

A SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS EM UMA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA

Bernardo de Almeida Biscotto

MONOGRAFIA SUBMETIDA À COORDENAÇÃO DE CURSO DE ENGENHARIA
DE PRODUÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Aprovada por:

Prof. Fernando Marques de Almeida Nogueira

Eng. Jorge Kuntz Pyles

Prof. Marcos Martins Borges

JUIZ DE FORA, MG - BRASIL
NOVEMBRO DE 2008

BISCOTTO, BERNARDO DE ALMEIDA

A Simulação de Eventos Discretos em
uma Indústria Automotiva [Minas Gerais,
2008]

VIII, 51 p. 29,7cm (EPD/UFJF, Graduação,
Engenharia de Produção, 2008)

Monografia – Universidade Federal de Juiz de
Fora, Departamento de Engenharia de Produção

1. Simulação de Eventos Discretos
2. Pesquisa Operacional
3. Pintura Automotiva

I. EPD/UFJF II. Título (série)

Dedico este trabalho à minha mãe, Márcia, e ao meu pai, José Cláudio, que me proporcionaram a minha vida e a minha formação. A eles meu reconhecimento e gratidão pelo amor, pela paciência e, sobretudo, pelo apoio ao longo de toda minha trajetória. Obrigado por estarem sempre presentes!

Agradecimentos

Para mim, este trabalho não é simplesmente um estudo científico, mas, sobretudo, um marco, pois representa a conclusão da fase mais importante da minha vida até o momento: a graduação. Representa uma conquista, a qual eu não teria alcançado sozinho. Por isso, eu gostaria de agradecer a todos aqueles que acompanharam minha trajetória até aqui e torceram por mim todo o tempo:

A Deus, fonte de toda luz, que, por Sua bênção, proporcionou o conforto espiritual de que precisei, não só através das nossas conversas, mas, principalmente, através daqueles que me cercaram. Aproveito, também, para agradecer a Ele pela saúde das pessoas próximas a mim;

Aos meus pais, os principais instrumentos do Criador em minha vida, os grandes responsáveis por me fazer merecedor dessa conquista e a quem dediquei este trabalho;

Ao meu irmão, Leo, meu melhor amigo e companheiro, que, mesmo sem saber, me deu muita força;

À minha namorada, meu anjo com nome de Ma, sempre compreensiva e carinhosa;

Aos grandes amigos Lucas Pimenta, Pedro Tostes, Douglas Maia, Thiago Dias, André Medina e André Pina, que me acompanharam de perto por todo caminho;

Aos amigos do “Conselho”, grandes companheiros, mesmo um pouco mais distantes;

Aos colegas do Marmita, pelo companheirismo, pelo incentivo e, sobretudo, pelos momentos de descontração;

Ao Rodrigo Piubello, pelos inúmeros conselhos e pela amizade;

Ao professor Marcos, o qual admiro e que contribui na banca deste trabalho;

Ao professor Fernando, orientador deste trabalho, pela paciência, pelo apoio e por todo aprendizado proporcionado ao longo do curso;

Ao Jorge Pyles, de quem surgiu a idéia deste trabalho em primeiro lugar, também sempre paciente e disponível;

Aos demais professores do curso, pela contribuição para o meu crescimento profissional;

À Bertha, ao Valério, e aos colegas do SPJ que me ajudaram neste trabalho com informações e sugestões;

Aos meus familiares, pelo constante incentivo e preocupação;

Enfim, a todos que, direta ou indiretamente, de perto ou de longe, de forma explícita ou não, torceram, incentivaram, rezaram e contribuíram para que eu chegasse até aqui.

A todos vocês, do fundo do coração, o meu Muito Obrigado!

Resumo da monografia apresentada à Coordenação de Curso de Engenharia de Produção como parte dos requisitos necessários para a graduação em Engenharia de Produção.

A SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS EM UMA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA

Bernardo de Almeida Biscotto

Novembro/2008

Orientadores: Fernando Marques de Almeida Nogueira
Jorge Kuntz Pyles

Curso: Engenharia de Produção

Este estudo consiste na análise do fluxo de carroçarias na área de retrabalho da instalação de pintura de uma montadora de veículos de luxo, a partir das informações geradas por uma ferramenta de simulação de eventos discretos. A observação do sistema possibilita a criação de um modelo que conserva as interações lógicas do processo real. Os parâmetros desse modelo são estimados a partir do tratamento estatístico de dados históricos fornecidos acerca dos tempos e da frequência das operações. Os resultados da simulação computacional permitem identificar oportunidades de melhoria no sistema e, assim, gerar um cenário alternativo que apresenta desempenho superior. Deste modo, é apresentada uma sugestão de novo arranjo para os recursos destinados às atividades de retrabalho da pintura buscando eliminar a ocorrência de atrasos indesejados. Através de novas execuções, é verificado que a proposta demonstra melhor desempenho, evidenciado por tempos reduzidos de permanência das carroçarias no sistema. Assim sendo, este trabalho mostra como a simulação pode ser utilizada no planejamento da instalação em projetos futuros ao gerar informações críticas para a tomada de decisão.

Palavras-chave: Simulação, Pesquisa Operacional, Eventos Discretos, Pintura Automotiva, Retrabalho.

Abstract of the monograph presented to the Coordination of Production Engineering as partial fulfillment of the requirements for the undergraduate degree.

DISCRETE-EVENT SIMULATION IN AN AUTOMOTIVE INDUSTRY

Bernardo de Almeida Biscotto

November/2008

Advisors: Fernando Marques de Almeida Nogueira
Jorge Kuntz Pyles

Major: Production Engineering

This study consists of the analysis of the body-in-whites' flow through the rework facilities in the paint-shop of an automotive plant, based on information generated by discrete-event simulation. Observing the real-world system permits the conception of a model that preserves the process' logical interactions. The model parameters are estimated by statistical analysis of historical data about the duration and the frequency of the operations. The simulation results lead to identify potential improvements on the system, and then to establish an alternative scenario, which presents a higher performance. On that ground, a new lay out is suggested for the paint-shop's re-work resources so as to eliminate undesired delays. With additional runs it is verified that the proposal presents a better performance, evidenced by a reduced system's lead-time. Therefore, this work offers how simulation can be used as helpful tool for planning the facility on future projects, by providing critical information to decision making.

Key-Words: Simulation, Operations Research, Discrete-event, Automotive Paint-Shop, Rework.

Sumário

Capa	i
Ficha Catalográfica	ii
Dedicatória	iii
Agradecimentos	iv
Resumo	v
<i>Abstract</i>	vi
INTRODUÇÃO	1
1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
1.2. OBJETIVOS	2
1.3. JUSTIFICATIVAS	2
1.4. CONDIÇÕES DE CONTORNO	3
1.5. ETAPAS PARA O DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	3
MODELAGEM E SIMULAÇÃO	5
2.1. O QUE É SIMULAÇÃO	5
2.2. SISTEMAS E AMBIENTES.....	5
2.3. MODELO DE UM SISTEMA	6
2.4. TIPOS DE MODELOS	6
2.5. SIMULAÇÃO DE SISTEMAS DE EVENTOS DISCRETOS	8
2.6. CONCEITOS.....	8
2.7. MODELOS ESTATÍSTICOS.....	10
2.8. ALGUMAS DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE	12
2.9. MODELO ESTATÍSTICO DE FILAS	17
2.10. METODOLOGIA.....	18
A EMPRESA E O RETRABALHO	22
3.1. O SETOR AUTOMOBILÍSTICO NO BRASIL	22
3.2. A MERCEDES-BENZ.....	22
3.3. NO BRASIL E EM JUIZ DE FORA	23
3.4. A MONTAGEM E O PROCESSO DE PINTURA	25
3.5. A ÁREA DE RETRABALHO	27
DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE	32
4.1. ASPECTOS GERAIS	32
4.2. CONSIDERAÇÕES IMPORTANTES	32
4.3. COLETA E ANÁLISE DOS DADOS.....	35
4.4. ANÁLISE DA SIMULAÇÃO.....	39

4.5. GERAÇÃO DE UM CENÁRIO ALTERNATIVO	42
CONCLUSÕES	47
5.1. BALANÇO DAS ATIVIDADES.....	47
5.2. PRÓXIMOS PASSOS.....	47
5.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS	49
BIBLIOGRAFIA.....	50

Capítulo I

INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Os automóveis Mercedes-Benz são consagrados em todo o mundo por sua qualidade e tecnologia avançada. Os produtos da marca são sinônimos de durabilidade, requinte e, sobretudo, *status*.

Este patamar foi alcançado graças à atenção aos detalhes. Os critérios de qualidade seguem os rigorosos padrões alemães, assim como as inspeções no produto em todos os processos da empresa. Possivelmente, algumas falhas seriam, em outras montadoras, consideradas irrelevantes e passariam de forma despercebida, mas são tratadas e eliminadas com o mesmo esforço de forma a buscar a perfeição dos automóveis Mercedes-Benz.

Para alcançar a qualidade desejada existem diversas ferramentas de prevenção, as quais utilizam os conceitos de controle de qualidade e identificação de causas, mas nem sempre são suficientes para eliminar o aparecimento de imperfeições. Então, para que as falhas geradas no processo não cheguem aos clientes, existem operações, áreas e pessoas voltadas especificamente para o retrabalho nos três grandes processos da produção dos automóveis: a montagem de carroçaria bruta, a pintura de carroçaria e a montagem final.

Na pintura, o reparo é realizado antes da aplicação da cera nas cavidades ocas, que representa o final do processo. Cada tipo de falha é tratada por operações específicas, gerando grande variabilidade nos tempos de reparo, sendo que o retrabalho é a única etapa do processo de pintura que não é executado em um tempo de ciclo fixo.

Outra particularidade do processo de retrabalho é a necessidade de desviar fisicamente as carroçarias da linha para possibilitar a realização das operações de reparo nas estações de trabalho apropriadas. De acordo com o tipo de falha, a carroçaria deve ser transportada a um local específico do retrabalho e posteriormente retornar à linha de produção, diversificando as possibilidades de percurso dentro da área.

Uma vez finalizado o processo de pintura, a carroçaria entra em um *puffer* de escolha, no qual é seqüenciado para iniciar o processo de montagem final. Este seqüenciamento, a rigor, é realizado de acordo com os prazos de embarque dos veículos e serve como base para a programação de abastecimento de peças na linha de produção. Portanto, torna-se notório que atrasos no retrabalho da pintura podem gerar transtornos aos clientes internos, clientes externos e os fornecedores.

Como agravante, a área de retrabalho da pintura possui espaço físico limitado, fato que possibilita, eventualmente, a obstrução da passagem das carroçarias, mesmo daquelas

as quais não apresentaram imperfeições. Neste caso, os atrasos nos processos subseqüentes são intensificados e podem ocorrer paradas na linha da pintura, sobretudo nos trechos imediatamente anteriores ao retrabalho.

Há algumas formas básicas de buscar a minimização desse tipo de transtorno sem prejudicar a qualidade do produto. Uma delas é a redução da ocorrência de falhas através da prevenção, trabalho realizado constantemente pelos planejadores com a utilização de ferramentas de controle de qualidade. Outra é a redução do tempo das operações de reparo através, por exemplo, de um estudo técnico detalhado visando à otimização da seqüência das operações ou ao planejamento de investimentos em equipamentos mais eficientes.

Independente disso, a área deve ser planejada de forma a assumir um volume esperado de veículos com falhas. Portanto, problemas freqüentes podem indicar que houve um sub-dimensionamento dos recursos voltados para o retrabalho quando do planejamento da instalação para o novo modelo. É o que este estudo busca verificar, gerando informações relevantes para a tomada de decisões no médio e no longo prazo quanto à alocação dos recursos disponíveis na área de retrabalho, visando sempre redução o tempo total de permanência das carroçarias no sistema.

Entre as diversas ferramentas que propiciam a realização deste tipo de estudo, foi escolhida a simulação computacional de eventos discretos. Esta escolha se deve, entre outros motivos, à possibilidade de trabalhar isoladamente a grande variabilidade do sistema e assim testar a correlação entre as variáveis, além de suportar o seu dinamismo, a sua aleatoriedade e a sua complexa interação lógica.

1.2. OBJETIVOS

A finalidade deste estudo é identificar, a partir de uma ferramenta de simulação computacional, problemas quanto à alocação dos recursos de retrabalho da área de pintura de uma montadora de veículos de forma a gerar informações que auxiliem o planejamento futuro da instalação. Com isso, as melhorias propostas podem ser modeladas e simuladas de maneira a comparar o desempenho de diferentes cenários em termos do tempo de permanência das carroçarias no processo (*lead time*).

1.3. JUSTIFICATIVAS

O estudo do fluxo de carroçarias ao longo do processo de retrabalho é justificado pela necessidade de geração de massa crítica, nas quais as decisões futuras devem ser baseadas levando à minimização de possíveis atrasos que causariam transtornos aos processos subseqüentes.

1.4. CONDIÇÕES DE CONTORNO

A proposta deste trabalho é estudar o fluxo de carroçarias na área de retrabalho da instalação de pintura da unidade da Mercedes-Benz de Juiz de Fora. Serão comparados cenários que se diferenciam somente quanto à alocação dos recursos e aos parâmetros do sistema.

O trabalho não abrange a análise do processo de pintura de modo a reduzir a incidência das falhas. As operações de retrabalho também não são analisadas isoladamente.

1.5. ETAPAS PARA O DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

A proposta de metodologia desenvolvida pelo autor para a realização deste trabalho é inspirada nos “Passos em um Estudo de Simulação”, sugeridos por Banks *et al.* (2005). Maiores detalhes sobre esta proposta podem ser encontradas no item 10 do capítulo 2 (Modelagem e Simulação) deste trabalho.

Etapa 0. Pesquisa Literária

Não só correspondeu à primeira etapa deste trabalho, como foi considerada uma das mais importantes pelo motivo de fornecer toda base teórica para sua realização. Inicialmente, ocorreu de forma intensiva e isolada para prover os conhecimentos necessários para que o estudo seja começado. Mas, devido à necessidade de pesquisas constantes, esta etapa continuou ao longo da realização das etapas subseqüentes.

Etapa 1. Pré-Projeto

Englobou basicamente a formulação do problema e a definição dos objetivos e do plano geral do projeto. Grande parte desta etapa fora realizada no momento da elaboração da proposta de realização deste trabalho de conclusão de curso, e suas conclusões são relatadas nos capítulos I e III deste trabalho.

Etapa 2. Coleta e Análise dos Dados

Esta etapa correspondeu à coleta dos dados e à sua análise. Nela, foram definidos quais dados foram necessários e também a melhor forma de coletá-los. Estudos estatísticos se mostraram úteis nesta etapa.

Etapa 3. Criação do Modelo

Consistiu na concepção, tradução e verificação do modelo e ocorreu em paralelo com a etapa de Coleta de Dados. O modelo foi, desde o início, concebido em linguagem

computacional e a verificação e correção de falhas na lógica foi sendo realizada ao longo desta concepção.

Nesta etapa, foi de suma importância definir as características relevantes do problema e o detalhamento que o modelo deveria ter. Também foi escolhido o recurso computacional utilizado para realizar a simulação.

Etapa 4. Análise do Sistema

Estiveram contemplados na etapa 4 deste trabalho a realização de execuções e análises da simulação, incluindo um *design* experimental com fins de inferir sobre o sistema em sua forma inicial. O objetivo desta etapa foi realizar um diagnóstico do sistema e identificar as principais oportunidades de melhoria em sua performance. Os resultados desta etapa foram as principais informações utilizadas na realização da etapa subsequente.

Etapa 5. Geração de Cenários

As conclusões obtidas na etapa anterior, de Análise do Sistema, possibilitaram a realização de novas execuções. A partir dos pontos de melhoria identificados no sistema atual foi possível criar um novo cenário, do qual era esperado que possuísse um desempenho mais adequado. Uma vez “desenhado”, o cenário foi simulado para analisar os resultados gerados e concluir se a performance do sistema pôde ser melhorada.

