

CONCEITOS DE PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO (PCP): ENSINO POR MEIO DE SIMULAÇÃO

PRODUCTION PLANNING AND CONTROL (PPC) CONCEPTS: TEACHING BY SIMULATION

Murís Lage Júnior,¹ Maria Laura Amin²

RESUMO

Quando analisado o processo atual de ensino, percebe-se uma predominância no uso das aulas expositivas. Essa metodologia, quando utilizada isoladamente, apresenta algumas desvantagens, como a lacuna entre teoria e prática. Além disso, sabe-se que cada indivíduo apresenta determinadas peculiaridades no processo de aprendizado e cabe ao professor fazer uso de ferramentas que aumentem o alcance do ensino. Com tudo isso e considerando o caráter dinâmico e aplicável do Planejamento e Controle da Produção (PCP), percebe-se um grande potencial de melhoria do processo ensino-aprendizagem por meio da utilização de diversas metodologias de ensino. Destaca-se, nesse processo, a simulação como ferramenta de apoio às aulas expositivas no ensino de conceitos-chave de PCP. Dessa forma, este trabalho tem como objetivo gerar modelos de simulação que permitam ao professor expandir suas ferramentas no processo do ensino de conceitos-chave de PCP para alunos de Engenharia de Produção. Para atingir este objetivo, foram utilizados dois métodos de pesquisa: pesquisa bibliográfica, para a obtenção da base teórico-conceitual, e simulação para a elaboração dos modelos. Como *software* de simulação foi utilizado o Flexsim®, escolhido pela sua facilidade de uso, interface amigável e animações realistas. Os resultados do presente trabalho são modelos de simulação que podem ser utilizados pelo professor em sala de aula. Tais modelos serão disponibilizados aos interessados mediante solicitação por *e-mail*.

Palavras-chave: Método de ensino; Planejamento e Controle da Produção; Simulação; Flexsim®.

ABSTRACT

When analyzing the current teaching process, we notice a predominance in lectures. This methodology, by itself, presents some disadvantages, as the gap between theory and practice. In addition, it is known that each individual presents certain peculiarities at learning and it is the teacher's duty to make use of tools to maximize the reach of the teaching process. With all this, and considering the dynamic and applicable character of Production Planning and Control (PPC), there is a great potential for improvement in the teaching-learning process through the use of several teaching methodologies. Thus, simulation stands out as a toll to support the lectures in the teaching of key concepts of PPC. Therefore, the object of this research was to generate simulation models that allow the teacher to expand his tools in the teaching process of the key concepts of PPC to Production Engineering students. To achieve that, two research methods were used: bibliographic research, to obtain the theoretical-conceptual basis and simulation to elaborate the models. The chosen software for this was Flexsim®, especially for its easy use, friendly interface and realistic animations. The obtained results were simulation models that can be used by the teacher in the classroom. The models will be available to interested parties upon request by e-mail.

Keywords: Teaching method; Production Planning and Control; Simulation; Flexsim®.

¹ Professor do Departamento de Engenharia de Produção da UFSCar – *Campus* São Carlos; muris@dep.ufscar.br

² Graduanda do curso de Engenharia de Produção da UFSCar – *Campus* São Carlos; lauraamin@hotmail.com

INTRODUÇÃO

De acordo com Silva e Cecílio (2017, p. 62), “em decorrência da chamada Terceira Revolução Industrial, do avanço e disseminação das novas tecnologias da informação e da comunicação e de uma nova ordem social, o mundo do trabalho tem passado por substantivas modificações”. Nesse contexto de mudanças e avanços tecnológicos, o processo de ensino ganha destaque, uma vez que conforme Belhot (1997, p. 2), “a globalização da economia tornou o mercado muito mais competitivo” e a educação é determinante para a “sobrevivência profissional no mercado de trabalho”.

No sistema tradicional, em consonância com diversos autores (BELHOT, 1997; SILVA E CECÍLIO, 2017), o professor é o detentor do conhecimento e o responsável por transmiti-lo aos alunos, que são agentes passivos no processo. No entanto, essa abordagem nem sempre contempla as características individuais dos alunos, já que “as pessoas percebem e processam as novas informações de formas variadas” (BELHOT, 1997, p. 11). Assim, cabe ao professor fazer uso de diferentes métodos de ensino, que priorizem não só o processo de aprendizagem, mas também o alcance desse ensino a maior parte dos alunos.

O sistema de ensino brasileiro normalmente apresenta uma grande ênfase no ensino teórico do conteúdo: “Dentre os vários impasses que o professor enfrenta em seu cotidiano, está a relação teoria e prática, vista como um dos desafios postos aos educadores” (SILVA; CECÍLIO, 2017, p. 67). Essa lacuna, ou carência de relação entre teoria e prática, leva, de acordo com os autores, à desmotivação e desatenção dos alunos, uma vez que não há relação entre o aprendido em sala de aula com a aplicação no mercado de trabalho.

No caso de Planejamento e Controle da Produção (PCP), em razão do caráter dinâmico e de grande aplicação prática da disciplina, metodologias diferentes do “modelo tradicional” têm grande potencial para facilitar o seu ensino.

Uma metodologia de ensino que poderia ser usada, como apoio às aulas expositivas de PCP, é a simulação, base do modelo SBT (*Simulation-Based Training* – treinamento baseado em simulação, em português), que, se-

gundo Salas, Wildman e Piccolo (2009), pode ser definido como qualquer ambiente sintético criado para transmitir competências como atitudes, conceitos, conhecimentos, regras ou habilidades, de forma a melhorar o desempenho do aluno. De acordo com os mesmos autores, a simulação apresenta uma série de vantagens em relação a outras metodologias, entre elas: apresenta simultaneamente teoria e prática; provê um equilíbrio de representação entre a complexidade de um sistema de produção real e a simplificação para melhor entendimento; age em um ambiente sem riscos, simulando os recursos em vez de realizar experimentos no sistema real; e permite a observação de conceitos que, apesar de críticos, são difíceis de serem vistos na prática. Ainda, como salientam Albuquerque e Pitangueira (2018), a revolução proporcionada pelos computadores pode impactar positivamente o processo de ensino-aprendizagem nas diversas áreas do conhecimento.

