

SIMULAÇÃO DISCRETA COMO AUXÍLIO NA TOMADA DE DECISÃO NA INTEGRAÇÃO DA TECNOLOGIA DE IDENTIFICAÇÃO RFID

Marcos Rogerio Petrilli, marcos.petrilli@hotmail.com
Emília Villani, evillani@ita.br

SENAI CIMATEC, Avenida Orlando Gomes, 1845, Piatã, Salvador - BA, 41.650-010
Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Pça. Mal. Eduardo Gomes, 50, São José do Campos - SP, 12.228-900

Resumo: A globalização aumentou o nível de competitividade entre empresas de um mesmo setor exigindo que as mesmas adotem sistemas de manufatura mais eficientes em relação a custos de produção, produtividade, qualidade e flexibilidade em resposta às mudanças de mercado. Um fator fundamental para o gerenciamento e controle de um sistema flexível de manufatura é o monitoramento de seus processos produtivos. Em particular, para o caso de linhas de produção longas e complexas, o gerenciamento e o controle do sistema flexível de manufatura dependem diretamente da identificação de seus produtos, desde sua entrada na linha de produção até a finalização do produto. Este é o caso, por exemplo, da indústria automobilística. Com objetivo de melhorar sua produtividade, empresas têm considerado como possível opção para identificação dos produtos a tecnologia RFID (Radio Frequency Identification), uma tecnologia de identificação por radiofrequência. Neste contexto, a proposta deste artigo é a sistematização de uma abordagem baseada em simulação dirigida a eventos discretos para auxílio à tomada de decisão na incorporação da tecnologia de identificação RFID em um sistema flexível de manufatura. Um estudo de caso da indústria automobilística é apresentado para ilustrar a aplicação da abordagem proposta. Por meio de simulação, busca-se estimar o ganho em produtividade resultante da incorporação da tecnologia RFID quando comparada com o sistema de identificação atualmente implantado.

Palavras-chave: Tecnologia RFID; Sistemas de Manufatura Flexível; Modelagem; Simulação de Eventos Discretos

1. INTRODUÇÃO

Em face às exigências e ao aumento da competitividade no mercado, sistemas de manufatura flexíveis (SMF) com alto nível de automação e perfeitamente adaptáveis a mudanças de demanda foram implementados na indústria. Capazes de produzir diferentes produtos em diferentes modelos e versões, podem ser formados por extensas linhas de produção em série ou em paralelo com várias etapas de montagem até que o produto esteja pronto para a entrega ao consumidor final.

A quantidade de variações de produtos nestes sistemas é proporcional ao nível de complexidade para a identificação do mesmo por operadores e equipamentos durante as etapas de produção. Esta complexidade pode aumentar a probabilidade de erros e reduzir a confiabilidade das informações que trafegam pelos sistemas informatizados de execução de manufatura (MES - derivado do inglês "*Manufacturing Execution System*"). MES são sistemas de chão de fábrica, orientados para a melhoria de desempenho, que complementam e aperfeiçoam os sistemas integrados de gestão (planejamento e controle) da produção. Com esta definição se pode compreender a importância da identificação correta do produto no planejamento e controle da produção.

O código de barras é provavelmente o identificador legível por computador mais familiar atualmente, porém com uma utilização limitada pelo seu próprio método de leitura. Qualquer que seja sua aplicação, uma linha de visão direta entre o leitor e a etiqueta é necessária, e na maioria das vezes não é conseguida satisfatoriamente pela fragilidade da etiqueta, basta apenas observar o que ocorre nos caixas em supermercados e em outros estabelecimentos comerciais no momento da compra. Na indústria, esta limitação causa perda da produtividade de um processo.

Com objetivo de melhorar sua produtividade, empresas têm considerado como possível opção, identificar seus produtos em processo por meio da tecnologia RFID (Radio Frequency Identification), uma tecnologia de identificação por radiofrequência. Em um sistema de manufatura a incorporação de uma nova tecnologia pode trazer perdas imediatas de produtividade se uma análise comparativa em termos de ganho e desempenho não for realizada. Porém como medir este ganho sem implementar esta tecnologia? Quais os critérios de desempenho que devem ser utilizados? Estes critérios são suficientes para uma tomada de decisão segura? Este artigo discute a utilização da simulação a eventos discretos como ferramenta de auxílio à tomada de decisão para a adoção da tecnologia RFID.

Este artigo está organizado da seguinte forma. A Seção 2 descreve os principais conceitos relacionados a este trabalho: a tecnologia RFID, critérios utilizados para análise de desempenho de sistemas de manufatura, e simulação a eventos discretos. A Seção 3 apresenta o estudo de caso desenvolvido na indústria automobilística. A Seção 4 discute as conclusões e contribuições deste trabalho.

2. REVISÃO TEÓRICA

2.1. Tecnologia de Identificação

Largamente empregada pela indústria, uma etiqueta de código de barras nada mais é do que a representação gráfica de um número em um padrão chamado de código universal de produto UPC (Universal Product Code) capaz de viabilizar a sua leitura por meio de um leitor a laser integrado a um sistema de gestão e controle de produção conforme o exemplo básico mostrado na Fig. (1).



Figura 1. Código de barras linear.

Segundo Glover e Bhatt (2007) identificação por rádio frequência RFID é um termo que descreve qualquer sistema de identificação no qual um dispositivo eletrônico anexado a um item usa frequência de rádio ou variação de campo magnético para sua comunicação. Conforme apresentado na Fig.(2) por Couto (2003), um leitor, que pode também ser chamado de interrogador de RFID, transmite um sinal RF por meio de uma antena a um identificador específico chamado de etiqueta ou tag RFID (não necessitando de um alinhamento visual), este interage com as ondas eletromagnéticas recebidas e devolve-as para a mesma antena acoplada ao leitor. Este leitor reconhece estas informações e as transmite a um computador central ou um sistema de gestão do tipo MES.

