

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE

JOEL MANOEL RODRIGUES

**GESTÃO DA DISPONIBILIDADE EM ATIVOS FÍSICOS PARA UMA  
LINHA DE PRODUÇÃO COM TRÊS TURNOS**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

Curitiba  
2015

JOEL MANOEL RODRIGUES

**GESTÃO DA DISPONIBILIDADE EM ATIVOS FÍSICOS PARA UMA  
LINHA DE PRODUÇÃO COM TRÊS TURNOS**

Monografia apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Engenharia de Confiabilidade, do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Rodrigues

Curitiba  
2015

## RESUMO

**RODRIGUES, Joel Manoel. GESTÃO DA DISPONIBILIDADE EM ATIVOS FÍSICOS PARA UMA LINHA DE PRODUÇÃO COM TRÊS TURNOS. Monografia do Curso de Especialização em Engenharia da Confiabilidade do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2015**

Este trabalho reproduz de forma simulada o comportamento da disponibilidade em uma linha de produção do setor automobilístico que atua em três turnos. Utilizando-se de um banco de dados de quatro meses para calcular as distribuições de confiabilidade e reparo de cada operação, determinou-se a probabilidade do desempenho dos turnos submetido as mesmas condições de trabalho. Utilizando dos preceitos básicos de modelagem e simulação (RAM Analysis) com os indicadores de Tempo Médio de Reparo (MTTR), Tempo Médio entre Falhas (MTBF) e Disponibilidade, interpretou-se os resultados da confiabilidade. Na análise e inter-relação entre turnos foram utilizadas as ferramentas disponíveis nos *softwares Weibull ++ e BlockSim da reliasoft*. A simulação executada para um dia de trabalho mostrou estatisticamente que há um alto índice de indisponibilidade porém com homogeneidade no número e no tempo de linha parada, com equipes e horários diferentes em um *mix* de produção variado. O resultado da simulação mostra o turno da manhã com 44 falhas, o da tarde 48 e o turno da noite 49 falhas com os seus respectivos tempos em reparo.

**Palavras Chaves:** Linha de Produção; Confiabilidade; Disponibilidade; MTBF; MTTR.

## **ABSTRACT**

**RODRIGUES, Joel Manoel. AVAILABILITY IN ASSET MANAGEMENT FOR PHYSICAL PRODUCTION LINE WITH THREE SHIFTS.** Monograph of Specialization in Reliability Engineering of Academic Department of Electrical Engineering at Federal Technological University of Paraná. Curitiba, 2015.

This work reproduces a simulated behavior of availability in a production line of automotive industry which operates in three shifts. Using for this a database of four months to calculate the distributions of reliability and repair of each operation, thus pointing to the probability of the performance of the shifts undergone the same working conditions. Using for this the basic rules of modeling and simulation (RAM Analysis), with the indicators of Mean Time to Repair (MTTR), Mean Time Between Failures (MTBF) and availability were used to interpret the results of reliability. For analysis and interrelation between shifts, were used available tools in the software Weibull ++ and BlockSim of ReliaSoft. The simulation runs for a day's work showed statistically that there is a high degree of unavailability, however with homogeneity in the number of failures and the time line failure with teams and time different in a varied mix of production. The result shows in the morning shift with 44 failures, 48 the afternoon and the night shift 49 failures with their respective repair time.

**Key words:** Production Line; Reliability; Availability; MTBF; MTTR.

## **LISTA DE SIGLAS, acrônimos e Abreviaturas**

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Banco de Dados Turno Manhã "10 de 2835 linhas" .....	4
Tabela 2 - Banco de Dados Turno Tarde "10 de 3027 linhas" .....	5
Tabela 3 - Banco de Dados Turno Noite "10 de 2782 linhas" .....	6
Tabela 4 - Distribuições de Confiabilidade e Reparo por Operação / Turno.....	9
Tabela 5 - Dados de Confiabilidade para 1 hora de operação.....	10
Tabela 6 - Dados de Confiabilidade hora por linha.....	12
Tabela 7 - Número de Falhas e Tempo em Reparo por Operação / Turno.(500 simulações).....	13

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema Funcional da Linha.....	3
Gráfico 1 - Histograma de Tempo em Reparo.....	7
Figura 2 - Tela do Software Weibull ++.....	8
Gráfico 2 - Gráficos de Confiabilidade e Reparo.....	10
Figura 3 - Simulação Um Dia - Três Turnos (BlockSim).....	11
Figura 4 - Simulação Um Dia - Três Turnos (BlockSim).....	12
Figura 5 - Gráficos MTTR e MTBF e Tabela dos indicadores por OP / Turno.....	14

## SUMÁRIO

1. Introdução.....	1
2. Descrição da Linha de Produção e do Problema de Pesquisa.....	1
3. Levantamento de Dados.....	2
4. Tratamento dos Dados.....	7
5. Análise dos resultados.....	14
6. Discussão dos resultados.....	15
7. Conclusão.....	17
REFERÊNCIAS.....	18

## 1. Introdução

Sistemas Produtivos industriais iniciaram em meados de 1800 com advento da revolução industrial onde a manufatura era baseada em processos artesanais. Sistemas industriais de produção seriada em larga escala surgiram com Henry Ford que concebeu a sua primeira linha de montagem em 1913 e revolucionou os processos de produção (MUNIZ, 2012)

No Japão do pós guerra surgiram os sistemas produtivos focados na qualidade com o início do controle estatístico dos processos. Foi promovida uma grande revolução na gestão com foco na qualidade em toda acepção da palavra. Filosofias como Total Control Quality "TQC", Total Quality Manegment "TQM", Círculos de Controle da Qualidade "CCQ" surgiram e contribuíram para o desenvolvimento do sistema Toyota de produção *benchmarking* no mundo nas ultimas três décadas (PASCAL, 2008).

A gestão de ativos ainda é algo muito recente, a *International Organization for Standardization* (ISO) 55000, concluída recentemente baseada na *Publicly Available Specification* (PAS) 55 fornece quatro princípios de Gestão de Ativos:

### Quadro 1 - Princípios da Gestão de Ativos.

- Ativos existem para fornecer valor para a organização e partes interessadas.
- Gestão de Ativos transforma a intenção estratégica em tarefa, decisões, atividades técnicas e financeira.
- Liderança e cultura do local de trabalho são determinantes da percepção de valor.
- Gestão de ativos fornece garantia de que os ativos vão cumprir e desempenhar a sua função.