Nesse contexto, uma adaptação da forma de ensino de PCP traria uma série de benefícios aos alunos e, conseqüentemente, à área como um todo. Alguns dos motivos que sustentam os benefícios desta mudança no processo de ensino são: a linha tênue entre conceitos que, apesar de diferentes, aparentam semelhanças; os conceitos de difícil visualização na prática; e a dificuldade de acesso às empresas que poderiam ser usadas como exemplo.

Dessa forma, o objetivo de pesquisa deste trabalho é gerar modelos de simulação que permitam ao professor expandir suas ferramentas no processo do ensino de conceitos-chave de PCP para alunos de Engenharia de Produção.

O presente trabalho segue a seguinte estrutura: a segunda seção é composta pela revisão de literatura de PCP em geral, dos métodos de ensino em PCP e dos conceitos-chave que foram simulados; a terceira seção aborda o processo metodológico utilizado; a quarta seção apresenta os resultados da pesquisa; e a quinta seção traz as considerações finais do trabalho.

O PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO

Sipper e Bulfin (1997) apresentam o PCP como uma parte significativa do gerenciamento da produção, desempenhando a função

de combinar os fluxos físicos e de informações para gerenciar o sistema de produção, relacionando-se com o ambiente externo e com o chão de fábrica. Esses autores salientam que as funções principais do PCP são estabelecer metas e medir desvios na produção, ou seja, a essência do PCP é gerenciar desvios enquanto mantém os objetivos consistentes com os da organização como um todo.

Stevenson, Hendry e Kingsman (2005) afirmam que as funções típicas de um sistema de PCP são planejamento das necessidades de materiais, gerenciamento da demanda, planejamento da capacidade, *scheduling* etc. Os propósitos-chaves dessas funções são reduzir estoque em processo, minimizar os tempos de atravessamento e *lead times*, diminuir os custos de estoques, melhorar a responsividade a mudanças, melhorar a aderência das datas de entrega entre outros.

Ensino de PCP e simulação

Conforme atestam Silva e Cecílio (2017, p. 62), “hoje, talvez mais que em outras épocas, o ensino em engenharias procura se moldar às necessidades que o mercado tem em buscar profissionais com capacidade para desempenhar atividades inerentes aos diferentes setores de desenvolvimento”. A engenharia sempre foi uma ciência aplicada ao uso prático e com foco na resolução de problemas para proporcionar uma melhor qualidade de vida à população, desmembrando-se em áreas específicas de atuação como engenharia de produção, civil, química, mecânica entre outras. Com isso, fica evidente a característica adaptativa dessa ciência em resposta às mudanças do ambiente, sejam econômicas, sociais, políticas ou comportamentais, o que é reforçado pelos autores supracitados.

Segundo Kuri (1993 apud BELHOT, 1997), existem três abordagens de ensino em engenharia: tradicional; comportamentalista; e cognitivista. Belhot (1997) resume essas três categorias da seguinte maneira:

- a) abordagem tradicional: tem como principal característica a ênfase no professor, responsável por transmitir o conhecimento, e tem como metodologia-base a aula expositiva;
- b) abordagem cognitivista: tem base no entendimento de como os estudantes lidam com

os estímulos vindo do ambiente, organizam os dados e lidam com problemas. Assim, o ensino consiste em pesquisa, investigação e resolução de problemas pelo próprio aluno;

- c) abordagem comportamentalista: tem como ênfase a organização racional da aprendizagem e orientação empirista, em que o conhecimento é resultado da experiência.

Vários autores, por exemplo Braga et al. (2017), fazem uma crítica aos modelos tradicionais de ensino, uma vez que a falta de práticas e a passividade do aluno podem levar à desmotivação. Silva e Cecílio também defendem que essa prática pode levar à desatenção por parte dos alunos, pois “não conseguem ligar os interesses comuns entre aquilo que têm de aprender e o que vão precisar aprender para conseguir o tão almejado futuro emprego” (SILVA; CECÍLIO, 2017, p. 67). Apesar das limitações, as aulas expositivas são úteis “na apresentação de um assunto novo, para despertar interesse sobre uma temática específica, para apresentar conceitos e princípios fundamentais, para sintetizar ou concluir” (BELHOT, 1997, p. 15). Assim, pode-se concluir que esta prática, apesar de ter participação significativa no processo de ensino-aprendizagem, quando utilizada como único método de ensino, leva a uma carência no processo de aprendizagem.

Soma-se a isso o fato de que as pessoas “processam as novas informações de formas variadas” (BELHOT, 1997, P. 11), podendo captar informações por canais sensoriais, observação reflexiva ou por meio do envolvimento pessoal e ativo. Segundo Silva e Cecílio (2017, p. 64), o professor deve ser “aquele que é capaz de se relacionar com uma diversidade de estudantes, de mobilizar seus interesses e motivações e de, com eles, construir oportunidades de aprender e de transformar”. Com esses argumentos reforça-se a importância da variedade de métodos e abordagens de ensino, trazidas pelo professor, no processo ensino-aprendizagem, uma vez que isso aumenta o seu potencial de alcance.

Com base na necessidade de um método complementar (e não substituto) às aulas expositivas, um método de ensino que também se encaixa na abordagem comportamentalista e vem ganhando espaço no processo de ensino, de forma promissora, é a utilização de modelos computacionais – em especial a simulação.

