

Semestre de Verão

Simulação de Processos

Software Arena

Professor: Vítor Manuel Rodrigues

ALUNOS:

ANDRÉ GRILO Nº 46440

VALTER FRANCISCO Nº 39383

Índice

1.	Introdução	2
2.	<i>Rockwell Arena</i>	3
3.	Parte I	13
4.	Parte II	19
5.	Parte III	25
6.	Conclusão	43

1. Introdução

Este trabalho tem como objetivo utilizar o software *Rockwell Arena* para simular um processo de pintura de caixas dividido em várias estações.

Inicialmente iremos demonstrar os blocos utilizados juntamente com uma breve explicação sobre os mesmos.

O trabalho em si divide-se em três partes, a primeira parte trata-se da montagem e sequenciamento das operações, na segunda parte introduz-se a possibilidade de acontecerem avarias num determinado ponto do processo e adiciona-se um segundo turno numa estação em específico. A terceira parte resume-se a adicionar uma forma de transportar as caixas entre as diversas estações de trabalho e alguns custos associados ao processo.

Pretende-se comparar os resultados da primeira parte com os resultados obtidos na segunda. Quanto à terceira devemos sugerir possibilidades de melhoria que poderiam ser instalados no processo.

2. Rockwell Arena

Esta parte do trabalho vai incluir breves explicações sobre a utilização do *software Rockwell Arena*.

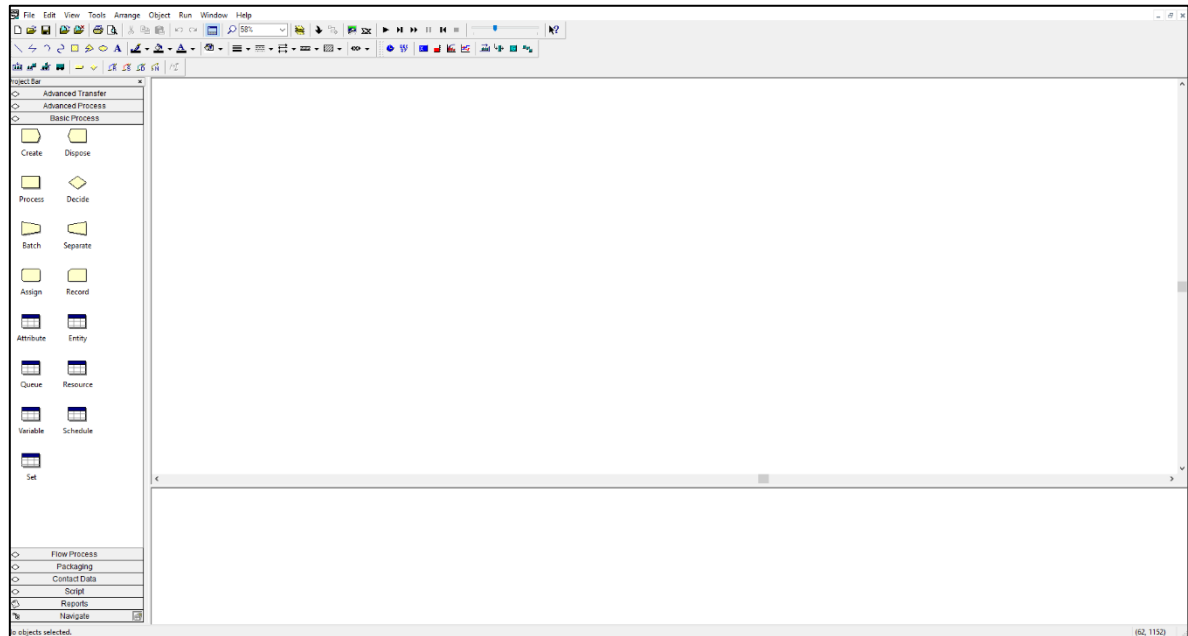


Imagem 1 - Aspecto inicial

Na imagem acima temos o *display* inicial do *software*.

Do lado esquerdo temos as ferramentas para criar o processo nos vários *tabs* apresentados. Nesta imagem podemos ver o “*Basic Process*” *tab*, possivelmente o que mais se utiliza ao longo de uma montagem de um processo. Abaixo será explicado cada bloco utilizado durante a montagem do nosso processo.

O bloco “*Create*”, apresentado na figura abaixo serve para definir o comportamento da fonte que alimenta o processo.

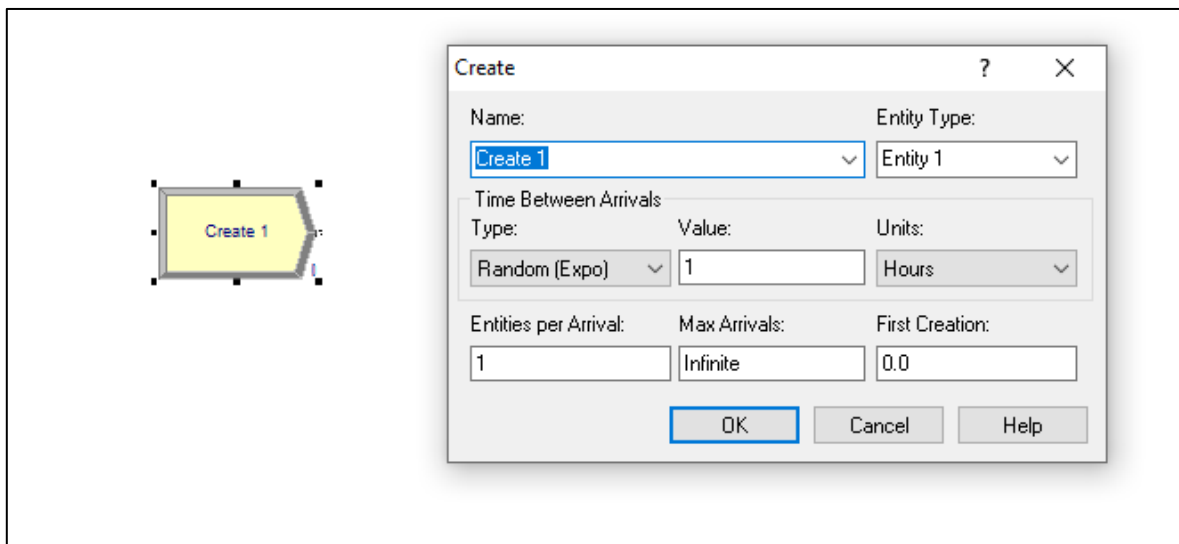


Imagem 2 - Bloco *Create*

Quando abrimos este bloco aparece uma janela com o aspeto demonstrado e é desta forma que definimos o número de unidades e qual a cadência.

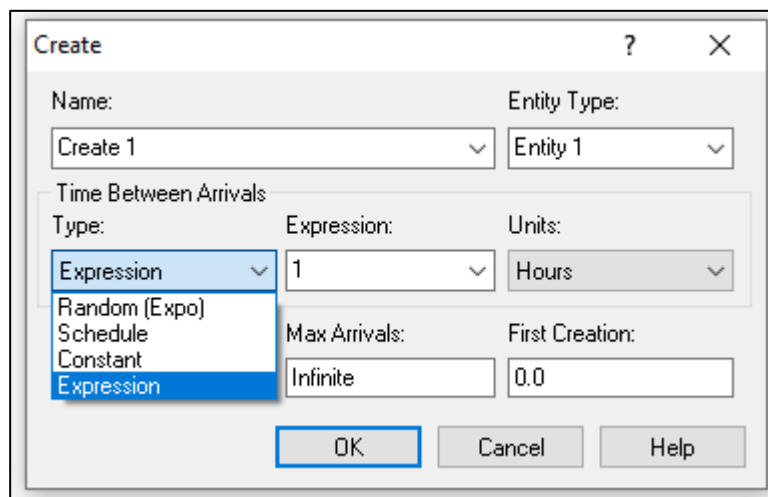


Imagem 3 - Tipos de cadência

Na imagem acima podemos ver os tipos de cadência que podemos utilizar para definir a chegada.

De seguida temos o bloco “Process”.

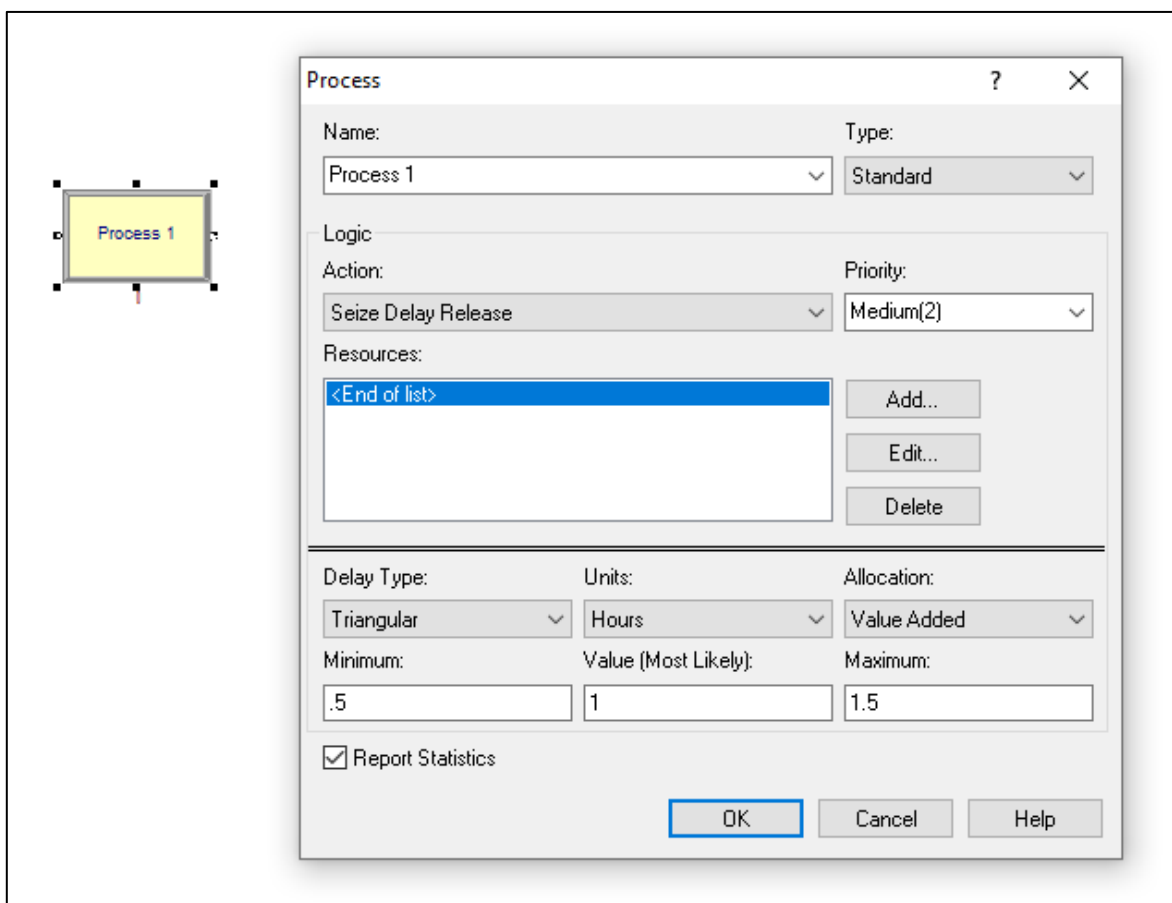


Imagem 4 - Bloco *Process*

Neste caso já foi escolhido o tipo de ação tomada “*Seize Delay Release*” para simular como seria um processo. Basicamente significa que uma entidade será agarrada, o *delay* será definido dependendo do tipo de processo tal como no caso do bloco “*Create*”, mas neste bloco serve para simular o tempo que determinada atividade iria demorar a ser concluída e por fim libertaria a entidade depois do processo concluído. O “*Delay Type*” também pode ser definido por uma expressão com um determinado nome, expressão essa que vem incluída na peça a ser tratada e que foi imposta por um bloco “*Assign*” que iremos ver mais para a frente neste trabalho.

Abaixo será apresentado o bloco “*Decide*”.

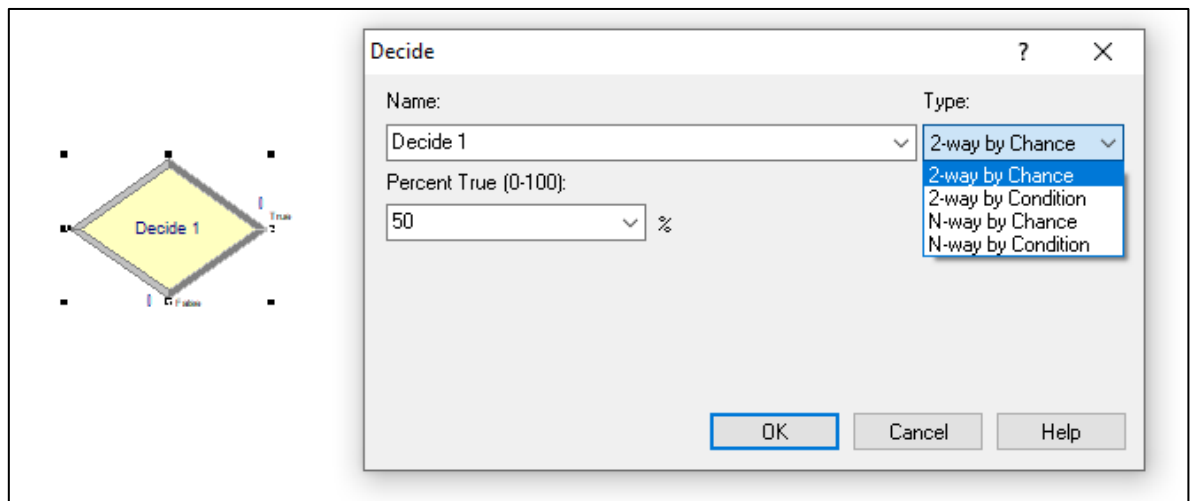


Imagem 5 - Bloco *Decide*

O bloco “*Decide*” tem diversas utilidades, pode servir para simular uma percentagem de peças que podem não estar conformes utilizando “*2-way by Chance*”, utilizando “*2-way by Condition*” podemos separar peças por entidades, por variáveis ou por atributos dependendo do que é pretendido. Para definirmos como queremos “chamar” às peças usamos um bloco “*Assign*” demonstrado abaixo.