Fonte: LAFRAIA, 2014.

A alta demanda da produção na indústria automobilística nos últimos anos, inclusive em 2013 ano do estudo, proporcionava um estrangulamento da capacidade produtiva, que quando e onde necessário otimizar, era agregado as linhas e equipamentos a manufatura em tempo integral , isto é três turnos de produção para atender as características das várias etapas deste processo (SLACK *et al*, 2009).

A modelagem e simulação (RAM Analysis) é uma metodologia usada para criar modelos que permitem de forma probabilística prever a confiabilidade, a manutenibilidade e a disponibilidade de um sistema com cenários adversos. Esta metodologia identifica pontos

críticos do sistema, simulando cenários de melhoria com base nos dados coletados (RELIASOFT 2014).

Os indicadores usado para este estudo são apresentados a seguir:

Confiabilidade " probabilidade de que um equipamento ou sistema realize com sucesso a sua função dentro de condições pré estabelecidas, e por um tempo desejado." (FILHO, 2005 pg. 80 e 82). ,

*Mean Time To Repair* MTTR, "este tempo inclui o que foi gasto no reparo e todas as esperas que retardam a colocação do equipamento novamente em operação." (KARDEC; NASCIF, 2005 pg. 102).

Disponibilidade "é a probabilidade de um equipamento estar produzindo ou em condições de produzir, no período de tempo em que a operação desejava operar." (FILHO, 2005 pg.69).

"*Mean Time Between Failures* (MTBF) ou tempo médio entre falhas que é o tempo Médio de bom funcionamento." (KARDEC; NASCIF, 2005 pg. 102).

Este trabalho foi estruturado partindo-se da descrição da linha em estudo e problema de pesquisa, dando especial atenção na análise documental. No tratamento dos dados foram utilizados os softwares Weibull ++ e BlockSim da Reliasoft, para culminar na análise e discussão dos resultados, fechando com a conclusão.

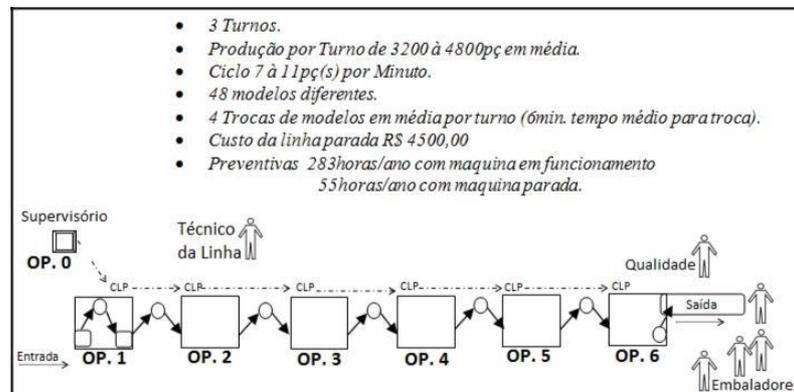
## **2. Descrição da Linha de Produção e do Problema de Pesquisa**

A linha estudada possui seis operações em série trabalhando em três turnos, com equipamentos de alta tecnologia e grande porte com elevado grau de complexidade técnica utilizando-se de hidráulica proporcional, eletrônica embarcada e de potência, com sistema operacional de grande porte (aproximadamente 160 sinais de entrada para o controlador lógico programável CLP em cada operação). O *mix* de produção conta com quarenta e oito produtos diferentes que são transportados por robôs durante seu processo produtivo. A mão de obra utilizada no processo é, um técnico de linha direcionado a manter o sistema operacional em funcionamento, quatro operadores no final da linha para embalagem, e um responsável por inspecionar a qualidade, mais uma equipe de suporte com profissionais de manutenção.

Em cada turno em média são realizadas quatro troca de produtos que são feitos de forma automatizadas com um tempo médio de 6 minutos. O ciclo de produção varia de 7 a 11 peças

por minuto, com uma produção média por turno entre 3000 a 4300pç. Dentro do *mix* de produtos existem alguns modelos de menor rotatividade, todos apresentam diferentes exigências de acabamento com grau de complexidade variado entre si para cada operação. A figura 1 mostra um esquema de funcionamento da linha.

Figura 1 - Esquema Funcional da Linha.



Fonte: Autoria própria (2014)

As informações de paradas de linha são coletadas de forma automatizadas, onde um *software* específico está conectada ao supervisor (sistema de gerenciamento) geral da linha que por sua vez ao C.L.P. de cada operação registrando em tempo real a parada da linha e o que ocasionou esta falha e seu respectivo tempo, desta forma é eliminando o erro humano no registro do dados. O custo médio de linha parada feito com base no valor de cada peça diferente produzida é de R\$ 4500,00 a hora.

O entendimento da confiabilidade utilizado pelos gestores da empresa estudada é uma visão empírica, não tendo os mesmos critérios preconizados pela literatura científica. O tratamento consiste simplesmente na análise das falhas que já ocorreram e as providências para a não repetição das mesmas. Neste contexto percebe-se que não há um estudo quantitativo e nem estimativas futuras de probabilidade de falha. Portanto o tratamento dado a confiabilidade se torna subjetivo ao não se aplicar os conceitos e metodologias indicados pelas normas nacionais (NB 5462) e internacionais (IEC 50).

### 3. Levantamento de Dados

Os dados foram extraídos do *software* de controle de falhas usando um período histórico de quatro meses do ano de 2013, o que caracteriza bem o processo de manufatura. Na análise

primária dos dados foram encontradas algumas inconsistências do sistema automatizado de coleta que foram corrigidos, são elas:

Registros de alarme que foram imputados como falha e se sobrepuseram a mesma.

Tempos de reparo estavam com registro errado, e todos os tempos foram recalculados em uma planilha para comparação e correção.

Fechamento de turnos não registrados, reparos de um turno sendo lançados para outro.

Em 8.644 linhas de dados analisadas e devidamente filtradas por turno, mês e operação foram montadas as tabelas usadas no estudo deste caso. As tabelas 1, 2 e 3 são um modelo simplificado com as primeiras e últimas cinco linhas do banco de dados.

Tabela 1 - Banco de Dados Turno Manhã "10 de 2835 linhas".

