

SIMULAÇÃO

Notas de aula

Fernando Mori

prof.fmori@gmail.com

O presente texto são notas de aula de Simulação Computacional ministrado na Universidade São Judas Tadeu para os cursos de Engenharia de Produção e Ciência da Computação. As notas são divididas em duas partes: a parte 1 trata dos fundamentos da simulação e a parte 2 realiza aplicações da simulação usando o software ARENA.

Simulação

PARTE I: Fundamentos de Simulação

Introdução

Simulação é uma técnica computacional de solução de problemas que envolve a formulação de um modelo de um sistema real ou proposto e a experimentação com o modelo proposto visando avaliar:

- a) o comportamento do sistema levando em conta incertezas sob diferentes condições.
- b) as estratégias para as operações mais eficientes do sistema.

Um modelo de simulação discreta é definido por meio da especificação de recursos representando entidades permanentes com capacidade limitada, do sistema de transações representando entidades discretas e temporárias que percorrem determinados elementos do sistema alterando seu estado.

Modelos de simulação discreta são então usualmente especificados por meio de recursos e transações com seus atributos conhecidos instanciados (valores iniciais, valores assumidos, etc.) formando uma estrutura física e uma estrutura lógica.

A simulação é indicada quando for inviável interagir com o sistema real ou conduzir experimentos no sistema real, ou então quando o sistema real não existe ainda.

Método de Monte Carlo

O método de Monte Carlo (M,M,C) é um método numérico de simulação de sistemas discretos que permite resolver, com a utilização de números aleatórios, modelos de processos ou situações que envolvam incertezas. Com esse método as incertezas são tratadas por meio de distribuições de probabilidades. As distribuições de probabilidades podem ser as clássicas de variável discreta, tais como a distribuição binomial ou de Poisson, ou de variável aleatória contínua como a distribuição normal. A distribuição pode ser ainda empírica quando os dados de um levantamento não aderem a nenhuma distribuição conhecida.

Números aleatórios são valores de uma distribuição Uniforme contínua entre 0 e 1 (UNIF[0,1]) ou equivalente. Todos os valores tem igual probabilidade de ocorrer. Usados em simulação para o tratamento de eventos incertos, estes números que na realidade são pseudoaleatórios, são gerados a partir de tabelas ou procedimentos elaborados com base em métodos estatísticos apropriados. Uma sequência de números aleatórios é uma amostra aleatória de números aleatórios independentes.

O método baseia-se na geração de valores para distribuições de probabilidades.

Uma das técnicas para gerar valores para essas distribuições é a técnica de transformação inversa. Esta técnica consiste em gerar números aleatórios para, a partir da função de distribuição cumulativa, gerar valores que se comportam segundo essa distribuição.

Para resolver este problema usando o MMC, devemos observar se as distribuições relevantes são especificadas por meio de fórmulas ou tabelas.

A variável aleatória resulta de um experimento ou processo estatístico. Ela pode ser Função distribuição de probabilidade discreta (VAD) que assume um valor com uma dada probabilidade, ou Função densidade de probabilidade contínua (VAC) que assume uma faixa de valores com uma dada probabilidade.

Algumas distribuições clássicas são:

VAD	
Distribuição Binomial	BINO(n,p)
Distribuição de Poisson	POIS(λ)
VAC	
Distribuição Exponencial	EXPO(μ)
Distribuição Normal	NORM(μ, σ)
Distribuição Uniforme Contínua	UNIF(a, b)
Distribuição Triangular	TRIA(a,m,b)

a) Fórmulas

Se a distribuição for, por exemplo identificada como uma distribuição uniforme contínua UNIF(a,b), a fórmula $x = a + (b - a)r$ permite com base em uma sequência de números aleatórios $r_1, r_2, r_3, r_4, \dots$, gerar a correspondente sequência de valores x_1, x_2, x_3, \dots que se comportam segundo essa distribuição.

Se a distribuição for uma exponencial com parâmetro μ , EXPO(μ), então a fórmula derivada da função cumulativa de distribuição será $t = -\mu \ln(r)$, e com base na sequência de números aleatórios r_1, r_2, r_3, \dots , geramos t_1, t_2, t_3, \dots , que se comportam segundo essa distribuição.

b) Tabelas

Devem ser usadas sempre que a distribuição identificada for uma distribuição de variável aleatória discreta. Neste caso completa-se a tabela com a coluna adicional de função cumulativa (FC) com os valores acumulados das probabilidades. Com base nesta tabela e em uma sequência de números aleatórios, geramos valores que se comportam segundo a distribuição identificada.

Exercícios

- 1) 1) Um hotel tem 100 quartos. Em uma noite ele aceita até 106 reservas devido à possibilidade de cancelamentos. Os arquivos passados mostram que o número de reservas diárias obedece a uma distribuição dada na tabela. As pessoas que efetuam a reserva, e desistem de ocupar o quarto em uma determinada noite, obedecem a uma distribuição de probabilidades dada na tabela abaixo. Usando simulação para um período de 10 noites, calcule o número médio de quartos usados por noite.

Número de pessoas que desistem de ocupar o quarto.	Probabilidade
0	0,10
1	0,20
2	0,25
3	0,30
4	0,10
5	0,05

Número de reservas diárias	Probabilidade
96	0,10
98	0,20
100	0,40
102	0,20
104	0,05
106	0,05

Noite	Número aleatório para o nº. de reservas	Número de reservas	Número aleatório para o nº.de desistentes	Nº. de desistentes	Quartos ocupados
1	0.81		0.29		
2	0.25		0.86		
3	0.61		0.25		
4	0.54		0.86		
5	0.87		0.74		
6	0.93		0.53		
7	0.12		0.54		
8	0.78		0.38		
9	0.69		0.95		
10	0.73		0.43		

- 2) Uma indústria produz uma peça em um processo sequencial de 2 estágios E1 e E2. Os tempos de processamento por peça são variáveis aleatórias com distribuições:

Estágio	Tempo de processamento
E1	Exponencial com média 10 min.
E2	Uniforme entre 5 e 15 min.



Usando o MMC, estime o tempo médio para produzir uma peça. Realize oito ciclos.

Distribuições:

Tempo em E1 (min)	EXPO(10)	$t = -10\ln(r)$
Tempo em E2 (min)	UNIF(5,15)	$x = 5 + (15 - 5)r$

Tabela MMC

ciclo	Numero aleatório para E1	Tempo E1	Numero aleatório para E2	Tempo E2	Tempo total
1	0,41	8,91	0,06	5,6	14,51
2	0,66	4,15	0,95	14,5	18,65
3	0,42	8,67	0,96	14,6	23,27
4	0,90	1,05	0,34	8,4	9,45
5	0,33	11,08	0,07	5,7	16,78
6	0,17	17,72	0,37	8,7	26,42
7	0,36	10,21	0,18	6,8	17,01
8	0,15	18,97	0,08	5,8	24,77
					Soma = 150,86

Tempo médio será: $t = \frac{150,86}{8} = 18,85 \text{ min}$

- 3) Usando o Método de Monte Carlo estime, com base em 10 tentativas, a probabilidade de um casal que planeja ter 4 filhos conseguir 3 meninos e 1 menina, sabendo-se que a probabilidade de nascer um filho homem é de 55%.

Distribuição Envolvida

Filho Homem	Prob	Prob Acum
sim		
não		

Tabela MMC

T	r_{Filho1}	Filho 1	r_{Filho2}	Filho 2	r_{Filho3}	Filho 3	r_{Filho4}	Filho 4	
1	.15		.56		.45		.29		
2	.45		.96		.09		.58		
3	.72		.46		.37		.86		
4	.06		.76		.32		.87		
5	.95		.86		.08		.00		
6	.96		.39		.94		.51		
7	.34		.22		.39		.62		
8	.0.7		.94		.17		.73		
9	.37		.23		.61		.53		
10	.18		.12		.51		.15		

- 4) Em uma pequena empresa de transporte a direção deseja estimar os custos associados com a carga de seus caminhões. A probabilidade de chegada de um caminhão a ser carregado, em cada hora do dia, é 40%. As cargas são classificadas em níveis sendo que a probabilidade que uma carga seja de nível A é de 50%, de nível B 30% e de nível C 20%. O custo estimado de cada tipo de carga é de 5.000 se nível A, 3.000 se nível B e 1.000 se nível C. Sabendo-se que a empresa trabalha 10 horas por dia, aplique o Método de Monte Carlo para simular um dia de operação. Com base na simulação efetuada, estime o custo diário do processo de carga.

Distribuições Envolvidas

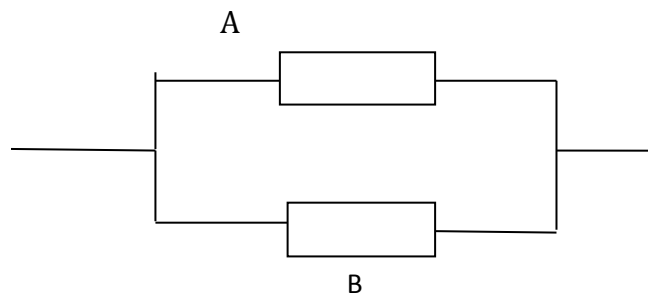
Chegada Cam / hora	Prob	Prob Acum
sim		
não		

Nível da Carga	Prob	Prob Acum
A		
B		
C		

Tabela MMC

T (hora do dia)	r_{cheg}	Chegada Caminhão	$r_{\text{nível}}$	Nível da Carga	Custo de carga
1	.83		.78		
2	.10		.65		
3	.39		.32		
4	.14		.19		
5	.90		.59		
6	.64		.44		
7	.67		.81		
8	.92		.95		
9	.42		.29		
10	.42		.54		

- 5) O sistema esquematizado abaixo funciona quando os componentes A e B funcionam. A probabilidade de A funcionar é $\frac{1}{2}$ enquanto a probabilidade de B funcionar é $\frac{2}{3}$. Usando o método de Monte Carlo estime a probabilidade de o sistema funcionar.



ciclo	Numero aleatório		Numero aleatório		
1	.83		.78		
2	.10		.65		
3	.39		.32		
4	.14		.19		
5	.90		.59		
6	.64		.44		
7	.67		.81		
8	.92		.95		
9	.42		.29		
10	.42		.54		
11	.56		.75		
12	.09		.21		
13	.52		.54		
14	.28		.29		
15	.17		.04		
16	.12		.96		
17	.69		.12		
18	.51		.26		
19	.79		.59		
20	.33		.48		

- 6) Um empreendedor pretende investir 100.000 u.m. para produzir um único produto cuja unidade será vendida a 50 u.m.. O custo unitário mensal de fabricação do produto e a quantidade mensal de vendas são variáveis aleatórias cujas distribuições de probabilidade, especificadas pelas tabelas abaixo, foram obtidas por meio de pesquisa de mercado.
- a. Simule um ano de funcionamento da empresa de modo a estimar o lucro médio mensal.
- b. O negócio será rentável (justificar a resposta)?

Custo Unitário Mensal

Custo	Probabilidade
20	.10
25	.20
30	.40
35	.20
40	.10

Qtde de Vendas Mensais

Qtde	Probabilidade
2.500	.05
5.000	.10
7.500	.25
10.000	.25
12.500	.15
15.000	.06
17.500	.05
20.000	.03
22.500	.02
25.000	.02
27.500	.01
30.000	.01

T (ano)	Numero aleatório da venda	Qtde Vendas Anuais Q	Numero aleatório para o custo unitário	Custo Unitário C	Lucro Unitário = $Q \cdot (50 - C) - 100.000$
1	33		60		
2	28		32		
3	70		42		
4	27		33		
5	55		60		
6	49		85		
7	67		97		
8	97		07		
9	56		48		
10	00		17		
				Lucro Médio ($\Sigma / 10$)	

- 7) Uma máquina automática fornece, em média, uma xícara de café por minuto. Os fregueses chegam aleatoriamente a cada 3 minutos em média. Supondo que a espera ocorra somente em função do tempo de preparo do café, com base na Simulação Monte Carlo, responda às questões a seguir relativas ao funcionamento da máquina de café

a.	Tempo, em minutos, que um cliente espera, em média, antes de ser atendido:	
b.	Número médio de pessoas esperando para serem servidas:	

Distribuições envolvidas

Variável Aleatória	Distribuição	Unidade de Medida	Geração Valores
Chegada de Freguês	EXPO(3)	min / cheg	$t = -3 \cdot \ln r$
Tempo de Preparo de Café	EXPO(1)	min / cafe	$t = -\ln r$

Tabela MMC (tempos em minutos)

T	r_{cheg}	Intervalo de Tempo entre Chegadas $t = -3 \ln r$	Chegada (Relógio)	Início Atend	r_{atend}	Duração Atend $t = -\ln r$	Saída Atend	Tempo de Espera	
1	.45				.75				
2	.72				.25				
3	.06				.16				
4	.95				.05				
5	.96				.92				
6	.34				.54				
7	.07				.40				
8	.37				.03				

- 8) Uma padaria produz pão francês. Cada manhã a padaria satisfaz a demanda do dia usando pão feito no dia. A padaria faz pães em dúzias. Cada pão custa \$0,15. Por simplicidade supomos que a demanda diária de pães diários ocorre em múltiplos de 12. Dados coletados anteriormente mostram que essa demanda varia entre 36 e 96 pães por dia. Um pão é vendido por \$0,40 e cada pão que sobra é vendido no final do dia a \$0,10. Se a demanda superar a oferta, supomos que exista um custo adicional de \$0,15 por pãozinho (devido a perda de fregueses para concorrência). Os registros da padaria mostram que a demanda diária pode ser caracterizada entre 3 tipos: alta, média e baixa. Essas demandas ocorrem com probabilidade 0,30; 0,45 e 0,25 respectivamente.

A distribuição da demanda por categoria é mostrada na tabela. O dono da padaria gostaria de determinar o número ótimo de pães que ele deve produzir por dia de forma a maximizar seu lucro (receita + receita sobra – custo de produção – custo de fregueses perdidos).

Tabela de distribuição de demanda por categorias

Demanda	Alta	Média	Baixa
36	0,05	0,10	0,15
48	0,10	0,20	0,25
60	0,25	0,30	0,35
72	0,30	0,25	0,15
84	0,20	0,10	0,05
96	0,10	0,05	0,05

No processo de simulação devemos primeiro desenvolver um processo para gerar a demanda do dia.

Passo 1:

Determinar o tipo de demanda, ou seja, se tipo de demanda é alta, média ou baixa. Para isso, calculamos a função de distribuição acumulativa e atribuímos números aleatórios a ela. Então, para determinar o tipo de demanda devemos gerar um número aleatório de 2 dígitos que pode ser comparado com os números que se encontram na tabela

Tipo de Demanda	Probabilidade	Distribuição acumulativa	Intervalo dos números aleatórios
Alto	0,30	0,30	00 - 29
Médio	0,45	0,75	30 - 74
Baixo	0,25	1,00	75 - 99

Vejamos este mesmo raciocínio na construção da tabela de distribuição pelo tipo de demanda.

Passo 2:

Geramos a demanda para o dia a partir da apropriada distribuição de demanda. Para gerar uma demanda geramos um inteiro aleatório e o comparamos com o intervalo de números apropriado. Por exemplo se nosso tipo de demanda foi média no Passo 1, o número aleatório 80 se traduz em uma demanda de 72. De maneira idêntica, se o tipo de demanda foi alta no Passo 1, o número aleatório 9 se traduz em uma demanda de 48.

	Distribuição Acumulativa			Intervalo de números aleatórios		
Demanda	Alta	Média	Baixa	Alta	Média	Baixa
36	0,05	0,10	0,15	00 - 04	00 - 09	00 - 14
48	0,15	0,30	0,40	05 - 14	10 - 29	15 - 39
60	0,40	0,60	0,75	15 - 39	30 - 59	40 - 74
72	0,70	0,85	0,90	40 - 69	60 - 84	75 - 89
84	0,90	0,95	0,95	70 - 89	85 - 94	90 - 94
96	1,00	1,00	1,00	90 - 99	95 - 99	95 - 99

Para este problema o processo de simulação funciona da seguinte maneira: Para cada dia geramos uma demanda do dia. Então calcula-se os vários custos para uma certa estratégia. Suponha, por exemplo, que a estratégia seja a de preparar 60 pães todos os dias.

Se a demanda para um certo dia for 72 termos:

$$60 \times \$0,40 = \$24,00 \text{ em receita}$$

$$60 \times \$0,15 = \$15,00 \text{ em custo de produção}$$

$$12 \times \$0,15 = \$1,80 \text{ em custo de perda de cliente}$$

Isto nos dá um lucro de:

$$\$24,00 - \$15,00 - \$1,80 = \$7,20 \text{ para aquele dia.}$$

Usando este procedimento calculamos uma margem de lucro para cada dia de simulação. Para avaliar a estratégia, executamos a simulação para um número fixo de dias. No final fazemos uma média das margens pelo número de dias que simulamos para aquela estratégia específica. Mudando a estratégia realiza-se a simulação e avalia-se o lucro médio.

O que deu um lucro maior será a estratégia escolhida.

Para ilustrar nosso processo no caso da padaria realizamos uma simulação manual para os primeiros 15 dias da estratégia de fabricar 60 pães por dia. Lembre-se que para construir a tabela fazemos:

lucro = receita + receita sobra – custo de produção – custo de fregueses perdidos.

se estamos sempre produzindo 60 pães, então o custo de produção será:

$$60 \times \$0,15 = \$15,00$$

A receita do pão que sobra será a multiplicação do número de pães que sobram pelo preço do pão (\$0,10).

Se a demanda superar a oferta há um custo de (\$0,15) x número de pães que faltaram.

Consideremos três dias típicos de nossa tabela:

dia 2: a demanda é 60 pães.

$$\text{receita} = 60 \times \$0,40 = \$24,00$$

$$\text{custo} = 60 \times \$0,15 = \$15,00$$

não perdemos clientes nem tivemos sobra.

$$\text{lucro} = \$24,00 - \$15,00 = \$9,00$$

dia 3: a demanda é 72 pães.

$$\text{receita} = 60 \times \$0,40 = \$24,00$$

$$\text{custo} = 60 \times \$0,15 = \$15,00$$

$$\text{custo clientes perdidos} = 12 \times \$0,15 = \$1,80$$

$$\text{lucro} = \$24,00 - \$15,00 - \$1,80 = \$7,20$$

dia 4: a demanda é 48 pães.

$$\text{receita} = 48 \times \$0,40 = \$19,20$$

$$\text{custo} = 60 \times \$0,15 = \$15,00$$

$$\text{receita sobra} = 12 \times \$0,10 = \$1,20$$

$$\text{lucro} = \$19,20 + \$1,20 - \$15,00 = \$5,40$$

Dia	Número aleatório p/ tipo de demanda	Tipo de demanda	Nº aleatório para demanda	Demanda	Receita \$	Custo Cliente perdido \$	Receita Sobre \$	Lucro \$
1	69	médio	56	60	24,00	-	-	9,00
2	30	médio	32	60	24,00	-	-	9,00
3	66	médio	79	72	24,00	1,80	-	7,20
4	55	médio	24	48	19,20	-	1,20	5,40
5	80	baixa	35	48	19,20	-	1,20	5,40
6	10	alta	98	96	24,00	5,40	-	3,60
7	92	baixa	88	72	24,00	1,80	-	7,20
8	82	baixa	17	48	19,20	-	1,20	5,40
9	04	alto	86	84	24,00	3,60	-	5,40
10	31	médio	13	48	19,20	-	1,20	5,40
11	23	alto	44	72	24,00	1,80	-	7,20
12	93	baixa	13	36	14,40	-	2,40	1,80
13	42	médio	51	60	24,00	-	-	9,00
14	16	alta	17	60	24,00	-	-	9,00
15	29	alta	62	72	24,00	1,80	-	7,20
Total do Lucro								97,20

O lucro total para os 15 dias será: \$ 97,20

$\frac{97,20}{15} = \$6,48$ Isto nos dá um lucro médio :

Será que esta é uma boa estratégia?

