

Análise dos estoques em processo de um sistema de produção de cabinas através de simulação.

João Gilberto Zalla Filho (EESC – USP) jgzf@sc.usp.br
Arthur José Vieira Porto (EESC – USP) ajvporto@sc.usp.br

Resumo

Este trabalho apresenta um estudo de simulação de eventos discretos para o auxílio à tomada de decisão no Planejamento da Produção de um sistema de produção de cabinas de caminhões em uma montadora de veículos comerciais. A análise dos estoques em processo de um sistema de produção de cabinas é de significativa dificuldade devido ao tamanho dos produtos, ao mix de produção e a variabilidade do fluxo das etapas de produção. Nesse estudo, técnicas de modelagem e simulação são utilizadas para auxílio à tomada de decisão na análise dos estoques seletivos existentes no sistema. No decorrer do trabalho, estão apresentados a descrição do sistema estudado, as etapas de modelagem, coleta de dados, verificação, validação e os resultados obtidos. Por fim, são feitas algumas considerações sobre os resultados obtidos e estudos futuros. O estudo foi realizado utilizando o software de simulação de eventos discretos Arena® 5.0.

Palavras chave: simulação, estoques em processo, planejamento da produção.

1. Introdução

A mais de 40 anos que a simulação de eventos discretos vêm sendo utilizada com sucesso em estudos realizados nos sistemas de manufatura (LAW, 1999). Durante esse período, os resultados obtidos mostram as vantagens da utilização da simulação no auxílio à tomada de decisão em estudos de melhoria, identificação de problemas, performance, identificação e tratamento de gargalos, balanceamento de mão-de-obra, utilização dos recursos, mix de produção, tempos de processo, logística, metodologias e layout (WILLIAMS & ÇELLIK, 1998; JARAYAMAN & GUNAL, 1997). Isso se deve à capacidade das ferramentas de simulação de sistemas discretos na análise de sistemas complexos e estocásticos, gerando resultados rápidos, precisos e com baixo custo (BANKS *et al*, 1986).

Através da simulação pode-se criar um modelo de um sistema real, com o propósito de avaliar o comportamento deste sistema sob várias condições, permitindo ao analista visualizar e tirar conclusões sobre novos sistemas sem precisar construí-los, ou fazer alterações em sistemas existentes sem perturbá-los (LAW, 1986). Isso reduz de maneira considerável o tempo e os custos de implementação de novas soluções, já que simular tem se tornado cada vez mais acessível e com o custo cada vez menor.

Portanto, a simulação torna possível descrever e analisar o comportamento de um sistema, respondendo a questões do tipo “e se?”, sendo uma metodologia e uma ferramenta indispensável para a solução de muitos problemas dos sistemas reais (BANKS, 1998).

A literatura (ÜLGEN & GUNAL 1998) mostra que a grande maioria da indústria automobilística dos EUA solicita estudos de simulação antes de qualquer projeto novo ou alteração nos sistemas produtivos, na metodologia ou na estrutura organizacional que envolva alguns milhares de dólares de investimento. Isso comprova a qualidade dos resultados dos estudos de simulação e a boa aceitação dentro da indústria automobilística. A literatura mostra diversas aplicações da simulação nas várias etapas produtivas da indústria automobilística.

Muitas apresentam bons resultados auxiliando a tomada de decisão. Dentre elas, é possível citar algumas áreas de aplicação, como:

- Estudos produtivos em fabricas de subcomponentes (Ülgen & Gunal 1998).
- Gerenciamento da cadeia de distribuição (MANIVANNAN, 1998; Ülgen & Gunal 1998).
- Estudos em armazéns e estoques (MANIVANNAN, 1998).
- Movimentação de materiais (ROHRER, 1998) e (GUNAL & SADAKANE & WILLIANS, 1998);
- Estudos de tempos de produção, gargalos, prazos, programação, utilização dos recursos, movimentação de material, processos, células de manufatura e automação em fábricas de motores e transmissões (JARAYAMAN & GUNAL, 1997) e (CHOI & HOUSHYAR, 2002); em linhas de produção de estruturas, carroçarias e cabinas (SLY, 1997) e (ÜLGEN & GUNAL, 1998); e nas linhas de montagem final (ÜLGEN & GUNAL, 1998);
- Análises dos processos de pintura (ÜLGEL *et. al*, 1994) e (WILLIANS & SADAKANE, 1997);
- Procedimentos, tempos e gargalos nas áreas de teste e revisão final (PATEL & MA & ASHBY, 2002);
- Análises de modificações e processos cruzadas com análise de custos (COLMANETTI, 2001) e (KENDALL & MANGIN & ORTIZ, 1998).

Dentre os resultados obtidos pode se citar a maior confiabilidade na aplicação das melhores soluções, redução no custo e no prazo de implementação, melhoria dos processos, redução dos tempos produtivos, melhor programação da produção, planejamento das capacidades de produção e também uma grande quantidade de informações sobre os sistemas estudados.

É baseado nas vantagens da utilização da simulação no auxílio à tomada de decisão, que este trabalho apresenta um estudo de simulação para o auxílio ao planejamento da produção de caminhões de uma montadora de veículos comerciais para verificação da necessidade e redimensionamento dos estoques em processo na fabricação e montagem das cabinas dos caminhões.

