

PROJETO LEAN BOARD GAME: MODELO TREINAMENTO DE 4 DIAS



DESCRITIVO DO MODELO

O modelo é composto por seis máquinas: 1C, 2A, 2C, 3C, 4B e 5B. Os tempos de processamento, carregamento, descarregamento e setup foram fornecidos pelo material do Lean Board Game. Entre cada máquina há estoques intermediários com capacidade de 8 caixas cada.

As máquinas seguem um *scheduling* de produção e há 4 tipos de entidades que devem ser processadas: engrenagem A, engrenagem B, eixos A e eixos B. A movimentação das entidades no sistema se dá através de operadores/empilhadeiras que carregam caixas contendo 40 peças de algum dos dois itens.

É fornecido no jogo que o tempo total de transferência das caixas entre as operações é de 10 segundos.

SUMÁRIO

Descritivo do modelo	2
Layout inicial	4
Criação das caixas e peças	10
Processamento das máquinas.....	12
Inspeção na bancada	14
Scheduling de processamento.....	17
Configuração máquina 5B.....	19
Configuração schedule máquina 4B.....	20
Adição de operadores	20
Adição de empilhadeiras.....	21
Operador da máquina 1C.....	23
Transporte entre filas intermediárias	24
Empilhadeira dentro do chão de fábrica	27
Criando os estoques iniciais	28
Configuração A Star	31
1ª Rodada de melhorias parte 1	29
1ª Rodada de melhorias parte 2	35
2ª Rodada de melhorias.....	36
3ª Rodada de melhorias.....	42
Dados e análises – Modelo base.....	45
Dados e análises – 1ª Rodada de melhorias	48
Dados e análises – 2ª Rodada de melhorias	49
Dados e análises – 3ª Rodada de melhorias	51
Finalizado.....	52

LAYOUT INICIAL

Para começar, movimentaremos para o modelo todos os objetos básicos que compõem a estrutura fabril descrita no jogo. Para isto será utilizado o módulo do FlexSim desenvolvido para o jogo, na qual já se encontram as máquinas, bancadas e todos os objetos necessários para a construção do modelo.

Abra a visualização 3D, e arraste o objeto “*Floor*” da sessão Lean Board Game localizada no menu lateral esquerdo para dentro do modelo conforme a Figura 1.

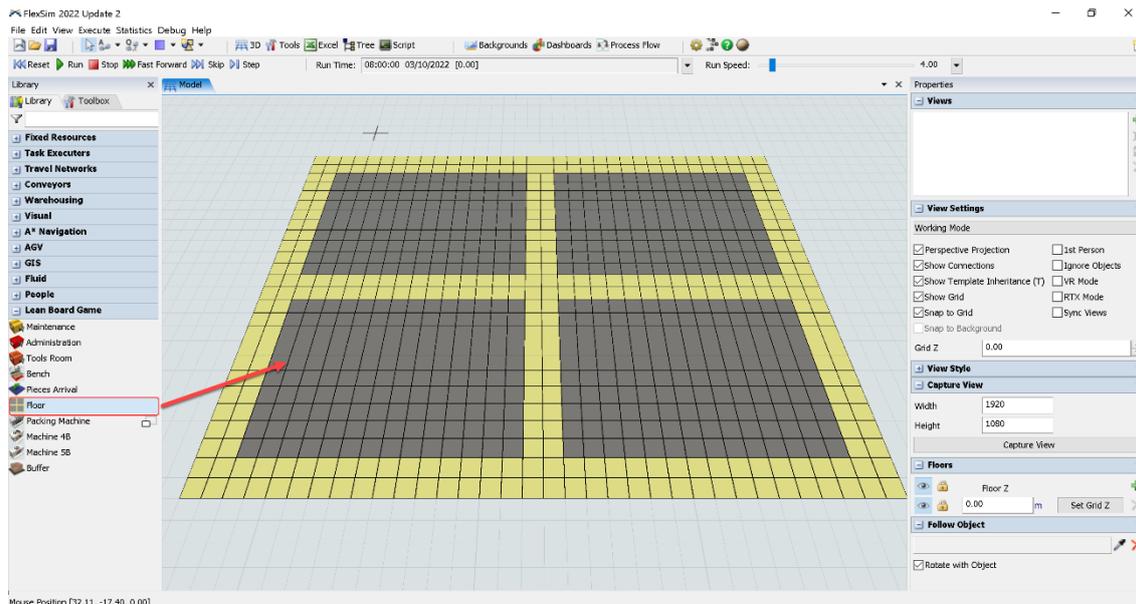


Figura 1 - Floor

Para que o chão não seja selecionado e atrapalhe a construção do modelo, clique sobre ele e vá a janela de propriedades. Em “Visuals” coloque primeiro Z em -0.02 para que seja possível enxergar as conexões. Após isso, em

“Floor”, decida mostrar ou não o grid clicando em Show Grid, e por fim, marque a opção “No Select”:

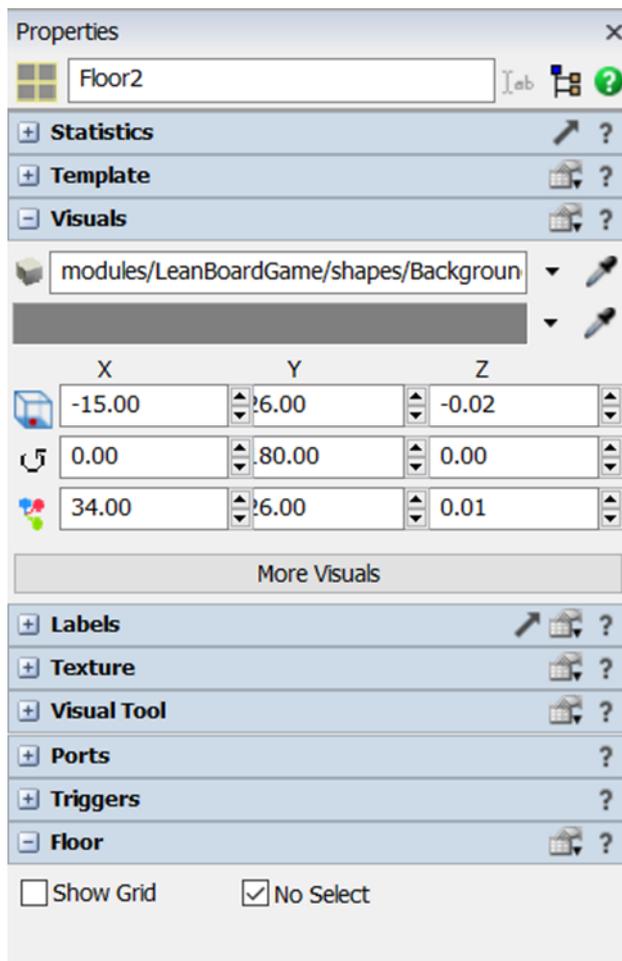


Figura 2 - Propriedades NoSelect

Após o chão, arraste os *buffers* intermediários, as máquinas, as bancadas de inspeção, e as construções complementares para o modelo seguindo o exemplo da Figura 3. As máquinas, quando o modelo iniciar, virão com duas caixas, uma faz o papel de buffer de entrada, onde o operador colocará a caixa com as peças a serem processadas, e de buffer de saída onde são colocadas as peças já processadas pelas máquinas, dentro de uma outra caixa.