De acordo com Girotti e Mesquita, “por simulação entende-se a experimentação com modelos que representam com um determinado grau de precisão uma situação da realidade ou certo processo/fenômeno conhecido” (GIROTTI; MESQUITA, 2016, p. 181), permitindo, assim, a elaboração de diferentes cenários. Segundo esses mesmos autores, a simulação é aplicada na área da educação de diversas formas, por exemplo em jogos de empresa e simuladores. Além disso, Chase, Aquilano e Jacobs (2006) apresentam uma série de vantagens do uso de simulação: facilidade em entender melhor o sistema real; possibilidade de simular longos períodos (compressibilidade do tempo); a não “perturbação” do sistema real para análises; maior abrangência que modelos analíticos; e a capacidade de elaborar diferentes cenários. Da mesma forma, são apresentadas como principais desvantagens: demora em caso de representação de sistemas complexos; falta de garantia de respostas conclusivas; necessidade de interpretação estatística de dados; e falta de padrão na modelagem, podendo-se obter resultados distintos.

A partir das vantagens e das desvantagens apresentadas, pode-se evidenciar o potencial dessa ferramenta para o processo de ensino. Dos pontos positivos, destaca-se que a maioria se relaciona com o melhor entendimento da situação estudada e de possíveis variações de cenários, o que pode ser levado, na área da educação, para a melhor compreensão de conceitos e variações de variáveis, de forma a se entender o impacto destas em um sistema. Em relação aos pontos negativos, destacam-se possíveis complicações ao se analisar sistemas complexos, seja pela falta de garantia de respostas conclusivas ou pelo tempo exigido. No entanto, não são problemas que impactam negativamente o processo de ensino, uma vez que este tende a seguir modelos simplificados e de fácil entendimento, buscando facilitar a aprendizagem dos alunos.

Com isso, justifica-se a escolha da simulação para os fins deste trabalho e, entre os diversos *softwares* disponíveis, foi utilizado o Flexsim®, pela sua facilidade de uso, interface amigável e animações realistas, que contribuem para o melhor entendimento e, conseqüentemente, para a melhoria do processo de ensino-aprendizagem.

Segundo Braga et al. (2017, p. 4), “o Flexsim é um *software* de simulação que permite aos usuários a modelagem e simulação de sistemas numa plataforma extremamente visual e flexível, permitindo a exportação de diversos arquivos para a customização de modelos, além de disponibilizar ferramentas que possibilitam a avaliação do desempenho do sistema”. Soma-se a essa definição a defesa de Beaverstock e Greenwood (2011) sobre a facilidade de uso do Flexsim®, que permite ao professor ter mais tempo na aplicação prática e teoria necessária, uma vez que não se gasta muito tempo na explicação, apresentação e/ou aprendizado do *software*.

Conceitos-chave em PCP

No contexto do ensino de PCP, foram selecionados conceitos-chave a serem simulados, de forma a auxiliar o processo de ensino. Esses conceitos foram escolhidos devido à sua relevância para o PCP, visando a consolidar seu aprendizado por meio da variedade de técnicas de ensino. Além disso, os conceitos escolhidos possuem um grau considerável de dificuldade para entendimento pelos meios tradicionais de ensino. Cada um desses conceitos será descrito brevemente nas próximas subseções.

Relação entre tamanhos de lote de produção, tempo de setup e lead time

Segundo Corrêa e Gianesi (1993), o *lead time* é composto por: tempo de tramitação de ordem; tempo de espera em fila; tempo de preparação de máquina; tempo de processamento; e tempo de movimentação. Assim, a redução de *lead time* pode ser entendida como redução do tempo, que visa ao aumento de flexibilidade de resposta, habilitando o sistema de produção a se adaptar a mudanças, ou incertezas, de maneira ágil. Os autores defendem que uma série de fatores estão relacionados com a redução desse tempo e, entre eles, destacam-se o tempo de *setup* e o tamanho de lote, tendo forte impacto no tempo de espera em fila.

Com altos tempos de *setup*, ou seja, altos tempos de preparação de máquina para iniciar a produção de um novo produto, são necessários maiores tamanhos de lote, pois, caso contrário,

a troca frequente de produtos a serem produzidos resultaria em uma alta utilização dos recursos com preparação, em detrimento da utilização produtiva de fato. No entanto, tamanhos de lote muito grande aumentam o tempo de fila, uma vez que a continuidade de um produto na linha de produção depende da passagem do lote completo por cada estação de trabalho. Como consequência, obtêm-se altos *lead times*. De acordo com Corrêa e Giansesi (1993), uma redução do tempo de *setup* permite uma redução nos tamanhos de lote que, conseqüentemente, reduz o *lead time*.

Relação entre tamanhos de lote de produção, tempo de setup e utilização

De acordo com Suri (1998), a utilização de uma máquina é definida por todo o tempo em que está ocupada para alguma tarefa, seja *setup*, processamento ou até mesmo manutenção. Seguindo-se essa definição, a utilização de uma máquina corresponde à soma de todos os tempos em que ela não está livre para processamento de algum outro produto, sendo composta não só do tempo produtivo, mas também pelo tempo de *setup*.

Há uma inter-relação entre tamanho de lote, tempo de *setup* e utilização. Assim, tomar uma decisão com base em um desses aspectos, ignorando os outros, na busca por maior eficácia e/ou eficiência, tende à apresentação de resultados insatisfatórios.

Suri (1998) afirma que quando o tamanho de lote é muito grande, tem-se poucos *setups* e é quase atingida uma utilização referente ao caso de não existirem preparações de máquina. Reduzindo-se o tamanho de lote, a utilização aumenta, devido ao maior número de *setups*, até se alcançar a utilização máxima que representa o menor tamanho de lote possível. Assim, tem-se que o tempo de *setup* faz parte da utilização da máquina, que, por sua vez, tem relação direta com o tamanho de lote.