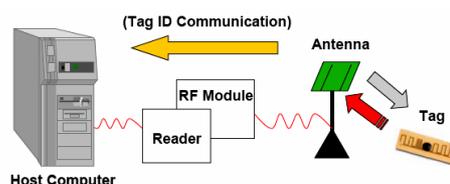


Figura 2. Configuração básica de um sistema RFID. Couto (2003).

Os padrões são fundamentais para qualquer tecnologia inovadora, pois garante a interoperabilidade dos componentes e evita à não conformidade com normas nacionais ou internacionais. O EPCglobal Inc., uma colaboração da GS1 e parceiros da indústria, define um método combinado de classificação de etiquetas RFID específico para frequências de operação, métodos de acoplamento, tipos de chaveamento e modulação, capacidade de armazenamento de informação e modos de interoperabilidade. Como em qualquer iniciativa de padronização, a co-existência de diversos padrões EPCglobal, ISO e ANSI é uma realidade. Os grupos European Article Number e Uniform Code Council, anteriormente conhecidos como EAN.UCC, escolheram um novo nome GS1 (Global Standard 1) em 2005. A International Organization for Standardization (ISO) é uma rede de institutos de padrões nacionais de 148 países e que a torna mais global e governamental que a EPCglobal. A American National Standard Institute (ANSI) é uma organização privada e sem fins lucrativos que administra e coordena o sistema de padronização dos Estados Unidos.

No ambiente industrial a tecnologia RFID pode ser aplicada para funções além da simples identificação de um produto. Como comentado por Baudin e Rao (2005), o RFID pode ser usado como um sistema à prova de erros em um fluxo variado de montagem de certos produtos tal com computadores pessoais que não têm diferenças dimensionais entre si e assim não podem ser facilmente diferenciado por operadores. Para Bhuptani e Moradpour (2005) em relação a gestão da produção, a etiqueta utilizada nesta tecnologia RFID pode permitir a gravação de dados eletronicamente durante determinadas etapas do processo em forma de resultados operacionais. Desta forma, produtos "ok" e produtos "nok" podem ser identificados em etapas seguintes de processo. Segundo Finkenzeller (2003) uma arquitetura centralizada, onde um computador central toma a decisão ou informa qual processo deve ocorrer naquele exato momento baseada no dado armazenado no banco de dados central, requer uma contínua monitoração por este computador exigindo que o mesmo seja infalível e sua velocidade de processamento altíssima, caso contrário, o controle sobre o processo pode ser perdido ou ocorram atrasos nos processos. Etiquetas com alta capacidade de armazenamento e possibilidade de leitura e escrita instaladas no sistema de transporte atuam como uma memória móvel onde os dados referentes ao produto que anteriormente estavam no banco de dados central, agora permanecem gravados na etiqueta. No estudo de caso proposto neste artigo, a função da tecnologia RFID será a mesma que a da tecnologia de código de barras devido à característica da aplicação que não requer outros recursos oferecidos pela tecnologia RFID.

2.2. Critérios de Desempenho de Manufatura

Segundo Al-Aomar (2002) as métricas da manufatura estão associadas a quatro critérios essenciais da Engenharia Industrial (EI): Produtividade (Productivity), Qualidade (Quality), Confiabilidade (Reliability), e Eficiência (Effectiveness). Associados ao PQCE estão o Custo e a Segurança, porém são outros critérios de EI. Os critérios de desempenho PQCE podem ser utilizados individualmente ou em conjunção entre si dependendo do ponto do sistema de manufatura que se deseja melhorar. Pode-se descrever cada critério PQCE em um sistema de manufatura como:

- Produtividade (Productivity): critério focado no fluxo de unidades em fabricação e do rendimento geral de um sistema ou de um determinado ponto do mesmo.
- Qualidade (Quality): critério focado na capacidade de processo e do sistema para produzir produtos que estão livres de defeitos e reparos.
- Confiabilidade (Reliability): critério focado na disponibilidade dos processos, do sistema e sua capacidade de entregar produtos como programado.
- Eficácia (Effectiveness): critério focado na eficiência dos processos e sistemas e sua eficácia e utilização em um mundo real de manufatura.

Baseado na natureza das aplicações industriais, mais que uma medida pode ser utilizada para representar cada critério PQCE conforme a Tab. (1) abaixo.

Tabela 1. Medidas e MPMs para critérios PQCE no nível de processo. Adaptado de Al-Aomar (2002)

PQCE critério	Medida	Métricas de Manufatura
Produtividade (Productivity)	Produção Projetada (Design Throughput)	Taxa Bruta (GR) (Gross Rate)
	Capacidade do Processo (Process Capability)	Capacidade Autônoma (SAC) (Standalone Capability)
	Produção Atual (Actual Throughput)	Capacidade Líquida do Processo (LPC) (Linked Process Capability)
	Gargalos (Bottleneck)	Nível de Restrição (CL) (Constrain Level)
Qualidade (Quality)	Qualidade em Conformidade (Quality Conformance)	Taxa de Qualidade (QR) (Quality Rate)
Confiança (Reliability)	Tempo Produtivo (Process Uptime)	Disponibilidade Autônoma (SAA) (Standalone Availability)
Eficácia (Effectiveness)	Eficiência do Processo (Process Efficiency)	Desempenho da Eficiência (PE) (Performance Efficiency)
	Eficácia do Processo (Process Effectiveness)	Eficácia Total do Processo (OPE) (Overall Process Effectiveness)

Segundo Al-Aomar (2002) a quantificação dos critérios PQCE é necessária para orientar melhorias e estudos de otimização, bem como análises comparativas de desempenho conduzidas por engenheiros de processo e projetistas de sistemas. Fórmulas para calcular as métricas do sistema de manufatura são principalmente baseados em um conhecimento do que constitui cada métrica e da associação de cada critério de desempenho correspondente a PQCE. As Métricas de Performance de Manufatura (MPM) são criadas para coleta de medidas de desempenho em equipamentos ao nível de processo conforme a Tab. (2).

