

ANÁLISE DO IMPACTO DOS TEMPOS DE SETUP NA EFICIÊNCIA GLOBAL DO EQUIPAMENTO POR MEIO DA SIMULAÇÃO A EVENTOS DISCRETOS

Aline Cristina Maciel

Universidade Federal de Itajubá
Av. BPS, 1303, Bairro Pinheirinho, Itajubá – MG
alinecrismaciel@gmail.com

José Antonio de Queiróz

Universidade Federal de Itajubá
Av. BPS, 1303, Bairro Pinheirinho, Itajubá – MG
ja.queiroz@unifei.edu.br

Fábio Favaretto

Universidade Federal de Itajubá
Av. BPS, 1303, Bairro Pinheirinho, Itajubá – MG
fabio.favaretto@unifei.edu.br

Tábata Fernandes Pereira

Universidade Federal de Itajubá
Av. BPS, 1303, Bairro Pinheirinho, Itajubá – MG
tabatafp@gmail.com

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo conduzido em uma empresa de autopeças, analisando o impacto do tempo de *setup* de oito máquinas de corte na OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) por meio da simulação a eventos discretos (SED). No trabalho é detalhado todo o processo de elaboração do modelo de simulação. Neste, são propostos seis cenários, sendo três de redução e três de aumento do tempo de *setup* a partir do cenário atual. Os resultados obtidos pela análise dos cenários são apresentados e discutidos. Com a proposição dos cenários de redução, foi possível alcançar um aumento médio da OEE da área em 10,4%. No caso de perda do controle da duração do *setup* (cenários de aumento), isso ocasionará uma redução média da OEE da área de corte em 11,7%.

PALAVRAS CHAVE: Simulação, setup, OEE.

Área principal: SIM, Simulação.

ABSTRACT

This paper presents a study conducted on an auto parts company, analyzing the impact of setup time eight cutting machines in OEE (Overall Equipment Effectiveness) by means of discrete event simulation (DES). Work is detailed in the entire development process of the simulation model. In this, we propose six stages, three reduction and three rising setup time from the current scenario. The results obtained by the analysis of the scenarios are presented and discussed. With the proposal of reduction scenarios, it was possible to achieve an average increase in area OEE 10.4%. In case of loss of control of the duration of the setup (scenarios increase), this will result in an average reduction of OEE cutting area at 11.7%.

KEYWORDS: Simulation, setup, OEE.

Main area: SIM, Simulation.

1. Introdução

As empresas de manufatura que possuem atuação mundial têm focado em tornarem-se empresas de Classe Mundial, definidas por Murugesan *et al.* (2012) como aquelas que possuem e procuram maximizar as melhores práticas na indústria em: qualidade, flexibilidade, preços, velocidade de entrega, confiabilidade de entrega, inovação.

A Simulação de Eventos Discretos (SED) tem sido usada, de forma crescente, para auxiliar a tomada de decisão através de modelagem, análise e projetos de sistemas, com o intuito de visualizar o impacto de mudanças de parâmetros no desempenho desses sistemas (BANKS *et al.*, 2005; CHO, 2005; GARZA-REYES *et al.*, 2010; COSTA, 2010; SARGENT, 2011).

Cientes da importância de uma elevada capacidade produtiva e da melhor utilização dos recursos existentes para evitar investimentos desnecessários, o trabalho tem como objeto de estudo uma área de corte que possui oito máquinas de corte idênticas com alto volume de produção, baixa variedade de produtos, pequenos lotes e elevado tempo de *setup*. O acesso às oito máquinas ocorreu através de uma empresa de autopeças da região do Sul de Minas Gerais, na qual a OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) é um fator crítico para sua capacidade produtiva, o que dificulta a sua expansão, devido à necessidade de novos investimentos em maquinário no caso de novos projetos ou novas demandas. As máquinas em questão produzem o subproduto de maior impacto no preço do produto final, e quando este é afetado, há desvantagem desta empresa perante seus concorrentes.

Desta forma, a SED pode ser utilizada para calcular e simular a OEE, de uma área de corte com oito máquinas, de modo que se possa analisar o impacto da variação de um dos seus parâmetros: o tempo de *setup*. E este resultado será utilizado na tomada de decisão relacionada aos investimentos em melhorias, bem como em ações para evitar a perda de controle das melhorias conquistadas na execução do *setup* no menor tempo possível e na política de estoque.

Este trabalho contribui com a utilização da SED no cálculo da OEE para tomada de decisão, um assunto pouco encontrado na literatura até o momento. Em 14/04/13, foi realizada uma busca no banco *Institute Scientific Information – ISI*, utilizando a combinação das três palavras-chave deste trabalho (simulação, *setup*, OEE) e se concentrando em artigos nas áreas de conhecimento em Engenharia Industrial e Manufatura. Com isso, foram encontrados 41 artigos relacionados às palavras-chave, mas apenas 3 tratavam do cálculo da OEE, ou de um dos seus fatores, via SED: Huang *et al.* (2003), Kenyon *et al.* (2005), Marvel *et al.* (2008). Os demais tratavam do cálculo e implementação da OEE sem mencionar SED, ou ainda, da redução do tempo de *setup* com e sem simulação.