Relação entre utilização dos recursos e lead time

Suri (1998) afirma ainda que o nível de utilização de um recurso não é suficiente para prever o *lead time*, uma vez que uma mesma utilização em uma mesma máquina pode resul-

tar em tempos de fila diferentes. Segundo este mesmo autor, quando se aproxima de um nível de utilização mínima, praticamente inexistem os tempos de fila, uma vez que os produtos que chegam ao recurso, geralmente, encontram a máquina ociosa, resultando em um menor *lead time*. No entanto, conforme a utilização aumenta, o *lead time* cresce exponencialmente. Isso pode ser explicado da seguinte maneira: à medida que a utilização aumenta, os lotes que chegam para serem processados têm maior chance de encontrar a máquina ocupada, resultando em tempo de espera e, conseqüentemente, em maiores *lead times*.

Segundo Corrêa e Giansesi (1993), é comum que as empresas considerem como medida de desempenho a taxa de utilização, visando, muitas vezes, a atingir a utilização máxima. No entanto, muitas abordagens de produção, por exemplo o *Just in Time* (JIT), defendem priorizar a utilização quando solicitada e não sua maximização, obtendo, assim, um fluxo suave e contínuo dos produtos. Da mesma forma, Suri (1998) recomenda como adequada a operação do sistema produtivo com um nível entre 70 e 80% de utilização nos recursos.

Relação entre variabilidade e o lead time

De acordo com Suri (1998), o aumento da variabilidade, tanto no tempo de chegada como no tempo de processamento, provoca um aumento no *lead time*. Além disso, ressalta-se que a variabilidade intensifica os impactos do nível de utilização apresentados na subseção anterior, uma vez que o recurso está sujeito tanto a tempos de inatividade quanto a tempos de processamento muito longos, resultando em um alto valor da taxa de variabilidade de tarefas. Isso significa que uma máquina com alta utilização e ocasionais paradas longas terá prazos de entrega muito longos (SURI, 1998, p. 165).

Lei de Little

A lei de Little relaciona as variáveis *lead time* (LT), *Throughput* (TH) e *Work in Progress* (WIP) da seguinte maneira: $WIP = TH \cdot LT$.

Apesar de os resultados obtidos por meio dessa equação não serem sempre precisos, trata-se ainda assim de uma boa referência para aproximações. Além disso, a Lei de Little

pode ser usada tanto em uma estação de trabalho quanto em uma linha de produção ou na planta produtiva como um todo. Segundo Hopp e Spearman (2008), a lei vale para qualquer sistema produtivo e, desde que as variáveis sejam medidas de forma consistente, a relação se mantém a longo prazo.

Esses mesmos autores também listam uma série de usos da lei como o cálculo de tamanho de filas, a medição e redução do *lead time* e a determinação do estoque planejado e do giro de estoque.

Linha de montagem balanceada vs linha de montagem desbalanceada

Sabe-se que uma linha de montagem está balanceada quando o tempo de ciclo é igual aos tempos gastos em cada estação de trabalho pelas quais o produto passa. O balanceamento de linha consiste em “efetuar a alocação do trabalho ao longo da linha segundo determinados critérios e levando em conta determinadas restrições” (FERNANDES; DALALIO, 2000, p. 379).

Um dos problemas de uma linha de montagem desbalanceada é que ao mesmo tempo pode-se ter recursos com tempos ociosos e recursos sem tempos ociosos.

MÉTODO DE PESQUISA

Para a realização do presente trabalho foram usadas as abordagens de pesquisa quantitativa e qualitativa.

De acordo com Miguel et al. (2010), os principais métodos de pesquisa contemplados pela abordagem quantitativa são: *survey*, simulação, experimento e quase-experimento. Neste trabalho, optou-se pela simulação, uma vez que se tem como finalidade gerar modelos computacionais a serem utilizados em sala de aula.

Além disso, a pesquisa bibliográfica também foi utilizada com a finalidade de se obter a base teórico-conceitual necessária para a realização do trabalho.

Por se tratar de um trabalho de teor teórico voltado para o uso acadêmico, a principal fonte utilizada na pesquisa bibliográfica, para formação da base teórico-conceitual, foram li-

vros e artigos com foco em PCP, métodos de ensino e simulação.

Segundo Miguel et al. (2010), os modelos computacionais permitem uma melhor compreensão do ambiente estudado, sendo definido como uma representação construída de forma a permitir um tratamento sistemático da situação modelada. Ainda de acordo com os autores, o modelo deve, ao mesmo tempo, ser detalhado o suficiente para captar a essência do sistema real e simples o suficiente para ser tratado por métodos conhecidos.

Para elaborar os modelos propostos optou-se pelo Flexsim®, pela sua maior facilidade de uso, interface amigável e animações realistas. Essas características foram consideradas como facilitadoras no processo de entendimento e aprendizagem por parte dos alunos.

O modelo proposto por Chase e Aquilano (1997) foi utilizado como referência para a condução do método de pesquisa. O processo de elaboração dos modelos de simulação era iniciado com um modelo conceitual, de forma a definir o problema a ser simulado. Em seguida, o mesmo era elaborado no Flexsim® e simulado. Após uma discussão sobre os resultados obtidos e esperados, eram feitas adaptações (quando necessárias), na estrutura do modelo e/ou nos parâmetros estabelecidos, buscando alcançar resultados que proporcionassem maior facilidade de entendimento dos conceitos-chave desejados. Após as mudanças, o modelo era novamente simulado e validado junto ao professor da disciplina de PCP.

