

## **Avaliando a Heurística de Sequenciamento da Produção dos Métodos Tambor-Pulmão-Corda Simplificado e Gerenciamento do Pulmão em um Ambiente de Produção para Estoque**

Tiago da Cunha Jorge – Mestrando em Engenharia de Produção  
Universidade Estadual Paulista – Júlio de Mesquita Filho – UNESP  
e-mail: [tiago.jorge1984@gmail.com](mailto:tiago.jorge1984@gmail.com)

Fernando Bernardi de Souza – Doutor em Engenharia Mecânica  
Universidade Estadual Paulista – Júlio de Mesquita Filho – UNESP  
e-mail: [fbernardi@feb.unesp.br](mailto:fbernardi@feb.unesp.br)

Robson Flávio Castro – Doutorando em Engenharia de Produção  
Universidade Federal de São Carlos – UFSCar  
e-mail: [robson.afl@gmail.com](mailto:robson.afl@gmail.com)

### **Resumo**

O presente trabalho tem como objetivo avaliar, por meio de simulação computacional, a regra de sequenciamento de ordens de produção recomendada pelo método Tambor-Pulmão-Corda Simplificado/Gerenciamento do Pulmão (Simplified Drum-Buffer-Rope / Buffer Management - S-DBR/BM) aplicado em ambientes de produção para estoque. Esta aplicação recebe o nome de Make to Availability (MTA), pois visa a um compromisso de atendimento da demanda baseado na pronta-entrega de produtos acabados. Para tanto, tal regra será comparada com a heurística de sequenciamento SPT (Shortest Processing Time), mediante variações nos padrões de demanda de uma fábrica real de manufatura. A variável dependente utilizada para comparação dos desempenhos é o fill rate, que mensura o atendimento da demanda a partir do estoque de produtos acabados. Os resultados indicam que a regra SPT superou o método S-DBR/MTA apenas no cenário em que os estoques máximos do sistema são mantidos em nível baixo com demanda e variabilidade altas. No geral, a combinação de uso do gerenciamento dinâmico do pulmão (GDP) com o método S-DBR/MTA parece trazer os melhores resultados no conjunto de cenários simulados.

**Palavras-chave:** Teoria das Restrições; Tambor-Pulmão-Corda Simplificado; Produção para Disponibilidade; Regra *Shortest Processing Time*

### **1 Introdução**

As atividades básicas exercidas pelo planejamento e controle da produção (PCP) podem ser divididas em três níveis, sendo o primeiro composto pelas atividades de planejamento, ou seja, avaliação da carteira de pedidos, previsão de vendas, planejamento agregado da produção, programa mestre da produção e planejamento das necessidades de materiais. No segundo nível são exercidas as atividades de programação da produção contendo atividades da programação, planejamento e controle da capacidade produtiva. O último nível contém as atividades de controle da produção e dos estoques (PIRES, 1995). Pode-se fazer uso também da nomenclatura de sistemas de coordenação das ordens de produção e compra (SCO) para um sistema que realize o terceiro nível das atividades do PCP, ou seja, organizar e explodir as necessidades de componentes e materiais, controlar a emissão e liberação das ordens de produção e compra, e programar e sequenciar as tarefas das máquinas (sequenciamento da produção)(FERNANDES; GODINHO FILHO, 2007).

As atividades de sequenciamento da produção são complexas. Por exemplo, em um problema com uma máquina e 20 tarefas (*jobs*) para serem sequenciadas existem  $20! = 2,4 * 10^{18}$  possibilidades de sequenciamento destas tarefas (SIPPER; BULFIN, 1997).

Para se obter um resultado ótimo, são desenvolvidos algoritmos heurísticos que demandam menor poder computacional na resolução destes problemas (PINEDO, 2008). Problemas de sequenciamento da produção geralmente visam maximizar ou minimizar um ou mais objetivos da produção (TAVARES NETO; GODINHO FILHO, 2011).

O Tambor-Pulmão-Corda Simplificado (S-DBR) é o atual método de coordenação de ordens de produção da Teoria das Restrições (*Theory of Constraints* -TOC). Ele é uma simplificação do Tambor-Pulmão-Corda (*Drum-Buffer-Rope* – DBR) original, pois pressupõe que a restrição principal deve estar no mercado e que, portanto, todos os recursos devem possuir algum nível de capacidade excedente que os permitem se subordinarem às estratégias de exploração da restrição de mercado (SCHRAGENHEIM; DETTMER, 2001).