Não sabemos, pois para tomar uma decisão é necessário executar a simulação para várias estratégias diferentes e compará-las.

Executamos estas simulações e obtivemos a tabela a seguir.

Esta tabela foi feita para modelos com 10.000 dias:

Estratégia	Nº de pães produzidos diariamente	Lucro médio diário \$
A	36	1,273
B	48	4,349
C	60	6,436
D	72	6,915
E	84	6,104
F	96	4,642

A melhor estratégia é preparar 72 pães por dia!

- 9) Uma banca vende jornais e tenta maximizar seus lucros. O número de jornais vendidos a cada dia é uma variável aleatória. Uma análise dos dados do último mês mostram que a distribuição de demanda diária é dada na tabela a seguir. Um jornal é comprado pelo dono da banca a \$0,50 e vendido a \$1,00. Todos os jornais não vendidos retornam a empresa proprietária do jornal e o dono da banca recebe \$0,30. Uma demanda não satisfeita é estimada em um custo de \$0,30 por perda de cliente. A estratégia do dono da banca de jornais é pedir uma quantidade de jornais sempre igual a demanda do dia anterior. Determine o lucro médio diário do dono da banca simulando este sistema para 10 dias. Supor que a demanda para o dia 0 é 32.

Demanda	Distribuição Acumulativa	Intervalos de números aleatórios
30	0,05	00 - 04
31	0,20	05 - 19
32	0,42	20 - 41
33	0,80	42 - 79
34	0,94	80 - 93
35	1,00	94 - 99

Demanda por dia	Probabilidade
30	0,05
31	0,15
32	0,22
33	0,38
34	0,14
35	0,06

Custo por jornal = 0,50

Preço de venda = 1,00

Sobra = 0,30 x número de unidades.

Cliente perdido = 0,30 x número de jornais que faltaram.

Estratégia a ser testada: a quantidade pedida para cada dia é igual a demanda do dia anterior.

Para o dia 0 a demanda é 32.

$$\text{Lucro médio} = \frac{153,70}{10} = 15,37$$

Esta estratégia nos dá um lucro médio de \$15,37.

	Número aleatório para a demanda	Quantidade pedida no início do dia	Demanda	Receita \$	Custo/ Cliente perdido \$	Receita Sobra \$	Lucro \$
0			32				
1	29	32	32	32,00	-	-	16,00
2	4	32	30	30,00	-	0,60	14,60
3	28	30	32	30,00	0,60	-	14,40
4	79	32	33	32,00	0,30	-	15,70
5	4	33	30	30,00	-	0,90	15,90
6	87	30	34	30,00	1,20	-	13,80
7	16	34	31	31,00	-	0,90	16,40
8	56	31	33	31,00	0,60	-	14,90
9	32	33	32	32,00	-	0,30	16,30
10	72	32	33	32,00	0,30	-	15,70
Lucro =							153,70

- 10) Uma biblioteca tem uma máquina de fotocópias para os alunos usarem. Os alunos chegam a máquina com distribuição de tempo entre chegadas mostradas na tabela 1. O tempo necessário para realizar uma cópia é uniformemente distribuído no intervalo $[16,25]$ em segundos. Uma análise de dados do passado mostra que o número de cópias que um aluno faz durante a sua visita a máquina obedece a distribuição da tabela 2. A biblioteca acha que com este sistema as filas em frente a máquina são grandes e o tempo que um aluno gasta na fila é excessivo. Estimar o tempo médio que um aluno gasta na fila.

Tempo de chegada na máquina (minutos)	Probabilidade
1	0,20
2	0,25
3	0,40
4	0,10
5	0,05

Número de cópias	Probabilidade
6	0,20
7	0,25
8	0,35
9	0,15
10	0,05

A distribuição é uniforme para o tempo que um aluno gasta para tirar uma cópia.

t (s)	Probabilidade
16	0,1
17	0,1
18	0,1
19	0,1
20	0,1
21	0,1
22	0,1
23	0,1
24	0,1
25	0,1

Número de cópias	Probabilidade acumulada	Número aleatório
6	0,20	00 - 19
7	0,45	20 - 44
8	0,80	45 - 79
9	0,95	80 - 94
10	1,00	95 - 99

Tempo de chegada na máquina	Probabilidade acumulada	Número aleatório
1	0,20	00 - 19
2	0,45	20 - 44
3	0,85	45 - 84
4	0,95	85 - 94
5	1,00	95 - 99

Tempo gasto	Probabilidade acumulada	Número aleatório
16	0,1	00 - 09
17	0,2	10 - 19
18	0,3	20 - 29
19	0,4	30 - 39
20	0,5	40 - 49
21	0,6	50 - 59
22	0,7	60 - 69
23	0,8	70 - 79
24	0,9	80 - 89
25	1,0	90 - 99

Aluno	Nºaleatório tempo p/ chegar na máquina	Tempo para chegar na máquina	Nºaleatório número de cópias	Nº de cópias que o aluno tira	Nºaleatório do tempo gasto p/ tirar 1cópia	Tempo gasto por cópia	Tempo que o aluno gasta na fila
1	69	2	32	7	80	24	288
2	92	4	82	9	13	17	393
3	13	1	16	6	59	21	186
4	25	2	14	6	13	17	222
5	34	2	89	9	49	20	300
6	64	3	48	8	37	19	332
7	84	3	45	8	18	17	316
8	31	2	89	9	96	25	345
9	21	2	55	8	44	20	280
10	91	4	25	7	99	25	415
Total = 3077 segundos							

Tempo que o aluno gasta na fila = tempo p/chegar na máquina x 60segundos + nº de cópias x (tempo por cópia)

Tempo médio por aluno = 307,70 segundos = 5,13 minutos

- 11) Um médico marca 16 consultas por dia. Os pacientes são esperados para suas consultas com horário marcado. A experiência passada mostra que 10% dos pacientes chegam 15 minutos mais cedo, 25% chegam 5 minutos mais cedo, 50% chegam exatamente na hora, 10% chegam 10 minutos atrasados e 5% chegam 15 minutos atrasados. O tempo que o médico gasta com o paciente depende do tipo de problema. Análise de dados do passado mostram que a duração de uma consulta tem a distribuição dada na tabela a seguir. Calcule a duração média do dia de trabalho desse médico.

Duração da consulta	Probabilidade
24	0,10
27	0,20
30	0,40
33	0,15
36	0,10
39	0,05

Tempo de chegada	Probabilidade
+ 15	0,10
+ 5	0,25
0	0,50
- 10	0,10
- 15	0,05

Paciente	Número aleatório da chegada	Chegada	Nº aleatório da duração da consulta	Duração da consulta	Tempo
1	66		47		
2	13		44		
3	17		57		
4	68		06		
5	98		53		
6	36		53		
7	12		34		
8	27		96		
9	32		27		
10	20		89		
11	51		99		
12	82		23		
13	68		65		
14	72		98		
15	69		88		
16	57		99		

A duração média do dia do médico será 531 minutos ou 8,85 horas.

- 12) A linha de produção de uma fábrica de automóveis tem a sua saída diária descrita por uma distribuição uniforme entre 96 e 105.
- No fim de cada dia os carros produzidos são transportados através de um rio por intermédio de uma balsa com capacidade para 100 carros. Os carros que não couberam na balsa são armazenados para transporte no dia seguinte. Usando o método de Monte Carlo simule 10 dias de modo a estimar:
- o número médio de carros não transportados.
 - O número médio de espaços não preenchidos na balsa.

- 13) Em um trecho de uma auto estrada, no período das 8:00 as 12:00, carros são escolhidos pela polícia rodoviária para uma inspeção intensiva com probabilidade de 0,6. A taxa de chegadas e o tempo de inspeção são variáveis aleatórias com distribuições definidas pelas tabelas:

Taxa de chegada (carros/hora)	Probabilidade
0	0,05
1	0,10
2	0,25
3	0,40
4	0,10
5	0,05
6	0,05

Tempo de inspeção por carro (minutos)	Probabilidade
5	0,20
10	0,45
15	0,20
20	0,10
25	0,05

Usando o método de Monte Carlo simule o período de inspeção de modo a estimar:

- o número de carros inspecionados no período.
- O tempo médio de inspeção dos carros selecionados.

- 14) Uma estimativa efetuada para um certo sistema de produção a ser implantado em uma empresa, permitiu concluir que as requisições de serviço poderão ser modeladas por uma distribuição de Poisson com taxa média de 10 requisições por hora.

Os serviços poderão ser efetuados por uma das três máquinas, cujos tempos médios de serviço e custos associados são:

Máquina	Tempo médio de serviço (minutos)	Custo horário de utilização efetiva
A	4,0	5
B	2,5	15
C	2,0	22

O custo horário de produção, para cada requisição é \$10,00. Simule 10 requisições de serviço de modo a escolher a máquina que minimiza o custo total para atender essas requisições.

- 15) Os tempos para executar a manutenção preventiva nos veículos de uma fábrica são variáveis aleatórias definidas pelas distribuições apresentadas a seguir.

Tempo de manutenção por veículo, em horas, com 1 reparador	Probabilidade
1,25	0,15
1,50	0,25
1,75	0,40
2,00	0,20

Tempo de manutenção, por veículo, em horas, com 2 reparadores	Probabilidade
0,50	0,25
0,75	0,35
1,00	0,30
1,25	0,10

Sabendo-se que cada reparador recebe \$10,00 por hora, use o Método de Monte Carlo para estimar, em termos de custo, se a empresa deve efetuar a manutenção de seus veículos com 1 ou 2 reparadores.

SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO EM ANÁLISE DE RISCO

O processo de análise

O método de simulação de Monte Carlo pode ser utilizado na avaliação do risco de investimentos. O processo de análise pode ser descritos da seguinte forma:

- 1 – identificação das variáveis que podem interferir mais fortemente nos resultados do investimento, as variáveis mais relevantes do sistema;
- 2 – associar distribuições de probabilidade às variáveis escolhidas;
- 3 – aplicar o método de Monte Carlo para gerar, em cada experimento, um fluxo de caixa.
- 4 – resolver o fluxo de caixa para encontrar o índice que mede o mérito do investimento – como, por exemplo, o valor presente líquido (VPL) ou taxa interna de retorno (TIR);
- 5 – analisar a distribuição de probabilidade do índice de mérito escolhido, que resulta de todos experimentos realizados;
- 6 – a partir dessa distribuição, calcular o valor esperado do resultado do investimento e o grau de risco, como consequência da análise do desvio padrão.

Exemplo:

Uma fábrica está estudando a possibilidade de expansão, para isso tem duas opções:

- expansão da atual linha de produção de sapatos infanto-juvenis;
- diversificação da linha de produção, com introdução de sapatos femininos;

Opção 1:

- investimento necessário = \$ 1.152.000,00;
- vendas no primeiro ano = 30.000 pares;
- lucro por par vendido, no primeiro ano = \$8,00;
- crescimento estimado das vendas ao ano = 20%;
- crescimento estimado do lucro ao ano = 10%.

Opção 2:

- investimento necessário = \$ 1.015.000,00;
- vendas no primeiro ano = 24.000 pares;
- lucro por par vendido, no primeiro ano = \$7,30;
- crescimento estimado das vendas ao ano = 30%;
- crescimento estimado do lucro ao ano = 18%.

O investimento deverá ser analisado para um período de quatro anos, prazo que a empresa espera recuperar o capital investido, a uma taxa de juros de 12% ao ano.

Solução pelo método tradicional

Solução utilizando o método do VPL (é calculado o VPL atual de um investimento utilizando a taxa de desconto e uma série de futuros pagamentos - valores negativos - e receita - valores positivos), a taxa de 12% ao ano.

O VPL representa a diferença entre os fluxos de caixa futuros trazidos a valor presente pelo custo de oportunidade do capital e o investimento inicial. Ou seja, O VPL de um projeto de investimento é igual à diferença entre o valor presente das entradas líquidas de caixa, associadas ao projeto e o investimento inicial necessário, com o desconto dos fluxos de caixa feito a uma taxa r .

O VPL compara todas as entradas e saídas de dinheiro na data inicial do projeto, descontando todos os valores futuros do fluxo de caixa na taxa de juros r que mede o custo de capital. A expressão geral do VPL é dada por:

$$VPL = I + \sum_{t=1}^n \left[\frac{R}{(1+r)^t} \right] + \frac{Q}{(1+r)^n}$$

em que,

VPL - valor presente líquido, \$;

I - investimento de capital na época zero, \$;

R_t - retornos depois de descontados os impostos, ou imposto de renda, \$;

n - prazo da análise do projeto ou vida útil, ano;

r - taxa de juros, decimal;

Q - valor residual do projeto no final do prazo da análise, \$, e

t - tempo, ano.

O critério do método do VPL estabelece que, enquanto o valor presente das entradas for maior que o valor presente das saídas, que foi calculado com a taxa de juros r que mede o custo de capital, o projeto deve ser aceito. Resumindo, sempre que: (i) $VPL > 0$, o projeto deve ser aceito; $VPL = 0$ é indiferente aceitar ou não, e (iii) $VPL < 0$, o projeto não deve ser aceito.

Utilizando a função VPL da planilha do Microsoft Excel, cuja sintaxe é a seguinte: =VPL (taxa; valor1; valor2;...).

Essa função informa que a taxa equivale à taxa mínima de atratividade (neste caso, 12% a.a.) e valor1; valor2;... são argumentos que representam os valores do fluxo de caixa anual.

Primeiramente constrói-se o fluxo de caixa para as duas opções de investimento:

Opção 1:

Ano	Investimento (\$)	Vendas (unid.)	Lucro unitário (\$)	Fluxo de caixa (\$)
0	-1.152.000,00			-1.152.000,00
1		30.000	8,00	240.000,00
2		36.000	8,80	316.800,00
3		43.200	9,68	418.176,00
4		51.840	10,65	551.992,32

VPL = -\$36.712,75 pela fórmula

VPL = -\$36.712,75 pelo excel

Opção 2:

Ano	Investimento (\$)	Vendas (unid.)	Lucro unitário (\$)	Fluxo de caixa (\$)
0	-1.015,00			-1.015,00
1		24.000	7,30	175.200,00
2		31.200	8,61	268.756,80
3		40.560	10,16	412.272,93
4		52.728	11,99	632.426,68

VPL = \$51.046,16 pela fórmula

VPL = \$51.046,16 pelo excel

A opção 2 com VPL positivo torna-se a opção a ser escolhida. No entanto, é interessante se ter uma avaliação de risco dos investimentos, considerando que os dois resultados encontrados representam apenas dois valores estimados. Principalmente, sabendo que qualquer variação nos dados de entrada irá causar variação no resultado final, podendo inclusive alterar a decisão anterior. Portanto, para ampliar mais a análise, com objetivo de estimar o risco de cada investimento, utiliza-se o método de Monte Carlo.

Solução pelo método de Monte Carlo

Os fatores determinantes dos resultados apresentados podem variar em torno dos valores dos anteriores. Para simplificar, vamos considerar que todas as variações seguem a distribuição normal. Dessa forma, os dados anteriores se transformam em variáveis aleatórias.

Opção 1:

- acréscimo nas vendas primeiro ano: média = 30.000 pares

Desvio padrão = 2000 pares;

- lucro por para vendido, no primeiro ano: média = \$8,00

Desvio padrão = \$1,00;

- crescimento estimado das vendas ao ano: média = 20%

Desvio padrão = 2%;

- crescimento estimado do lucro ao ano: média = 10%

Desvio padrão = 2%;

Opção 2:

- acréscimo nas vendas primeiro ano: média = 24.000 pares

Desvio padrão = 3.000 pares;

- lucro por para vendido, no primeiro ano: média = \$7,30

Desvio padrão = \$1,50;

- crescimento estimado das vendas ao ano: média = 30%

Desvio padrão = 3%;

- crescimento estimado do lucro ao ano: média = 18%

Desvio padrão = 1,5%;

Primeiro passo:

- Dada a distribuição cumulativa de probabilidade da variável em simulação:

$$Y=F(x)=1-e^{-\mu x}$$

- toma-se um número gerado aleatoriamente nos intervalos de (0;1) ou (0;100):

Método de geração de números aleatórios, método do Meio do Quadrado, seja a semente $r_0 = 1682$ (com k dígitos = 4, geralmente é par), eleva-se ao quadrado,

$r_0^2 = (1682)^2 = 02829124$, toma-se k dígitos centrais de r_i^2 formando o r_{i+1} ,

$$r_1 = 8291$$

$$r_1^2 = (8291)^2 = 68740681$$

$$r_2 = 7406$$

$$r_2^2 = (7406)^2 = 54848836$$

Utilizando a planilha eletrônica Excel para o Método de Carlo

Utilizando os dados do exemplo anterior, os passos são os seguintes:

1º passo: digitamos os valores da variável aleatória, se não encontrar disponível esses dados, pode-se construir com informações da média e do desvio padrão (Figura 1);

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
3			DADOS PARA SIMULAÇÃO DO FLUXO DE CAIXA DA OPÇÃO 1 DE EXPANSÃO DA FÁBRICA							
4										
5										
6										
7										
8										
9		FUNÇÃO CUMULATIVA	VENDAS NO PRIMEIRO ANO	FUNÇÃO CUMULATIVA	LUCRO UNITÁRIO	FUNÇÃO CUMULATIVA	CRESCIMENTO DAS VENDAS	FUNÇÃO CUMULATIVA	CRESCIMENTO DO LUCRO	
10										
11			0		0		0		0	
12			24.000		5,00		14		5	
13			25.000		5,50		15		6	
14			26.000		6,00		16		7	
15			27.000		6,50		17		8	
16			28.000		7,00		18		9	
17			29.000		7,50		19		10	
18			30.000		8,00		20		11	
19			31.000		8,50		21		12	
20			32.000		9,00		22		13	
21			33.000		9,50		23		14	
22			34.000		10,00		24		15	
23			35.000		10,50		25		16	
24			36.000		11,00		26		17	
25			37.000		11,50		27		18	

Figura 1 - Valores das variáveis aleatórias

2º passo: criamos a coluna com a função cumulativa de probabilidades (distribuição normal, Poisson etc) para cada variável aleatória, com informações da média e do desvio padrão das respectivas variáveis (Figura 2);

