

Otimização do processo produtivo de bolas Titãs usando o Software ARENA

Juliana Cássia de Souza Caliar (Universidade Federal de Itajubá) julianacassiacaliari@gmail.com

Bruno de Castro Faria (Universidade Federal de São João Del Rei) bruno_de_castro@hotmail.com

Claudio Vitor Maquine Salvador (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais) cau-maquine@hotmail.com

Angélica Franciele Pereira (Universidade Federal de São João Del Rei) angelicafranciele@live.com

Wilson Trigueiro de Sousa Junior (Universidade Federal de São João Del Rei) wilson.trigueiro@ufsj.edu.br

Resumo:

Atualmente, o crescimento da globalização, a inovação nos meios produtivos e a alta rotatividade dos produtos no mercado fazem com que as empresas busquem por métodos alternativos, como a modelagem matemática, que possam auxiliar as tomadas de decisões para que estas consigam permanecer no mercado competitivo. Com isso, este trabalho tem o objetivo de otimizar o processo produtivo de bolas Titã através da Simulação de Eventos Discretos usando o software Arena. A elaboração deste modelo usou o software ARENA, a Simulação de Eventos Discretos (SED), modelo conceitual IDEF-SIM, análises estatísticas ANOVA e gráfico Blox Plot. Os resultados apresentaram a redução do Processo Formatar de 99% para 33%, diminuição do tempo médio de fila de 2 minutos para 0, aumento do Processo Montar Bola de 67% para 87%, diminuição do tempo de produção de um pedido de bolas para demanda futura era 21 dias/mês produzindo 3000 bolas/dia, totalizando 30000 bolas/ano, passou a ser com o sistema otimizado 18 dias/mês, 3000/dia, totalizando 35000 bolas/ano.

Palavras-chave: Simulação de Eventos Discretos, Software Arena, fábrica de bolas.

Optimization of the productive process of Titãs balls using ARENA Software

Abstract:

Nowadays, the growth of globalization, innovation in the means of production and the high turnover of products in the market make companies seek alternative methods, such as mathematical modeling, that can help them to make decisions so that they can stay in the competitive market. Thus, this work aims to optimize the production process of Titan balls through the Simulation of Discrete Events using Arena software. The elaboration of this model used the ARENA software, Simulation of Discrete Events, IDEF-SIM conceptual model, statistical analyzes ANOVA and Blox Plot graph. The results presented the reduction of the Process Format from 99% to 33%, decrease of the average queuing time from 2 minutes to 0, increase from Ball Assembly Process from 67% to 87%, decrease in the production time of a ball request For future demand was 21 days/ month producing 3000 balls/day, totaling 30000 balls/year, it started with the optimized system 18 days/month, 3000/day, totaling 35000 balls/year.

Key words: discrete event simulation, Software Arena, ball factory.

1. Introdução

Atualmente, o crescimento da globalização, desenvolvimento das tecnologias e informações, inovação nos meios produtivos e a alta rotatividade dos produtos no mercado fazem com que as empresas busquem por métodos alternativos que possam auxiliar as tomadas de decisões para que estas consigam sobreviver em um mercado competitivo (FELICE; PETRILLO, 2015).

A superação desta competitividade faz com que as empresas busquem a inovação de seus processos produtivos, segundo Brocke e Rosemann (2015), através da modelagem matemática para otimizar os processos produtivos e obter uma melhor performance sob análise quantitativa (DE SENA et al., 2017; WINSTON, 2003).

Os sistemas discretos é um exemplo de modelagem, e são caracterizados pelo tempo dos processos operacionais descontínuo, onde o sistema é alterado apenas quando acontece determinado evento em algum instante de tempo. Para a resolução de problemas deste tipo, utiliza-se o conceito de filas de esperas, onde são feitas modelagens de Simulações de Eventos Discretos (SED) (CHWIF; MEDINA, 2010).

As Simulações de Eventos Discretos é feita no software Arena, pois ele possui análises estatísticas e de resultados, animações e *templates* em 2D, *layout* simples e de fácil acesso, que propiciam a elaboração deste tipo de simulação (KELTON; SADOWSKI; ZUPICK, 2015).

Com isso, este trabalho tem o objetivo de otimizar o processo produtivo de três modelos de bolas Titã através da Simulação de Eventos Discretos usando o Software Arena, com o intuito de identificar as etapas dos processos que podem ser otimizadas e propor soluções possíveis para um melhor desempenho geral na linha de produção.