Nas pesquisas realizadas nas bases Scopus e ISI Web of Knowledge, encontram-se algumas avaliações do sistema S-DBR nos trabalhos de Buestán Benavides, Van Landeghem (2015), Chakravorty, Hales (2016) e Lee et al. (2010), porém, em nenhum destes há estudos com simulação computacional visando avaliar o desempenho do S-DBR aplicado em ambiente de produção para estoque (*Make-to-Stock* - MTS), denominado *Make to Availability* (MTA) (SOUZA; PIRES, 2014). As pesquisas com os termos “MTA” e “Simulation” ou “S-DBR” e “Simulation” resultaram em nenhum trabalho identificado, o que indica o ineditismo desta pesquisa.

A fim de melhor compreender o funcionamento do S-DBR/MTA, e em específico de sua regra de sequenciamento da produção, foi realizada uma simulação no software Promodel®, considerado confiável e de fácil utilização (CARDOSO; JUNIOR, 2016; HEFLIN; HARRELL, 1998).

Neste contexto, o trabalho tem como motivação responder a seguinte questão de pesquisa: qual o desempenho da heurística de sequenciamento da produção do sistema S-DBR/MTA quando comparado com a heurística SPT (*Shortest Processing Time*)?

A partir dessa questão, o objetivo geral da pesquisa é avaliar o desempenho da heurística do método S-DBR/MTA comparativamente à regra SPT utilizando simulação computacional de um ambiente fabril real. Para tanto, procurou-se fixar a quantidade máxima de estoque permitida no sistema e mediu-se o nível de atendimento da demanda a partir do estoque de produtos acabados.

## **2 Tambor-Pulmão-Corda Simplificado na Produção para Estoque**

A TOC teve início na década de 1980 com o desenvolvimento do software de sequenciamento da produção chamado OPT (*Optimized Production Technology*), o qual foi desenvolvido pelo físico israelense Eliyahu Moshe Goldratt. Neste software estavam implícitas as técnicas de gerenciamento utilizadas pela TOC (GUPTA; BHARDWAJ; KANDA, 2010). A TOC popularizou-se com a publicação do romance “A Meta” em 1984 (GOLDRATT; COX, 2013), no qual foram aplicados os princípios da TOC na gestão de operações.

Um dos principais conceitos da TOC é o que todo sistema deve ter ao menos uma restrição, definindo-se restrição como aquilo que limita o desempenho do sistema, ou seja, caso não existissem restrições os sistemas possuiriam resultados ilimitados. Apesar de a restrição limitar o desempenho do sistema, a TOC compreende a restrição como algo positivo, pois, quando melhoradas, alavancam-se os resultados do sistema como um todo (GUPTA; BHARDWAJ; KANDA, 2010).

Tambor-Pulmão-Corda (DBR) é o nome dado por Eliyahu Moshe Goldratt ao método da TOC para coordenação e controle de ordens de produção, tido como a base da TOC até o surgimento de outras aplicações, como na gestão de projetos, distribuição, varejo e finanças(COX III; SCHLEIER JR., 2010).

O método S-DBR é uma variação do DBR original e atualmente substitui o método tradicional na maioria das aplicações em manufatura, especialmente nos sistemas de produção tipo MTS. O S-DBR foi originalmente apresentado em 2001 no livro *Manufacturing at Warp Speed* (SCHRAGENHEIM; DETTMER, 2001). O método DBR clássico não diferencia o tratamento para ambientes produtivos para estoque ou sob encomenda, porém, quando Goldratt reavaliou sua aplicação em ambiente MTS, houve a necessidade de um novo termo, a produção para disponibilidade (*Make-to-availability* – MTA). A principal diferença entre MTS e o MTA é que o segundo assume um compromisso com o mercado de manter uma disponibilidade alta de algum grupo de produtos(COX III; SCHLEIER JR., 2010).

No MTA, mantém-se um estoque alvo (EA) constante de produtos acabados e em produção, podendo ser calculado de duas maneiras: i) observando a quantidade de vendas máximas nos últimos 6 meses a 1 ano durante seu tempo de reposição (TR) e adotar este valor como estoque alvo ou ii) verificando a quantidade média vendida (Demanda – D) do produto durante o TR e multiplicar esta quantidade por um fator de segurança (FS), geralmente entre 1,5 e 2 (COX III; SCHLEIER JR., 2010), segundo a fórmula que segue:

$$EA_i = FS * TR * D_i \quad (1)$$

Onde:

EA<sub>i</sub> é o Estoque Alvo do produto i.

FS é o fator de segurança.

TR é o tempo de reposição médio.