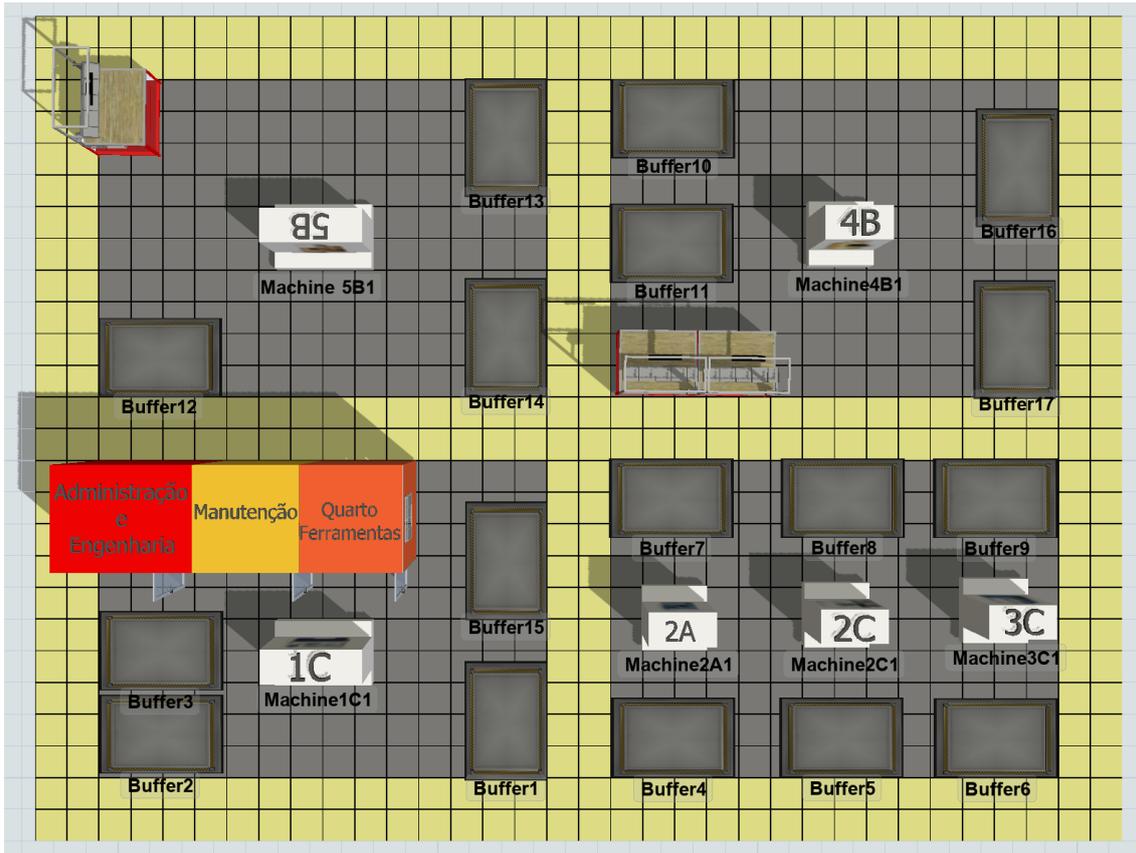


Figura 3 - Layout

Para redimensionar os *buffers* intermediários do modelo, acesse o menu “Quick Properties” localizado na parte direita da tela. Neste menu é possível alterar o tamanho, rotação e localização dos objetos 3D, para isso, basta clicar em qual objeto gostaria de modificar e alterar suas propriedades conforme a Figura 4.

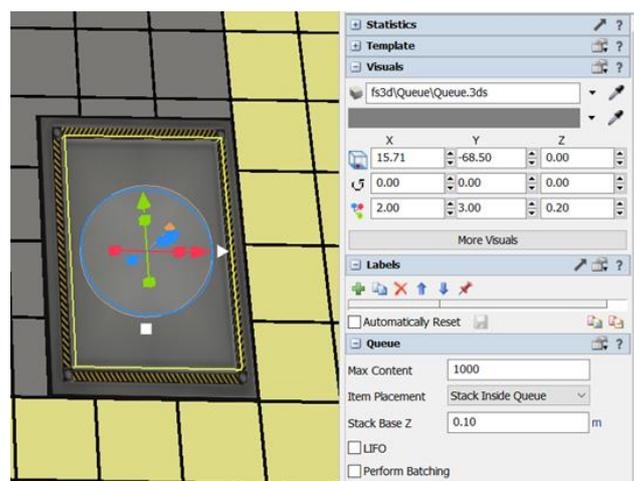


Figura 4 - Alterando propriedades

Adicione, fora do chão de fábrica, uma chegada de peças (*Pieces Arrival*), um sink e um buffer localizados distantes 10 metros da fila de entrada do chão de fábrica conforme a Figura 5 e conecte às duas filas de entrada do modelo.

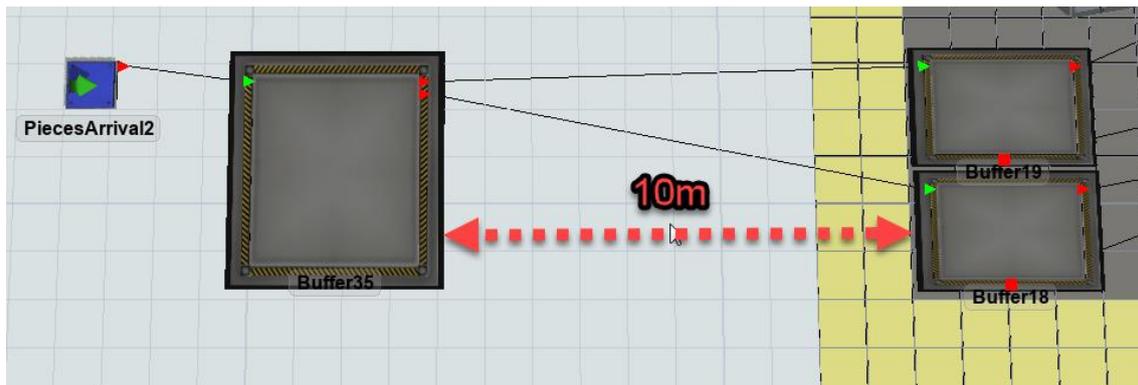


Figura 5 - Distância

Em seguida, conecte os componentes do modelo da seguinte maneira utilizando a tecla de atalho 'A', que deve permanecer pressionada durante a conexão. Pode-se ainda utilizar o ícone abaixo, presente na parte superior e próximo ao menu principal do software ilustrado na Figura 6.