Etapa 6. Elaboração do Relatório

Correspondeu à documentação das atividades e dos resultados.

A implementação das melhorias propostas não fez parte do escopo deste trabalho, uma vez que o objetivo deste se restringiu a identificar um cenário que tornasse mais satisfatório o desempenho do sistema atual e não foi prevista a implementação real destes cenários.

Figura 1. Cronograma das Atividades

Fonte: O Autor

Id	Nome da tarefa	Início	Tri 2 2008			Tri 3 2008			Tri 4 2008		
			Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	Pesquisa Bibliográfica e Pré-Projeto	Seg 21/04/08									
9	Coleta de Dados	Seg 04/08/08									
17	Criação do Modelo	Seg 25/08/08									
20	Análise do Sistema e Geração de Cenários	Seg 06/10/08									
24	Elaboração do Relatório e Apresentação	Seg 28/04/08									

Capítulo II

MODELAGEM E SIMULAÇÃO

2.1. O QUE É SIMULAÇÃO

Banks *et al.* (2004) definem **simulação** como sendo a imitação da operação de um processo ou sistema ao longo do tempo. Ela envolve a geração e análise de um “histórico artificial” com o objetivo de inferir acerca das características do sistema. O comportamento de um sistema real ou hipotético ao longo do tempo é estudado a partir de um **modelo de simulação**, que é formado por uma série de considerações lógicas, matemáticas e simbólicas sobre o relacionamento entre os objetos de interesse do sistema. A simulação pode ser efetuada manualmente, mas demanda para tal um grande esforço para a realização de cálculos, tornando o computador uma ferramenta essencial.

Uma vez concebido, o modelo auxilia a determinação de melhorias nos sistemas, tanto com a simulação de mudanças em sistemas já existentes, como com a previsão do comportamento de sistemas ainda em desenvolvimento em circunstâncias hipotéticas.

Em alguns casos, um modelo pode ser resolvido matematicamente, através, por exemplo, de métodos numéricos e heurísticos. Mas a complexidade de uma boa parte dos sistemas do mundo real torna necessário o uso da simulação computacional. Para analisar o desempenho do sistema nesses casos, é mais adequado observar os dados gerados pela imitação do seu comportamento do que simplesmente encontrar uma solução matemática.

2.2. SISTEMAS E AMBIENTES

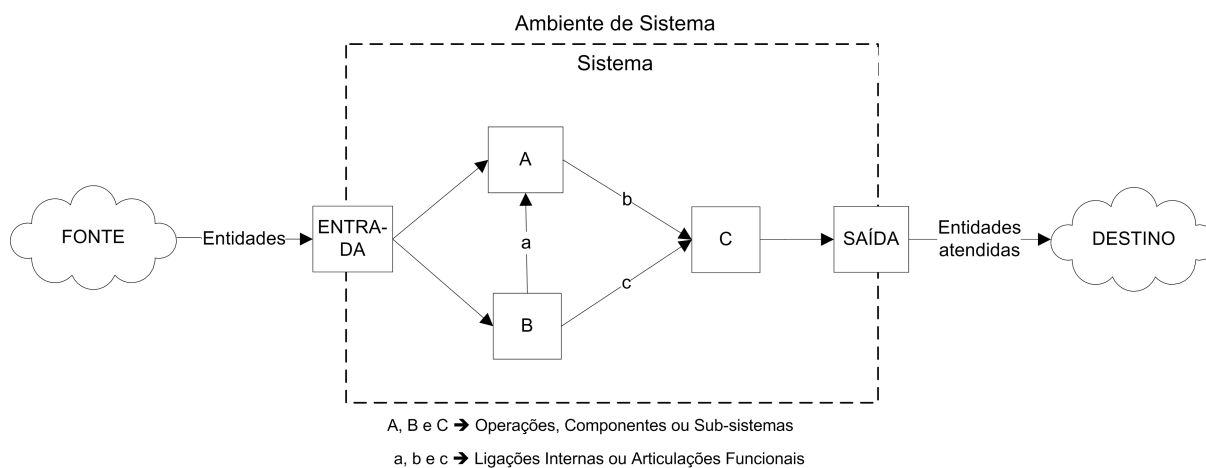
É dado o nome de **sistema** ao grupo de objetos que interagem de forma a alcançar um propósito comum. É fácil notar que o seu comportamento varia em função da dinâmica nas relações entre seus elementos. No entanto, vale ressaltar que é possível que estes elementos têm eventualmente seu comportamento afetado por algumas variações ocorridas fora do sistema. O conjunto de variações externas que afetam os objetos do sistema é chamado de **ambiente de sistema**.

Para estudar um sistema é necessário entender esta distinção e determinar de forma clara o limite entre o sistema e o ambiente em que está inserido (BANKS *et al.*, 2004). É necessário, durante a concepção do estudo, determinar o que faz parte do sistema e o que será considerado parte do ambiente de sistema. Esta decisão pode depender, entre outros fatores, do propósito do estudo, da complexidade que se deseja, ou da dificuldade de obter informações sobre determinados aspectos.

Como exemplo, a figura 2 mostra um sistema de forma esquemática.

Figura 2. Sistema Hipotético

Fonte: O Autor, baseado em Vidal e Carvalho (2008)



2.3. MODELO DE UM SISTEMA

Algumas vezes, é interessante estudar o sistema para entender as relações entre os seus componentes ou para prever como o sistema irá operar sob uma política diferente (BANKS *et al.*, 2004). Todavia, para realizar tal estudo, nem sempre é possível colocar em prática modificações experimentais no próprio sistema, devido às conseqüências dessas alterações em sistemas reais, além da inviabilidade econômica ou técnica de criar um sistema novo apenas para analisar o seu comportamento.

Portanto, os estudos de sistemas são geralmente realizados através de uma representação conhecida como **modelo**. O modelo é, por definição, uma simplificação do sistema, contendo estritamente os elementos que afetem de alguma forma o problema em estudo. Por outro lado, deve contar com um detalhamento que seja suficiente para possibilitar a validação das deduções realizadas (BANKS *et al.*, 2004).

2.4. TIPOS DE MODELOS

Modelos são classificados de diversas formas. Em um primeiro plano, os modelos podem ser **físicos** ou **matemáticos**. Um modelo de simulação é um caso particular de um modelo matemático, uma vez que é caracterizado por notação simbólica e equações matemáticas (BANKS *et al.*, 2004).

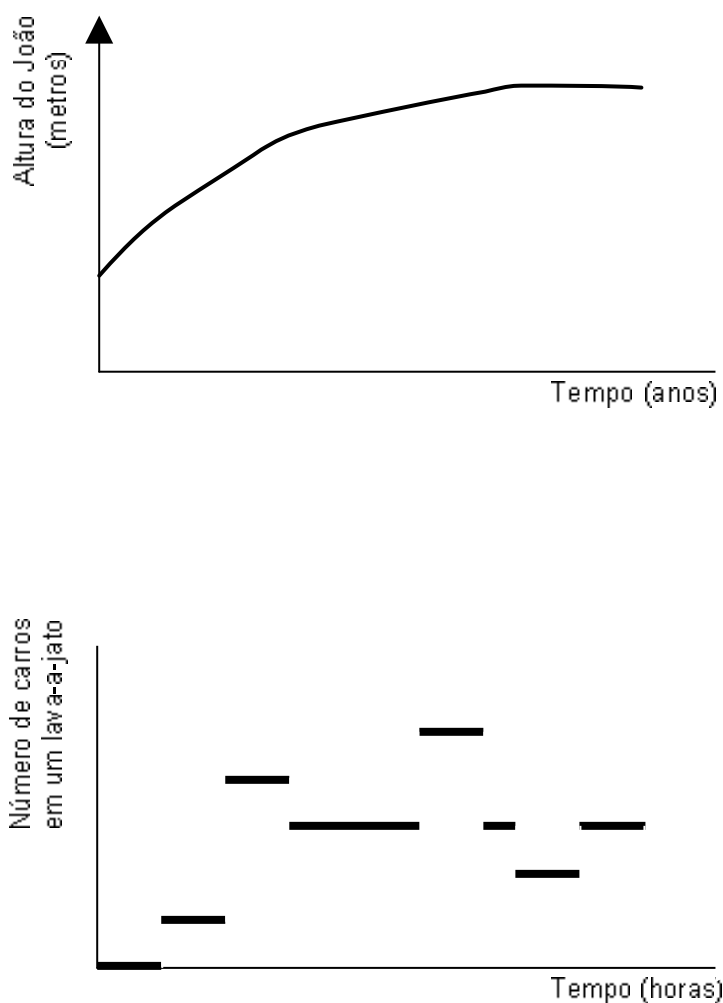
Mais especificamente, modelos de simulação podem ser classificados como **estáticos** ou **dinâmicos**, de acordo com sua relação com o tempo. Um modelo estático é aquele que representa o sistema em um instante específico, enquanto um modelo dinâmico é caracterizado por representar o comportamento do sistema ao longo de um intervalo determinado de tempo.

Outra classificação é quanto à aleatoriedade. Um modelo pode ser **determinístico**, caso não possua variáveis com comportamento probabilístico, ou pode ser **estocástico**, caso uma ou mais destas variáveis estejam presentes.

Finalmente, assim como os sistemas, os modelos de simulação podem ser classificados como **contínuos** ou **discretos**. Law e Kelton (2000), *apud* Banks *et al.* (2004), ressaltam que poucos sistemas reais são totalmente discretos ou totalmente contínuos, o que torna necessário que a classificação seja realizada de acordo com a forma predominante de mudança das variáveis de estado, aquelas que descrevem os objetos de estudo. Portanto, um sistema contínuo é aquele no qual as variáveis de estado mudam predominantemente de forma contínua no tempo, enquanto, caso predominem mudanças que ocorrem de forma discreta, o sistema é considerado discreto.

Figura 3. Interpretação Gráfica de um Sistema Contínuo

Fonte: O Autor



Os modelos de simulação são classificados de forma análoga aos sistemas, podendo ainda ser considerados **mistos** quando forem observadas ambas as formas de mudança em suas variáveis no tempo.

Parece óbvio que um modelo discreto é utilizado para simular sistemas nos quais o estado altera em pontos discretos de tempo, enquanto um modelo contínuo é aplicado para um sistema em que tais mudanças ocorrem de forma contínua. Entretanto, Banks *et al.* (2004) ressalta que um modelo discreto não será necessariamente o mais adequado para representar um sistema discreto, nem um modelo contínuo será sempre a melhor representação de um sistema contínuo. O tipo de modelo deve ser escolhido cuidadosamente de acordo, também, com os objetivos do estudo, e não só com as características do sistema.

2.5. SIMULAÇÃO DE SISTEMAS DE EVENTOS DISCRETOS

A simulação de sistemas de eventos discretos corresponde, então, ao estudo de sistemas utilizando modelos nos quais as variáveis de estado mudam apenas em instantes discretos de tempo. Segundo Banks *et al.* (2004) os modelos deste tipo são analisados empregando métodos numéricos em vez de métodos analíticos. **Métodos analíticos** utilizam a matemática para encontrar uma solução para o problema, enquanto **métodos numéricos** utilizam procedimentos computacionais. Modelos de simulação são **executados** em vez de **resolvidos**, o que significa que um histórico artificial do sistema é gerado e observações são coletadas para serem analisadas e, só então, obter estimativas para as medidas de desempenho do sistema. O conteúdo gerado por este histórico varia de modelo para modelo de acordo os objetivos do estudo.

Em simulação de eventos discretos, o sistema é modelado em termos do seu estado ao longo do tempo, das entidades que passam pelo sistema, das entidades que representam seus recursos e das atividades e eventos que provocam as suas alterações de estado (BANKS *et al.*, 2004).

2.6. CONCEITOS

Alguns conceitos importantes em simulação são apresentados a seguir. A terminologia foi definida pelo autor deste trabalho e é inspirada pelo que foi oferecido em Banks *et al.* (2004), mas vale ressaltar que outros autores podem adotar termos diferentes.

- **Sistema:** Um conjunto de entidades que interagem ao longo do tempo para obter resultados comuns.

- **Modelo:** Uma representação abstrata de um sistema, geralmente contendo relações estruturais, lógicas e matemáticas que descrevem o sistema.
- **Estado de sistema:** Uma coleção de variáveis que contêm toda informação necessária para descrever o sistema em um determinado instante.
- **Entidade:** Qualquer objeto ou componente do sistema que exija representação explícita no modelo.
- **Atributos:** As propriedades de uma entidade, ou seja, características da entidade que influem de alguma forma no sistema.
- **Fila:** Uma coleção permanente ou temporária de entidades associadas, ordenadas de forma lógica.
- **Evento:** Uma ocorrência instantânea que altera o estado do sistema.
- **Aviso de Evento:** Registro que carrega as informações necessárias para a ocorrência futura de um evento.
- **Fila de Eventos:** Uma lista de Avisos de Eventos ordenada de forma lógica contendo registros da seqüência dos eventos futuros.
- **Atividade:** Intervalo de tempo de comprimento conhecido a partir do momento em que é iniciada. Sua duração pode ser definida de forma determinística, em termos de distribuição estatística, em função de atributos de variáveis e entidades ou em função do estado do sistema no instante do seu início.
- **Tempo de Espera:** Intervalo de tempo de comprimento desconhecido até o momento em que termina. Ao contrário da atividade, sua duração não é determinada, mas depende das condições apresentadas pelo sistema em seu decorrer.
- **Clock:** Variável que representa o próprio tempo simulado.

2.7. MODELOS ESTATÍSTICOS

Existem poucos fenômenos no mundo real em que se pode predeterminar com exatidão o comportamento sistema. Pode-se dizer que em sua maioria os sistemas reais são estocásticos, e não determinísticos, uma vez que sofrem alterações de forma probabilística. Portanto, é necessário o uso de **modelos estatísticos** para descrever as variáveis do sistema.

Através de amostragem apropriada, é possível determinar a distribuição dos dados e estimar os parâmetros. Esses parâmetros estão entre os principais *inputs* para diversos estudos de sistemas, entre eles os que utilizam modelos de simulação. Devido à sua importância nesses casos, tanto as distribuições quanto os seus parâmetros devem ser cuidadosamente testados e avaliados para garantir que sua aplicação propicie um modelo que apresente o comportamento mais semelhante possível ao do sistema real.

Os itens a seguir mostram alguns conceitos em modelos estatísticos desenvolvidos pelo autor, baseado no que é apresentado por Triola (2005), Spiegel (1977), Banks *et al.* (2004) e Montgomery (2004).

2.7.1. Variáveis aleatórias discretas.

Seja X uma variável aleatória. Se em um intervalo de a a b , sendo $a \neq b \neq \pm\infty$, está contido um número finito de valores possíveis para X então é possível afirmar que X uma **variável aleatória discreta**.

Para cada um dos valores de X que se pode enumerar ($x_1, x_2, x_3 \dots$) existe um valor $p(x_i) = P(X = x_i)$, que representa a probabilidade de o valor da variável X seja igual ao valor x_i . O conjunto de todos os pares $(x_i, p(x_i))$ possíveis forma a **distribuição de probabilidade** de X , e $p(x)$ é considerada a **função de massa de probabilidade** ou *pmf*.

Uma vez que representa a probabilidade de que X assumo o valor x_i então $p(x_i)$ deve satisfazer às seguintes condições:

- $p(x_i) \geq 0$, para qualquer i (1)

- $\sum_{i=0}^{\infty} p(x_i) = 1$ (2)

2.7.2. Variáveis Aleatórias Contínuas

Seja X uma variável aleatória. Se em um intervalo de a a b , sendo $a \neq b \neq \pm\infty$, está contido um número infinito de valores possíveis para X então é possível afirmar que X uma **variável aleatória contínua**.

A probabilidade de a variável X assumir um valor x , contido no intervalo $[a, b]$, é representada pela expressão

$$P(a \leq x \leq b) = \int_a^b f(x) dx \quad (3)$$

onde a função $f(x)$ é chamada de **função de densidade de probabilidade** ou *pdf*.