<

Figura 2 – Função cumulativa de probabilidade das variáveis aleatórias

3º passo: criamos a coluna de experimentos, neste caso com 100, e a coluna de números aleatórios para cada variável (Figura 3);

Figura 3 – Números de experimentos e números aleatórios das variáveis

4º passo: a próxima coluna a direita, a de simulação para cada uma das variáveis utilizando a função de simulação do Excel [=PROCV(L5;B5:C19;2;1)], utiliza-se o número aleatório a sua esquerda e obtém da coluna de função cumulativa na outra tabela, a probabilidade imediatamente superior a ele e a direita desse, o valor da respectiva variável que será utilizado para construir a coluna de simulação (Figura 4);

SIMULAÇÃO DOS VALORES PARA COMPOSIÇÃO DOS FLUXOS DE CAIXA OPÇÃO 1									
		SIMULAÇÃO DAS VENDAS		SIMULAÇÃO DO LUCRO		CRESCIMENTO DAS VENDAS		CRESCIMENTO DO LUCRO	
	Experimento	NÚMERO ALEATÓRIO	VENDAS	NÚMERO ALEATÓRIO	LUCRO	NÚMERO ALEATÓRIO	%	NÚMERO ALEATÓRIO	%
5	1	0,771	31000	0,811	8,5	0,282	18	0,975	13
6	2	0,324	29000	0,856	9	0,345	19	0,399	9
7	3	0,475	29000	0,221	7	0,139	17	0,134	7
8	4	0,208	28000	0,101	6,5	0,335	19	0,270	8
9	5	0,202	28000	0,041	6	0,993	24	0,528	10
10	6	0,945	33000	0,202	7	0,909	22	0,738	11
11	7	0,897	32000	0,339	7,5	0,520	20	0,584	10
12	8	0,998	35000	0,412	7,5	0,504	20	0,222	8
13	9	0,489	29000	0,244	7	0,409	19	0,121	7
14	10	0,785	31000	0,497	7,5	0,596	20	0,459	9
15	11	0,289	28000	0,122	6,5	0,110	17	0,604	10
16	12	0,621	30000	0,177	7	0,433	19	0,032	6
17	13	0,217	28000	0,413	7,5	0,304	18	0,282	8
18	14	0,155	27000	0,928	9	0,464	19	0,952	13
19	15	0,124	27000	0,240	7	0,044	16	0,074	7
20	16	0,040	26000	0,891	9	0,430	19	0,241	8
21	17	0,205	28000	0,084	6,5	0,288	18	0,244	8
22	18	0,456	29000	0,381	7,5	0,439	19	0,055	6
23	19	0,183	28000	0,596	8	0,574	20	0,979	14
24	20	0,367	29000	0,227	7	0,348	19	0,989	14

Figura 4 – Simulação das vendas, lucros, crescimento das vendas e dos lucros

5º passo: o procedimento seguinte é formar o fluxo de caixa, o valor do fluxo de caixa do ano zero é formado com os valores do investimento fixo, do ano 1 é formado com a multiplicação dos valores das vendas pelo valor dos lucros desse ano, do ano 2, acrescenta-se ao valor do ano 1 as taxas de crescimento de vendas e de lucros e assim sucessivamente até o 5 ano (Figura 5);

Figura 5 – Fluxo de caixa da opção 1

6º passo: calcular os indicadores (VPL e TIR) de avaliação financeira de investimento para todos os fluxos de caixa simulados (Figura 6);

	ANO 0	ANO 1	ANO 2	ANO 3	ANO 4	ANO 5	VPL	TIR
5	-1.152.000,00	263.500,00	351.350,90	468.491,29	624.686,29	832.956,69	566.466,92	26,8%
6	-1.152.000,00	261.000,00	338.543,10	439.124,26	569.588,07	738.812,69	=VPL(0,12;Y6:AC6)+X6	
7	-1.152.000,00	203.000,00	254.135,70	318.152,48	398.295,09	498.625,63	-5.642,62	11,8%
8	-1.152.000,00	182.000,00	233.906,40	300.616,51	386.352,33	496.540,02	-61.774,33	10,1%
9	-1.152.000,00	168.000,00	229.152,00	312.563,33	426.336,38	581.522,82	4.071,12	12,1%
10	-1.152.000,00	231.000,00	312.820,20	423.621,11	573.667,71	776.860,82	410.541,38	22,9%
11	-1.152.000,00	240.000,00	316.800,00	418.176,00	551.992,32	728.629,86	376.731,40	22,2%
12	-1.152.000,00	262.500,00	340.200,00	440.899,20	571.405,36	740.541,35	450.745,19	24,2%
13	-1.152.000,00	203.000,00	258.479,90	329.122,46	419.071,62	533.603,90	38.680,23	13,1%
14	-1.152.000,00	232.500,00	304.110,00	397.775,88	520.290,85	680.540,43	297.964,09	20,2%
15	-1.152.000,00	182.000,00	234.234,00	301.459,16	387.977,94	499.327,60	-58.298,53	10,2%
16	-1.152.000,00	210.000,00	264.894,00	334.137,29	421.480,78	531.655,86	54.038,66	13,6%
17	-1.152.000,00	210.000,00	267.624,00	341.060,03	434.646,90	553.914,01	82.139,65	14,4%
18	-1.152.000,00	243.000,00	326.762,10	439.397,00	590.857,14	794.525,60	464.546,69	24,3%
19	-1.152.000,00	189.000,00	234.586,80	291.169,14	361.399,13	448.568,60	-104.784,85	8,7%
20	-1.152.000,00	234.000,00	300.736,80	386.506,94	496.738,71	638.408,59	249.718,72	19,1%
21	-1.152.000,00	182.000,00	231.940,80	295.585,36	376.693,98	480.058,80	-82.412,31	9,5%
22	-1.152.000,00	217.500,00	274.354,50	346.070,77	436.533,66	550.643,56	97.111,47	14,9%
23	-1.152.000,00	224.000,00	306.432,00	419.198,98	573.464,20	784.499,02	400.255,95	22,6%
24	-1.152.000,00	203.000,00	275.389,80	373.593,80	506.817,35	687.548,42	226.930,78	18,2%

Figura 6 – Cálculo dos indicadores financeiros (VPL e TIR)

7º passo: construir a distribuição de frequências dos valores de VPL para poder confeccionar os gráficos de frequências acumuladas crescentes e decrescentes (Figura 7);

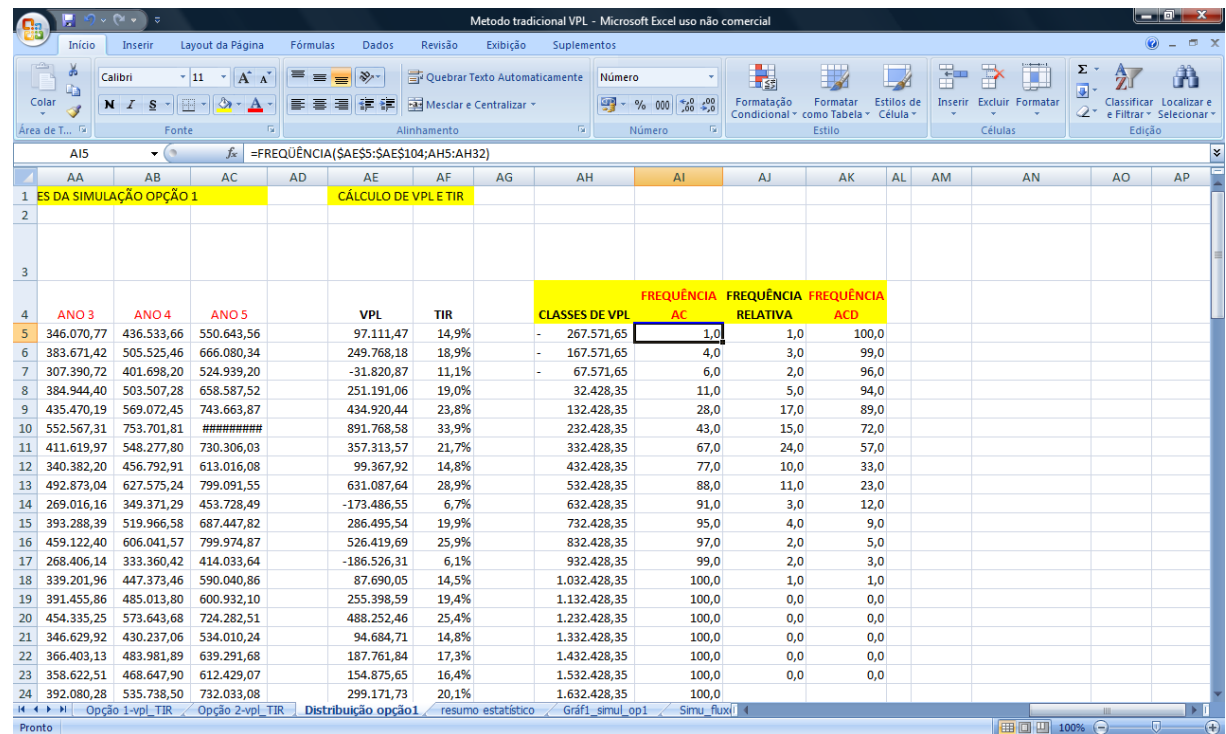


Figura 7 – Distribuição de frequências dos valores de VPL

8º passo: confecção dos gráficos de probabilidade e de frequências acumuladas crescentes e decrescentes. As funções de frequências acumuladas crescentes são analisadas como menores ou iguais, por exemplo, a probabilidade é de 20% que o VPL pode ser menor ou igual a, aproximadamente, \$ 54.000,00. Já as funções de frequências acumuladas decrescentes analisam-se para maiores ou igual, por exemplo, 70% é a probabilidade do VPL ser menor ou igual a, aproximadamente, \$ 254.000,00. Quanto a função de distribuição de probabilidade, pode-se inferir que o VPL de maior probabilidade é de \$ 254.000,00, com 20% de probabilidade, aproximadamente (Figura 8).

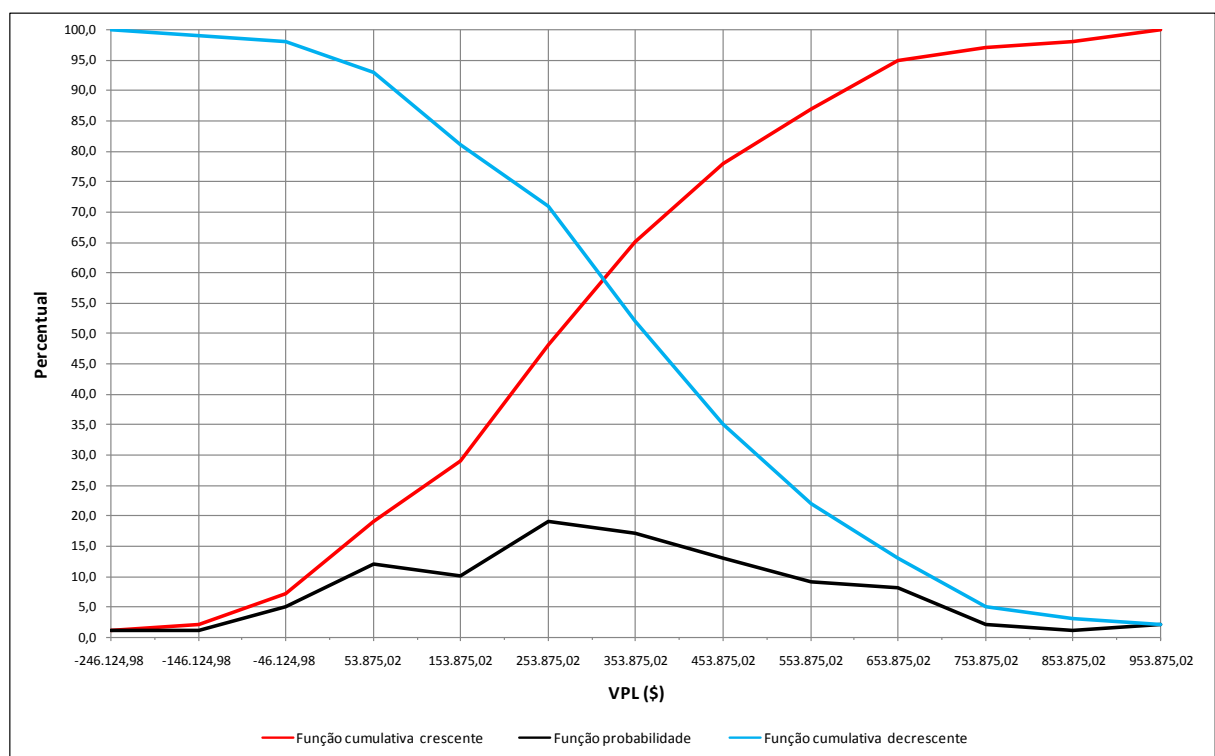


Figura 8 – Distribuição de frequências dos valores de VPL

Outra ferramenta que utiliza um numero de tentativas significativamente grande e, portanto produz resultados significativos é a ferramenta de Simulação de processos ARENA.

PARTE II: Simulação usando ARENA

1.1. Modelagem de Sistemas

No estudo de planejamento, é comum depararmos com problemas de dimensionamento ou fluxo cuja solução é aparentemente complexa. Nestes a determinação da quantidade de um recurso ou do melhor roteiro de fluxo dentro do sistema caracteriza um funcionamento eficiente ou otimizado. Por otimizado queremos dizer que teremos um custo adequado e que teremos usuários satisfeitos com o ambiente ou com o serviço oferecido. Dizemos também que um sistema ou processo adequadamente dimensionado está balanceado. Chamamos tais estudos de modelagem de sistemas. Dentre as técnicas disponíveis para a modelagem de sistemas temos a teoria das filas e a simulação.

1.2. Teoria das filas

A abordagem matemática de filas se iniciou no princípio deste século (1908) em Copenhague, Dinamarca, com A. K. Erlang, considerado o pai da Teoria das Filas, estudando o problema de redimensionamento de centrais telefônicas, mas somente após a Segunda Guerra Mundial ela foi utilizada em outros problemas. Devido à complexidade matemática alguns problemas não são resolvidos pela teoria.

1.3. Simulação

Com o surgimento dos computadores na década de 50, a modelagem de filas pôde ser analisada pelo ângulo da simulação, a simulação é um método que cria um modelo que imita parcial ou totalmente as características do sistema estudado. A técnica de simulação visual, cujo uso se iniciou na década de 80, teve uma aceitação surpreendente, devido ao menor nível de complexidade, assim seu uso cresceu enormemente.

2. Usando o ARENA em Simulação

O ARENA é ao mesmo tempo uma linguagem de simulação e um ambiente de trabalho e experimentação, que pode ser usado para testar o modelo e fazer a apresentação, que pode ser usado para testar o modelo e fazer a apresentação de seus resultados, através de avançados recursos de animação.

2.1. A “Visão do Mundo” do ARENA

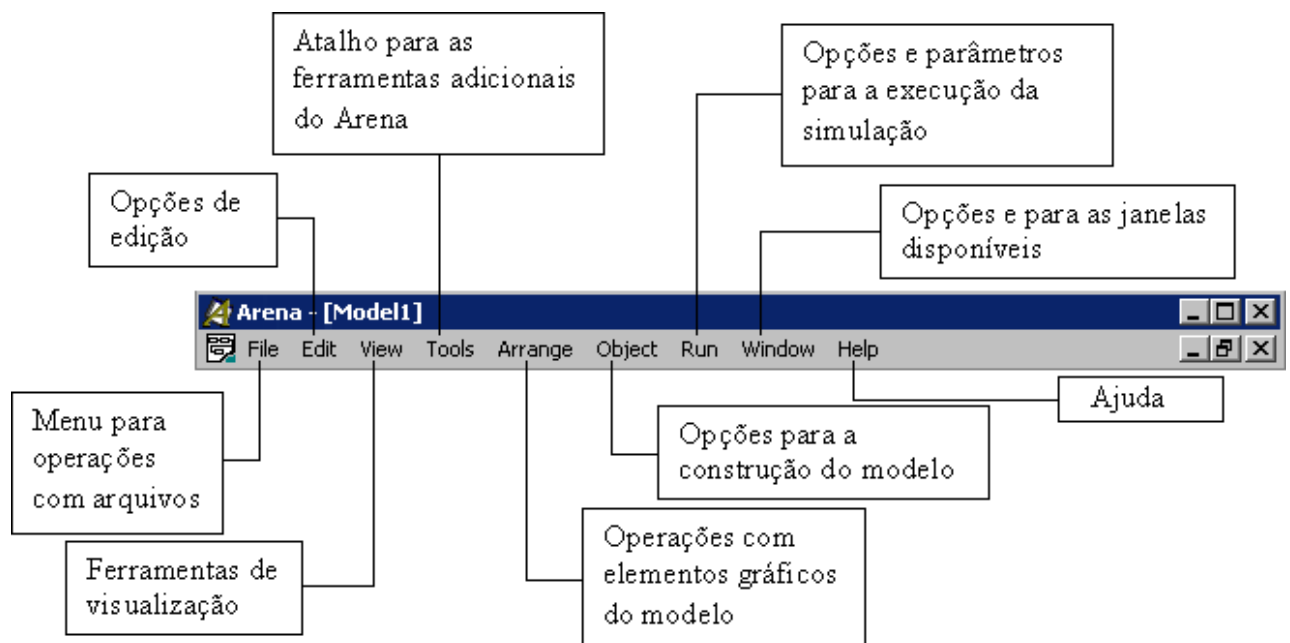
O ARENA visualiza o sistema a ser modelado como constituído por um conjunto de estações de trabalho que prestam serviços a clientes ou entidades que se movem através do sistema. Esta característica básica pode ser utilizada de diversas maneiras, podendo ter, por exemplo:

- Pessoas (entidades) percorrendo as diversas seções (stations) de um supermercado onde efetuam compras;
- Um automóvel (entidade) sendo fabricado nas diversas seções (stations) de um fábrica;
- Clientes (entidades) chegam a um banco e utilizam os serviços dos diversos departamentos (stations) do banco.

Assim para montarmos um modelo de simulação com o ARENA, inicialmente construímos um fluxograma constituído pelas estações de trabalho e as opções de fluxo para as entidades.