2. Revisão bibliográfica

De acordo com Law (1988) a simulação computacional é uma técnica utilizada para se analisar sistemas de manufatura para tomada de decisões estratégicas.

A simulação é representação de um sistema através da modelagem computacional, seja ele real ou projetado, feito pela construção de modelos desenvolvidos em softwares, como o Arena, AutoMod, FlexSim, ProModel (VIEIRA, 2006). Ela pode ser classificada em simulação Monte Carlo, Simulação Contínua e Simulação de Eventos Discretos (NANCE, 1993).

A Simulação de Eventos Discretos analisa sistemas com mudanças temporais em determinados processos com a ocorrência de algum evento qualquer, conforme acontece nos sistemas de manufatura, segundo (HO, 1989), e tem como vantagens a implementação e alteração de layouts fabris, conhecer e controlar a produção em tempo real, criar cenários para testes e identificar melhorias sem a necessidade de alterar o sistema real, programação e controle da produção (HARREL, 2000).

A simulação apresenta desvantagens como a perda de informações entre os tipos de modelagem, causadas pela existência de padrões e normas para serem seguidas quando transformamos o modelo conceitual em modelo computacional (ÇETINKAYA; VERBRAECK; SECK, 2015). Além disso, a modelagem computacional consome muito tempo e recurso, pois o sistema necessita ser muito bem elaborado para não causar problemas (BANKS et al., 2005).

Estes problemas surgidos com a simulação podem ser resolvidos com técnicas de elaboração do modelo conceitual, pois elas definem os pontos de coletas de dados através dos recursos gráficos, facilitando para uma boa elaboração de um modelo computacional (BROOKS; ROBINSON, 2010).

A técnica chamada de IDEF é composta por diferentes versões, sendo as versões mais utilizadas em estudos envolvendo Simulação de Eventos Discretos as versões IDEF-0 e IDEF-3, já que ambas constituem elementos essenciais para que o modelador possa transcrever um sistema produtivo para um modelo conceitual embasado na teoria IDEF-SIM (AGUILAR-SAVÉN, 2004).

Por ser um método de modelagem conceitual flexível, que consiste em analisar sistemas de manufatura complexos e ilustrar os processos presentes nos mesmos em diferentes tipos de abordagens (HERNANDEZ-MATIAS et al., 2008), a técnica IDEF-SIM foi a técnica adotada para a modelagem conceitual do presente trabalho.

3. Metodologia

O presente estudo segue a metodologia de pesquisa de Galileu Galilei, que consiste de uma indução experimental e o foco desta é encontrar uma solução geral através de casos específicos (MARTINS; MELLO; TURRIONI, 2014).

De acordo com Martins, Mello e Turrioni (2014) a metodologia de indução experimental, onde na fase inicial o objetivo é a observação dos eventos no sistema, seguida pela análise dos elementos que constroem estes eventos e a tentativa de quantificar os mesmos para maior facilidade do estudo. Por conseguinte, é feita a criação de hipóteses de eventos que podem acontecer no sistema, seguida da verificação das mesmas por meio de algum experimento. Feito isso, o pesquisador deverá generalizar o experimento para casos parecidos, a fim de confirmar as hipóteses criadas anteriormente para, por fim, estabelecer leis gerais que atendem o sistema analisado.

Segundo Sakurada e Miyake (2009), a simulação tem como principal objetivo conhecer o comportamento de um sistema e avaliar várias estratégias para sua operação. Já para Çetinkaya, Verbraeck e Seck (2015), a simulação é extremamente importante para as empresas já que a técnica permite experimentar e aprender com os modelos simulados antes de tomar alguma providência para alterar os sistemas reais.

A metodologia para a aplicação da Simulação para eventos discretos (SED) foi desenvolvida pelas seguintes etapas:

- a) Etapa 1: Definir os objetivos propostos pela pesquisa, considerando o sistema que seria analisado, listar os problemas, avaliar os diferentes cenários possíveis para o mesmo sistema (BANKS et al., 2005);
- b) Etapa 2: Coletar os dados que caracterizam e representam os processos produtivos do sistema paralelamente com a criação do modelo conceitual. As etapas 1 e 2 deveriam ser elaboradas juntas, pois os dados e o modelo conceitual devem representar severamente o sistema real (SAKURADA; MIYAKE, 2009);
- c) Etapa 3: Construção do modelo computacional, atendendo todas as características do sistema real que foram convertidas em informações representadas pelo modelo conceitual (BANKS et al., 2005).