D<sub>i</sub> é a quantidade média vendida do produto i, durante seu tempo de reposição.

O ajuste do estoque alvo é feito pelo gerenciamento dinâmico do pulmão (GDP) conforme a ocorrência das variabilidades (SCHRAGENHEIM; DETTMER; PATTERSON, 2009).

Após saber qual é o estoque alvo do sistema, o próximo passo é saber quanto produzir. Para evitar problemas com previsões, as quais são inerentemente imprecisas, procura-se reduzir significativamente o TR dos produtos e produzir hoje o que foi vendido ontem. Tal abordagem acaba criando um número maior de *setups* no recurso com restrição de capacidade (*Capacity Constrained Resource* - CCR). Para manter uma capacidade excedente suficiente no CCR (capacidade protetiva) e visando não realizar muitos *setups*, impõe-se um lote mínimo de produção e/ou liberação de ordens de produção que respeite um limite máximo de carga planejada sobre o CCR (COX III; SCHLEIER JR., 2010). A carga planejada é a quantidade de tempo aproximada que o recurso com restrição de capacidade irá necessitar para processar todas as ordens de produção abertas. Pode-se comparar esta carga planejada com a quantidade de horas disponíveis no CCR para averiguar se o CCR não está se tornando um gargalo (SOUZA; BAPTISTA, 2010). Portanto, quando a carga planejada atingir certo nível, geralmente 80% do TR, as ordens de produção deixarão de ser abertas e aguardarão ao menos mais dia, durante o qual mais consumo de produtos acabados deverá ocorrer. Como consequência, haverá um aumento no tamanho da ordem e uma redução na quantidade de *setups* (COX III; SCHLEIER JR., 2010).

No S-DBR/MTA, o status do pulmão (*Buffer status* – BS) determina os critérios de priorização das ordens de produção abertas. Como o S-DBR/MTA não trabalha com datas de entrega, o status do pulmão é calculado como o percentil consumido do estoque alvo. Assim, uma ordem de reposição de um produto acabado cujo nível é de 66% do EA tem prioridade sobre outra ordem de cujo seus estoques de produtos acabados estão em um nível de 30% de

seu respectivo EA (COX III; SCHLEIER JR., 2010). O status do pulmão (BS) de uma determinada ordem de produção (OP) é calculado a partir da informação de seu estoque alvo (EA), de seu estoque de produtos acabados (FGI) e das quantidades de produto em processamento (WIP) a sua frente (*Downstream Work-In-Process* – WDIP) (COX III; SCHLEIER JR., 2010). O BS pode ser calculado utilizando a seguinte fórmula (COX III; SCHLEIER JR., 2010):

$$BS_i = \frac{(EA_i - DWIP_i - FGI_i)}{EA_i} \quad (2)$$

Onde:

BS<sub>i</sub> é o status do pulmão da ordem de produção i

EA<sub>i</sub> é o estoque alvo do produto i

DWIP<sub>i</sub> é o *downstream work-in-process* da ordem de produção i com relação ao produto i

FGI<sub>i</sub> é o estoque de produtos acabados do produto i

No lugar de percentagens, o S-DBR/MTA faz uso de cores para estabelecer as prioridades e sequenciar as ordens de produção no chão de fábrica. Quando o BS calculado está entre 0% e 33,3% sua cor é verde. Se estiver entre 33,4% e 66,6%, sua cor é amarela e entre 66,7% e 99,9% sua cor é vermelha e denota urgência. BS maior ou igual a 100% recebe a cor preta e significa atraso.

Adicionalmente, o gerenciamento dinâmico do pulmão (GDP) recomenda alterações nos tamanhos do EA dos produtos a partir da observação da comparação dos níveis de estoque de produtos acabados com seus respectivos EA. Pulmões com status na região verde ou vermelha em demasia podem indicar a necessidade de, respectivamente, reduzir ou aumentar o EA (COX III; SCHLEIER JR., 2010).

### 3 Método

Esta pesquisa utilizou o método de modelagem e simulação, o qual é um dos métodos mais utilizados em pesquisas de engenharia de produção e gestão de operações (CAUCHICK MIGUEL, 2011). Este método foi selecionado, pois para o atendimento do objetivo do projeto, é necessária uma abordagem quantitativa que possibilite controlar as variáveis em estudo e avaliar o impacto da técnica de sequenciamento da produção do S-DBR/MTA no ambiente produtivo.