	Data Início	Hora Início	Data Fim	Hora Fim	Reparo Min.	Prod. Min.	OP	Turno	Código Parada
1				06:00: 00		2,13			
2	01/08/ 13	06:02: 08	01/08/ 13	06:04: 34	2,43	11,77	0		JU0
3	01/08/ 13	06:16: 20	01/08/ 13	06:18: 44	2,40	36,05	2	Manhã	AV0
4	01/08/ 13	06:54: 47	01/08/ 13	06:55: 19	0,53	0,02	1	Manhã	OCA
5	01/08/ 13	06:55: 20	01/08/ 13	07:00: 21	5,02	2,00	0	Manhã	JU0
283 2	29/11/ 13	07:27: 53	29/11/ 13	07:27: 55	0,03	1,50	4	Manhã	OCA
283 3	29/11/ 13	07:29: 25	29/11/ 13	07:37: 03	239,13	13,95	4	Manhã	FCA
283	29/11/ 13	07:51: 25	29/11/ 13	11:09: 03	219,98	17,07	0	Manhã	JCA

4	13	00	13	59					
283	29/11/	11:27:	29/11/	11:15:					
5	13	03	13	58	108,92	34,05	1	Manhã	OCA

Fonte: Pesquisa documental (2014)

Tabela 2 - Banco de Dados Turno Tarde "10 de 3027 linhas".

	Data Início	Hora Início	Data Fim	Hora Fim	Rep aro Min.	Prod. Min.	OP.	Turno	Código Parada
1				14:40:00		24,95			
2	01/08/ 13	15:04: 57	01/08/ /13	15:08:30	3,55	19,30	1	Tarde	JC1
3	01/08/ 13	15:27: 48	01/08/ /13	15:29:41	1,88	10,45	1	Tarde	NEP
4	01/08/ 13	15:40: 08	01/08/ /13	15:41:20	1,20	20,98	2	Tarde	AV0
5	01/08/ 13	16:02: 19	01/08/ /13	16:03:31	1,20	0,15	1	Tarde	AV1
3									
0									
2	29/11/ 13	22:41: 12	29/11/ /13	22:48:56	7,73	0,28	3	Tarde	AV1
3									
0									
2	29/11/ 13	22:49: 13	29/11/ /13	22:51:18	2,08	12,95	3	Tarde	AV1
3									
0									
2	29/11/ 13	23:04: 15	29/11/ /13	23:05:25	1,17	2,27	4	Tarde	1Y0
3									
0									
2	29/11/ 13	23:07: 41	29/11/ /13	23:09:20	1,98	0,67	5	Tarde	2Y0

6									
3									
0									
2		<b>23:10:</b>							
7		<b>00</b>				<b>0,66</b>		<b>Tarde</b>	

Fonte: Pesquisa documental (2014)

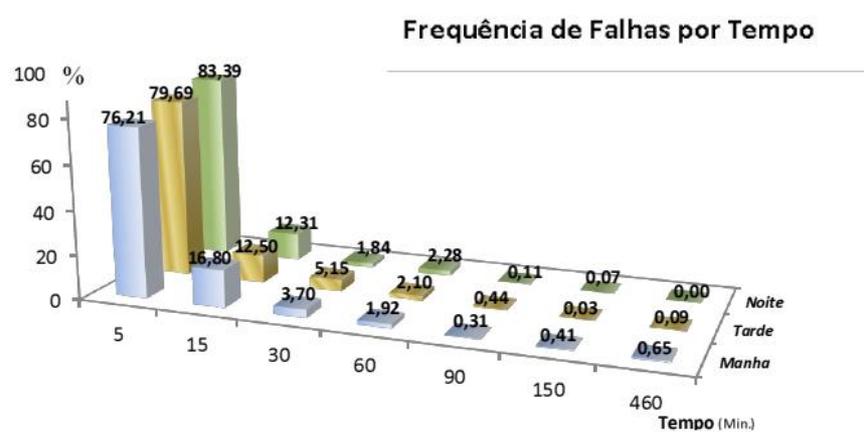
Tabela 3 - Banco de Dados Turno Noite "10 de 2782 linhas".

	Data Início	Hora Início	Data Fim	Hora Fim	Rep Mi n.	Pro d. Mi n.	O P.	Turn o	Códig o Parad a
1				23:10 :00		8,03			
2	31/0 7/13	23:18 :02	31/0 7/13	23:22 :21	4,32	5,08	1	Noit e	RY24
3	31/0 7/13	23:27 :26	31/0 7/13	23:28 :38	1,20	17,72	2	Noit e	5Y4C
4	31/0 7/13	23:46 :21	31/0 7/13	23:49 :54	3,55	0,93	2	Noit e	AVON
5	31/0 7/13	23:50 :50	31/0 7/13	23:53 :58	3,13	6,00	1	Noit e	RU03
277 8	30/1 1/13	04:55 :00	30/1 1/13	04:58 :30	3,50	9,42	1	Noit e	RY0D
277 9	30/1 1/13	05:07 :55	30/1 1/13	05:09 :20	1,42	21,17	2	Noit e	1Y08
278 0	30/1 1/13	05:30 :30	30/1 1/13	05:32 :09	1,65	24,63	0	Noit e	NEP2
278 1	30/1 1/13	05:56 :47	30/1 1/13	05:58 :00	1,22	2,00	3	Noit e	1Y08
278 2		06:00 :00			0,00				

Fonte: Pesquisa documental (2014)

No gráfico 1 é apresentado um histograma mostrando a frequência das falhas em percentual por minuto nos três turnos estudados, indicando um elevado número de falhas de correção rápida de 0 a 5 minutos. Também pode ser considerado alto número de falhas de 05 a 15 minutos, apontando para a probabilidade das mesmas terem um baixo grau de complexidade.

Gráfico 1 - Histograma de Tempo em Reparo.



Fonte: Autoria própria (conforme dados gerais do modelo apresentado nas tabelas 1,2 e 3)

#### 4. Tratamento dos Dados

É importante salientar que a probabilidade acumulada de falha é complementar a confiabilidade, isto é, em 100% do tempo em estudo o que não for falha é confiabilidade.  $F_{(T)} = 1 - R_{(T)}$ . (RELIASOFT 2014).