MODELOS DE SIMULAÇÃO

Modelo 1: Relação entre tamanhos de lote de produção, tempo de *setup* e *lead time*

Lotes grandes de produção resultam em maiores tempos de espera em filas. Por outro lado, para atender determinada demanda, lotes maiores requerem um menor número de *setups*. Assim, lotes grandes reduzem o tempo total utilizado para *setups*, mas aumentam os tempos de fila; lotes pequenos aumentam o tempo total utilizado para *setups*, mas reduzem os tempos de fila.

Os modelos elaborados para analisar esta relação entre tamanho de lote de produção, tempo de *setup* e *lead time* consistem em uma linha de produção alimentada por estoques de quatro tipos de produtos. Em todos os modelos o tempo de processamento em cada estação é de 5 minutos e o tempo de chegada de produtos no estoque inicial é dado por uma função exponencial de média 10. A diferença entre os modelos consiste na variação do tamanho de lote e do tempo de *setup*.

No primeiro modelo, tem-se tamanho de lote de 200 unidades e um tempo de *setup* de 100 minutos. No segundo, o tamanho de lote é de 50 unidades e o tempo de *setup* é de 100 minutos. No terceiro modelo, o tamanho de lote é de 50 unidades e o tempo de *setup* é de 30 minutos. Todos os modelos foram limitados a atender uma demanda de 800 unidades, permitindo a comparação entre eles. Esses parâmetros foram determinados por conveniência e foram validados pelo professor da disciplina de PCP.

Os resultados são apresentados em uma janela que contém o tempo total (variável usada no cálculo do *lead time*), o número total de unidades e o tempo de *lead time*, o qual é calculado de acordo com a finalização de produtos. Além disso, a janela de resultados apresenta as informações de tempo de *setup* e tamanho de lote de cada modelo.

A partir da comparação dos modelos, percebe-se que a redução do tamanho de lote reduz o *lead time*, entretanto, quando acompanhada de uma melhoria no tempo de preparação de máquina (*setup*), seus efeitos são potencializados. Assim, conforme descrito na literatura, a ação combinada de menor tamanho de lote e menor tempo de *setup* resulta no menor *lead time*.

Estes modelos podem ser usados em sala de aula, de forma a mostrar a relação entre tamanho de lote e tempo de *setup* e seus impactos no *lead time* final. O professor pode rodar o primeiro modelo (*setup* 100 minutos e tamanho de lote de 200 unidades), analisando e discutindo com os alunos o comportamento do *lead time*. Em seguida, rodar o segundo modelo (*setup* 100 minutos e tamanho de lote de 50 unidades), verificando, novamente, o comportamento do *lead time*. Por fim, o professor

pode rodar o último modelo (*setup* 30 minutos e tamanho de lote de 50 unidades) e analisar o comportamento do *lead time*. Ao final, os alunos devem ser questionados sobre as diferenças observadas e sobre os resultados obtidos. Como complemento ao aprendizado, os próprios alunos podem manipular as variáveis tamanho de lote e *setup* para verificarem as consequências para o *lead time*.

Modelo 2: Relação entre tamanhos de lote de produção, tempo de *setup* e utilização

A utilização de um recurso refere-se à soma dos tempos em que o mesmo não está disponível para processar um outro produto, incluindo tempo de *setup* e, conseqüentemente, dependendo do tamanho de lote.

O modelo utilizado para analisar a relação entre tamanho de lote de produção, tempo de *setup* e utilização foi o mesmo apresentado no modelo 1: com entrada de produto dada por uma função exponencial de média 10 minutos, estoque inicial de quatro produtos diferentes, tempo de processamento nas estações de trabalho de cinco minutos e tempo de *setup* de 100 minutos. Neste caso, todos os modelos foram limitados para rodar por 21.120 minutos, de forma a se obter resultados comparáveis entre si. Esses parâmetros foram determinados por conveniência e foram validados pelo professor da disciplina de PCP.

O primeiro modelo foi feito para processar lotes de 200 unidades, apresentando o menor tempo gasto com *setup* dos três modelos. O segundo modelo foi feito para processar lotes de 100 unidades e, com essa diminuição, a parcela de *setup* na utilização dos recursos aumentou. E o terceiro modelo, com menor tamanho de lote, de apenas 15 unidades, apresentando maior parcela de utilização gasta com *setup*. Os resultados são apresentados em uma janela adicional, na qual é possível ver gráficos dos *status* dos equipamentos (*setup*, ociosidade, processamento).

Esses modelos podem ser utilizados de forma a explicar a relação entre tamanho de lote, tempo de *setup* e utilização de recursos. O professor pode rodar, inicialmente, o primeiro modelo (tamanho de lote igual a 200 unidades)

e observar o comportamento da utilização dos recursos. Em seguida, pode rodar o segundo modelo (tamanho de lote igual a 100 unidades) e observar, novamente, o comportamento da utilização dos recursos. Por fim, o professor pode rodar o terceiro modelo (tamanho de lote igual a 15 unidades) e analisar a utilização dos recursos. Após cada rodada, deve-se discutir os resultados com os alunos. Como complemento ao aprendizado, os próprios alunos podem manipular as variáveis do modelo (tamanho de lote e tempos de *setup*) para verificarem as consequências em relação à utilização dos recursos.

Modelo 3: Relação entre utilização dos recursos e *lead time*

Para demonstrar a relação entre utilização e *lead time* foi elaborado um modelo com duas linhas de produção. Ambas são alimentadas por uma estação de entrada de produto e têm estações de espera que antecedem e sucedem processadores de forma a esperar pela disponibilidade do recurso seguinte. O diferencial da segunda linha de produção é a presença de processadores de suporte, que auxiliam a linha principal de forma a evitar que esta trabalhe sobrecarregada e a um nível próximo de 100% de utilização. Em ambas linhas os produtos acabados são estocados na última estação. Os resultados são apresentados em uma janela adicional, em que se pode ver os gráficos de utilização de recursos, o *lead time* e a quantidade de unidades produzidas de cada linha.