Assim como a *pmf*, esta função também deve satisfazer algumas condições:

- $f(x) \geq 0$ para qualquer x (4)

- $\int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx = 1$ (5)

- $\int_a^b f(x) dx = 0$ se $a = b$ (6)

2.7.3. Função de Distribuição de Probabilidade Cumulativa

A função que representa a probabilidade de a variável X assumir um valor menor ou igual a x é chamada de **função de distribuição de probabilidade cumulativa** ou *cdf*, o que corresponde a $F(x) = P(X \leq x)$.

Se X for uma variável discreta, então

$$F(x) = \sum_{x_i \leq x} p(x_i) . \quad (7)$$

Já se X for uma variável contínua, então

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(t) dt . \quad (8)$$

A função de distribuição de probabilidade cumulativa possui algumas propriedades:

- $F(x)$ é não-decrescente. Se $a < b$ então $F(a) \leq F(b)$ (9)

- $\lim_{x \rightarrow \infty} F(x) = 1$ (10)

- $\lim_{x \rightarrow -\infty} F(x) = 0$ (11)

2.7.4. Esperança Matemática e Medidas de Dispersão

A **esperança matemática** é a medida de tendência central da variável aleatória. Denotada por $E(X)$ representa o **valor esperado** da variável X .

Se X é uma variável discreta então

$$E(X) = \sum_{i=0}^{\infty} x_i p(x_i). \quad (12)$$

Se X é uma variável contínua então

$$E(X) = \int_{-\infty}^{\infty} xf(x) dx. \quad (13)$$

Existe ainda a grandeza **variância** que mede a dispersão ou variação dos dados em torno do valor esperado $E(X)$. Denotada por $V(X)$ ou por s^2 , pode ser representada pela expressão

$$V(X) = E[(X - E(X))^2] = E(X^2) - [E(X)]^2. \quad (14)$$

Outra medida de dispersão é o **desvio padrão**, que tem a particularidade de ser expresso nas mesmas unidades que $E(X)$. Denotado pelo símbolo s , é definido por ser a raiz quadrada da variância, ou seja,

$$s = \sqrt{V(X)}. \quad (15)$$

2.7.5. Moda

A **moda**, geralmente denotada por M , é o valor que ocorre maior frequência para a variável aleatória. Apesar de ser mais comumente utilizada para variáveis discretas, também pode ser utilizada para variáveis contínuas, indicando, nesses casos o valor no qual a função de densidade de probabilidade da variável aleatória é maximizada.

A moda não é necessariamente única. Caso dois ou mais valores para a variável apareçam com a mesma frequência máxima, a distribuição é considerada **multimodal**.

2.8. ALGUMAS DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE

De acordo com Gaither e Frazier (2002), é possível afirmar que as distribuições de probabilidade mais importantes para modelos de filas são a **distribuição exponencial** e a **distribuição de Poisson**. Esta afirmação pode ser comprovada pelo que foi proposto por

Banks et al. (2004) e Prado (2004), e por estudos apresentados por Morabito e Lima (2000), Silva (2005) e Contri (2007).

Além das duas distribuições mencionadas, a **distribuição lognormal** é considerada relevante para descrever tempos de trabalhos manuais e que requerem altos recursos cognitivos como afirmam Knott, Chandra e Emory (1987), *apud* Pyles (2005).

Reunindo o que foi oferecido por Kiemele, Schmidt e Bernine (2000), Montgomery e Runger (2003), Montgomery (2004) e Banks *et al.* (2004) é possível descrever estas distribuições, consideradas pelo autor como sendo relevantes para este trabalho de conclusão de curso.

2.8.1. Distribuição Exponencial

Distribuição de probabilidade contínua largamente aplicada para representar tempo ou espaço entre ocorrências (KIEMELE; SCHMIDT; BERDINE, 2000). É utilizada na modelagem de intervalos entre chegadas, tempos de atendimento, vida útil de equipamentos, entre outros.

Sua função de densidade de probabilidade é representada pela expressão

$$f(x) = I e^{-Ix} \quad (16)$$

para $x \geq 0$ e $I > 0$, onde o parâmetro I pode ser interpretado como sendo a taxa de ocorrência do evento modelado. A partir do parâmetro I podem ser determinadas a média e a variância:

$$m = \frac{1}{I} \quad (17)$$

$$s^2 = \frac{1}{I^2} \quad (18)$$

A distribuição exponencial acumulada também é muito importante, por exemplo, para problemas em que se deseja inferir acerca da probabilidade de ocorrência de um evento até um determinado instante $x = a$. Ela pode ser originada conforme mostrado no item 7.3, chegando à expressão

$$F(a) = P(x \leq a) = \int_0^a I e^{-It} dt = 1 - e^{-Ia}. \quad (19)$$

Figura 5. Gráfico da distribuição exponencial

Fonte: O Autor

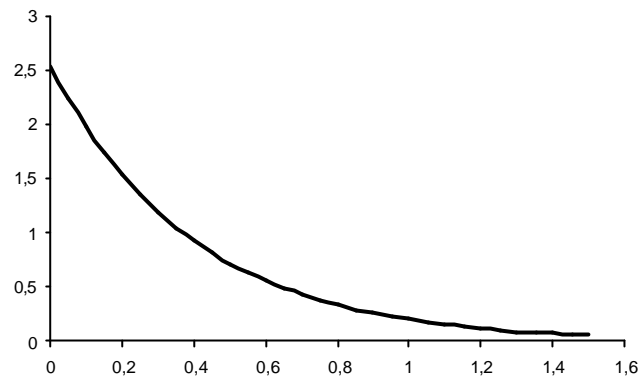
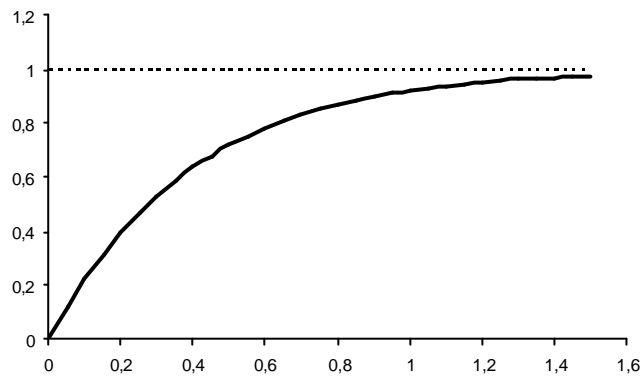


Figura 6. Gráfico da distribuição exponencial acumulada

Fonte: O Autor



2.8.2. Distribuição de Poisson

Distribuição de probabilidade discreta utilizada para representar a ocorrência de eventos discretos em um determinado intervalo contínuo de tempo ou de espaço. O número de falhas em equipamentos e as chegadas e partidas de entidades podem ser citados como exemplos para esta distribuição (KIEMELE; SCHMIDT; BERDINE, 2000).

Possui função de massa de probabilidade da distribuição de Poisson é indicada pela expressão

$$p(x) = \frac{e^{-a} a^x}{x!} \quad (20)$$

para $x \geq 0$ e $a > 0$, onde o parâmetro a corresponde ao valor da média (m) de ocorrências discretas por intervalo unitário contínuo. Uma peculiaridade desta distribuição é que a média têm o mesmo valor que a variância, já que esta também é representada pelo parâmetro a , ou seja,

$$m = a \quad (21)$$

$$s^2 = a . \quad (22)$$

A distribuição cumulativa de Poisson é indicada pela expressão abaixo:

$$F(x) = \sum_{i=0}^x \frac{e^{-a} a^i}{i!} . \quad (23)$$

Figura 7. Gráfico da distribuição de Poisson

Fonte: O Autor

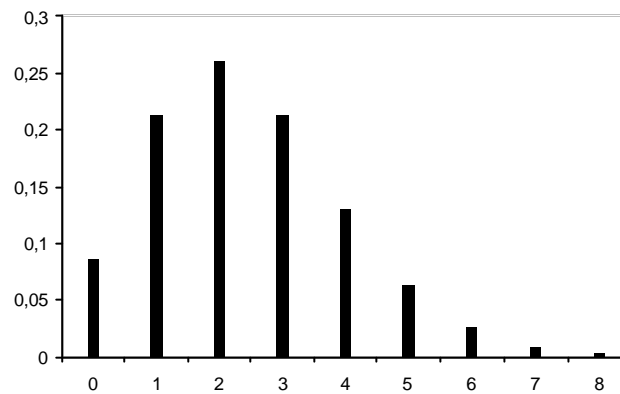
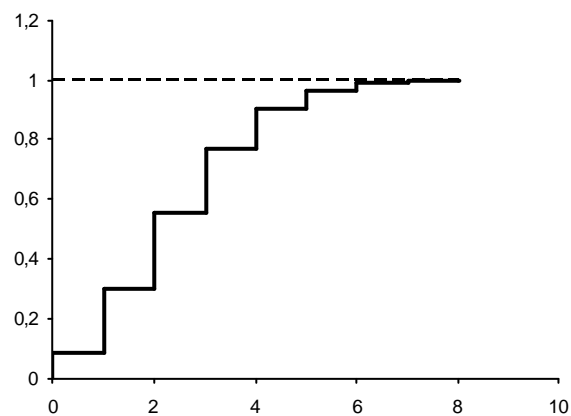


Figura 8. Gráfico da distribuição de Poisson acumulada

Fonte: O Autor



2.8.2.1. O Processo de Poisson

Montgomery (2004) demonstra matematicamente que, para um sistema no qual os eventos ocorrem de acordo com uma distribuição de Poisson, os intervalos de tempo entre as ocorrências são distribuídos exponencialmente. Portanto, é possível afirmar que a distribuição exponencial e a de Poisson estão diretamente interligadas, numa relação que é chamada de **Processo de Poisson**.

Sendo assim, uma distribuição exponencial cujos eventos acontecem em intervalos de magnitude média igual a $\frac{1}{I}$ tem suas ocorrências distribuídas conforme um processo de Poisson com uma taxa média de I . O parâmetro I da distribuição exponencial pode, então, ser considerado como o parâmetro do processo de Poisson.

Uma importante característica do processo de Poisson é a presença do fenômeno da **perda de memória**. Isso quer dizer que a probabilidade de ocorrência em um determinado intervalo de tempo depende apenas do tamanho deste intervalo, ignorando os eventos passados.

2.8.3. Distribuição Lognormal

Distribuição de probabilidade contínua utilizada quando uma variável x segue a relação exponencial $x = e^w$ ou $x = \exp(w)$, onde w é uma variável aleatória com distribuição normal. Seus parâmetros são q e w^2 , respectivamente a média a variância de $w = \ln(x)$. A média e a variância da distribuição lognormal são determinadas a partir desses parâmetros, como pode ser observado a seguir (MONTGOMERY; RUNGER, 2003):

- Média: $E(X) = e^{q + w^2 / 2}$; (24)

- Variância: $V(X) = e^{2q + w^2} (e^{w^2} - 1)$. (25)

Figura 9. Gráfico da distribuição Lognormal

Fonte: O Autor

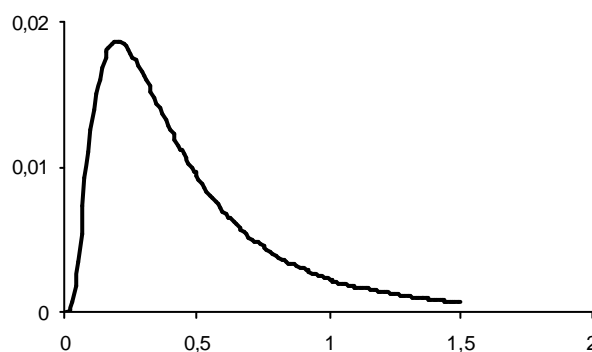
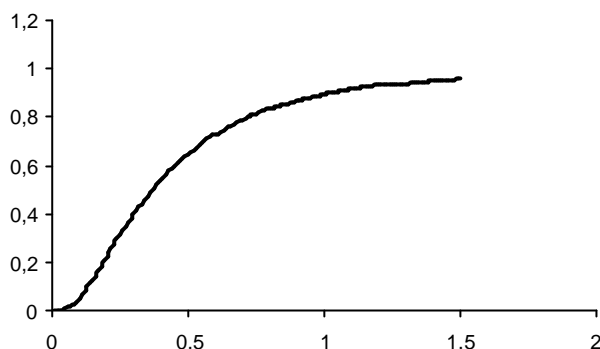


Figura 10. Gráfico da distribuição Lognormal acumulada

Fonte: O Autor



2.9. MODELO ESTATÍSTICO DE FILAS

Existem diversas circunstâncias nas quais, no decorrer da simulação, surge a necessidade de introduzir eventos probabilísticos. Este tipo de situação requer a geração de variáveis aleatórias utilizando, preferencialmente, uma distribuição de probabilidade conhecida, à qual dá-se o nome de **modelo estatístico**.

Um dos modelos estatísticos mais conhecidos é o **modelo de filas**. Para a análise deste tipo de modelo, duas técnicas são mais conhecidas e mais freqüentemente empregadas. Uma delas é a **Teoria de Filas**, um conjunto de modelos matemáticos que estimam, com o uso de fórmulas, algumas medidas de performance do sistema. A outra técnica é a simulação de eventos discretos, ferramenta explicada no item 5 deste capítulo.

Um sistema simples de filas consiste na chegada de clientes em um servidor para serem atendidos. Os **clientes** são quaisquer entidades que solicitem serviços do sistema. Os **servidores** são os recursos do sistema que fornecem o atendimento aos clientes. Uma **fila** é formada quando o servidor não possui disponibilidade imediata e alguns clientes precisam aguardar para serem atendidos.

Os modelos de filas são excelentes ferramentas para projetos de novos sistemas de filas e também para identificação de oportunidades de melhorias em sistemas existentes, fornecendo medidas de desempenho como percentual de utilização do servidor, comprimento das filas ou tempo de espera das entidades. Estas medidas podem ser estimadas em função dos parâmetros de entrada do sistema, como a taxa de chegada das entidades, as suas demandas por serviços, o tempo de atendimento e o número e configuração dos servidores. Uma vez que algumas dessas entradas estão sobre controle da administração do sistema, um modelo de fila ajuda a identificar a maneira mais adequada de utilizar os recursos existentes de forma a alcançar o melhor desempenho possível.

Modelos relativamente mais simples podem ter solução matemática utilizando técnicas de Teoria de Filas, o que representa um esforço significativamente menor do que

com a utilização de simulação. Todavia, modelos mais realistas e complexos exigem a análise de um histórico artificial gerado por modelos executados (BANKS *et al.*, 2004).