A produção de veículos comerciais vem apresentando um expressivo crescimento (ANFAVEA, 2004), pois as vendas têm se beneficiado de fatores como idade avançada da frota de caminhões, reaquecimento da economia e alta competitividade no mercado externo. Essa demanda faz com que as empresas analisem a capacidade produtiva, buscando maior competitividade, reduzindo custos, melhorando prazos, aumentando a qualidade e a flexibilidade. É nas áreas produtivas que muitos dos resultados são obtidos no curto prazo através da utilização de novas tecnologias, ferramentas e metodologias.

A redução do nível dos estoques em processo é desejável, pois desonera a produção, aumenta a flexibilidade e reduz o tempo de produção. Já no caso de cabinas de caminhões, o tamanho das cabinas torna a estocagem ainda mais difícil devido ao problema do layout das plantas fabris, à dificuldade de movimentação das cabinas e à suscetibilidade a falhas dos sistemas de armazenagem.

Nesse caso a simulação se mostra adequada e de grande utilidade para estudo do sistema, pois as etapas envolvidas na produção e montagem das cabinas apresentam características especiais onde muitas variáveis estocásticas influem no sistema. Além da impossibilidade de qualquer tentativa de alteração sem a confiança necessária devido aos riscos de parada de produção. A utilização da simulação é adequada nesses casos, pois apresenta resultados precisos e no curto prazo auxiliando a tomada de decisão.

Foram modeladas as etapas do sistema produtivo, verificando o impacto nos estoques em processo do fluxo das cabinas, do desbalanceamento das etapas da produção e do

comportamento da sequência das cabinas ao longo do processo produtivo. Este trabalho apresenta todas essas etapas.

2. Descrição do sistema estudado

Antes da descrição do sistema, é necessário comentar que, de acordo com Musselman (1998), desde o início do projeto, já se deve ter o problema e os objetivos do estudo bem definidos. Assim, desde o início do estudo do sistema, foram enfatizadas as características mais importantes para o desenvolvimento do trabalho. Já outras características, que podem ser consideradas importantes em outras abordagens, não foram consideradas, ou foram simplificadas, pois fogem do escopo do trabalho.

O sistema estudado compreende desde a montagem bruta das cabinas, ou seja, desde o processo de solda das diferentes chapas metálicas que formam a cabina, até a montagem da cabina acabada no chassi do caminhão, na montagem final de caminhões. Todos os diferentes processos do sistema foram estudados: a montagem bruta das cabinas, processos de funilaria e de retrabalho, processos relativos à pintura, montagem de acabamento das cabinas e a montagem final dos caminhões. Dentre esses processos, foram estudados os dois estoques seletivos do sistema, um para cabinas pintadas e outro para cabinas acabadas. O esquema dos processos produtivos do sistema pode ser visualizado na Figura 1.

O sistema produz 6 tipos básicos de caminhões e chassis de ônibus de motor frontal. Os 6 tipos básicos de caminhões geram 6 tipos básicos de cabinas. Cada tipo de cabina tem, em média, 5 variações para as cabinas brutas e cada variação de cabina bruta tem, em média, mais 7 variações de cabinas acabadas. Todas as variações foram modeladas utilizando as diversas divisões proporcionais.

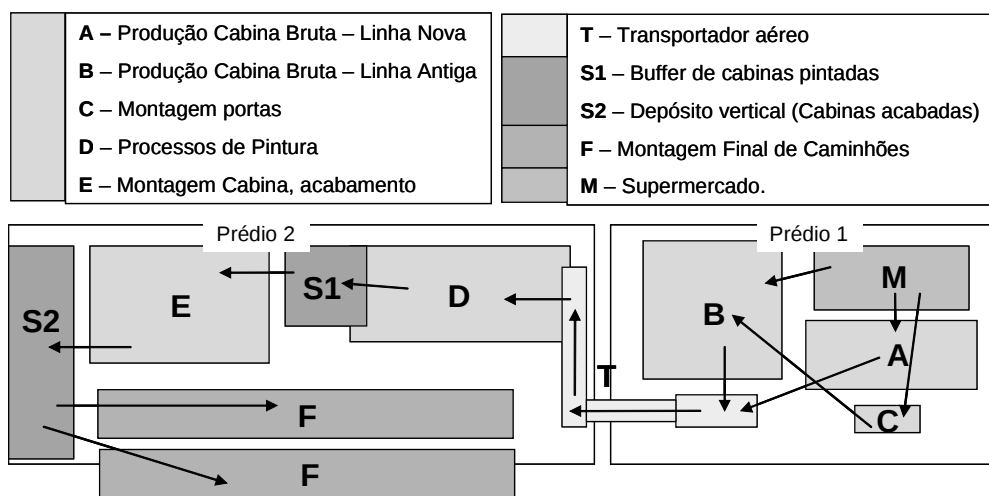


Figura 1: layout das etapas de produção.