O método busca desenvolver um modelo de forma estruturada que represente um sistema real de maneira simplificada e, posteriormente, simulá-lo e validá-lo. No desenvolvimento desta simulação, foi utilizado o software **ProModel**® versão 9.3.0.2051.

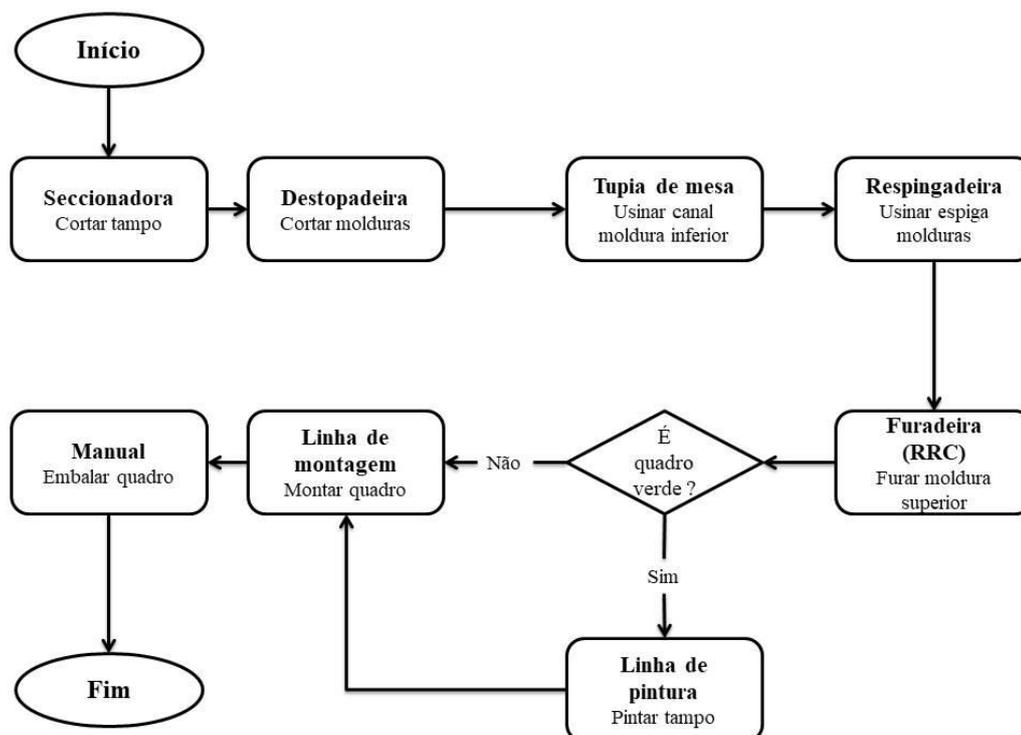
Foi escolhida como base para a modelagem uma empresa de produção de quadros de madeira, localizada no interior do estado de São Paulo. Foram escolhidos 8 modelos de quadros de madeira, sendo 4 deles verdes e 4 brancos. O funcionamento esquemático da linha de produção pode ser verificado no fluxograma a seguir (Figura 1).

Após a validação do modelo com os gestores da fábrica, os dados de tempo de processamento, estruturas dos produtos e quantidade de vendas foram extraídos do ERP (*enterprise resource planning*) da empresa. Por questões de segurança da informação, tais dados foram mascarados no modelo, mas mantidas suas proporções originais. Com tais dados, foi possível verificar que a furadeira possuía menor folga de capacidade, sendo considerada o CCR da fábrica.

Para calcular o número de replicações necessárias foi utilizado o Teorema do Limite Central (TLC), segundo o qual, conforme o número de replicações aumenta, a distribuição se aproxima da normal (LEVINE et al., 2012). Após a realização de testes de aderência

utilizando os dados da demanda total no tempo de simulação, foram obtidos resultados com nível de significância igual ou superior a 0,05 para os testes do Chi-quadrado, Kolmogorov-Sirnov e Anderson-Darling utilizando 50 replicações. Portanto, este trabalho adotou como 50 o número de replicações dos modelos simulados.

FIGURA 1 - Fluxograma produção de quadros.