Tabela 2. Fórmulas para os MPMs nível de Processo. Al-Aomar (2002)

MPM	MPM Formula	Índices Defined
GR	$GR = \frac{3600}{CT}$	CT = Cycle Time (Sec)
SAA	$SAA = \frac{MTBF}{MTBF + MTR} \times 100\%$	MTBF = Mean Time Between failure MTR = Mean Time To Repair
QR	$QR = 100\% - RR$	RR = Rejection Rate
SAC	$SAC = GR \times \%SAA \times \%QR$	
NPS	$NPS = \frac{AOT}{MTBF}$	AOT = Actual Operating Time
PE	$PE = 100\% - (\%S + \%B + \%D)$	% S = Percent Process Starved % B = Percent Process Blocked % D = Percent Process Delayed
OPE	$OPE = \%SAA \times \%QR \times \%PE$	
LPC	$LPC = GR \times \%OPE$	
CL	Ascending Order of CL	CL = Constraint Level

2.3. Modelagem e Simulação de Eventos Discretos

Simulação pode ser definida como a técnica de imitar o comportamento de um sistema por meio de um modelo análogo, objetivando ganhar informação sobre o sistema de forma mais conveniente. A simulação é uma técnica de análise aplicável a sistemas dinâmicos, isto é, sistemas que possuem um comportamento. Este comportamento deve ser representado no modelo do sistema a ser simulado, apresentando como resultado a evolução do estado do modelo ao longo do tempo, ou pela ação dos eventos.

Uma possível classificação dos sistemas dinâmicos se baseia nas variáveis discretas ou contínuas, que compõem o modelo e que são utilizadas para representar o sistema real. As variáveis discretas têm seus valores definidos dentro de um conjunto enumerável de valores. Em contraposição a elas, estão as variáveis contínuas, na qual os valores de suas variáveis compõem um intervalo de números reais. Como resultado desta dicotomia, os sistemas dinâmicos podem ser classificados em sistemas de variáveis contínuas ou sistemas a eventos discretos. No caso da simulação discreta, o sistema a ser simulado é abstraído como um sistema a eventos discretos (determinístico ou estocástico), representado por relações de causalidade entre a ocorrência de eventos e a evolução do estado do sistema. O evento discreto é instantâneo, isto é, de duração nula, e resulta em uma mudança no estado do sistema. Um exemplo é o término do ciclo de operação de uma máquina.

A simulação discreta é amplamente aplicada para sistemas de manufatura, e tem como objetivo estimar o desempenho do sistema, permitindo, por exemplo, a análise do impacto de paradas de máquina, quebras de transportadores e outras situações. Para Harrel et. al. (2002) avanços na tecnologia de simulação discreta tem tornado o uso de modelos computacionais mais aplicáveis à tomada de decisão de rotina, especialmente no projeto de sistemas futuros baseados em dados atuais. Nos sistemas de manufatura integrados a sistemas de Execução de Manufatura MES (*Manufacturing Execution System*) definido por Corrêa, Gianesi e Caon (2007) como um sistema de chão de fábrica orientado para a melhoria de desempenho que complementa e aperfeiçoa os sistemas integrados de gestão (planejamento e controle) da produção, dados de manufatura podem ser obtidos diretamente destes sistemas. Estes dados inseridos no modelo de simulação e as fórmulas das métricas de processo que se interagem, geram as métricas necessárias para o cálculo do PQCE. Esta metodologia pode ser observada na Fig. (3).

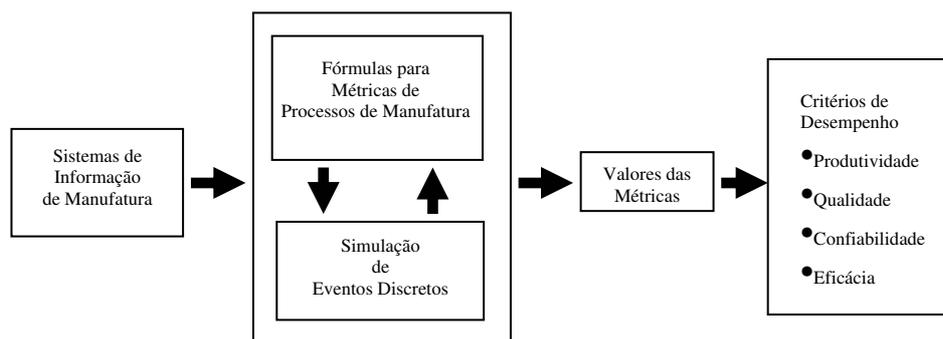


Figura 3. Metodologia para determinar o PQCE (adaptado de Al-Aomar (2002)).

3. ESTUDO DE CASO

3.1. Apresentação

O sistema de manufatura flexível apresentado como estudo de caso processa atualmente três modelos diferentes de veículos independente da versão de cada modelo, ou seja, podem ser modelos básicos, de luxo ou esportivos e em até oito diferentes cores. As etapas deste processo de pintura anticorrosão estão representadas na Fig. (4). O processo possui várias etapas importantes, porém as mais significativas para o nosso estudo de caso são:

Etapa 1: Uma etiqueta de identificação auto-adesiva chamada de CARIN (Car Identification Number) é fixada sobre um ponto específico na superfície da carroceria que é montada em um dispositivo para possibilitar seu transporte através dos banhos de proteção anticorrosão.

Etapa 2: Antes do início dos banhos ocorre uma leitura desta para controle do sistema de informação ILVS (In Line Vehicle Sequencing) para permitir que os processos e componentes dos veículos sejam sequenciados seguindo a ordem de montagem dos veículos.