Logo após a montagem bruta, todas as cabinas seguem pelo transportador aéreo de via única (T) para serem pintadas. Os processos para pintura (D) ocorrem sequencialmente sem áreas de estoque, mas com muitas seções de retrabalho onde as cabinas voltam às etapas anteriores. As cores são determinadas de acordo com a cor do dia, ou são pré-determinadas de acordo com a necessidade de vendas.

Saindo da pintura, as cabinas são armazenadas no primeiro estoque seletivo, o *Buffer* de cabinas pintadas (S1) de acordo com a ordem de chegada. A saída das cabinas deve ocorrer de acordo com a programação da produção e o *Buffer* tem flexibilidade de liberar qualquer cabina presente no estoque.

Após serem retiradas do *Buffer* as cabinas vão para duas linhas de montagem de acabamento das cabinas (E) sendo divididas em leves e médios na primeira linha e pesados na segunda, de acordo com a divisão das linhas de montagem final de caminhões (F).

Sendo liberadas das linhas de acabamento, as cabinas são novamente armazenadas, agora no Depósito Vertical (S2), que também tem total flexibilidade, sendo liberadas após armazenagem para as linhas de montagem final (F), divididas da mesma forma que as linhas de montagem de acabamento das cabinas (E).

Para a análise da necessidade dos dois estoques seletivos, é necessário avaliar algumas características do sistema, dentre elas a programação e o desbalanceamento das etapas produtivas.

Os caminhões são programados de acordo com uma sequência semanal determinada nas linhas da montagem final. Essa sequência puxa a produção de todos os outros componentes dos caminhões, inclusive as cabinas. Portanto essa sequência final é utilizada como base no seqüenciamento de todos os componentes. A primeira etapa da produção de cabinas utiliza a sequência final como base, mas balanceia e divide novamente essa sequência de acordo com as restrições do sistema. Mas, diferentemente das etapas restantes do sistema, empurra a produção das cabinas, sem verificar o estado das etapas seguintes e a real necessidade das cabinas, devido à existência de índices de produtividade.

Depois de montadas, as cabinas são pintadas e armazenadas no *Buffer*. Até o final da pintura as cabinas só possuem as variantes brutas. A retirada do *Buffer* é puxada pela linha de montagem de acabamento de cabinas e é baseada nas seqüências de montagem final sem restrições. Mas muitas vezes, as cabinas necessárias não estão no *Buffer*, devido a problemas e retrabalhos, sendo, então, retirada a próxima cabina da seqüência para que a produção não pare. Depois de retirada, as cabinas recebem a variante de acabamento de acordo com a necessidade da seqüência final de produção.

Na seqüência, o Depósito Vertical puxa as cabinas da linha de montagem de acabamento e as armazena. Finalmente, as linhas de montagem final puxam as cabinas do Depósito Vertical de acordo com a seqüência final, onde este não pode estar sem a cabina programada para que a linha de montagem final não pare. Como se pode concluir, existe, além dos problemas de programação, um conflito entre etapas de produção, no início, a produção é empurrada e, no final, a produção é puxada. Esse conflito deve ser amenizado pelos estoques seletivos do sistema.

Uma outra análise a ser feita, é que a parada ou ao bloqueio das etapas da produção em conjunto com questão da produção das cabinas ser empurrada no início e puxada no final, gera uma variação do fluxo de produção das diversas etapas. Como já foi citado, as cabinas são produtos de grande porte, portanto pequenos estoques, ou pulmões são impossíveis de serem gerados. Isso faz com que a parada nas etapas iniciais do sistema gere a falta de cabinas nas etapas posteriores. E as paradas nas etapas posteriores possam gerar o bloqueio das etapas anteriores, quando o sistema não for mais capaz de movimentar as cabinas (HALL & SRISKANDARAJAH, 1996). Esses fatores provocam grande variabilidade no fluxo da produção entre as etapas do sistema. Essa variabilidade deve ser corrigida pelos 2 estoques seletivos em processo para que a montagem final de caminhões não pare por falta da cabina correta a ser montada.

3. OBJETIVOS, RESTRIÇÕES E COLETA DE DADOS.

De acordo com Banks (1998) e Willians & Çelik (1998), é necessária uma clara definição dos objetivos no início do projeto para que este tenha sucesso e se consiga a solução dos problemas propostos. Nesse estudo, o objetivo principal foi:

- Avaliar a necessidade e o tamanho dos dois estoques seletivos em processo do sistema.

Para realização do objetivo, foi necessário entender o fluxo das cabinas no sistema e avaliar o impacto na geração dos estoques das seguintes características do sistema:

- Variação da sequência de produtos programada ao longo das etapas da produção;
- Influência do desbalanceamento entre as diversas etapas da produção;

Após a definição dos objetivos, parte-se para a definição do modelo conceitual, definindo quais as características serão modeladas do sistema. Mas, não é possível a modelagem de todos detalhes e dados do sistema, pois o modelo pode se tornar demasiadamente grande e pode não ser útil para a obtenção dos objetivos, tornando todo o estudo sem utilidade. Fizeram-se, então, algumas restrições:

- Dois turnos de produção (um para a linha nova da produção bruta de cabinas);
- Maior parte dos tempos de processos baseados no *takt time* das linhas de produção. Foram encontradas poucas tabelas históricas de tempos.
- Não ocorrência de falta de peças;
- Transportadores entre as etapas de produção consideradas apenas como tempos de processo de acordo com o tempo de movimentação;
- Os recursos humanos foram considerados balanceados e sempre disponíveis;
- Falhas de processo e paradas de linha consideradas apenas como uma variação dos tempos de processo, devido à falta de dados precisos.