Desta forma, o trabalho está estruturado em seis seções. A seção 2 apresenta uma breve fundamentação teórica abrangendo a SED, a OEE e o impacto dos tempos de *setup*. Em seguida, na seção 3, a metodologia de pesquisa empregada é apresentada. Na seção 4 é realizado o desdobramento da metodologia, e, finalmente, as seções 5 e 6 apresentam a análise dos resultados alcançados e as conclusões.

2. Fundamentação Teórica

2.1 A OEE e o impacto do tempo de *setup*

Segundo Nakajima (1989), a OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) é uma ferramenta de medição das melhorias implementadas pelo TPM. Para este, as empresas que utilizam o indicador OEE podem analisar as condições reais da utilização de seus equipamentos.

Esse indicador é recomendado para ambientes onde exista alto volume de produção, onde a utilização da capacidade produtiva é de extrema importância e paradas ou interrupções resultam em custo elevado devido às perdas de capacidade (RON e ROODA, 2005).

Para Braglia, Frosolini e Zammori (2009), a OEE pode ser expressa como o produto entre a disponibilidade operacional (DO), performance e qualidade, vide Figura 1. Para estes autores, o indicador sofre influência de seis grandes perdas: falhas ou quebras de equipamentos; tempo de troca

de ferramentas (*setup*) e ajustes de produção; pequenas paradas; redução de velocidade; perda de rendimento que ocorre entre o tempo de acionamento até que a máquina estabiliza para produzir; defeitos e retrabalhos. Observando a Figura 1, o tempo de *setup* irá influenciar a DO e, conseqüentemente, a OEE.

Destacando-se o tempo de *setup*, dentre estas grandes perdas, Slack, Chambers, e Johnston (2002) o definem como o tempo entre a troca do processo da produção de um lote até a produção da primeira peça boa do próximo lote.

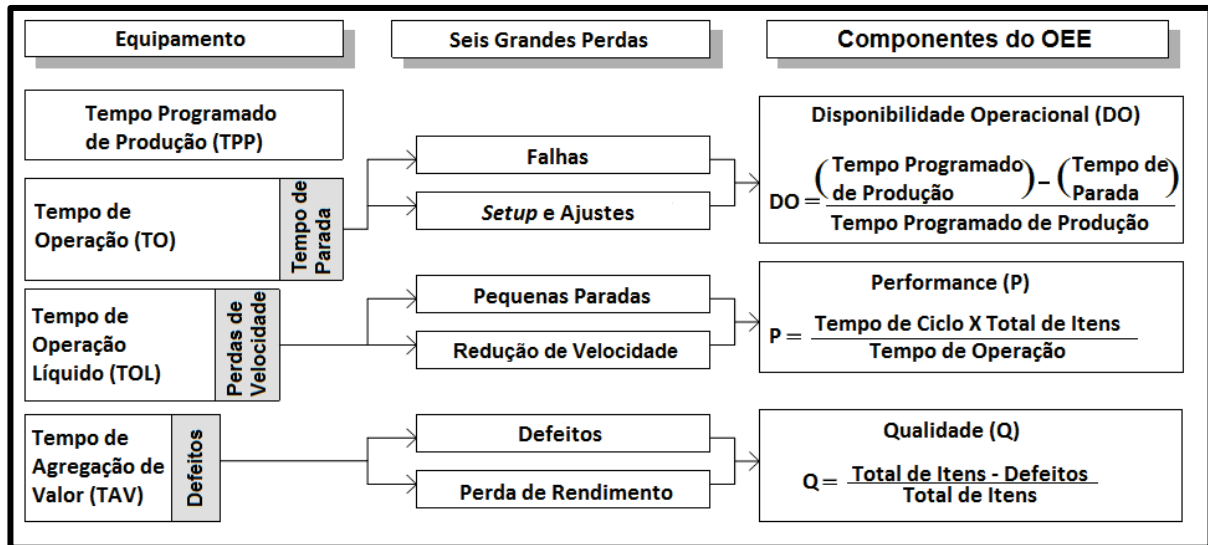


Figura 1-Seis grandes perdas
Fonte: Adaptado deBraglia, Frosolini e Zammori (2009)

Um exemplo recente do impacto do tempo de *setup* em um dos componentes da OEE, tem-se Maciel *et al.* (2012) que apresentam um estudo conduzido numa empresa de autopeças, analisando o impacto do tempo de *setup* de uma máquina de corte, em sua DO, através da SED. Os autores propuseram três cenários de redução do tempo de *setup* a partir do cenário atual. Com o uso de cenários foi possível alcançar um aumento médio da DO de 21,6% e um aumento de 13,1% no Total Produzido.

