

VIRTUALIZAÇÃO DE LINHA PRODUTIVA AUTOMOBILÍSTICA

Pedro Piccolo Anauate ¹; Daniel de Oliveira Mota ²

¹ Aluno de Iniciação Científica da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT);

² Professor da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT).

Resumo. *O presente trabalho refere-se ao estudo do aumento da capacidade produtiva de uma linha de montagem de alto giro do setor automotivo através inserção de novos postos de trabalho. Está no escopo da pesquisa a criação de modelos computacionais para, além de mapear todo processo produtivo, identificar oportunidades de melhorias para atender ou superar sua expectativa de demanda. Para esta análise, foram realizadas simulações dos processos e análise da capacidade da linha por meio de software de simulação, buscando uma melhor utilização dos recursos na linha de montagem. O software utilizado foi o Tecnomatix Plant Simulation (Siemens), capaz de simular cada etapa de produção, auxiliando na indicação e avaliação da melhor alocação de recurso e tarefas, nos cenários a serem estudados. O mapeamento da linha de montagem foi desenvolvido através de visitas à linha e informações fornecidas pelas montadoras.*

Introdução

Este projeto de pesquisa de Iniciação Científica (IC) representa o segundo projeto proposto pelo LLInd (Laboratório de Logística Industrial) no que se refere à otimização da logística industrial em empresas de manufatura. O problema em estudo foi o aumento da produtividade de montadoras do ramo automobilístico através da modelagem matemática do seu sistema produtivo baseando-se na análise dos seus dados, e construção de modelos estatísticos.

A importância do estudo deste problema reside no fato da constante busca das empresas pelo aumento de sua eficiência, e redução de seus custos. O aumento da tecnologia empregada no cotidiano industrial torna seus sistemas cada vez mais complexos e de difícil melhoria.

As empresas, por sua vez, devido à atual situação econômica do país, estão com tempo disponível para realizar estudos que estavam em espera, uma vez que todos os seus esforços estavam alocados para tarefas operacionais, deixando-as sem tempo para investigar dentro de sua fábrica potenciais ganhos ocultos na rotina de suas linhas produtivas.

Esta disponibilidade de tempo cria a oportunidade de se alocar professores e alunos, detentores do conhecimento técnico teórico, em investigar a maneira como a teoria ocorre “na prática” através desta proposta de projeto de pesquisa.

O projeto de pesquisa proposto apresenta como escopo o processo produtivo da linha EHB da Volkswagen, localizada na Rodovia Anchieta em São Bernardo do Campo, onde são produzidos os veículos Saveiro e Gol, na qual inicialmente foi empregado um esforço para se realizar um mapeamento do processo produtivo e fluxo logístico através de visitas técnicas e análise de dados fornecidos pela empresa. Neste levantamento foram identificados eventuais pontos de melhoria que podem ser explorados academicamente pela equipe de pesquisadores do departamento de Engenharia de Produção do Instituto Mauá de Tecnologia.

Na modelagem computacional da linha estudada, foram representadas todas as etapas e processos dentro do fluxo produtivo, com um nível de detalhamento compatível com o objetivo deste projeto. Assim, dependendo da disponibilidade de dados e expertise da equipe envolvida, cada etapa foi representada com maior, ou menor grau de detalhamento.

A linha de pesquisa consiste em estudar os fatores operacionais e estatísticos para a proposição de diferentes cenários que busquem o aumento da capacidade produtiva diária através da introdução de novos postos de trabalho em lugares estratégicos da linha, considerando tanto a viabilidade técnica, quanto física.

Portanto, a expectativa deste projeto de pesquisa foi construir um modelo completo, no qual o comportamento total da linha é reproduzido computacionalmente, conferindo ao estudo a fidedignidade necessária para a obtenção dos resultados.

Este trabalho teve como exemplo o documento “Estudo de capacidade de linha de montagem do setor automobilístico: Produção de baixo volume” de Martins et al. (2015), no qual também foi realizada a simulação computacional da linha de montagem, porém do veículo Jetta, localizada em outra fábrica dentro da Volkswagen Anchieta. A grande diferença entre os dois trabalhos é o tamanho da linha e o volume de produção diário, uma vez que a do Jetta possui poucos postos de trabalho e o número de veículos produzidos por dia é muito menor que o da linha deste estudo. No entanto, apesar destas diferenças, o trabalho realizado em 2015 ajudou a definir a metodologia e as etapas realizadas no estudo da linha EHB em 2016.