Depois de definidas as restrições do estudo, foi iniciada a coleta dos dados. Essa é uma das fases mais trabalhosas, pois conseguir os dados necessários, com qualidade, quantidade e com alguma variabilidade é uma tarefa de grande dificuldade (VINCENT, 1998). É comum que os dados do sistema estejam indisponíveis, ou que não estejam no formato desejado para o desenvolvimento do estudo e necessitem de tratamento. Assim, alguns procedimentos são importantes para a coleta dos dados, dentre eles, visitas à planta, entrevistas, acesso a bancos de dados, coleta manual dos dados e, no caso dos dados não existirem, algumas considerações são necessárias. Para esse estudo, os seguintes dados foram coletados:

- *Layout* das etapas de produção nos prédios 1 e 2;
- Histórico anual da produção diária de todas as variantes das cabinas;
- *Takt time* e tempos de processo de todas as etapas da produção;
- Restrições e capacidades máximas dos sistemas e linhas de produção;
- Fluxo e rota dos diversos tipos de cabinas no sistema;
- Detalhes dos sistemas transportadores;
- *Lead time* para os sistemas e linhas de produção;
- Sequência de cabinas definida pela programação da produção em cada etapa;
- Dados estatísticos de frequência e duração das falhas e paradas de processo;
- Situações especiais (lógicas de decisão, produtos específicos etc).

Após a coleta das informações e dados necessários pode-se iniciar a construção do modelo no *software* Arena®. O procedimento de modelagem será detalhado na sequência.

4. MODELAGEM, VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO.

O processo de modelagem consiste em transformar as características do sistema nos códigos e diagramas utilizados pelo *software* Arena® para simular o sistema.

Como o sistema é de grandes dimensões, o modelo foi subdividido em módulos que, depois de estarem de acordo com o necessário, foram unidos aos outros módulos representando o sistema real. Cada módulo foi uma etapa particular, onde, foram construídos modelos simples e, iterativamente, aumentou-se o nível de detalhes de acordo com os objetivos. Foram

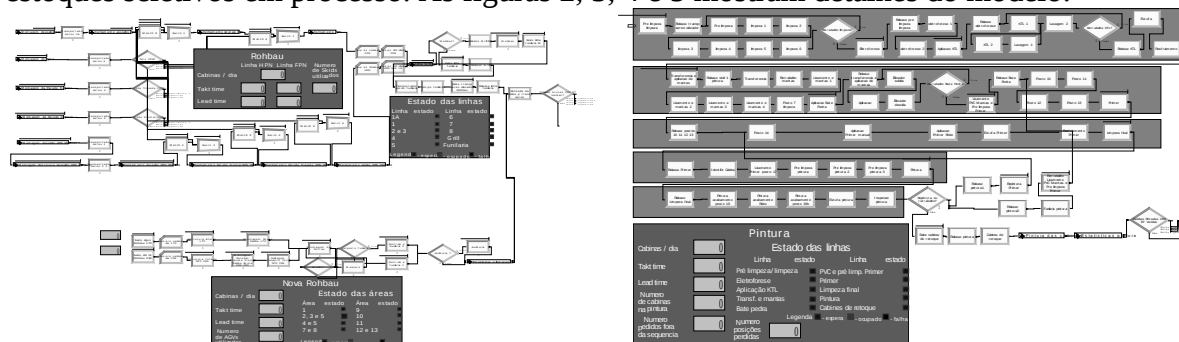
observadas as características do sistema referentes ao fluxo das cabinas, à programação e ao desbalanceamento das etapas produtivas.

Depois de unidos, os módulos foram adaptados e, também através de um processo iterativo, chegou-se ao modelo de todo o sistema real.

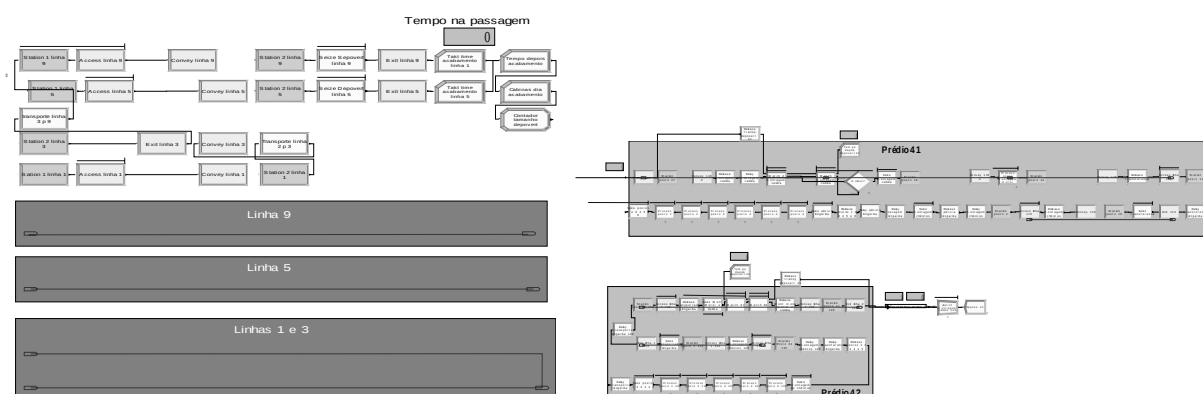
Diversas características da planta foram detalhadas, foram modelados os processos, filas, áreas de armazenagem, regras de movimentação, lógicas de decisão, desvios, estações de retrabalho e controle etc. Foram geradas seqüências de cabinas observando as mesmas restrições produtivas e variações de *mix* das observadas no sistema. O desbalanceamento das etapas da produção foi modelado através da variação estatística dos tempos dos processos produtivos e através dos dados estatísticos de frequência e duração das paradas de processo, de acordo com informações obtidas no sistema.