3. Aplicação do método de pesquisa

O trabalho aqui desenvolvido segue o método de modelagem e simulação. Este método, segundo Chung (2004), é o processo de criar e testar um sistema real através de um modelo matemático computadorizado. Dentro da modelagem e simulação, o método adotado neste trabalho é o de Montevechi *et al.* (2010), pois é adequado ao objeto de estudo e apresenta uma visão contemporânea, que suportou diversos trabalhos em simulação, inclusive do grupo de pesquisa dos pesquisadores.

Nesse método, Montevechiet *al.* (2010) propõem os passos para um projeto de SEDem seu trabalho. São apresentadas três etapas relacionadas aos modelos que deverão ser elaborados em três etapas distintas: o modelo conceitual, na etapa de concepção, o modelo computacional, na etapa de implementação e o modelo operacional, na etapa de análise.

Para melhor compreensão, a próxima seção apresenta, passo a passo, o método utilizado, adaptado do trabalho de Montevechiet *al.* (2010).

3.1 Concepção

Segundo Montevechiet *al.* (2010), a primeira etapa a ser trabalhada consiste na definição dos

objetivos do estudo, construção e validação do modelo conceitual e modelagem dos dados de entrada.

3.1.1 Objetivos e definição do sistema

O sistema modelado é uma área de corte de uma empresa fabricante de um componente automotivo localizada no sul de Minas Gerais. Tal área é composta de oito máquinas idênticas que operam em paralelo e que produzem o componente de maior valor agregado da referida empresa. A operação destas máquinas consiste em cortar uma matéria-prima e juntar a duas peças de outra matéria-prima.

Todas as informações pertinentes à operação das máquinas foram consideradas. Destaca-se, no entanto, que todas as paradas não programadas que ocorrem nas máquinas de corte em estudo estão dispostas no modelo. Entretanto, sendo o *setup* uma parada não programada, segundo a definição de Nakajima (1989), foi considerado separado das demais para facilitar a análise do impacto do mesmo na OEE da máquina de corte. A separação do *setup* se justifica, pois ao se realizar um Pareto das causas de paradas não programadas, Figura 2, o tempo de *setup* se destaca dentre as demais. Para a elaboração da Figura 2 foram utilizados três meses de dados, que totalizam 384 horas de paradas de uma das máquinas, que segundo os especialistas da empresa, melhor representava sua família e que possuía maior acessibilidade aos dados.

Para Ruiz-Torres e Mahmood (2008), o *setup* tem impacto no desempenho de sistemas celulares, como é o caso das máquinas de corte. E quando os tempos de *setup* são significativos, comparados aos tempos de processamento, faz-se necessário tratá-los de forma diferenciada, implicando em custos relacionados à contratação de mão-de-obra especializada e impactando diretamente na produtividade (BARROS e MOCCELLIN, 2004).

Deste modo, o objetivo deste trabalho foi medir o impacto do tempo de *setup* na OEE da área de corte através da SED, contabilizando as oito máquinas em questão. Este objetivo vai de encontro ao objetivo deste trabalho.

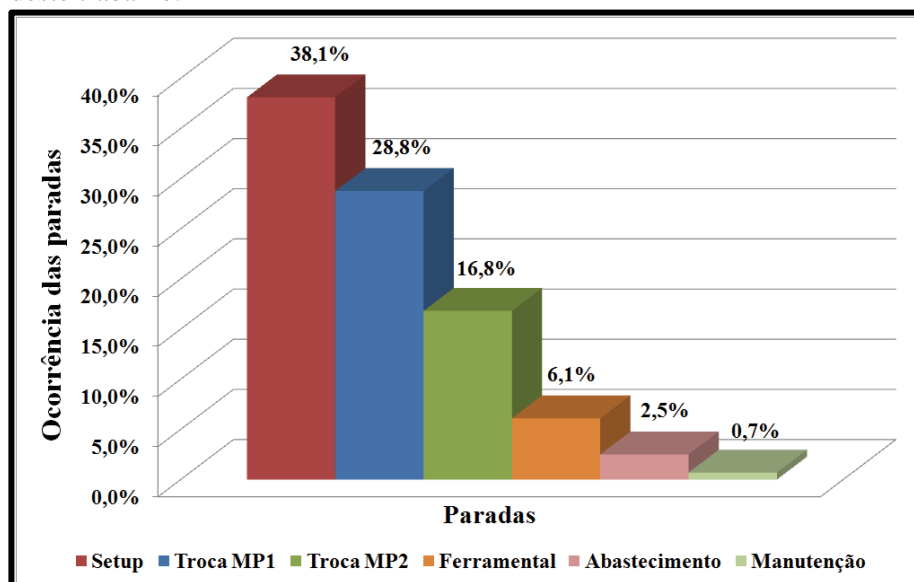


Figura 2-Ocorrência de paradas registradas, em um trimestre, na máquina de corte sob estudo

3.1.2 Construção e validação do modelo conceitual

Para a construção do modelo é necessário, inicialmente, mapear as atividades a serem simuladas, o que irá fornecer informações essenciais para elaboração do modelo conceitual

(MONTEVECHI *et al.*, 2010).