Etapa 3: A carroceria após receber o tratamento anticorrosão é transferida para outro dispositivo de transporte para permitir outros processos e para a pintura definitiva.

Etapa 4: Uma segunda leitura do CARIN deve ser realizada para reordenar a sequência de produção, caso contrário à produção nesta etapa do processo deve ser interrompida. Na etapa 4 do processo, foi identificado pelo grupo de operadores e engenheiros, a falta de identificação automática do produto, pois a mesma gerou paradas intermitentes de produção e causou a necessidade da identificação manual e re-impressão da etiqueta CARIN.

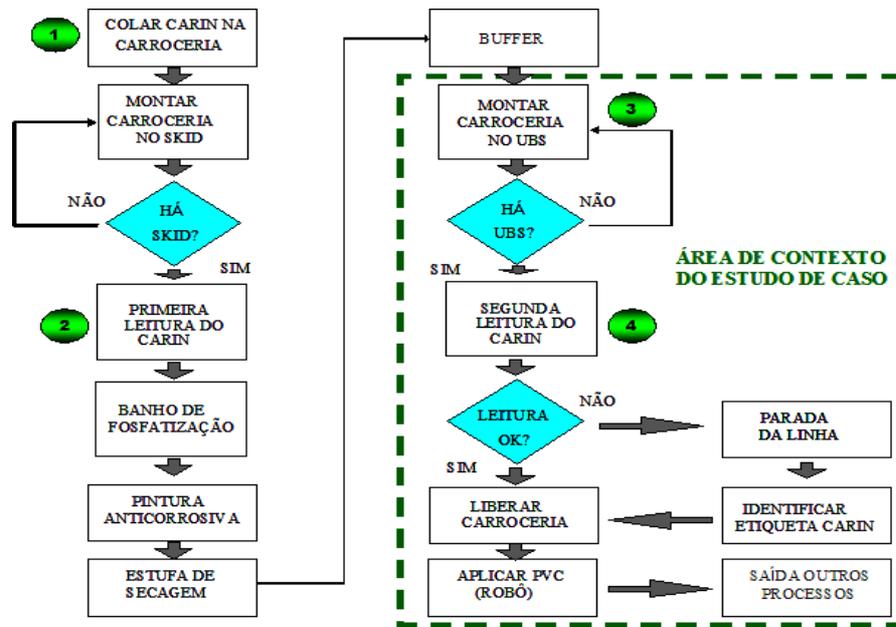


Figura 4. Fluxo do Processo de Pintura

3.2. Metodologia

As ferramentas de qualidade tais como: Diagrama de Causa e Efeito (Ishikawa), Histogramas, Diagrama de Pareto entre outros suportam metodologias para melhoria do desempenho dos sistemas de manufatura como, por exemplo, o PDCA. O ciclo chamado de PDCA (Planejar, Executar, Verificar e Agir) é uma metodologia utilizada para melhoria constante dos processos de manufatura e implica literalmente em um processo sem fim, questionando repetidamente e requestionando os trabalhos detalhados da operação.

Segundo Rotondaro, R et. al. (2002) a Motorola aprimorou o PDCA criando o MAIC (Medir, Analisar, Melhorar e Controlar) que foi adotado pela GE (General Electric) que passou o mesmo para DMAIC acrescentando a etapa “Definir”. O DMAIC é um acrônimo para: **D**efinição de oportunidade; **M**edição de desempenho; **A**nálise de oportunidade; **I**mplementação de melhoria de desempenho; **C**ontrola de desempenho.

Este artigo parte do princípio que a etapa de **D**efinição da oportunidade esta concluída, assim aprofunda-se nas etapas de **M**edição e **A**nálise da oportunidade fornecendo informações necessárias para a tomada de decisão da etapa de **I**mplementação da melhoria. A metodologia consiste na comparação entre o método analítico e o método de simulação de eventos discretos para cálculo do ganho em produtividade no sistema de manufatura delimitado pela área de contexto da Fig.(4) em dois cenários distintos: o atual que utiliza a tecnologia de código de barras (barcode), e o proposto que utiliza a tecnologia RFID. Os resultados obtidos são utilizados como auxílio à tomada de decisão pela adoção da tecnologia RFID no processo de identificação do produto.

3.3. Coleta de Dados

Um sistema supervisor SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) foi utilizado para a coleta dos intervalos de tempo entre falhas. O resultado foi inserido no software estatístico Minitab versão 15 para obtenção das médias, desvio padrão e verificação das características do fenômeno. A Fig. (5) apresenta o resultado encontrado onde a média entre falhas MTBF (*Mean-Time-Between-Failure*) foi de 46,7 minutos com um desvio padrão de 93,9 minutos.

Descriptive Statistics			
N	Mean	StDev	Median
117	46,7273	93,9132	14,33
Goodness of Fit Test			
Distribution	AD	P	
Lognormal	0,655	0,085	
Exponential	17,519	<0,003	
Weibull	1,926	<0,010	

Figura 5. Dados de intervalo entre falhas analisado pelo Minitab 15

Os tempos de reparo MTTR (Mean-Time-To-Repair) são gerados pela falta de identificação e não pela falha do sistema de leitura, portanto a ação de reparo na realidade é uma ação de reativação do sistema que necessita de um periodo de 0,88 minuto. Para medida do desempenho do SMF foram considerados: CT = 1,12 minuto; MTBF= 2000 minutos; MTTR= 4 minutos; RR= 0 % e PE= 80% para os componentes do sistema e para o processo de identificação: MTBF= 46,7 e o MTTR= 0,88 minuto obtido por meio do software Minitab. No método analítico, o cálculo de

produtividade obtido foi de 4.612 unidades produzidas no sistema contra 4.535 unidades produzidas no processo conforme apresentado na Tab. (3). Verifica-se que a produtividade do processo atual esta abaixo da produtividade do sistema delimitado pela área de contexto, em 77 unidades por semana.