Devido a complexidade do sistema, a modelagem foi um processo longo, onde a falta de alguns recursos de realimentação de dados do *software* levaram a criação de processos lógicos de alta complexidade no modelo para que fosse possível a simulação de processos de decisão que ocorrem no sistema real após a observação do estado do sistema.

Dessa forma, a simulação dos modelos proporcionou situações específicas de acordo com as reais, assim como a falta de cabinas, sistemas cheios, perdas de seqüência, variação do fluxo, mostrando, durante a observação da simulação e análise dos resultados, a necessidade dos estoques seletivos em processo. As figuras 2, 3, 4 e 5 mostram detalhes do modelo:



Figuras 2 e 3: Modelos da montagem bruta e dos processos da pintura.



Figuras 4 e 5: Modelos linha acabamento e montagem final de caminhões.

Como a modelagem foi iterativa, a verificação do modelo ocorria constantemente. A cada novo passo, esse era verificado para avaliar se o modelo representava o conceito proposto do sistema. Após o término de cada módulo, o módulo era verificado e depois validado avaliando se a simulação do módulo estava de acordo com a realidade.

Para verificação e validação, foram utilizados os recursos de animação e os dados obtidos pelos relatórios finais do *software*. Usaram-se os recursos de animação na observação do comportamento do modelo durante a simulação e os relatórios basearam-se nas informações coletadas durante a simulação. Com os recursos de animação foi possível observar durante a simulação diversas características do modelo, entre elas, o fluxo das entidades, o desbalanceamento entre as etapas do processo, a variação da sequência programada das cabinas e os momentos em que a necessidade pelos estoques era maior ou menor. Tudo que foi observado pela animação, foi comprovado pelos dados estatísticos dos relatórios finais.

Utilizando a animação, também foram construídos diagramas para verificação dos parâmetros nas corridas de simulação. Os parâmetros de validação do modelo foram: a quantidade de cabinas produzidas por dia, o *takt time* e *lead time* de cada linha de produção, os gargalos de cada etapa da produção, as características de restrição do sistema, o número de cabinas alocadas nos estoques e o número de cabinas fora da sequência programada. Esses parâmetros foram comparados aos dados reais da fábrica para validação do modelo através da utilização dos relatórios do estudo. A figura 6 mostra os diagramas animados para verificação.

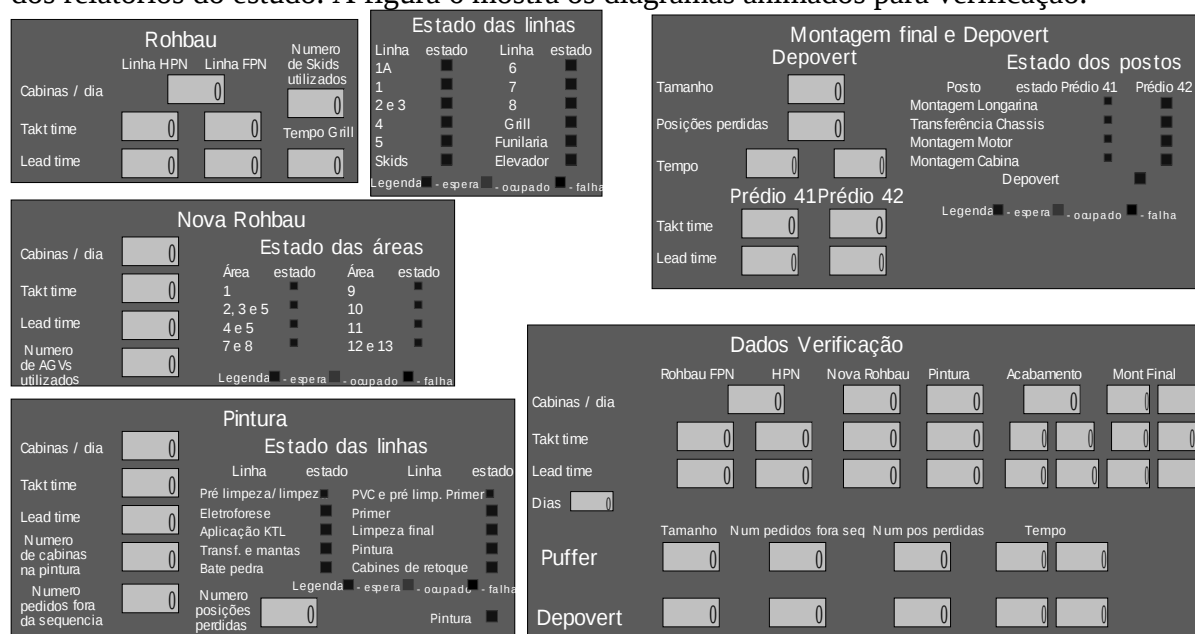


Figura 6: Animação para verificação do modelo.