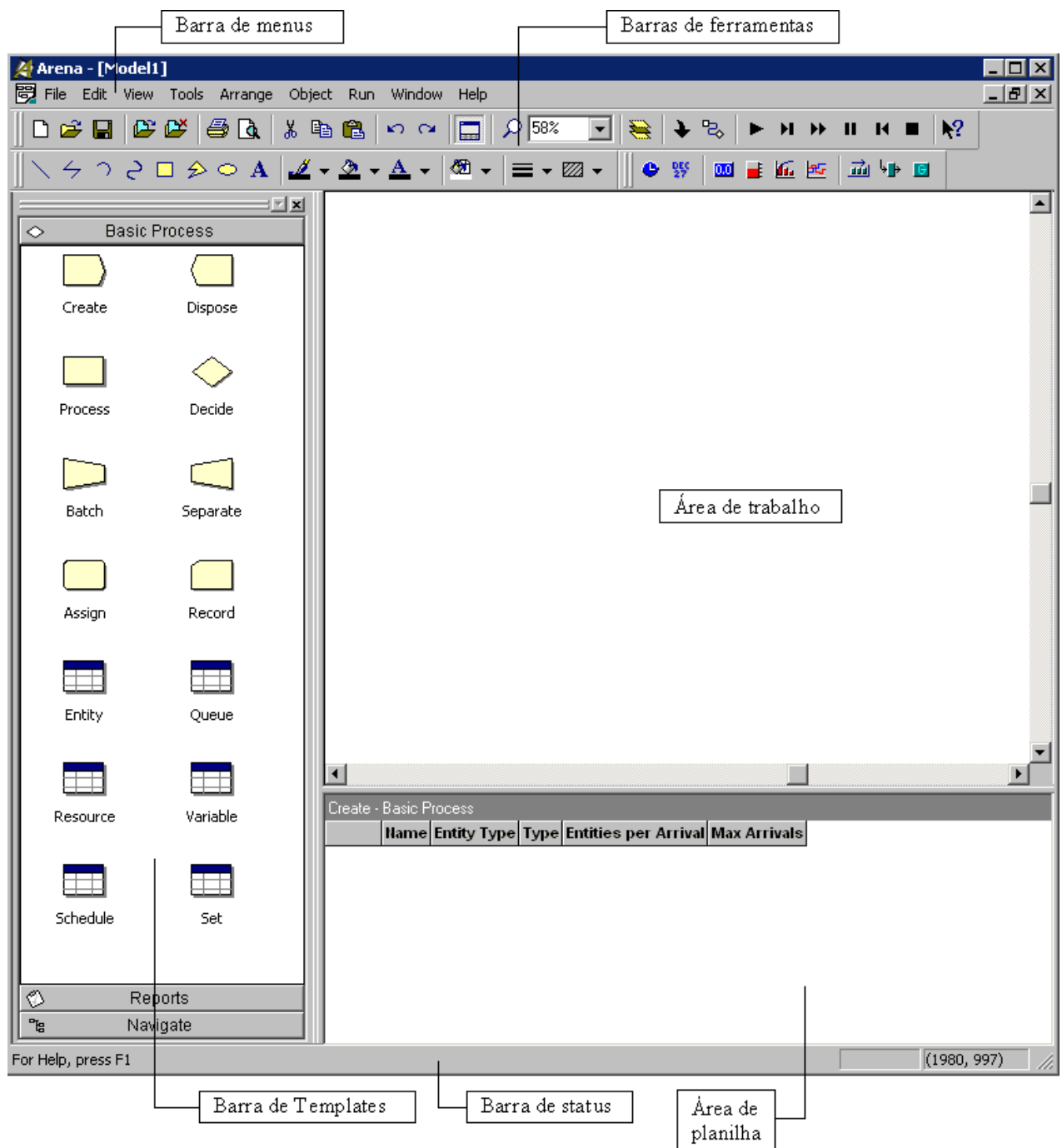
2.2. O Software ARENA

O ARENA tem a interface nos padrões do MS Office, com comandos e botões semelhantes e menus que agregam funções semelhantes às encontradas em outros softwares do Windows. A barra de menus principal do ARENA possui os menus:



Quando um arquivo de modelo é aberto (menu FILE, opção OPEN) ou um novo é criado (menu FILE, opção NEW), o seguinte ambiente de trabalho é

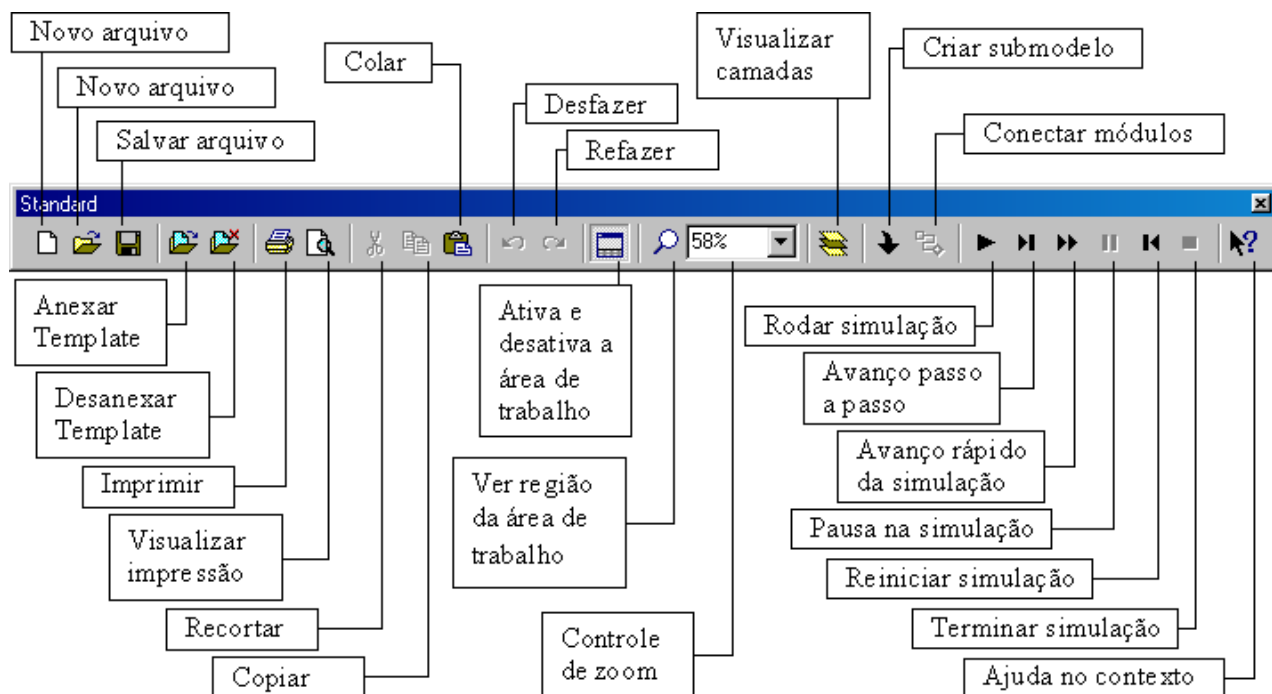
apresentado:



Barras de ferramenta do ARENA

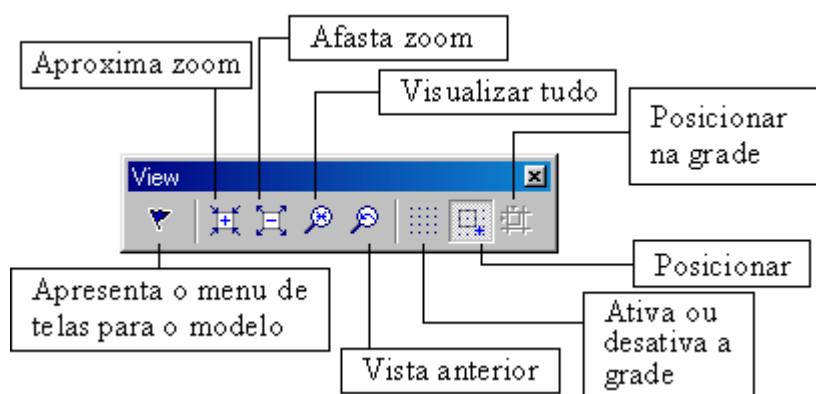
Standard (Padrão)

É a barra que contém os comandos de manipulação de arquivos, impressão e edição. Reúne também as opções de navegação dentro da área de trabalho e comandos para controle da simulação:



View (Visualizar)

Esta barra apresenta funções úteis para navegação pela área de trabalho:

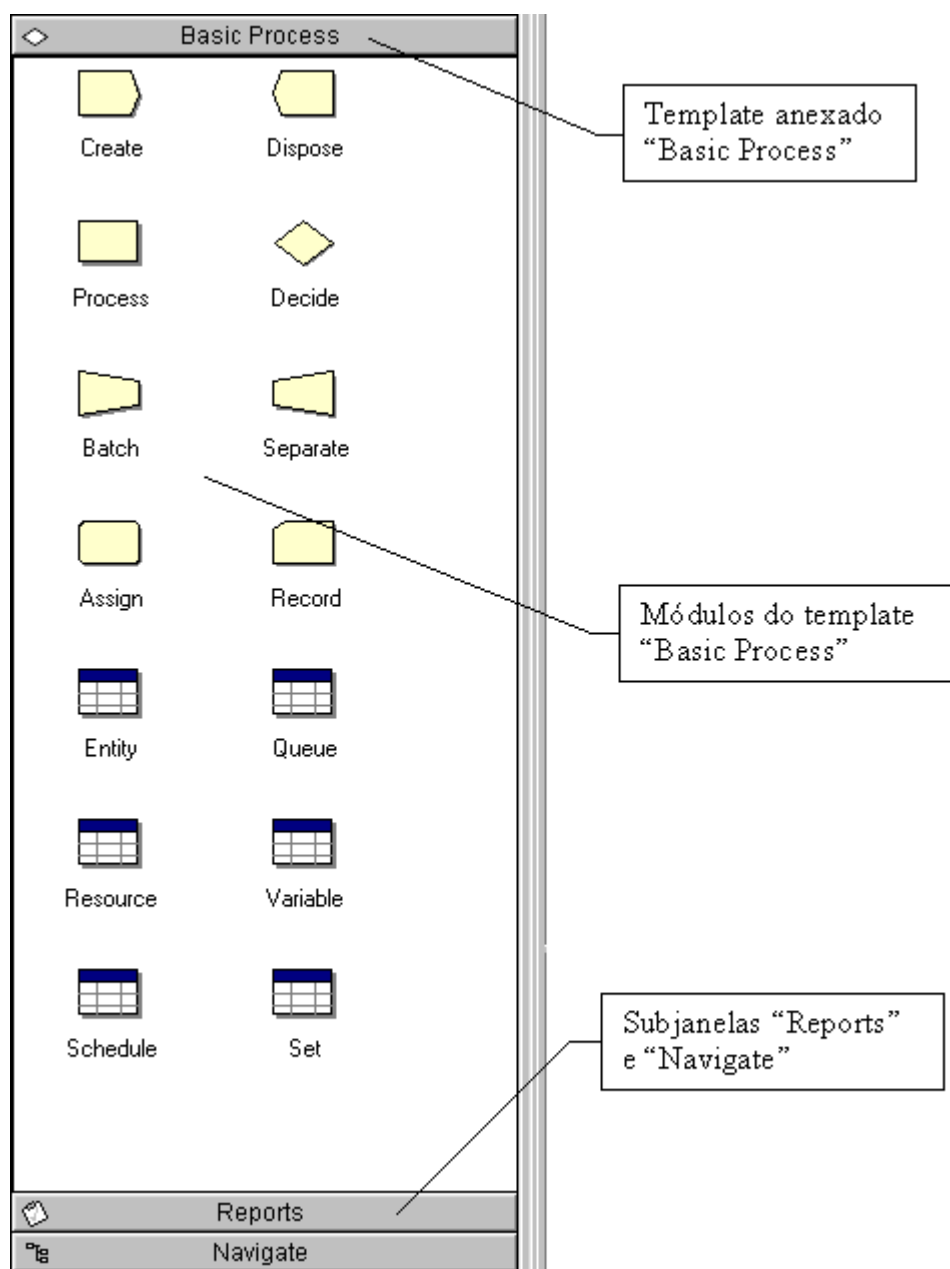


Project Bar (Barra de Projeto – Templates)

A barra de projeto reúne os elementos que são usados para montar o modelo dentro da área de trabalho do ARENA.

- Estes elementos são organizados na forma de “templates”.
- Cada template é um conjunto de elementos, chamados “módulos”.

Ao anexar um template ao modelo, este aparece na barra de projeto como mais uma subjanela. Esta barra ainda possui duas subjanelas permanentes: Reports, que apresenta os relatórios disponíveis para o modelo, e Navigate, que apresenta as opções de navegação do modelo.



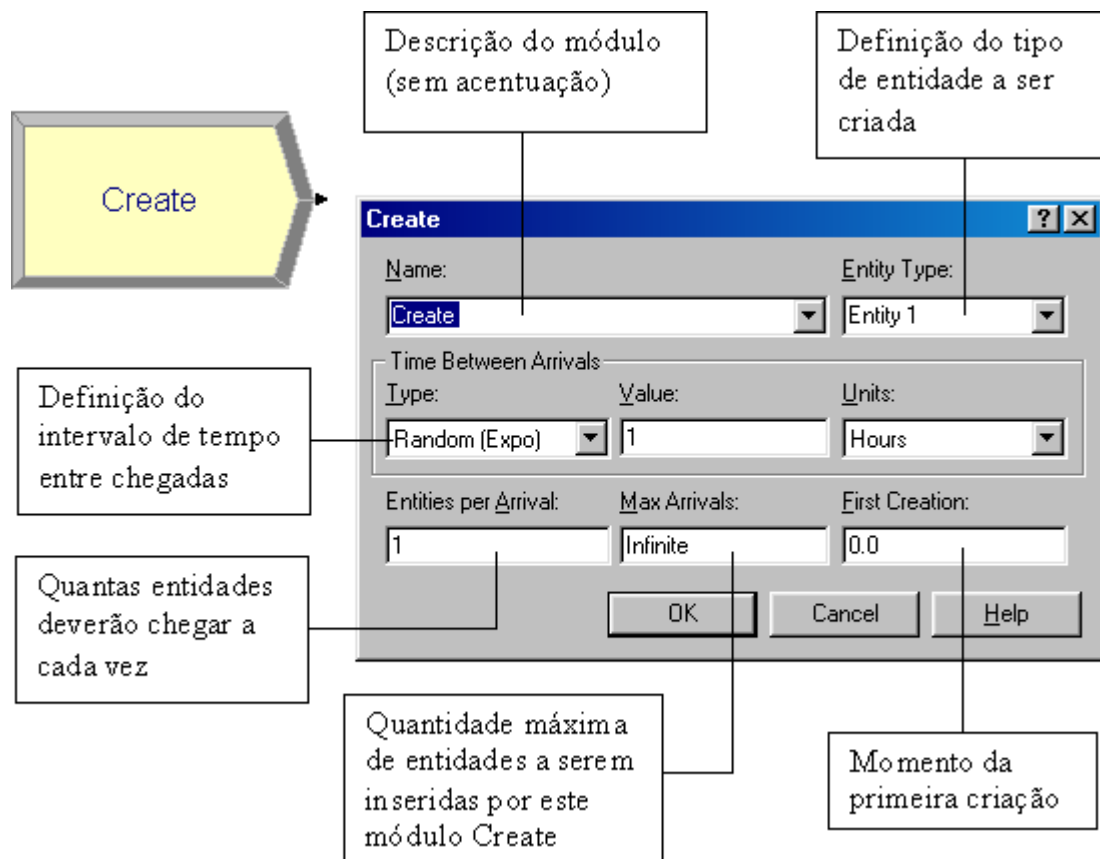
3. ARENA – Módulos Principais

3.1. Create (Início do Processo)

Este elemento representa o início de um processo, sendo sempre colocado no início do fluxograma.

Os dados do módulo Create podem ser fornecidos na tela Create ou na Área de Planilha. Para acessar a tela Create, faça:

- Dê um duplo clique no bloco Create localizado na Área de Trabalho.
- Preencha os dados desejados conforme figura.



3.2. Process (Processo de Atendimento)

Este elemento representa uma operação ou trabalho dentro do processo. Os dados do módulo Process podem ser fornecidos na tela Process ou na Área de Planilha.

Para acessar a tela Process, faça:

- Dê um duplo clique no bloco Process localizado na Área de Trabalho.
- Preencha os dados desejados conforme figura.

Diagram illustrating the 'Process' dialog box configuration:

- Name:** Process 1
- Type:** Standard
- Logic:** Action: Delay
- Delay Type:** Triangular
- Units:** Hours
- Allocation:** Value Added
- Minimum:** .5
- Value (Most Likely):** 1
- Maximum:** 1.5
- ☒ Repgrt Statistics
- Buttons:** OK, Cancel, Help

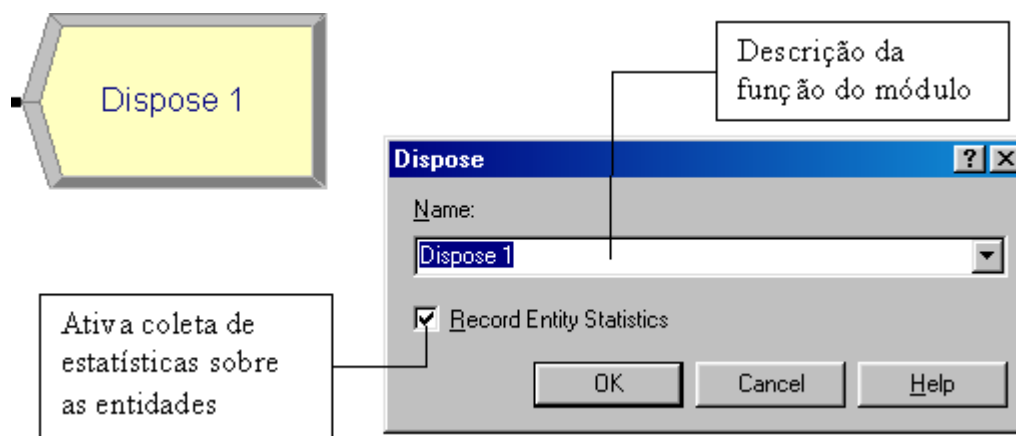
Annotations:

- Process 1
- Descrição da função do módulo
- Escolha do tipo de Process
- Ação a ser tomada pelo Process (ocupação de recurso, espera simples, etc)
- Tempo a ser dispendido no Processo
- Definição da situação de custo associado ao processo

3.3. Dispose (Término do Processo)

Este elemento é a contraparte do “Início”, e representa o término de um processo, sendo sempre colocado no final do fluxograma.

Após o atendimento o veículo sai do sistema. Dê um duplo clique no bloco Dispose localizado na Área de Trabalho.



3.4. Exemplo 01

Neste primeiro exemplo simularemos o funcionamento de um pedágio.