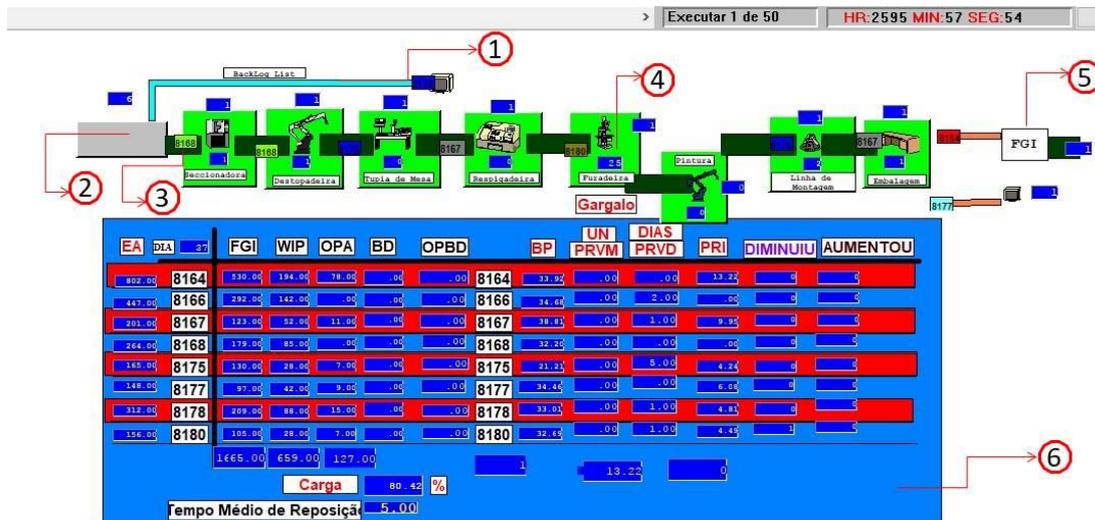
Fonte: Autor

Para avaliar a performance do método de sequenciamento recomendado pelo S-DBR/MTA foram criados 24 cenários diferentes, decorrentes de dois níveis de demanda, de dois níveis de variabilidade da demanda, de dois níveis de variabilidade nos tempos de processamento dos recursos em três níveis de EA, um obtido através do GDP e outros dois definidos a partir dos resultados obtidos pelo GDP (estes níveis foram estabelecidos como a média dos EA dinamicamente ajustados pelo GDP em situações de demanda baixa e alta). Em cada um destes 24 cenários foram simuladas as duas regras de sequenciamento focos desta pesquisa. Para os dois níveis de variabilidade da demanda e dos tempos de processamento, foi considerada a seguinte faixa de valores (SPEARMAN; HOPP, 2013): variabilidade baixa quando o coeficiente de variação (CV) é inferior a 0,75 e alta quando acima de 1,33. Nesta pesquisa foram utilizados CV iguais a 0,25 e 1,5.

Para avaliar os resultados da heurística do S-DBR/MTA, foram comparados os seus resultados com os obtidos a partir da heurística do SPT, que foi escolhida por apresentar priorização inversa à lógica intrínseca no MTA. No SPT, é dada prioridade às ordens de produção mais rápidas.

A Figura 2 mostra o layout da linha de produção após sua implementação no promodel®.

FIGURA 2 - Layout da linha de produção.



Fonte: Autor

Cada número indica uma parte do sistema simulado, são elas:

1. Fila de ordens de produção aguardando liberação.
2. Local onde é feita a liberação das ordens de produção.
3. OP do produto 8168 liberada e pronta para ser processada pela primeira estação de trabalho, a seccionadora.
4. Contador de quantas OPs estão na fila da estação de trabalho, neste caso na fila da furadeira, o CCR do sistema
5. Estoque de produtos acabados (FGI)
6. Painel que centraliza as principais informações do sistema produtivo.

Para a validação do modelo, foram utilizadas duas técnicas distintas: na primeira foram comparados os resultados obtidos a partir do modelo simulado com os obtidos pelo modelo M/M/1 da teoria das filas, com taxa de chegada ( $\lambda$ ) e tempo médio de serviço ( $\mu$ ). Nesta técnica, foi comparado o tempo médio no sistema e o número de usuários no sistema de cada estação de trabalho. Para o cálculo do tempo médio no sistema, é necessário calcular a taxa de ocupação do sistema ( $\rho$ ), a qual é dada pela divisão da taxa de chegada ( $\lambda$ ) pelo tempo médio de serviço ( $\mu$ )(ARENALES; ARMENTANO; MORABITO, 2007), conforme equação abaixo:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \quad (3)$$

O tempo médio no sistema pode ser calculado pela equação 4:

$$E(W) = \frac{\rho}{\lambda * (1 - \rho)} \quad (4)$$

Já o número médio de usuários no sistema é dado pela equação 5:

$$E(L) = \lambda * E(W) \quad (5)$$

A segunda técnica utilizada para validação do modelo aplica a Lei de Little (equação 6), que relaciona a taxa de saída de produtos acabados da linha de produção (*Throughput* – TH), o tempo que uma ordem de produção leva para atravessar a linha (tempo de ciclo - CT) e o estoque de produtos em processamento médio (WIP)(SPEARMAN; HOPP, 2013).

$$WIP = TH * CT \quad (6)$$

A diferença percentual entre os dados obtidos pela simulação e os resultados obtidos tanto pela teoria das filas quanto pela Lei de Litte foi inferior a 1%.