Material e Métodos

Segundo Chwif e Medina (2014), a abstração consiste em identificar o que é realmente importante no sistema e trazer para o modelo. Sendo assim, o primeiro passo dado na realização do projeto foi coletar informações necessárias sobre o sistema estudado através de uma visita inicial, na qual pôde-se conhecer, de maneira generalizada, o funcionamento da linha, o comportamento dos veículos autônomos transportadores e as etapas do processo de produção dos veículos.

De acordo com Law (1991), a etapa de criação do modelo conceitual é o aspecto mais importante de um estudo de simulação. Portanto, com as informações obtidas iniciou-se o desenvolvimento do modelo conceitual da linha, o que consiste em uma representação simplificada do sistema contendo apenas os aspectos considerados importantes para o entendimento do processo como um todo. Nesta etapa é importante se ter um conhecimento elevado do funcionamento do sistema real, considerando todas as suas particularidades e características, pois é o último passo antes da implementação computacional do modelo em um software de simulação.

Segundo a Siemens (2015), o *Tecnomatix Plant Simulation* é uma ferramenta de simulação de eventos discretos que permite a elaboração de modelos digitais relacionados à sistemas logísticos e manufatureiros, permitindo a análise de cenários e testes de possíveis configurações do sistema antes mesmo de se iniciar a produção, elegendo, dentre várias alternativas, o melhor a ser implementado. A ferramenta utilizada na elaboração do modelo em questão foi o *Tecnomatix Plant Simulation 11*, a qual, segundo Santos (2011), é capaz de fornecer as informações necessárias para tomadas de decisão de maneira ágil e confiável.

Em relação ao projeto de Iniciação Científica em si, deve-se considerar que o foco é a construção do modelo computacional. Assim, sendo o *Plant Simulation* um *software* extremamente complexo devido à vasta quantidade de recursos existentes e de possibilidades de modelagem de diferentes sistemas, foi necessário um período de aprendizado, no qual se estudou o manual de utilização do programa, assim como tutoriais e atividades presentes no próprio *software*, para que, após a familiarização e domínio da utilização do programa, o modelo computacional pudesse, de fato, começar a ser construído.

As primeiras versões do modelo foram realizadas de maneira exploratória, uma vez que não representavam exatamente a linha produtiva, mas consistiam apenas em um circuito fechado simples, cujo foco era compreender o modo no qual o comportamento dos postos de trabalho seria representado no modelo de simulação. Além disso, começou-se a explorar também a implementação do comportamento real dos veículos transportadores autônomos, conhecidos como EOMs (*Electric Overhead Monorail*) no programa computacional. Uma ilustração destes modelos iniciais encontra-se na Figura 1.