Com o modelo computacional concluído, era feita a validação do modelo através das verificações de confiabilidade e existências de falhas dos resultados nos códigos das

simulações, seja por meio da análise matemática dos dados gerados pelo software ou através de animações visuais (ROSSETI, 2010).

Nesta fase comparavam-se os resultados simulados com os dados reais, de forma a conferir se o modelo realmente está ajustado ao sistema real. E caso os resultados apresentassem inconformidades, eram feitas melhorias na simulação sem necessitar modificar o modelo real (SAKURADA; MIYAKE, 2009).

3.1 Estudo de caso

3.1.1 A Empresa

A Indústria de Bolas Titã foi fundada em 1983, em Minas Gerais e está há 34 anos no mercado, produzindo desde bolas de futsal vulcanizadas a bolas de vôlei adulto e infantil em EVA.

Os fabricantes usam as técnicas de produção bolas vulcanizadas em estufa seca através de forros de fios multi entrelaçados, couro sintético, com auxílio de maquinário, sendo muitos deles manufaturados.

3.1.2 Processo Produtivo de Bolas

Primeiro captavam-se os pedidos e logo após, a ordem de produção era passada ao encarregado, que seriam o responsável por toda a produção de fato. A primeira etapa do processo divide a linha de produção em criação das câmaras e dos gomos.

Na criação das câmaras, o operador enche a câmara de ar da bola até determinado ponto para ser transferida para a próxima etapa. Por conseguinte, eram alocadas de 4 a 6 bolas em uma máquina que tem como função enrolar linhas ao redor da câmara de ar das bolas, de acordo com o peso e especificações de cada tipo. Feito isso, a câmara era transferida ao terceiro operador que marca onde os gomos eram colados com o auxílio de uma máquina. Logo após a câmara era levada ao operador pelos quais ele banhava a mesma no látex, colocava o gancho e levava o produto para secagem. O tempo de secagem desta etapa gastava cerca de 60 a 90 minutos.

O primeiro corte do tapete saíria no formato de gomos. Quando o tapete era cortado nas dimensões adequadas, o mesmo era passado para a silkagem, onde a capota ganhava sua identidade visual. Feito isso, o próximo operador alocaria o tapete silkado em uma máquina que o cortaria em gomos, que iriam ser colados na câmara da bola. Por último, os gomos eram levados à próxima estação, onde estes eram banhados em látex e preparados nas bandejas para secagem. A secagem desta etapa gastava cerca de 5 a 10 minutos.

Quando a câmara e os gomos estavam prontos, ambos eram levados a estação de produção, composta por 8 funcionárias, para fazer a montagem manual da bola, de acordo com seu tipo. Assim que a bola era montada, ela era levada para última etapa do processo produtivo, para ser modelada em seu formato de comercializável. O fluxograma do processo produtivo de bolas completo pode ser consultado na Figura 1.

De acordo com informações coletadas com a gerência da fábrica, eram produzidas aproximadamente 30.000 bolas/ano dos tipos de futsal vulcanizado, vôlei adulto e vôlei infantil em EVA, onde cerca de 40% dos pedidos eram de bolas de futsal, 30% de vôlei adulto e 30% de vôlei infantil.

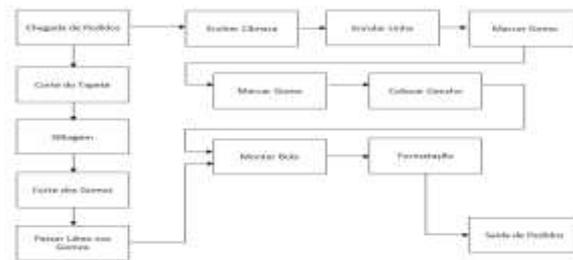


Figura 1 - Fluxograma de Processos Industriais Titã
Fonte: Autor

3.1.3 Modelagem e Simulação de Processo Produtivo das Indústrias Titã

3.1.3.1 Modelo Conceitual

A técnica de modelagem conceitual IDEF-SIM representava sistemas simulados. Logo, para o problema proposto, foi desenvolvido o seguinte modelo para a Indústria de Bolas Titã (Figura 2).