Para a avaliação dos cenários, foi escolhido o indicador *Fill rate*, que mede o atendimento da demanda a partir do estoque de produtos acabados (SILVER; PYKE; PETERSON, 1998). Foram estabelecidas também algumas variáveis dependentes secundárias, como a fila de ordens de produção abertas e o estoque alvo. O *Fill rate* foi escolhido por estar diretamente relacionado com o objetivo da lógica MTA, qual seja, a disponibilidade de produtos pronta-entrega. Optou-se por medir a fila de ordens de produção abertas (OPA), pois espera-se que seu comportamento seja bastante distinto ao se fazer uso de cada regra de sequenciamento estudada. Finalmente o estoque alvo também foi avaliado pois, quanto maior seu valor, maior tende a ser o *fill rate*.

#### 4 Resultados

Devido à grande diversidade de cenários simulados, os resultados foram divididos em três blocos, todos relacionados ao nível do estoque alvo. No primeiro bloco estão os resultados com o gerenciamento do pulmão ajustando dinamicamente os estoques alvos de todos os produtos; cada um dos demais refere-se aos níveis de EA baixo e alto mantidos constantes ao longo da simulação.

A tabela 1 apresenta os resultados obtidos com o gerenciamento dinâmico do pulmão (GDP) ativo e gerenciando o tamanho do estoque alvo (EA). As tabelas 2 e 3 apresentam os resultados dos cenários com EA fixo baixo e alto. Os resultados foram extraídos da média de 50 rodadas de simulação.

Analisando os resultados, observa-se também que quanto menor o grau de utilização do CCR, maior a diferença entre o *fill rate* do S-DBR/MTA com relação ao SPT com EA fixo. Isso evidencia que o quanto mais sobrecarregado estiver o sistema produtivo, mais importante se torna a escolha do método de sequenciamento de ordens de produção que maximize o objetivo desejado no sistema produtivo. Quando o objetivo é o atendimento da demanda a partir do estoque de produtos acabados, ou seja, a maximização do *fill rate*, o S-DBR/MTA apresenta vantagem em relação ao SPT.

TABELA 1 - Cenários com GDP ativo.

	Demanda Baixa				Demanda Alta			
	CV Demanda Baixo				CV Demanda Baixo			
	CV Proc. Baixo		CV Proc. Alto		CV Proc. Baixo		CV Proc. Alto	
	MTA	SPT	MTA	SPT	MTA	SPT	MTA	SPT
Utilização CCR	78,87%	78,80%	79,21%	78,97%	96,81%	98,82%	99,38%	98,70%
<i>Fill rate</i>	99,83%	99,30%	99,79%	99,32%	99,30%	94,07%	99,54%	92,73%
Fila OPA	-	-	-	-	655,69	210,92	353,66	210,97
EA médio	100,98	108,42	103,45	112,78	253,98	211,09	242,88	217,12
	CV Demanda Alto				CV Demanda Alto			
	CV Proc. Baixo		CV Proc. Alto		CV Proc. Baixo		CV Proc. Alto	
	MTA	SPT	MTA	SPT	MTA	SPT	MTA	SPT
	Utilização CCR	75,88%	77,05%	76,30%	77,12%	99,87%	98,64%	100,00%
<i>Fill rate</i>	94,49%	92,97%	94,39%	92,23%	80,81%	79,31%	78,53%	77,64%
Fila OPA	0,01	-	0,35	0,03	1.901,30	464,83	2.140,88	589,67
EA médio	133,24	156,9	138,84	158,07	480,84	283,7	517,33	303,02

Fonte: Autor.

Nota-se também que quanto maior a demanda e o CV da demanda, maior o número de ordens de produção abertas na fila. Observa-se ainda que a regra SPT reduz a fila de ordens

de produção abertas. Caso o objetivo do gestor for minimizar as filas de ordens de produção abertas, o SPT apresenta vantagem.

TABELA 2 - Cenários com EA fixado em nível baixo.