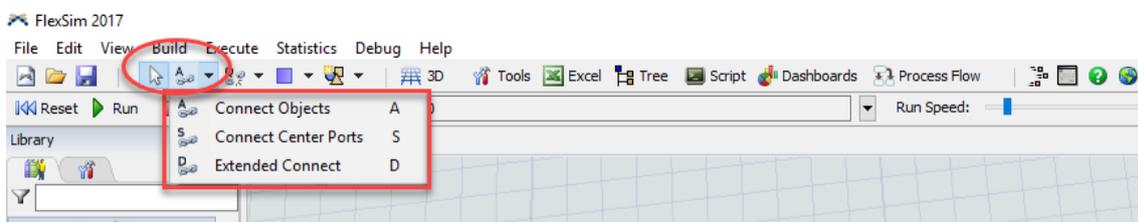


Figura 6 – Conexão

Neste modelo estão sendo gerados dois modelos de peças, são elas as engrenagens e os eixos, sendo que de cada modelo existem dois tipos, A e B. O objetivo deste chão de fábrica é trabalhar sob a demanda que recebe diariamente de peças A e B de eixos e engrenagens, passando-as por diversos processos nas máquinas do modelo e, antes da expedição, realizar a junção de dois componentes do mesmo modelo, ou seja, engrenagem A com eixo A, e engrenagem B com eixo B, processo realizado na máquina 5B.

Considerando que engrenagens e eixos possuem processos diferentes, o caminho realizado por cada modelo é diferente dentro do chão de fábrica. Para uma melhor identificação, neste case serão tratadas as engrenagens A e B como itens do tipo 1 e 2 e os eixos A e B como itens do tipo 3 e 4, respectivamente. Na Figura 7 e na Figura 8 podemos observar a rota de cada tipo de item dentro do chão de fábrica. Conecte os componentes do modelo de acordo com a rota de cada tipo apresentado.

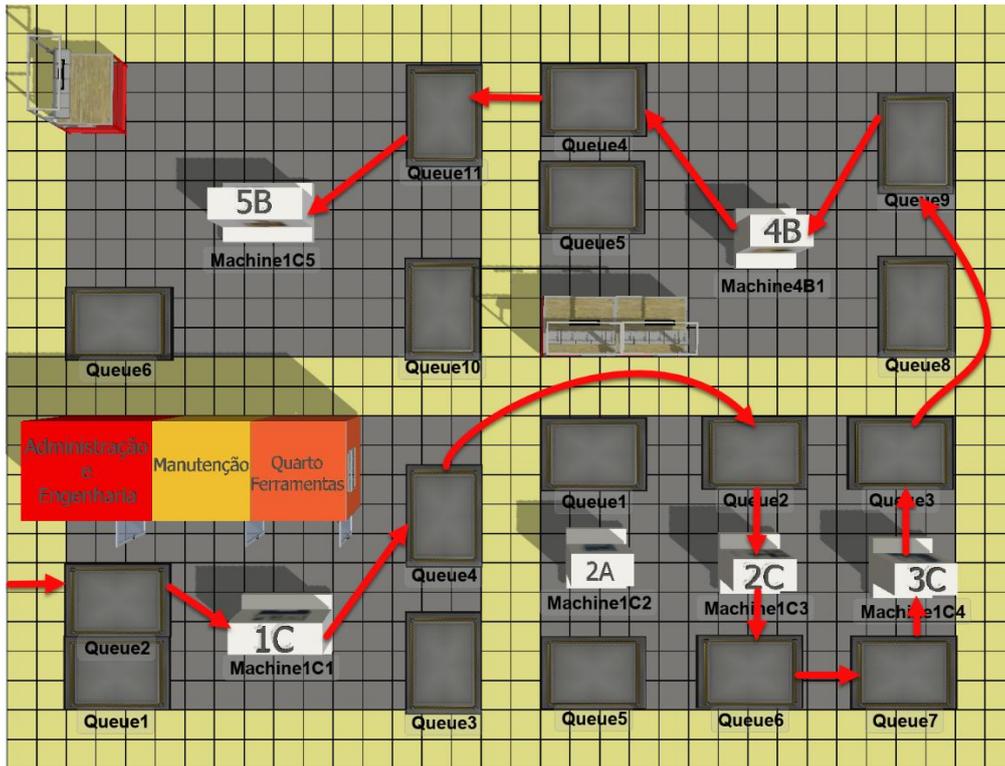


Figura 7 - Rota engrenagens

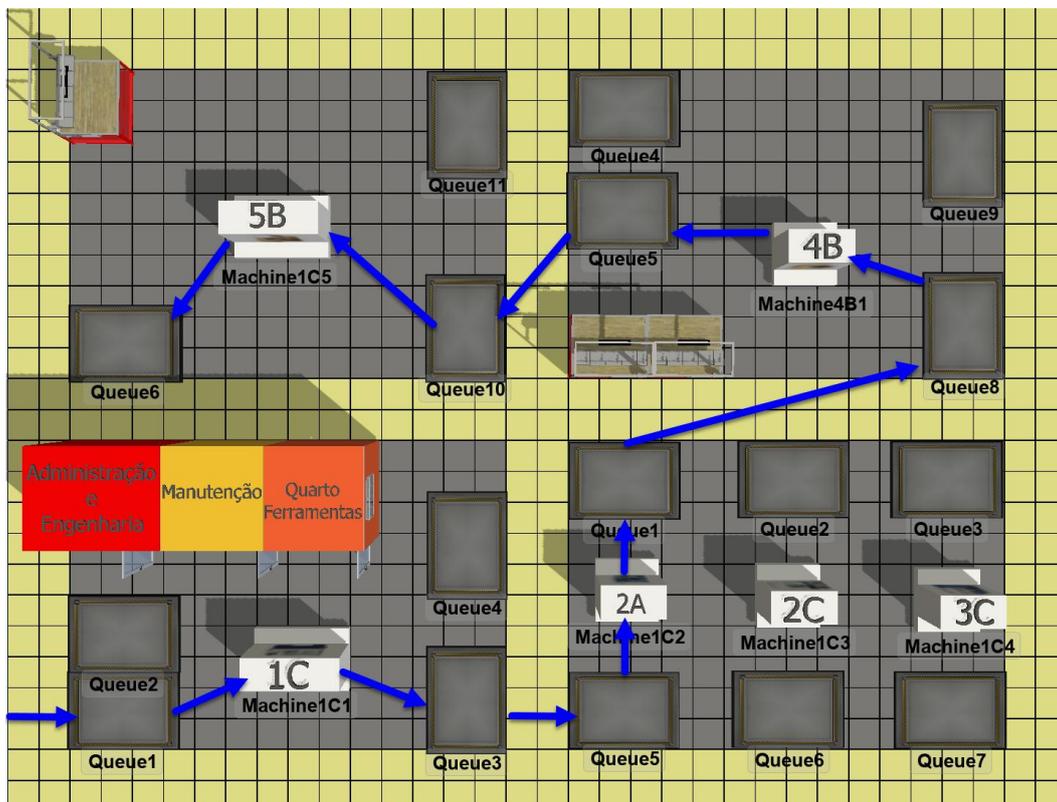


Figura 8 - Rota Eixos

Após realizar as conexões, seu modelo deve se parecer com o exemplo apresentado na Figura 9.