Tabela 3. Produtividade atual pelo método analítico

DADOS DE MANUFATURA	MPME FÓRMULAS	MÉTODO ANALÍTICO - BARCODE	
		SISTEMA	PROCESSO
TEMPO DE CICLO (min)	CT	1,12	1,12
TEMPO MÉDIO ENTRE FALHAS (min)	MTBF	2000	46,7
TEMPO DE REPARO (min)	MTTR	4	0,88
TAXA DE REJEIÇÃO	%RR	0	0
TAXA DE QUALIDADE	%QR	100	100
DESEMPENHO DE EFICIÊNCIA	%PE	80	80
MÉTRICAS DE DESEMPENHO			
PRODUÇÃO BRUTA ESTIMADA (u/h)	GR	53,73	53,73
CONFIABILIDADE PERCENTUAL	%SAA	99,80	98,14
TAXA DE QUALIDADE PERCENTUAL	%QR	100,00	100,00
DESEMPENHO DO PROCESSO (u/h)	SAC	53,62	52,73
EFICÁCIA GERAL DO PROCESSO	%OPE	79,84	78,51
PRODUÇÃO REAL (u/h)	LPC	42,90	42,19
PRODUÇÃO SEMANAL	JPW	4612	4535

3.4. Análise da Oportunidade

A capacidade Sigma do processo a partir dos dados coletados pelo sistema SCADA indicam que ocorreram 138 defeitos relacionados à não identificação da carroceria (produto). Estes defeitos foram definidos como variáveis qualitativas, também denominadas como atributos na forma qualitativa nominal ou seja perfeito ou defeituoso. De acordo com Rotondaro et. al. (2002), em termos de cálculo da capacidade do sistema para variáveis de atributo definidas como falha de identificação = defeito, o conceito “defeitos por milhão de oportunidades (DPMO)” pode ser utilizado como índice de capacidade do sistema de manufatura.

$$DPMO = \frac{D}{N \times O} \times 1.000.000 \quad (1)$$

Por meio da utilização da Eq. (1) onde: D= número de defeitos, N= número de unidades produzidas, O= número de oportunidades de defeito por unidade (onde se considera com ou sem defeito), se obteve um DPMO igual a 30.000 defeitos por milhão. Considerando que o período de medição dos eventos de 5 dias, o nível sigma equivalente em curto prazo foi igual a 3,38.

O Diagrama de Causa e Efeito (Ishikawa), utilizado na etapa de "Definição da oportunidade" determinou quatro fatores como potencial causa raiz do efeito do problema: Etiqueta, Leitor, ILVS e Operador. A análise da oportunidade de melhoria do processo busca analisar dados dos fatores potenciais para quantificá-los e assim determinar a principal causa raiz do problema e seu percentual de influência em relação à capacidade produtiva.

Uma nova coleta de dados de falha foi realizada manualmente para obtenção dos tipos de falha que ocorrem conforme apresentado na Tab. (5).

Tabela 5. Coleta de dados de falha para medição da oportunidade

Elemento	Tipo de falha	Quantidade de Falhas
ETIQUETA	SEM	33
	SUJA	1
	DESALINHADA	2
	DANIFICADA	1
	SOLTA	0
	OUTRAS	1
Sub total		38
LEITOR	SUJO	0
	DESALINHADO	0
	DANIFICADO	0
	OUTRAS	0
Sub total		0
ILVS	NÃO FUNCIONA	1
	FALHA DE COMUNICAÇÃO	7
Sub total		8
OPERADOR	NA FRENTE DO LEITOR	0
	OUTROS	0
Sub total		0
Total de falhas		46

Os dados foram coletados em 3 turnos consecutivos e 46 defeitos relacionados à não identificações de carrocerias (produto) foram registrados e diagnosticados. Os dados fase foram definidos como variáveis qualitativas, também denominadas como atributos na forma qualitativa nominal, ou seja, perfeito ou defeituoso. A definição da principal causa raiz do problema foi obtida por meio da análise do gráfico de Pareto da Fig. (6) construído a partir do detalhamento do tipo de falha da Tab. (5). O maior número das falhas está relacionado à etiqueta de código de barras

(barcode). Conclui-se que se pode eliminar 82,6% das falhas, ou seja 114, em uma produção estimada de 4.600 por semana, o que corresponderia a uma melhoria da qualidade do processo de 3,38 para 4,06 Sigma.

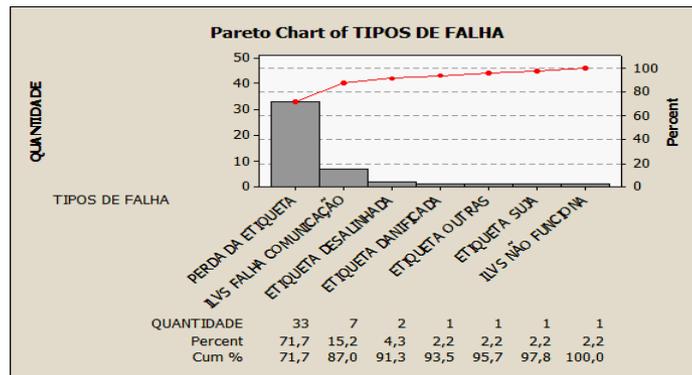


Figura 6. Gráfico de Pareto dos tipos de falha

No método analítico fórmulas e métricas de manufatura são aplicadas no processo assumindo que a tecnologia RFID elimina os 82,6% de falhas conforme demonstrado no gráfico de Pareto. O resultado de capacidade produtiva do processo indicado na Tab. (6) é de 4.606 unidades, ou seja, 71 unidades acima da capacidade atual.