	Demanda Baixa				Demanda Alta			
	CV Demanda Baixo				CV Demanda Baixo			
	CV Proc. Baixo		CV Proc. Alto		CV Proc. Baixo		CV Proc. Alto	
	MTA	SPT	MTA	SPT	MTA	SPT	MTA	SPT
Utilização CCR	78,90%	78,83%	79,27%	79,21%	98,28%	98,35%	98,23%	97,88%
Fill rate	99,99%	99,88%	99,98%	99,78%	97,89%	88,90%	96,86%	86,81%
Fila OPA	-	-	-	-	34	0,06	33,48	0,07
EA médio	127,5	127,5	127,5	127,5	127,5	127,5	127,5	127,5
	CV Demanda Alto				CV Demanda Alto			
	CV Proc. Baixo		CV Proc. Alto		CV Proc. Baixo		CV Proc. Alto	
	MTA	SPT	MTA	SPT	MTA	SPT	MTA	SPT
	Utilização CCR	76,83%	77,10%	76,60%	77,07%	97,95%	97,64%	97,54%
Fill rate	94,38%	91,20%	93,95%	90,03%	60,70%	72,14%	57,81%	70,03%
Fila OPA	-	-	-	-	138,06	0,79	124,46	0,71
EA médio	127,5	127,5	127,5	127,5	127,5	127,5	127,5	127,5

Fonte: Autor.

Pode-se notar que com o GDP ativo para ajustar o EA, o sistema tende a apresentar melhor *fill rate* do que com o GDP inativo em cenários com maior demanda e maiores coeficientes de variação. Quando, por outro lado, o EA é mantido fixo e em nível baixo, ele impacta negativamente no desempenho de ambos os sistemas, porém, penaliza mais o S-DBR/MTA, o qual, nestes casos, apresenta menor *fill rate* que o SPT (ainda em cenários com maior demanda e maiores coeficientes de variação). Porém, nos casos em que o EA é mantido alto, ambos os sistemas apresentam *fill rate* melhores, sendo que o S-DBR/MTA apresenta vantagem sobre o SPT. Tal fato indica que se o objetivo do gestor é o atendimento da demanda a partir do estoque de produtos acabados é mais interessante utilizar um EA maior combinado com a regra baseada no Status do Pulmão recomendada pelo método S-DBR/MTA.

TABELA 3 - Cenários com EA fixado em nível alto.

	Demanda Baixa				Demanda Alta			
	CV Demanda Baixo				CV Demanda Baixo			
	CV Proc. Baixo		CV Proc. Alto		CV Proc. Baixo		CV Proc. Alto	
	MTA	SPT	MTA	SPT	MTA	SPT	MTA	SPT
Utilização CCR	78,64%	78,45%	78,03%	77,76%	98,52%	98,61%	99,00%	98,78%
Fill rate	100,00%	99,66%	100,00%	99,41%	99,96%	91,52%	99,96%	91,15%
Fila OPA	-	-	-	-	37,12	38,24	32,61	48,55
EA médio	311,88	311,88	311,88	311,88	311,88	311,88	311,88	311,88
	CV Demanda Alto				CV Demanda Alto			
	CV Proc. Baixo		CV Proc. Alto		CV Proc. Baixo		CV Proc. Alto	
	MTA	SPT	MTA	SPT	MTA	SPT	MTA	SPT
	Utilização CCR	77,05%	77,47%	78,00%	78,03%	98,82%	98,75%	98,43%
Fill rate	99,32%	97,92%	99,22%	97,53%	89,34%	83,33%	87,64%	82,54%
Fila OPA	-	-	0,03	0,05	359,91	152,13	358,86	135,02
EA médio	311,88	311,88	311,88	311,88	311,88	311,88	311,88	311,88

Fonte: Autor.

## 5 Considerações Finais

A presente pesquisa evidencia a importância do GDP, principalmente em ambientes com maior carga no CCR e maiores coeficientes de variação, tanto na demanda quanto nos tempos de processamento. Nestes casos, sua ausência afeta negativamente o *fill rate*. Em contrapartida, em sistemas menos carregados, tal vantagem é menos percebida, ao ponto de não haver diferença significativa de desempenho nos cenários com baixa demanda e baixos CVs.

Os resultados obtidos também evidenciam que a lógica de sequenciamento da produção do método S-DBR/MTA favorece a disponibilidade de produtos acabados, podendo, em alguns casos, penalizar a fábrica com maiores filas de ordens de produção abertas que o SPT, porém, apresentando melhor disponibilidade de produtos acabados. Os dados apontaram que a regra SPT superou o método S-DBR/MTA apenas no cenário de EA mantido baixo com demanda e variabilidade altas.