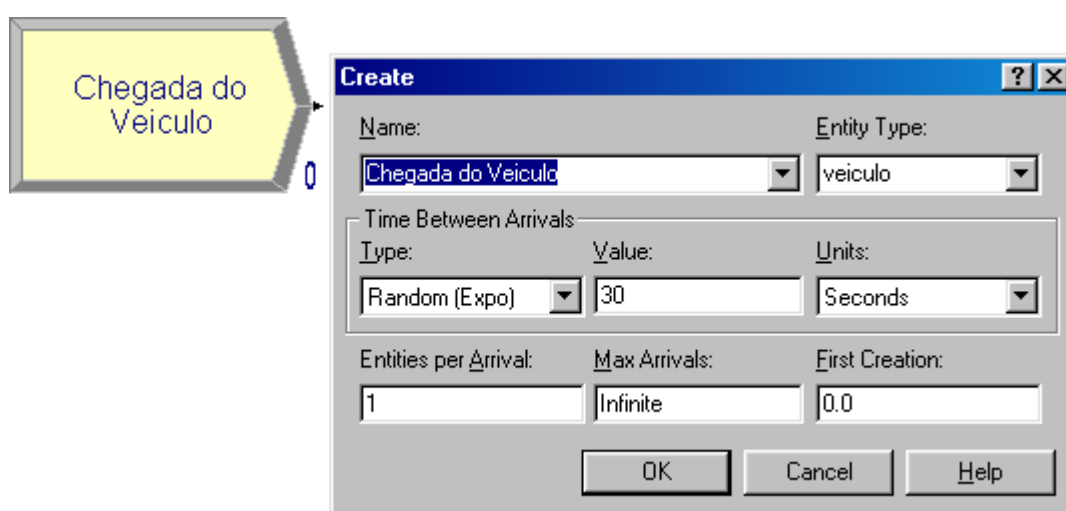
Para o pedágio são disponíveis os seguintes dados:

Veículos chegam ao pedágio com média de 30 segundos, de acordo com a distribuição exponencial negativa, (EXPO(30)).

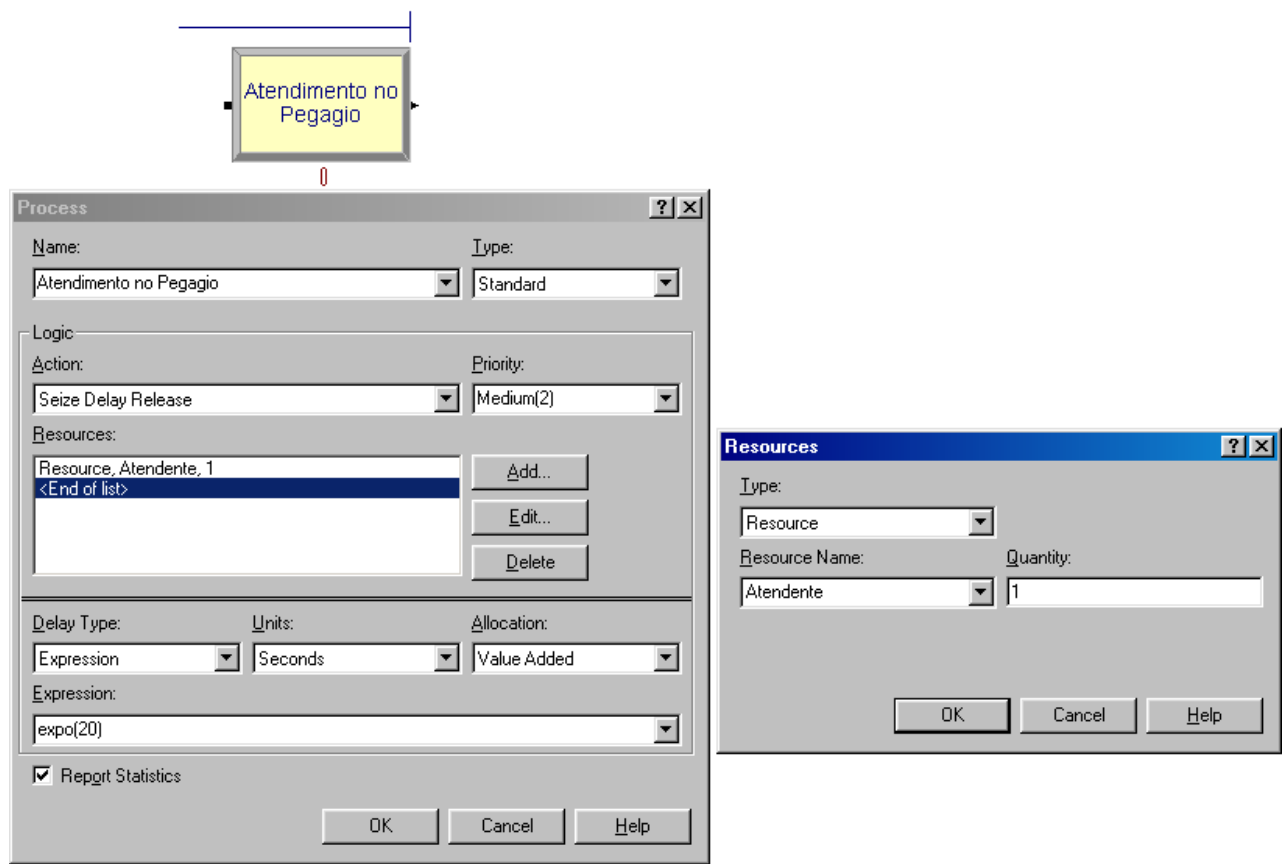
O atendimento também segue a distribuição exponencial negativa com média de 20 segundos, (EXPO(20)).

SOLUÇÃO

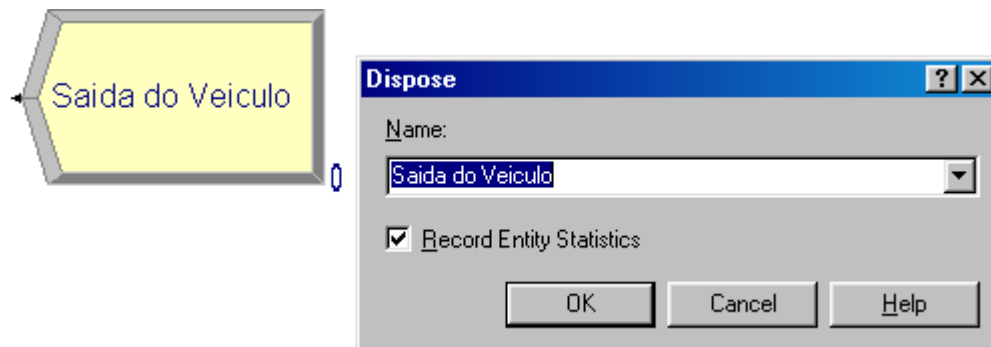
Chegada dos Veículos: *Create*.



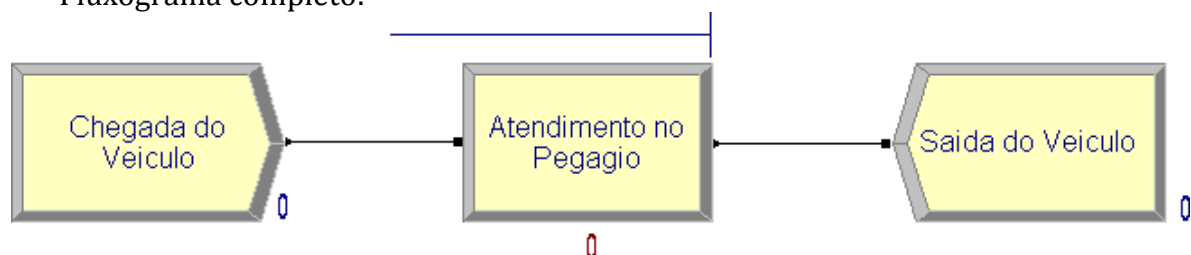
Atendimento no Pedágio: *Process*.



Saída do Veículo: *Dispose*.



Fluxograma completo:



Depois de completado o fluxograma e antes de solicitar a execução do modelo, devemos fornecer as opções de controle da execução. Para isto devemos clicar em *Setup...* no menu *Run* (Barra de menus principal) e

preencher adequadamente os campos das seguintes abas:

- Na aba *Project Parameters* fornecemos o título do projeto, o nome do analista que criou o modelo ARENA, e se ativou a solicitação de estatísticas para entidades, recursos, filas e processos;
- Na aba *Replication Parameters* temos:
 - *Replication Number* = 1, ou seja, o modelo será executado uma única vez;
 - *Warm-up Period* = 0, ou seja, não terá período de aquecimento. Este valor se aplica quando desejamos que o modelo seja executado durante um certo período de tempo sem coleta de dados estatísticos, e somente após este período é que se começa a coletar estatísticas. É útil quando estamos modelando um sistema complexo e desejamos nos assegurar de que, no ponto de início de coleta de estatísticas, todo o sistema está em pleno funcionamento;
 - *Replication length* = 36000, ou seja, o modelo será interrompido depois de transcorridos 36000 unidades de tempo, a unidade de tempo é determinada em *Time Units*;
 - *Hours Per Day* = 24, ou seja, o modelo considerará cada dia com 24 horas;
 - *Base time units* = *Seconds*, neste campo determina-se qual será a unidade de tempo que serão apresentados os relatórios da simulação.

The screenshot shows the 'Run Setup' dialog box with the 'Project Parameters' tab selected. The 'Project Title' field contains 'Exemplo 1: PEDAGIO'. The 'Analyst Name' field contains 'José Maria do Carmo Bento Alves'. Under 'Statistics Collection', the following options are checked: 'Queues', 'Entities', 'Processes', 'Resources', and 'Transporters'. The 'Costing' and 'Conveyors' options are unchecked. At the bottom, there are buttons for 'OK', 'Cancelar', 'Aplicar', and 'Ajuda'.

The screenshot shows the 'Run Setup' dialog box with the 'Replication Parameters' tab selected. The 'Number of Replications' field contains '1'. The 'Initialize Between Replications' section has both 'Statistics' and 'System' checked. The 'Warm-up Period' field contains '0.0'. The 'Time Units' dropdown menu is set to 'Seconds'. The 'Replication Length' field contains '36000'. The 'Hours Per Day' field contains '24'. The 'Base Time Units' dropdown menu is set to 'Seconds'. The 'Terminating Condition' field is empty. At the bottom, there are buttons for 'OK', 'Cancelar', 'Aplicar', and 'Ajuda'.

3.5. Exercícios

01. Navios chegam a um porto a intervalos de EXPO(8) horas e gastam TRI(3, 5, 10) horas para descarregar. Faça o diagrama de blocos e submeta-o ao ARENA. Simule 8760 horas (1 ano). Determine os valores para:
 - a) Taxa de ocupação do porto;
 - b) Tamanho médio da fila de navios;
 - c) Tempo médio na fila.

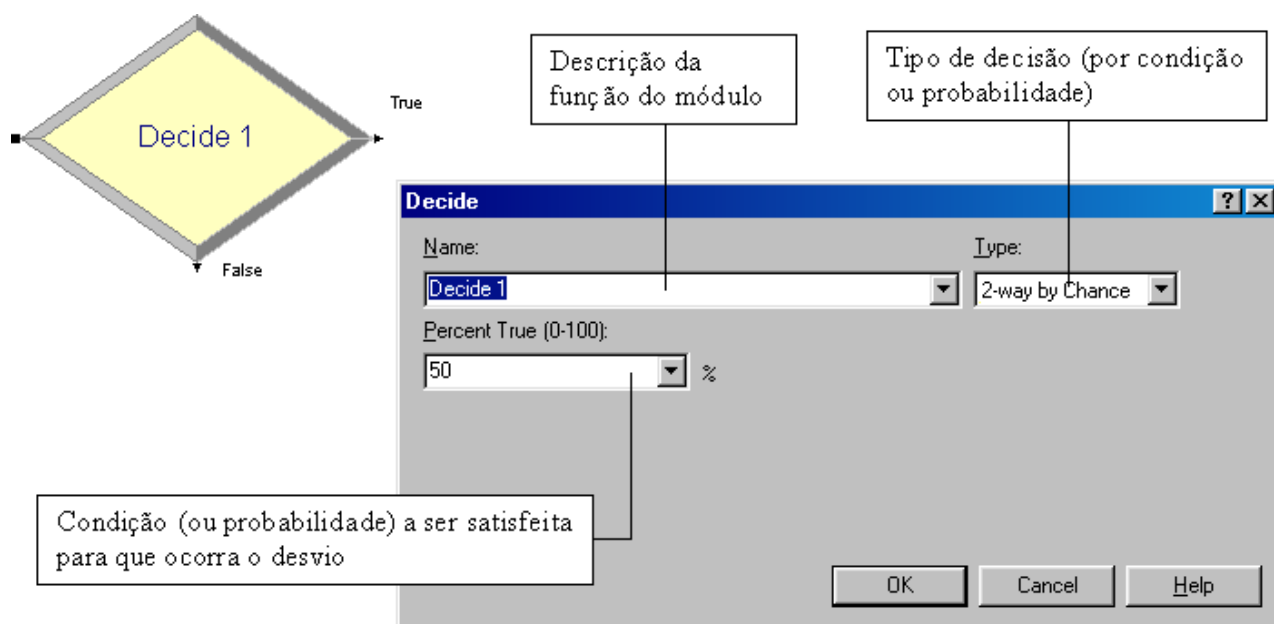
02. Em uma fábrica de geladeiras, na seção de colocação de motores, a chegada de uma geladeira sem motor ocorre a intervalos de EXPO(50) minutos e gastam-se TRIA(25, 35, 50) minutos para o serviço. Determine o tamanho médio da fila. Faça o diagrama de blocos e submeta-o ao ARENA. Simule 480 minutos (8 horas).

3.6. *Decide (Processo de Decisão)*

Este elemento introduz ou não um desvio na seqüência do fluxograma. Caso determinada condição seja satisfeita, o fluxo segue e é desviado para outra parte do processo, caso contrário, continua sua seqüência normal.

Para acessar a tela Decide, faça:

- Dê um duplo clique no bloco Decide localizado na Área de Trabalho.
- Preencha os dados desejados conforme figura.



3.7. Entity (Módulo das Entidades)

O módulo de dados Entity reúne as definições e parâmetros referentes a todos os tipos de entidades usados pelo modelo. A entrada de dados é realizada através da área de planilha ou de uma caixa de diálogo. Para abrir a caixa de diálogo:

- Clique com o botão direito sobre a planilha e escolha a opção “Edit via Dialog”;
- Preencha os dados desejados conforme figura.

The image shows a screenshot of the 'Entity' dialog box. To the left of the dialog is a small icon of a spreadsheet with the label 'Entity'. The dialog box has a title bar 'Entity' with a question mark and a close button. Inside, there are several fields and a checkbox. Annotations with leader lines point to specific parts of the dialog:

- A box labeled 'Nome do tipo de entidade' points to the 'Entity Type' dropdown menu, which currently shows 'Entity 1'.
- A box labeled 'Nome da figura usada para representar a entidade' points to the 'Initial Picture' dropdown menu, which shows 'Picture.Report'.
- A box labeled 'Valores de custo para este tipo de entidade em diferentes situações' points to the 'Initial Costs' section, which includes fields for 'Value Added', 'Non-Value Added', 'Waiting', 'Transfer', and 'Other', all containing the value '0.0'.

At the bottom of the dialog, there is a checked checkbox labeled 'Report Statistics' and three buttons: 'OK', 'Cancel', and 'Help'.

3.8. Resource (Módulo dos Recursos)

O módulo de dados Resource relaciona todos os recursos usados no modelo. Por recurso, entende-se uma estrutura que será usada pela entidade, a qual irá despendar uma certa quantidade de tempo neste processo. Um recurso, então, poderia ser uma máquina onde a peça sofre um processo, um caixa bancário que atende a um cliente ou uma mesa de cirurgia por onde passa o paciente. Do mesmo modo que o módulo Entity, seus dados podem ser editados pela planilha ou pela caixa de diálogo.

The image shows a screenshot of the 'Resource' dialog box in a software application. The dialog box has a title bar with a question mark and a close button. It contains several fields and sections:

- Name:** A text field containing 'Resource 1'.
- Type:** A dropdown menu showing 'Fixed Capacity'.
- Capacity:** A text field containing '1'.
- Costs:** A section with three sub-fields: 'Busy / Hour:' (0.0), 'Idle / Hour:' (0.0), and 'Per Use:' (0.0).
- StateSet Name:** A dropdown menu.
- Failures:** A list box showing '<End of list>'. To its right are three buttons: 'Add...', 'Edit...', and 'Delete'.
- Report Statistics:** A checked checkbox.
- Buttons:** 'OK', 'Cancel', and 'Help' at the bottom.

Annotations with leader lines point to the following elements:

- Nome do recurso** points to the 'Name' field.
- Tipo de recurso (capacidade ou schedule)** points to the 'Type' dropdown.
- Capacidade ou schedule correspondente** points to the 'Capacity' field.
- Informações sobre custo neste recurso** points to the 'Costs' section.
- Nome do conjunto de estados usado por este recurso** points to the 'StateSet Name' dropdown.
- Falhas programadas para este recurso** points to the 'Failures' list box.

There is also a small icon of a spreadsheet labeled 'Resource' to the left of the dialog box.

3.9. Exemplo

O gerente do depto. de RH pretende testar a estratégia para o processo de seleção de *trainees* deste ano através de um modelo de simulação. Os currículos, desta vez, serão recebidos apenas via e-mail. Estima-se que estes cheguem em intervalos de 4 minutos seguindo uma distribuição exponencial. Os e-mails são lidos inicialmente por uma secretária, seguindo uma distribuição normal de média 3 minutos e desvio padrão de 1. Ela separa todos os currículos que não possuem os requisitos essenciais e os envia para o arquivo.

Os currículos que atendem aos requisitos são enviados para a área específica, também via e-mail, que os avalia detalhadamente em um tempo de média 10 minutos com desvio padrão de 2, segundo uma distribuição normal. Os currículos aprovados nesta fase são enviados ao próprio gerente de RH, e os recusados vão para o arquivo.

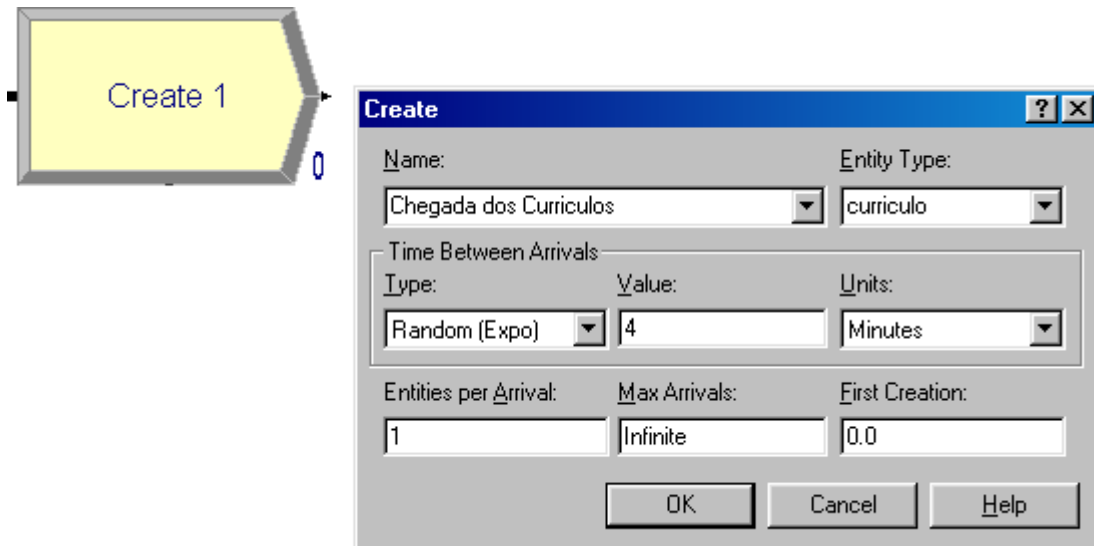
Sabe-se que 20% dos currículos recebidos não possuem os requisitos básicos e que 80% dos currículos enviados para área específica são recusados.