Utilizando os resultados do modelo, foram construídas algumas tabelas com os parâmetros de maior relevância para comparação com os parâmetros reais obtidos na empresa em questão. Os planejadores da empresa também colaboram com a validação do modelo observando se o modelo corresponde com a realidade. As tabelas 1, 2 e 3 mostram os parâmetros de verificação. Na primeira tabela, pode-se visualizar a utilização média dos recursos que bloqueiam o sistema e a comparação com os dados obtidos no modelo.

Recurso	Ocupação média	Máximo real			Quant. media de cabinas	Núm. de pedidos atrasados (%)	Num. médio posições perdidas
Skids Linha Antiga	27	42	Pintura	Dados simulação	63	95,8	7
AGVs Linha Nova	14	20	Buffer	Dados reais	70	30	10
Ocupação pintura	63	80		Dados simulação	58	12,5	4
Buffer	58	72	Depósito	Dados reais	123	0,5	1
Depósito Vertical	102	123		Dados simulação	102	0,1	1

Tabelas 1 e 2: Verificação dos recursos de bloqueio e do comportamento da programação e dos estoques

Na Tabela 2 estão os dados referentes aos estoques e ao comportamento da sequência programada na Pintura, no *Buffer* e no Depósito Vertical. Nota-se que as cabinas saem da pintura quase que totalmente fora da sequência, justificando a existência do *Buffer*, pois este

corrige uma grande parte da sequência programada só não conseguindo corrigir as cabinas muitas posições fora. Já o Depósito Vertical garante a total manutenção da sequência.

Os dados da Tabela 3 mostram grande proximidade do modelo com o sistema real. As diferenças dos dados relativos à Linha Nova parecem o dobro. E realmente são, pois a Linha Nova trabalha em 1 único turno, enquanto o restante do sistema trabalha em 2 turnos, assim como o *software* coleta as estatísticas em 2 turnos. Já o restante dos valores se apresentam um pouco maiores, pois os dados de fábrica são referentes a situações normais de fábrica. Além de os dados da simulação já levarem em consideração eventuais falhas, filas etc.

		Dados médios reais de fábrica (min)	Resultados médios da simulação (min)
Takt time	Linha Antiga - 7	29	28,21
	Linha Antiga - 8	9	8,65
	Linha Nova	24	52,42
	Pintura	6	6,04
	Acabamento	7.8 - 27	7.84 - 27.39
	Montagem final	5 -27	5.24 - 27.43
Lead time	Linha Antiga - 7	350	334.7 + 63.2
	Linha Antiga - 8	350	322.9 + 63.2
	Linha Nova	400	743,7
	Pintura	350 a 450	396,4
	Acabamento	250	204,5
	Montagem final	250 - 550	230 - 588
Produção diária		201	193

Tabela 3: Dados de validação do modelo

5. SIMULAÇÃO, RESULTADOS E CONCLUSÕES.

Após o modelo estar validado, iniciaram-se os estudos de simulação em busca dos objetivos propostos. Como a base de dados era de um ano de produção, foi simulado um ano de atividades, o suficiente para coleta de resultados estatísticos. Foi avaliado também um período de *warm up* já que só interessam os dados do modelo com o fluxo desenvolvido.

Os experimentos foram planejados de forma a, observando a simulação, avaliar o comportamento do sistema e observar as causas da necessidade dos estoques. Também foram variados alguns parâmetros como tamanho de cada estoque, quantidade de cabinas produzidas, restrições de programação e falhas dos processos. Devido à variabilidade dos dados utilizados pelo modelo, durante cada corrida de simulação, muitos desses parâmetros variavam automaticamente e a observação já mostra alguns resultados que foram confirmados nos relatórios. A Tabela 4 seguir ilustra a influência de alguns parâmetros:

Parâmetro	Influência na necessidade do estoque	
	Buffer	Depósito Vertical
Falhas de processo	alta	média
Variação da programação	alta	média
Variação dos processos	média	baixa
Restrição da programação inicial	baixa	baixa
Retrabalhos	média	baixa
Redução do Buffer	-	alta
Redução do Depósito Vertical	alta	-

Tabela 4: Avaliação da necessidade dos estoques

Logicamente que a combinação de alguns parâmetros aumenta ainda mais a necessidade dos estoques. Um dos pontos de destaque é que um estudo de simulação traz junto dos resultados

uma grande quantidade de informações sobre o sistema. A análise das animações, dos dados e informações coletados e dos resultados obtidos traz as seguintes conclusões:

- Os estoques têm como principal função amenizar o desbalanceamento das diversas etapas da produção, para que o sistema todo não pare no caso de parada em alguma etapa.
- A Linha Nova necessita de maior volume de cabinas no *Buffer*, pois trabalha em um único período causando paradas no fornecimento das cabinas.
- O *Buffer* é o principal estoque seletivo, pois é responsável pelo balanceamento das etapas da produção e por grande parte das correções de sequência programada;
- Caso o *Buffer* esteja bem dimensionado, o Depósito Vertical pode ser reduzido;
- O desbalanceamento da produção das diversas etapas produtivas tem maior influência nos estoques do que o comportamento da sequência de cabinas entre as etapas da produção, ao contrário da idéia inicial;

Além de avaliar a necessidade dos estoques seletivos, foram propostos dois cenários para avaliar uma provável redução dos estoques. O estudo apresentou que não é possível a eliminação dos dois estoques seletivos, assim, foi proposta a redução, ou a possibilidade de redução do Depósito Vertical, já que existem poucos processos entre o *Buffer* e o Depósito Vertical e esse último é um sistema de armazenagem crítico composto de um trans-elevador e qualquer falha impede totalmente a produção final dos caminhões. Os dois cenários avaliados foram:

- Tamanho mínimo possível do Depósito Vertical sem outra alteração no sistema;
- Tamanho necessário do *Buffer* para eliminação total do Depósito Vertical permanecendo uma mínima área para remanejamento de cabinas.

No primeiro cenário, conseguiu-se uma redução de 50% do tamanho do Depósito Vertical com apenas algumas cabinas fora de posição, cerca de 170 num total de 32400 aproximadamente. O Depósito Vertical ficou, então, com capacidade média de 60 cabinas e ocupação máxima de 70 cabinas.

Mas foram necessárias algumas premissas de trabalho que obrigaram a ocorrência de paradas nas etapas posteriores ao Depósito Vertical, pois foi estipulado um limite mínimo (estoque de segurança) para o tamanho do *Buffer* e quando o limite mínimo era alcançando, no caso de uma parada nas etapas anteriores ao *Buffer*, este cessa o fornecimento das cabinas. Mas o estoque de segurança não influenciou no total de cabinas produzidas. Foram produzidas as mesmas 139 cabinas por dia, em média, já que é possível recuperar a produção perdida. No caso do estoque de segurança existe o risco de se perder produção, mas resulta em uma melhoria geral do sistema.

No segundo cenário, para que o Depósito Vertical se torna uma área com no máximo 10 cabinas, chegou-se ao tamanho necessário do *Buffer* de no máximo 140 cabinas e com ocupação média de 130 cabinas. Isso significa um valor grande para o sistema, mas não impossível de ser praticado, pois é similar ao tamanho do Depósito Vertical. Esse resultado não é similar à utilização somente do Depósito Vertical, pois são adicionadas as variantes de acabamento e seria necessário um Depósito Vertical maior que o atual para lidar com essa situação.

Este cenário mostra a possibilidade da quase extinção do Depósito Vertical, mas é uma decisão de grande implicação onde os resultados da simulação podem ser usados na tomada de decisão.

Depois de divulgados os resultados, foram verificadas as condições para aplicação real desses. A estudo de simulação proporcionou a visualização da possibilidade de redução do estoque do Depósito Vertical. Discutindo a aplicação desses resultados, concluiu-se que:

- Os cenários demonstrados mostram duas possíveis soluções, mas a simplificação de características como falha dos processos e falta de peças impossibilita a redução total dos estoques com segurança, sendo necessário mais algum detalhamento ao modelo.
- Para a aplicação dos resultados, várias modificações devem ser feitas no sistema através da redução das falhas, correção dos problemas uniformização dos processos, e aplicação de melhorias.

A segunda conclusão é a mais importante do estudo, pois sinaliza que os resultados somente serão aplicados caso o sistema seja modificado buscando melhorias resultando na redução dos estoques. O sistema de produção da montadora em questão é baseado no conceito *Just-in-time* e esse conceito, de acordo com Ohno (1988), baseia-se na redução do desperdício e na melhor utilização dos recursos. Nesse estudo, a redução dos estoques traz ao conhecimento alguns problemas das diversas etapas da produção, pois os estoques escondem esses problemas. Assim, para a redução dos níveis dos estoques, devem-se iniciar trabalhos para redução dos problemas e implementação de melhorias nas diversas etapas da produção para aplicação dos resultados obtidos, chegando aos objetivos propostos.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo de simulação atingiu os objetivos propostos, pois foi possível propor uma redução do número de cabinas no Depósito Vertical através da análise do fluxo das cabinas, do desbalanceamento das etapas da produção e da manutenção da programação. Os resultados do estudo não só mostraram caminhos para reduzir os níveis de estoque, mas também levantaram diversas informações de grande importância ajudando o entendimento geral do sistema. Essas informações são essenciais para que possam ser tomadas ações para que sejam atingidos os objetivos.