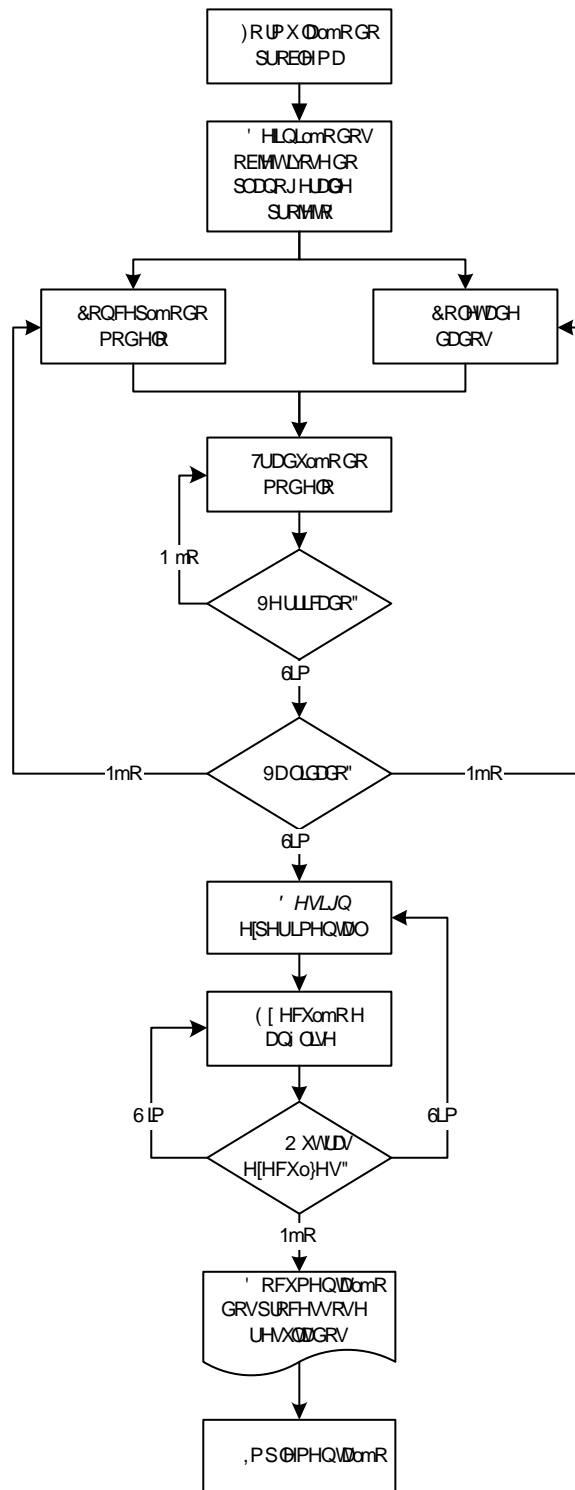
Alguns elementos importantes de um sistema de filas são descritos a seguir:

- **População:** Conjunto de clientes em potencial do sistema. A população pode ser finita ou infinita.
- **Capacidade:** Quantidade máxima de clientes no sistema, em atendimento ou em fila. Esta capacidade também pode ser considerada finita ou infinita.
- **Processo de Chegada:** Sistemática que indica o intervalo entre as chegadas subseqüentes dos clientes no sistema. As chegadas podem ser agendadas ou em instantes aleatórios, assim como os clientes podem chegar um por vez, ou em grupos de tamanho constante ou aleatório. Para sistemas de população finita existe um parâmetro denominado **tempo de ciclo**, que representa o intervalo entre o final do atendimento do cliente e a sua próxima solicitação por serviço, ou seja, da sua saída do sistema até o seu retorno. Este parâmetro pode também ser constante ou aleatório, caso em que são aplicadas distribuições de probabilidade.
- **Comportamento da Fila:** Ações dos clientes quando à espera por atendimento em uma fila. Eles podem desistir de entrar no sistema por considerar a fila muito longa, deixar a fila por perceber que a mesma está se movendo muito devagar ou trocar constantemente de uma fila para outra na qual acredita chegará mais rapidamente o momento de seu atendimento.
- **Disciplina da Fila:** Ordem lógica que determina qual é a seqüência de atendimento dos clientes em fila. As mais comuns são FIFO (primeiro cliente que chega é o primeiro a ser atendido), LIFO (último que chega é o primeiro a ser atendido) e por prioridade de atendimento.
- **Tempo de Atendimento:** Intervalo de tempo entre o início e o término da prestação de serviço ao cliente. Pode ser constante, variar aleatoriamente ou em função de outras variáveis, como tipo de cliente, horário ou comprimento da fila.
- **Mecanismo de Atendimento:** Número e configuração dos servidores. Os sistemas de filas podem possuir um, múltiplos ou até mesmo infinitos servidores. Estes podem estar em seqüência ou paralelo.

2.10. METODOLOGIA

O fluxograma da figura 11 apresenta de forma esquemática os “Passos em um Estudo de Simulação” de Banks *et al.* 2007, mencionados anteriormente como a referência para a metodologia adotada neste trabalho. Cada um dos doze passos é detalhado nos próximos itens.

Figura 11. Passos em um Estudo de Simulação
Fonte: Banks et al. (2004) traduzido pelo Autor



Passo 1. Formulação do Problema

Um estudo de simulação deve ser iniciado com uma descrição do problema, uma vez que é importante caracterizar a situação atual para possibilitar a continuidade do trabalho.

Passo 2. Definição dos Objetivos e do Plano Geral de Projeto

A etapa posterior à formulação do problema que define não só quais são as questões a serem respondidas com o estudo, mas também se a simulação é melhor forma de respondê-las e quais recursos serão necessários para o projeto.

Passo 3. Concepção do Modelo

O modelo deve ser construído tomando-se por base as características principais do problema. Inicialmente, deve ser um modelo simples, cujo nível de detalhamento vai aumentado gradativamente, sem, no entanto, exceder a complexidade necessária para cumprir os propósitos do modelo.

Passo 4. Coleta de Dados

Nesta etapa são coletados os dados necessários para a construção do modelo. O tipo de dado a ser coletado será definido, sobretudo, pelos objetivos almejados com o estudo. O número de variáveis aumenta de acordo com a complexidade do modelo e o tamanho da amostra aumenta quanto maior for a precisão desejada.

Passo 5. Tradução do Modelo

Devido à necessidade de geração e armazenamento de grande volume de informações, o modelo deve ser traduzido para linguagem computacional, mais especificamente para linguagem de simulação ou *softwares* especializados. Esta tradução, também chamada de programação, reduz ainda o tempo de desenvolvimento e processamento do modelo.

Passo 6. Verificação

Uma vez traduzido, o modelo computacional deve ser verificado para garantir o seu funcionamento apropriado. Se forem identificadas falhas ou *bugs*, a tradução do modelo deve ser revista. Caso não sejam identificados problemas, sobretudo na estrutura lógica, a etapa pode ser considerada concluída.

Passo 7. Validação

Para que seja aperfeiçoado, o modelo deve ser comparado com o sistema real, analisando as discrepâncias em termos de comportamento. Tal processo deve ser repetido até que a aproximação desejada seja alcançada, respeitando a complexidade planejada no momento da concepção.

Passo 8. *Design Experimental*

As características das alternativas ao sistema real devem ser determinadas neste passo, levando em consideração, entre outros aspectos, os resultados das simulações previamente realizadas.

Passo 9. Execuções e Análises

Algumas simulações devem ser executadas e analisadas a fim de avaliar a performance das alternativas propostas.

Passo 10. Outras Execuções

A partir da análise das execuções realizadas, deve ser determinado se é ou não necessário realizar simulações adicionais para se chegar às conclusões desejadas.

Passo 11. Documentação dos Processos e Resultados

Um estudo de simulação deve ser bem documentado, tanto com relação à sua elaboração quanto com relação aos resultados alcançados. A documentação dos trabalhos de programação do modelo é de grande importância, não só para que seja possível alterar o sistema e seus parâmetros no futuro, como para aumentar a credibilidade do projeto.

No que tange aos resultados, deve ser feito um relatório claro e objetivo contendo todos os aspectos identificados na simulação e julgados relevantes no sistema.

Passo 12. Implementação

O sucesso deste passo depende diretamente de como transcorreram os passos anteriores. De forma especial, é preciso que o usuário do modelo tenha boa informação sobre a sua construção, seja por ter participado das etapas anteriores ou por ter estudado profundamente os relatórios. Mesmo caso todas as demais etapas tenham sido realizadas satisfatoriamente, se o usuário tiver pouco conhecimento sobre o funcionamento lógico do modelo a sua implementação será comprometida.

Capítulo III

A EMPRESA E O RETRABALHO

3.1. O SETOR AUTOMOBILÍSTICO NO BRASIL

Apesar da presença de algumas montadoras no início do século XX, diz-se que a indústria automobilística brasileira surgiu com formalização do Geia (Grupo de Executivos da Indústria Automobilística) por Juscelino Kubitschek em 1956, seu primeiro ano como presidente da república.

Em sua publicação especial sobre os 50 anos da indústria automobilística brasileira, a ANFAVEA – Agência Nacional de Fabricantes de Veículos Automotores – traz informações interessantes sobre a história do setor. Incluindo autopeças, o setor automotivo apresentou receita de US\$ 42,3 bilhões em 2005, sendo US\$ 18,1 bilhões provenientes de exportações, gerando um saldo de comércio exterior positivo de US\$ 9,6 bilhões. Também em 2005, a produção e a comercialização de veículos recolheram R\$ 21 bilhões aos cofres públicos. Meio século após seu surgimento, havia 45 diferentes plantas de montadoras de veículos espalhadas por sete estados e 26 municípios, totalizando, em 2006, uma capacidade instalada de 3,5 milhões de veículos e 98 mil máquinas agrícolas, empregando direta e indiretamente 1,3 milhão de pessoas.

A ANFAVEA (2006) afirma ainda que a indústria automotiva brasileira demonstra ter alcançado, neste século, um nível elevado de tecnologia, marcado pela aceitação mundial dos primeiros modelos projetados no país. Se não bastasse, o Brasil é um dos poucos países no mundo com capacitação tecnológica para exportar serviços de engenharia, e o faz a preços de trabalho extremamente competitivos, segundo a agência.

O setor de produção automotiva brasileiro reúne excelentes condições de despontar entre os líderes do mercado mundial. Para isso, o desafio é utilizar as bases consolidadas, alcançando patamares cada vez maiores de desenvolvimento (ANFAVEA, 2006).

3.2. A MERCEDES-BENZ

A história da Mercedes-Benz se confunde com a história do próprio automóvel. Denominada inicialmente de Daimler-Benz AG, a empresa nasceu em 1926 da união das empresas Daimler e Benz & Cia, a primeira fundada por Gottlieb Daimler e Wilhelm Maybach e a outra por Karl Benz. Estes três são considerados os pioneiros da motorização veicular mundial, responsáveis pela construção dos primeiros automóveis motorizados do mundo.

A marca Mercedes é um pouco mais antiga. Em 1900, o comerciante alemão apaixonado por automobilismo Sr. Emil Jellinek, encomendou à Daimler, da qual era cliente fiel, um automóvel que fosse batizado como Mercedes, nome de sua filha e considerado por

ele sinônimo de sorte. Posteriormente, Mercedes foi registrado como marca, e Jellinek passou não só a ser seu revendedor, mas também participava constantemente do projeto dos veículos, sugerindo modificações que contribuiriam para a conquista do mercado.

Mais de sete décadas depois, em novembro de 1998, a Daimler-Benz e a Chrysler, fabricante americana de automóveis, fundiram suas operações dando origem à DaimlerChrysler AG. Em 2006, a empresa possuía mais de 380.000 funcionários produzindo para mais de 200 países em torno de 4 milhões de veículos de marcas como Mercedes-Benz, Jeep, Dodge, Chrysler, Smart entre outras (KRONENBERG, 2006). A fusão foi desfeita no ano de 2007, e a marca Mercedes-Benz passou a pertencer ao grupo Daimler AG, com sede na Alemanha.

3.3. NO BRASIL E EM JUIZ DE FORA

A história da fabricação de veículos Mercedes-Benz no Brasil começa em 1953 quando, após análises do mercado brasileiro, a construção da unidade de São Bernardo do Campo teve início. Inaugurada por Juscelino Kubitschek em 1956, a unidade opera até os dias hoje. Lá são fabricados caminhões, plataformas e chassis de ônibus, além de motores, eixos e outras peças, comercializadas com mais de 30 países.

Em 1979, foi fundada a unidade de Campinas, dedicada a atividades de pós-venda, como comercialização de peças assistência técnica, além contar com um centro de desenvolvimento e treinamento de concessionários.

A terceira unidade da Mercedes-Benz no Brasil fica em Juiz de Fora e corresponde ao estudo de caso deste trabalho. Sua história começa em 1998, quando a cidade mineira inaugura a primeira montadora de automóveis de passeio da marca fora da Alemanha. A Manchester Mineira foi escolhida devido ao potencial de mão-de-obra qualificada, às isenções fiscais e à localização geográfica estratégica. Além da proximidade com os principais centros comerciais do país, a infra-estrutura de transporte rodoviário e ferroviário da cidade possibilita fácil acesso ao Porto do Rio de Janeiro e ao Porto Seco EADI – Estação Aduaneira do Interior (KRONENBERG, 2006). A unidade ocupa uma área de 2,80 milhões m², 1,38 milhões dos quais são área de preservação ambiental, e conta com aproximadamente 1.400 funcionários, além de cerca de 500 terceiros residentes.

Foi montado no ano de 1999 o primeiro carro na unidade, o modelo compacto Classe-A (Figura 12), voltado para o mercado interno. Segundo Kronenberg (2006), a curva de produção foi ascendente até 2000 quando se estabilizou em 120 carros por dia (8.168 por ano), e, posteriormente, foi reduzindo a até chegar a 27 carros por dia em 2005, quando deixou de ser fabricado na unidade.

Figura 12. Classe-A

Fonte: Imagem fornecida pela Mercedes-Benz



Devido às vendas inexpressivas do Classe-A, em 2001 foi iniciada a produção do modelo Classe-C, planejada inicialmente em 80 unidades diárias destinada a suprir à demanda latente do mercado americano. A produção deste *sedan* de luxo foi realizada em CKD (*Completely Knocked Down*), o que significa que os veículos vêm da Alemanha desmontados, embalados em *kits*, e são montados no Brasil. Este novo regime de produção estimulou a estruturação de instalações completamente manuais, com exceção da pintura, que compartilhava a instalação original. A fabricação do Classe-C em Juiz de Fora cessou em 2004 e voltou em 2005 produzindo algumas unidades do novo modelo, após tentativa inviabilizada de montar na cidade o utilitário esportivo Smart (KRONENBERG, 2006).

Passado um ano sem produção, em 2007 a unidade de Juiz de Fora monta 8.349 unidades do modelo esportivo CL Sport Coupé (Figura 13), também voltado exclusivamente para exportação. Diferentemente do Classe-C, o *coupé* esportivo era fabricado em regime *Part-By-Part* (peça por peça), no qual os componentes dos veículos chegam na planta de forma separada. Para a sua produção, a fábrica de Juiz de Fora recebeu equipamentos de outras unidades da Daimler e passou por adaptações em suas linhas de Montagem Bruta, Pintura e Montagem Final.

Com a produção do CL, a planta de Juiz de Fora abre as portas para a chegada, em 2008, do novo modelo que é fabricado atualmente na planta: o CLC (Figura 14). Lançado para substituir a série G-Sportscoupé, trata-se basicamente de uma nova versão do CL, conservando alguns aspectos do modelo antigo, além de contar com a tecnologia dos demais veículos da marca. Incluindo os itens opcionais e as cores, o CLC apresenta mais de 1.200 variantes possíveis. O projeto inicial contempla produzir 152 veículos por dia, totalizando 91.000 unidades até 2011, e começará a ser comercializado no mercado

Brasileiro em janeiro de 2009. É a partir de dados de produção do CLC que este trabalho será desenvolvido.

Figura 13. CL Sport Coupé

Fonte: Fast Driver



Figura 14. CLC

Fonte: Imagem fornecida pela Mercedes-Benz



3.4. A MONTAGEM E O PROCESSO DE PINTURA

Os itens a seguir oferecem algumas descrições dos processos envolvidos em uma montadora de automóveis. Também são apresentadas algumas particularidades observadas na planta da Mercedes-Benz em Juiz de Fora.

3.4.1. Montagem Bruta

A manufatura de automóveis inicia-se com a montagem da carroçaria bruta, processo conhecido como Montagem Bruta. Zago (2006) define a carroçaria bruta, assim denominada antes de passar pelos processos de proteção corrosiva e pintura, como sendo um componente do veículo desenvolvido para suportar todos os demais, tanto os que compõem o habitáculo de passageiros quanto os que compõem o trem de força. Segundo Zago (2006), sua montagem acontece pela junção de seus elementos, compostos principalmente por chapas de aço, através de operações de união, como soldagem, colagem, conformação e rebordagem.

Na Montagem Bruta da planta da Mercedes-Benz em Juiz de Fora, algumas operações são automáticas, realizadas por robôs, e outras são realizadas manualmente, através de pinças de solda e outras máquinas operadas diretamente pelos funcionários.

A carroçaria é um componente crítico no desenvolvimento dos veículos. É ela que dá forma ao automóvel, sendo responsável pelo apelo de *design* tão explorado no setor automotivo. Além disso, a carroçaria tem extrema importância na segurança passiva dos passageiros, devendo suportar ao máximo os impactos de possíveis colisões (ZAGO, 2006).