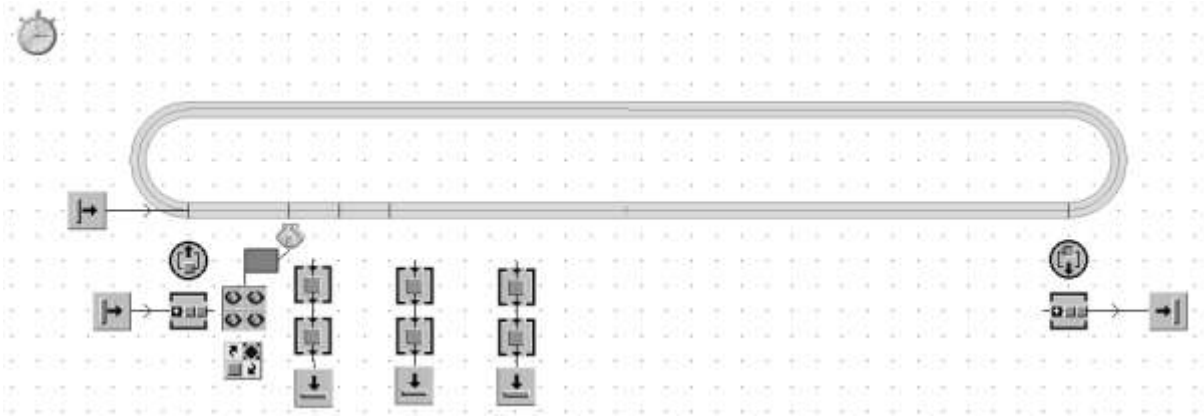


Figura 1 - Versão inicial do modelo

Ao longo do ano, visitas à fábrica e reuniões com os responsáveis do setor de engenharia da fábrica possibilitaram a aprofundamento do conhecimento técnico do funcionamento da linha. Este crescimento era gradativamente implementado no modelo, gerando versões cada vez mais completas, com lógicas de programação, turnos de trabalho, disponibilidade dos equipamentos, velocidade e quantidade dos transportadores, velocidades das esteiras, tempos de processo, número de postos de trabalho e variáveis de controle. Até que, com todas estas informações incluídas, chegou-se a um modelo final, representado na Figura 2, o qual foi validado, garantindo que seu comportamento refletia de maneira fidedigna o do sistema real. Com este modelo pronto, o estudo de diferentes propostas e análises de cenários foi possibilitado, sendo que estes estudos serão apresentados na seção seguinte deste documento.

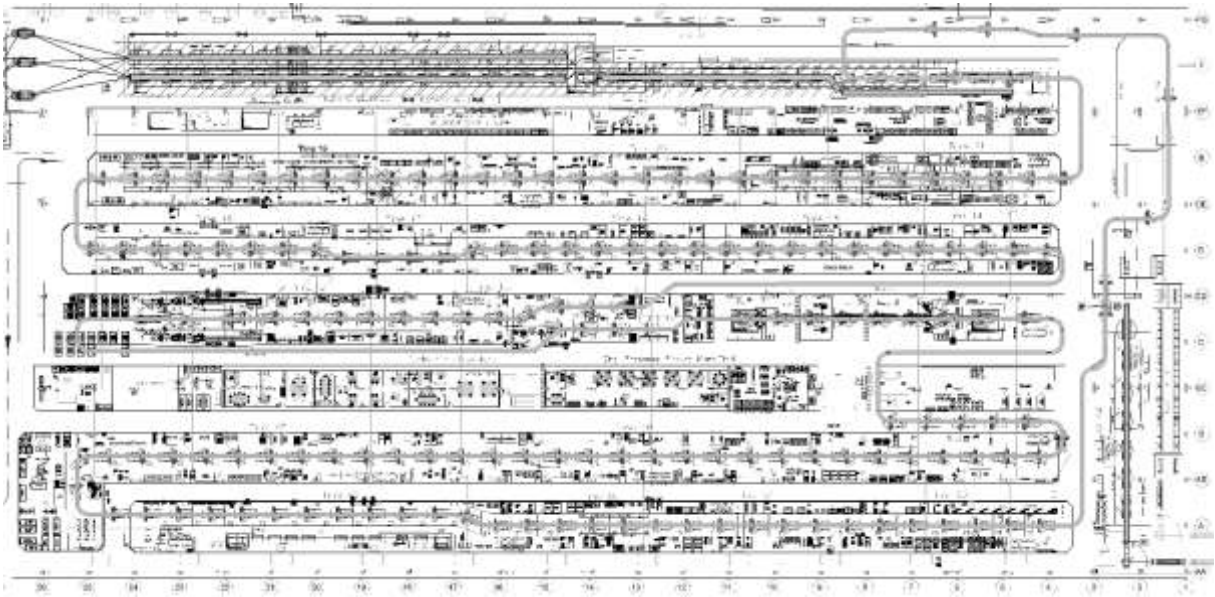


Figura 2 – *Overview* do Modelo Completo

Resultados e Discussão

Sendo o principal objetivo do estudo o aumento da capacidade produtiva da linha de 1100 carros por dia para 1300 em uma primeira fase e 1450 em uma segunda fase de implantação, a primeira análise a ser feita é de quais fatores são limitantes desse aumento na constituição atual da linha. Para isso, considerou-se duas opções iniciais: (1) o número de EOMs em operação e (2) a capacidade de absorver a produção nas esteiras finais do processo.

Assim, o primeiro estudo feito teve como objetivo verificar se o aumento da produção na linha era limitado pelos transportadores autônomos. Para isso foi introduzida uma variável global denominada “Fator Velocidade”, que foi um artifício computacional cuja função era simular um aumento da produção diária no modelo para que as análises pudessem ser feitas. A essa variável eram atribuídos valores decimais entre 0 e 1 e que dividiriam o valor da velocidade real da linha, gerando uma velocidade maior V' , conforme demonstrado na Equação 1.

$$V' = \frac{V_{REAL}}{\text{Fator Velocidade}} \quad (1)$$

Em seguida, foi rodado um cenário variando tanto os valores do “Fator Velocidade” quanto o número de EOMs na linha, observando como *output* o número de veículos produzidos por mês e obteve-se os resultados ilustrados no Gráfico 1.