Diante da urgência para a contratação, o gerente de RH deseja saber se alguma etapa ficará sobrecarregada, gerando atraso no processo.

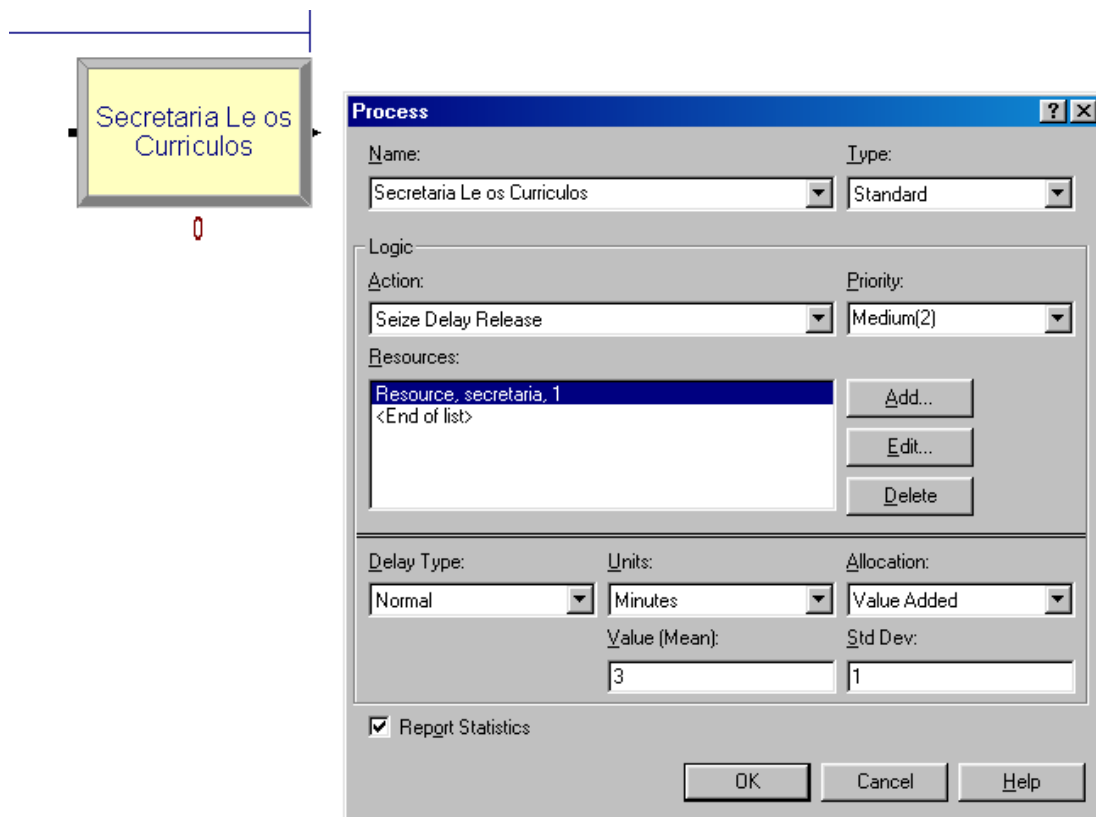
A simulação de um dia de trabalho (8 horas) será considerada suficiente para análise.

SOLUÇÃO

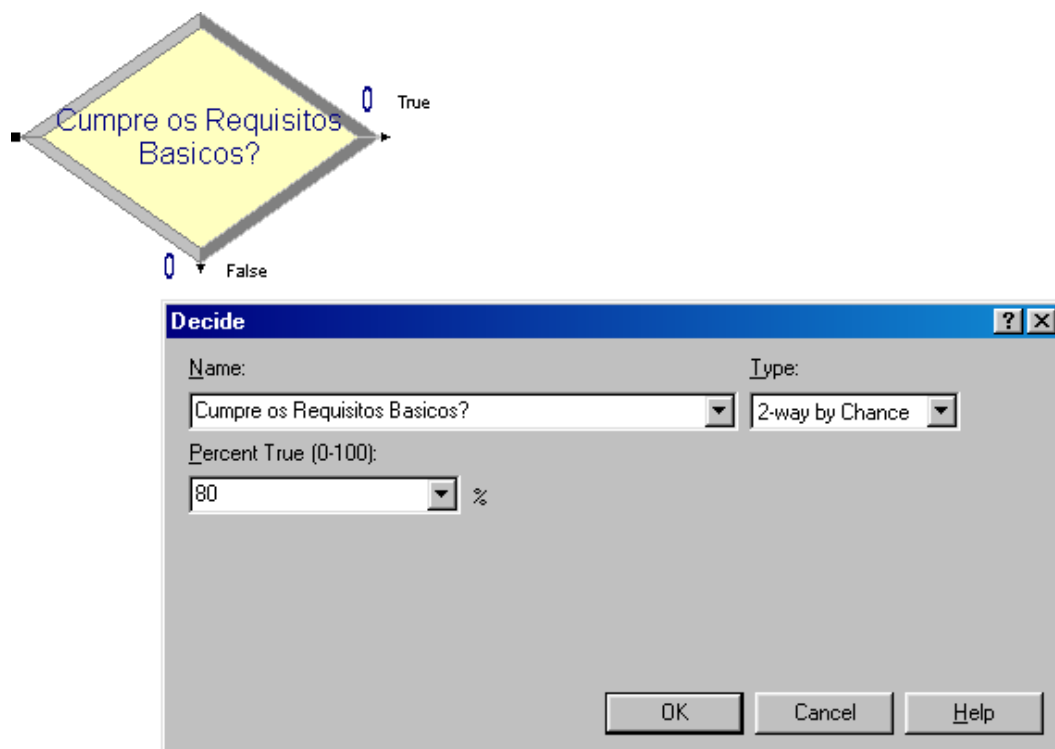
Chegada dos Currículos: *Create*.



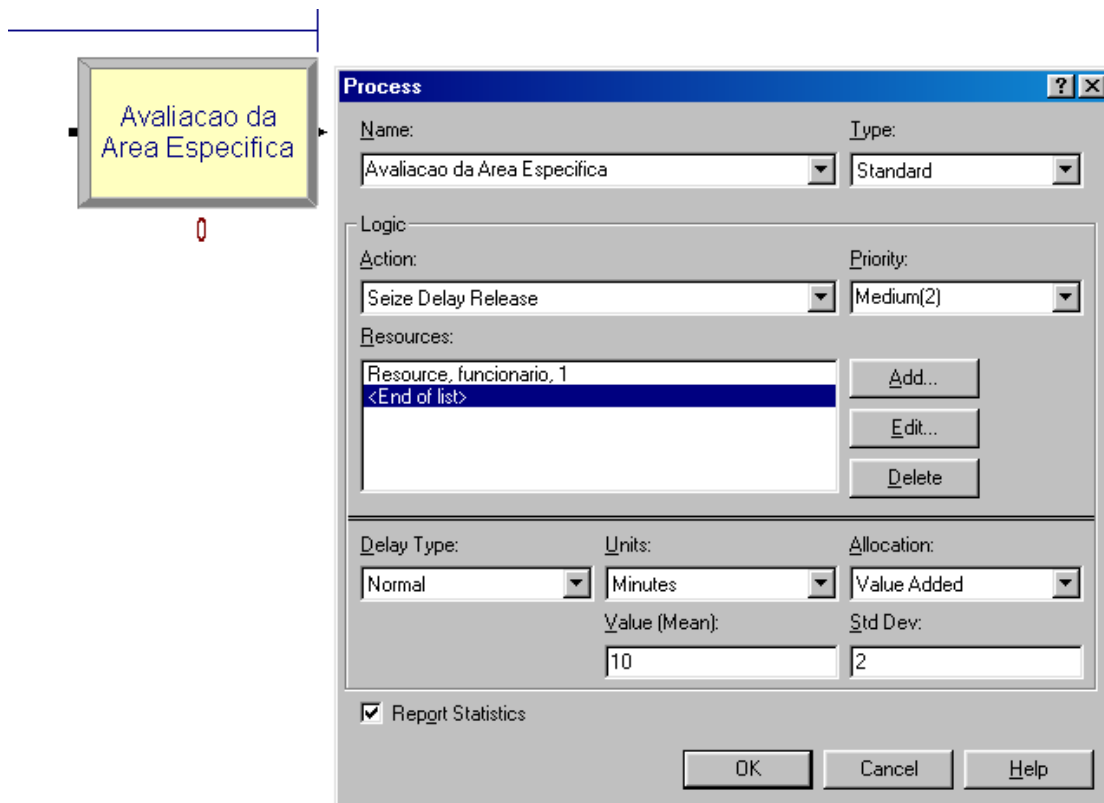
Trabalho da Secretaria: *Process*.



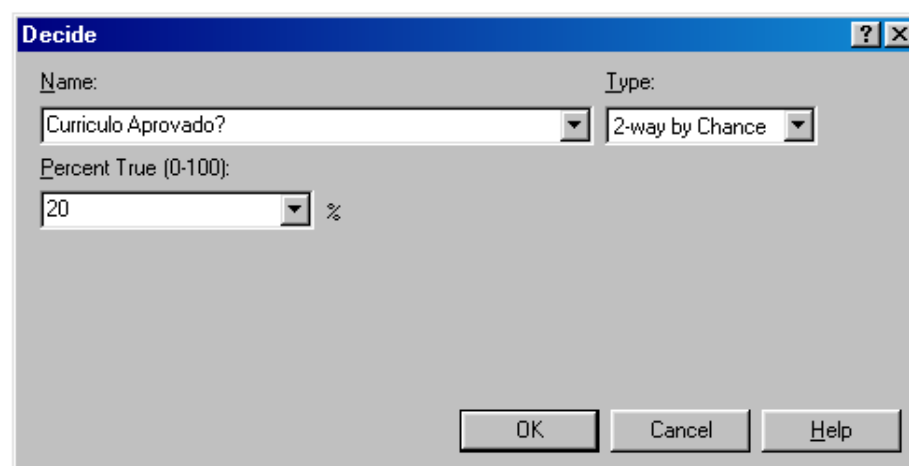
Separação dos Currículos: *Decide*.



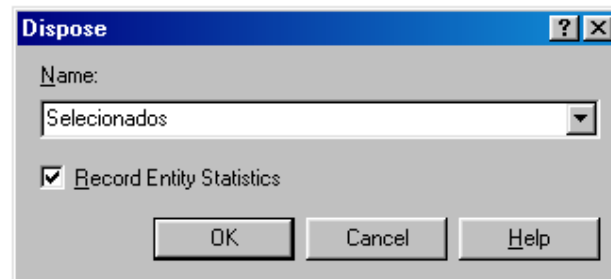
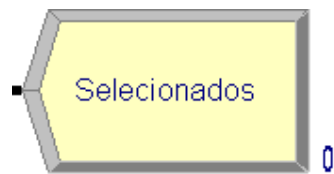
Avaliação na Área Específica: *Process*.



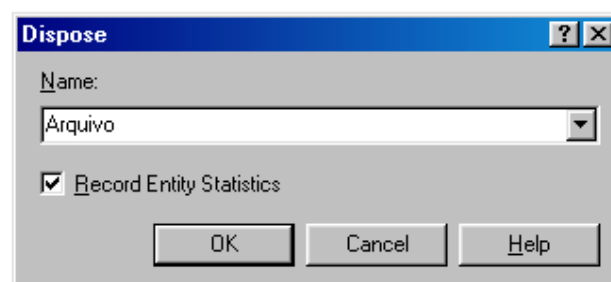
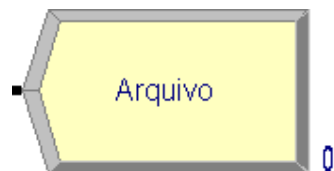
Aprovação pela Área Específica: *Decide*.



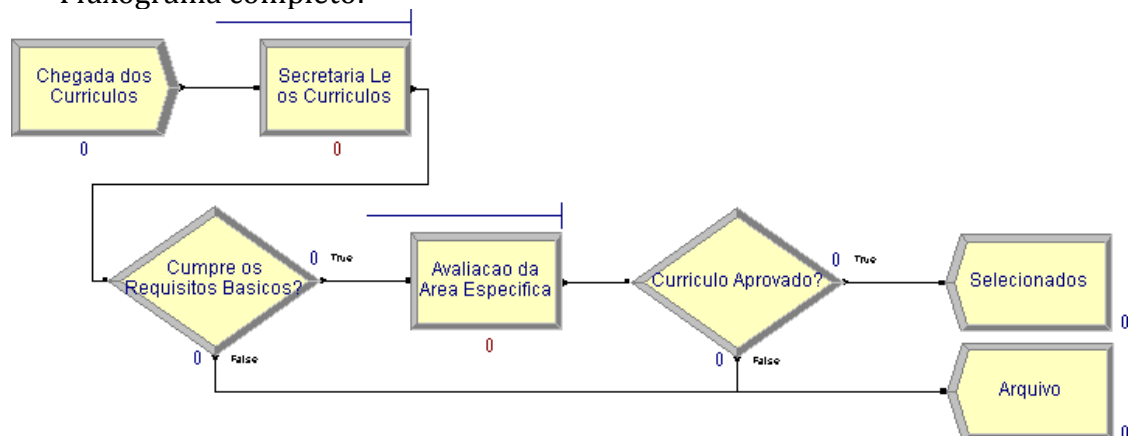
Término do fluxograma, currículos são arquivados ou aprovados: *Dispose*.
Currículos Aprovados



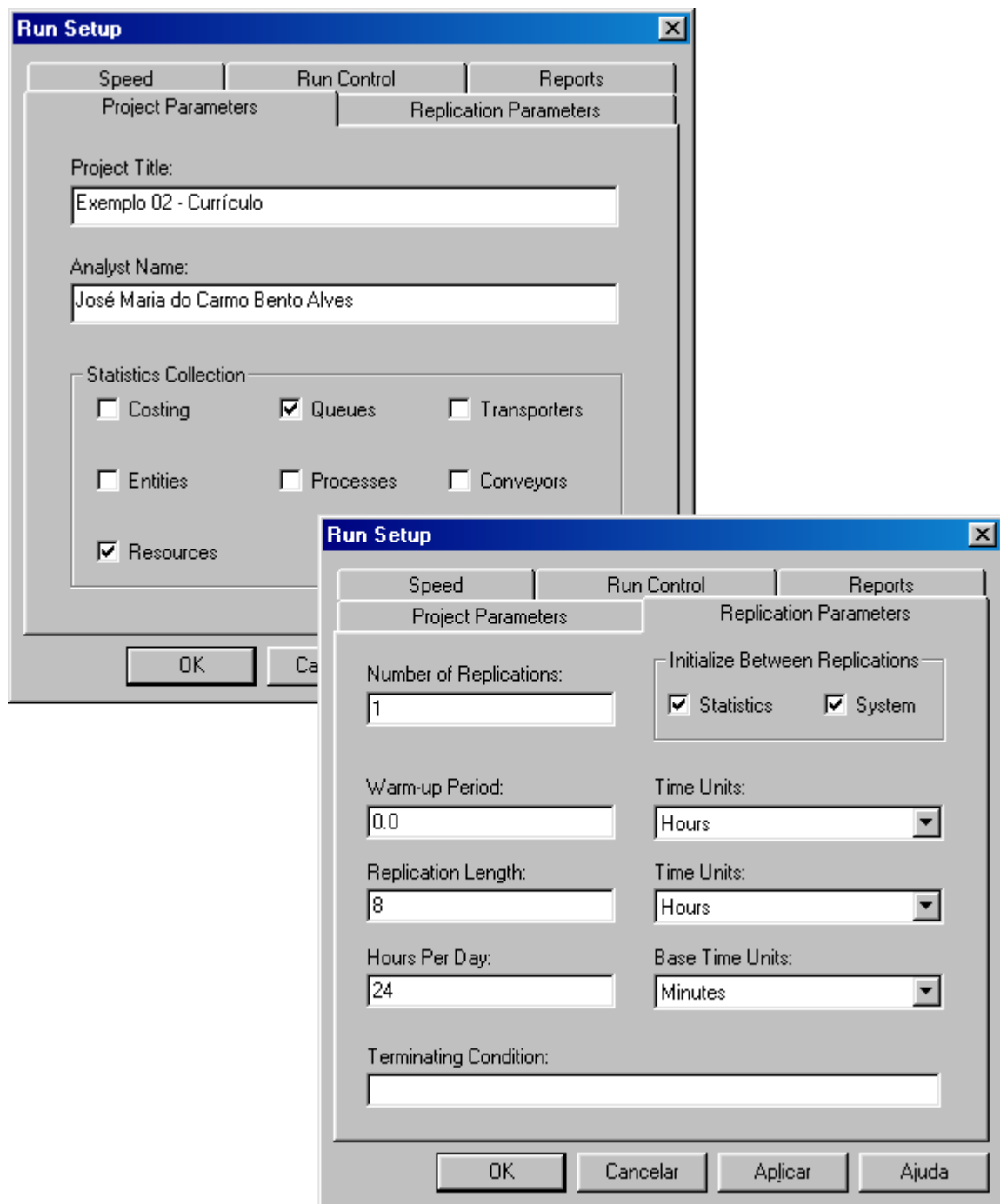
Currículos Reprovados



Fluxograma completo:



Configurações do *Run Setup*:



3.10. Exercícios

01. Suponha que uma confecção de roupas por encomenda, deseja analisar seu processo de produção. Os dados são os seguintes:
- Os pedidos chegam em intervalos de EXPO (12) minutos são feitos os cortes em uma estação de trabalho, daí as peças cortadas são enviadas para a costura, após a costura passam por uma inspeção de qualidade, peças defeituosas são retornadas para a costura para o retrabalho;
 - Tempos de produção:
 - Corte: TRIA (8, 10, 12) minutos;
 - Costura: TRIA (18, 22, 28) minutos;
 - Tempo de inspeção igual a 2 minutos.
 - Número de Funcionários:
 - Corte: 01 funcionário;
 - Costura: 02 funcionários;
 - Inspeção: 01 funcionário.
 - Índice de rejeição na inspeção de qualidade: 20%.
- Desejamos saber:
- a) Qual a taxa de ocupação de cada funcionário?
 - b) Qual o tamanho médio de cada fila?
02. Em um fábrica chegam pedidos a cada EXPO (23) minutos e vão para a produção, gastando UNIF (15, 25) minutos. A seguir passam por um processo de inspeção, em que demoram TRIA (15, 17, 20) minutos para serem inspecionados, tendo um percentual de falha de 30%. As peças defeituosas vão para uma estação de reparo. As peças sem defeito vão para a expedição. Na estação de reparo se gasta UNIF (10, 15) minutos e, a seguir, as peças vão para a expedição. Simule 1000 minutos. Pede-se:
- a) Qual a taxa de ocupação de cada servidor?
 - b) Qual o tamanho médio de cada fila?
 - c) Qual o tempo médio em cada fila?
03. O processo de montagem de um produto segue as seguintes etapas: o pedido é recebido e um operador faz os primeiros preparativos e passa o produto para o processo de montagem. Após a montagem o produto é enviado ao setor de expedição onde é enviado ao cliente. Ultimamente, tem havido várias reclamações sobre defeitos. Em vista disso, foi decidido implantar um posto de inspeção após a montagem do produto Esta inspeção será feita por um novo funcionário. Caso um produto não seja aprovado pela inspeção este produto retorna ao setor de montagem.
- O tempo entre chegadas dos pedidos segue uma distribuição exponencial com média 11.3 (minutos). O processo de preparação do pedido segue uma distribuição normal com média 12 e desvio-padrão de 1.64. A montagem do produto segue uma distribuição triangular com mínimo 10, moda 11.5 e máximo 14. O tempo gasto pela inspeção será fixado em 7.5 minutos e em média 85% dos produtos passam pela inspeção sem problemas Simule este modelo por 1000 minutos durante 24 horas por dia e colete as estatísticas em minutos. Verifique a ocupação dos funcionários em cada posto de trabalho.
04. Uma central de atendimento de emergência recebe uma chamada em média a cada 15 minutos seguindo uma distribuição exponencial. Os tipos de chamadas possuem as seguintes características:

Tipo de Chamada	Porcentagem das Chamadas	Tempo de Atendimento (min.)
Falsa	15% do total de chamadas	TRIA(10; 11; 13)
Emergência sem risco de vida	85% das não falsas	NORMAL(25; 1)
Emergência com risco de vida	15% das não falsas	TRIA(18; 21; 30)

05. Um sistema possui duas máquinas (A e B) com suas respectivas filas. Dois tipos de entidades entram no sistema: Tipo I e Tipo II. Na fila da máquina A, somente são aceitas entidades do Tipo I. Já a máquina B, aceita os dois tipos de entidades. Sempre que uma entidade do Tipo I entra no sistema se a fila da máquina A estiver menor que a fila da outra máquina então ela é processada na máquina A, caso contrário na máquina B. As entidades chegam a cada 10 minutos seguindo uma distribuição exponencial, sendo 50% das entidades do Tipo I e os outros 50% do Tipo II. O tempo de processamento na máquina A segue uma distribuição normal com média 8 e desvio padrão de 2 minutos. O tempo de processamento na máquina B segue uma média de 6.5 minutos com desvio padrão de 2 minutos também seguindo uma distribuição normal. Simule este sistema por 10 dias funcionando 24 horas por dia. Colete as estatísticas em minutos.