3.4.2. Pintura

A carroçaria bruta segue para a Pintura, a qual é dividida em dois processos: o Tratamento de Superfícies e o *Decklack* (Pintura de Acabamento).

O Tratamento de Superfícies agrupa processos que têm o objetivo de preparar a carroçaria para ser pintada. Inicialmente, é realizada a lavagem que remove, entre outras impurezas, o óleo utilizado na conservação das chapas metálicas e as limalhas de ferro geradas nos processos anteriores. Depois, é realizada a fosfatização, criando pontos de aderência favoráveis aos processos subsequentes. Em seguida, ocorre a pintura cataforética, na qual a carroçaria é imersa em um tanque de KTL (*Kathodische Tauschlackierung*), uma tinta de coloração cinza aplicada por eletrodeposição em um processo semelhante à galvanização. O KTL é a principal proteção anticorrosiva da chapa, e só é concluído após a cauterização em uma estufa. O processo seguinte é a calafetação, que corresponde à vedação das junções das chapas metálicas com uma massa de PVC de forma a evitar a infiltração de água.

Após a calafetação, a carroçaria segue para o *Decklack*, o qual, grosso modo, pode ser considerado como a pintura do veículo propriamente dita. Este processo é iniciado com a aplicação do *Primer*, um tipo de base com as seguintes funções básicas: proteger o KTL contra radiação ultravioleta, aumentar a proteção anticorrosiva da carroçaria e nivelar as chapas para melhorar a aderência da superfície. Em seguida, com a aplicação do esmalte, o veículo ganha cor, antes de ser aplicado um verniz de acabamento que dá brilho à pintura.

Para finalizar o processo de *Decklack*, existe uma área de controle na qual são identificadas possíveis imperfeições ocasionadas no processo de pintura. Antes de prosseguir, a carroçaria tem suas falhas corrigidas na área de retrabalho conforme necessidade. A pintura é finalizada com a aplicação de cera nas cavidades ocas da carroçaria, uma continuação do Tratamento de Superfície, reforçando a vedação e proteção contra corrosão nos pontos em que não se consegue aplicação de PVC.

A fábrica da Mercedes-Benz de Juiz de Fora é a pioneira na utilização de pintura a base de água, processo que propicia qualidade superior do produto final e colabora para a preservação do meio-ambiente. Para tanto, existem algumas particularidades no processo. Obviamente, os solventes orgânicos do processo tradicional são substituídos por água, assim como são utilizados tipos de *Primer* e de esmalte à base de água. Além disso, é necessária a pré-secagem do esmalte, para remoção da água antes da aplicação do verniz. A razão disso é evitar que partículas de água sejam vaporizadas rompendo a camada de verniz quando no secador ao final do *Decklack*.

3.4.3. Montagem Final

Uma vez pintada, a carroçaria é encaminhada à Montagem Final, processo no qual são montados todos os componentes do veículo. Operações de união mecânica, como encaixe e outras com o auxílio de rebites e parafusos são empregadas para a fixação dos componentes do trem de força, como os eixos, o motor e a caixa de transmissão, além de elementos como os bancos, os revestimentos, os *airbags*, os chicotes (fiação elétrica), o console central e o painel.

Para o modelo CLC, produzido em Juiz de Fora, a montagem das cerca de 1.600 peças diferentes por carro é manual na maioria dos casos, exceto por alguns robôs de aplicação de cola e de fixação do teto panorâmico (item opcional).

3.5. A ÁREA DE RETRABALHO

Conforme fora descrito anteriormente, a área de retrabalho da pintura da Mercedes-Benz de Juiz de Fora fica entre a secagem do verniz e a aplicação da cera. Existe ainda entre o secador e o retrabalho uma área intermediária, denominada “Área Branca”, com a função de identificar falhas na superfície da carroceria avaliando as necessidades de reparo ou não na pintura. Nesta área, a carroçaria é direcionada, dependendo do tipo e da gravidade da falha, a um dos quatro seguintes destinos básicos antes de prosseguir para o processo de aplicação da cera: FST, *Spot Repair*, Grandes Retrabalhos ou *In Ordnung*(IO).

No FST (*Fertigstellung*, do alemão, “finalização”) são tratados os carros que apresentam apenas falhas de pequena magnitude, para as quais não é necessária aplicação de esmalte ou verniz.

As cabines de *Spot Repair* são o destino das carroçarias que necessitam de reparos de complexidade um pouco maior, para os quais é necessária a reaplicação de esmalte ou de verniz em determinados pontos. Entre as diversas operações realizadas, a cura do verniz é a que demora maior tempo.

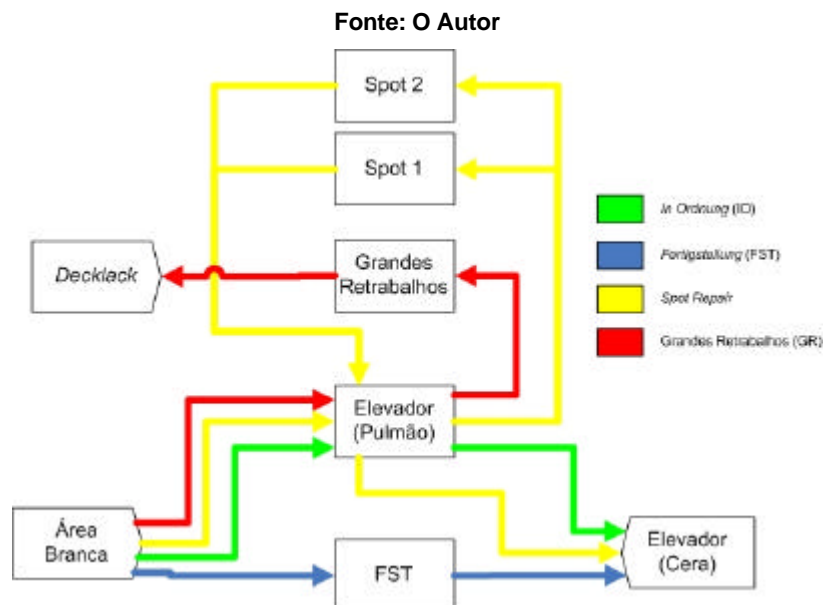
Quando as falhas ocorrem em grande número ou em pontos de difícil reparo, o carro segue para Grandes Retrabalhos, ou simplesmente GR. Neste caso, a carroçaria é lixada de forma a gerar aderência em sua superfície para que ela seja novamente encaminhada à linha de esmalte e verniz do *Decklack*, passando por um processo de repintura.

Finalmente, os carros nos quais não foram detectadas falhas são encaminhados diretamente ao elevador que leva à cera no nível inferior. Usualmente, utiliza-se a expressão IO, acrônimo de *In Ordnung* (do alemão, “em ordem”), para referir-se a estes carros.

Há ocasiões em que todas as posições de um determinado recurso de retrabalho estão ocupadas. Neste caso, para que o sistema não se congestione, as carroçarias são levadas por um elevador ao nível superior onde são armazenadas e aguardam a liberação do recurso para o qual foram destinados. Neste local, denominado ‘Pulmão’, os carros permanecem na seqüência de chegada, para que, uma vez liberado o recurso, a primeira carroçaria que entrou seja trazida pelo mesmo elevador de volta à linha de retrabalho.

A figura 15 mostra uma representação esquemática das instalações de retrabalho, representando os quatro caminhos citados e alguns aspectos relevantes.

Figura 15. Esquema das instalações de retrabalho



Mas esses percursos não são excludentes. Por exemplo, pode ser que uma carroçaria seja encaminhada às cabines de *Spot* caso os reparos no FST não tenham sido suficientes. Da mesma forma, um carro pode ser destinado para GR quando o resultado das

operações no *Spot* foi aquém do esperado. Apesar de ocorrerem com frequência relativamente baixa, estas e outras variantes são possíveis e podem perturbar o funcionamento automático do sistema.

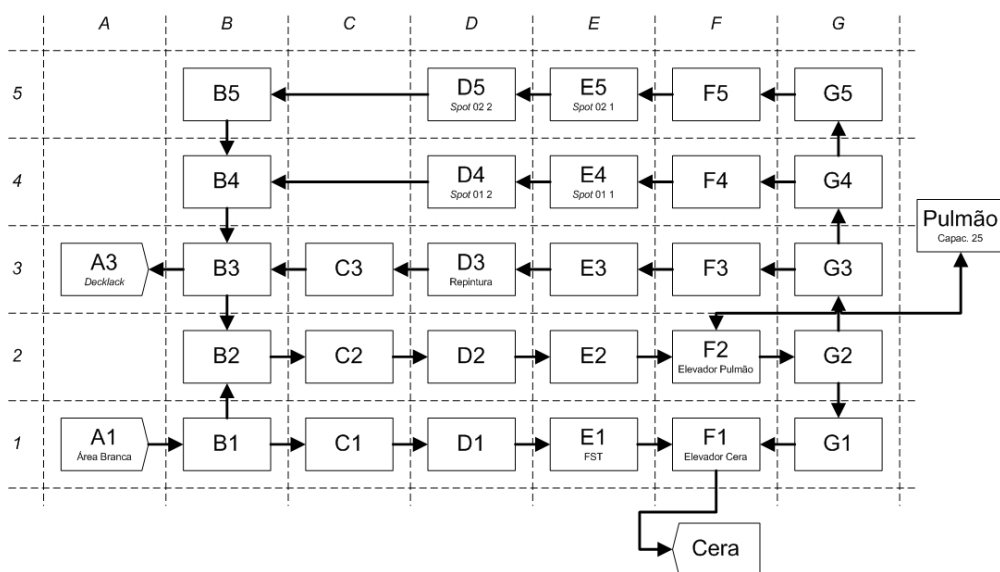
Também não há independência entre os percursos, uma vez que alguns trechos se sobrepõem e o sistema de transportadores é o mesmo para todo o processo de retrabalho. Por isso, em alguns momentos, carroçarias que percorrem diferentes caminhos precisam ocupar a mesma posição para dar continuidade às suas operações de reparo. Obviamente, cada posição no transportador pode ser ocupada por uma única carroçaria ao mesmo tempo, fazendo com que algumas destas tenham eventualmente que aguardar o esvaziamento da posição seguinte antes de se deslocarem.

Por esse motivo, algumas carroçarias têm prioridade sobre outras quando da ocupação de uma determinada posição, de maneira a prevenir congestionamentos inconvenientes e a buscar ao máximo o cumprimento do programa de produção da pintura. Estas prioridades são definidas de acordo com o potencial de atraso de cada carroçaria: quanto maior for este potencial, maior será a prioridade que a carroçaria terá de ser atendida. Essa medida busca minimizar o tempo total de permanência da carroçaria na área, com o intuito de atender no prazo os processos subseqüentes.

O arranjo físico da área de retrabalho da pintura pode ser mapeado em termos das posições nas quais as carroçarias podem ficar, seja para ser reparada, aguardar ou ser transferida para outra posição. Cada uma dessas posições tem capacidade para apenas uma carroçaria de cada vez e não podem existir filas entre elas. Para fins de estudo, as posições foram nomeadas de acordo com um plano cartesiano, como pode ser observado na figura 16, que mostra também a disposição física das posições.

Figura 16. Arranjo físico das posições da área de retrabalho

Fonte: O Autor



3.5.1. Descrição do *Spot Repair*

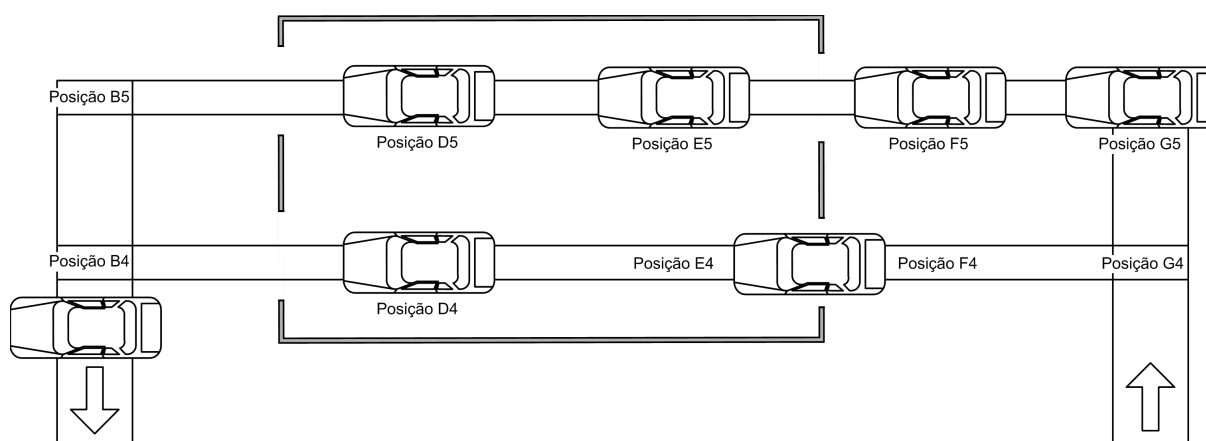
O *Spot Repair* é, atualmente, dividido em duas cabines, as quais possuem recursos para realizar as mesmas operações. Cada uma dessas cabines tem capacidade para reparar simultaneamente duas carroçarias, dispostas em série.

Com a disposição apresentada atualmente, uma vez terminada, a carroçaria que se encontra na posição anterior deve aguardar a finalização e remoção da que está à sua frente para, somente então, seguir para a saída do sistema. Sem contar o possível atraso no atendimento dos processos posteriores ao retrabalho da pintura, esta carroçaria ocupa desnecessariamente uma posição no *Spot*, a qual poderia estar sendo utilizada para reparar outro veículo.

Antes de entrar nas cabines, três carroçarias podem aguardar sobre os transportadores. São formadas duas filas, uma em cada cabine, sendo que a fila da Cabine 2 possui capacidade para duas carroçarias nas posições F5 e G5 e a da Cabine 1 possui capacidade para uma carroçaria na posição F4 (a posição G4 pode ser ocupada em casos especiais, o que foi desconsiderado deste trabalho por não ser uma situação usual). É a disponibilidade de uma posição em uma das filas que determina se uma carroçaria poderá seguir para o *Spot* ou deverá aguardar no Pulmão. Havendo disponibilidade na posição G5, por exemplo, uma carroçaria é liberada para ocupar a fila. Acontece o mesmo quando a posição F4 está disponível.

Figura 17. Layout atual do *Spot Repair*

Fonte: O Autor



Um aspecto importante é de que estas filas são independentes, ou seja, uma carroçaria que está aguardando na posição G5 só poderá ser reparada na Cabine 2, mesmo caso uma das posições D4 ou E4 estiver disponível. Da mesma forma, ainda que haja disponibilidade em D5 ou E5, a carroçaria em fila na posição F4 deverá aguardar disponibilidade na Cabine 1 para ser reparada. Isto possibilita a uma carroçaria que chegou

no *Spot* em um determinado instante seja reparada após outra, que chegou em um momento posterior. Resumindo, nem sempre a primeira carroçaria que chega ao *Spot* é a primeira a ser atendida. É evidente que esta situação não é ideal, pois possibilita um atraso maior do que o esperado para uma determinada carroçaria.

Capítulo IV

DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE

4.1. ASPECTOS GERAIS

A grosso modo, pode-se dizer que o problema da área estudada é a capacidade limitada de carroçarias no sistema em face do volume a ser retrabalhado. Por isso, foi desenvolvido um modelo que permite representar esse problema da melhor forma.

A lógica escolhida para representar a movimentação da carroçaria neste trabalho é semelhante à que é usualmente utilizada em modelos de simulação de linha férrea. Para gerar tal lógica, é utilizado o seguinte algoritmo:

1. É verificada a disponibilidade da posição seguinte à que a carroçaria ocupa;
2. Uma vez disponível, a carroçaria reserva a posição seguinte para si;
3. A carroçaria, então, desloca-se até ocupar a posição seguinte;
4. Depois de ocupada a posição seguinte, a carroçaria libera a posição em que estava inicialmente;
5. Caso seja uma posição de operação, a carroçaria a ocupa até que o reparo seja concluído.
6. Terminado o reparo, é verificada a disponibilidade da posição seguinte, reiniciando a seqüência o algoritmo.