Ambas as linhas têm entrada de pedidos dados por uma função normal de média 10 minutos e desvio padrão um minuto, todos os processadores têm um tempo de processamento de 15 minutos e a linha processa somente um tipo de produto. O modelo foi limitado para rodar até 10.000 minutos. Esses parâmetros foram determinados por conveniência e foram validados pelo professor da disciplina de PCP.

Na primeira linha de produção, todos os recursos apresentam utilização próxima a 100%, o que resulta em maiores estoques em processo e um maior *lead time* médio de produção. Na segunda linha de produção, os recursos apresentam utilização em torno de 75%, o que resulta em menores estoques em processo, menor *lead time* e, conseqüentemente, uma

maior quantidade de produtos finalizados no mesmo tempo de operação.

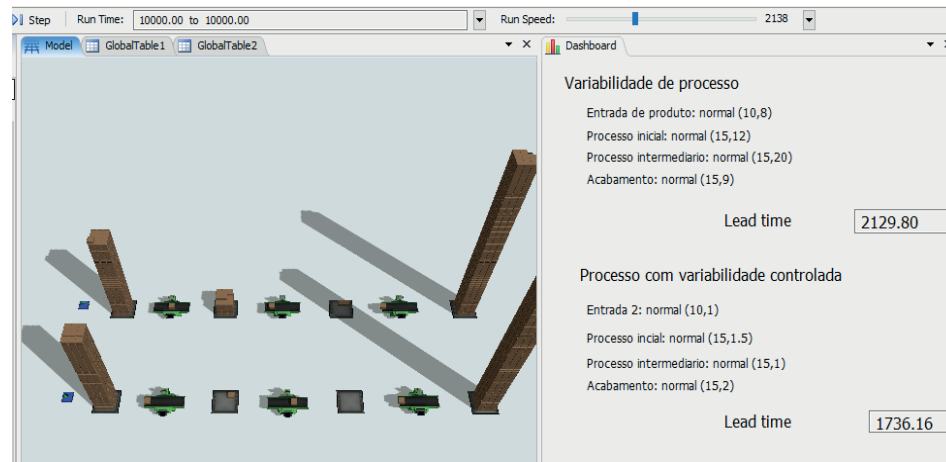
O modelo foi elaborado para ser utilizado pelo professor em sala de aula. O professor pode rodá-lo e, simultaneamente, verificar o comportamento das linhas e os resultados obtidos. Os alunos devem ser questionados sobre as possíveis causas das diferenças observadas entre as duas linhas de produção. Como complemento ao aprendizado, os próprios alunos podem manipular o modelo, por exemplo, aumentando o número de máquinas, para verificarem as consequências para o *lead time*.

Modelo 4: Relação entre variabilidade e o *lead time*

O aumento da variabilidade, tanto na chegada de produto quanto no processamento, causa aumento no *lead time*. Para representar esse conceito, foi elaborado um modelo com duas linhas de produção similares. Ambas têm chegada e tempos de processamento dados por uma função normal de mesma média, apresentando diferença apenas no desvio padrão, de forma a representar a variabilidade.

A primeira linha de produção apresenta maior variabilidade de processo, tendo tempo de chegada dado por uma normal de média 10 minutos e desvio padrão oito, além de tempos de processamento de média 15 e desvios padrões 12, 20 e nove minutos, respectivamente, segundo a ordem das estações de trabalho. A segunda linha de produção, com menor variabilidade de processo, apresenta chegada de produto dada por uma normal de média 10 e desvio padrão um, além de tempos de processamento dados por normais de média 15 e desvios padrões de um, cinco, um e dois minutos, respectivamente. O modelo roda até atingir 10.000 minutos, tempo suficiente para a ocorrência das variabilidades. A Figura 1 a seguir mostra o modelo.

Figura 1: Modelo da relação entre variabilidade e o *lead time*



Fonte: acervo dos autores.

Conforme esperado e de acordo com a literatura, a linha de produção com maior variabilidade apresentou um *lead time* médio consideravelmente superior ao tempo da segunda linha de produção, além de apresentar maior quantidade de estoque em processo.

O modelo pode ser utilizado pelo professor em sala de aula, de forma a mostrar a relação entre variabilidade e *lead time*. O professor pode, por exemplo, rodar o modelo e comparar os *lead times* obtidos, relacionando-os à variabilidade dos desvios padrão de cada linha produtiva. Os resultados devem ser discutidos com os alunos. Como complemento ao aprendizado, os próprios alunos podem manipular os valores dos desvios-padrões dos tempos de processamento e verificarem as consequências para o *lead time*.

Modelo 5: Lei de Little

O modelo elaborado para representar a lei de Little consiste em uma linha de produção com três estações de trabalho. O tempo entre chegadas de produtos é de um minuto e o modelo foi configurado para ter chegada no tempo zero, de forma a garantir que não falem produtos na linha. O tempo de processamento é de 10 minutos e é igual para todos os equipamentos.