Para tal propósito foi utilizada a ferramenta IDEF-SIM, proposta por Montevechi *et al.* (2010). Segundo estes autores, esta técnica considera aspectos importantes na etapa de modelagem computacional, ao contrário das outras técnicas de mapeamento existentes.

Após a elaboração do modelo conceitual, o mesmo pode ser validado através da técnica de validação face a face (MONTEVECHI *et al.*, 2010). Para Sargent (2011), nesta técnica os especialistas do sistema checam se o modelo conceitual está correto, ou seja, se não há erros de lógica, e se o mesmo representa de maneira razoável o problema estudado. Desta maneira, o presente modelo foi validado apresentando o IDEF-SIM para os especialistas da empresa.

3.1.3 Modelagem dos dados de entrada

Esta etapa é composta por três passos: coleta dos dados, tratamento dos dados e inferência (MONTEVECHI *et al.*, 2010).

Este trabalho foi realizado com três meses de dados da empresa, referentes à máquina de corte que melhor representa sua família, conforme os especialistas da empresa. Para Pereira, Montevechi e Friend (2012), o tratamento destes dados devem seguir os seguintes passos:

- Tirar observações incomuns (*Outliers*),
- Identificar uma família de distribuições que descrevem o processo (ex.: normal),
- Estimar os parâmetros do fenômeno (ex.: média, moda, desvio padrão),
- Realizar testes de hipóteses para determinar o ajuste da distribuição e seus parâmetros.

Estes passos foram realizados para os dados de entrada: duração e frequência de ocorrência das paradas não programadas e programadas e o tempo de ciclo das máquinas de corte. Também foi realizado o passo a passo para a OEE, em um turno, mas este último foi utilizado apenas na fase de validação do modelo.

3.2 Implementação

A fase de implementação inicia-se com a construção, verificação e validação do modelo computacional.

3.2.1 Modelo computacional: construção e verificação

O *software* utilizado neste trabalho foi o *Promodel*®, que para Saif, Seliaman e Ahmad (2006), é uma ferramenta de simulação de fácil modelagem aplicável a todos os tipos de sistemas de produção, representando, assim, uma poderosa ferramenta de apoio à tomada de decisão.

Foram elaborados diversos modelos, em ordem crescente de complexidade. Ao término da construção deste, o modelo foi depurado, e os erros de lógica foram corrigidos. Na Figura 3, apresenta-se a tela do *software Promodel*® com o *layout* do modelo simulado. O modelo completo é formado por oito máquinas idênticas a esta, operando paralelamente, sendo que as mesmas foram denominadas: máquina 1 (M1), máquina 2 (M2), máquina 3 (M3), máquina 4 (M4), máquina 5 (M5), máquina 6 (M6), máquina 7 (M7) e máquina 8 (M8). Na Figura 4 é possível ver o detalhamento de um das máquinas de corte.

Para Sargent (2011), a verificação de um modelo é definida como a garantia de que o programa computacional e sua implementação estão corretos. Assim através das depurações, visualizações das animações e gráficos de saída, o modelo computacional foi verificado.