Para tratamento dos dados foi usado os *softwares Weibull ++ e o BlockSim da Reliasoft*. No primeiro foram analisados os dados conforme as tabelas 2, 3 e 4 com dados de tempo em reparo, operação por operação, considerando-se a configuração de uma linha única, isto é para cada operação foram selecionadas os tempos ocorridas e transferidas para o *Weibull++* determinando a distribuição de tempo em reparo melhor ranqueada no teste de aderência para todas as operações. Para as distribuições de confiabilidade foram transferidas os tempos de trabalho de cada operação e usado como suspensão os tempos de reparo de todas as outras operações da linha menos a da operação em análise, o que forneceu a distribuição de confiabilidade da operação melhor ranqueada no teste de aderência. Na fig. 2 é apresentado uma breve síntese de como foi executado este processo no *software*:



Tabela 4 - Distribuições de Confiabilidade e Reparo por Operação / Turno.

Turno Manha Distribuições						
OP. 0	OP. 1	OP. 2	OP. 3	OP. 4	OP. 5	OP. 6
Conf.	Conf.	Conf.	Conf.	Conf.	Conf.	Conf.
Gama Generalizada Mu (Min.): 3,159081 Sigma : 1,46502 Lambda : 0,695356	Gama Mu (Min.): 4,538960 K : 0,532846	Exp. 2 P TM : 23,769530 G : 0,020000	Gama Generalizada Mu (Min.): 3,803290 Sigma : 1,189351 Lambda : 0,817733	Gama Generalizada Mu (Min.): 3,988493 Sigma : 1,045854 Lambda : 0,811200	Exp. 2 P TM : 66,293868 G : 0,020000	Gama Mu (Min.): 4,363442 k : 1,219865
Reparo	Reparo	Reparo	Reparo	Reparo	Reparo	Reparo
Log Logística Mu (Min.): 1,406602 Sigma : 0,380412	Gama Generalizada Mu (Min.): 0,661344 Sigma : 1,462870 Lambda : 0,447169	Log Logística Mu (Min.): 0,931979 Sigma : 0,461494	Log Logística Mu (Min.): 0,849240 Sigma : 0,379401	Log Logística Mu (Min.): 0,804599 Sigma : 0,414106	Log Logística Mu (Min.): 0,782600 Sigma : 0,358475	Gama Generalizada Mu (Min.): 0,158461 Sigma : 0,019090 Lambda : -50,0000
Turno Tarde Distribuições						
OP. 0	OP. 1	OP. 2	OP. 3	OP. 4	OP. 5	OP. 6
Conf.	Conf.	Conf.	Conf.	Conf.	Conf.	Conf.
Gama Generalizada Mu (Min.): 2,951768 Sigma : 1,390190 Lambda : 0,585225	Gama Mu (Min.): 4,193997 K : 0,626931	Gama Mu (Min.): 3,779170 k : 0,916084	Weibull 2 P $\beta$ : 0,899218 $\eta$ : 55,168810	Exp. 2 P TM : 73,015498 G : 0,020000	Exp. 2 P TM : 71,193151 G : 0,020000	Gama Generalizada Mu (Min.): 5,030182 Sigma : 0,832705 Lambda : 1,038947
Reparo	Reparo	Reparo	Reparo	Reparo	Reparo	Reparo
Gama Generalizada Mu (Min.): 1,663717 Sigma : 0,969403 Lambda : -0,328989	Log Logística Mu (Min.): 0,537669 Sigma : 0,647306	Gama Generalizada Mu (Min.): 0,393108 Sigma : 0,505923 Lambda : -1,310404	Log Logística Mu (Min.): 0,751164 Sigma : 0,379088	Log Logística Mu (Min.): 0,609636 Sigma : 0,414461	Log Logística Mu (Min.): 0,805648 Sigma : 0,452902	Log Logística Mu (Min.): 0,765890 Sigma : 0,446935
Turno Noite Distribuições						
OP. 0	OP. 1	OP. 2	OP. 3	OP. 4	OP. 5	OP. 6
Conf.	Conf.	Conf.	Conf.	Conf.	Conf.	Conf.
Exp. 2 P TM : 26,173989 G : 0,020000	Gama Mu (Min.): 4,954493 k : 0,501151	Exp. 2 P TM : 28,925458 G : 0,020000	Exp. 2 P TM : 39,897741 G : 0,020000	Gama Mu (Min.): 3,734556 k : 1,191264	Exp. 2 P TM : 60,480935 G : 0,020000	Gama Generalizada Mu (Min.): 4,466417 Sigma : 0,754364 Lambda : 1,085641
Reparo	Reparo	Reparo	Reparo	Reparo	Reparo	Reparo
Log Logística Mu (Min.): 1,343904 Sigma : 0,456124	Gama Generalizada Mu (Min.): 0,549039 Sigma : 1,573607 Lambda : 0,334640	Gama Generalizada Mu (Min.): 0,464894 Sigma : 0,508446 Lambda : -1,146200	Log Logística Mu (Min.): 0,854516 Sigma : 0,460985	Log Logística Mu (Min.): 0,627668 Sigma : 0,366995	Log Logística Mu (Min.): 0,797905 Sigma : 0,386715	Gama Generalizada Mu (Min.): 0,604225 Sigma : 0,565192 Lambda : -1,022884

Fonte: Autoria própria.

As distribuições são modelos criados por matemáticos, engenheiros e estatísticos, para representar matematicamente o comportamento de um determinado fenômeno. Segue as distribuições usadas neste estudo.

Distribuição Weibull é uma das distribuições de vida mais amplamente utilizados em engenharia de confiabilidade. É uma distribuição versátil que pode assumir as características de outros tipos de distribuição, com

base no valor do parâmetro de forma,  $\beta$ .

A distribuição exponencial é usada para modelar o comportamento de unidades que têm uma taxa de falha constante (ou unidades que não se degradam com o tempo ou se desgastam). É um caso especial da weibull, matematicamente simples.