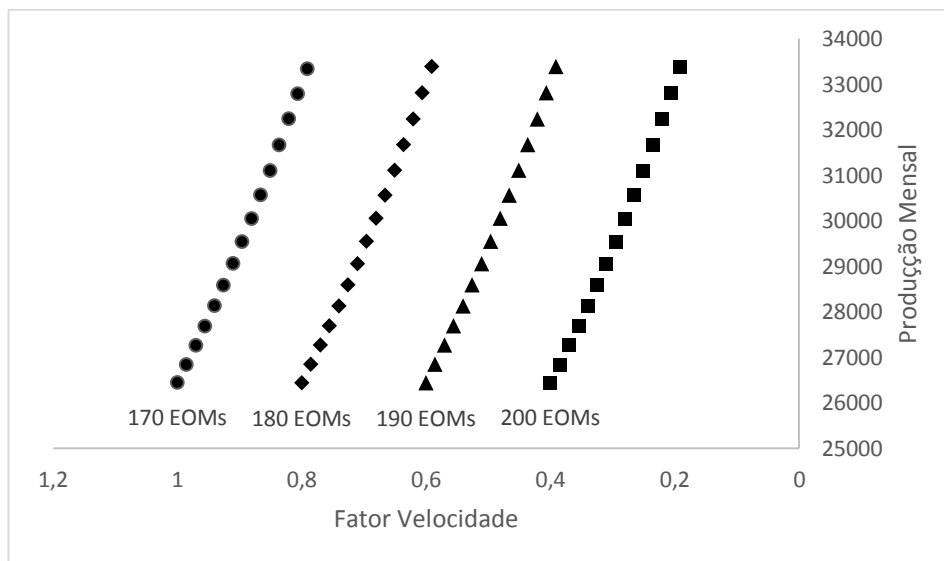


Gráfico 1 – Volume de produção mensal em função do Fator Velocidade e do número de EOMs

A partir de tais resultados concluiu-se que o número de EOMs não representava um fator limitante para o aumento da produção diária de veículos.

A seguir, foi realizado o segundo estudo para verificar a limitação das esteiras finais em absorver o aumento produtivo. Para isso, rodou-se um cenário variando o “Fator Velocidade” nos mesmos valores do estudo anterior, mantendo um valor constante de 180 EOMs. Os resultados deste estudo estão representados no Gráfico 2