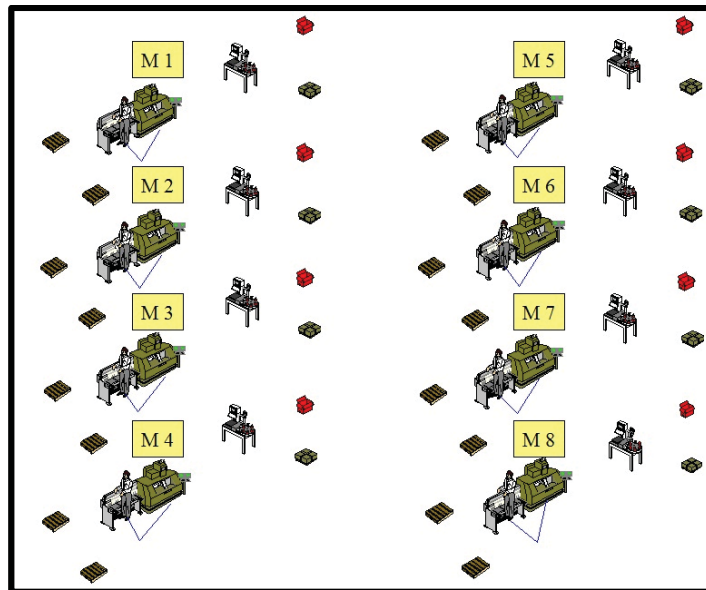


Figura 3 -Tela do Promodel para o modelo desenvolvido para a área de corte

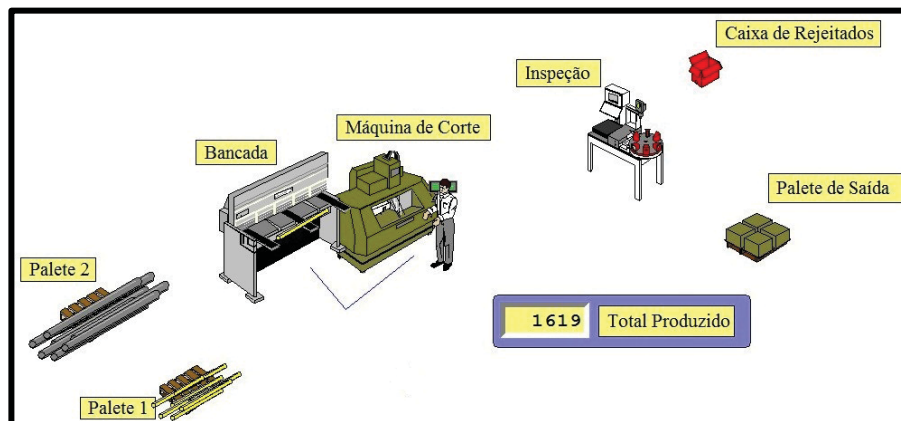


Figura 4 -Tela do Promodel para o modelo desenvolvido detalhamento de uma máquina

3.2.2 Validação do modelo computacional

Sargent (2011) afirma que a validação do modelo computacional é o modo de determinar se o comportamento do modelo simulado é suficientemente preciso para representar o modelo real, para a aplicação a qual se destina. Caso isso não ocorra, as conclusões geradas pelo modelo estarão sujeitas a erros e poderão resultar em decisões equivocadas.

Deste modo, para a validação estatística do modelo em questão, foi utilizado o método proposto por Kleijnen (1995). Foram realizadas 21 replicações do modelo, para um nível de confiança de 95% de confiança, sendo que o modelo da máquina de corte representante das demais foi validado para o cálculo da OEE.

3.3. Análise

Esta fase utilizará o modelo operacional, execução de experimentos, análise dos resultados e conclusões.

3.3.1 Criação de Cenários

A empresa em questão já utiliza várias ferramentas para redução do tempo de *setup*, como: sequenciamento de ordens, pré-ajuste do ferramental utilizado, lote ótimo de produção e política de estoque de acordo com o valor agregado do produto. Estas ações resultaram na expressiva redução do tempo de *setup*. Entretanto, o *setup* ainda é a perda mais significativa durante a operação das 8 máquinas de corte da área estudada, conforme apresentado anteriormente. O que é explicado pelo fato de que esta perda é afetada diretamente pela falta de algumas matérias-primas na fábrica, por diversas causas externas ou internas, que levam a mudança da sequência das ordens, ou mesmo produção de lotes menores que os padrões, para um maior aproveitamento da matéria-prima existente.

Desta forma, vislumbra-se a necessidade da criação de três cenários (1, 2, 3) para redução de tempo de *setup*. Estas reduções, simuladas, podem ser consideradas como resultado de algumas outras ações, como: utilização de troca rápida de ferramentas e revisão das políticas de gerenciamento de estoque de segurança de matéria-prima. Esta última deve chegar a um nível de estoque de matéria-prima que reduza a necessidade de mudança de *mix* de produção e de tamanhos dos lotes nas máquinas de corte. Os outros três cenários (4, 5, 6) foram criados para o aumento do tempo de *setup* das máquinas, com o intuito de mostrar os resultados da perda de controle na execução do *setupe*/ou descuido no gerenciamento do estoque das matérias primas, que podem levar a falta de uma ou ambas durante o processo de corte.

Para tal, foi utilizado um modelo com 8 máquinas de corte, paralelas e idênticas, resultado da utilização do submodelo validado (uma máquina da área de corte), replicado com sequências e sementes aleatórias diferentes para cada máquina, para simular uma operação real da área de corte, pois a empresa em questão não dispunha de dados suficientes para validação do modelo completo. Neste modelo, o cálculo da OEE para as oito máquinas operando em paralelo foi baseado em Huang *et al.* (2003).

Com isso, foram simulados o cenário atual, com o tempo de *setup* real, três cenários de redução e três de acréscimo do tempo do *setup* para serem comparados com o atual, conforme pode ser visualizado na Tabela 1. Estes valores percentuais por cenário foram definidos pelos especialistas da empresa em questão, dentro do que era factível de ser alcançado pela área de corte no momento.

Tabela 1 - Cenários de variação do tempo do *setup*

Tipo	Cenários	Variações no tempo de setup (%)	Possíveis ações que podem resultar nesta redução/aumento
Inalterado	Atual	0	-
	1	- 10	Troca rápida de ferramentas
	2	- 20	Troca rápida de ferramentas e revisão da política de estoque da matéria-prima 1
Redução	3	- 30	Troca rápida de ferramentas e revisão da política de estoque das matérias-primas 1 e 2
	4	+10	Demora na troca de ferramentas
Aumento	5	+20	Demora nas trocas de ferramentas e atraso no abastecimento da matéria-prima 1
	6	+30	Demora nas trocas de ferramentas e atraso no abastecimento das matérias-primas 1 e 2

Para tal simulação, foram criadas três situações de análise: a primeira situação apresenta a variação do tempo de *setup* em uma máquina de corte e o seu efeito na própria OEE_M1 (OEE na máquina 1), a segunda situação apresenta a variação do tempo de *setup* em uma máquina e o seu

efeito na OEE Geral_1 da área de corte com 8 máquinas, e, por fim, a terceira situação apresenta a replicação da variação do tempo de *setup* nas oito máquinas e o efeito na OEE Geral_2 da área de corte.