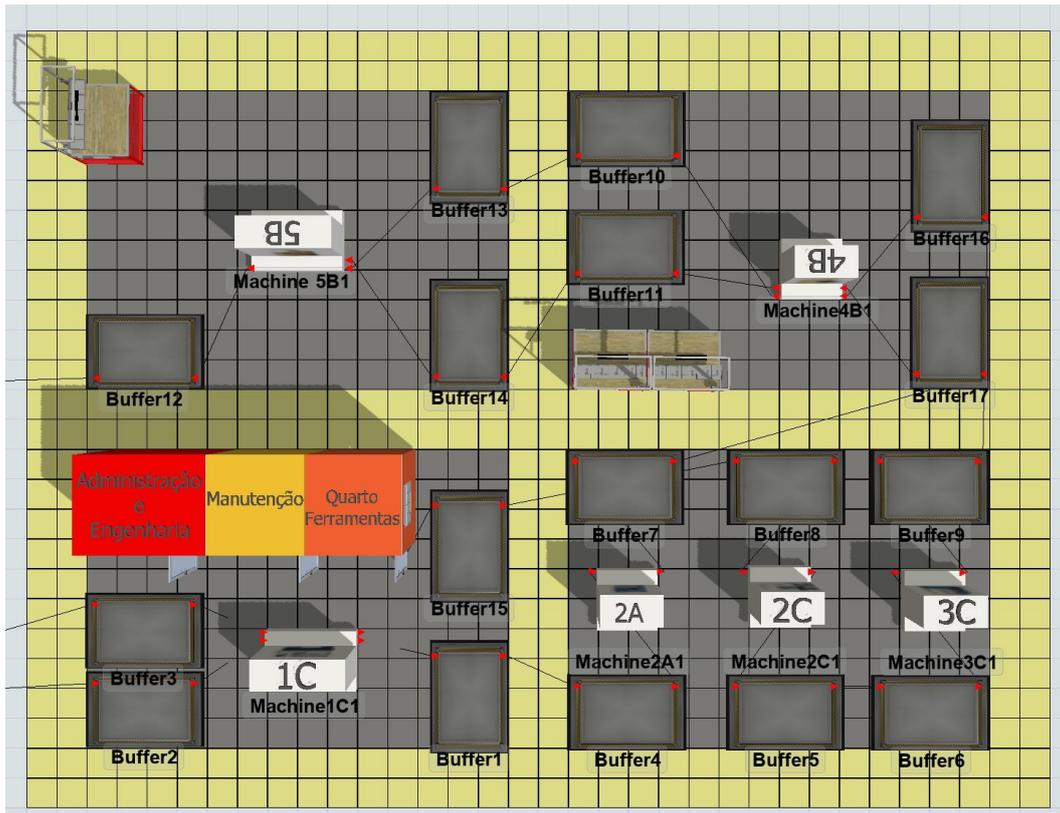


Figura 9 - Layout conexões

Observação: As conexões de **entrada** nas máquinas 1C, 4B e 5B, que são compartilhadas entre duas filas, não possuem ordem específica de conexão, portanto não terá problema caso a fila de engrenagens estiver conectada na porta 1 ou na porta 2, e o mesmo para os eixos. A atenção que deve se tomar é em relação às portas de **saída**, para que seja feito o direcionamento para as filas corretas e não atrapalhar o fluxo.

Para definir para qual fila as peças devem ir, abra as Quick Properties de uma máquina que possui múltiplas saídas (1C, 4B), vá na aba “Output” e no campo “Send to Port”, clique na seta preta ao lado do campo de edição e escolha a opção “Port by case”.

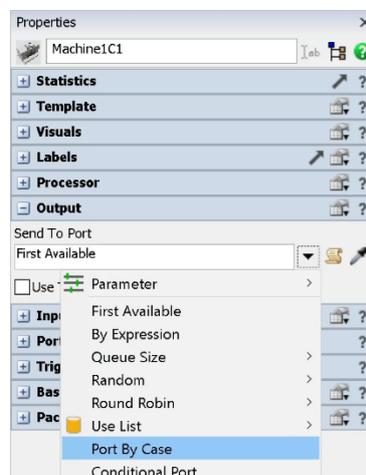


Figura 10 - Send To port

Para definir um novo caso, clique no + verde localizado na parte superior direita da janela que irá aparecer até obter 4 casos, um para cada tipo de item. Seguindo as conexões da Figura 9, as máquinas devem obedecer aos seguintes casos:

**Máquina 1C: Engrenagens (tipo 1 e 2) para porta 1
Eixos (tipo 3 e 4) para porta 2**

**Máquina 4B: Engrenagens para porta 2
Eixos para porta 1**

Observe na Figura 11 como deve ficar a configuração da máquina 1C.

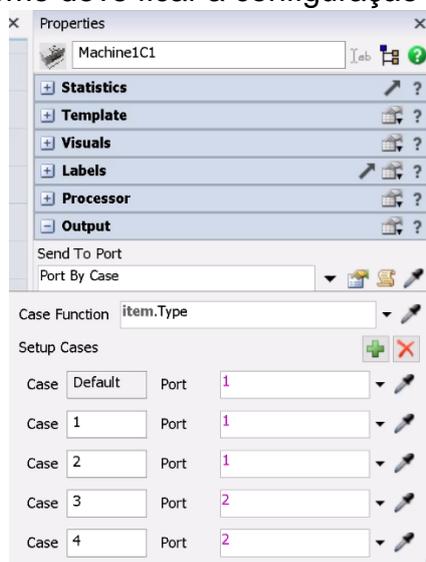


Figura 11 - Máquina 1C send to port

CRIAÇÃO DAS CAIXAS E PEÇAS

Para criar as caixas recipientes das peças, abra as Quick Properties do objeto chegada de peças, inserido no modelo anteriormente:

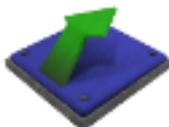


Figura 12 - Chegada de peças

Por padrão, as caixas do modelo recebem um total de 40 caixas, isso pode ser observado e alterado na tela de Quick Properties neste objeto caso seja necessário.