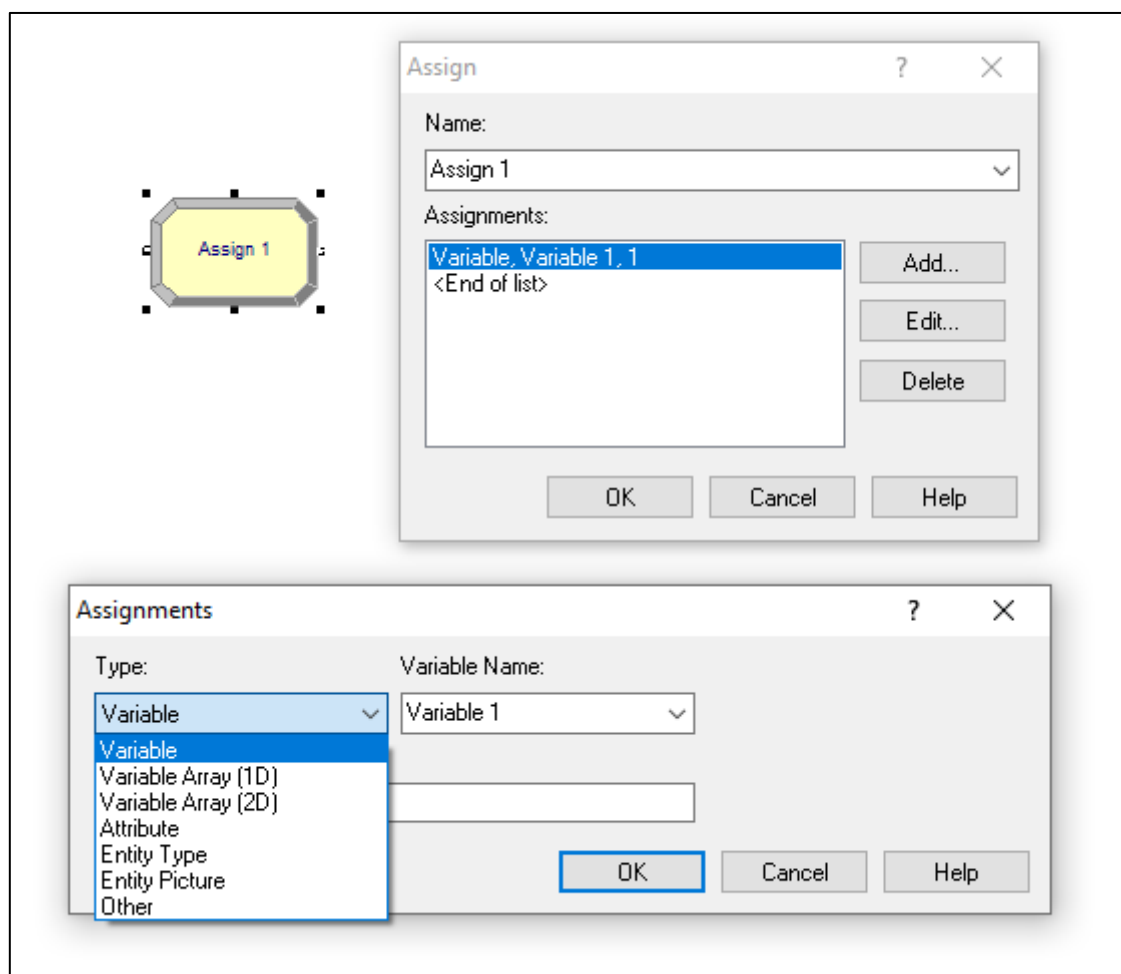


Imagem 6 - Bloco *Assign*

Como referido anteriormente, na imagem 6 podemos ver as possibilidades que podem ser atribuídas às peças dependendo da necessidade. Estas possibilidades são utilizadas em diversos blocos, como os blocos apresentados anterior e seguidamente.

Abaixo temos o bloco “*Record*” que utiliza atributos ou funções para fazer contagens e guardar valores para *display* nos relatórios finais.

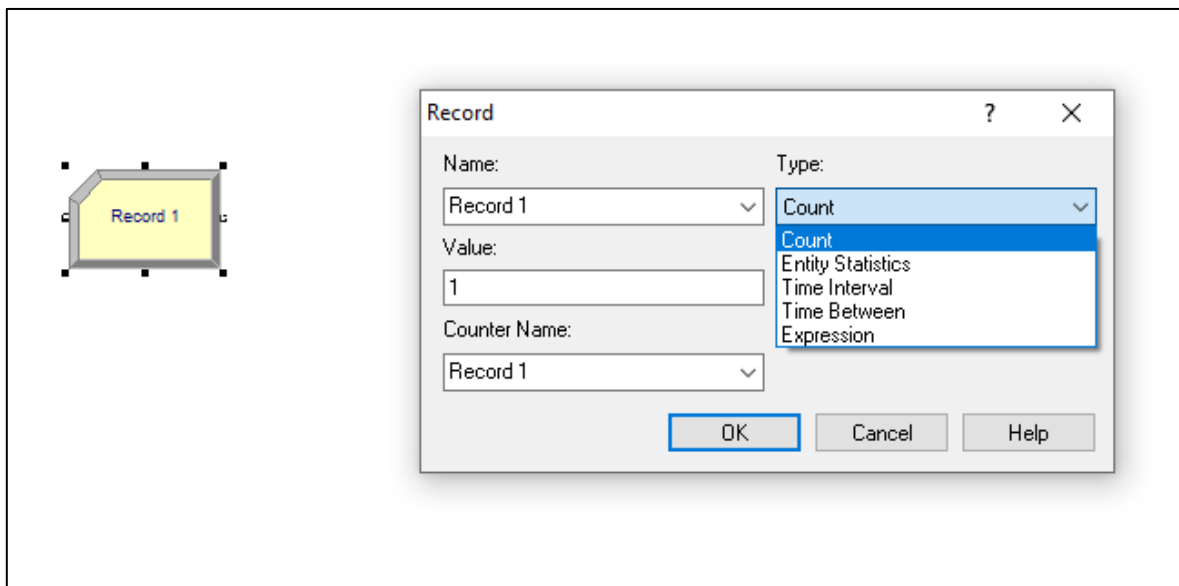


Imagem 7 - Bloco Record

Passando para o *tab Advanced Process*, temos apenas um bloco utilizado no desenvolvimento deste trabalho, trata-se do bloco “Delay”, apresentado abaixo.

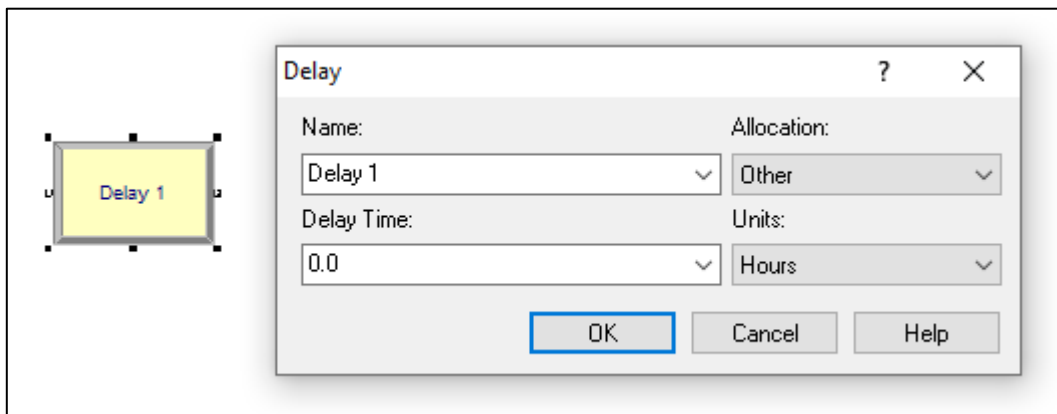


Imagem 8 - Bloco Delay

Este bloco foi apenas utilizado na terceira parte deste trabalho, serve para simular um incremento relativo ao tempo, neste caso serviu para simular tempos de carga e descarga dos empilhadores utilizados para o transporte de peças.

O último *tab* que vai ser explorado nesta parte do trabalho é o *tab Advance Transfer*. Neste *tab* vamos começar por apresentar o bloco “Enter”.

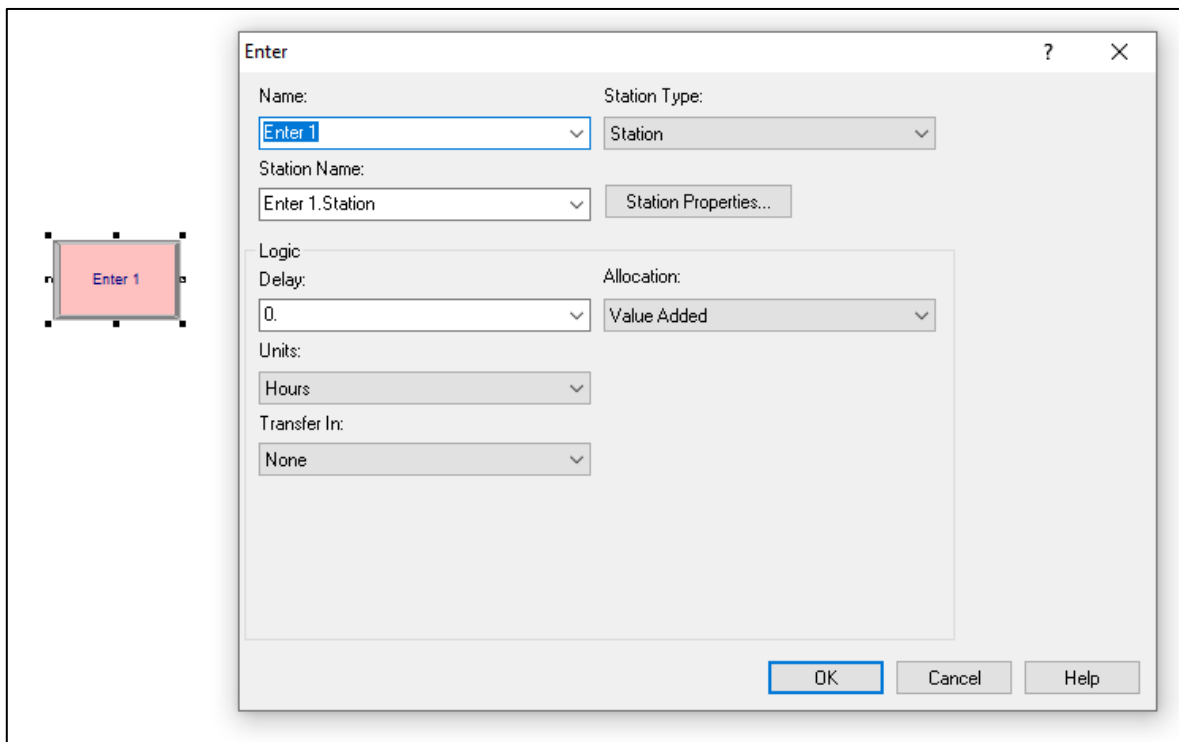


Imagem 9 - Bloco Enter

O bloco apresentado na imagem 9 é utilizado para simular a entrada de uma estação de trabalho em que podem ser introduzidos *delays*. Juntamente com este bloco é sempre utilizado um outro chamado “*Leave*”.

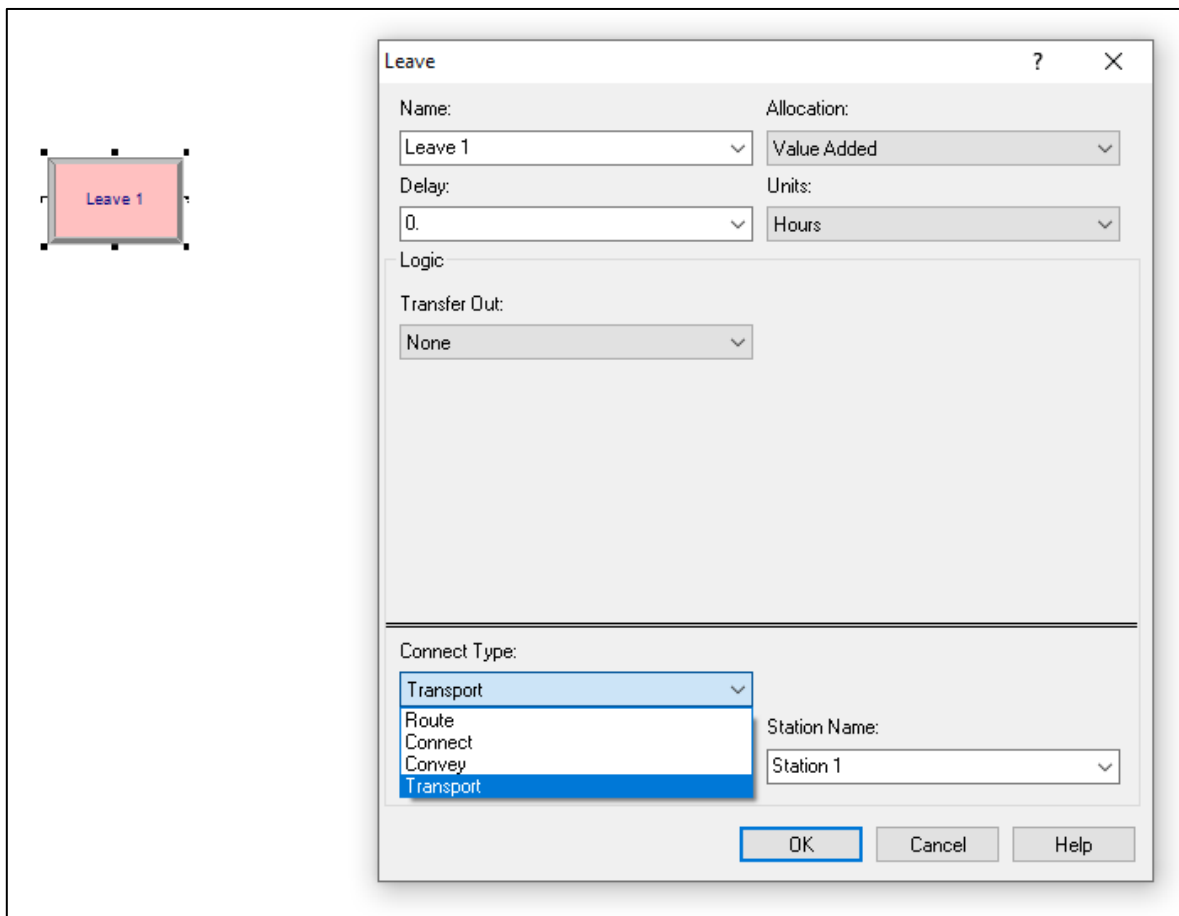


Imagem 10 - Bloco *Leave*

Este tipo de bloco serve para simular a saída da estação de trabalho e neste processo é usado para conectar diretamente ao bloco *Enter* da estação seguinte nas primeiras duas partes do mesmo.