Ao identificar em quais cenários o S-DBR/MTA possui melhor performance que o SPT, pode-se dizer que o objetivo de pesquisa foi atingido e que a questão de pesquisa foi respondida. Em suma, no geral, a combinação de uso GDP com o método S-DBR/MTA parece trazer melhores resultados, o que fortalece a percepção de robustez do método S-DBR/GDP/MTA.

Futuras pesquisas poderiam cotejar o método S-DBR/MTA contra outras heurísticas e segundo outros parâmetros, assim como aplicações em ambientes sob encomenda.

## Referências

- ARENALES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO, R. **Pesquisa operacional: para cursos de engenharia**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.
- BUESTÁN BENAVIDES, M.; VAN LANDEGHEM, H. Implementation of S-DBR in four manufacturing SMEs: a research case study. **Production Planning & Control**, v. 26, n. 13, p. 1110–1127, 2015.
- CARDOSO, L. E. Z.; JUNIOR, C. F. J. SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL: ANÁLISE COMPARATIVA DOS SOFTWARES ARENA® E PROMODEL®. **Tekhne e Logos**, v. 7, n. 1, p. 14–30, 2016.
- CAUCHICK MIGUEL, P. A. **Metodologia De Pesquisa Em Engenharia De Produção E Gestão De Operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.
- CHAKRAVORTY, S. S.; HALES, D. N. Improving labour relations performance using a Simplified Drum Buffer Rope (S-DBR) technique. **Production Planning & Control**, v. 27, n. 2, p. 102–113, 2016.
- COX III, J. F.; SCHLEIER JR., J. G. **Handbook da teoria das restrições**. Porto Alegre: Bookman, 2010.
- FERNANDES, F. C. F.; GODINHO FILHO, M. Sistemas de coordenação de ordens: revisão, classificação, funcionamento e aplicabilidade. **Revista Gestão & Produção, São Carlos**, v. 14, n. 2, 2007.
- GOLDRATT, E. M.; COX, J. **A meta: um processo de melhoria contínua**. São Paulo: Nobel, 2013.
- GUPTA, A.; BHARDWAJ, A.; KANDA, A. Fundamental concepts of Theory of Constraints: An emerging philosophy. **Measurement**, v. 5352, p. 15593, 2010.
- HEFLIN, D. L.; HARRELL, C. R. **Simulation modeling and optimization using ProModel**. Proceedings of the 30th conference on Winter simulation. **Anais...IEEE Computer Society Press**, 1998
- LEE, J.-H. et al. Research on enhancement of TOC Simplified Drum-Buffer-Rope system

- using novel generic procedures. **Expert Systems with Applications**, v. 37, n. 5, p. 3747–3754, 2010.
- LEVINE, D. M. et al. **Estatística: teoria e aplicações. Usando o Microsoft Excel em português**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.
- PINEDO, M. L. **Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems**. New York: Prentice Hall, 2008.
- PIRES, S. R. I. **Gestão Estratégica da Produção**. Piracicaba: UNIMEP, 1995.
- SCHRAGENHEIM, E. M.; DETTMER, H. W. **Manufacturing at Warp Speed**. Boca Raton: Lucie Press, 2001.
- SCHRAGENHEIM, E. M.; DETTMER, H. W.; PATTERSON, J. W. **Supply chain management at warp speed**. Boca Raton: Taylor & Francis, 2009.
- SILVER, E.; PYKE, D. F.; PETERSON, R. **Inventory management and production planning and scheduling**. New York: Wiley, 1998.
- SIPPER, D.; BULFIN, R. L. **Production: Planning, Control, and Integration**. [s.l.] McGraw-Hill, 1997.
- SOUZA, F. B. DE; BAPTISTA, H. R. Proposta de avanço para o método Tambor-Pulmão-Corda Simplificado aplicado em ambientes de produção sob encomenda. **Gestão & Produção**, p. 735–746, 2010.
- SOUZA, F. B. DE; PIRES, S. R. I. Produzindo para disponibilidade: uma aplicação da Teoria das Restrições em ambientes de produção para estoque. **Gestão & Produção**, p. 65–76, 2014.
- SPEARMAN, M. L.; HOPP, W. J. **A Ciência da Fábrica**. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- TAVARES NETO, R. F.; GODINHO FILHO, M. An ant colony optimization approach to a permutational flowshop scheduling problem with outsourcing allowed. **Computers & Operations Research**, v. 38, n. 9, p. 1286–1293, 2011.