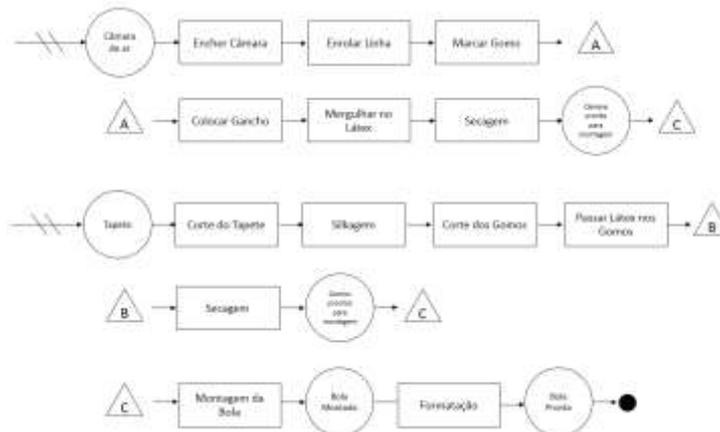


Figura 2 - Modelo conceitual baseado na metodologia IDEF-SIM
Fonte: Autor

O processo produtivo dos três modelos de bolas eram os mesmos, diferenciando apenas em tempo de execução para cada atividade.

A construção do modelo conceitual considerou características fundamentais dos processos de fabricação das bolas futsal, vôlei adulto e infantil, pois o processo produtivo dos três tipos de bolas eram os mesmos, diferenciando apenas em tempo gasto para execução de cada atividade.

As variáveis de controle avaliadas neste projeto foram encher câmara, enrolar a linha, marcar gomo, colocar gancho, mergulhar no látex, secagem, corte do tapete, silkagem, corte dos gomos, passar látex nos gomos, montagem da bola, formatação. Esta avaliação considerou todas as etapas do processo produtivo do caso estudado, e os modelos de bola Futsal colada, Vôlei adulto e Vôlei infantil.

Para todas as variáveis dos três modelos de bola foram coletados de 100 a 120 dados para que o projeto se aproxime o máximo possível da realidade. A coleta de dados foi feita por cronometragem das atividades escolhidas para avaliação. O cronômetro era acionado apenas

durante a execução da atividade pelo colaborador. Este tempo era marcado e anotado pelo observador.

Visto que algumas atividades eram comuns para os diferentes tipos de bola, foi utilizada a análise de variância ANOVA, no software Minitab, para verificar se o conjunto de dados coletados de um processo de determinada bola, como Corte do tapete, encher câmara, enrolar linha, formatação, colocar gancho, marcar gomo, mergulhar no látex, silkagem, representavam as demais que possuísem o mesmo processo produtivo.

A análise ANOVA comparou os dados coletados de bolas Futsal 500 Colada e 40 amostras dos demais modelos, mostrando que os dados cronometrados das etapas de processo em comum entre os três modelos de bola poderiam ser usados para os diferentes modelos de bolas.

A validação do modelo conceitual do sistema em observação foi pelo uso de técnicas como a modelagem conceitual IDEF-SIM e pela análise crítica e visual do modelador durante todo o projeto. Como se pode observar, o modelo gerado pela teoria IDEF-SIM representa o fluxograma de processos, logo é considerado um modelo conceitual que transmite adequadamente as informações do projeto em questão.

A verificação de existência de *outliers*, nos conjuntos de dados coletados, foram geradas pelos gráficos bloxplot no software Minitab. Os resultados não demonstraram uma quantidade significativa de *outliers*, exceto o processo **Silkagem**. E esta etapa do processo não foi excluída, pois a sua execução é feita numa média de 8 segundos por entidade, o que pode ser considerada falha humana.

Os processos que aproveitaram dados para etapas semelhantes foram analisados através da presença de *outliers* dos processos que diferenciam para cada tipo de bola. Vide tabela abaixo. Os resultados demonstraram que estes processos diferentes não apresentam uma alta discrepância da massa de dados analisadas.

Para análise do modelo de ajuste, foram alocados todos os dados coletados em planilhas no software Microsoft Excel, e, por conseguinte, salvos em Bloco de notas para que fosse possível analisar os dados na ferramenta Input Analyser do software Arena. Logo, análises foram realizadas no programa para verificar qual distribuição de probabilidade melhor representaria os conjuntos de dados.

Utilizando a opção “FIT ALL” para análise dos dados de todas as etapas, pode-se concluir que as melhores distribuições que representam adequadamente cada processo estão representadas na Tabela 1.