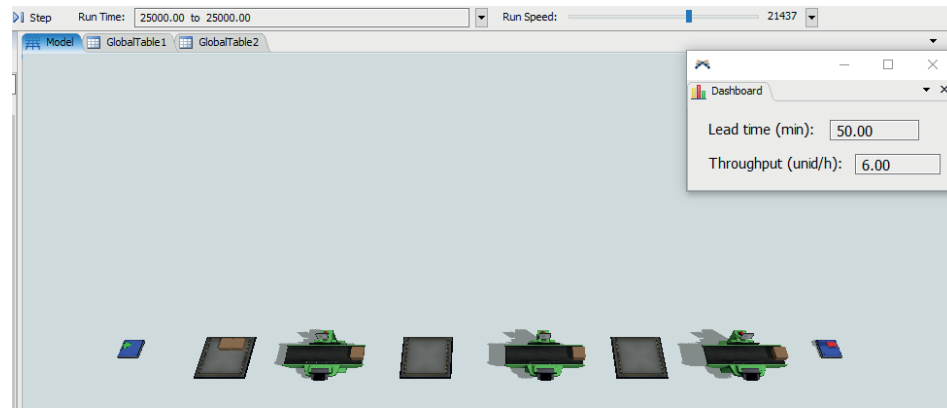
Tanto o tempo de chegada quanto o tempo de processamento não apresentam variabilidade, garantindo o cenário ideal para a demonstração da lei. Além disso, a entrada de produto foi restringida de forma a garantir que o número de produtos em processo seja constante (e igual a cinco). Assim, a entrada de um novo produto somente é liberada quando outro produto é finalizado.

O modelo foi limitado para rodar 25.000 minutos. Esses parâmetros foram determinados por conveniência e foram validados pelo professor da disciplina de PCP.

O tempo decorrido pode ser acompanhado na parte superior do modelo, denominado “*Run Time*”, e os resultados (*lead time* e o *throughput*) são apresentados em uma janela adicional.

Ao rodar o modelo, é possível observar que o *lead time* se aproxima de 50 minutos e a taxa de saída de seis unidades por hora. Esse resultado é mantido em longo prazo, conforme afirma a teoria. Ao utilizar a lei de Little, obtém-se uma quantidade de estoque em processo igual a 5 ($WIP = 6 * 50/60$), valor igual ao número de produtos na linha de produção, verificando a aplicação da lei. A figura 2 a seguir demonstra o modelo.

Figura 2: Modelo da Lei de Little



Fonte: acervo dos autores.

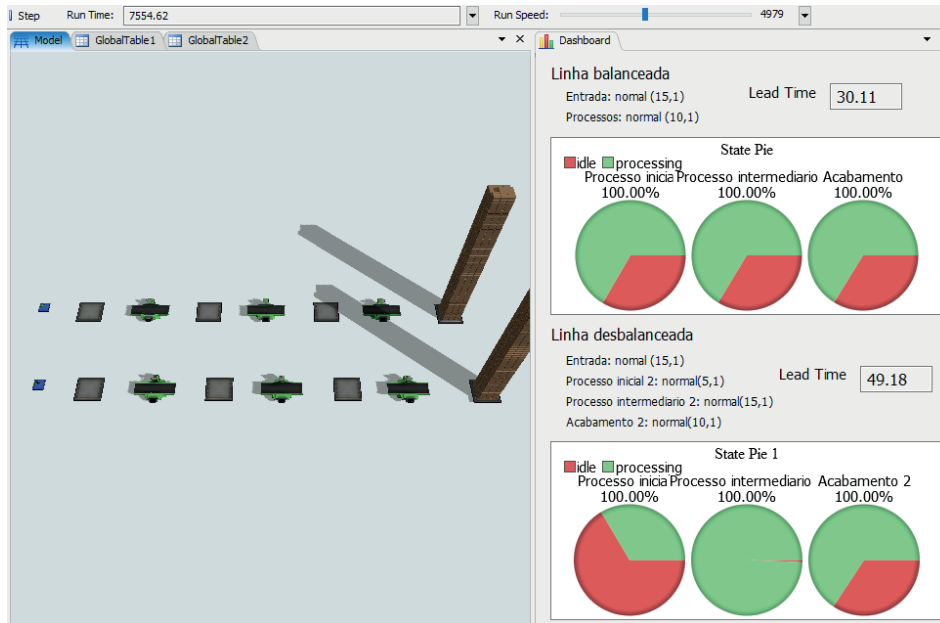
O modelo pode ser utilizado pelo professor para demonstrar a lei de Little. Para isso, ele pode rodar o modelo e aplicar os resultados de *lead time* e *throughput* na fórmula da lei, discutindo o valor obtido. Em seguida, o professor ainda pode alterar a quantidade de produtos permitidos na linha de produção, mudando a quantidade limitada no sistema para outro valor desejado. Os novos valores de *lead time* e *throughput* devem ser aplicados na lei e o resultado deve ser discutido com os alunos. O professor pode repetir esse processo quantas vezes julgar necessário, sempre verificando os resultados com a lei de Little e discutindo-os com os alunos. Como complemento ao aprendizado, os próprios alunos podem manipular as variáveis do modelo para verificarem os resultados.

Modelo 6: Linha de montagem balanceada vs linha de montagem desbalanceada

Uma linha é dita balanceada quando o tempo de ciclo é igual para todas as estações de trabalho. Para representar esse conceito, foi elaborado um modelo com duas linhas de pro-

dução. A primeira linha de produção representa uma linha balanceada, tendo a entrada de produto dada por uma função normal de média 15 minutos e desvio padrão de um minuto. O tempo de processamento das estações de trabalho é dado por uma normal de média 10 minutos e desvio padrão de um minuto. A segunda linha de produção representa uma linha desbalanceada, tendo tempo de entrada dada por uma normal de média 15 minutos e desvio padrão de um minuto. Os tempos de processamento dos recursos dados por função normal de média cinco e desvio padrão um, média 15 e desvio padrão um e média 10 e desvio padrão um, em minutos, respectivamente, seguindo a ordem de produção. Ambas as linhas foram limitadas para processar 500 unidades.

O resultado do balanceamento da linha pode ser observado pela comparação dos tempos de *lead time*, sendo que foi menor no primeiro caso e na composição da utilização dos recursos, sendo mais equilibrado no caso da linha balanceada, conforme a teoria, enquanto na linha desbalanceada essa composição variou de acordo com a estação de trabalho analisada. A figura 3 a seguir mostra o modelo.