O modelo funcionará utilizando quatro tipos de itens que chegam em uma remessa de 40 caixas no total, sendo elas:

- 4 caixas do tipo 1 (engrenagem A)

- 12 caixas do tipo 2 (engrenagem B)
- em seguida mais 4 caixas do tipo 1
- primeira remessa de eixos: 4 caixas do tipo 3 (Eixo A)
- 12 caixas do tipo 4 (Eixo B)
- e por fim mais 4 caixas do tipo 3

Com um intervalo entre chegadas de um dia útil, contabilizado como 13,6 horas, caso esteja trabalhando com a escala de tempo em segundos, este intervalo representa 48960 segundos.

Configure então a tela de propriedades da chegada de peças com as informações acima, conforme exemplificado na Figura 13. Marque a opção “Repeat Table” para que as entregas sejam realizadas após o intervalo de um dia novamente.

The screenshot shows the 'Pieces Arrival' configuration window. The 'Pieces Per Box' is set to 40. The 'Repeat Table' checkbox is checked. The 'Arrivals' field is set to 7 and 'Labels' to 1. The table below lists arrival details:

Arrival	ArrivalTime	ItemName	Quantity	Type
Arrival1	0	Eng A	4	1
Arrival2	0	Eng B	12	2
Arrival3	0	Eng A	4	1
Arrival4	0	Eixo A	4	3
Arrival5	0	Eixo B	12	4
Arrival6	0	Eixo A	4	3
Arrival7	48096 intervalo		0	0

Figura 13 - Chegada de peças

O buffer a frente do source deve estar conectado às duas filas de entrada do chão de fábrica, portanto é necessário definir qual a configuração de envio das caixas, definir qual caixa vai para qual fila. Para isso, acesse a aba “Output” das propriedades do buffer e no campo “Send to port” defina a opção “Port by Case”, adicione casos clicando no “+” localizado na parte superior direita da janela e defina os dados conforme a Figura 14, considerando.

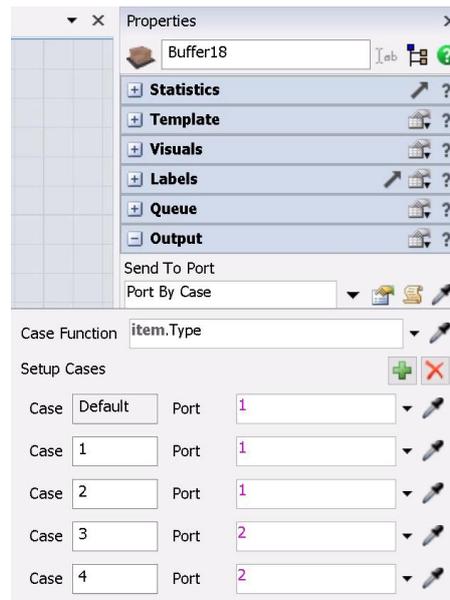


Figura 14 - Send to Port

PROCESSAMENTO DAS MÁQUINAS

Cada máquina do modelo possui seu próprio tempo de processamento, setup, tempo de inspeção, em que o operador necessita levar uma peça até a bancada e em seguida retornar, e um tempo de **carga e descarga** realizada pelo operador que é contabilizado em 10s. Configure estas propriedades utilizando as telas de propriedades de cada máquina. Para acessar esta tela, basta dar um duplo clique sobre as máquinas.

A máquina 1C é a primeira máquina do modelo, ela recebe tanto engrenagens como eixos, portanto possui um tempo de processamento e setup diferentes para cada tipo. Para o processamento, ela realiza o das engrenagens em 49 segundos, e o processamento de eixos em 71.4 segundos. O setup também é diferenciado, pois existe um setup para a troca de engrenagem A para B, troca de engrenagem para eixo, e troca de eixo A para B. Os tempos de cada troca está apresentado abaixo.

- Setup entre engrenagens = 45 minutos (2700s)
- Setup entre eixos = 60 minutos (3600s)
- Setup de engrenagens para eixos = 70 minutos (4200s)

Para configurar estes tempos de setup, utilize a tabela disponível na aba BasicMachine, ao marcar a opção “Enabled” na seção “Setup time by Type”, adicionar linhas e colunas até que a tabela possua 4 linhas e 4 colunas. Essa matriz representa a troca entre um tipo e outro, sendo cada linha/coluna um tipo. Para a configuração da máquina 1C, a tabela deve ser como a apresentada na Figura 15. A diagonal da tabela permanece 0(zero) pois não há setup entre itens do mesmo tipo.

	Type 1	Type 2	Col 3	Col 4
Type 1	0	2700	4200	4200
Type 2	2700	0	4200	4200
Row 3	4200	4200	0	3600
Row 4	4200	4200	3600	0

Figura 15 - Tabela de setup

Para configurar o tempo de processamento específico para cada tipo, clique na seta preta ao lado do campo “Cycle Time” e defina com a opção “Values by Case”, uma pequena janela irá se abrir, nela você irá definir os tipos de itens que serão processados e quais os tempos que serão atribuídos a cada um. Para adicionar um novo tipo, clique no + verde até obter quatro tipos e defina o tempo de processamento de cada um conforme a Figura 16.

Case	Time
Default	1
1	49
2	49
3	71.4
4	71.4

Figura 16 - Tempo de processamento 1C

Para as outras máquinas, basta realizar o mesmo procedimento, para setup e tempo de ciclo, definindo as propriedades conforme os dados abaixo. Configure as máquinas com os tempos **tanto para engrenagem como para eixo**, mesmo que não esteja na rota de fluxo deste tipo de item, pois assim a máquina ficará corretamente configurada caso desejar explorar outros fluxos.

Lembrando:

- Engrenagens = tipo 1 e 2.
- Eixos = tipo 3 e 4

- Máquina 2A
 - Setup = 0s
 - Processamento engrenagem= 82s
 - Processamento eixo = 60s
- Máquina 2C
 - Setup = 0s
 - Processamento engrenagem= 56s
 - Processamento eixo = 81s
- Máquina 3C
 - Setup = 0s
 - Processamento engrenagem= 59s
 - Processamento eixo = 38s
- Máquina 4B
 - Setup = 0s
 - Processamento = 180s (Não é necessário utilizar Values by Case)
- Máquina 5B
 - Setup = 3600s
 - Processamento = 80s
 - Tempo de carga diferenciado = 20s

A máquina 5B possui um tempo de carga de 20 segundos pois é carregado nela dois itens para realizar a junção de eixo com engrenagem e em seguida é removido um item só, o produto acabado. O setup desta máquina também é diferente da 1C, devendo preencher todos os campos (**exceto a diagonal**) com o valor de setup, conforme a Figura 17 abaixo.