Na terceira parte do trabalho são introduzidos empilhadores para transportar as caixas entre as várias estações, para isso foram usados os blocos “*Transport*”.

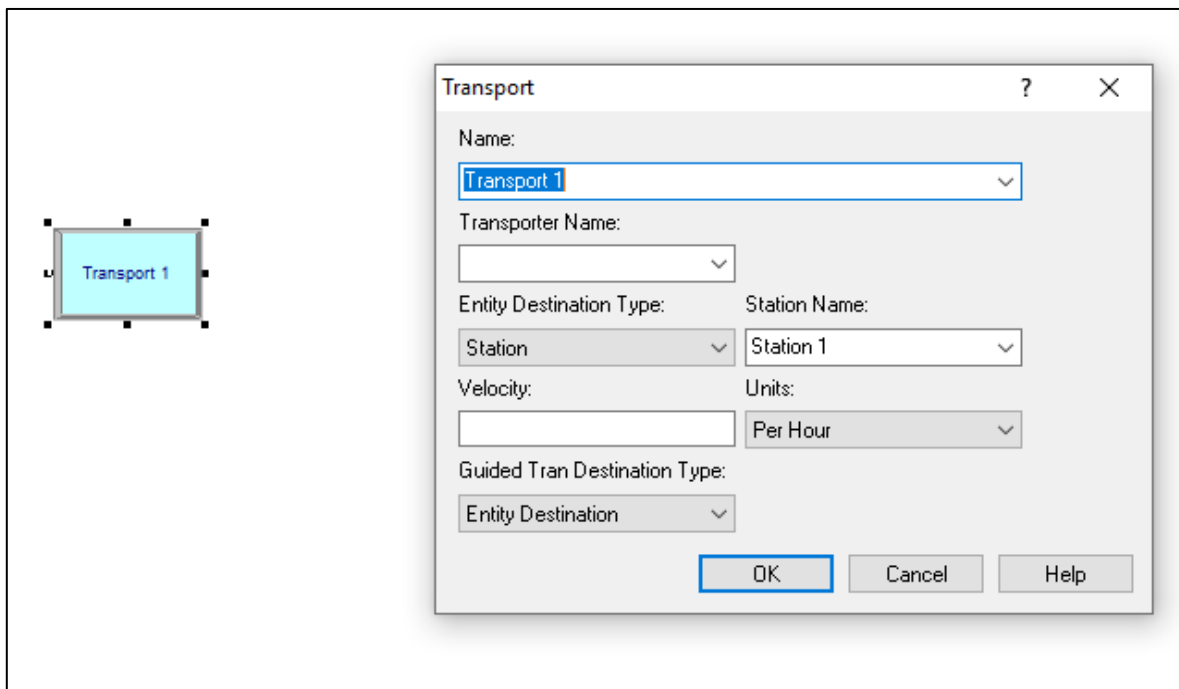


Imagem 11 - Bloco *Transport*

Este bloco é utilizado para substituir o bloco *Leave*, conectando à estação seguinte e atribuindo uma velocidade ao transportador. No início da estação seguinte é necessário utilizar um bloco "*Free*".

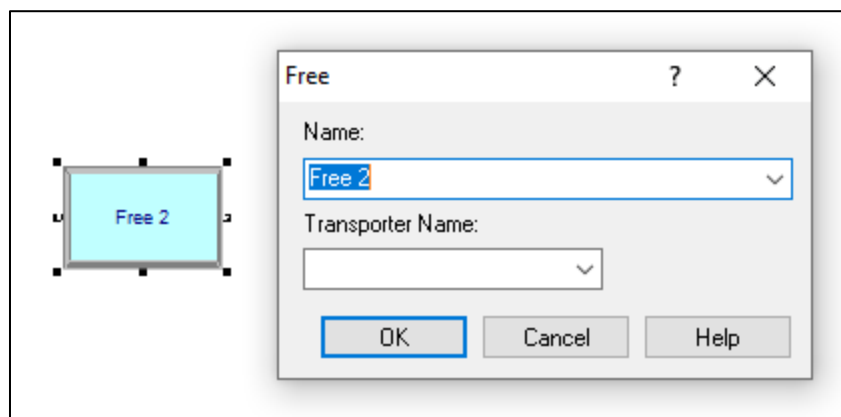


Imagem 12 - Bloco *Free*

Este bloco é utilizado para libertar o transportador que chegou à estação para que este possa ser utilizado noutra sítio. Este "sítio" não é escolhido aleatoriamente, aliás sem um bloco "*Request*" um transportador não se dirige ao local onde existem peças para transportar.

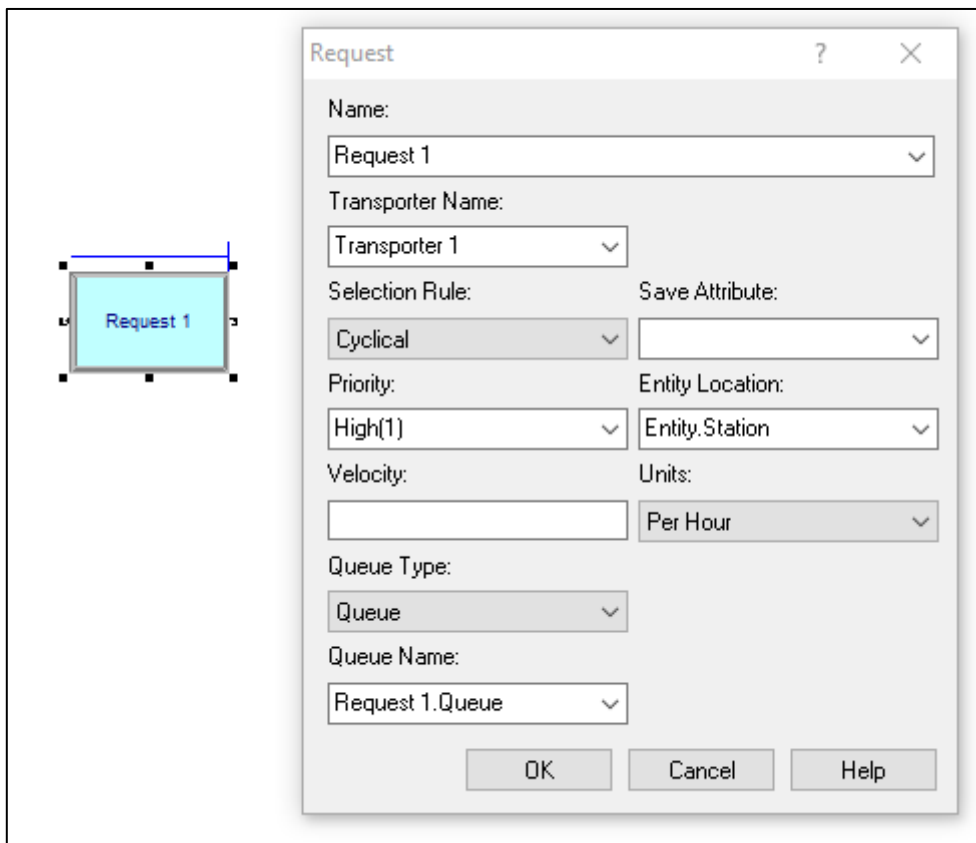


Imagem 13 - Bloco Request

O objetivo desta parte do trabalho está concluído, os blocos utilizados têm uma breve explicação da sua função. As questões específicas como avarias, horários, distâncias, etc. serão explicadas quando forem introduzidas em cada parte do trabalho.

3. Parte I

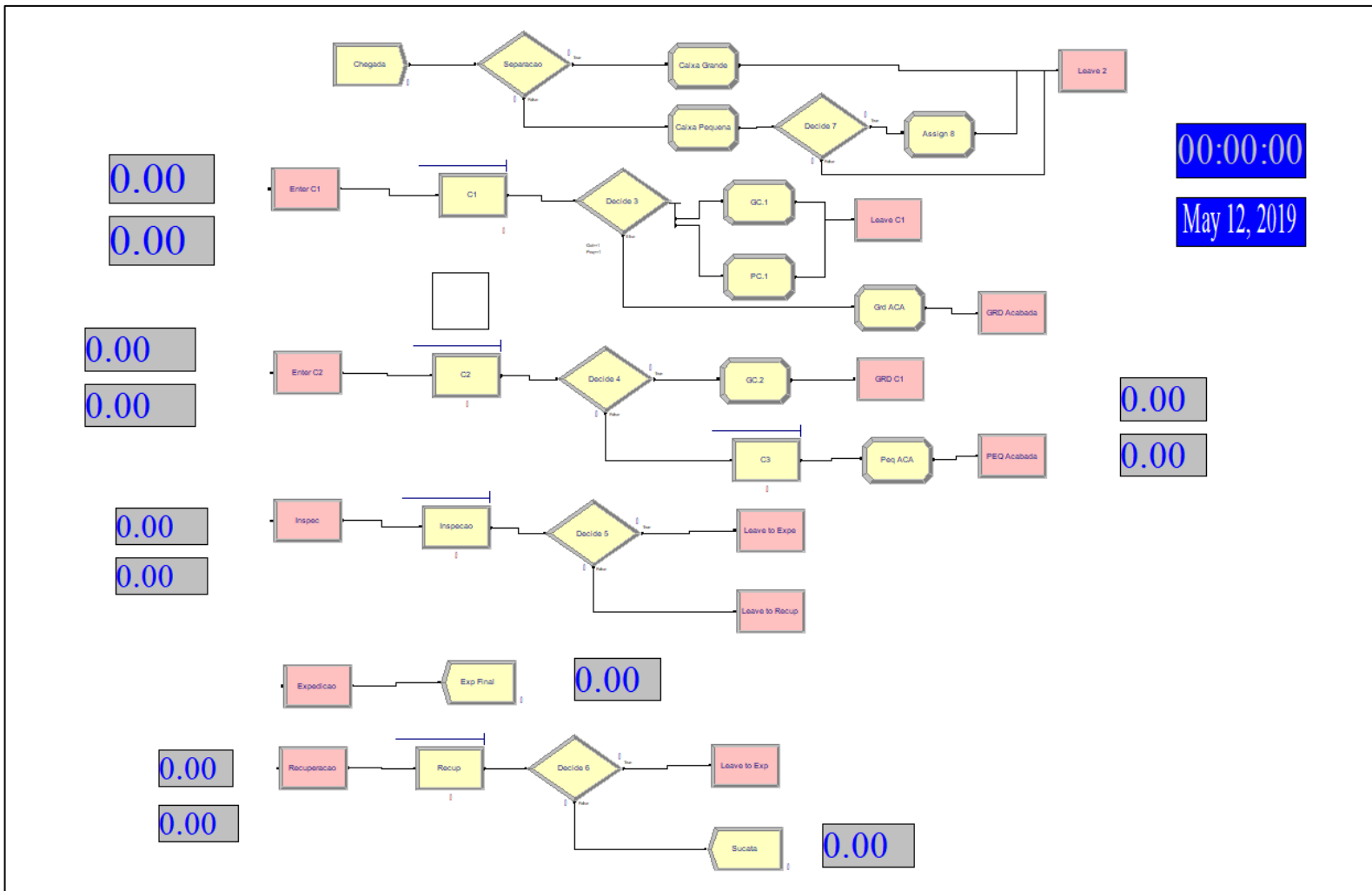


Imagem 14 - Montagem do sistema

A imagem 14 representa a montagem segundo o enunciado do problema

A estação de chegada faz a divisão de peças em 70 % caixas grandes 30 % caixas pequenas recorrendo a um decide que até 7 caixas saem em frente e depois disso saem por baixo, o segundo decide conta até 3 peças em que as primeiras 2 saem por baixo e a terceira sai por cima fazendo o reset à variável do contador.

Os assigns utilizados têm 3 funcionalidades. A primeira é para contagem e reset da variável para garantir 70/30 na relação de tamanho de caixas. A segunda é introduzir um atributo de "nome" que será utilizado no decide 3 depois da primeira estação estação de pintura. A terceira funcionalidade é outro atributo que atribui o tempo de processamento que a unidade vai ter no processo C1. Em resumo todos os assigns seguintes terão estas duas ultimas funcionalidades, que estão de acordo com a tabela fornecida no enunciado.

Tabela 1 - Sequência de operações e tempos de processamento

Produto	Tempo (min)	Tempo (min)	Tempo (min)
Pequeno	C1 TRIA (6,8,9) MAQ antiga	C2 TRIA (5,8,10)	C3 TRIA (15,20,25)
Grande	C1 TRIA (11,13,15) MAQ antiga	C2 TRIA (4,6,8)	C1 TRIA (15,18,21) MAQ antiga

Os blocos de processo cada um representa uma estação de trabalho em que o tempo de processo depende do atributo de “tempo” que o produto tem.

Os decides 7, 3 e 4 (de cima para baixo) têm a funcionalidade de separar as caixas pequenas das grandes, estes decides funcionam utilizando os atributos de “nome” que vão sendo atribuídos a cada ponto do processo para que exista diferenciação entre produtos diferentes e, dentro do mesmo produto, se saiba por quantas estações é que o produto passou. O decide 5 faz separação de peças que estão conformes das não conformes que, segundo o enunciado, 80 % destas são enviadas directamente para a expedição e as restantes passam por um processo de recuperação em que 70 % das caixas (separadas no decide 6) são recuperadas com sucesso sendo enviadas para a zona de expedição como caixas recuperadas e as restantes são enviadas para a sucata.