Em alguns casos, a carroçaria reserva mais de uma das posições que irá ocupar posteriormente, para garantir que não haja congestionamento em posições nas quais, por segurança, não pode haver carroçarias aguardando disponibilidade.

Desta forma, garante-se que uma carroçaria não se choque com a que ocupa a posição seguinte e que não ocorram congestionamentos indesejáveis no sistema.

4.2. CONSIDERAÇÕES IMPORTANTES

Assim como deve ser realizado em quaisquer problemas de modelagem, diversas considerações foram realizadas no desenvolvimento deste modelo de simulação, as quais simplificam o modelo, mas não trazem prejuízos à fiel representação do sistema real. São essas considerações que definem de forma clara a fronteira entre o sistema e o ambiente de sistema. Algumas delas são citadas a seguir, enquanto outras serão mencionadas posteriormente por serem mais específicas a alguns momentos do trabalho.

4.2.1. Confiabilidade dos Recursos

Para o desenvolvimento deste trabalho, foi assumido que a disponibilidade de todos os recursos do sistema seja de 100%. Isso quer dizer que o modelo não leva em consideração possíveis quebras de equipamentos, falhas nos transportadores e elevadores, falta de material e eletricidade, acidentes de trabalho ou absenteísmo de funcionários.

Esta decisão foi tomada uma vez que tais problemas acontecem de forma aleatória e, de certa forma, fogem ao controle dos tomadores de decisão do sistema. Além disso, não foi identificado que tais problemas ocorrem com frequência.

4.2.2. Cores e Tipos de Falhas

Sabe-se que o reparo varia de acordo com o tipo de falha e, em alguns casos, com a cor do esmalte aplicado na carroçaria. No entanto, esta variabilidade não foi considerada de forma específica, mas como um aspecto externo ao sistema e que o influencia apenas em termos probabilísticos.

Os tipos de falhas e de cores associados à possibilidade de ocorrência de mais de uma falha em uma mesma carroçaria propiciam uma diversidade muito grande de tipos de reparo distintos, o que tornaria o modelo demasiadamente complexo. Se não bastasse, o impacto atrelado a cada um desses aspectos isoladamente não é o mesmo para duas carroçarias diferentes. Portanto, um tratamento específico neste caso traria uma complexidade desnecessária para o trabalho.

4.2.3. Entrada e Saída do Sistema

O único ponto de entrada considerado para o sistema neste trabalho foi a Área Branca. A Cera foi considerada como saída única para as carroçarias em ordem ou reparadas e o *Decklack* para as carroçarias destinadas à repintura. A Cera foi ignorada como entrada, uma vez que a possibilidade de uma carroçaria voltar deste ponto para ser retrabalhada é considerada uma anomalia e acontece com frequência muito baixa.

A taxa de chegada de carroçarias da Área Branca foi considerada constante e igual a 1 unidade a cada 3 minutos, equivalente ao tempo de ciclo desta área. Desta forma, ignora-se a ocorrência de paradas na linha de pintura ou mesmo na montagem bruta, o que levaria à interrupção da chegada de carroçarias ao processo de retrabalho. Todavia, cabe ressaltar que a variabilidade da taxa de entrada impacta diretamente no comportamento do sistema, e deve ser levada em consideração caso seja necessário averiguar a sensibilidade do sistema em relação à variação desta taxa.

Certas paradas na linha da pintura podem prejudicar o escoamento, ao *Decklack*, de carroçarias para repintura, o que também é desconsiderado neste modelo de simulação.

Da mesma forma, não foram levadas em consideração paradas na linha da Cera e da montagem final, as quais podem provocar a indisponibilidade de saída de carroçarias em ordem e reparadas.

Sendo assim, o modelo possibilita o estudo do sistema de retrabalho quando está atuando em sua capacidade máxima, o que está alinhado aos objetivos e às condições de contorno deste trabalho.

4.2.4. Percursos Estudados

Conforme mencionado anteriormente, há quatro percursos principais para as carroçarias no processo de retrabalho da pintura. São eles IO (*In Ordnung*), FST (*Fertigstellung*), *Spot* (*Spot Repair*) e GR (Grandes Retrabalhos ou Repintura). As carroçarias destinadas ao *Spot* podem ser processadas em qualquer uma das duas cabines destinadas a esta operação, fazendo com que estes quatro percursos sejam, na verdade, cinco percursos distintos. A seguir, cada um deles é definido em termos da seqüência de posições que ocupam.

- **IO:** Área Branca – A1 – B1 – B2 – C2 – D2 – E2 – F2 – G2 – G1 – F1 – Elevador – Cera.
- **FST:** Área Branca – A1 – B1 – C1 – D1 – E1 – F1 – G1 – Elevador – Cera.
- **Spot (Cabine 01):** Área Branca – A1 – B1 – B2 – C2 – D2 – E2 – F2 – Pulmão (quando necessário) – G2 – G3 – G4 – F4 – E4 – D4 – B4 – B3 – B2 – C2 – D2 – E2 – F2 – G2 – G1 – F1 – Elevador – Cera.
- **Spot (Cabine 02):** Área Branca – A1 – B1 – B2 – C2 – D2 – E2 – F2 – Pulmão (quando necessário) – G2 – G3 – G4 – G5 – F5 – E5 – D5 – B5 – B4 – B3 – B2 – C2 – D2 – E2 – F2 – G2 – G1 – F1 – Elevador – Cera.
- **GR:** Área Branca – A1 – B1 – B2 – C2 – D2 – E2 – F2 – G2 – G3 – F3 – E3 – D3 – C3 – B3 – *Decklack*.

As carroçarias percorrem seus trajetos através de dispositivos automáticos atrelados aos transportadores. Mas é possível que o maquinário seja operado manualmente em certos casos quando se deseja, eventualmente, desviar uma carroçaria do percurso pré-determinado. Estes desvios correspondem a anomalias no funcionamento do sistema e acontecem com freqüência muito baixa. Por essa razão, tais desvios são desconsiderados neste trabalho de simulação, assim como todas as situações em que acontece movimentação manual. Desse modo, é ignorada a ocorrência de alguns eventos conhecidos, como os seguintes:

- Destinação da carroçaria ao *Spot* ou GR após sair do FST devido à necessidade de reparos mais profundos;
- Envio de carroçarias de GR ao pulmão, devido à ocupação total do trecho destinado à repintura;
- Envio de carroçarias de FST ao trecho de GR, devido à ocupação total do trecho destinado ao FST;
- “Giro” das carroçarias no sistema;
- Qualquer outro evento em que haja desvio dos percursos assumidos inicialmente.

O fenômeno chamado de “giro” pode acontecer caso haja uma carroçaria no GR ou no *Spot* cujo reparo ainda não foi concluído e que está obstruindo a passagem de uma outra cujo reparo foi concluído. A carroçaria à frente tem, então, sua operação interrompida e sua saída forçada, liberando a passagem para a anterior. Após completar uma volta (giro) no sistema, a carroçaria retorna para que seu reparo seja retomado.

4.3. COLETA E ANÁLISE DOS DADOS

Para este estudo de simulação, existem três tipos de dados que são fundamentais para a parametrização correta do modelo. São eles os tempos de operação, os tempos de deslocamento e o percentual de carroçarias destinadas a cada percurso. A coleta e a análise de cada um desses dados para o desenvolvimento dos parâmetros do modelo de simulação é descrita a seguir.

4.3.1. Tempos de Operação

Entre os quatro percursos possíveis no sistema de retrabalho, o único no qual a carroçaria não sofre nenhum tipo de operação é o IO, uma vez que, obviamente, não são necessárias operações de reparo em uma carroçaria que já está em ordem. Portanto, pode-se dizer que são realizadas três operações de reparo diferentes: o FST, o GR e o *Spot*.

A empresa mantém dados históricos em planilhas eletrônicas acerca de algumas dessas operações. Trata-se de arquivos que contêm detalhes como o número da carroçaria, a data, as falhas encontradas, a cor do veículo e o tempo destinado a reparo. A alimentação dessas planilhas é realizada pelos próprios operadores, e o tempo de reparo é medido com o auxílio de um relógio de ponteiros. Isso demonstra fragilidade no sistema de medição, levando a questionar a precisão dos dados fornecidos.

Contudo, por se tratar de um estudo preliminar, os dados dessas planilhas foram considerados aceitáveis para este trabalho. Desta maneira, foram analisados os arquivos disponibilizados, referentes às semanas de 22 a 41 do ano de 2008, ou seja, que contêm

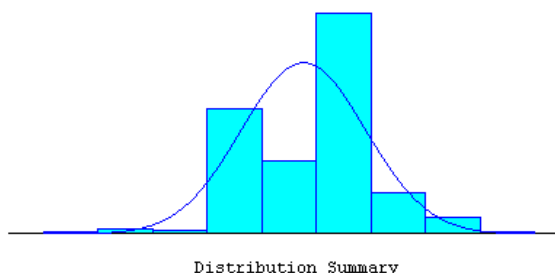
informações sobre as todas as carroçarias que passaram pela área de retrabalho da pintura entre 26 de maio e 10 de outubro deste ano.

Conforme mencionado no item 8 do capítulo II deste trabalho, a distribuição de probabilidade do tipo Lognormal é esperada para representar os tempos de atividades manuais que demandam recursos cognitivos. As operações de reparo podem ser enquadradas neste tipo de atividade, levando a esperar que seus dados de tempo apresentem também esta distribuição. Para confirmar tal suposição, foi utilizado o módulo *Input Analyzer* do software *Arena*.

Inicialmente foi constatado que os logaritmos naturais dos dados dos tempos de reparo no FST (figura 18) e no *Spot* (figura 19) são ajustados à distribuição normal de probabilidade com erro quadrado muito pequeno, característica básica da distribuição Lognormal. Depois foi confirmado que, de fato, a distribuição Lognormal é adequada para representar os dados de tempo do FST (figura 20) e do *Spot* (figura 21).

Figura 18. Tempos do FST (Logaritmos Naturais)

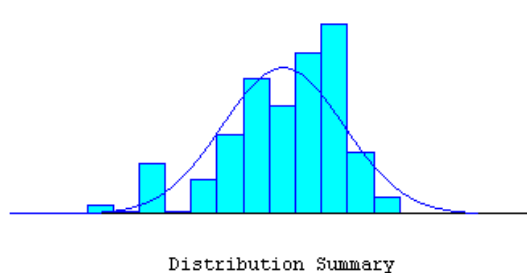
Fonte: O Autor



Distribution: Normal
Expression: NORM(6.23, 0.413)
Square Error: 0.069391

Figura 19. Tempos do Spot (Logaritmos Naturais)

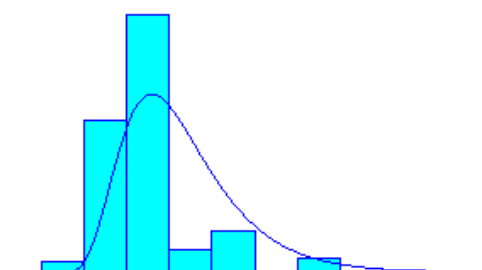
Fonte: O Autor



Distribution: Normal
Expression: NORM(7.71, 0.629)
Square Error: 0.019424

Figura 20. Tempos do FST

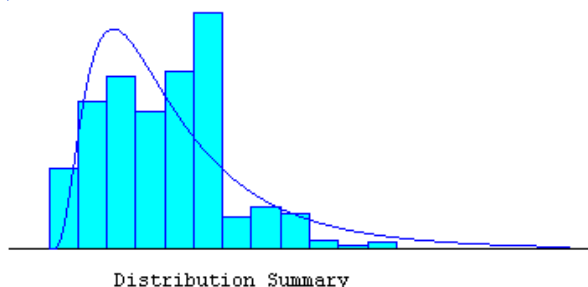
Fonte: O Autor



Distribution: Lognormal
Expression: 120 + LOGN(623, 900)
Square Error: 0.108974

Figura 21. Tempos do Spot

Fonte: O Autor



Distribution: Lognormal
Expression: 60 + LOGN(2.75e+003, 2.2e+003)
Square Error: 0.025555

Ao contrário do FST e do Spot empresa não mantém dados acerca dos tempos das operações realizadas nas carroçarias de GR, tornando a determinação deste parâmetro um grande desafio para a construção deste modelo de simulação. Conforme é possível observar no local, as operações de GR são demoradas, exigindo um tempo muito grande para uma coleta de dados por amostragem. Em decorrência da inviabilidade de conseguir dados mais precisos, foram utilizados os parâmetros do Spot, sendo decidido que esta aproximação seria criticada posteriormente, em face aos resultados da simulação.

4.3.2. Tempos de Deslocamento

O deslocamento das carroçarias é realizado através de transportadores e elevadores automáticos. Ao contrário dos tempos de operação, a empresa não possui tais dados de forma explícita, gerando a necessidade de coletá-los manualmente com o auxílio de um cronômetro de precisão. Esta coleta se mostrou viável devido ao tempo reduzido dos deslocamentos, exigindo um tempo total aceitável para a amostragem.

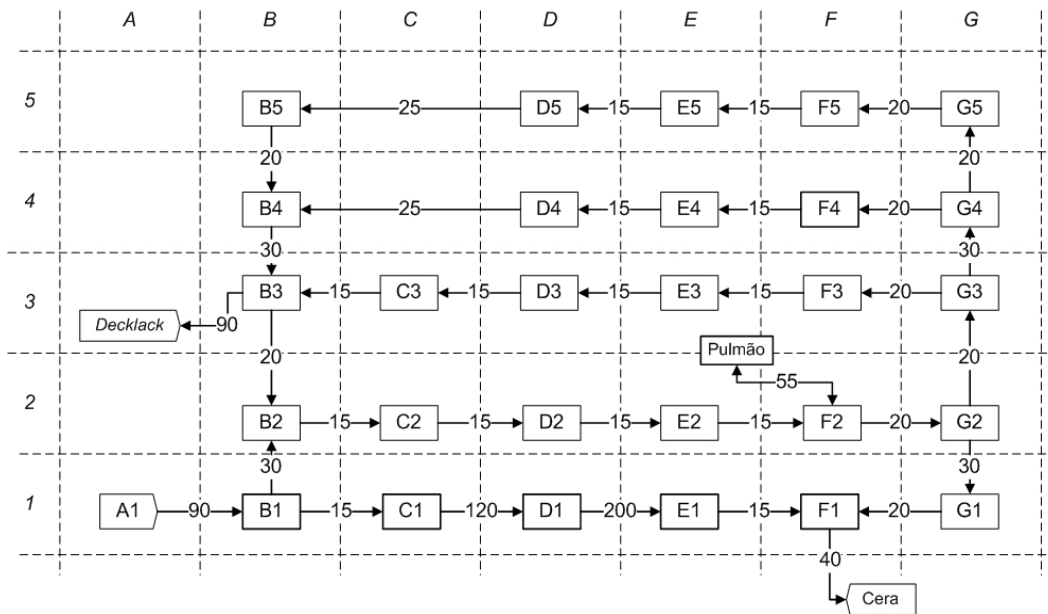
O tempo de deslocamento foi considerado como sendo o intervalo entre o instante em que a carroçaria inicia o seu movimento e o instante em que a posição anterior torna-se disponível para a ocupação da próxima carroçaria. Para os elevadores, por exemplo, corresponde ao tempo entre a saída e o retorno da mesa à posição inicial, compreendendo a subida, a descida e o embarque/desembarque da carroçaria.

Como exceção, no deslocamento entre as posições E1 e F1, com a conclusão dos reparos no FST, a posição E1 é liberada segundos antes que a carroçaria chegue em F1. Portanto, para fins de simplificação do modelo, foi considerado o tempo entre o início do movimento da carroçaria em E1 e a sua chegada em F1. Esta consideração não traz prejuízos significativos ao modelo, uma vez que a diferença gerada é de poucos segundos.