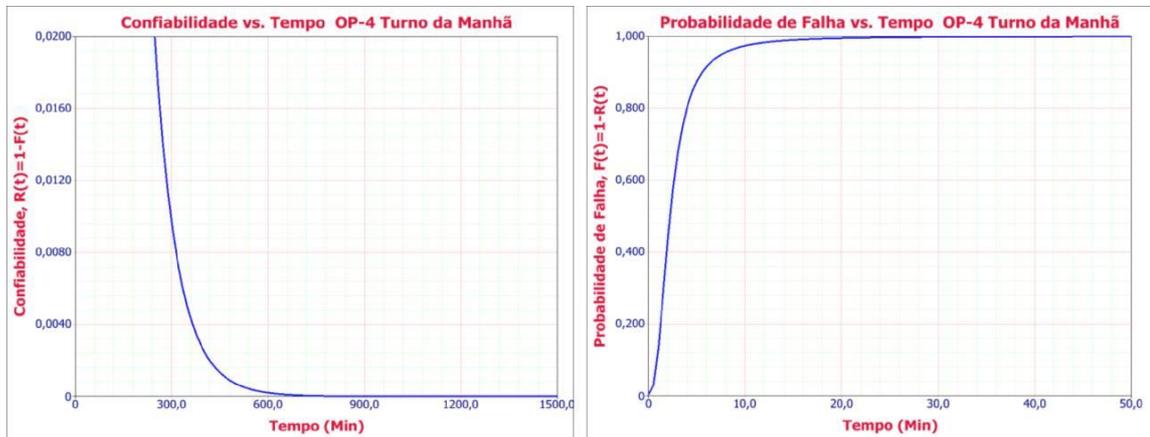
Distribuição gama generalizada não é frequentemente usado para a modelagem de dados de vida como as distribuições anteriores, a distribuição gama generalizada tem a capacidade de imitar os atributos de outras distribuições, como o Weibull ou lognormal, com base nos valores dos parâmetros da distribuição.

Distribuição gama é um modelo flexível de distribuição de vida que pode oferecer um bom ajuste para alguns conjuntos de dados de falha. Não é, no entanto, amplamente utilizado como um modelo de distribuição de vida para os mecanismos de falha comuns.

Distribuição log logística tem certas semelhanças com a distribuição logística. A variável aleatória é log logisticamente distribuído se o logaritmo da variável aleatória é logisticamente distribuído. Devido a isso, há muitas semelhanças matemáticas entre as duas distribuições. (<http://reliawiki.org>)

O gráfico 2 mostra um exemplo de confiabilidade e reparo da tabela 4, onde se pode visualizar as curvas de tendência da Op. 4 turno da manhã. É importante lembrar que a curva de confiabilidade refere-se a Op. 4 analisando-se a linha, enquanto a curva de reparo é exclusiva da Op. 4, não tendo interferência de outras operações da linha.

Gráfico 2 - Gráficos de Confiabilidade e Reparo Op. 4 Turno Manhã



Fonte: Autoria própria.

A tabela 5 mostra o cálculo de confiabilidade para uma hora das operações em seus respectivos turnos. Conforme preconiza a NBR 5462 de nov. 1994 "Capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo". Isto significa que os valores mostrados abaixo de  $R_{(t=1h)}$  demonstram a capacidade da operação em executar o seu propósito durante um determinado tempo sob condições preestabelecidas. Exemplo operação 3 turno manha  $R_{(t=1h)} = 0,300$  com uma assertividade de 90% durante período de tempo conforme calculado a mesma vai executar sua tarefa com uma probabilidade de ocorrer falhas de 70%.

Tabela 5- Dados de Confiabilidade para 1 hora de operação.

Confiabilidade MANHA	Confiabilidade TARDE	Confiabilidade NOITE
OP. 6 $R_{(t=1)} = 0,565$	OP. 6 $R_{(t=1)} = 0,716$	OP. 6 $R_{(t=1)} = 0,530$
OP. 5 $R_{(t=1)} = 0,405$	OP. 5 $R_{(t=1)} = 0,431$	OP. 5 $R_{(t=1)} = 0,371$
OP. 4 $R_{(t=1)} = 0,354$	OP. 4 $R_{(t=1)} = 0,440$	OP. 4 $R_{(t=1)} = 0,304$
OP. 3 $R_{(t=1)} = 0,300$	OP. 3 $R_{(t=1)} = 0,340$	OP. 3 $R_{(t=1)} = 0,222$

OP. 2	$R_{(t=1)} =$	0,080	OP. 2	$R_{(t=1)} =$	0,225	OP. 2	$R_{(t=1)} =$	0,126
OP. 1	$R_{(t=1)} =$	0,276	OP. 1	$R_{(t=1)} =$	0,234	OP. 1	$R_{(t=1)} =$	0,358
OP. 0	$R_{(t=1)} =$	0,180	OP. 0	$R_{(t=1)} =$	0,140	OP. 0	$R_{(t=1)} =$	0,101

Fonte: Autoria própria (Software Weibull ++).

Na fig. 3 tela do *software BlockSim* é apresentado uma descrição breve da montagem da do projeto no *software*.

Passo 1 Título do projeto onde foi montado as três RDB de simulação, três turnos;

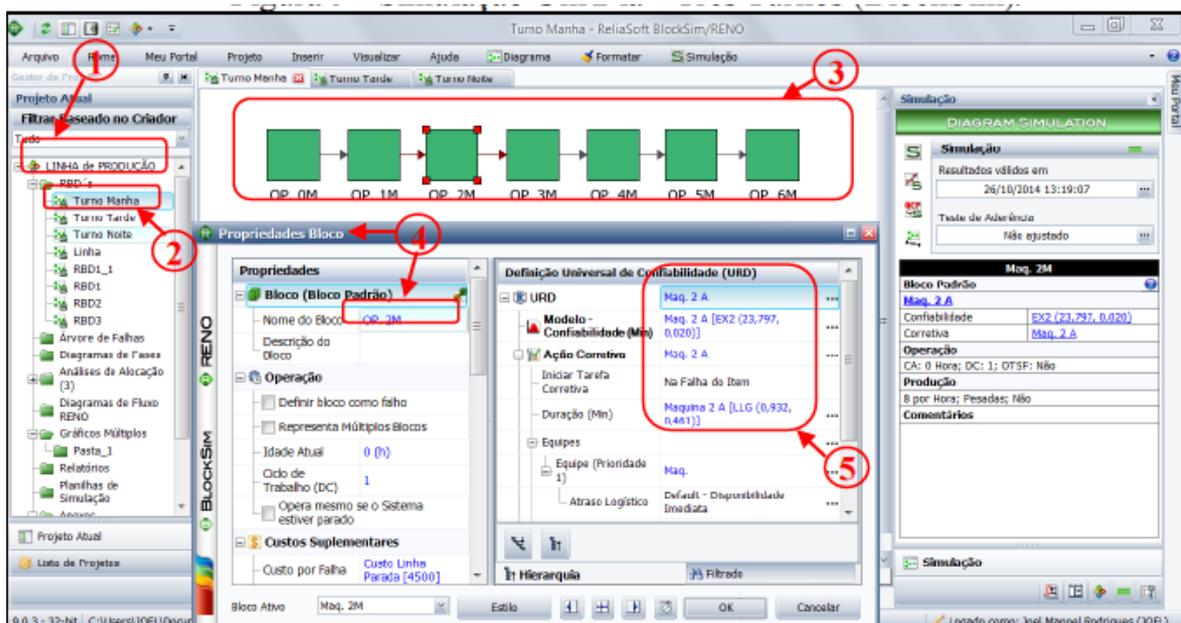
Passo 2 Turno da manhã;