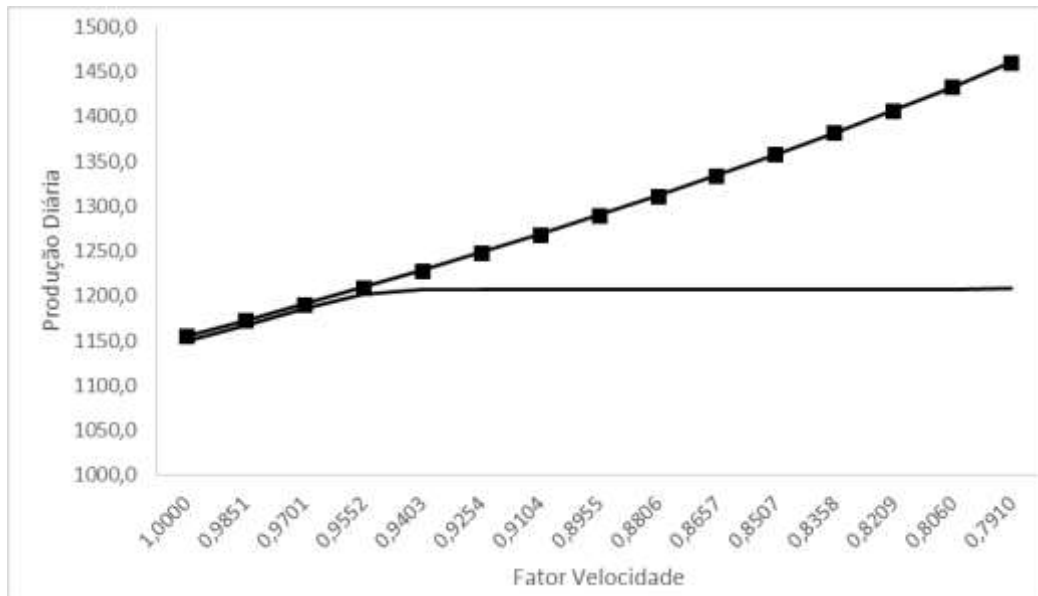


Gráfico 2 – Sem aplicação do “Fator Velocidade” na esteira final

Neste gráfico estão representadas duas séries, sendo que a de linha com marcadores quadrados representa um aumento teórico na produção diária, ou seja, os valores que deveriam ser atingidos de acordo com a diminuição proporcional do “Fator Velocidade”. Porém, o comportamento real, representado pela linha contínua do gráfico, mostra que a partir do valor 0,9254 do “Fator Velocidade” a produção diária atinge um limite e permanece constante para todos os outros valores, o que mostra que as esteiras finais são recursos limitantes do aumento da capacidade produtiva da linha.

Este comportamento, a rigor, era esperado, uma vez que ao longo do experimento a velocidade da linha produtiva foi aumentando, enquanto que a das esteiras permaneceu a mesma. Portanto, para resolver esta limitação concluiu-se que deve ser aplicado o mesmo “Fator Velocidade” da linha nas esteiras finais, para que estas possam acompanhar o aumento da produção resultante de maiores velocidades empregadas. O Gráfico 3 comprova que esta proposta resolve, de fato, o problema das esteiras serem fatores limitantes, visto que a linha contínua e a com marcadores sobrepõem-se.

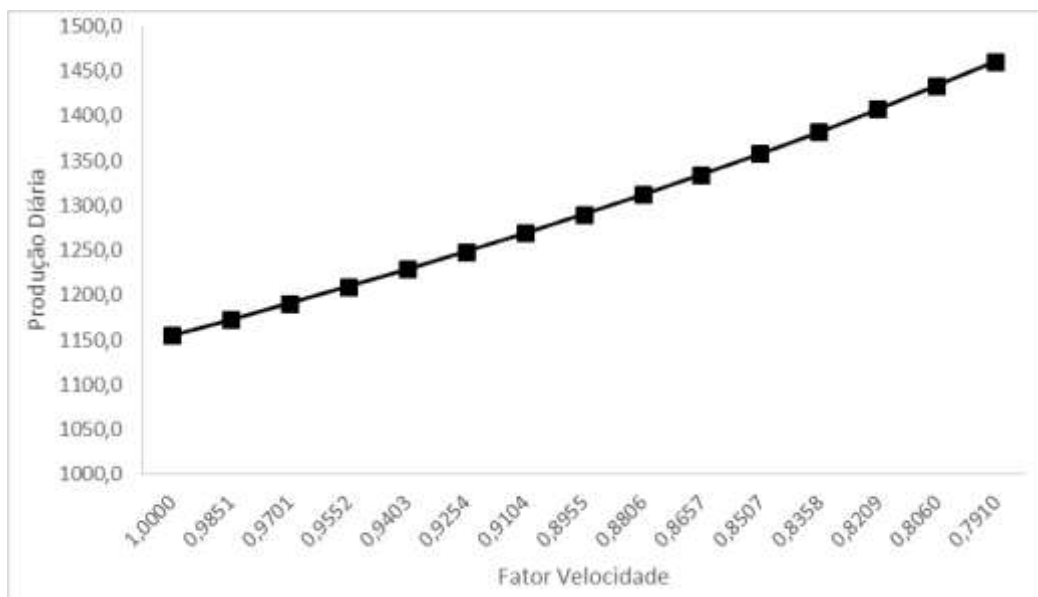


Gráfico 3 – Com aplicação do “Fator Velocidade” na esteira final

Assim, após conhecer profundamente as limitações da linha, foram propostos cenários, classificados de duas maneiras: (1) Cenários de linha, nos quais são propostas alterações diretas no *layout* da planta e (2) cenários de esteira, que contemplam alterações de velocidade e posição das esteiras. A descrição destes cenários e das composições formadas por dois ou mais cenários diferentes é apresentada a seguir, sendo que o acréscimo de postos de trabalho descritos em cada um é em relação ao valor original de postos:

Cenários de Linha

- Cenário C1 – L Duplo

O primeiro cenário proposto, denominado L Duplo, utiliza a área que atualmente é destinada ao retrabalho dos veículos, sendo que foram estendidos quatro dos braços com uma curva no final formando um “L”, conforme a figura 3, acrescentando um total de 30 postos de trabalho e um ganho de produtividade teórico de 1.279 unidades/dia.