Por se tratar de equipamento automático, os tempos de deslocamento foram considerados constantes, ou seja, invariáveis de uma carroçaria para outra. Devido a erros humanos de medição ao operar o cronômetro, foi realizada mais de uma medida de cada trecho, e os valores encontrados foram arredondados para o valor múltiplo de 5 segundos mais próximo. Esta aproximação tornou a coleta dos dados muito mais ágil e não prejudicou a fidelidade do modelo, uma vez que a diferença não é significativa. As estimativas são mostradas na figura 22.

Figura 22. Tempo de deslocamento (em segundos) no sistema

Fonte: O Autor

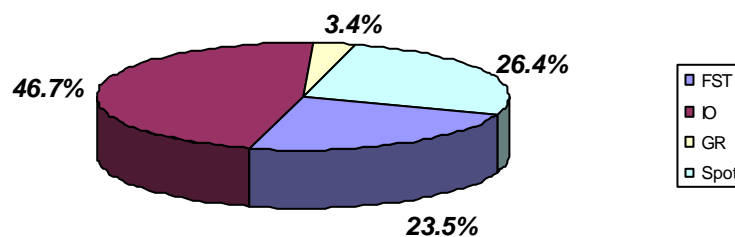


4.3.3. Percentual de Carroçarias por Percurso

As planilhas eletrônicas utilizadas para a estimação dos tempos de operação foram comparadas a outras, também fornecidas pela empresa contendo dados sobre a produção total diária da pintura. Desta forma foi possível determinar o percentual de carroçarias IO e aquelas destinadas a *Spot*, GR ou FST entre os dias 26 de maio e 10 de outubro de 2008. Foi decidido, então, que os parâmetros do modelo de simulação assumiriam os valores destes percentuais históricos. A figura 23 mostra os valores das estimativas obtidas.

Figura 23. Carroçarias por percurso

Fonte: O Autor



Para este estudo preliminar os percentuais absolutos foram considerados constantes. Sabe-se, porém, que um trabalho mais detalhado iria demandar uma análise da distribuição estatística desses percentuais, em termos da variabilidade apresentada diariamente ou semanalmente.

4.4. ANÁLISE DA SIMULAÇÃO

Uma vez concebido, o modelo de simulação foi executado, utilizando o *software* Arena. Foram realizadas 20 simulações com a passagem, em cada, de 195 carroçarias, o equivalente ao volume máximo produzido na pintura entre os dias analisados, de forma a avaliar o comportamento do sistema quando atua com um grande volume de produção. A execução cessava quando a última entidade saía do sistema, considerando que o dia de trabalho só termina quando todas as carroçarias são reparadas. Sendo assim, a possibilidade de carroçarias permanecerem no sistema de um dia para outro foi deixada de lado neste trabalho, permitindo a avaliação das operações isoladamente.

A simulação gerou relatórios acerca das filas e da utilização dos recursos do sistema, e uma análise destas informações possibilitou a identificação no sistema de retrabalho dos principais gargalos, ou seja, daqueles recursos os quais possuem grande utilização média e geram grandes filas.

A partir dos indicadores de desempenho mencionados no relatório, foi possível constatar o que já era notório: as cabines de *Spot* constituem os principais gargalos do sistema. As tabelas 1, 2 e 3 mostram os valores dos indicadores obtidos com a simulação.

Tabela 1. Permanência da carroçaria no *Spot* no cenário atual

Fonte: O Autor

Situação Atual	<i>Tempo médio</i>	11.020 segundos (3h 04min)
	<i>Tempo mínimo médio</i>	6.768 segundos (1h 53min)
	<i>Tempo máximo médio</i>	17.051 segundos (4h 44min)
	<i>Tempo máximo absoluto</i>	33.648 segundos (9h 21min)

De maneira geral, a simulação mostra que as carroçarias ficam por muito tempo no *Spot* ou aguardando a sua disponibilidade. Como pode ser observado na tabela 1, o indicador de tempo máximo absoluto sugere que uma entidade chegou ao extremo de ficar por cerca de 9 horas e 21 minutos nessa condição, tempo total superior a 8 horas e 48 minutos, que equivale à duração da jornada diária de trabalho.

Tabela 2. Filas relacionadas ao Spot no cenário atual

Fonte: O Autor

	<i>Fila</i>	<i>Tempo médio</i>	<i>Tempo mínimo médio</i>	<i>Tempo máximo médio</i>	<i>Tempo máximo absoluto</i>	<i>Número médio</i>	<i>Número mínimo médio</i>	<i>Número máximo médio</i>	<i>Número máximo absoluto</i>
Situação Atual	Pulmão	7.114 seg.	1.995 seg.	12.179 seg.	24.189 seg.	6,37 un.	1,48 un.	12,83 un.	25 un.
	Ocupar Pulmão	31 seg.	0 seg.	331 seg.	4.444 seg.	0,03 un.	0 un.	0,34 un.	3 un.
	Ocupar B1	55 seg.	8.3 seg.	633 seg.	4.792 seg.	0,14 un.	0,03 un.	1,43 un.	20 un.
	Ocupar E4 (Spot)	1.280 seg.	911 seg.	1.674 seg.	10.784 seg.	0,73 un.	0,63 un.	0,84 un.	1 un.
	Ocupar E5 (Spot)	1.376 seg.	1.183 seg.	1.834 seg.	9.194 seg.	0,77 un.	0,63 un.	0,90 un.	1 un.
	Ocupar F5 (Espera Spot)	1.193 seg.	1.006 seg.	1.670 seg.	9.064 seg.	0,67 un.	0,53 un.	0,81 un.	1 un.

Tabela 3. Utilização dos recursos relacionados ao Spot no cenário atual

Fonte: O Autor

	<i>Recurso</i>	<i>Utilização / Ocupação Média</i>	<i>Utilização / Ocupação Mínima</i>	<i>Utilização / Ocupação Máxima</i>
Situação Atual	Posição D4 (Spot)	97,04%	87.68%	99.19%
	Posição D5 (Spot)	89,04%	79.27%	96.83%
	Posição E4 (Spot)	88,77%	78.04%	96.12%
	Posição E5 (Spot)	85,56%	74.53%	95.62%
	Posição F4 (Espera Spot)	79,21%	69.96%	90.29%
	Posição F5 (Espera Spot)	79,45%	64.81%	92.03%
	Posição G5 (Espera Spot)	73,41%	58.40%	88.14%

Conforme já foi apresentado, o Pulmão é uma fila formada quando todas as posições de atendimento ou espera do Spot estão ocupadas. Por isso, suas informações de tempo de permanência e de número de unidades em espera são importantes para a avaliação do desempenho sistema.

Especificamente, o número máximo absoluto de unidades no Pulmão indica que este atingiu sua capacidade máxima estipulada, 25 carroçarias. Quando isso acontece, é formada a fila “Ocupar Pulmão”, na qual aguardam as unidades destinadas ao Spot, mas que não cabem no Pulmão. Portanto, o tempo máximo absoluto de permanência nesta fila é base para avaliar o tempo total que o Pulmão fica com todas as suas posições ocupadas. A

tabela 2 mostra que, neste caso, o tempo máximo que uma carroçaria aguardou para ocupar uma posição no Pulmão foi de aproximadamente 1 hora e 14 minutos, indicando que o mesmo chegou a ficar por pelo menos este tempo em sua capacidade máxima. Fisicamente, “Ocupar Pulmão” corresponde às posições B1, C2 e D2, nas quais pode haver carroçarias aguardando disponibilidade (a posição B2 é reservada a carroçarias já reparadas vindas do *Spot*, uma vez que estas têm prioridade devido ao tempo de permanência no sistema).

A tabela 2 mostra, ainda, que as três posições possíveis de “Ocupar Pulmão” chegaram a ser ocupadas simultaneamente, totalizando três carroçarias. Neste caso, é evidente que a entrada do sistema fica bloqueada, devido à ocupação da posição B1, provocando parada na linha da Área Branca. Sendo assim, é formada uma fila de carroçarias que deveriam ter entrado no sistema, mas foram impedidas pela falta de disponibilidade em B1. Não se trata de uma fila física, uma vez que não há espaço para que as carroçarias aguardem. “Ocupar B1” é, portanto, uma fila lógica, formada por aquelas carroçarias que deveriam ter entrado na área de retrabalho, mas foram impedidas. Pode-se dizer, então, que o tempo máximo absoluto de permanência nesta fila representa o tempo máximo que a Área Branca chegou a ficar parada por motivo de congestionamento da área de retrabalho. Os resultados da simulação mostram, então, que é possível que a Área Branca sofra paradas, gerando atraso máximo de 4.792 segundos (cerca de 1 hora e 20 minutos) aguardando disponibilidade em B1.

Também já foi apresentado anteriormente que as posições nas quais as carroçarias podem aguardar atendimento no *Spot Repair* são F4, F5 e G5. Logicamente, ocupar G5 equivale a aguardar disponibilidade de F5. Do mesmo modo, ocupar F4 e F5 é o mesmo que aguardar disponibilidade em E4 e E5, respectivamente. Logo, as filas “Ocupar E4”, “Ocupar E5” e “Ocupar F5” correspondem às filas nas quais as carroçarias aguardam disponibilidade no *Spot*, e suas informações são de extrema importância para a análise da performance do sistema. Por se tratar de posições do sistema, cada uma dessas filas suporta apenas uma carroçaria de cada vez.

Após a análise da tabela 2, foi estabelecido que a causa provável dos longos tempos de permanência das carroçarias no *Spot* decorrem da espera das carroçarias nessas filas.

Os indicadores relativos à utilização dos recursos relacionados ao *Spot Repair* são apresentados na tabela 3. Os valores, obtidos com a simulação do atual cenário, indicam que as quatro posições do *Spot*, D4, D5, E4 e E5, têm ocupação superior a 85%, indicando tratar-se de gargalos do sistema. Destacadamente, a posição D4 tem ocupação próxima 100%, em decorrência de a lógica adotada no modelo ser a de enviar a entidade a esta posição quando todas estiverem vazias. Calculando a média entre os valores apresentados para as quatro posições, conclui-se que a utilização média do *Spot* é de 90,10%, confirmando tratar-se de uma restrição do sistema.

Assim sendo, é possível concluir que as altas taxas de ocupação do *Spot Repair* são as responsáveis pela formação e também pela longa duração das filas mencionadas.

A tabela 3 mostra ainda indicadores de ocupação das posições F4, F5 e G5, destinadas à espera por atendimento no *Spot*. Estes indicadores também apresentaram valores relativamente altos, acima de 70%, mas sua ocupação é devida à indisponibilidade das posições à frente, uma vez que as carroçarias não passam por operações de reparo nessas posições.

4.5. GERAÇÃO DE UM CENÁRIO ALTERNATIVO

As constatações apresentadas no item anterior inspiraram a busca de melhorias ao sistema. Uma vez que o *Spot* é o gargalo do sistema, quaisquer investimentos devem ser voltados para o aumento da sua capacidade, tendo sempre em mente que uma unidade de tempo ganha em um recurso gargalo equivale a uma unidade de tempo ganha no processo como um todo. Portanto, o autor concentrou suas sugestões em investimentos que propiciassem aumento significativo na capacidade do *Spot*. Algumas delas são mencionadas a seguir:

- 1º. Aumentar do número de cabines de *Spot*;
- 2º. Possibilitar o reparo de quatro carroçarias em paralelo;
- 3º. Transformar o GR em uma cabine de *Spot* e realizar as duas operações no mesmo local.

Entre as sugestões apresentadas acima, o autor escolheu a 2º como base para criar um único cenário alternativo ao sistema atual. Foi elaborada uma proposta na qual as cabines de *Spot Repair* receberiam investimentos em modificação da estrutura de forma a possibilitar que as quatro carroçarias fossem reparadas em paralelo, ou seja, sem que a carroçaria à frente bloqueasse a passagem da que estivesse na posição anterior.

O autor elaborou o esboço dessa proposta sem, no entanto, preocupar-se com sua viabilidade técnica, uma vez que não faz parte do escopo deste trabalho. A idéia é que, caso uma estrutura que permita que as operações sejam realizadas em paralelo se mostre vantajosa, um projeto mais detalhado seja desenvolvido. Para este trabalho, esta análise preliminar foi realizada a partir de um modelo de simulação computacional.

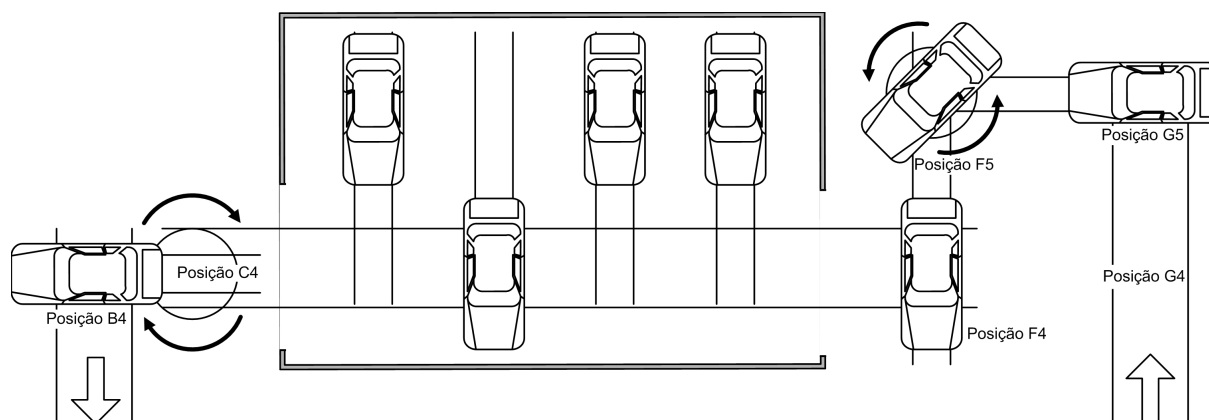
Contudo, somente após a inclusão dos novos detalhes da proposta no modelo de simulação e a análise criteriosa dos resultados obtidos com sua execução, será possível determinar com uma precisão adequada o retorno dos investimentos, gerando massa crítica para tomada decisão quanto à aprovação ou reprovação da realização das melhorias.

4.5.1. Descrição da Alternativa Proposta

O autor propõe uma alternativa para o *Spot Repair* (figura 24) de forma que fossem reparadas quatro carroçarias simultaneamente, como acontece no cenário original. A diferença é que permitiria que os veículos fossem reparados em paralelo, ou seja, sem que uma carroçaria finalizada tivesse sua passagem bloqueada por outra em reparo.

Figura 24. Layout proposto para o *Spot Repair*

Fonte: O Autor



Seria mantida também a possibilidade de que três carroçarias aguardassem atendimento nas posições F4, F5 e G5, mantendo a posição G4 para uma eventual necessidade. Todavia, o cenário proposto obrigaria que a carroçaria que chegasse primeiro ao *Spot* fosse necessariamente a primeira a ser atendida.

Para isso a carroçaria ocuparia inicialmente a posição G5, onde aguardaria a disponibilidade da posição F5. Chegando em F5, sofreria uma rotação de 90°, ficando perpendicular às demais carroçarias da área de retrabalho e aguardaria a disponibilidade da posição F4. A cabine do *Spot* possuiria um transportador que funcionaria como uma via de acesso: partindo de F4, este transportador levaria a carroçaria até a primeira posição vaga para reparo e estaria disponível para a próxima carroçaria que chegasse.

Com a conclusão dos reparos, a carroçaria voltaria ao mesmo transportador, que a levaria até a posição C4 (inexistente no cenário atual), onde ela sofreria novo giro para voltar à posição original. Uma vez na mesma posição que as demais carroçarias no retrabalho, ela poderia ocupar a posição B4 e seguir da forma como acontece atualmente.