Passo 3 Blocos cada qual representando uma operação da linha;

Passo 4 Propriedades dos blocos, neste caso Operação 2 Manhã;

Passo 5 Transcrição dos parâmetro das distribuições de confiabilidade e reparo determinados no *Weibull ++* para cada bloco em seu turno.

Figura 3 - Simulação Um Dia - Três Turnos (BlockSim).



Fonte: Autoria própria.

A tabela 6 mostra os valores de confiabilidade em um valor mínimo mensurável que foi 0,5 horas para cada uma das três linhas considerando-se uma simulação do mesmo período. O tempo usado foi a metade do tempo considerado para a confiabilidade das operações

conforme tabela 1, utilizando-se os mesmos princípios que preconizam engenharia de confiabilidade já citados, demonstram que a análise simples destes valores não possibilitam uma avaliação criteriosa como a complexidade do sistema exige.

Tabela 6 - Dados de Confiabilidade hora por linha.

MANHA	TARDE	NOITE
Confiabilidade	Confiabilidade	Confiabilidade
$R_{(t=0,5)}=0,004$	$R_{(t=0,5)}=0,004$	$R_{(t=0,5)}=0,002$

Fonte: Autoria própria

Na fig. 4 tela do *software BlockSim* é apresentada uma descrição breve da simulação executado no *software* com seus parâmetros a alguns resultados.

Passo 1 Parâmetro para simulação, o mesmo usado para todas as operações;

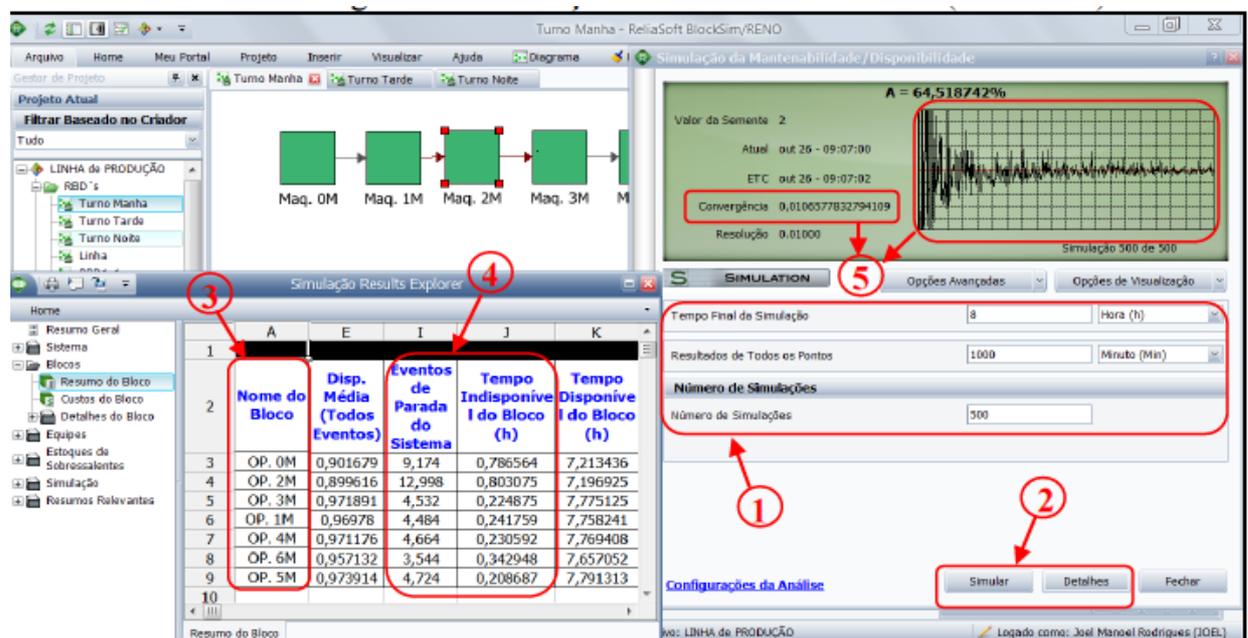
Passo 2 Botões simular e visualizar detalhes;

Passo 3 Janela de detalhes com os blocos de cada operação;

Passo 4 Janela de detalhes com o numero de falhas e o tempo em reparo por operação.

Passo 5 Gráfico e valor de convergência.

Figura 4 - Simulação Um Dia - Três Turnos (BlockSim).



Fonte: Autoria própria.

No passo 5 da fig. 4 foi definido o número de simulações de forma empírica e visual.

Percebe-se que com 500 simulações foi obtido uma convergência de 0,0106% que indica uma resposta mais próxima da realidade do sistema.

A tabela 7 mostra o número de falhas que cada operação apresentou na simulação de um turno de trabalho e o respectivo tempo de reparo em horas, é possível observar na mesma que a indisponibilidade do turno da noite é a superior dentre os três turnos, com 0,294 horas a mais que o turno da manhã, isto é 17,64 minutos a mais de tempo parado por dia.