	Type 1	Type 2	Col 3	Col 4
Type 1	0	3600	3600	3600
Type 2	3600	0	3600	3600
Row 3	3600	3600	0	3600
Row 4	3600	3600	3600	0

Figura 17 - Detalhes 5B

INSPEÇÃO NA BANCADA

Conforme mencionado anteriormente, o operador de cada máquina é responsável por realizar a inspeção da última peça de cada lote processado, e,

para isso ele leva a peça até a bancada de inspeção, permanece o tempo de inspeção na máquina, e em seguida retorna a peça para o lote empacotado ao fim do processamento.

Neste modelo, existem 3 bancadas, uma dedicada para a máquina 1C, uma dedicada para a máquina 5B e uma compartilhada entre as máquinas 2A, 2C e 3C.

Para configurar a realização da inspeção da última peça de cada lote, ainda na tela de propriedades da máquina, existe uma área na aba “Pack Unpack” destinada à bancada (Bench), marque a caixa de seleção “Use inspection bench” e a inspeção estará habilitada ao rodar o modelo.

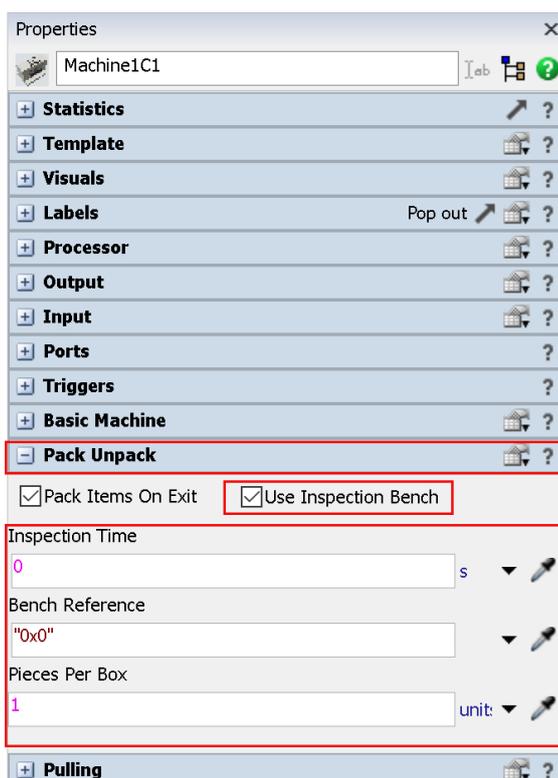


Figura 18 - Use inspection bench

O campo “Bench Reference” faz a referência da bancada que vai ser utilizada pela máquina quando uma peça for inspecionada. Para utilizá-la basta clicar no conta-gotas e com ele clicar na bancada e clicar no nome de sua bancada.

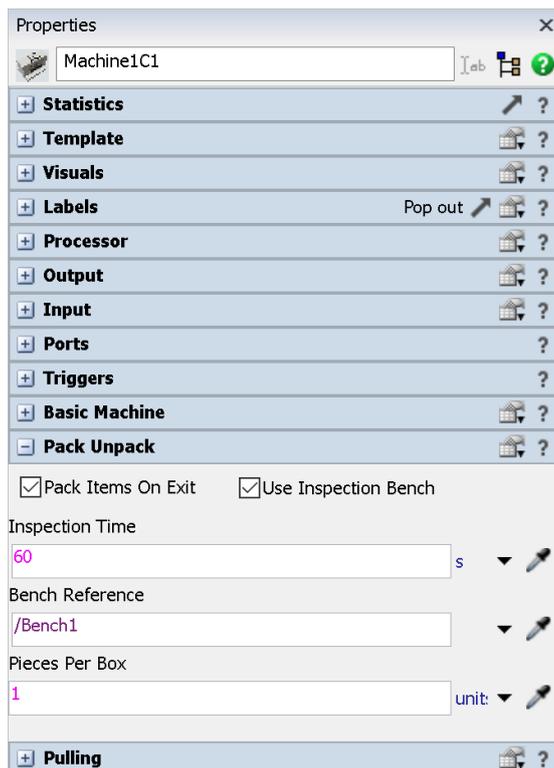


Figura 19 - Referência bancada

Na imagem Figura 20 a seguir está demonstrado qual bancada pertence a qual máquina. A máquina 4B, por processar as caixas completas ao invés de peça a peça, não realiza inspeção na bancada.

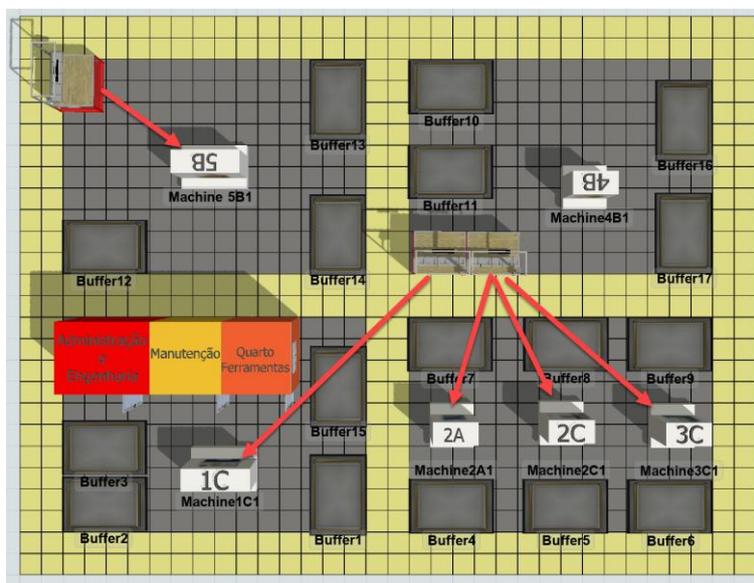


Figura 20 - Relação de bancadas

Após referenciar a bancada, insira no campo localizado abaixo “*Inspection Time*” o valor do tempo de inspeção para todas as máquinas, que é de 80 segundos para engrenagens e 120 segundos para eixos. Utilizando o Values By Case neste campo, você deve ter uma configuração como a Figura 21. Exceto a

máquina **5B**, pois ela possui um tempo único de inspeção equivalente a 120 segundos.