Colocar esta proposta em prática exigiria, entre outros investimentos, a aquisição de novos transportadores e, possivelmente, a ampliação da cabine de *Spot*. Além disso, certamente deveriam ser realizadas modificações estruturais, como nas entradas e saídas da cabine. Não foi investigado se a estrutura presente permite as operações de rotação, o alargamento das portas de entrada ou, sequer, se existe área na cabine o suficiente para a disposição sugerida das carroçarias.

Contudo, a execução de um modelo de simulação desta proposta atende ao objetivo de comparar o comportamento do sistema de *Spot Repair* atual com outro no qual a primeira carroçaria a chegar é a primeira a ser atendida e as quatro carroçarias podem ser reparadas sem que uma bloqueie a saída da outra.

4.5.2. Simulação da Alternativa Proposta

Um modelo de simulação foi elaborado para representar a alternativa proposta. Tratando-se de um cenário completamente novo para o qual não existe nenhum tipo de estudo técnico, os parâmetros de tal modelo foram estimados de acordo com os tempos apresentados em outros pontos do mesmo sistema. Por exemplo, na saída do GR para o *Decklack* a carroçaria sofre uma rotação de 180° através de uma estrutura giratória presente, cujo tempo foi medido e utilizado como base para parametrizar as estruturas giratórias no modelo simulação da proposta.

Cabe ressaltar que os parâmetros de tempo de operação do *Spot*, bem como os parâmetros de entrada e dos demais recursos do sistema foram mantidos.

Foram realizadas 20 execuções do modelo desenvolvido, também com a passagem de 195 carroçarias em cada execução. Os resultados obtidos com as simulações são apresentados nas tabelas 4, 5 e 6.

4.5.3. Análise da Alternativa Proposta

Uma vez obtidos os resultados da simulação, o desempenho do sistema atual foi comparado com o que é esperado para o cenário sugerido, possibilitando avaliar se a proposta é ou não conveniente para a área de retrabalho.

Sendo assim, analisando os indicadores de desempenho de ambas as situações, pode-se dizer que a alternativa estudada se mostrou vantajosa frente ao quadro atual.

Inicialmente, as tabelas 1 e 4 já demonstram uma redução sensível em todos os indicadores de tempo de permanência da carroçaria no *Spot Repair*. O cenário proposto apresenta, por exemplo, um tempo médio de permanência 23,4% inferior ao praticado atualmente. Além disso, a permanência máxima absoluta de uma entidade na simulação da situação presente é aproximadamente 1 hora e 21 minutos maior do que permanência máxima absoluta na simulação da alternativa.

A simulação também indica que as filas para atendimento no *Spot* são significativamente maiores e mais demoradas na situação atual do que no cenário alternativo, como pode ser observado nas tabelas 2 e 5. O tempo médio de permanência das carroçarias no Pulmão no modelo atual é de 7.114 segundos, enquanto no modelo proposto é de 5.136 segundos. A diferença, 1.978 segundos, equivale a aproximadamente 33 minutos, indicando um potencial de redução de 27,8%. Ainda, os indicadores apontam uma redução de 23,1% no número médio de carroçarias que aguardam no Pulmão.

Tabela 4. Permanência da carroçaria no *Spot* no cenário proposto

Fonte: O Autor

Cenário Proposto	<i>Tempo médio</i>	8.438 segundos (2h 21min)
	<i>Tempo mínimo médio</i>	4.878 segundos (1h 21min)
	<i>Tempo máximo médio</i>	14.086 segundos (3h 55min)
	<i>Tempo máximo absoluto</i>	28.803 segundos (8h 00min)

Tabela 5. Filas relacionadas ao *Spot* no cenário proposto

Fonte: O Autor

	<i>Fila</i>	<i>Tempo médio</i>	<i>Tempo mínimo médio</i>	<i>Tempo máximo médio</i>	<i>Tempo máximo absoluto</i>	<i>Número médio</i>	<i>Número mínimo médio</i>	<i>Número máximo médio</i>	<i>Número máximo absoluto</i>
Cenário Proposto	Pulmão	5.136 seg.	2.295 seg.	10.164 seg.	20.600 seg.	4,90 un.	1,24 un.	11,69 un.	25 un.
	Ocupar Pulmão	12 seg.	0 seg.	249 seg.	2.662 seg.	0,01 un.	0,00 un.	0,29 un.	3 un.
	Ocupar B1	10 seg.	1,4 seg.	132 seg.	2.748 seg.	0,03 un.	0,004 un.	0,32 un.	9 un.
	Ocupar F4 (Espera <i>Spot</i>)	489 seg.	333 seg.	595 seg.	3.298 seg.	0,62 un.	0,42 un.	0,78 un.	1 un.
	Ocupar F5 (Espera <i>Spot</i>)	388 seg.	227 seg.	496 seg.	3.193 seg.	0,50 un.	0,28 un.	0,65 un.	1 un.
	Ocupar <i>Spot</i>	516 seg.	340 seg.	624 seg.	3.288 seg.	0,66 un.	0,43 un.	0,78 un.	1 un.

Tabela 6. Utilização dos recursos relacionados ao *Spot* no cenário proposto

Fonte: O Autor

	<i>Recurso</i>	<i>Utilização / Ocupação Média</i>	<i>Utilização / Ocupação Mínima</i>	<i>Utilização / Ocupação Máxima</i>
Cenário Proposto	<i>Spot</i>	87.15%	74.74%	94.49%
	Posição F4 (Espera <i>Spot</i>)	74.55%	52.26%	87.67%
	Posição F5 (Espera <i>Spot</i>)	70.11%	49.80%	85.70%
	Posição G5 (Espera <i>Spot</i>)	63.60%	41.78%	79.40%

Em ambos os casos, o Pulmão atinge sua capacidade máxima, como mostram os valores de número máximo absoluto nesta fila. Contudo, os dados apresentados indicam uma redução no tempo total em que o mesmo permanece nesta condição, o que pode ser inferido ao analisar os dados relativos à fila “Ocupar Pulmão”.

A análise dos indicadores de “Ocupar B1” também aponta para uma melhora dos congestionamentos do sistema. O valor apresentado como o tempo máximo absoluto de permanência foi de 2.748 segundos (aproximadamente 46 minutos) no cenário proposto, uma redução significativa frente ao valor apresentado com a simulação do sistema na condição presente. A diferença no tempo máximo de atraso na Área Branca seria, nesse caso, equivalente a 42,7%.

A comparação dos indicadores das filas de espera das posições do *Spot* não pode ser realizada de modo direto, devendo ser levadas em consideração as diferenças entre uma situação e outra quanto ao comportamento e à disposição dessas filas. Afinal, no cenário atual, as filas “Ocupar E5” e “Ocupar F5” estão dispostas em série entre si e em paralelo com “Ocupar E4”, ao passo que, no cenário alternativo, “Ocupar F5”, “Ocupar F4” e “Ocupar *Spot*” são dispostas em série. Tendo isso em mente, também não se pode atribuir a grande melhora observada nos tempos de permanência em filas apenas às modificações na cabine de *Spot*, mas também à disposição sugerida para a fila de espera. De qualquer forma, a comparação das tabelas 2 e 5 mostra claramente que a execução do modelo do cenário alternativo resultou em indicadores de tempo sensivelmente menores em relação aos valores apresentados na simulação da situação atual.

Ao confrontar as tabelas 3 e 6, é possível observar a utilização dos recursos do *Spot Repair* no cenário sugerido pelo autor não apresentou diferença tão sensível quanto a apresentada pelos demais indicadores. Este fenômeno já era esperado, uma vez que a disponibilidade do *Spot* não deveria aumentar, em face das longas filas do cenário atual. Logo, esta variação pode ser atribuída à aleatoriedade do sistema, e não a uma redução real. Logo, conclui-se que os tempos reduzidos apresentados pela alternativa não são conseqüências de uma menor utilização do *Spot*, mas de um menor tempo de espera em filas no sistema. Por esta razão, pode-se dizer que o cenário proposto utiliza os recursos do *Spot Repair* mais racionalmente, pois reduz as perdas com o tempo em que a carroçaria permanece no sistema sem sofrer reparos.

Capítulo V

CONCLUSÕES

5.1. BALANÇO DAS ATIVIDADES

A simulação computacional de eventos discretos permitiu a realização de uma análise preliminar de possíveis melhorias nas instalações de retrabalho da área de pintura da unidade de Juiz de Fora da Mercedes-Benz.

Para isso, foi realizada uma série de coleta de dados e informações acerca das operações e do funcionamento da área estudada, de forma a desenvolver um modelo de simulação. Este modelo foi, então, executado para possibilitar deduções acerca do comportamento do sistema. Com isso, verificou-se que o tempo de permanência das carroçarias para reparos no *Spot Repair* são muito altos devido à longa duração das filas que as entidades ocupam. Também foi apurado que tais filas são formadas uma vez que o *Spot Repair* representa uma grande restrição do sistema.

A partir dos resultados dessa análise, foram levantados aspectos importantes do processo de retrabalho, levando à elaboração de uma proposta completamente nova. Com esta proposta, o autor apresenta uma alternativa na qual as operações de reparo do *Spot Repair* acontecem de forma paralela, e não em série, aspecto que demonstrara trazer alguns transtornos no cenário atual. Além disso, a alternativa traz benefícios para as filas de espera para entrada no *Spot Repair*, uma vez que a sistemática sugerida obriga que a primeira carroçaria que chega seja a primeira a ser atendida. Assim como fora feito para o sistema atual, um modelo de simulação computacional foi desenvolvido e executado contemplando os aspectos do cenário alternativo.

A análise dos resultados obtidos permitiu constatar que uma instalação que contenha as características da proposta sugerida neste trabalho é vantajosa. Esta análise preliminar evidencia o grande potencial de melhoria no processo estudado, e deve levar a uma série de novas medidas, de modo a investigar com maiores detalhes e melhor precisão quais seriam os impactos de uma modificação real nas instalações.

5.2. PRÓXIMOS PASSOS

Após a constatação do potencial de melhoria, o autor propõe que sejam realizados novos estudos para definir com maior precisão os benefícios obtidos com uma possível alteração na estrutura do retrabalho.

Independentemente do desejo de realização de modificações estruturais para otimização do retrabalho, é necessário que a empresa mantenha dados de tempo mais detalhados no FST, no *Spot* e, principalmente, no GR, o qual não possui dados

armazenados. Sugere-se que o registro destes dados seja realizado através de sensores automáticos, devido à precisão da coleta e do baixo custo de operação. Com isso, a empresa terá em mãos dados precisos que serão de grande utilidade em diversos projetos de melhoria.

A precisão dos dados de tempo das operações é imprescindível, inclusive, para que seja realizada a validação do modelo de simulação elaborado neste trabalho. Esta atividade não fora realizada no decorrer deste estudo justamente pela carência de dados reais mais confiáveis. A validação do modelo criado é, também, um trabalho que deve ser realizado no futuro, buscando a garantia de que o sistema real está representado corretamente.

Igualmente importante é a avaliação dos custos intrínsecos à operação, em especial daqueles decorrentes do atraso de entrega da carroçaria. Um estudo como esse proporciona resultados fundamentais para a avaliação da viabilidade econômica de diversos investimentos, inclusive o que foi proposto neste trabalho.

Caso a empresa opte por realizar as modificações, o primeiro passo será uma avaliação técnica da estrutura presente, para que sejam determinados quais tipos de modificações serão necessárias para viabilizar as operações sugeridas. Assim, será elaborado um projeto com altíssimo grau de detalhamento técnico, e que deverá também incluir informações acerca dos investimentos necessários para reformas, modificações, compra de novos equipamentos e outros fins.

Uma vez definidos todos os detalhes técnicos do projeto, o modelo de simulação criado para este trabalho deverá ser incrementado com as novas informações, gerando um modelo mais completo com a abrangência de novos detalhes. Sugere-se que seja feito o mínimo de considerações e aproximações de modo a alcançar um nível de precisão bastante alto.

A execução deste novo modelo de simulação, além de gerar informações sobre o seu desempenho, poderá auxiliar na determinação dos custos de operação esperados da instalação proposta. A determinação correta destes custos é essencial para a avaliação econômica de viabilidade do projeto.

De posse de todas as informações, deverá ser realizada uma análise de investimento, com base no cálculo de indicadores clássicos, como a taxa interna de retorno, o valor presente líquido, o tempo de retorno de investimento e relação custo/benefício. Desta maneira, será possível confrontar os investimentos com seus retornos e determinar se a modificação é realmente vantajosa para a redução dos custos com perdas que a área apresenta atualmente. A decisão quanto à realização ou não da alteração estrutural proposta deverá, portanto, ser tomada com base nestes e em outros indicadores.

5.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a realização deste trabalho de conclusão de curso, fica claro o potencial de melhoria da área estudada. As informações obtidas devem servir de massa crítica para a tomada de decisões no futuro, sobretudo quanto a investimentos na melhoria das estruturas do processo de retrabalho.

Outra implicação deste trabalho foi mostrar que a ferramenta de simulação computacional pode ser utilizada de forma satisfatória para auxiliar a realização de pesquisas acerca do comportamento do sistema estudado frente a diferentes propostas de modificação.

Contudo, cabe lembrar que, em sua essência, a atividade de retrabalho constitui um desperdício dos recursos da organização. Todas as operações realizadas na área analisada têm o objetivo de corrigir erros cometidos em momentos anteriores ao longo do processo produtivo. Evidentemente, os reparos não seriam necessários caso tais problemas não houvessem ocorrido em primeiro lugar.

Sendo assim, os esforços mais vantajosos são aqueles que buscam a eliminação das falhas ou, ao menos, a redução da sua incidência. É importante deixar claro que este tipo de esforço já se mostra uma prática constante no processo de pintura da Mercedes-Benz de Juiz de Fora, de modo que a redução dos índices de falhas faz parte das principais metas da área.

Para minimizar as suas perdas, a organização deve buscar ao máximo fazer certo da primeira vez, reduzindo a necessidade de uma área de retrabalho, antes que sejam realizados esforços para esta seja melhorada.

BIBLIOGRAFIA

BANKS, Jerry et al. **Discrete-Event System Simulation**. 4. ed. New Jersey: Prentice Hall, 2004.

CONTRI, Rozelaine de Fatima Franzin. **Otimização de Sistemas de Atendimento Emergenciais Utilizando a Teoria das Filas e o Diagrama de Voronoi Ponderado**. 2007. 162 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2007.

FAST DRIVER – Tudo Sobre Carros. Portal dedicado aos lançamentos do mundo dos automóveis. Disponível em: <<http://www.fastdriver.com.br>>. Acesso em: 1 out. 2008.

GAITHER, Norman; FRAZIER, Greg. **Administração da Produção e Operações**. 8. ed. São Paulo: Thomson Learning, 2002.

KIEMELE, Mark J.; SCHMIDT, Stephen R.; BERDINE, Ronald J.. **Basic Statistic: Tools for continuous improvement**. 4. ed. Colorado Springs: Air Academy Press, 2000.

KRONENBERG, Roland. **Sistema de Medição do Desempenho: Uma Metodologia para Implementação**. 2006. 163 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Sistemas de Gestão, Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói, 2006.

MONTGOMERY, Douglas C.. **Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

PRADO, Darci. **Usando o Arena em Simulação**. Nova Lima: INDG, 2004.

PYLES, Jorge Kuntz. **Proposta para uso dos Sistemas de Tracking e de Gerenciamento de Equipamentos na identificação de pontos de melhoria em uma linha de Pintura de Automóveis**. Juiz de Fora, 2005.

SPIEGEL, Murray R.. **Probabilidade e Estatística**. São Paulo: McGraw-Hill, 1977.

TRIOLA, Mario F. et al. **Introdução à Estatística**. 9. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2005.

VIDAL, Mario C.; CARVALHO, Paulo V. R. de. **Ergonomia Cognitiva: Raciocínio e Decisão no Trabalho**. 1. ed. EVC, 2008.

ZAGO, José Sebastião. **Fabricação de Carroçaria Bruta de Automóveis: Definição do Grau de Automação A Partir de Análise Multicritério**. 2006. 163 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Sistemas de Gestão, Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói, 2006.