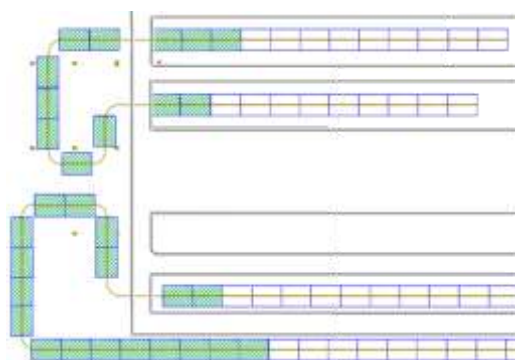


Figura 3 – Representação do cenário C1 (L Duplo)

- Cenário C2 – Boulevard

A denominação *Boulevard* refere-se à região responsável por manter e controlar a qualidade na linha de produção, o que torna necessária sua localização dentro do setor produtivo. Para este cenário foi utilizada a referida área estendendo os braços 2 e 3, com o acréscimo total de 24 postos de trabalho representados na figura 4, resultando em um aumento teórico na produtividade para 1238 veículos/dia. Um dos pontos negativos neste cenário é que o suprimento de 9 postos de trabalho poderá ocorrer somente em um dos lados da linha.

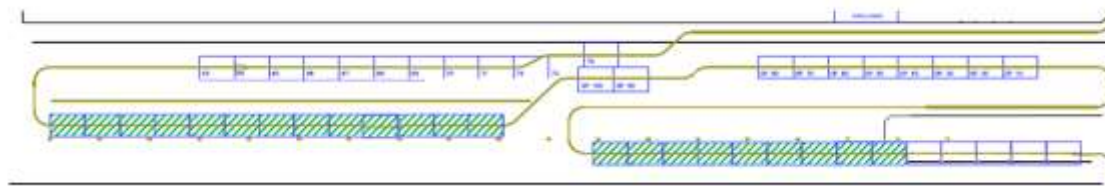


Figura 4 – Representação do cenário C2 (*Boulevard*)

- Cenário C6 – Fusão Duplo “L” com *Boulevard* reduzido

Este cenário consiste em unir os cenários 1 e 2, porém com o foco de atingir o objetivo de 1300 veículos por dia. Assim, com a implementação parcial do *Boulevard* são necessários

apenas 36 novos postos na linha (30 do cenário C1 e 6 do cenário C2 reduzido), ao invés dos 54 adicionados com a implementação integral dos cenários C1 e C2.

Cenários de Esteira

- Cenário C3 - Antecipar plataforma móvel

Neste cenário antecipa-se a esteira final, posicionando os veículos diretamente na plataforma móvel após saírem da linha de produção, o que totaliza a adição de dez postos na esteira, com o aumento da capacidade produtiva para 1806 veículo/dia. O cenário em questão, representado na figura 5, tem como ponto negativo a necessidade de remanejar a atividade predecessora, na qual são inseridas as portas, além do sincronismo na plataforma móvel que deve estar posicionada corretamente na retirada dos veículos.



Figura 5 – Representação do cenário C3 (Antecipar plataforma móvel)

- Cenário C5 – Alterar a orientação do veículo na esteira

No C5, a orientação do veículo na esteira é alterada, o que libera espaço para acrescentar mais postos de trabalho. Essa modificação resultou no acréscimo de 6 postos de trabalho e um aumento na capacidade produtiva diária para 1729 veículos.

- Cenário C7 – Antecipar plataforma móvel reduzido

O C7 consiste em reduzir o prolongamento feito no C3, para que dessa forma as esteiras sejam o suficiente para atender o objetivo de 1300 veículos por dia, eliminando o problema da remontagem das portas presente no C3. Neste cenário são adicionados 6 postos de trabalho em relação ao valor inicial.

- Cenários C8 – Alterar a orientação do veículo na esteira reduzido

O C8, representado na figura 6, é uma adaptação do C5 para o objetivo de 1300 veículos por dia, assim como foi feito com o C3 para originar o C7. Esta nova configuração apresenta 2 pares de postos a menos que sua versão original.