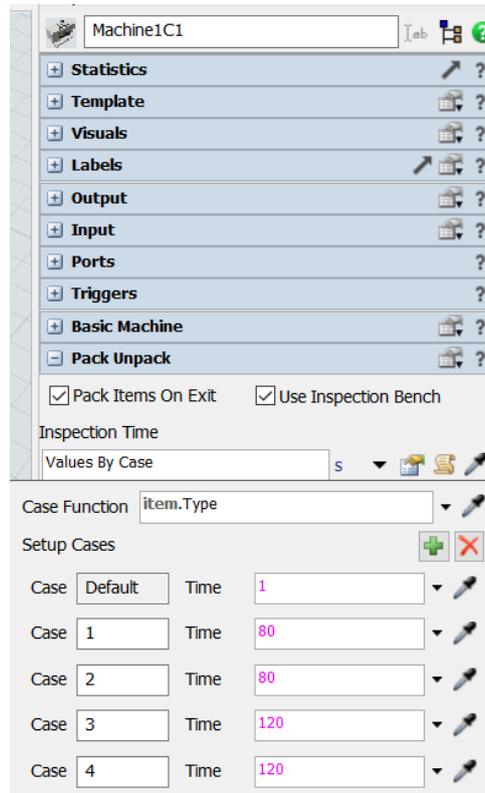


Figura 21 - Tempo de inspeção

SCHEDULING DE PROCESSAMENTO

Observando que as máquinas possuem um tempo de setup quando ocorre a mudança de tipo de item a ser processado, podemos definir um *Schedule* de processamento para as máquinas, de modo que possamos aproveitar ao máximo a utilização das peças realizando o menor número de setups ao longo dos dias. Podemos observar também, que o schedule precisa ser aplicado à máquina gargalo de nossa operação, a máquina 1C, pois visto que ela é responsável por processar engrenagens e eixos, ela possui um alto tempo de setup total. Também é muito importante definir o schedule da produção para que não haja estoque em excesso de um produto e falta de outro, já que no final é necessário realizar a junção das engrenagens com os eixos. Uma má configuração do Schedule pode acarretar um travamento do sistema.

Para montar este schedule, abra a tela de propriedades da máquina 1C e acesse a aba “*pulling*”, marque a caixa de seleção *Pull Items* para que a tabela de schedule seja ativada. Clique em “edit pulling table” e nesta tabela poderá existir n linhas, cada uma delas representando uma etapa diferente do Schedule, e duas colunas, em que a primeira significa qual o tipo do item entrará naquele *Schedule* e a segunda coluna determinará quantas caixas serão processadas daquele tipo de item. A tabela de schedule fica localizada dentro da tela de propriedades de cada.

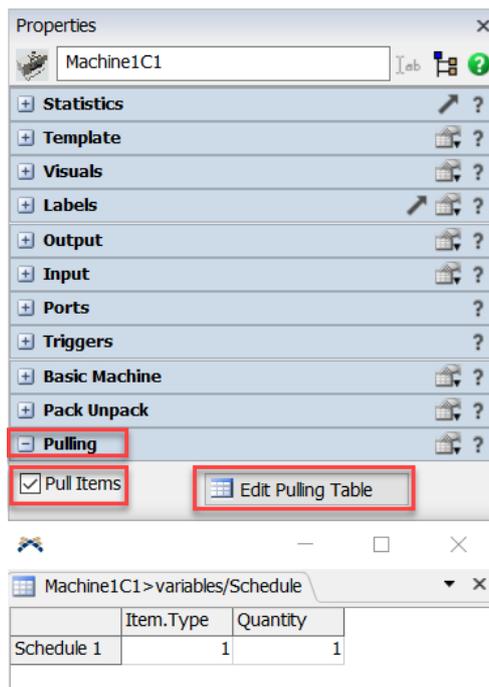


Figura 22 - Tabela Schedule

. Para alterar o número de linhas vá em “Rows” no canto superior direito e coloque o número de linhas que deseja e para que seja realizado o menor número de setups durante o dia, e de acordo com a demanda recebida pelo modelo, a melhor configuração de setup deverá processar as caixas de eixos de acordo com a configuração ilustrada na Figura 23.

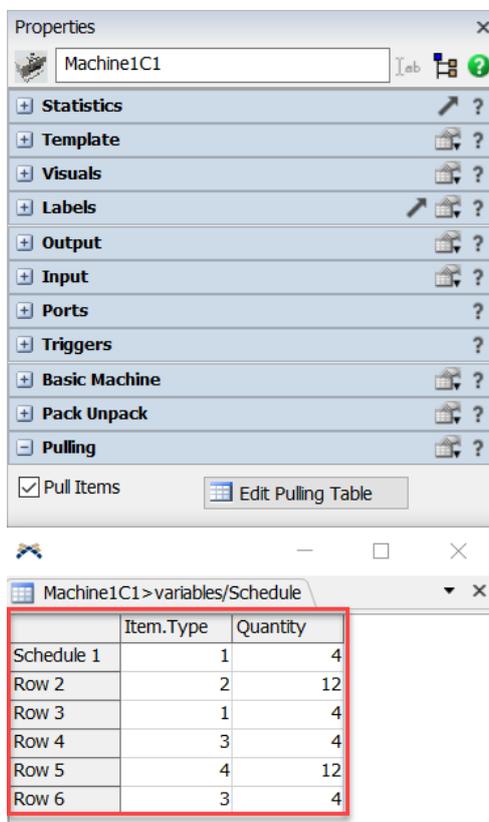


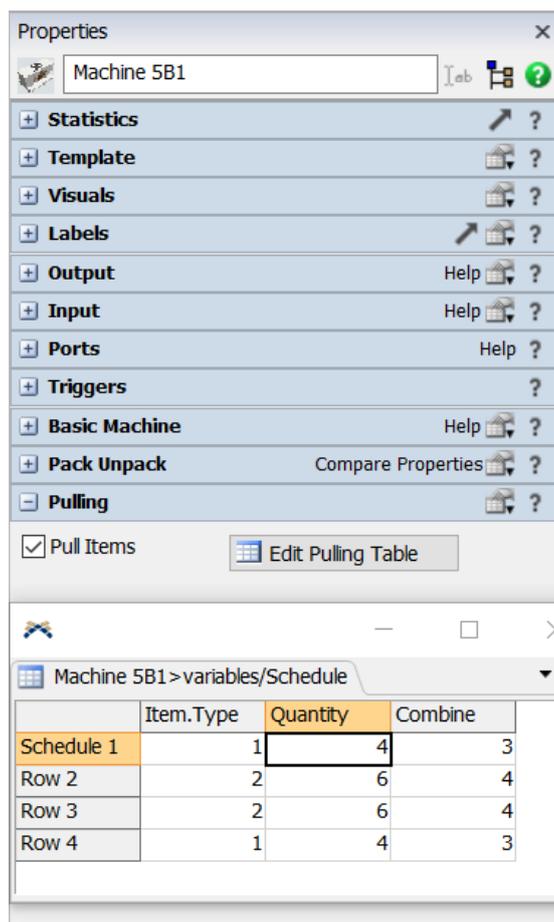
Figura 23 - Tabela Schedule dados

Com esta configuração, será possível analisar que os itens do tipo 1 (Engrenagem A) serão puxados antes, e processadas 4 caixas antes que seja solicitado um novo tipo de item pela máquina, o qual terá 12 caixas processadas, em seguida, mais 4 caixas de engrenagens A. Após processadas as engrenagens, são solicitados os eixos, primeiro 4 caixas de eixo A, em seguida 12 caixas de eixo B e por fim mais 4 caixas de eixo A, para então começar novamente a puxar as engrenagens.