Para todos os cenários foram realizadas 12 replicações de 9,8 horas. Este número de replicações segue a fórmula de número de amostras de Moretin e Bussab (2010), com nível de confiança de 95%.

3.3.2 Análise dos resultados

A seguir, os resultados da OEE, OEE Geral_1 e OEE Geral _2, obtidos para cada uma das três situações, serão apresentados. Para tal, foram simuladas 12 replicações em 9,8 horas produtivas para cada um dos 6 cenários, em cada situação estudada.

a) Primeira situação: 1 máquina de corte e o impacto do setup em sua OEE

Nesta etapa, a variação do tempo de *setup* ocorre apenas em uma máquina de corte e é analisada a variação na sua própria OEE (OEE_M1). Os resultados obtidos podem ser vistos na Tabela 2.

Tabela 2 - Impacto da variação do *setup* em uma máquina de corte na própria OEE_M1

Variável	Cenário	Média	Desvio Padrão	Intervalo de Confiança da Média
OEE_M1	Atual	0,471	0,032	[0,450; 0,491]
	1	0,500	0,026	[0,483; 0,516]
	2	0,506	0,017	[0,495; 0,517]
	3	0,532	0,028	[0,514; 0,550]
	4	0,469	0,038	[0,445; 0,493]
	5	0,443	0,027	[0,427; 0,460]
	6	0,419	0,038	[0,395; 0,443]

Ao ser realizado o teste da análise de variâncias, com 95% de confiança, utilizando o *software Minitab®* e então, comparando-se novamente os seis cenários ao atual, nota-se que os cenários são diferentes do mesmo. Assim, é possível dizer, que na média, os três primeiros cenários simulados (1, 2, 3) causam aumento da OEE_M1 e os outros três (4, 5, 6) causam uma redução na mesma.

Durante a análise de variâncias, foi possível notar também, que com 95% de confiança, os cenários 1 e 2 são iguais. Assim, o cenário 2 pode ser descartado, pois necessita de um maior investimento para implantação que o cenário 1. Já o cenário 3 apresenta os melhores resultados neste aumento, enquanto o cenário 6 se destaca como o pior resultado na perda do controle da operação de *setup* e gerenciamento do estoque das matérias primas.

b) Segunda situação: 1 máquina de corte e o impacto do setup na OEE Geral

Nesta etapa, a variação do tempo de *setup* ocorre apenas em uma máquina de corte e é analisada a variação na OEE Geral da área de corte (OEE Geral_1). Os resultados obtidos podem ser vistos na Tabela 3.

Tabela 3 - Impacto da variação do *setup* em uma máquina de corte na OEE Geral_1

Variável	Cenário	Média	Desvio Padrão	Intervalo de Confiança da Média
OEE Geral_1	Atual	0,482	0,011	[0,475; 0,489]
	1	0,483	0,010	[0,477; 0,489]
	2	0,487	0,011	[0,480; 0,494]
	3	0,489	0,012	[0,481; 0,497]
	4	0,480	0,010	[0,473; 0,487]
	5	0,476	0,010	[0,470; 0,482]
	6	0,474	0,010	[0,468; 0,480]

Da mesma forma que na situação anterior, ao ser realizado o teste da análise de variâncias, com 95% de confiança, utilizando *Minitab*®, e, então, comparando-se, novamente, os seis cenários ao atual, nota-se que os cenários são diferentes do mesmo. Assim, é possível dizer, que na média, os três primeiros cenários simulados (1, 2, 3) causam aumento da OEE Geral_1 e os outros três (4, 5, 6) causam uma redução na mesma, mas de forma menos expressiva que na primeira situação.

Ainda durante a análise de variâncias, foi possível notar também, que com 95% de confiança, os cenários 1, 2, 3 são iguais, em como os cenários: 4, 5, 6. A variação do *setup* de 1 máquina, pouco influenciou nos resultados da OEE Geral_1. Aqui também, o cenário 3 apresenta os melhores resultados neste aumento e o cenário 6 se destaca como o pior resultado na perda no controle da operação de *setup* e gerenciamento do estoque das matérias primas.

c) Terceira situação: 8 máquinas de corte e impacto do *setup* na OEE Geral

Nesta etapa, a variação do tempo de *setup* ocorre em oito máquinas de corte e é analisada a variação na OEE Geral_2 da área de corte com as oito máquinas. Os resultados obtidos podem ser vistos na Tabela 4.