Figura 6 – Representação do cenário C8

Cenário Misto

- **C4 – Linha ML4**

O cenário C4 consiste no deslocamento de parte do setor produtivo destinado atualmente à linha ML4 para a colocação de novos postos de trabalho. Com essa modificação, a capacidade produtiva máxima de 1450 veículos por dia seria atingida. Contudo, é o cenário que requer maior alteração na infraestrutura, visto que seria necessário desmontar parte da linha ML4. Além disso, foi considerado por um especialista da Volkswagen como sendo extremamente custoso e inviável. Por conta disso, este cenário não foi incluso na simulação.

Combinação dos cenários

Após definir os cenários descritos previamente, foi necessário combiná-los para que o objetivo do trabalho seja alcançado, sendo que cada combinação devia conter ao menos um cenário de linha e um de esteira. Além disso, foi possível verificar que nenhum cenário de linha por si só atende a quantidade de 33 ou 54 postos necessários para atingir os objetivos. Devido a isso, as combinações possuem mais de um cenário de linha, lembrando que o C6 já é uma combinação de C1 e C2.

Assim, a tabela 1 contém as combinações feitas para análise do *throughput* teórico para, a partir disso, definir quais deles deveriam ser modelados computacionalmente.

Composição dos Cenários	Throughput Linha	Throughput Esteira	Número total de postos adicionados
<i>C1C2</i>	1279	1450	54
<i>C2C3</i>	1279	1450	34
<i>C1C5</i>	1279	1450	36
<i>C2C5</i>	1279	1450	30
<i>C1C2C3</i>	1450	1450	64
<i>C1C2C5</i>	1450	1450	60
<i>C6C7</i>	1337	1300	42
<i>C6C8</i>	1337	1300	38

Tabela 1 – Composições de cenários

Partindo dos resultados teóricos desta composição, foram eliminados os que não atingem o objetivo esperado de capacidade produtiva, ou seja, foram modelados computacionalmente as combinações *C1C2C3* e *C1C2C5* para a capacidade de 1450 veículos por dia, e *C6C7* e *C6C8* para 1300 veículos por dia.

Resultados computacionais da rodagem dos cenários

Após a verificação teórica das combinações, foram simulados os cenários que atingiram a capacidade máxima desejada através dos resultados teóricos. As simulações foram feitas para diferentes velocidades e quantidades de transportadores e, dessa forma, foi possível verificar quantos transportadores adicionais serão necessários na linha e qual deve ser o ritmo de produção para alcançar a capacidade esperada. A simulação foi feita para até 230 transportadores na linha, pois após essa quantidade o sistema satura e o *throughput* não aumenta.

Na Tabela 2 estão representados os resultados de *throughput* da simulação do cenário misto C6 com C7 em função do “fator velocidade” e do número de transportadores na linha. A área preenchida em cinza claro representa a região de possíveis combinações capazes de atingir

a meta inicial de 1300 veículos por dia, enquanto a região preenchida de cinza escuro segue o mesmo raciocínio com a meta de 1450 veículos/dia.

	170	180	190	200	210	220	230
1	981	1031	1066	1074	1074	1074	1074
0,9851	994	1045	1082	1090	1090	1090	1090
0,9701	1008	1060	1098	1107	1107	1107	1107
0,9552	1023	1076	1115	1125	1124	1124	1124
0,9403	1038	1092	1131	1142	1142	1142	1142
0,9254	1053	1108	1149	1160	1161	1161	1161
0,9104	1069	1125	1167	1180	1180	1180	1180
0,8955	1085	1141	1185	1199	1199	1199	1199
0,8806	1101	1159	1204	1219	1220	1220	1220
0,8657	1118	1177	1223	1240	1241	1241	1241
0,8507	1136	1196	1244	1262	1263	1262	1262
0,8358	1155	1216	1265	1284	1285	1285	1285
0,8209	1174	1236	1285	1308	1309	1309	1309
0,806	1193	1256	1308	1331	1332	1332	1332
0,791	1213	1278	1331	1356	1358	1358	1358
0,776108	1234	1300	1354	1382	1385	1385	1385
0,761182	1256	1323	1378	1408	1412	1412	1412
0,746256	1278	1347	1404	1437	1440	1441	1441
0,73133	1302	1371	1431	1465	1469	1470	1470
0,716405	1326	1397	1459	1495	1500	1501	1501
0,701479	1351	1423	1487	1526	1533	1534	1534
0,686553	1375	1449	1515	1556	1564	1565	1565

Tabela 2 – Resultados do cenário C6C7

Esta análise foi realizada também para todos os outros cenários, sendo que só estão representados os do cenário C6C7 para simplificação deste documento. Contudo, para a empresa foi fornecido um relatório completo com todas as possibilidades de mudanças, para que então sejam analisadas e a opção mais adequada seja selecionada.