Os contadores do lado esquerdo e direito (fundo cinza) fazem a contagem de peças que entram e saem das estações adjacentes, com excepção dos últimos dois do lado direito que apenas fazem a contagem de produtos que chegam às zonas de expedição e sucata.

Os contadores do lado direito em cima (fundo azul) fazem a contagem total de tempo em horas, minutos, segundos e dias que o processo este activo, de cima para baixo respectivamente.

Em seguida apresentam-se os resultados da montagem inicial do processo de pintura.

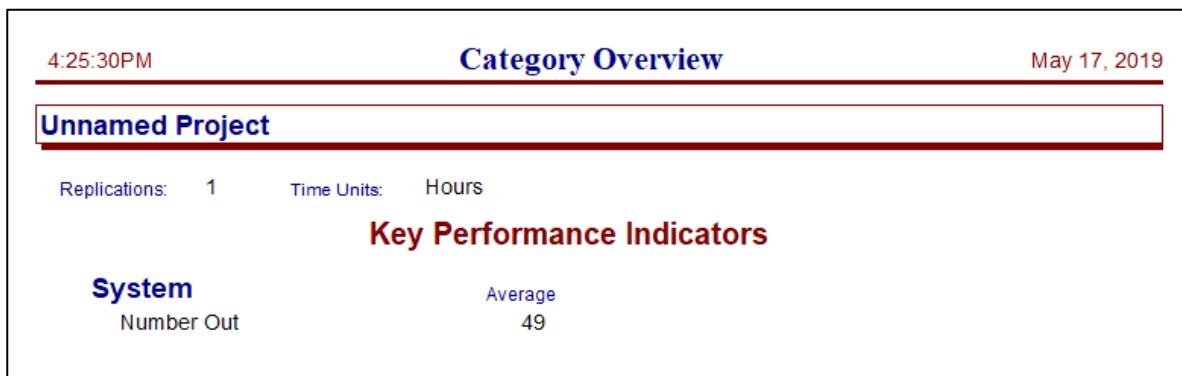


Imagem 16 - Número de unidades concluídas com sucesso

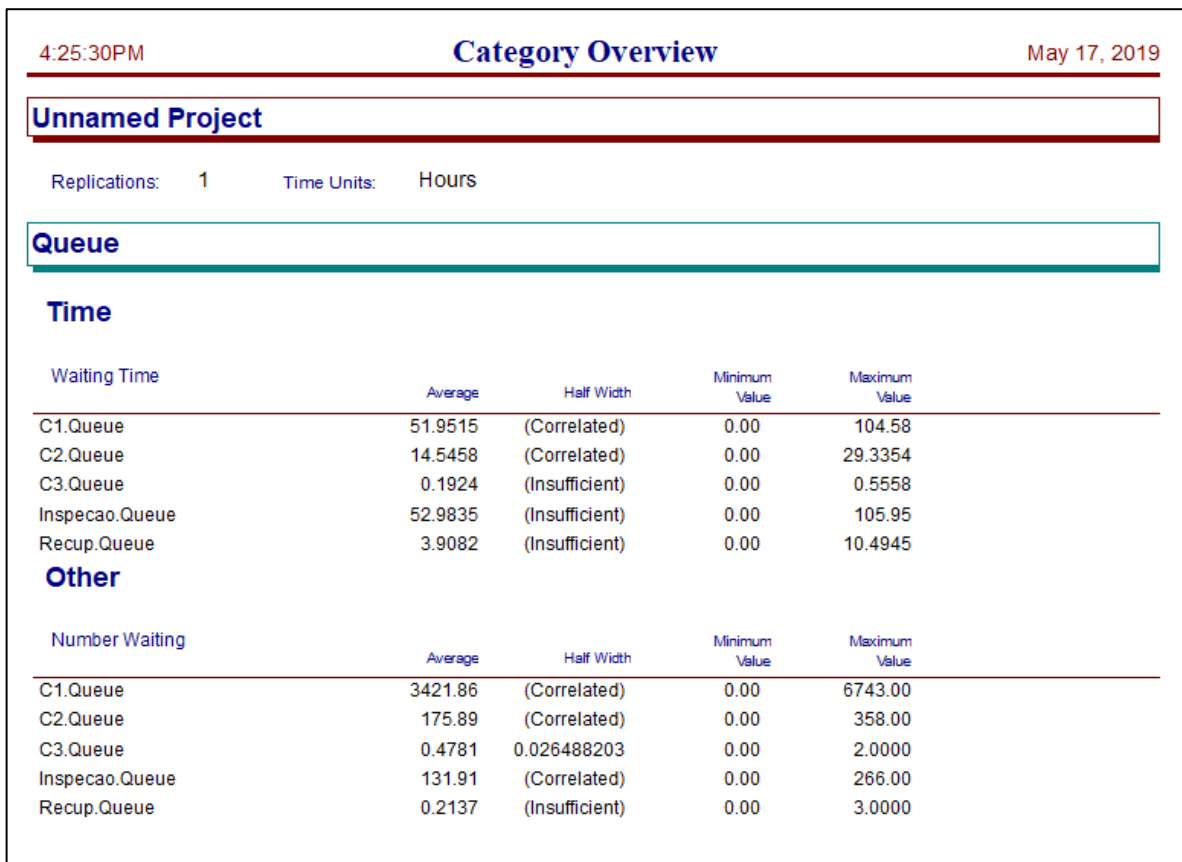


Imagem 15 - Tempo e número de unidades em fila de espera em cada processo

Unnamed Project

Replications: 1 Time Units: Hours

Resource

Usage

Instantaneous Utilization	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
MAQ_Nova	1.0000	(Insufficient)	0.00	1.0000
MAQ_Velha	1.0000	(Insufficient)	0.00	1.0000
Resource 1	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Resource C2	0.9988	(Insufficient)	0.00	1.0000
Resource C3	0.8264	(Insufficient)	0.00	1.0000
Resource Ins	0.9891	(Insufficient)	0.00	1.0000
Resource Recup	0.2526	(Insufficient)	0.00	1.0000
Number Busy	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
MAQ_Nova	1.0000	(Insufficient)	0.00	1.0000
MAQ_Velha	1.0000	(Insufficient)	0.00	1.0000
Resource 1	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Resource C2	0.9988	(Insufficient)	0.00	1.0000
Resource C3	0.8264	(Insufficient)	0.00	1.0000
Resource Ins	0.9891	(Insufficient)	0.00	1.0000
Resource Recup	0.2526	(Insufficient)	0.00	1.0000
Number Scheduled	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
MAQ_Nova	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
MAQ_Velha	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
Resource 1	2.0000	(Insufficient)	2.0000	2.0000
Resource C2	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
Resource C3	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
Resource Ins	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
Resource Recup	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000

Imagem 17 – Número de *resources* e a sua utilização

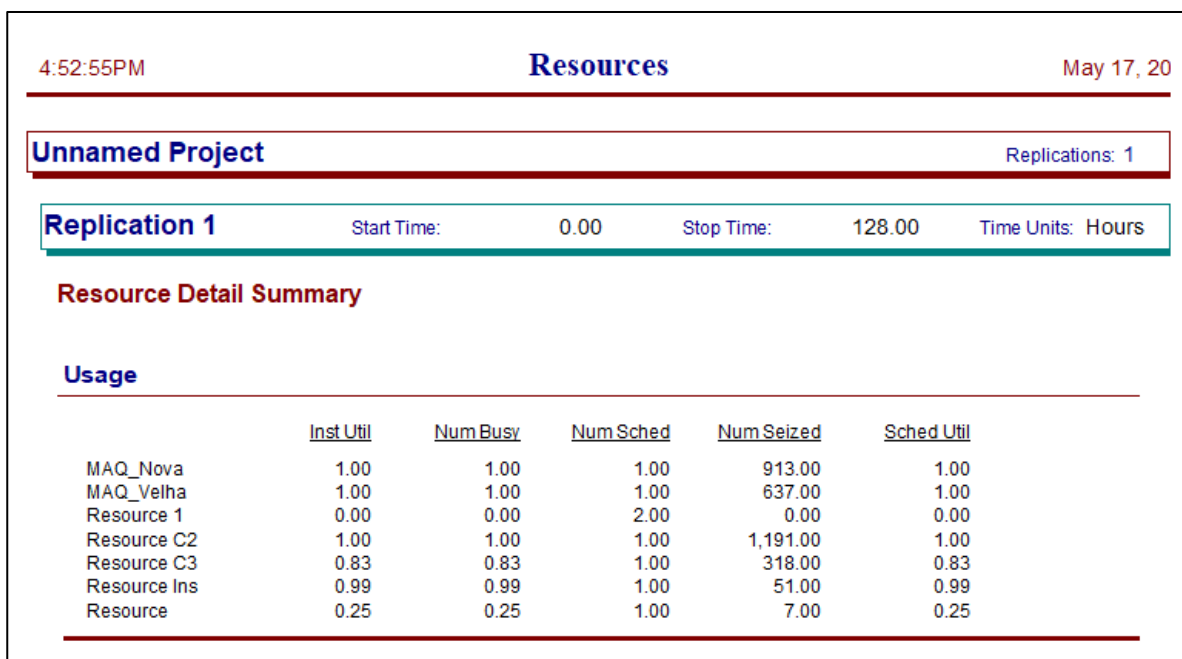


Imagem 19 - Detalhes sobre os *resources*

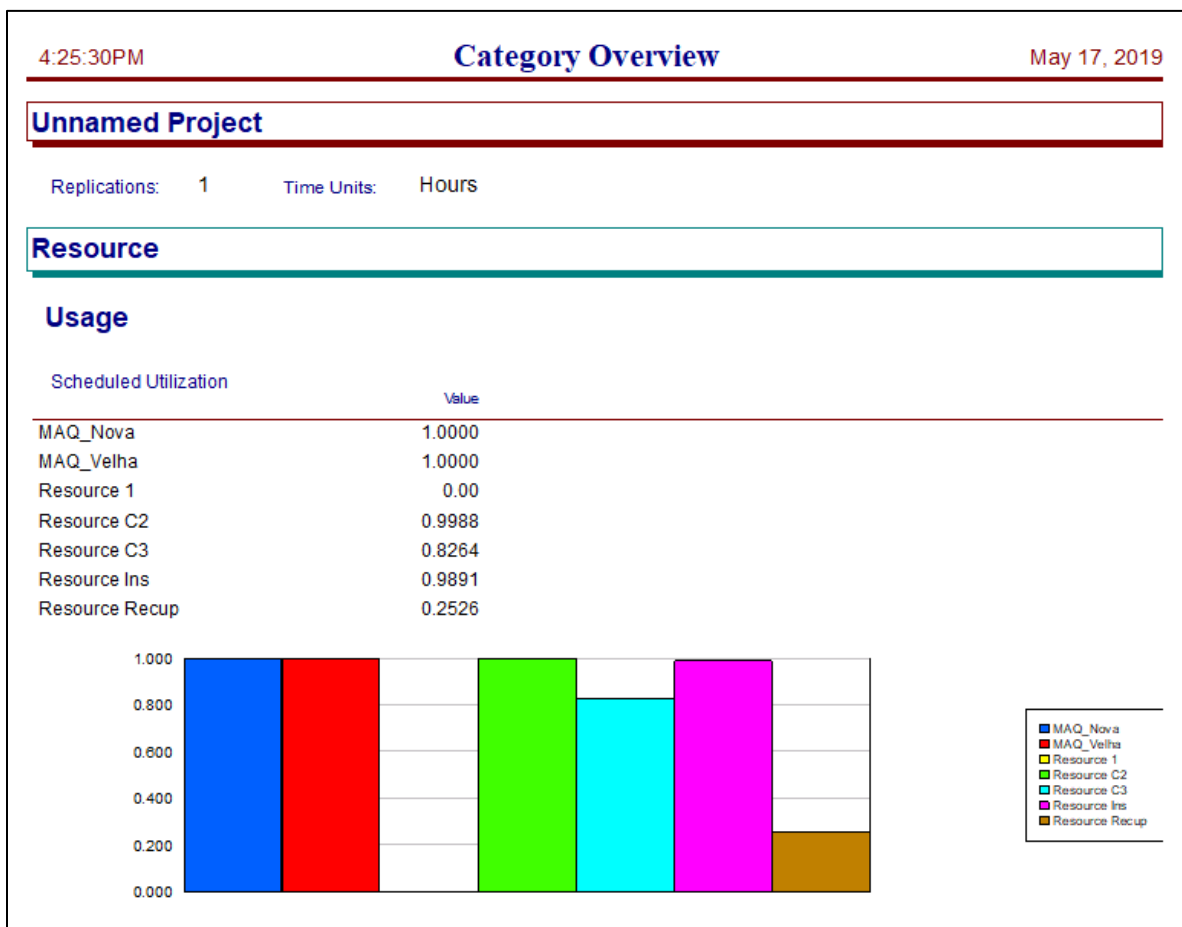


Imagem 18 - Utilização dos *resources* representado graficamente

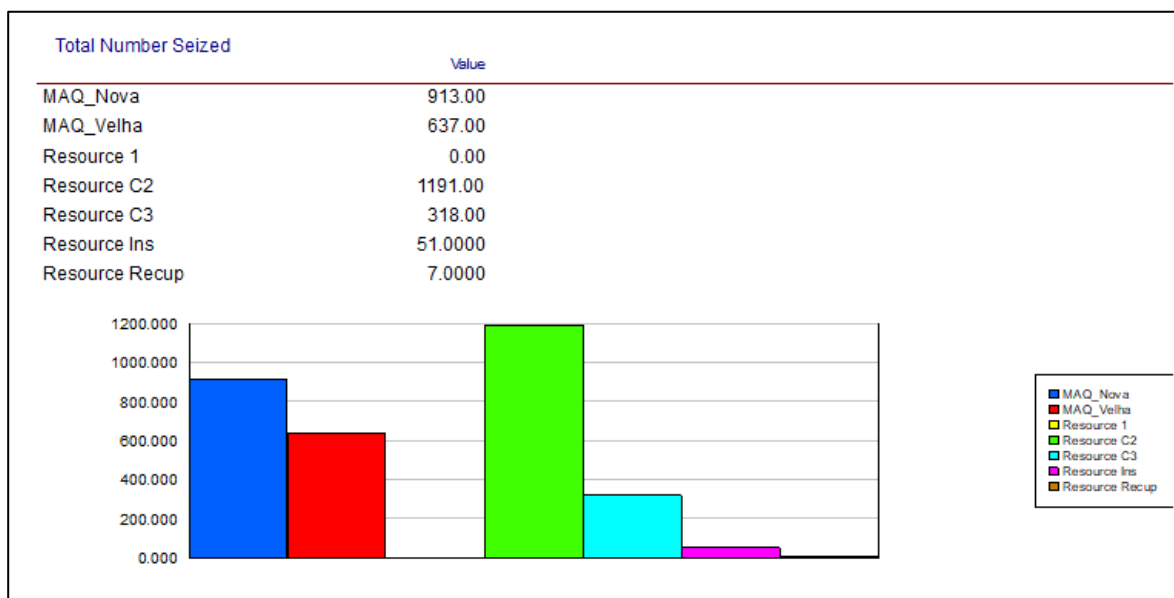


Imagem 20 - Utilização dos *resources* (continuação)

4. Parte II

Na segunda parte do trabalho foram introduzidas duas questões. A primeira trata-se de a zona de inspeção funcionar em dois turnos em que no primeiro turno apenas está um operador e no segundo turno estão dois operadores.