Tabela 6. Produtividade estimada com RFID pelo método analítico

DADOS DE MANUFATURA	MPM E FÓRMULAS	MÉTODO ANALÍTICO - RFID	
		SISTEMA	PROCESSO
TEMPO DE CICLO (min)	CT	1,12	1,12
TEMPO MÉDIO ENTRE FALHAS (min)	MTBF	2000	268,75
TEMPO DE REPARO (min)	MTTR	4	0,88
TAXA DE REJEIÇÃO	%RR	0	0
TAXA DE QUALIDADE	%QR	100	100
DESEMPENHO DE EFICIÊNCIA	%PE	80	80
MÉTRICAS DE DESEMPENHO			
PRODUÇÃO BRUTA ESTIMADA (u/h)	GR	53,73	53,73
CONFIABILIDADE PERCENTUAL	%SAA	99,80	99,67
TAXA DE QUALIDADE PERCENTUAL	%QR	100,00	100,00
DESEMPENHO DO PROCESSO (u/h)	SAC	53,62	53,56
EFICÁCIA GERAL DO PROCESSO	%OPE	79,84	79,74
PRODUÇÃO REAL (u/h)	LPC	42,90	42,84
PRODUÇÃO SEMANAL	JPW	4612	4606

3.5. Comparativo entre Método Analítico e Simulação de Eventos Discretos

O software Minitab permite a obtenção do p-value pelo método o "goodness of fit test" onde a distribuição Lognormal apresenta menor rejeição a hipótese de aderência conforme observado na Fig.(7).

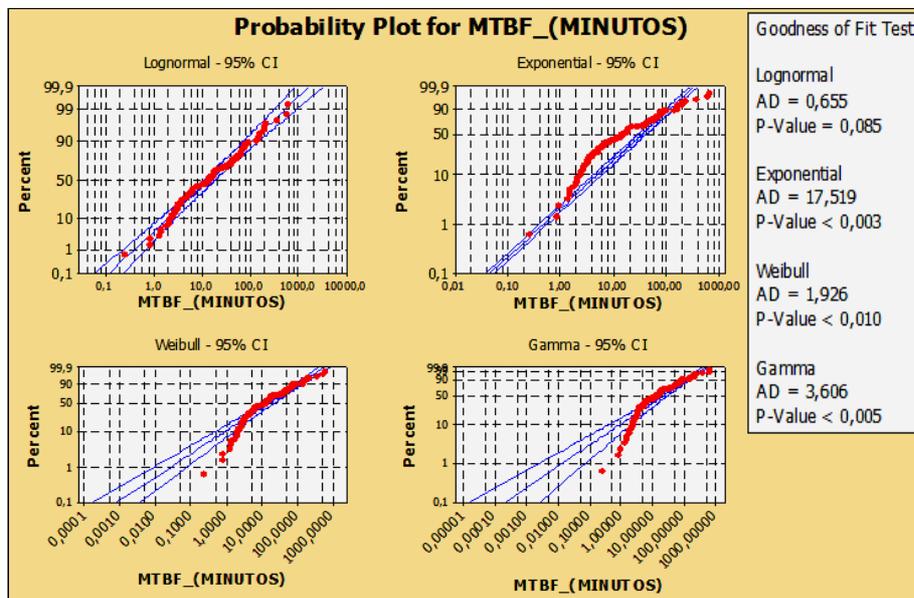


Figura 7. Método "goodness of fit test". Software Minitab 15

O método para escolha da distribuição estatística que represente a frequência em que as falhas ocorrem é o de hipótese de aderência pelo critério de p-value descrito por Chwif e Medina (2007):

P-value <0,01	Evidência forte contra a hipótese de aderência
0,01 ≤ p-value <0,05	Evidência moderada contra hipótese de aderência
0,05 ≤ p-value <0,10	Evidência potencial contra hipótese de aderência
0,10 ≤ p-value	Evidência fraca ou inexistente contra a hipótese de aderência

Para medida do desempenho do sistema manufatura pelo método de simulação foram considerados os seguintes dados para a análise : CT = 1,12 minuto, MTBF= 2.000 minutos, MTTR= 4 minutos, RR=0 % e PE= 80% para os componentes do sistema exceto para o processo de identificação do produto que possui medidos o MTBF= 46,7 e o MTTR= 0,88 minuto.O software de simulação Witness 2008 permite que variáveis aleatórias e os demais componentes físicos existentes em um sistema de manufatura do "mundo real", tais como máquinas e transportadores, possam interagir com o processo e o sistema em estudo.

