	1	1	1	1	2	1	1	

(a) Matriz com elementos de exceção antes de ser replicada.

		Máquinas									
		M1	M2	M3	M4	M6	M5	M6	M7	M8	D
P 1		1;1.5;0.62	2;0.6;0.25	4;0.5;0.20	3;0.4;0.17						100
P 2		2;1.5;0.62	1;0.2;0.08	3;0.5;0.20		4;0.7;0.29					100
P 3		1;0.7;0.29	2;0.4;0.17		3;0.4;0.17	4;0.7;0.29					100
P 4							1;0.5;0.2	2;1.5;0.62	3;0.5;0.20	4;0.7;0.29	100
P 5							1;0.4;0.17	2;0.7;0.29	3;0.1;0.04	4;0.5;0.20	100
P 6							1;0.3;0.12	3;0.2;0.08	2;0.4;0.17	2;0.2;0.08	100
CP		240	240	240	240	240	240	240	240	240	
$\Sigma$		1,5	0,5	0,4	0,34	0,58	0,49	0,99	0,41	0,57	
QM		2	1	1	1	1	1	1	1	1	

Figura 33. Exemplo de matriz com realocação de máquinas.

A Figura 33 expõe a realocação da máquina M6, duplicada para atender a demanda das peças da Célula 2 e dos elementos de exceção. Com a realocação de uma máquina M6 para a Célula 1, nota-se que por pouco, a máquina que ficou, consegue suprir a demanda das peças 4, 5 e 6, chegando à um somatório de 0,99 de utilização de sua capacidade. E a taxa de utilização de capacidade para a máquina M6 atender as peças 2 e 3 da Célula 1 fica em 0,58, valor aceitável, sendo superior à maioria do valor das outras máquinas da célula, evidenciando uma não subutilização exacerbada da máquina. Com a realocação da máquina, a matriz passou a apresentar Estrutura Bloco Diagonal perfeita (%EE = 0%)

Importante ressaltar que se houvessem mais elementos de exceção, não

necessariamente todas as máquinas que contemplassem esses elementos deveriam ser realocadas. O simples fato de minimizar o fluxo intercelular já é suficiente para que se aceite realocação de máquinas.