A segunda questão trata-se de uma avaria periódica na máquina do posto C2, afetando a produção.

Ambos os problemas podem ser implementados no *tab* dos *resources* disponível no *basic process*.

Resource - Basic Process											
	Name	Type	Capacity	Schedule Name	Schedule Rule	Busy / Hour	Idle / Hour	Per Use	StateSet Name	Failures	Report Statistics
1	Resource 1	Fixed Capacity	2	2	Wait	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Resource C2	Fixed Capacity	1	1	Wait	0.0	0.0	0.0		1 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Resource C3	Fixed Capacity	1	1	Wait	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Resource Ins	Based on Schedule	Horario	HorarioInsp	Wait	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
5	Resource Recup	Fixed Capacity	1	1	Wait	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
6	MAQ_Nova	Fixed Capacity	1	1	Wait	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
7	MAQ_Velha	Fixed Capacity	1	1	Wait	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>

Imagem 21 - Tab resources

Neste *tab* coloca-se o “Resource lsp” a trabalhar segundo um horário.

No *tab* dos horários introduz-se o segundo elemento no segundo turno.

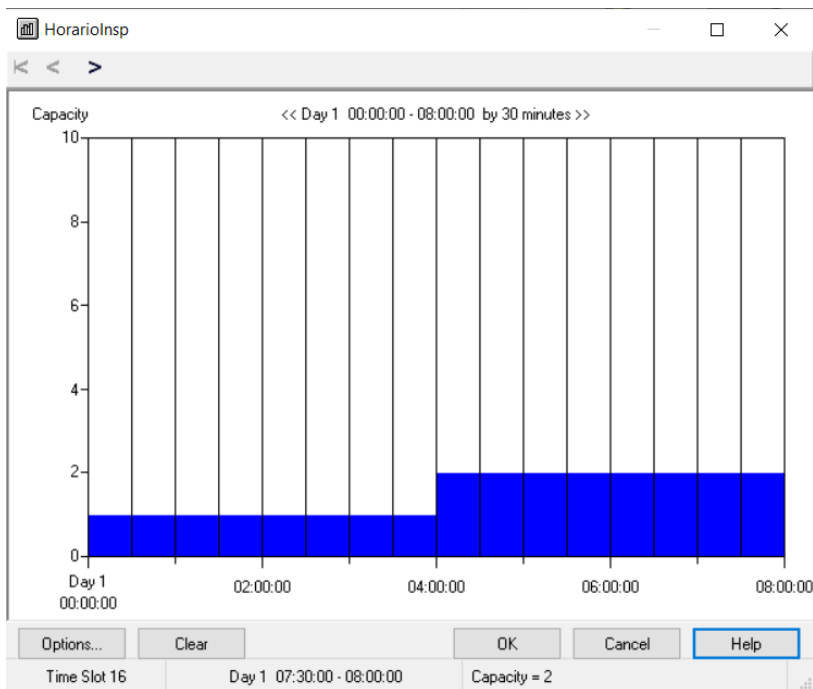


Imagem 22 - Horário definido

As avarias também são limitações atribuídas ao *resources* adicionando-se uma linha na coluna das *failures*.

Acedendo ao *Advanced process* define-se a avaria que seguia uma distribuição exponencial com média de 120 minutos e sempre que acontecia o seu tempo de reparação seguia uma distribuição exponencial com médias de 30 minutos.

Failure - Advanced Process							
	Name	Type	Up Time	Up Time Units	Down Time	Down Time Units	Uptime in this State only
1 ▶	Avaria	Time	EXPO(120)	Minutes	EXPO(30)	Minutes	
Double-click here to add a new row.							

Imagem 23 - Avarias

Os resultados obtidos são os seguintes.

9:21:21PM	Category Overview	May 17, 2019
Unnamed Project		
Replications: 1	Time Units : Hours	
Key Performance Indicators		
System	Average	
Number Out	75	

Imagem 24 - Número de caixas acabadas com sucesso

11:00:29PM

Category Overview

May 17, 2019

Unnamed Project

Replications: 1

Time Units : Hours

Queue

Time

Waiting Time

	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
C1.Queue	52.2804	(Correlated)	0.00	104.23
C2.Queue	22.8201	(Correlated)	0.00	49.7701
C3.Queue	0.1764	(Insufficient)	0.00	0.5602
Inspecao.Queue	45.1554	(Insufficient)	0.00	89.5859
Recup.Queue	1.6112	(Insufficient)	0.00	6.2065

Other

Number Waiting

	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
C1.Queue	3309.99	(Correlated)	0.00	6555.00
C2.Queue	288.11	(Correlated)	0.00	610.00
C3.Queue	0.3573	0.045233190	0.00	2.0000
Inspecao.Queue	92.0242	(Correlated)	0.00	179.00
Recup.Queue	0.2266	(Insufficient)	0.00	2.0000

Imagem 25 - Número e tempo em fila de espera

11:00:29PM

Category Overview

May 17, 2019

Unnamed Project

Replications: 1 Time Units : Hours

Resource

Usage

Instantaneous Utilization	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
MAQ_Nova	1.0000	(Insufficient)	0.00	1.0000
MAQ_Velha	1.0000	(Insufficient)	0.00	1.0000
Resource 1	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Resource C2	0.7954	(Insufficient)	0.00	1.0000
Resource C3	0.6695	(Insufficient)	0.00	1.0000
Resource Ins	0.9881	(Insufficient)	0.00	1.0000
Resource Recup	0.6246	(Insufficient)	0.00	1.0000

Number Busy	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
MAQ_Nova	1.0000	(Insufficient)	0.00	1.0000
MAQ_Velha	1.0000	(Insufficient)	0.00	1.0000
Resource 1	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Resource C2	0.7954	(Insufficient)	0.00	1.0000
Resource C3	0.6695	(Insufficient)	0.00	1.0000
Resource Ins	1.5262	(Insufficient)	0.00	2.0000
Resource Recup	0.6246	(Insufficient)	0.00	1.0000

Number Scheduled	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
MAQ_Nova	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
MAQ_Velha	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
Resource 1	2.0000	(Insufficient)	2.0000	2.0000
Resource C2	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
Resource C3	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
Resource Ins	1.4375	(Insufficient)	1.0000	2.0000
Resource Recup	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000

Imagem 26 - Utilização dos resources

11:08:27PM

Resources

May 17, 20

Unnamed Project

Replications: 1

Replication 1

Start Time:

0.00

Stop Time:

128.00

Time Units: Hours

Resource Detail Summary**Usage**

	<u>Inst Util</u>	<u>Num Busy</u>	<u>Num Sched</u>	<u>Num Seized</u>	<u>Sched Util</u>
MAQ_Nova	1.00	1.00	1.00	914.00	1.00
MAQ_Velha	1.00	1.00	1.00	647.00	1.00
Resource 1	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00
Resource C2	0.80	0.80	1.00	950.00	0.80
Resource C3	0.67	0.67	1.00	257.00	0.67
Resource Ins	0.99	1.53	1.44	77.00	1.06
Resource	0.62	0.62	1.00	18.00	0.62

Imagem 27 - Detalhes sobre os resources

Unnamed Project

Replications: 1 Time Units : Hours

Resource

Usage

Scheduled Utilization

	Value
MAQ_Nova	1.0000
MAQ_Velha	1.0000
Resource 1	0.00
Resource C2	0.7954
Resource C3	0.6695
Resource Ins	1.0617
Resource Recup	0.6246

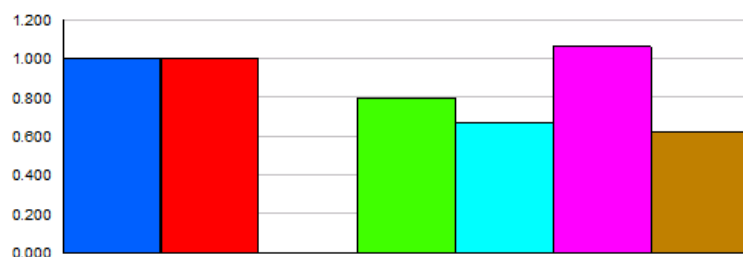


Imagem 28 - Utilização dos recursos

Total Number Seized

	Value
MAQ_Nova	914.00
MAQ_Velha	647.00
Resource 1	0.00
Resource C2	950.00
Resource C3	257.00
Resource Ins	77.0000
Resource Recup	18.0000

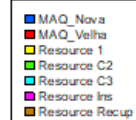
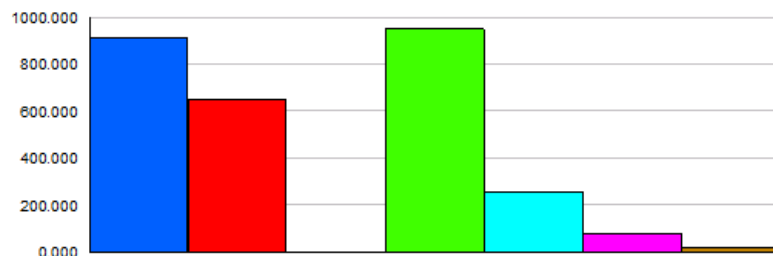


Imagem 29 - Utilização dos recursos (continuação)

5. Parte III

Na terceira parte do trabalho foram introduzidos custos em relação às caixas e em relação aos recursos, segundo as tabelas seguintes.

Tabela 2 - Custos por caixa

Tipo Custo	Custo por caixa (€/un.)
Custo de Posse por hora	100
Custo de Espera por hora	50
Initial VA Cost	1000
Initial NVA Cost	250

Tabela 3 - Custos dos recursos

Recursos	Busy hour (€)	Idle hour (€)	Per use (€/un.)
Pintura C1 (antiga e nova)	10	10	0
Pintura C2	10	10	0
Pintura C3	10	10	0
Inspeção	20	20	5
Recuperação	30	20	10

Resource - Basic Process											
	Name	Type	Capacity	Schedule Name	Schedule Rule	Busy / Hour	Idle / Hour	Per Use	StateSet Name	Failures	Report Statistics
1	Resource 1	Fixed Capacity	2	2	Wait	0.0	0.0	0.0		0 rows	✓
2	Resource C2	Fixed Capacity	1	1	Wait	10	10	0.0		1 rows	✓
3	Resource C3	Fixed Capacity	1	1	Wait	10	10	0.0		0 rows	✓
4	Resource Ins	Based on Schedule	HorarioInsp	HorarioInsp	Wait	20	20	5		0 rows	✓
5	Resource Recup	Fixed Capacity	1	1	Wait	30	20	10		0 rows	✓
6	MAQ_Nova	Fixed Capacity	1	1	Wait	10	10	0.0		0 rows	✓
7	MAQ_Velha	Fixed Capacity	1	1	Wait	10	10	0.0		0 rows	✓
Double-click here to add a new row.											

Imagem 30 - Custos associados aos resources

Entity - Basic Process									
	Entity Type	Initial Picture	Holding Cost / Hour	Initial VA Cost	Initial NVA Cost	Initial Waiting Cost	Initial Tran Cost	Initial Other Cost	Report Statistics
1	Entity 1	Picture.Report	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	✓
2	BigBox	Picture.Report	100	1000	250	50	0.0	0.0	✓
3	SmallBox	Picture.Report	100	1000	250	50	0.0	0.0	✓
Double-click here to add a new row.									

Imagem 31 - Custos associados às caixas

Introduziram-se 6 empilhadores para movimentação das caixas. Estes deslocam-se a 25 m/min e os tempos de carga e descarga são 0,25 min. As distâncias a percorrer estão de acordo com a imagem abaixo, fornecida no enunciado.