Futsal 500 Colada	
Processo	Distribuição de Probabilidade
Encher Câmara	2,5 + LOGN (6,9 ; 3,84)
Enrolar Linha	TRIANG (126 ; 397 ; 993)
Marcar Gomo	25,5 + WEIB (17 ; 1,35)
Gancho	9,5 + WEIB (9,4 ; 1,84)
Mergulhar no Látex	NORM (49,8 ; 10,4)
Corte do Tapete	16 + 153 * BETA (1,19 ; 4,21)
Silkagem	2,5 + GAMM (1,63 ; 4,11)
Corte dos Gomos	NORM (110 ; 21,3)
Passar Látex no Gomo	NORM (29,6 ; 4,57)
Montar Bola	340 + ERLA (411 ; 2)
Formatar	63 + WEIB (141 ; 1,29)

Tabela 1 - Distribuições de Probabilidade

Novamente, para os demais tipos de bolas, foram analisados apenas os dados dos processos que diferem entre si conforme Tabela 2.

Processo	Vôlei Adulto Vulcanizada	Vôlei Infantil Vulcanizada
	Distribuição de Probabilidade	Distribuição de Probabilidade
Corte dos Gomos	59 + BETA (1,76 ; 3,44)	NORM (128 ; 35)
Passar Látex no Gomo	NORM (28,9 ; 3,63)	TRIA(22,5 ; 26,9 ; 39,5)
Montar Bola	376 + WEIB (694 ; 1,76)	294 + WEIB (776 ; 2,09)

Tabela 2 - Distribuições de Probabilidade para Processos Semelhantes

Para a validação das distribuições dos dados foram gerados 2000 dados aleatórios no Minitab com a mesma probabilidade a fim de comparar a distribuição populacional com a amostral. Os dados foram plotados no Excel, e em seguida em Texto-MSDOS e analisados novamente pela ferramenta Input Analyser.

Pode-se então perceber que os dados populacionais geraram resultados próximos aos dados amostrais, tanto quanto a distribuição a utilizar, quanto ao *P-Valor*, que foi o menor apresentado. Assim sendo, utilizaremos as distribuições apresentadas nas tabelas anteriores.

3.1.3.2 Modelo Computacional

O modelo computacional foi elaborado no software Arena, com o auxílio de distribuições estatísticas dos dados coletados, modelo conceitual IDEF-SIM, para os modelos de bola Futsal, bola Vôlei adulto e bola Vôlei infantil.

Na Figura 2, nota-se o início do modelo computacional, onde o primeiro bloco representa as chegadas sucessivas de pedidos no sistema. Conforme citado no item 3.1.2 Processo Produtivo de Bolas, as chegadas ao sistema devem ser representadas através de pedidos que chegam de tempos em tempos na empresa.

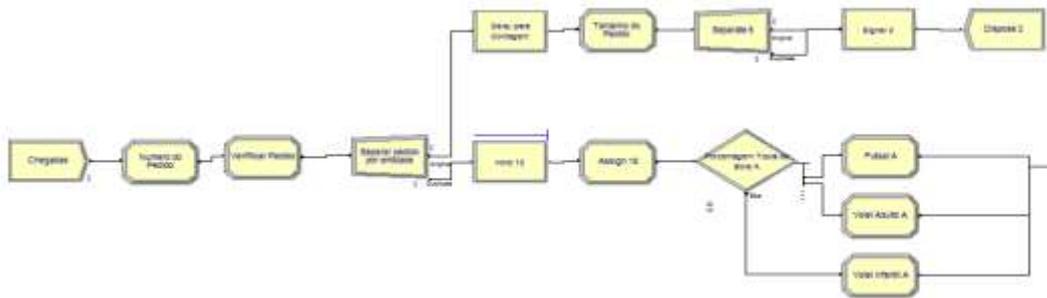


Figura 2 – Modelo Computacional (Parte 1 – Chegadas e Análise de Pedidos).
Fonte: Arena.

Logo, o bloco de chegada tem a função de liberar apenas um modelo de entidade, segundo a programação pré-estabelecida, para passar pelo bloco **Separate**. As funções do **Separate** eram agrupar todas as bolas de todas as entidades pertencentes a um determinado pedido e direcionar as entidades para o processo produtivo de fato.

Após a lógica da liberação e contagem de pedidos, foi posto um bloco **Decide** para o sistema identificar qual tipo de bola produzir de acordo com as condições programadas. Neste caso, foram consideradas as informações citadas no item 3.1.2 Processo Produtivo de Bolas para definir qual tipo de bola produzir de acordo com as probabilidades.

Em seguida, a entidade seria direcionada para a linha de produção de fato. Conforme visto no modelo conceitual, a produção de uma unidade de bola necessita da confecção de uma câmara de ar e dos gomos. O bloco **Clone** informava a linha de produção da câmara e dos gomos que elas deveriam fabricar o tipo X de bola, assim que a entidade passar por ele, fazendo com que o sistema nunca produzisse uma câmara do tipo Futsal para os gomos de uma Vôlei adulto, por exemplo.