Tabela 4 - Impacto da variação do *setup* em oito máquinas de corte na OEE Geral_2

Variável	Cenário	Média	Desvio Padrão	Intervalo de Confiança da Média
OEE Geral_2	Atual	0,482	0,011	[0,475; 0,489]
	1	0,503	0,008	[0,498; 0,508]
	2	0,516	0,010	[0,510; 0,522]
	3	0,532	0,010	[0,526; 0,538]
	4	0,460	0,008	[0,455; 0,465]
	5	0,442	0,012	[0,435; 0,450]
	6	0,425	0,015	[0,416; 0,435]

Também conforme as situações anteriores, ao ser realizado o teste da análise de variâncias, com 95% de confiança, utilizando o *Minitab*®, e, então, comparando-se, novamente, os seis cenários

ao atual, nota-se que os cenários são diferentes do mesmo. Assim, é possível dizer, que na média, os três primeiros cenários simulados (1, 2, 3) causam aumento da OEE e os outros três (4, 5, 6) causam uma redução na mesma, mas de forma menos expressiva que na primeira situação.

Ainda durante a análise de variâncias, foi possível notar também, que com 95% de confiança, todos os cenários são diferentes entre si. A variação do *setup* influenciou significativamente nos resultados da OEE Geral_2. Da mesma forma que nas situações anteriores, o cenário 3 apresenta os melhores resultados neste aumento e o cenário 6 se destaca como o pior resultado na perda no controle da operação de *setup* e gerenciamento do estoque das matérias primas.

d) Comparativo dos resultados das três situações

Nas três situações foram apresentados apenas os resultados da OEE de uma máquina (OEE_M1) ou da OEE Geral, sob influência dos 6 cenários de variação do tempo de *setup*.

Através do teste da análise de variâncias, com 95% de confiança, utilizando o software *Minitab*®, e, então, comparando-se os 6 cenários ao atual, nota-se que os cenários são diferentes do mesmo, ou seja, na média os 6 cenários de variação do tempo de *setup* simulados causam impacto nas variáveis: OEE_M1, OEE Geral_1 e OEE_Geral_2.

Também com os cenários foi possível perceber que se for perdido o controle do tempo de *setup*, pode-se atingir uma perda média da OEE Geral_2 de 11,7% e uma redução de 11,6% no total produzido geral (Cenário 6 – Tabela 4).

4. Conclusões

Neste trabalho, pode-se notar a importância do uso da SED na tomada de decisão. Para o modelo proposto da máquina de corte, ao se simular três cenários de redução do tempo de *setup*, foi possível perceber que os cenários 1 e 2 eram iguais, o que possibilitou descartar o cenário 2, que demandaria maior investimento e apresentaria o mesmo resultado do 1. E também, possibilita a gerência escolher se quer investir no cenário 1 ou 3, levando-se em consideração os resultados que se deseja atingir para as variáveis OEE Geral das 8 máquinas, ou, ainda, o resultado por máquina em ambiente de simulação, sem a necessidade de implantar as ações para redução do tempo de *setup* na prática.

Através das simulações dos modelos para os cenários estudados e com a utilização das ferramentas de análise disponíveis no *ProModel*®, como os relatórios de resposta e seus gráficos de capacidade, além das validações estatísticas dos resultados obtidos, foi possível perceber o impacto do tempo de *setup* na OEE, denominadas OEE_M1, OEE Geral_1 e OEE Geral_2, no qual destaca-se a replicação de uma melhoria do tempo de *setup*, realizada em uma máquina, nas oito máquinas nas saídas OEE Geral_2.

A redução do tempo de *setup*, em média, ocasionou um aumento da OEE, e, assim o *setup* reafirmou sua importância dentre os outros tipos de paradas da máquina de corte.

Conclui-se, desta maneira, que este trabalho contribuiu apresentando uma sistemática com a utilização da SED no cálculo da OEE de máquinas de corte para tomada de decisão em ambiente estocástico, tema pouco encontrado na literatura.

Como sugestões para trabalhos futuros, têm-se: a criação de cenários de variação de outras causas de paradas, com as apresentadas no gráfico de Pareto da Figura 2, em como para o cálculo de outros indicadores de interesse da empresa.

Agradecimentos

Os autores agradecem a FAPEMIG, CAPES e CNPQ.

Referências Bibliográficas

Banks, J.; Carson II, J. S.; Nelson, B. L.; Nicol, D. M. *Discrete-event Simulation*, 4th ed. New Jersey: Prentice-Hall, 2005.