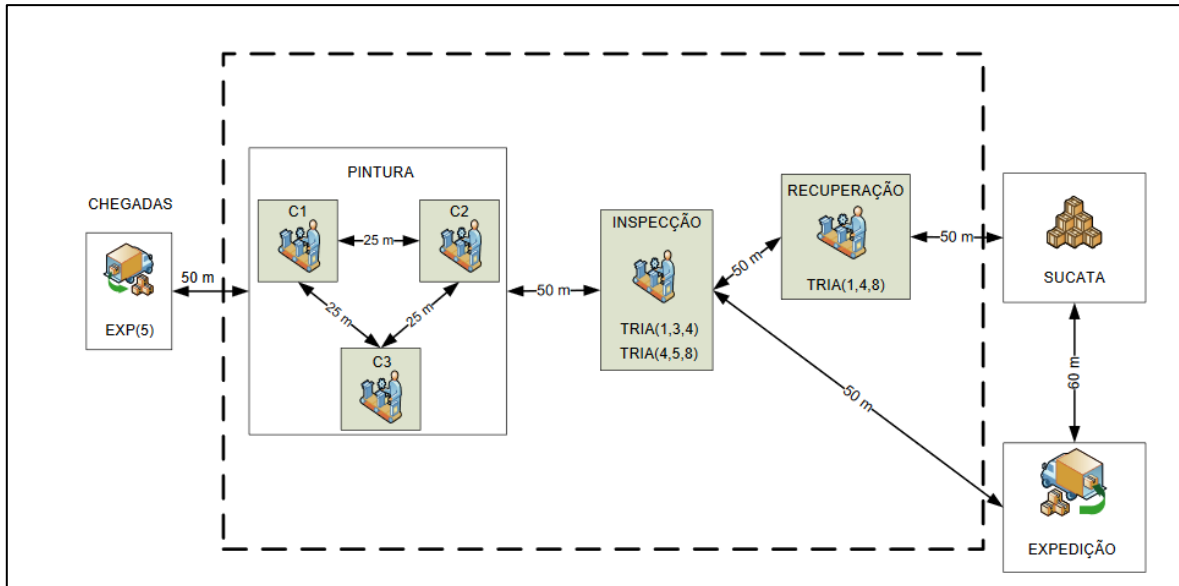


Imagem 32 - Layout das estações

Para introduzir um transporte o processo teve de ser modificado e foram adicionadas a estação C3 e a estação Sucata, que inicialmente estavam ligadas diretamente às estações C2 e recuperação respetivamente, pois não estavam a ser considerados tempos e/ou distâncias de transporte.

Substituíram-se os blocos *leave* por 3 blocos, um de *request*, um de *delay* e um de *transport*. O bloco *request* requisita um transportador sempre que uma caixa chega, o bloco *delay* serve apenas para simular o tempo de carregamento correspondente a 0,25 min e o bloco *transport* faz a conexão com a estação definida pela montagem. Ocorreu uma pequena modificação nos blocos *enter* de cada estação, adicionou-se um *delay* também de 0,25 minutos para simular a descarga da caixa. Após este bloco adicionou-se um novo chamado *free* que a sua funcionalidade passa por “libertar” o transportador para que este se dirija onde um *request* o requisitou.

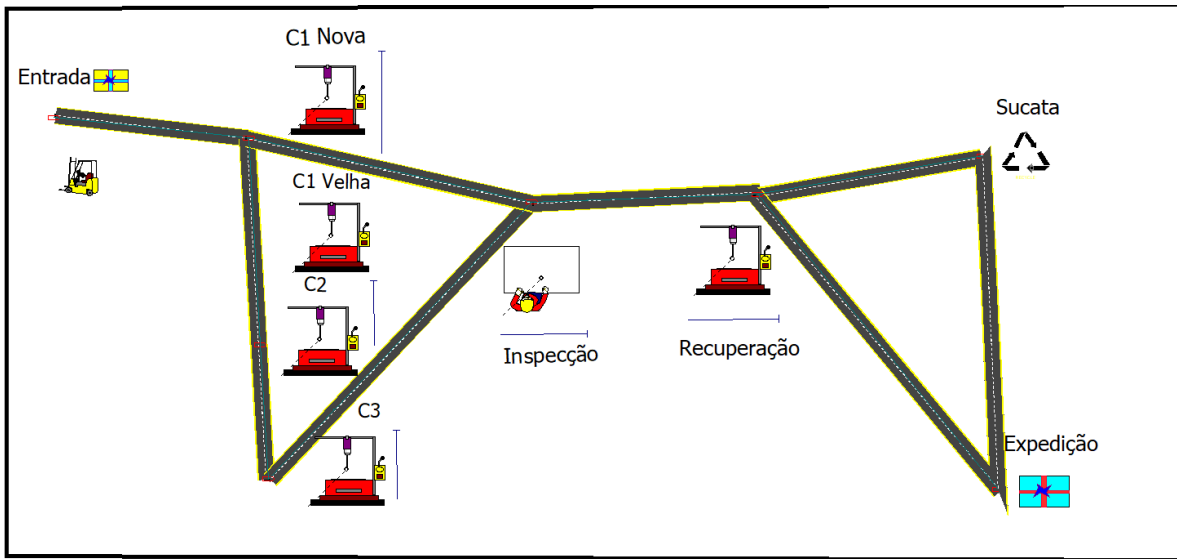


Imagem 33 - Esquema de montagem animado

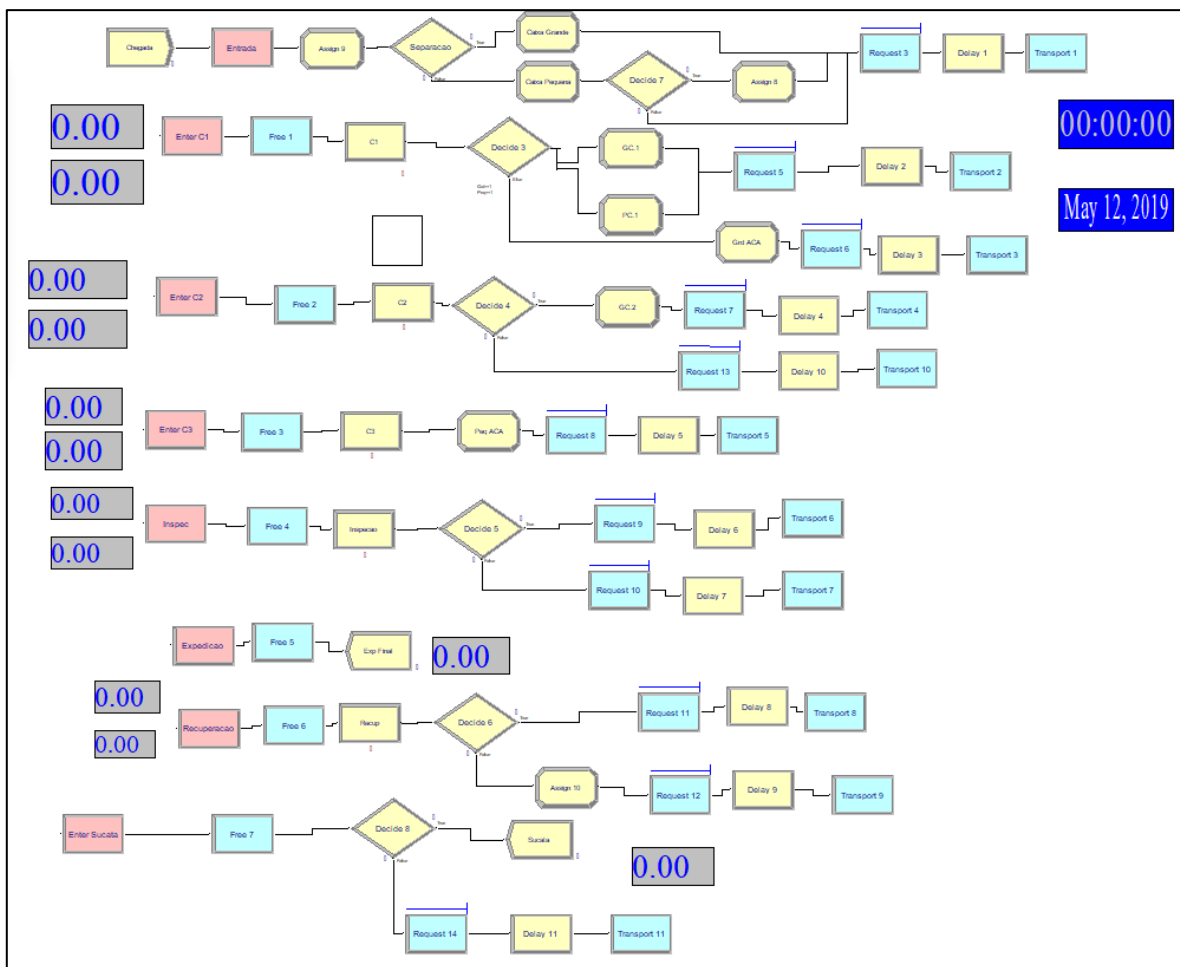
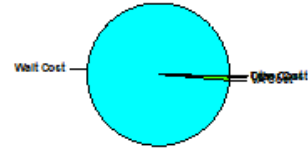


Imagem 34 - Esquema de montagem

Key Performance Indicators

All Entities

	Average
Non-Value Added Cost	0
Other Cost	4,420
Transfer Cost	31,070
Value Added Cost	87,446
Wait Cost	11,073,917
Total Cost	11,196,853



All Resources

	Average
Busy Cost	10,393 *
Idle Cost	1,685
Usage Cost	560 *



Total Cost	12,638
------------	--------

* these costs are included in Entity Costs above.

System

	Average
Total Cost	11,198,539
Number Out	77

Imagem 35 - Key performance indicators

Queue

Time

Waiting Time

	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
C1.Queue	51.2071	(Correlated)	0.00	102.27
C2.Queue	23.6122	(Correlated)	0.00	47.0589
C3.Queue	0.1271	(Insufficient)	0.00	0.5425
Inspecao.Queue	47.3414	(Insufficient)	0.00	93.4702
Recup.Queue	1.2029	(Insufficient)	0.00	5.8566
Request 10.Queue	0.1422	(Insufficient)	0.00	0.4583
Request 11.Queue	0.2417	(Insufficient)	0.00	0.7005
Request 12.Queue	0.06884568	(Insufficient)	0.02303515	0.1514
Request 13.Queue	0.01394427	(Insufficient)	0.00	0.06596850
Request 14.Queue	0.3319	(Insufficient)	0.00	1.4083
Request 3.Queue	0.2547	(Correlated)	0.00	1.1941
Request 5.Queue	0.01225147	0.000914125	0.00	0.07256108
Request 7.Queue	0.01239290	0.001411650	0.00	0.05816080
Request 8.Queue	0.01451733	(Insufficient)	0.00	0.06081670
Request 9.Queue	0.1884	(Insufficient)	0.00	1.5854

Cost

Waiting Cost

	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
C1.Queue	5120.71	(Correlated)	0.00	10226.67
C2.Queue	2361.22	(Correlated)	0.00	4705.89
C3.Queue	12.7128	(Insufficient)	0.00	54.2531
Inspecao.Queue	4734.14	(Insufficient)	0.00	9347.02
Recup.Queue	120.29	(Insufficient)	0.00	585.66
Request 10.Queue	14.2232	(Insufficient)	0.00	45.8264
Request 11.Queue	24.1705	(Insufficient)	0.00	70.0480
Request 12.Queue	6.8846	(Insufficient)	2.3035	15.1444
Request 13.Queue	1.3944	(Insufficient)	0.00	6.5969
Request 14.Queue	33.1893	(Insufficient)	0.00	140.83
Request 3.Queue	25.4688	(Correlated)	0.00	119.41
Request 5.Queue	1.2251	0.091412511	0.00	7.2561
Request 7.Queue	1.2393	0.141165041	0.00	5.8161
Request 8.Queue	1.4517	(Insufficient)	0.00	6.0817
Request 9.Queue	18.8350	(Insufficient)	0.00	158.54

Imagem 36 – Tempo e custo das caixas em fila de espera

Queue

Other

Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
C1.Queue	3353.01	(Correlated)	0.00	6735.00
C2.Queue	290.96	(Correlated)	0.00	581.00
C3.Queue	0.3009	0.055412904	0.00	2.0000
Inspecao.Queue	110.91	(Correlated)	0.00	222.00
Recup.Queue	0.1513	(Insufficient)	0.00	2.0000
Request 10.Queue	0.01889016	(Insufficient)	0.00	1.0000
Request 11.Queue	0.02265988	(Insufficient)	0.00	1.0000
Request 12.Queue	0.00161357	(Insufficient)	0.00	1.0000
Request 13.Queue	0.03300869	0.005107434	0.00	1.0000
Request 14.Queue	0.03111498	(Insufficient)	0.00	1.0000
Request 3.Queue	15.2580	4.58901	0.00	86.0000
Request 5.Queue	0.1512	0.010359015	0.00	2.0000
Request 6.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Request 7.Queue	0.06728960	0.008688436	0.00	1.0000
Request 8.Queue	0.03425182	0.004687712	0.00	1.0000
Request 9.Queue	0.0912	(Insufficient)	0.00	2.0000

Imagem 37 - Quantidade de caixas em fila de espera

Resource				
Usage				
Instantaneous Utilization				
	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
MAQ_Nova	0.9997	(Insufficient)	0.00	1.0000
MAQ_Velha	0.9997	(Insufficient)	0.00	1.0000
Resource C2	0.8395	(Insufficient)	0.00	1.0000
Resource C3	0.7949	(Insufficient)	0.00	1.0000
Resource Ins	0.9913	(Insufficient)	0.00	1.0000
Resource Recup	0.5335	(Insufficient)	0.00	1.0000
Number Busy				
	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
MAQ_Nova	0.9997	(Insufficient)	0.00	1.0000
MAQ_Velha	0.9997	(Insufficient)	0.00	1.0000
Resource C2	0.8395	(Insufficient)	0.00	1.0000
Resource C3	0.7949	(Insufficient)	0.00	1.0000
Resource Ins	1.5208	(Insufficient)	0.00	2.0000
Resource Recup	0.5335	(Insufficient)	0.00	1.0000
Number Scheduled				
	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
MAQ_Nova	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
MAQ_Velha	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
Resource C2	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
Resource C3	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
Resource Ins	1.4688	(Insufficient)	1.0000	2.0000
Resource Recup	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000

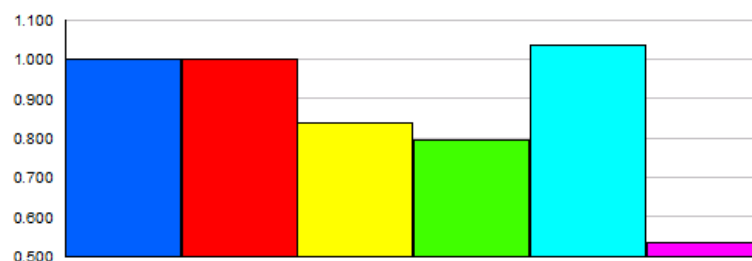
Imagem 38 - Utilização dos *resources*

Resource

Usage

Scheduled Utilization

	Value
MAQ_Nova	0.9997
MAQ_Velha	0.9997
Resource C2	0.8395
Resource C3	0.7949
Resource Ins	1.0355
Resource Recup	0.5335