Figura 3: Modelo de linha balanceada vs linha desbalanceada

Fonte: acervo dos autores.

O modelo pode ser utilizado para mostrar as principais diferenças entre uma linha balanceada e uma linha desbalanceada de produção. O professor pode, por exemplo, rodar o modelo e observar o comportamento da utilização de recursos e do *lead time* da linha balanceada e da linha desbalanceada. Em seguida, os resultados devem ser comparados e os alunos devem ser questionados sobre as possíveis causas das diferenças encontradas. Como complemento ao aprendizado, os próprios alunos podem manipular as variáveis do modelo para verificarem as consequências nas linhas.

CONCLUSÕES

No presente trabalho, são propostos modelos que representam o funcionamento e efeitos de conceitos-chave de Planejamento e Controle da Produção. Esses conceitos aparecem, majoritariamente, como variáveis dos sistemas modelados. Assim, é possível analisar os resultados por meio da variação de seus valores ou pela variação de variáveis (outros conceitos-chave) que tenham impacto sobre aquelas em foco. Por meio desse processo, foram obtidos vários arquivos de simulação, a serem utilizados em sala de aula como ferramenta de apoio à apresentação da base teórica. Todos os modelos poderão ser disponibilizados para os interessados mediante contato com os autores.

A principal dificuldade encontrada foi a limitação de capacidade dos modelos, uma vez que se fez uso da versão de estudante do *software* Flexsim®, o que limitou a complexidade deste. Com isso, seria interessante a busca por um maior detalhamento e aprofundamento dos modelos em trabalhos futuros.

Este trabalho não tem como finalidade a análise dos efeitos, sejam positivos ou negativos, da utilização dos modelos em sala de aula. Com isso, é sugerido o estudo desses efeitos em trabalhos futuros, de forma a complementar os resultados deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, R. N. M.; PITANGUEIRA, R. L. S. Sistema gráfico interativo para ensino de análise estrutural através do método dos elementos finitos. **Revista de Ensino de Engenharia**, v. 37, n. 1, p. 76-87, 2018.
- BELHOT, R. V. Reflexões e propostas sobre “ensinar engenharia” para o século XXI. 1997. **Tese de livre docência**, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (USP), São Carlos, 1997.
- BEAVERSTOCK, M.; GREENWOOD, A. Simulation Education – Seven Reasons for Change. In: **Proceedings of the Winter Simulation Conference**. Piscataway, New Jersey, 2011.
- BRAGA, L. de A. et al. Desenvolvimento de um jogo educacional sobre Lean Manufacturing em um

software de simulação. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), 37, 2017, Joinville. **Anais...** Joinville: ABEPRO, 2017.

CHASE, R. B.; AQUILANO, N. J. **Production and operations management: A life cycle approach**. Illinois: RICHARD D. IRWIN, INC., 1997.

CHASE, R. B.; AQUILANO, N. J.; JACOBS, F. R. **Administração da produção para a vantagem competitiva**. Porto Alegre: Bookman, 2006.

CORRÊA, H. L.; GIANESI, I. G. N. **Just-In-Time, MRPII e OPT: um enfoque estratégico**, São Paulo: Atlas, 1993.

FERNANDES, F. C. F.; DALALIO, A. G. Balançamento e rebalanceamento de linhas de montagem operadas por grupos de trabalho autogerenciados. **Gestão & Produção**. São Carlos, v. 7, n. 3, p. 378-398, 2000.

GIROTTI, L. J.; MESQUITA, M.A. de. Simulação e estudos de caso no ensino de planejamento e controle da produção: um survey com professores da engenharia de produção. **Production**. São Paulo, v. 26, n. 1, p. 176-189, jan.-mar, 2016.

HOPP, W. J.; SPEARMAN, M. L. **Factory physics**. New York: McGraw-Hill Irwin, 2008.

KURI, N. P. **Abordagens do processo ensino aprendizagem**. Centro de Tecnologia Educacional para Engenharia – CETEPE, São Carlos, 1993.

MIGUEL, P. A. C. et al. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

SALAS, E.; WILDMAN, J. L.; PICCOLO, R. F. Using simulation-based training to enhance management education. **Academy of Management Learning & Education**, 8(4), 559–573, 2009.

SILVA, L. P.; CECÍLIO, S. A mudança no modelo de ensino e de formação na engenharia. **Educação em Revista**. Belo Horizonte, v. 45, p. 61-80, jun., 2017.

SIPPER, D.; BULFIN, R. L. JR. **Production: Planning, Control, and Integration**. New York: McGraw-Hill, 1997.

STEVENSON, M.; HENDRY, L. C.; KINGSMAN B. G. A review of production planning and control: the applicability of key concepts to the make-to-order industry. **International Journal of Production Research**, v. 43, n. 5, 869–898, 2005.

SURI, R. **Quick Response Manufacturing: A Companywide Approach to Reducing Lead times**. Madison: Productivity Press, 1998.

DADOS BIOGRÁFICOS DOS AUTORES



Muris Lage Júnior – Possui graduação em Engenharia de Produção Química pela Universidade Federal de São Carlos (2004), mestrado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de São Carlos (2007) e doutorado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de São Carlos (2012). Atua como docente em cursos de Engenharia de Produção desde 2006. Atualmente é professor da Universidade Federal de São Carlos - *Campus* de São Carlos. Tem experiência de pesquisa e extensão na área de Engenharia de Produção, com ênfase em Planejamento, Projeto e Controle de Sistemas de Produção. Já foi coordenador do curso de graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Goiás (UFG) – *Campus* Catalão. Atualmente é o coordenador do curso de graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de São Carlos - *Campus* de São Carlos.



Maria Laura Amin – Aluna de graduação em Engenharia de Produção na Universidade Federal de São Carlos.