- Banks, J.; Carson II, J. S.; Nelson, B. L.; Nicol, D. M.** *Discrete-event Simulation*, 5th ed. New Jersey: Prentice-Hall, 2009.
- Braglia, M.; Fronsolini, M.; Zammori, F.** Overall equipment effectiveness of a manufacturing line (OEEML) - An integrated approach to assess systems performance. *Journal of Manufacturing Technology Management*, v.20, n.1, p. 8-29, 2009.
- Barros, A. D.; Moccelin, J. V.** Análise da flutuação do gargalo em flow shop permutacional com tempos de setup assimétricos e dependentes da seqüência. *Gestão e Produção*, v. 11, n. 1, p. 101-108, 2004.
- Carson II, J. S. M.** Model Verification and Validation. In: Winter Simulation Conference, *Proceedings...* San Diego, CA, USA, 2002.
- Cho, S.** A distributed time driven simulation method for enabling real time manufacturing shop floor control. *Computers & Industrial Engineering*, n.49, p.572-590, 2005.
- Chung, C. A.** *Simulation modeling handbook. A practical approach.* CRC press, London, New York, 2004.
- Costa, R. F. S. O.** *Abordagem sistemática para avaliação econômica de cenários para modelos de simulação discreta em manufatura.* Dissertação (mestrado em engenharia de produção). Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2010.
- Garza-Reyes, J.A.; Eldridge, S.; Barber, K.D.; Soriano-Meier, H.** Overall equipment effectiveness (OEE) and process capability (PC) measures: a relationship analysis. *International Journal of Quality & Reliability Management*, v.27, n.1, p. 48-62, 2010.
- Hillier, F. S.; Lieberman, G. J.** *Introduction to Operations Research.* 9th ed. McGraw-Hill, New York, 2010.
- Huang, S. H. ; Dismukes, J. P. ; Shi, J.; Su, Q. ; Razzak, M. A.; Bodhale, R.; Robinson E. D.** Manufacturing productivity improvement using effectiveness metrics and simulation analysis. *International journal of Production Research*, v. 41, n. 3, p. 513-527, 2003.
- Jahangirian, M.; Eldabi, T.; Nasser, A.; Stergioulas, L. K.; Young, T.** Simulation in manufacturing and business: A review. *European Journal of Operational Research*, v. 203, n. 1, p. 1-13, 2010.
- Kenyon, G.; Canel, C.; Neureuther, B. D.** The impact of lot-sizing on net profits and cycle times in the n-job, m-machine job shop with both discrete and batch processing. *International Journal Production Economics*, n. 97, p. 263-278, 2005.
- Kleijnen, J.P.C.** Theory and methodology: verification and validation of simulation models. *European Journal of Operational Research*, v.82, p.145-162, 1995.
- Law, A. M.** How to build valid and credible simulation models. In: Winter Simulation Conference, *Proceedings...* Austin, TX, USA, 2009.
- Maciel, A. C.; Montevechi, J. A. B.; Miranda, R. C.; Fagundes, L. D.** Análise do Impacto dos Tempos de Setup na Disponibilidade Operacional de uma Máquina de Corte através da Simulação a Eventos Discretos. In: Simpósio De Engenharia de Produção, 19, 2012, *Anais...* Bauru, SP, 2012.
- Marvel, J. H.; Schaub, M. A.; Weckman, G. R.** Assessing the availability and allocation of production capacity in a fabrication facility through simulation modeling: a case study. *International Journal of Industrial Engineering: Theory, Applications and Practice*, v. 14, n. 2, p. 166-175, 2008.
- Montevechi, J. A. B.; Leal, F.; Pinho, A. F.; Costa, R. F. S.; Oliveira, M. L. M.; Silva, A. L. F.** Conceptual modeling in simulation projects by mean adapted ideo: an application in a brazilian tech company. In: Wintersimulationconference, *Proceedings...* Baltimore, MD, USA, 2010.
- Morettin, P. A.; Bussab, W.O.** *Estatística básica.* 6. Ed. Editora Saraiva, São Paulo, 2010.
- Murugesan, T. K.; Kumar, B.S.; Kumar, M. S.** Manufacturing system (WCMS) – a study of manufacturing companies in south india. *European Journal of Social Sciences*, v. 29, n.2, p. 295-311, 2012.

- Nakajima, S.** *Introdução ao TPM – Total Productive Maintenance*. São Paulo: IMC, Internacional Sistemas Educativos Ltda., 1989.
- Oliveira, C. S.** Aplicação de Técnicas de Simulação em Projetos de Manufatura Enxuta. *Estudos Tecnológicos*, v. 4, n. 3, p. 204-217, 2008.
- Pereira, T. F.; Montevechi, J. A, B; Friend, J. D.** Análise do impacto dos tempos de inspeção e capacidade produtiva através da simulação a eventos discretos em uma empresa automobilística. In: Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 44, 2012, *Anais...* Rio de Janeiro, RJ, 2012.
- Ron, A. J., Rooda, J. E.** Equipment effectiveness: OEE revised. *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, v. 18, n. 1, 2005.
- Ruiz-Torres, A. J.; Mahmoodi, F.** Analysis of multi-cell production systems considering cell size and worker flexibility. *International Journal of Industrial Engineering: Theory, Applications and Practice*, v. 15, n. 4, p. 360-372, 2008.
- Saif, A. W. A.; Seliaman, M. E.; Ahmad, A. R.** Simulation Optimization of a Four-Stage Supply Chain System. *Information and Communication Technologies*, v 2, p. 2798-2802, 2006.
- Sargent, R. G.** Verification and validation of simulation models. In. Winter simulation conference. *Proceedings...* Phoenix, AZ, USA, 2011.
- Slack, N.; Chambers, S.; Johnston, R.** *Administração da produção*. 2ª Ed. São Paulo: Atlas, 2002.