Total Number Seized

	Value
MAQ_Nova	934.00
MAQ_Velha	648.00
Resource C2	999.00
Resource C3	303.00
Resource Ins	80.0000
Resource Recup	16.0000

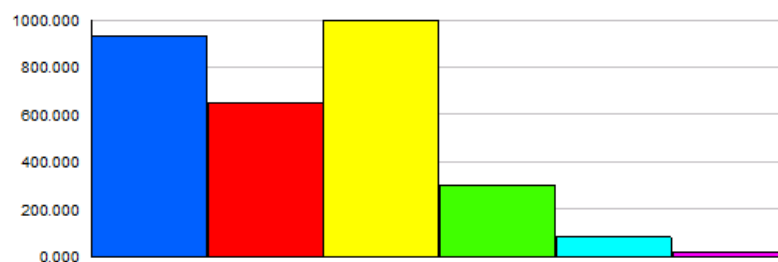


Imagem 39 - Utilização dos *resources* graficamente

Resource Detail Summary

Usage

	<u>Inst Util</u>	<u>Num Busy</u>	<u>Num Sched</u>	<u>Num Seized</u>	<u>Sched Util</u>
MAQ_Nova	1.00	1.00	1.00	934.00	1.00
MAQ_Velha	1.00	1.00	1.00	648.00	1.00
Resource C2	0.84	0.84	1.00	999.00	0.84
Resource C3	0.79	0.79	1.00	303.00	0.79
Resource Ins	0.99	1.52	1.47	80.00	1.04

Cost

	<u>Busy Cost</u>	<u>Idle Cost</u>	<u>Usage Cost</u>
MAQ_Nova	1279.26	0.42	0.00
MAQ_Velha	1279.06	0.42	0.00
Resource C2	1074.45	205.38	0.00
Resource C3	1016.59	262.57	0.00
Resource Ins	3860.28	22.36	400.00
Resource Recup	1883.59	1194.12	160.00

Imagem 40 - Detalhes sobre a utilização dos *resources*

Transporter

Usage

Number Busy	<u>Average</u>	<u>Half Width</u>	<u>Minimum Value</u>	<u>Maximum Value</u>
Empilhador	5.4306	0.167295891	0.00	6.0000
Number Scheduled	<u>Average</u>	<u>Half Width</u>	<u>Minimum Value</u>	<u>Maximum Value</u>
Empilhador	6.0000	(Insufficient)	6.0000	6.0000
Utilization	<u>Average</u>	<u>Half Width</u>	<u>Minimum Value</u>	<u>Maximum Value</u>
Empilhador	0.9051	0.027882648	0.00	1.0000

Imagem 41 - Utilização dos transportadores

Entity				
Time				
VA Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Caixas	3.6931	(Insufficient)	1.8396	9.4861
Lixo	7.5443	(Insufficient)	6.6668	8.1001
NVA Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Caixas	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Lixo	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Wait Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Caixas	60.0056	(Insufficient)	0.8977	119.37
Lixo	72.0224	(Insufficient)	54.9634	95.5156
Transfer Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Caixas	0.1452	(Insufficient)	0.1333	0.2067
Lixo	0.1667	(Insufficient)	0.1667	0.1667
Other Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Caixas	0.02218468	(Insufficient)	0.02083333	0.02916667
Lixo	0.02500000	(Insufficient)	0.02500000	0.02500000
Total Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Caixas	63.8661	(Insufficient)	6.5394	122.64
Lixo	79.7584	(Insufficient)	61.8219	103.57
Cost				
VA Cost	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Caixas	1450.58	(Insufficient)	1219.15	2219.58
Lixo	1954.25	(Insufficient)	1839.15	2031.56
NVA Cost	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Caixas	250.00	(Insufficient)	250.00	250.00
Lixo	250.00	(Insufficient)	250.00	250.00
Wait Cost	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Caixas	6050.56	(Insufficient)	139.77	11986.80
Lixo	7252.24	(Insufficient)	5548.34	9601.56

Imagem 42 - Tempos e custos relativos às caixas

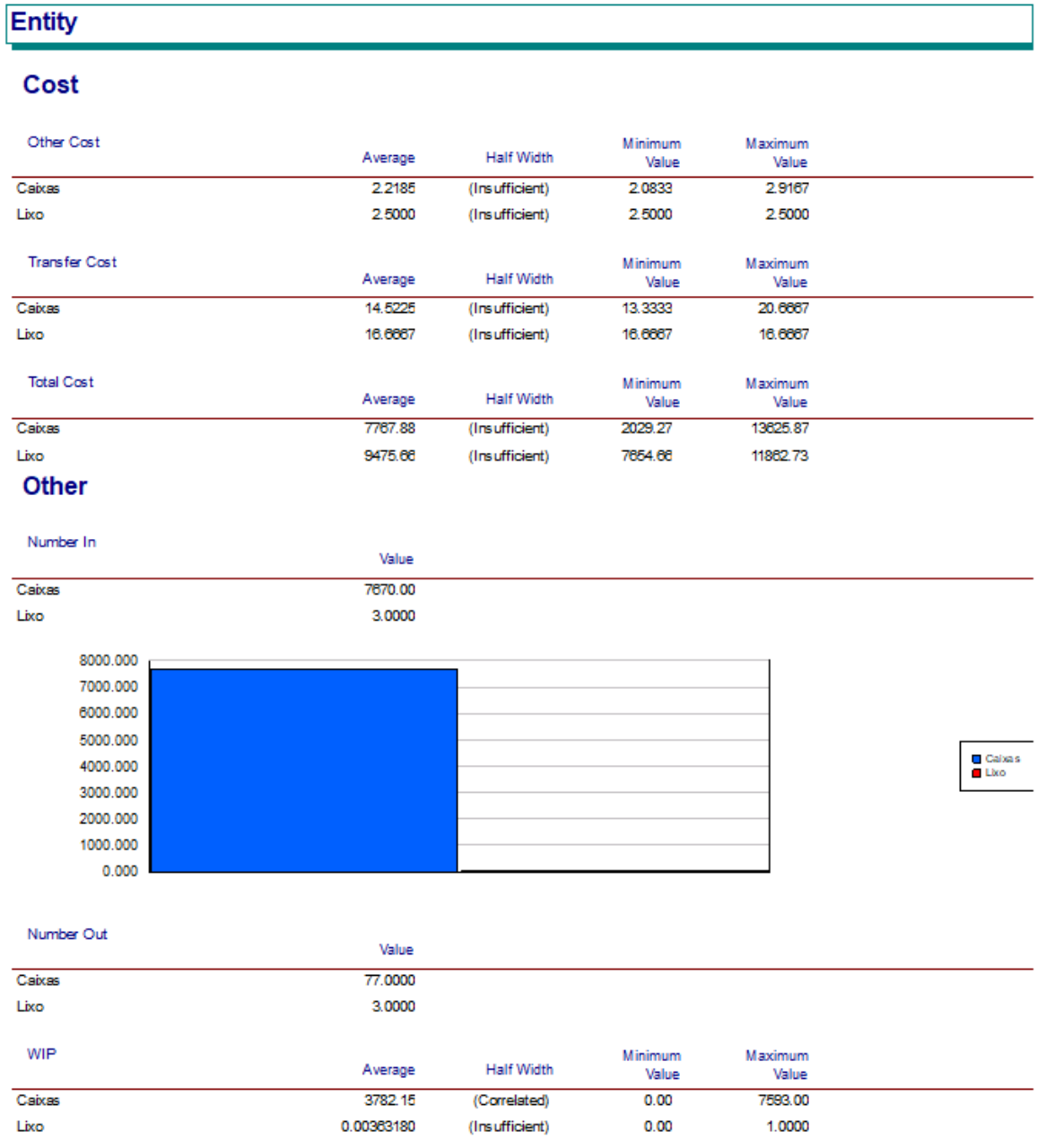


Imagem 43 – Custo total, *number in*, *number out* e *work in progress* relativos às caixas

Process

Time per Entity

VA Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
C1	0.1619	0.000728716	0.07158914	0.3458
C2	0.1077	0.000902880	0.06892618	0.1637
C3	0.3386	(Insufficient)	0.2592	0.4151
Inspecao	2.4432	(Insufficient)	1.1416	3.8665
Recup	4.1857	(Insufficient)	1.6916	7.1972
Wait Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
C1	51.1424	(Correlated)	0.00	102.17
C2	23.5887	(Correlated)	0.00	46.9681
C3	0.1275	(Insufficient)	0.00	0.5425
Inspecao	48.7575	(Insufficient)	0.00	91.5940
Recup	1.2831	(Insufficient)	0.00	5.8566
Total Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
C1	51.3043	(Correlated)	0.1444	102.32
C2	23.6963	(Correlated)	0.1095	47.1030
C3	0.4642	(Insufficient)	0.2592	0.8548
Inspecao	49.2007	(Insufficient)	1.9416	95.2433
Recup	5.4689	(Insufficient)	1.6916	11.5297

Accumulated Time

Accum VA Time	Value
C1	255.83
C2	107.44
C3	101.66
Inspecao	193.01
Recup	62.7862

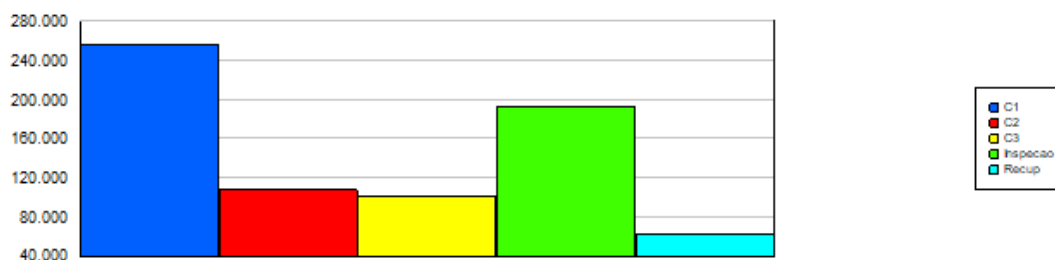


Imagem 44 - Tempo por unidade e tempo acumulado de *value-added*

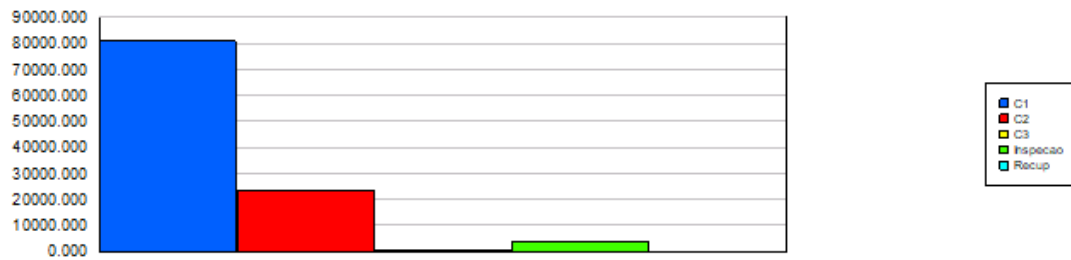
Process

Accumulated Time

Accum Wait Time

Value

C1	80805.03
C2	23541.48
C3	38.5198
Inspecao	3883.84
Recup	19.2466



Total Accum Time

Value

C1	81060.86
C2	23648.93
C3	140.18
Inspecao	3886.86
Recup	82.0328



Imagem 45 - Tempos acumulados por caixa

Process

Cost per Entity

VA Cost Per Entity	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
C1	17.8111	0.080158798	7.8758	38.0388
C2	11.8426	0.099316851	7.5819	18.0030
C3	37.0281	(Insufficient)	28.5087	45.6577
Inspecao	298.19	(Insufficient)	141.99	488.86
Recup	554.15	(Insufficient)	229.91	945.63
Wait Cost Per Entity	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
C1	5114.24	(Correlated)	0.00	10216.80
C2	2358.87	(Correlated)	0.00	4696.81
C3	12.7549	(Insufficient)	0.00	54.2531
Inspecao	4675.75	(Insufficient)	0.00	9159.40
Recup	128.31	(Insufficient)	0.00	585.66
Total Cost Per Entity	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
C1	5132.05	(Correlated)	15.8830	10233.45
C2	2370.71	(Correlated)	12.0446	4711.79
C3	49.7830	(Insufficient)	28.5087	88.6076
Inspecao	4973.94	(Insufficient)	237.99	9605.84
Recup	682.46	(Insufficient)	229.91	1333.17

Accumulated Cost

Accum VA Cost	Value
C1	28141.52
C2	11818.94
C3	11182.48
Inspecao	23556.68
Recup	8312.21