Verifique a ocupação das máquinas bem como os tempos médios nas filas e os números médios de entidades nas filas.

06. A diretoria de uma certa empresa deseja implantar um sistema de *e-commerce* para vender seus produtos pela Internet. O setor de vendas solicitou um estudo sobre o impacto que este sistema teria sobre a sua área.

O processo de venda será feito da seguinte maneira: os pedidos chegam ao setor em formato de e-mail. O funcionário responsável analisa o pedido e verifica se todos os itens existem no estoque da empresa.

Caso falte algum item, o pedido é enviado para o departamento de produção, fora da abrangência deste estudo. Caso todos os itens estejam disponíveis, ele envia o pedido para outro funcionário.

O segundo funcionário entra em contato com a administradora do cartão de crédito (os pedidos on-line só são aceitos mediante pagamento com cartão). Caso haja algum problema com o cartão, o pedido é recusado e desconsiderado. Se a administradora aceitar a cobrança, o pedido é encaminhado para o almoxarifado.

As previsões são de que os pedidos chegarão em intervalos de tempo de média 10 minutos, segundo uma distribuição exponencial. O processo de verificação do estoque leva um tempo que segue a distribuição normal de média 8 minutos, com desvio padrão de 0.75.

O processo de verificação de crédito junto à administradora do cartão segue uma distribuição triangular de mínimo 4, moda 6 e máximo 9 minutos. Por experiência com outros canais de vendas, sabe-se que 20% dos pedidos contêm itens em falta, e 7% das transações com cartão são recusados pela administradora.

O gerente do setor de vendas quer saber se algum dos funcionários ficará sobrecarregado.

Uma simulação do período de um dia de trabalho (8 horas) será considerada suficiente para o estudo.

4. Trabalhando com múltiplas Entidades

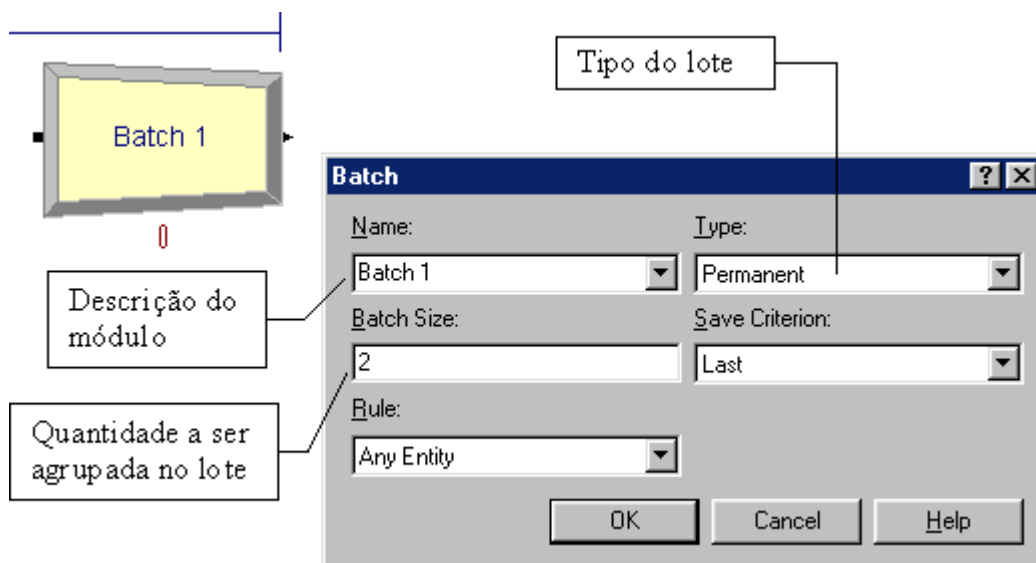
Em alguns processos existe a necessidade de se multiplicar as entidades (como uma caixa que chega fechada, é aberta e fornece 10 peças que estavam em seu conteúdo), ou agregar entidades (como um *pallet* no final de uma linha de produtiva, que ao reunir 10 peças, é levado para o estoque). O ARENA possui dois módulos para auxiliar neste tipo de situação:

4.1. *Batch (Módulo de Agrupamento)*

Este módulo de fluxograma serve para criar agrupamentos de entidades. Quando colocado no fluxo do processo, ele acumula as entidades em fila até que chegue a quantidade especificada. Quando isso acontece, as entidades são retiradas da fila e agrupadas em uma única entidade representativa (um lote), que segue em frente no fluxo do processo. O lote formado pode ser temporário ou permanente.

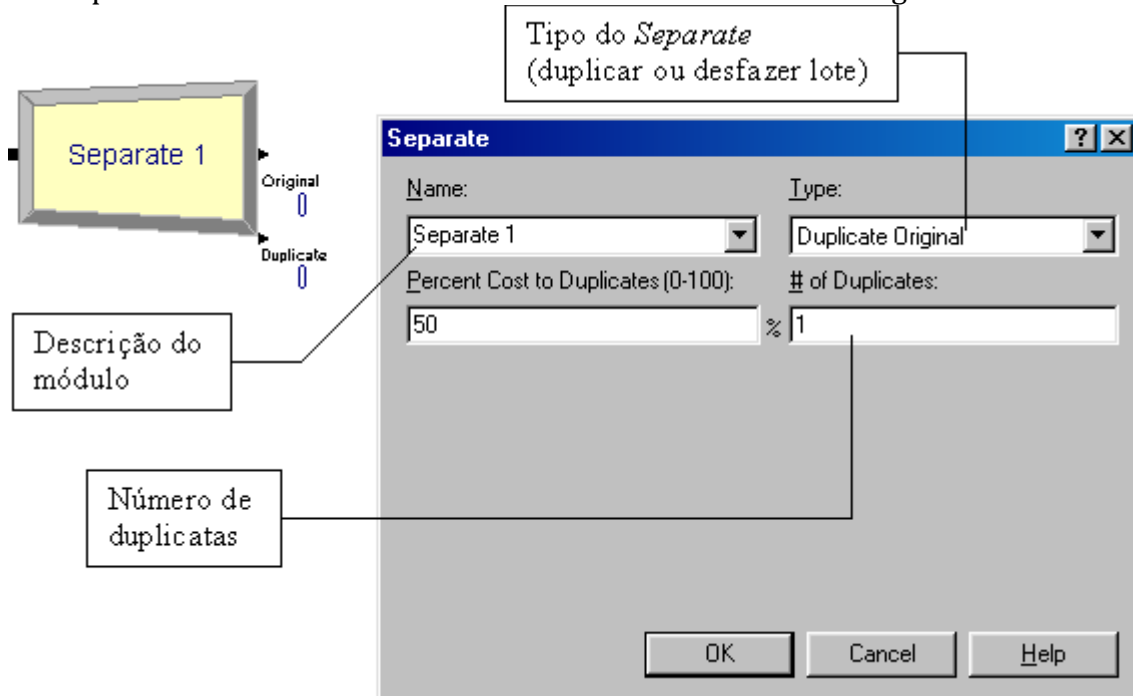
- Se for permanente, as entidades que o compõem serão definitivamente retiradas do modelo e apenas a entidade-lote continuará;
- Se for temporário, o lote pode ser desfeito posteriormente através do módulo *Separate*, explicado a seguir.

A caixa de diálogo do módulo *Batch* é a seguinte:



4.2. *Separate*

Este módulo de fluxograma possui função inversa à do módulo *Batch*. O *Separate* serve para desfazer os lotes temporários formados pelo *Batch*, mas também pode criar duplicatas das entidades que passam por ele. As duplicatas mantêm as mesmas características da entidade original.



4.3. *Exemplo*

Dando continuidade ao estudo do exemplo anterior, o gerente do depto. de RH pretende analisar mais a fundo o processo de avaliação realizado dentro da área específica, uma vez que esta não é capaz de avaliar os currículos com a rapidez necessária.

Nesta etapa, o currículo é inicialmente impresso em duas cópias, o que leva um tempo de distribuição normal, média 2 minutos e desvio padrão de 0,5. Uma das cópias vai para uma secretária, que o arquiva para futuras referências, levando um tempo de distribuição normal com média 4 minutos e desvio padrão de 0,5.

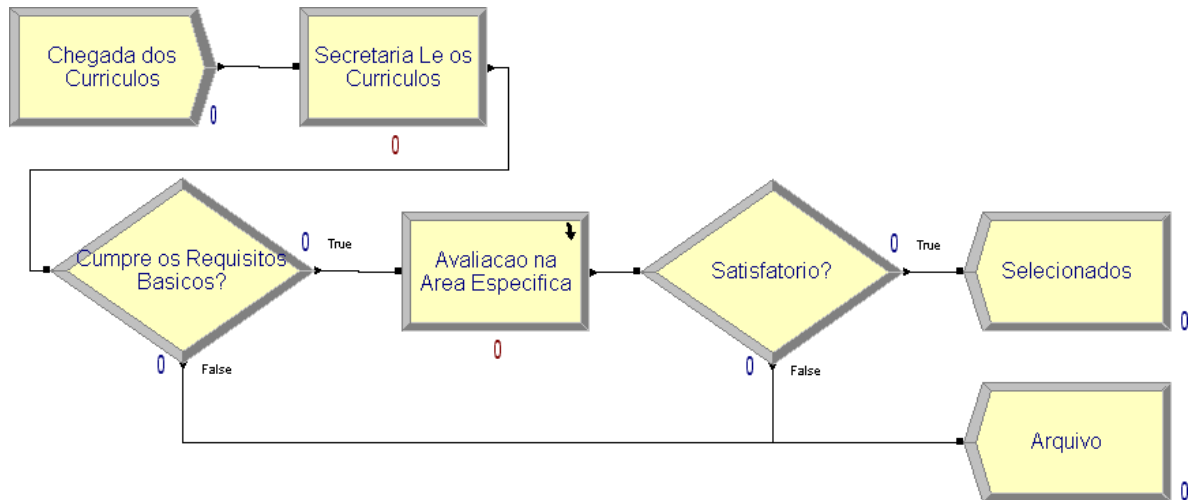
A segunda cópia vai para um supervisor técnico, que verifica os atributos profissionais e universitários do candidato, em um tempo regido pela distribuição normal, média 7 e desvio padrão 1. Este supervisor decide pela aprovação ou não do candidato.

Um turno de trabalho (8 horas) será suficiente para a análise inicial.

Um dos recursos de modelagem oferecidos pelo ARENA é a possibilidade de se criar hierarquias dentro da lógica do modelo. Essa hierarquia acontece através da criação de "submodelos", partes da lógica que são agregadas formando uma "caixa preta", podendo ser manipulada e conectada ao restante dos módulos normalmente, utilizaremos este exemplo para demonstrar como é feita a criação dos submodelos.

SOLUÇÃO

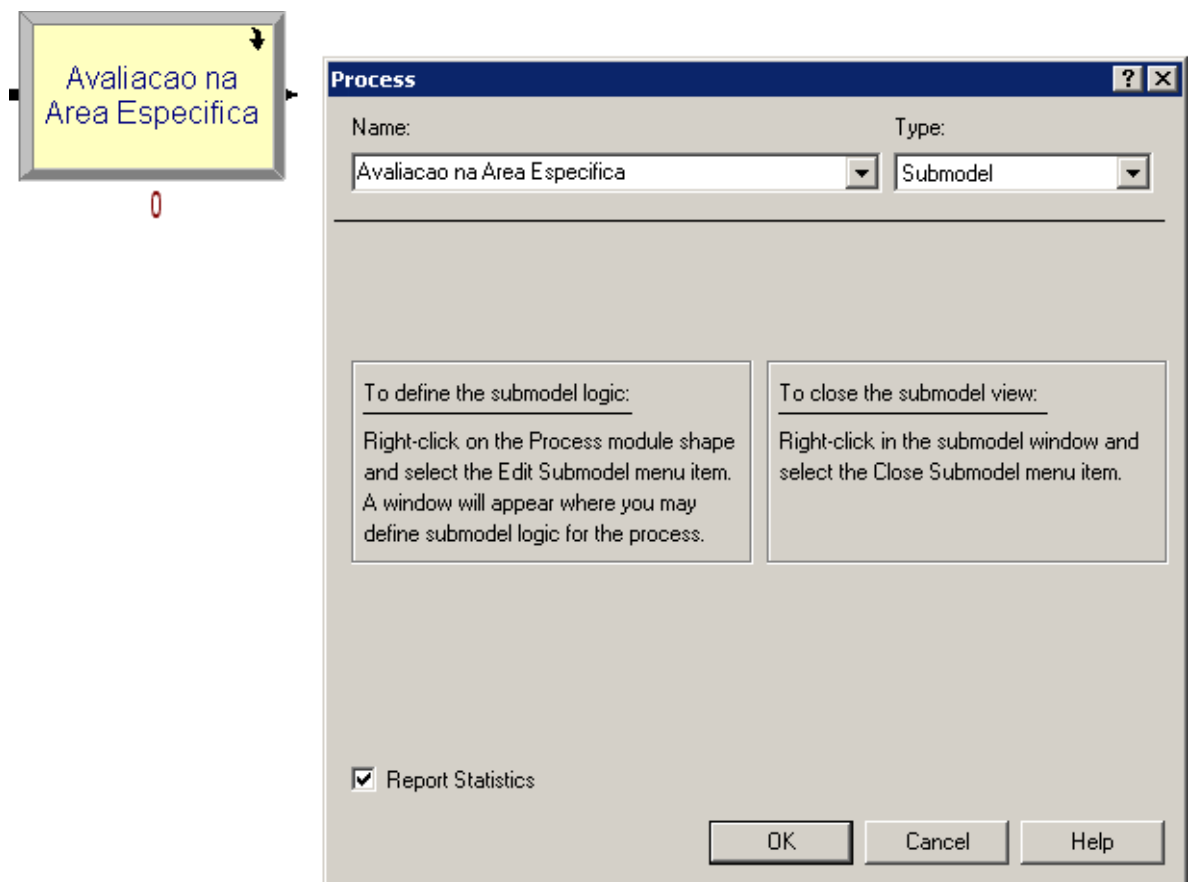
Crie o seguinte fluxograma no ARENA, lembre-se que os dados necessários foram fornecidos no exemplo anterior.



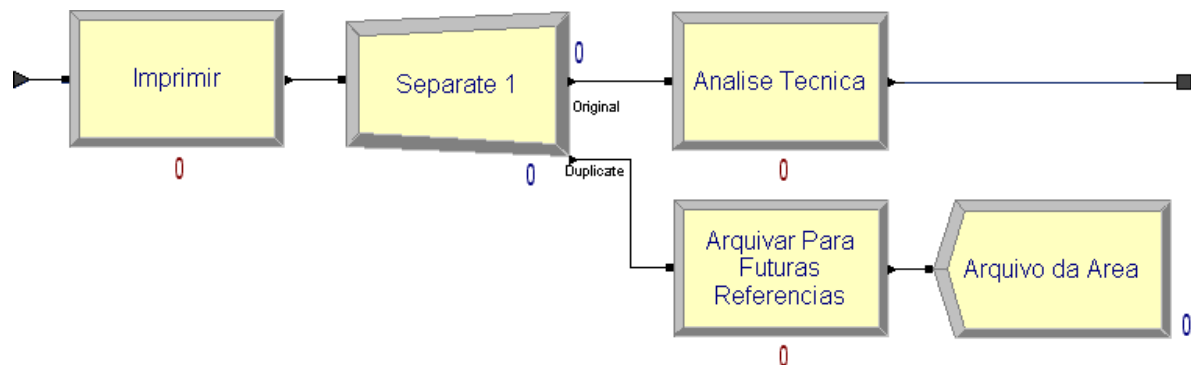
Criação do Submodelo:

Escolha um *process* na *Barra de Projetos*;

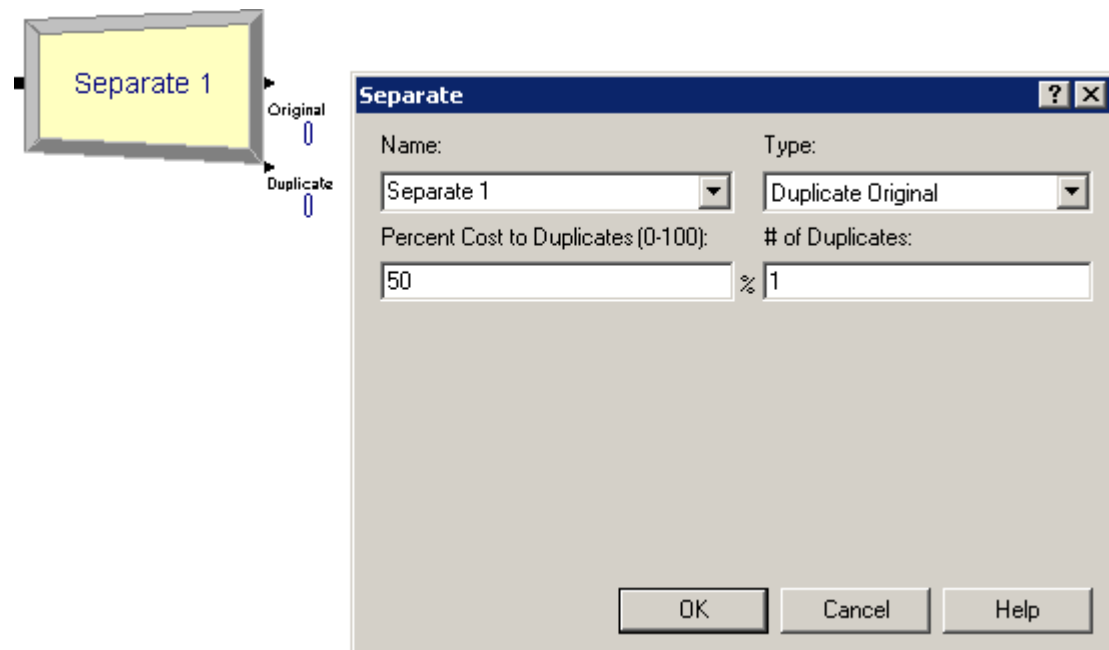
Ao abrir a tela *process* selecione *submodel* no campo *type*, clique em OK.