O estudo mostrou que a ferramenta de simulação de eventos discretos é de grande utilidade para a solução desse tipo de problema, já que o sistema é de grande complexidade, com diversas variáveis aleatórias envolvidas e de influência conjunta. As referências também mostram outros casos de sucesso em aplicações da indústria automobilística. As ferramentas de animação proporcionadas pela simulação forma de grande importância na formulação dos resultados, juntamente com os relatórios fornecidos.

Para os trabalhos futuros, fica proposto um maior detalhamento do modelo para que sejam simuladas as falhas da produção e outras características especiais, dando maior suporte ao estudo de melhorias e correção dos problemas da planta estudada, dando melhor sustentação à aplicação dos resultados aqui obtidos.

Referências.

ANFAVEA (2004) – Carta da ANFAVEA, Publicação Mensal da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores, junho de 2004, www.anfavea.com.br

BANKS, J. (1998) – Principles of simulation. Handbook of Simulation, ed. by Jerry Banks. John Wiley & Sons, Inc. New York. P. 3-30.

BANKS, J. & CARSON, J.S. & NELSON, B.L. (1986) – Discrete-Event System Simulation, 2nd ed., New Jersey, Prentice Hall.

CHOI, S.D. & HOUSHYAR, A. (2002) – A simulation study of an automotive foundry plant manufacturing engine blocks. Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference, eds. E. Yücesan, C.H. Chen, J.L. Snowdon and J.M. Charnes, p. 1035-1040.

COLMANETTI, M.S. (2001) – Modelagem de Sistemas de Manufatura Orientada pelo Custeio das Atividades e Processos. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

GUNAL, A. & SADAKANE, S. & WILLIANS, E.J. (1996) – Modeling of chain conveyors and their equipment interfaces, Proceedings of the 1996 Winter Simulation Conference, eds. J. Charnes, D. M. Morrice, D. T. Brunner, J. J. Swain, IEEE, Piscataway, p.1353-1358.

HALL, N.G. & SRISKANDARAJAH, C. (1996) – A survey of machine scheduling problems with blocking and no-wait process. Operations Research. N. 44, p. 510-525.

JAYARAMAN, A. & GUNAL, A. (1997) – Applications of discrete event simulation in the design of automotive powertrain manufacturing systems. Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference ed. S. Andradóttir, K. J. Healy, D. H. Withers, and B. L. Nelson, p. 758-764.

KENDALL, K. & MANGIN, C. & ORTIZ, E. (1998) – Discrete event simulation and cost analysis for manufacturing optimization of an automotive LCM component. Composites Part A. 29A, p. 711-720.

MANIVANNAN, M.S. (1998) – Simulation of manufacturing and material handling systems. Handbook of Simulation, ed. by Jerry Banks. John Wiley & Sons, Inc. New York. P. 571-604.

MUSSELMAN, K.J. (1998) – Guidelines for success. Handbook of Simulation, ed. by Jerry Banks. John Wiley & Sons, Inc. New York. P. 721-743.

LAW, A.M. (1986) – Introduction to Simulation: A powerful toll for analyzing complex manufacturing systems, Industrial Engineering, p. 46 – 63.

LAW, A.M. & MCCOMAS, M.G. (1999) – Simulation of manufacturing systems. Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference eds. P.A. Farrington, H.B. Nembhard, D.T. Sturrock, and G.W. Evans, p. 56-59.

OHNO, T. (1988) – Toyota Production System. Beyond Large-Scale Production. Productivity Press. Oregon.

PATEL, V. & MA, J. & ASHBY, J. (2002) – Discrete event simulation in automotive final process system. Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference, eds. E. Yücesan, C.H. Chen, J.L. Snowdon and J.M. Charnes, p. 1030-1034.

ROHRER, M.W. (1998) – Simulation of manufacturing and material handling systems. Handbook of Simulation, ed. by Jerry Banks. John Wiley & Sons, Inc. New York. P. 519-545.

SLY, D.P. (1997) – Research to application success stories: manufacturing. Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference ed. S. Andradóttir, K. J. Healy, D. H. Withers, and B. L. Nelson, p. 1286-1292.

ÜLGEN, O. & GUNAL, A. (1998) – Simulation of manufacturing and material handling systems. Handbook of Simulation, ed. by Jerry Banks. John Wiley & Sons, Inc. New York. P. 547-570.

ÜLGEN, O. & GUNAL, A. & GRAJO, E. & SHORE, J. (1994) – The role of simulation in design and operation of body and paint shops in vehicle assembly plants. Proceedings of The European Simulation Symposium, ed. A. R. Kaylan, A. Lehmann, and T. I. Oren. The Society for Computer Simulation International, San Diego, California. p. 124-128.

VINCENT, S. (1998) – Input Data Analysis. Handbook of Simulation, ed. by Jerry Banks. John Wiley & Sons, Inc. New York. p. 55-91.

WILLIANS, E.J. & ÇELİK, H. (1998) – Analysis of conveyor systems within automotive final assembly. Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference, eds. D.J. Medeiros, E.F. Watson, J.S. Carson and M.S. Manivannan, p. 915-920.

WILLIANS, E.J. & SADAKANE, S. (1997) – Simulation of a paint shop power and free line. Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference ed. S. Andradóttir, K. J. Healy, D. H. Withers, and B. L. Nelson, p. 727-732.