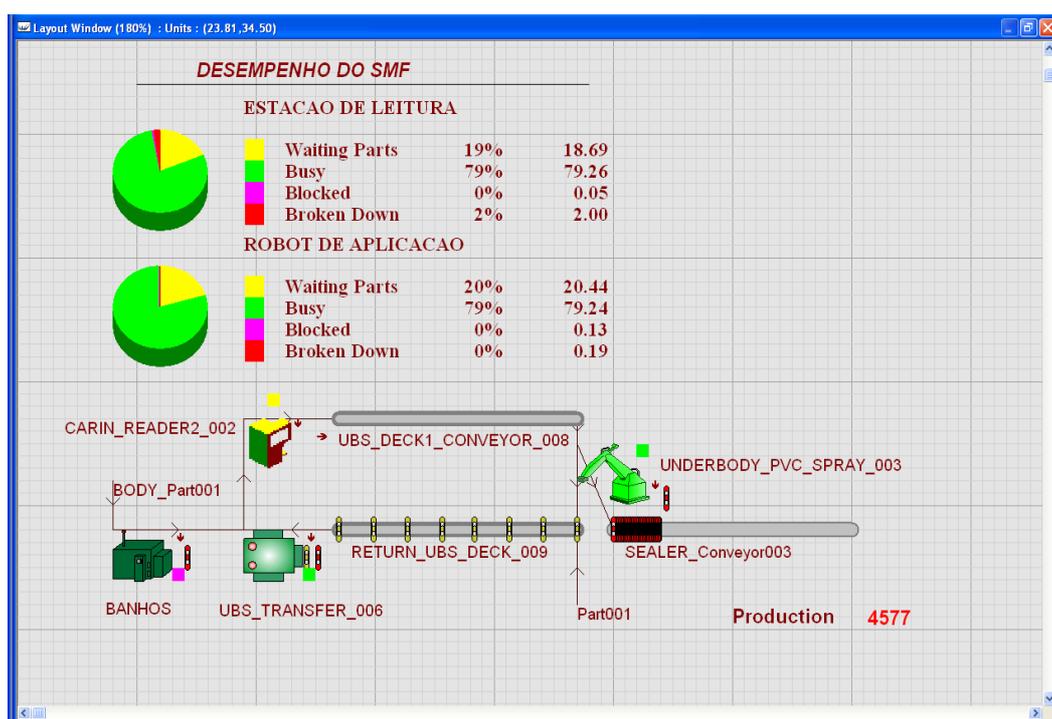


Figura 8. Modelo de Simulação do estudo de caso.Witness 2008

O modelo de simulação apresentado na Fig.(8) representa a área de contexto definida anteriormente onde cada componente tem uma função conforme descrito abaixo:

- BODY_part001 = Entrada de unidades a serem pintadas ;
- BANHOS = Unidades pintadas ;
- UBS_TRANSFER_006= Montagem das unidades ao dispositivo de transporte;
- CARIN_READER2_002 = Sistema de leitura do CARIN (barcode);
- UBS_DECK1_CONVEYOR_008 = Transportador para envio das unidades até o último processo de pintura;
- UNDERBODY_PVC_SPRAY_003= Sistema de aplicação de PVC que representa a saída do sistema;
- SEALER_Conveyor003= Acúmulo de unidades prontas;
- RETURN_UBS_DECK_009 = Retorno dos dispositivos vazios para a entrada do sistema;
- Part001 = Alimentação do sistema com dispositivos para início da simulação.

Na Tab. (6) são apresentados os resultados do método de simulação de eventos discretos para cálculo do ganho em produtividade no sistema de manufatura delimitado pela área de contexto em de dois cenários distintos: o atual que utiliza a tecnologia de código de barras (barcode), e o proposto, que utiliza a tecnologia RFID.

Os valores de desempenho de eficiência (PE), estimados no método analítico, são reais e determinados pela equação $PE = 100 - (\%Idle + \%Blocked)$. As métricas de desempenho de manufatura (MPM) foram utilizadas para o cálculo de produtividade de dois cenários: atual e com a incorporação da tecnologia RFID.

Tabela 6. Resultado da Simulação de Eventos Discretos

Name	MÉTODO SIMULAÇÃO - BARCODE		MÉTODO SIMULAÇÃO - RFID	
	CARIN_READER2_002	UIIDERBODY_PVC_SPRAY_003	CARIN_READER2_002	UIIDERBODY_PVC_SPRAY_003
% Idle	18.69	20.44	20.02	20.17
% Busy	79.26	79.24	79.60	79.59
% Filling	0.00	0.00	0.00	0.00
% Emptying	0.00	0.00	0.00	0.00
% Blocked	0.05	0.13	0.09	0.05
% Cycle Wait Labor	0.00	0.00	0.00	0.00
% Setup	0.00	0.00	0.00	0.00
% Setup Wait Labor	0.00	0.00	0.00	0.00
% Broken Down	2.00	0.19	0.29	0.19
% Repair Wait Labor	0.00	0.00	0.00	0.00
No. Of Operations	4578	4577	4597	4597

4. CONCLUSÕES

O sistema comporta-se como um modelo dinâmico com variáveis estocásticas e variáveis determinísticas sendo retroalimentado pelos dispositivos de transporte. Os dispositivos de transporte movimentam as carrocerias através do sistema criando uma dependência entre saída e entrada. Esta configuração gera um alto grau de complexidade que dificilmente pode ser representado pelo método analítico conforme se pode observar no gráfico da Fig.(9). A diferença de capacidade de produção do processo em relação ao sistema em geral é acentuada no método analítico mesmo com a opção de incorporação da tecnologia RFID. A simulação de eventos discretos nos dois cenários, atual com a tecnologia de identificação por código de barras e a futura, com tecnologia de identificação por rádiofrequência, reproduz a interação da operação de processo com o sistema. As diferenças nos níveis de capacidade entre o processo e o sistema da área de contexto são mínimas e ocorrem apenas devido as unidades em trânsito entre os mesmos. Assim, a simulação de eventos discretos apresenta resultados de capacidade de produção mais confiáveis, pois consegue reproduzir o efeito da retroalimentação do sistema e suporta a adição de variáveis aleatórias representadas por distribuições estatísticas.