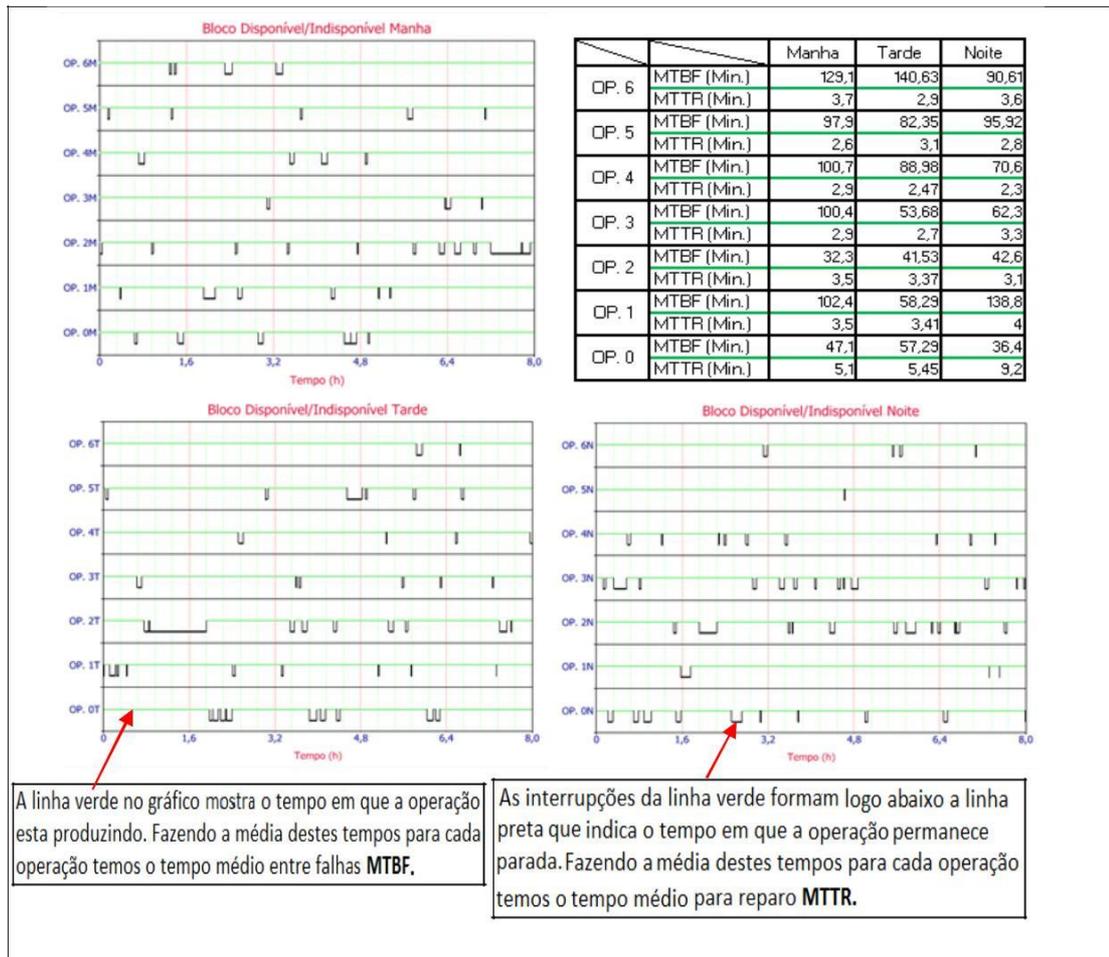
Tabela 7 - Número de Falhas e Tempo em Reparo por Operação / Turno.(500 simulações)

	OP. 0		OP. 1		OP. 2		OP. 3		OP. 4		OP. 5		OP. 6		Linha	
	Nº Falhas	Tempo Horas														
<b>M.</b>	9,1	0,786	4,5	0,270	13,3	0,796	4,6	0,230	4,6	0,229	4,7	0,208	3,6	0,224	44,4	2,741
<b>T.</b>	7,6	0,695	7,7	0,443	10,6	0,601	8,5	0,384	5,2	0,216	5,6	0,291	3,3	0,166	48,5	2,796
<b>N.</b>	11,6	1,044	3,2	0,221	10,25	0,535	7,5	0,420	6,7	0,264	4,7	0,221	5,3	0,327	49,2	3,035

Fonte: Autoria própria.

Na figura 5 é apresentado um gráfico dos indicadores de MTBF e MTTR para cada turno, e uma tabela com os valores para cada operação nos três turnos. É importante salientar que os gráficos são referente a última simulação das quinhentas executadas passo 1 da fig. 8, por isso não coincidem o número de falhas por operação apresentados na tabela 3.

Figura 5 - Gráficos MTTR e MTBF e Tabela dos indicadores por OP / Turno.



Fonte: Autoria própria.

## 5. Análise dos resultados

O tratamento dos dados mostrou uma boa homogeneidade nos resultados apresentados pela simulação feita para este estudo, com maior disparidade no turno da noite OP 0, onde 34,4% do tempo indisponível da linha ocorreu com 11,6 falhas apresentadas na simulação, com um tempo em reparo de 1,044 horas. Outro ponto que apresentou diferença significativa foi na OP 2 turno da manhã que apresentou o maior número de falhas individual por operação 13,3 eventos, com segundo maior tempo de reparo 0,796 hora por turno conforme apresentado na tabela 7 que também mostra o turno da noite com o maior tempo geral de linha indisponível: 3,035 horas dia de trabalho no turno. Cabe resaltar as diferenças entre as operações, sendo que as de 2 a 6 possuem as mesmas características construtivas, acrescentando-se a OP 2 uma capacidade de carga superior e um subsistema hidráulico de força com características únicas, já a OP 1 é responsável pela entrada automática de matéria prima e transferência para o início de manufatura, restando a OP 0 que não existe fisicamente e é usada pelo sistema para declarar os tempos referente a todo o conjunto da linha, inclusive os tempos de troca de

modelo citado na fig. 1, onde com frequência acontecem falhas. Os indicadores de MTBF e MTTR conforme mostra a tabela da fig. 5 apontam para uma maior ineficiência da OP 0 e OP 2 com o menor valor para o tempo médio entre falhas, isto é o menor tempo das operações em funcionamento entre uma falha e outra, MTBF. O maior tempo para reparo, que é o indicador de MTTR mostra a OP 0 com os maiores números nos três turnos. A avaliação deste dois indicadores é inversamente proporcional, quanto maior o MTBF melhor e quanto menor o MTTR melhor.