Figura 3 - Modelo Computacional (Parte 2 – Confecção das Câmaras)
Fonte: Arena

Cada bloco **Process** estava configurado para representar as atividades realizadas efetivamente na linha de produção da fábrica de bolas pelas distribuições de probabilidade encontradas anteriormente. Os blocos **Assign** têm a finalidade de utilizar programações para exportar dados para o software Excel, além de agregar às entidades características fundamentais para que estas representem a realidade da melhor maneira possível.

As atividades que compõem a confecção dos gomos estavam representadas pelos blocos **Process**, localizados entre um bloco **Enter** e **Leave**, dois blocos que tem função de auxiliar na criação de rotas nas animações (Figura 4).

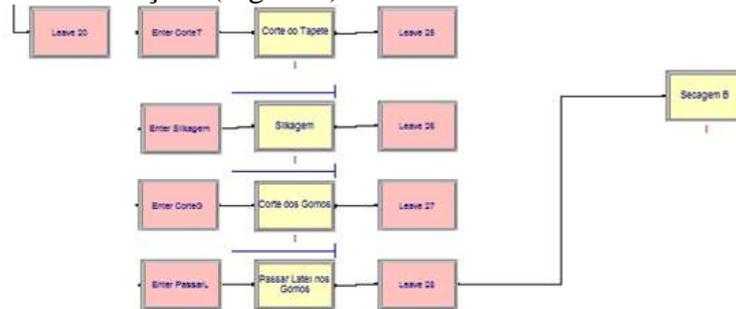


Figura 4 - Modelo Computacional (Parte 3 – Confecção dos Gomos)

Fonte: Arena

Os blocos do tipo **Hold** (Figura 5) têm a função de segurar uma entidade de cada fase da linha de produção (câmara e gomo), e liberar quando ambas estiverem prontas para a montagem, pois a montagem de uma bola resulta da junção da câmara de ar e na capota.



Figura 5 - Modelo Computacional (Parte 4 – Blocos Hold)

Fonte: Arena

Logo, a câmara e o gomo eram encaminhados à montagem, onde oito operadoras tinham a função de montar a bola de acordo com seu modelo. A presença do bloco **PickStation** (Figura 6) faz com que as bolas sejam encaminhadas para a operadora que estiver com menos entidades a sua espera. Cada tipo de bola tem seu tempo de montagem específico definido nos blocos **Assign** citados anteriormente.

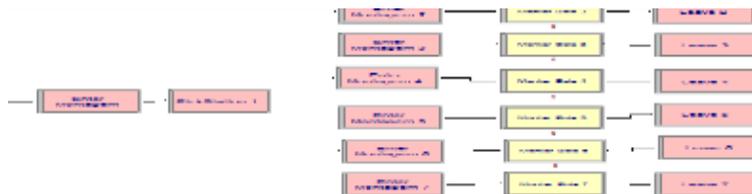


Figura 6 - Modelo Computacional (Parte 5 – Montagem)

Fonte: Arena

Depois, as bolas passam pela formatação e pelo bloco **Batch** para finalmente serem direcionadas ao seu lote de origem de acordo com o número do pedido.

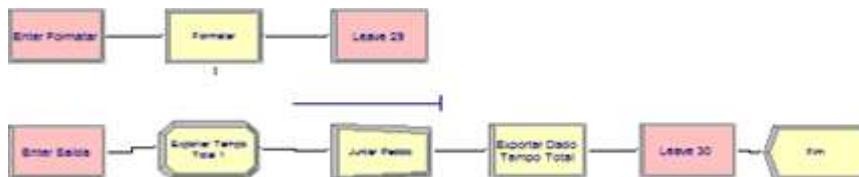


Figura 7 - Modelo Computacional (Parte 6 – Formatação e Entrega do Pedido)

Fonte: Arena

O bloco **ReadWrite** auxilia o modelador exportando os dados do tempo total de permanência do pedido no sistema para as análises futuras (Figura 7).

3.1.3.3 Verificação e Validação do Modelo Computacional

Para verificação do modelo computacional, foi construído um modelo de animação que tem como objetivo representar visualmente o que foi programado nos blocos de processo no programa Arena (Figura 8).