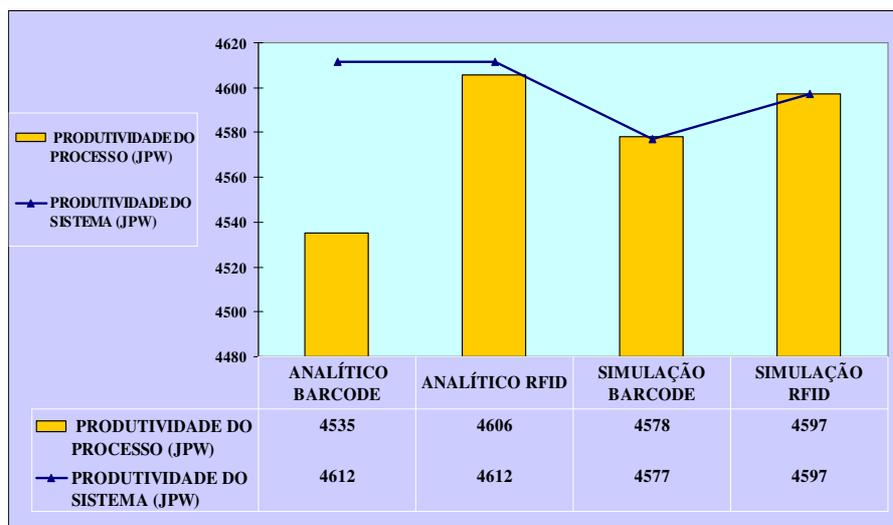


Figura 9. Gráfico comparativo de produtividade

Em relação à tomada de decisão pela adoção da tecnologia RFID, baseada nos ganhos de produtividade do sistema em estudo, o método analítico demonstra que com a incorporação desta tecnologia o ganho de capacidade produtiva no processo seria da ordem de 71 unidades para uma capacidade do sistema de 4.612 unidades por semana. A simulação de eventos discretos demonstra que a capacidade atual do processo é maior do que a apresentada pelo método analítico, mas o ganho estimado com a adoção da tecnologia RFID é de apenas 19 unidades para uma capacidade do sistema de 4.597 unidades. Para a estratégia da empresa, resultados estimados de produtividade próximos aos reais podem ser fundamentais para a tomada de decisão pela adoção ou não da tecnologia. O lucro obtido pelo aumento de produtividade estimado pode não justificar o investimento financeiro necessário. Outra questão relevante no estudo de caso seria a de se estimar uma capacidade de produção baseada apenas no método analítico, a quantidade real produzida poderia ser menor do que a assumida pela empresa para atender a uma nova estratégia de mercado. A melhoria da capacidade Sigma aplicada somente ao processo não é suficiente para a tomada de decisão, pois não fornece uma informação precisa em relação aos ganhos de produtividade do sistema em geral. A simulação de eventos discretos apresentou-se no estudo de caso como uma ferramenta de confiabilidade para auxílio na tomada de decisão para a adoção da tecnologia RFID, como também para outras.

5. REFERÊNCIAS

- Al-Aomar, R (2002). A Methodology for Determining Process and System-Level Manufacturing Performance Metrics – SAE Powertrain & Fluid Systems Conference & San Diego, California USA – October 21-24, 2002. Disponível em: <<http://www.sae.org/technical/papers/2002-01-2900>>. Acesso em : 21 maio 2010.
- Baudin, M; Rao, A (2005). RFID Applications in Manufacturing. Publicado em 25 de Abril de 2005. Disponível em: <<http://www.slideshare.net/laser1971/rfid-applications-in-manufacturing-draft-7-presentation>>. Acesso em: 21 maio 2010.
- Bhuptani, M; Moradpour, S (2005) Implementando o sistema de identificação por radiofrequência. Tradução Edgard Toporcov. São Paulo. Instituto IMAM, 2005. Vol 1. pp 17-69
- Chwif, L; Medina, Afonso C. (2006) Modelagem e Simulação de Eventos Discretos São Paulo. Editora dos Autores, 2006. pp 24-51
- Correa, L. H; Caon, M ; Giansi, I.G.N (2007) Planejamento, Programação e Controle da Produção MRP II/ERP Conceitos, Uso e Implementação. pp 260-289
- Couto, C (2003) Identificação por Radiofrequência. Departamento de Electrónica Industrial. Universidade do Minho. Guimarães-PORTUGAL. Disponível em: <http://www.dei.isep.ipp.pt/~qtdei/RFID_300403.pdf>. Acesso em : 21 maio 2010.
- Finkenzeller, K (2003) RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification, Second Edition Copyright © 2003 John Wiley & Sons, Ltd. pp 385-391.
- Glover, B; Bhatt, H (2007) Fundamentos de RFID. Tradução Acauan Fernandes. Rio de Janeiro. Alta Books, 2007. Vol 1. pp 1-57
- Harrel, C.R et al (2002) Simulação, Otimizando os Sistemas. 2 ed. São Paulo :IMAM, 2002. pp 1-22
- Rotondaro, R et. al. (2002). Seis Sigma: estratégia pra a melhoria de processos, produtos e serviços. – 1 ed – São Paulo: Atlas, 2002. pp 16-24, 166-175

6. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

DISCRETE SIMULATION AS AID IN DECISION-MAKING IN THE INTEGRATION FOR IDENTIFICATION

Marcos Rogério Petrilli, marcos.petrilli@hotmail.com
Emília Villani, evillani@ita.br

SENAI CIMATEC, Avenida Orlando Gomes, 1845, Piatã, Salvador – BA, 41.650-010
Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Pça. Mal. Eduardo Gomes, 50, São José do Campos - SP, 12.228-900

Abstract: Globalization has increased the level of competition between companies within the same sector by requiring that they adopt manufacturing systems more efficient in relation to production costs, productivity, quality and flexibility in response to market changes. A key factor in the management and control of a flexible manufacturing system is to monitor their production processes. In particular, in case of production lines long and complex management and control of flexible manufacturing system directly depend on the identification of their products, since its entry into production until the finished product. This is the case, for example, the automobile industry. Aiming to improve their productivity, companies have considered a possible option for product identification technology RFID (Radio Frequency Identification) technology for radio frequency identification. In this context, the aim of this paper is to systematize an approach based on simulation run discrete event to aid decision making in incorporating RFID identification technology in a flexible manufacturing system. A case study of the automotive industry is presented to illustrate the application of the proposed approach. Through simulation, we try to estimate the gain in productivity resulting from the incorporation of RFID technology when compared with the identification system currently deployed.

Keywords: RFID Technology, Flexible Manufacturing Systems, Modeling, Discrete Event Simulation