A análise individual dos parâmetros de confiabilidade não permite uma boa conclusão de todos os fatores envolvidos, conforme mostra as tabelas 5 e 6. Na tabela 5 foi mostrado a confiabilidade das operações por turno de trabalho, foi considerado um tempo de uma hora, valores obtidos no *software weibull ++*. Na tabela 6 está indicando os valores de confiabilidade por linha, agora com um tempo de 0,5 horas onde foi encontrado um valor mensurável, resultados estes obtidos no *software BlockSim*. A modelagem "RAM" aplicada neste estudo permite a aplicação futura de um estudo de RCA *Root Cause Analysis* analisando os problemas de forma pontual, e simulando para conferir os resultados obtidos.

Considerando-se apenas o custo por hora da linha parada calculado pelo departamento de engenharia da empresa tomando como base o valor médio dos modelos fabricados na linha que é de R\$ 4500,00/hora fig. 1, somando-se os tempos de parada nos três turnos tabela 7 é possível afirmar que o valor financeiro líquido não aproveitado para os três turnos somados é de R\$ 38.574,00 dia por indisponibilidade da linha.

## 6. Discussão dos resultados

Em síntese é possível afirmar que mediante os resultados obtidos a disparidade neste estudo é baixa, não sendo maior que 17 minutos entre os turnos de trabalho, conforme mostrado na tabela 7, a noite tem 3,035 horas de tempo em reparo, é o pior caso, e turno da manha 2,741 horas, é melhor caso. A simulação de um dia, que poderia ser de um mês, uma semana ou até um ano, mostrada na fig. 4 passo 1, apresenta um índice de indisponibilidade muito alto apesar da sua homogeneidade entre os turnos que demonstram as mesmas deficiências na gestão. A principal dedução prática vislumbrada neste estudo é a diferença entre o *know-how* técnico identificado e o considerado necessário pelo autor deste artigo para operacionalizar a manufatura de uma linha que extrapola habilidades técnicas de automação eletroeletrônica (*softwares*), mecânica avançada e manutenção, montagem e ajustes de moldes. O técnico da linha mostrado na fig. 1, não possui nenhuma destas características, conforme estratégia da

gestão que o mantém apenas na condição de operador que infere o processo automático da linha. A fig. 5 mostra nos três turnos estudados que a OP0 e a OP2 não conseguem atingir um MTBF de 60 minutos, as outras operações com exceção da OP 1 e OP 3 do turno da tarde, conseguem um índice acima de uma hora, o que ainda é muito baixo para uma linha de produção com um sistema de automação avançado como esta em estudo. Durante o período de análise foi constatado a possibilidade de ajustes online, isto é, com a linha em funcionamento. O tempo de ciclo das operações na linha é diferente, o menor tempo de ciclo é o que determina a produtividade da linha sete à onze peças por minuto fig. 1. Ajustes como velocidade e ou aceleração dos robôs em operações com tempos ociosos, ou até mesmo alterações de parâmetros das próprias operações resolvem problemas que implicariam em falhas causadoras de um grande número de pequenos tempos de reparo que são rearmadas pelo técnico da linha, colocando a mesma em ciclo automático novamente. A ocorrência de uma simples anomalia obriga o técnico de linha a chamar o suporte de uma das três especialidades citadas, que na prática é comum entrarem em conflito quanto a solução e a responsabilidade sobre o tempo imputado a parada da linha. A movimentação das equipes de suporte demanda um aumento considerável no *downtime* da linha, já que as mesmas atendem outras partes da fábrica. A utilização de um profissional de alto nível técnico com habilidades básicas em software, mecânica fina, hidráulica e ajustes de moldes implicaria num investimento maior com folha de pagamento, que proporcionaria uma diminuição nos custos de indisponibilidade do ativo físico em estudo, reduzindo a depreciação do equipamento por ações indevidas também causadoras de longos tempos de reparo. Deve ser considerado ainda a ociosidade do técnico da linha quando destas ocorrências.

## **7. Conclusão**

É possível afirmar que a aplicação da engenharia de confiabilidade é uma importante ferramenta para gestão de ativos físicos, pois de forma simulada possibilita a análise para o direcionamento futuro das atuais estratégias de manufatura, possibilitando-se assim identificar com assertividade os desvios durante o processo. No desenvolvimento da pesquisa foi observada uma dificuldade no tratamento dos dados, com já relatado, pois a empresa possui um sistema de coleta automatizada porém os mesmos não são consistentes e careceram de ajustes. O sucesso da implementação da confiabilidade científica neste processo passa obrigatoriamente pela otimização do sistema de coleta de dados, base para o estudo científico da confiabilidade. A análise RAM aplicada neste estudo pode ser trabalhada de forma dinâmica para o gerenciamento do ativo em questão em todo seu ciclo de vida, acompanhando as ações de manutenção e operação da linha. No caso da aplicação futura de um RCA o modelo criado permite mensurar os resultados. Cabe salientar a replicabilidade desta análise RAM demonstrada para outros ativos similares.

## REFERÊNCIAS

BRANCO, Gil Filho. **Indicadores e Índices de Manutenção**, Rio de Janeiro 2006. Editora Ciência Moderna Ltda.

DENNIS, Pascal. **Produção Lean Simplificada**. São Paulo 2008. Bookman Companhia Editora Ltda.

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. **Manutenção Função estratégica**, Rio de Janeiro 2001. Qualitymark Editora Ltda.

LAFRAIA, João Ricardo. **A Futura Norma Internacional de Gestão de Ativos ISO 55.000, Artigo 2014**. Disponível em <http://www.abraman.org.br/sidebar/pas55>> Acesso em 30 outubro 2014.

MUNIZ, Jorge Junior. **Administração de Produção**. Curitiba 2012. IESDE Brasil S.A.

**NBR 5462** de Novembro 1994.

[HTTP://RELIAWIKI.ORG/index.php?title=Life\\_Distributions](http://RELIAWIKI.ORG/index.php?title=Life_Distributions) - E.U.A. Acesso em 05 novembro 2014.

RELIASOFT Brazil. **BlockSim - Versão 9.0.3 - 32bit** © Software Corporation. 1992 - 2013.

RELIASOFT Brazil. **Weibull ++ - 9.0.3 - 32bit** © Software Corporation 1992- 2013.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; HARLAND, Christine; HARRISON, Alan; JOHNSTON, Robert.

**Administração da Produção**, São Paulo 2009. Editora Atlas S.S.