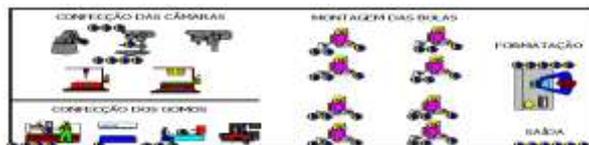


Figura 8 - Animação gráfica do estudo de caso

Visto que a animação representa o fluxograma dos processos produtivos das Indústrias Titã, além de ser condizente com a modelagem conceitual IDEF-SIM, pode-se considerar que o modelo está devidamente verificado, uma vez que a animação traduz corretamente o que acontece na realidade da fábrica de bolas (SEEVERS, 1988).

Em seguida, os intervalos de confiança foram calculados para verificar se os dados exportados pelo modelo computacional estavam condizentes com os dados reais. Sabendo que a chegada de pedidos na empresa acontece mensalmente, consideraremos um mês equivalente a 20 dias trabalhados e um ano a 240 dias e precisões adotadas foram de 95% e 99%. Os resultados demonstraram que o modelo é equivalente ao sistema real para a medida de desempenho em questão.

Em relação à Otimização de Cenários, foi identificado que a taxa de utilização do processo Formatação estava muito alta em relação a outros processos e a taxa dos processos Montar Bola estavam relativamente baixas.

Para solucionar estes problemas, uma nova simulação foi realizada, e o resultado da simulação foi um cenário otimizado, onde dois operadores que antes realizavam montagem das bolas, agora fazem parte do processo de formatação.

Após o término da simulação, os resultados mostraram que a taxa de utilização do processo em análise teve uma redução considerável em relação ao estado real simulado anteriormente, além de os processos de montagem de bolas terem melhorado o rendimento, tornando este então, um cenário que apresenta melhor desempenho do sistema do que o sistema real.

4. Resultados e discussões

Atualmente a empresa produz cerca de 30000 bolas por ano, portanto foi realizada a simulação de verificação e validação para confirmar se o sistema estava representando a realidade de acordo com o esperado. Como resultado, obtivemos uma média de 17 dias úteis mensais para a produção de 2500 bolas, o que resultaria no total anual de 30000, portanto foi confirmada a proximidade do sistema real com o simulado.

A quantidade de bolas previstas para serem produzidas no ano de 2018 é de aproximadamente 35000 unidades. Para suprir esta demanda, a produção deve ser aproximadamente 2800 a 3000 bolas neste período para que ela cumpra com o esperado para o ano. Diante disto, fez uma segunda simulação.

Feito a segunda simulação para esta previsão de produção, foi observado que o sistema leva uma média de 21 dias para realizar a confecção de um pedido de aproximadamente 3000 bolas. Fora isso, o processo Formatar apresentou 99% de uso e filas extremamente desnecessárias, onde as entidades apresentam um tempo de espera médio de 2 dias. Analisando esses dados, pode-se concluir que o sistema não seria capaz de produzir o previsto para o ano de 2018.

Portanto, após conhecer estes dados, foi apresentado um novo cenário, onde dois colaboradores do setor Montar Bola passariam a operar no setor de “Formatação”, uma vez que o primeiro apresentou uma média de uso de 67% e suas filas foram baixas, resultados estes que foram diferentes para o segundo processo em questão.

Após o término da terceira simulação, com cenário otimizado, obtivemos resultados satisfatórios. Observando relatório gerados pelo *Arena*, pode-se notar que a média de uso dos processos “Formatação” foi de 33%, valores bem menores do que os apresentados na simulação para o ano de 2018 e o tempo de fila quase nulo. Já para o processo “Montar Bola”, os resultados mostram que houve um maior aproveitamento dessa etapa, uma vez que o aproveitamento deste recurso aumentou cerca de 20%. Além disso, os dados exportados para as planilhas do software Excel mostram que a média para a confecção do pedido total de bolas é de 18 dias, cerca de 3 dias a menos do que o simulado para o cenário atual no ano de 2018.

Contudo, podemos perceber que as simulações apresentaram resultados que condizem com os resultados esperados após a análise dos relatórios, visto que o sistema simulado representa de maneira satisfatória as características do sistema real.

5. Conclusão

O trabalho apresentado teve como objetivo otimizar o processo de fabricação de bolas nas Indústrias de Bolas Titã através de simulações de eventos discretos realizadas com o auxílio do software *Arena*.