Clique com o botão direito do mouse no *process* criado e escolha a opção *Edit Submodel*, assim abrirá uma nova tela que será o submodelo, construa o fluxograma abaixo, após isso clique novamente com o botão direito do mouse e escolha a opção *Close Submodel*:



Impressão de 2 cópias do currículo: *Separate*.



Configuração do *Run Setup*.

The image shows two overlapping 'Run Setup' dialog boxes. The background box is partially obscured by the foreground box.

Background Dialog Box (Project Parameters):

- Project Title: Exemplo 03 - Currículo com Separate
- Analyst Name: José Maria do Carmo Bento Alves
- Statistics Collection:
 - ☐ Costing
 - ☒ Queues
 - ☐ Transporters
 - ☐ Entities
 - ☐ Processes
 - ☐ Conveyors
 - ☒ Resources
- OK button

Foreground Dialog Box (Replication Parameters):

- Number of Replications: 1
- Warm-up Period: 0.0
- Replication Length: 8
- Hours Per Day: 24
- Terminating Condition: (empty text box)
- Initialize Between Replications:
 - ☒ Statistics
 - ☒ System
- Time Units: Hours (dropdown menu)
- Time Units: Hours (dropdown menu)
- Base Time Units: Hours (dropdown menu)
- Buttons: OK, Cancelar, Aplicar, Ajuda

4.4. Exercícios

01. Baseado no exercício 06 anterior (*Seção 3.10*), concluiu-se que o segundo funcionário (responsável pela verificação de crédito), fica um tanto ocioso. A gerência pretende aproveitar esta ociosidade para melhorar o processo e o relacionamento com os clientes.

Ficou decidido que a cada pedido recusado pela administradora, o funcionário irá redigir um e-mail de resposta individual para o cliente, explicando as razões da recusa da venda. De acordo com os testes realizados, o tempo necessário para redigir cada e-mail segue uma distribuição normal de média 1.5 minutos e desvio padrão de 0.5.

Em seguida, o pedido recusado será impresso e colocado em uma pasta. O tempo para isso é de distribuição normal com média 2 minutos e desvio padrão de 1. ao se acumularem 5 pedidos na pasta, ela será levada para o gerente, que está realizando uma estatística dos motivos de recusa. O tempo de levar a pasta e voltar é de distribuição normal com média 6 minutos e desvio padrão de 1.5.

Quando o pedido é aceito, o funcionário irá acessar o sistema do almoxarifado e cadastrar os itens do pedido, uma operação que leva o tempo de distribuição normal, com média 3 minutos e desvio padrão 0,5.

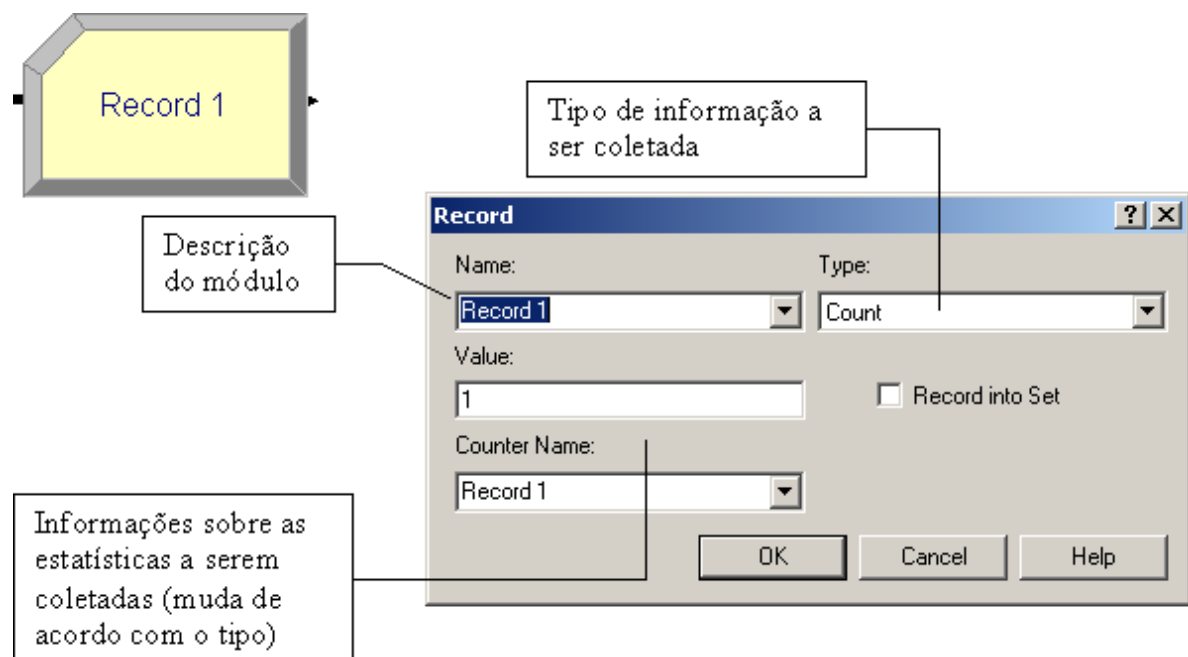
Simule o novo processo durante uma semana (5 dias) com um turno de trabalho de 8 horas e verifique se a nova carga de trabalho é adequada ou excessiva para o funcionário.

5. Os Módulos *Record* e *Assign*

Para permitir uma maior flexibilidade na coleta de estatísticas e alteração de parâmetros do modelo, o *Template Basic Process* possui dois módulos muito úteis:

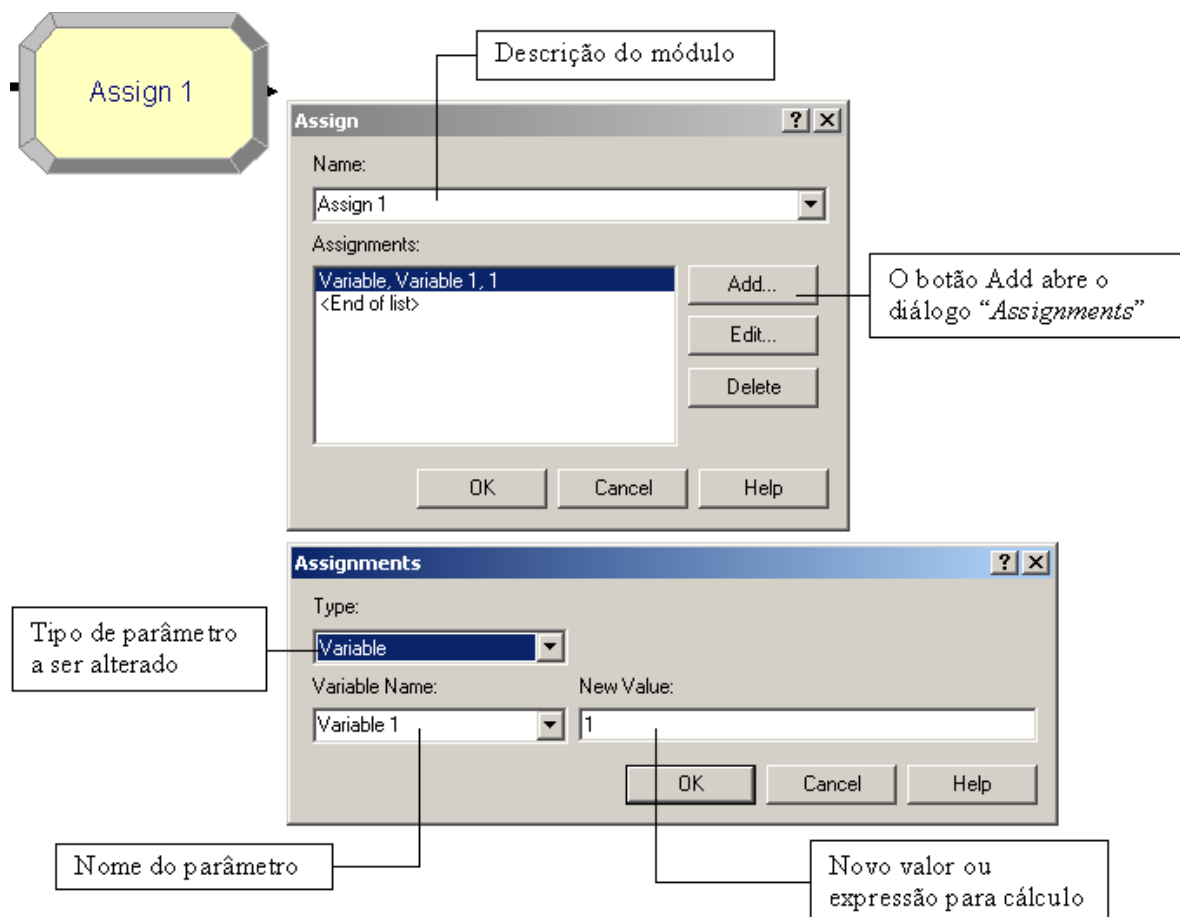
5.1. *Record* (Módulo de Coleta)

O módulo *Record* serve para coletar estatísticas em pontos do modelo escolhidos pelo usuário. Entre as informações que podem ser colhidas estão: contagem de entidades, frequência e intervalos de tempo. Expressões personalizadas podem ser incluídas também. A caixa de diálogo de *Record* é apresentada a seguir:



5.2. *Assign (Módulo de Atributos)*

O módulo *Assign* serve para alterar ou associar valores às variáveis, atributos de entidades, alterar a figura das entidades e outros parâmetros ou variáveis do sistema. Sua janela de diálogo está mostrada abaixo:

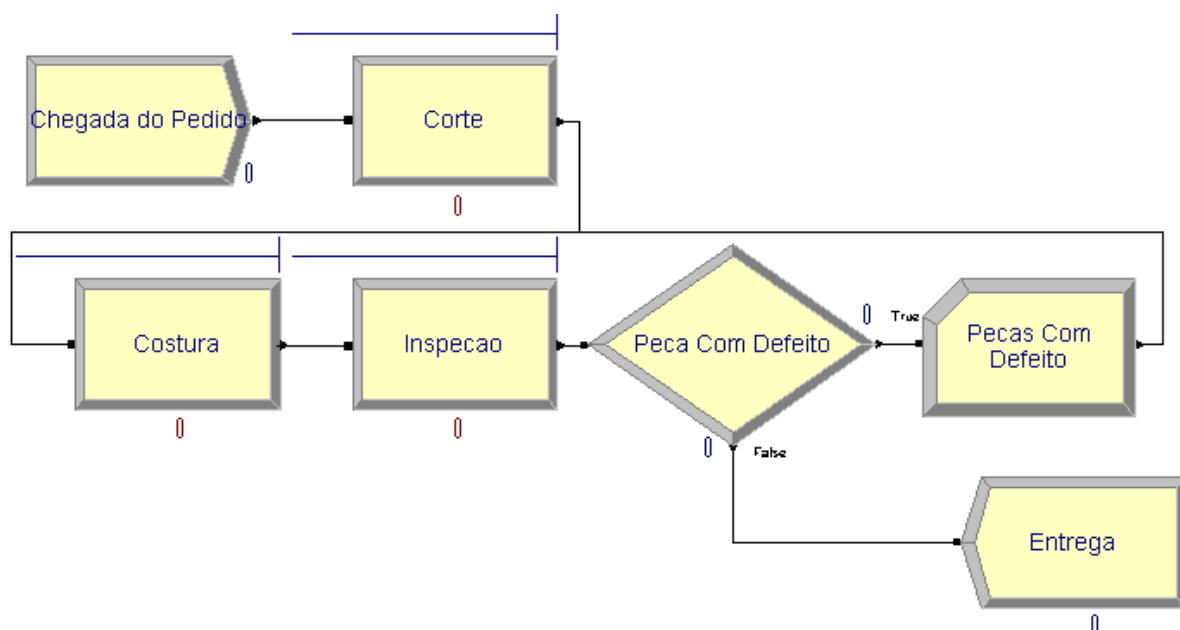


5.3. Exemplo 04

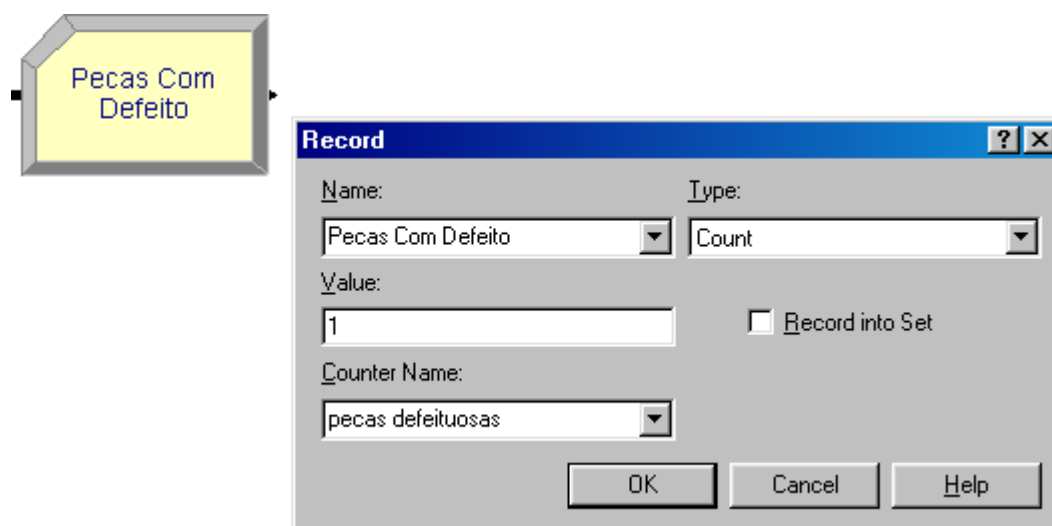
Considere o exercício 01 (Seção 3.10), suponha agora que a gerência da confecção deseja saber qual o número de peças que são fabricadas com defeito.

SOLUÇÃO

Para resolvermos este problema basta inserirmos no fluxograma criado no exercício um módulo *Record* da seguinte maneira:



Contagem de Peças Defeituosas: *Record*



Configuração do *Run Setup*.

The image displays two overlapping 'Run Setup' dialog boxes. The background box is in the 'Project Parameters' tab, showing fields for 'Project Title' (Exemplo 04 - Confecção de Roupas) and 'Analyst Name' (José Maria Do Carmo Bento Alves). It also has a 'Statistics Collection' section with checkboxes for Costing, Queues, Transporters, Entities, Processes, Conveyors, and Resources. The foreground box is in the 'Replication Parameters' tab, showing fields for 'Number of Replications' (1), 'Warm-up Period' (0.0), 'Replication Length' (5), 'Hours Per Day' (8), and 'Terminating Condition'. It also has a 'Time Units' dropdown (Hours), a 'Base Time Units' dropdown (Minutes), and an 'Initialize Between Replications' section with checkboxes for Statistics and System. Both boxes have 'OK' buttons, and the foreground box has 'Cancelar', 'Aplicar', and 'Ajuda' buttons.

Run Setup

Speed | Run Control | Reports

Project Parameters | Replication Parameters

Project Title:
Exemplo 04 - Confecção de Roupas

Analyst Name:
José Maria Do Carmo Bento Alves

Statistics Collection

☐ Costing ☒ Queues ☐ Transporters

☒ Entities ☐ Processes ☐ Conveyors

☒ Resources

OK

Run Setup

Speed | Run Control | Reports

Project Parameters | Replication Parameters

Number of Replications:
1

Warm-up Period:
0.0

Replication Length:
5

Hours Per Day:
8

Time Units:
Hours

Time Units:
Days

Base Time Units:
Minutes

Terminating Condition:

Initialize Between Replications

☒ Statistics ☒ System

OK Cancelar Aplicar Ajuda

5.4. Exercícios

1. Suponha que uma confecção de roupas por encomenda, deseja analisar seu processo de produção. Os dados são os seguintes:
 - Os pedidos chegam em intervalos de EXPO (12) minutos são feitos os cortes em uma estação de trabalho, daí as peças cortadas são enviadas para a costura, após a costura passam por uma inspeção de qualidade;
 - Tempos de produção:
 - Corte: TRIA (8, 10, 12) minutos;
 - Costura: TRIA (18, 22, 28) minutos;
 - Tempo de inspeção igual a 2 minutos.
 - Índice de rejeição na inspeção de qualidade: 20%.Desejamos saber:
 - a) Qual a taxa de ocupação de cada funcionário?
 - b) Qual o tamanho médio de cada fila?
 - c) Qual o número de peças fabricadas com defeito?
2. Entre duas cidades, A e B, existe um número fixo(N) de linhas telefônicas. Cada linha pode operar em ambas as direções, isto é, origem em A e B, mas somente com uma chamada por vez. Se uma pessoa deseja fazer uma chamada e houver uma linha disponível, a chamada é completada imediatamente. Se todas as n linhas estiverem ocupadas, pessoa recebe uma gravação dizendo para ela desligar e tentar mais tarde. Não existe dispositivo de espera, isto é, chamadas bloqueadas por falta de linhas são perdidas. Os tempos entre as tentativas de chamadas de A para B seguem uma exponencial (10) seg., enquanto que as de B para A uma exponencial (4) min., independente da cidade. O tempo da gravação é de 20 seg. Inicialmente, todas as linhas estão disponíveis. A simulação deve ser executada por 24h com 30 min de aquecimento (warm-up). Inicie com N=10. Determine a taxa de ocupação das linhas, o número total de chamadas por cidade de origem, o número de chamadas bloqueadas e a proporção destas em relação ao total de chamadas (bloqueadas + completadas).