Conclusões

A metodologia do presente trabalho contribuiu para identificar formas de aumento de produtividade de uma linha de produção através do incremento de postos de trabalho para reduzir o tempo de ciclo. Essa afirmação foi embasada através dos resultados oriundos dos cálculos teóricos e da simulação apresentados no capítulo anterior. Vale também ressaltar que a metodologia utilizada é aplicável a qualquer empresa que possua uma linha de produção e que deseje ampliar sua capacidade e parque tecnológico.

A implementação do estudo ainda requer uma análise financeira, uma vez que depende de decisões estratégicas da empresa e aprovações de terceiros. Apesar disso, o atual momento econômico pelo qual o país atravessa e a prospecção de melhora do cenário automobilístico para o futuro, forma um cenário ideal para que as empresas parem suas linhas de produção e façam ajustes e investimentos nas mesmas.

Os objetivos do presente trabalho foram atingidos, uma vez que foram identificados cenários que possibilitem o aumento de capacidade de uma linha de produção por meio do método proposto. Além disso, as propostas de modificação no *layout* da linha foram consideradas viáveis pela empresa, tornando possível a implementação das mesmas.

Por fim, o presente trabalho traz como benefícios à Volkswagen do Brasil uma maior produtividade na linha EHB, proporcionando maior flexibilidade nas suas decisões estratégicas no que diz respeito ao atendimento da demanda. Além disso, os cenários de solução propõem uma melhor utilização do seu espaço físico otimizando o *layout*. Já a equipe que elaborou o estudo, desenvolveu suas habilidades nas ferramentas e técnicas empregadas no mesmo, além de conhecer o dia-a-dia de uma empresa do setor automobilístico.

Próximos Passos

Algumas recomendações podem ser feitas para trabalhos futuros, à medida que o modelo construído para o projeto atual pode ser modificado e incrementado para atender as mais diferentes análises em diversas pesquisas.

Como modelo genérico, será aplicado em um projeto de conclusão de curso em 2017 na linha produtiva da Volkswagen em Taubaté, que produz os modelos Up!, Gol e Voyage, o qual visará realizar um estudo de viabilidade técnica da flexibilização parcial da linha, utilizando este modelo como base, uma vez que as duas plantas são semelhantes e poucas alterações terão que ser feitas para que a simulação seja tão fidedigna quanto a do trabalho atual.

Além disso, percebeu-se a necessidade de estudo do sequenciamento em etapa anterior à de montagem, contida no escopo do atual projeto, que será tema de iniciação científica em 2017, cujo tema principal é descrito como “programação da produção” e o foco é em ferramentas de otimização, utilizando, também, o modelo desenvolvido para testes e análise de dados.

Referências Bibliográficas

- CHWIF, L.; MEDINA, A.; SIMULATE, Tecnologia. *Modelagem e Simulação de Eventos Discretos, 4ª Edição: Teoria e Aplicações*. Elsevier Brasil, 2014.
- LAW, Averill M. *Simulation-models level of detail determines effectiveness*. Industrial engineering, v. 23, n. 10, p. 16-&, 1991.
- BANGSOW, Steffen. *Tecnomatix Plant Simulation*. Springer, 2015.
- MARTINS, J.T. et al. *Estudo de capacidade de linha de montagem do setor automobilístico: Produção de baixo volume*, São Caetano do Sul, São Paulo, 2015
- SANTOS, E. S. Simulação computacional no auxílio à tomada de decisão nos processos industriais: Utilizando a ferramenta Tecnomatix Plant Simulation 9.0. 2011. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2011.
- SIEMENS. Plant Simulation: Visão geral do produto. 2015. Disponível em: <http://www.plm.automation.siemens.com/pt_br/products/tecnomatix/plant_design/plant_simulation.shtml>. Acesso em 07 de Março de 2016.