Os resultados apresentaram a redução do Processo Formatar de 99% para 33%, diminuição do tempo médio de fila de 2 minutos para zero, aumento do Processo Montar Bola de 67% para 87%, diminuição do tempo de produção de um pedido de bolas para demanda futura era 21 dias/mês produzindo 3000 bolas/dia, totalizando 30000 bolas/ano, passou a ser com o sistema otimizado 18 dias/mês, 3000/dia, totalizando 35000 bolas/ano.

Para trabalhos futuros, sugere-se utilizar simulação diferenciada para produção de cada modelo de bola separadamente.

Referências

- AGUILAR, S.; GUIMARÃES, I.; SCHUCHTER, D.; MENDES, L.** *Avaliação dos Benefícios da Aplicação da Simulação, Através do Software Arena 10.0, em Uma Empresa de Transporte Ferroviário.* In: XXIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Salvador. **Anais...** Abepro: 2009.
- AGUILAR-SAVÉN, R.S.** *Business process modeling: review and framework.* International Journal of Production Economics, Vol. 90, p. 129–149, 2004.
- BANKS, J.; CARSON II, J. S.; NELSON, B. L.; NICOL, D. M.** *Discrete-event simulation.* 4th. Ed. New Jersey: Prentice-Hall, 2005.
- BROCKE, J. V.; ROSEMAN, M.** *Handbook on Business Process Management 1 & 2.* International Handbooks on Information Systems. 2 ed. Berlin: Springer, 2015.
- BROOKS, R.; ROBINSON, S.** *Simulation and inventory control.* Operational research series. Basingstoke: Palgrave MacMillan, 2001.
- ÇETINKAYA, D.; VERBRAECK, A.; SECK, M. D.** *Model continuity in discrete event simulation: A framework for model-driven development of simulation models.* ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation, Vol. 25, n. 3, p. 1-24, 2015.
- CHWIF, L.; MEDINA, A.C.** *Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações.* 4 ed. São Paulo: Elsevier Brasil, 2014.
- DE SENA, D. C.; COSTA, A. P. R. ; MONTEVECHI, J. A. B. ; PINHO, A. F. ; MIRANDA, R. C. *Dynamic allocation of additional human resources using hybrid simulation.* International Journal of Simulation Modelling , Vol. 1, p. 84-95, 2017.
- FELICE, F.; PETRILLO, A.** *Optimization of manufacturing system through World Class Manufacturing.* International Federation of Automatic Control – IFAC, Vol. 48, n. 3, p. 741-746, 2015.
- HARRELL, C. R.; DONALD, H.** *Simulation software component architecture for simulation-based enterprise applications.* In: Proceeding of 30 TH CONFERENCE ON WINTER SIMULATION. Washington: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), p. 1717-21, 1998 .
- HERNANDEZ-MATIAS, J.C.; VIZAN, A.; PEREZ-GARCIA, J.; RIOS, J.** *An integrated modeling ramework to support manufacturing system diagnosis for continuous improvement.* Robotics and Computer-integrated manufacturing, 2008.
- HO, Y-C.** *Scanning the Issue - Dynamics of Discrete Event Systems.* In: Proceedings of the IEEE, Vol. 77, n. 1, p. 3 - 7, 1989.
- KELTON, W. D.; SADOWSKI, R. P.; ZUPICK, N. B.** *Simulation with Arena.* 6 ed. McGraw-Hill, 2015.
- LAW, A. M.; MCCOMAS, M. G.** *How simulation pays off.* Manufacturing Engineering, p. 37-39, 1988.
- MARTINS, R. A.; MELLO, C. H. P.; TURRIONI, J. B.** *Guia para elaboração de monografia e TCC em Engenharia de Produção.* São Paulo: Atlas, 2014.
- NANCE, R. E.** *A History of Discrete Event Simulation Programming Languages.* In: Proceedings of the Second ACM SIGPLAN History of Programming Languages Conferences, Cambridge, Vol. 28, n.3, p. 149-175, 1993.
- SAKURADA, NELSON; MIYAKE, DARIO I.** *Aplicação de simuladores de eventos discretos no processo de modelagem de sistemas de operações de serviços,* 2009.
- SEEVERS, C.** *Simulation before automation.* In: Proceedings of 4TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON SIMULATION IN MANUFACTURING. p. 217-244, 1988.
- VIEIRA, GUILHERME ERNANI.** *Uma revisão sobre a aplicação de simulação computacional em processos industriais.* In: XIII SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO SIMPEP, 2006, Bauru. **Anais ...** 2006.
- WINSTON, WAYNE L.** *Operations Research: Applications and Algorithms.* 4a. ed. Duxbury Press: Hardcover, 2003.