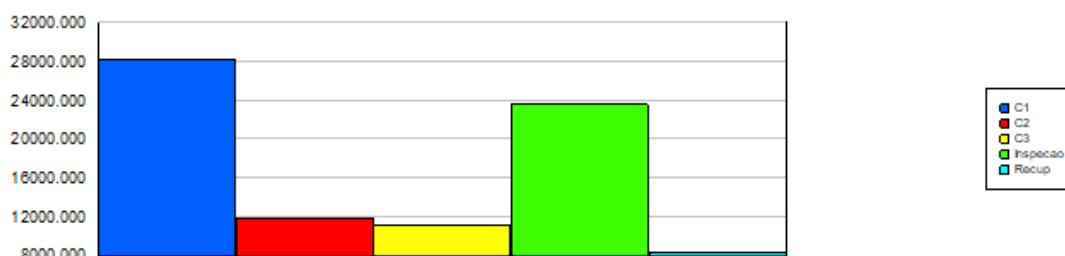


Imagem 46 - Custo por caixa e valor acumulado de value-added

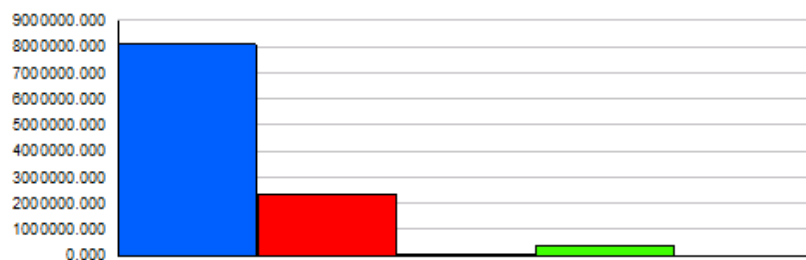
Process

Accumulated Cost

Accum Wait Cost

Value

C1	8080502.68
C2	2354148.13
C3	3851.98
Inspecao	389384.31
Recup	1924.66



Total Accum Cost

Value

C1	8108844.22
C2	2385987.07
C3	15034.47
Inspecao	382940.98
Recup	10236.87

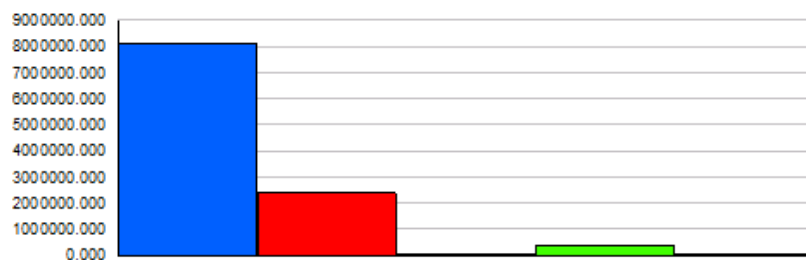


Imagem 47 - Acumulação de custo de espera e custo total

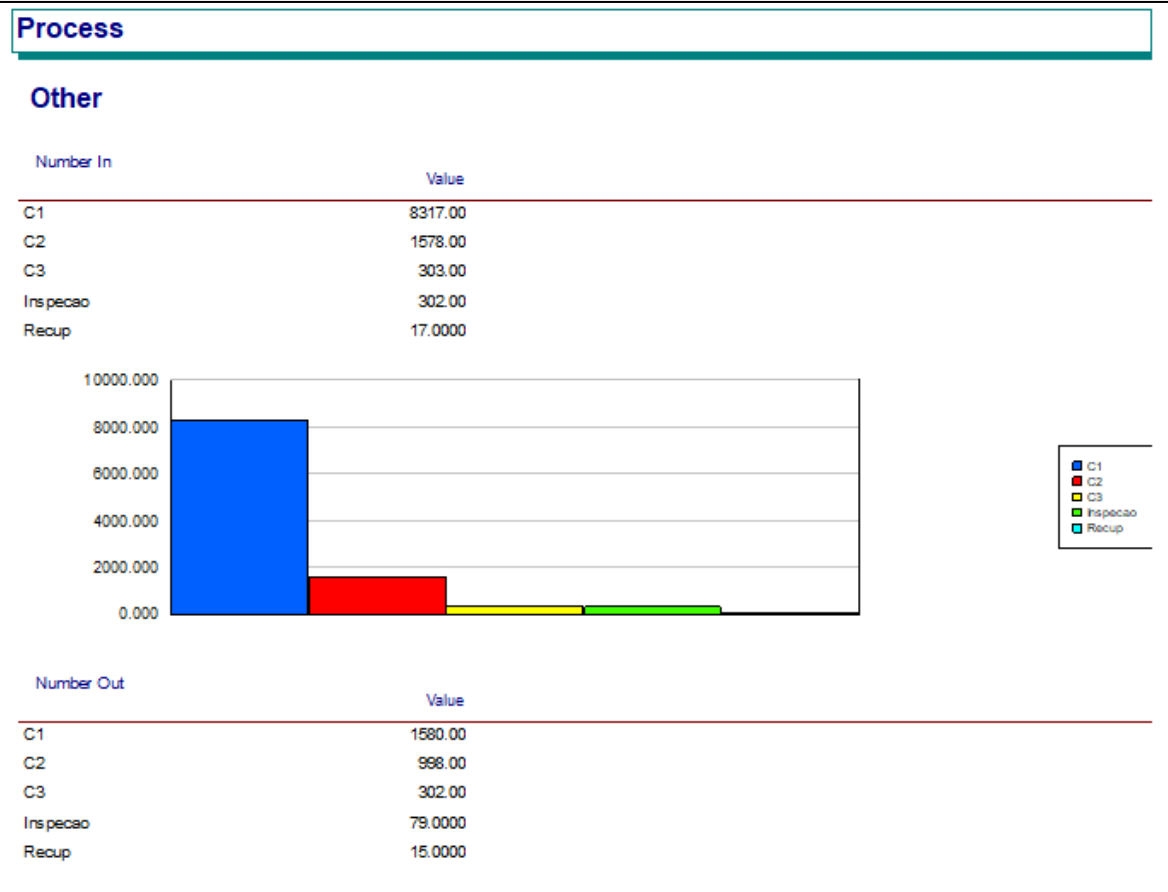


Imagem 48 - Number in e number out por estação

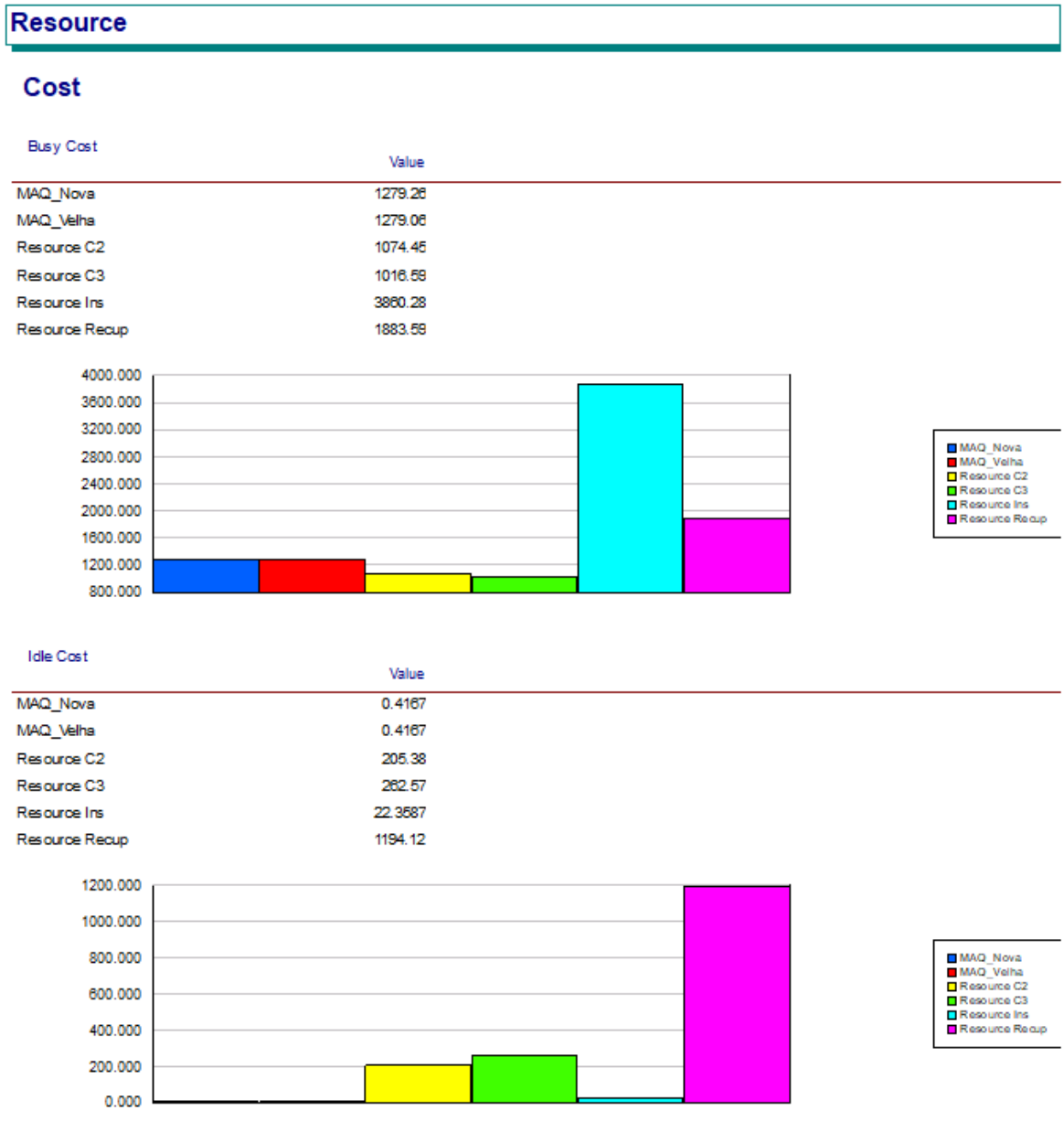


Imagem 49 - Custos por *resource*

Resource

Cost

Usage Cost

Value

MAQ_Nova	0.00
MAQ_Velha	0.00
Resource C2	0.00
Resource C3	0.00
Resource Ins	400.00
Resource Recup	160.00

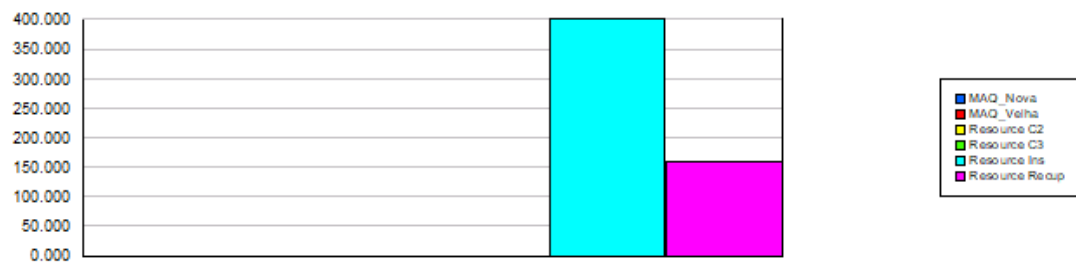


Imagem 50 - Resource cost por utilização

6. Conclusão

Seguindo o objetivo inicial deste trabalho vamos comparar os resultados obtidos na primeira parte com os da segunda, tendo em conta que os principais pontos a ter em atenção envolvem a estação C2 onde foi introduzida uma avaria periódica com determinado tempo de manutenção após cada avaria e o posto de trabalho da Inspeção pois no segundo turno de trabalho foi introduzido um segundo recurso.

Tomar em consideração que os valores apresentados abaixo são relativos a 128 horas de trabalho, ou seja, 16 dias a 8 horas por dia.

Tabela 4 - Comparação de duas partes do trabalho

Ponto em avaliação		Parte I	Parte II
<i>Number Out</i>		49 un.	75 un.
<i>Queue Time</i>	C2	14,5458 horas	22,8201 horas
	Inspeção	52,9835 horas	45,1554 horas
<i>Number Waiting</i>	C2	175,86 un.	288,11 un.
	Inspeção	131,91 un.	92,0242 un.
<i>Resource Usage</i>	C2	0,9988	0,7954
	Inspeção	0,9891	0,9881
<i>Number Busy</i>	C2	0,9988	0,7954
	Inspeção	0,9891	1,5262
<i>Number seized</i>	C2	1191 un.	950 un.
	Inspeção	51 un.	77 un.

Observando os resultados obtidos podemos ver que na parte II obtivemos maior número de caixas concluídas com sucesso embora estivesse presente uma avaria periódica no processo.

Quanto a filas de espera podemos observar que na estação C2 tanto o tempo de espera como o número de caixas em fila aumentaram o que seria de esperar visto que periodicamente verificava-se uma paragem. Quanto ao posto Inspeção podemos ver que tanto o tempo quanto o número de unidades em fila de espera diminuíram com a introdução de um segundo recurso durante o segundo turno de trabalho.

A ocupação do posto C2 diminuiu após a introdução das avarias, como o esperado. A do posto Inspeção aumentou, no entanto não se usou o total de recursos disponíveis.

O número de peças agarradas seguiu as expectativas, diminuindo no posto C2 e aumentando na Inspeção.

A estação de recuperação não está a ser utilizada a 100 %, muito longe disso, quanto a isto levantam-se dois pontos de vista: primeiro, as outras estações estão a funcionar bem levando a boa qualidade de acabamento, segundo, existe um desperdício elevado de recurso e é necessário fazer algo quanto ao que se está a passar.

Em suma podemos ver que mesmo introduzindo uma avaria na estação C2 e não utilizando a totalidade de recursos disponíveis na estação Inspeção a produtividade aumentou o que significa que esta estava a limitar o sucesso na conclusão do processo.

Quanto ao terceiro ponto do trabalho, o problema que se levantava era analisar os resultados para discutir que melhorias poderiam ser aplicadas. Existem diversos tipos de melhorias como aumentar o número de caixas concluídas com sucesso, diminuir o número de caixas que foram para a sucata, diminuir o tempo total do processo, diminuir o tempo de manutenção, aumentar o tempo entre manutenções, aumentar o tempo de ocupação dos recursos, diminuir o custo do processo, etc.

Considerando o parágrafo anterior podemos ver que aumentar o número de caixas concluídas com sucesso, diminuir o tempo total do processo, diminuir o tempo de manutenção e aumentar o tempo entre manutenções estão todos relacionados, ou seja, se as máquinas forem melhores (substituindo todas por máquinas novas que façam o trabalho implicado na estação em 70 % do tempo das máquinas atuais, como o caso da máquina nova presente na estação C1) vai levar a que todas as melhorias referidas anteriormente sejam refletidas nos resultados.

Para diminuir o tempo total do processo poderíamos aumentar o número de transportadores ou usar transportadores mais rápidos, ou que não tivessem a necessidade de ter um tempo de carga e descarga como, por exemplo, utilizar tapetes que liguem as várias estações.

Quanto ao tempo de ocupação dos recursos podemos ver que nas estações de Inspeção e Recuperação isto poderia ser melhorado. No caso da estação Inspeção, se todo o processo anterior a esta fosse mais rápido a ocupação destes recursos iria aumentar pois o tempo em que esta está desocupada é maior no início do processo até as caixas passarem pelas estações de pintura. Quanto à estação de Recuperação, tal como na Inspeção, o tempo inicial do processo é um tempo morto para esta estação e poderia trabalhar com um horário mais reduzido evitando desperdícios de tempo.

Consequentemente as melhorias anteriores baixariam os custos do processo, pois os custos relativos às estações estarem paradas iriam reduzir.

Resumidamente, dependendo do que fosse necessário melhorar tendo em conta as prioridades escolhidas, seria necessário tomar ações de melhoria diferentes.