CONFIGURAÇÃO MÁQUINA 5B

A máquina 5B é responsável por fazer a junção de dois tipos de itens em seu processo. Para que essa junção seja realizada de maneira correta, unindo engrenagens A com eixos A, e engrenagens B com eixos B, é necessário configurar estas especificações na máquina.

Abra a tela de propriedades da máquina 5B, acesse a aba “Pulling” e localize a caixa de seleção “Pull”, marque-a e clique em “edit pulling table” e uma tabela de schedule irá aparecer. Nesta tabela será configurado o comportamento da máquina e quais tipos de itens devem ser unidos durante o processo. Configure estas propriedades como a Figura 24. Estas configurações realizarão a junção dos itens 1 com 3 e dos itens 2 com 4 (eixo A com eng. A e eixo B com eng. B).



The screenshot shows the 'Properties' window for 'Machine 5B1'. The 'Pulling' section is expanded, showing a checked 'Pull Items' option and an 'Edit Pulling Table' button. Below this, a table titled 'Machine 5B1 > variables/Schedule' is displayed with the following data:

	Item.Type	Quantity	Combine
Schedule 1	1	4	3
Row 2	2	6	4
Row 3	2	6	4
Row 4	1	4	3

Figura 24 - Pull máquina 5B

CONFIGURAÇÃO SCHEDULE MÁQUINA 4B

A máquina 4B é responsável por processar as caixas inteiras e gerar produto para a máquina 5B, esta é responsável por juntar os itens e formar o produto acabado, porém é necessário que haja produtos suficiente de ambos os tipos para fazer a junção, para isso é necessário criar um schedule de processamento na máquina 4B.

Acesse a aba “Pulling” da máquina 4B e ative a opção Pull, dentro da tabela que irá aparecer, defina o seguinte schedule:

	Item.Type	Quantity
Schedule 1	1	8
Row 2	3	8
Row 3	2	12
Row 4	4	12

Figura 25 - Schedule 4B

Essa configuração garantirá que serão processados a mesma quantidade de itens que serão unidos na máquina 5B na sequência correta.

ADIÇÃO DE OPERADORES

Para adicionar um operador para cada máquina, basta arrastar um objeto “Operator” que está na aba “Task Executors” para dentro do modelo e realizar uma conexão central entre ambos, utilize a tecla “S” para criar esta conexão, que deverá ficar como ilustrado na Figura 26. Crie e renomeie os operadores de acordo com a máquina a qual pertencem para uma melhor organização do modelo. Também altere a velocidade máxima dos task executers da Machine 1C e 5B para 1.

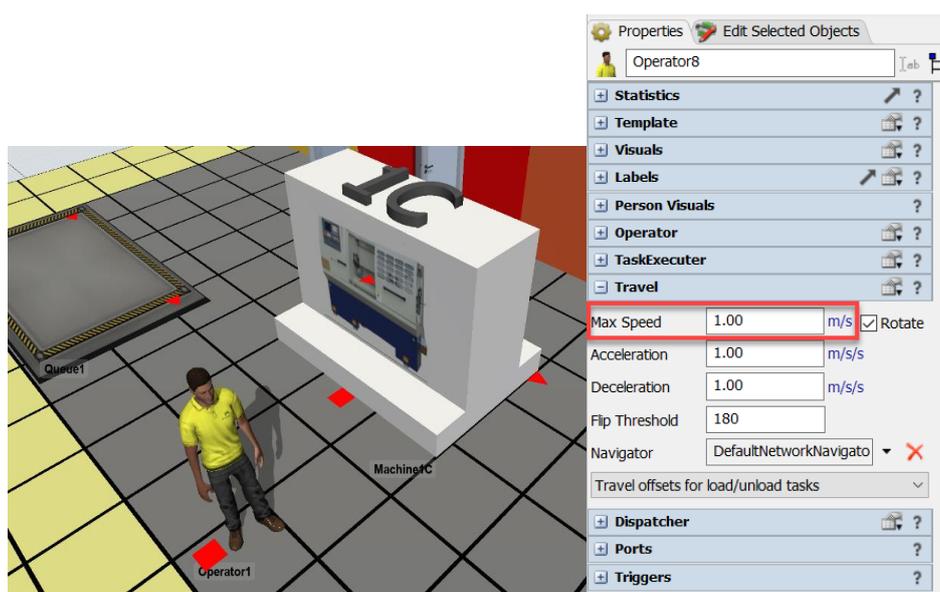


Figura 26 – Operadores

Em seguida adicione um operador para cada máquina e realize esta conexão com S. Para definir um operador para uma máquina, não é necessário definir nenhuma configuração, a identificação é automática, e ele fica responsável por processar as peças dentro da máquina e realizar a inspeção na bancada. Para realizar o transporte para fora das máquinas serão utilizados outros operadores que serão inseridos posteriormente neste manual.

O seu modelo com os operadores conectados às máquinas deve se parecer com a Figura 27.

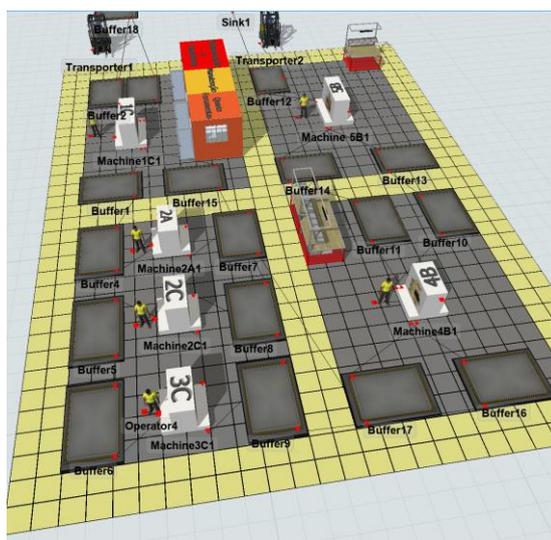


Figura 27 - Layout operadores

ADIÇÃO DE EMPILHADEIRAS

Para realizar o transporte das caixas para dentro do chão de fábricas e para as retiradas serão utilizadas empilhadeiras. Para adicioná-las ao modelo, basta arrastar um objeto “Transporter” que estará na aba “Task Executors” e posicioná-las, uma ao lado da chegada de peças e uma próxima ao sink, em seguida, conecte a primeira ao buffer após a chegada de peças, e a segunda à última fila dentro do chão de fábrica, localizada após a máquina 5B. Todas as conexões das empilhadeiras devem ser realizadas com a tecla “S”, criando conexões centrais, conforme ilustrado na Figura 28.

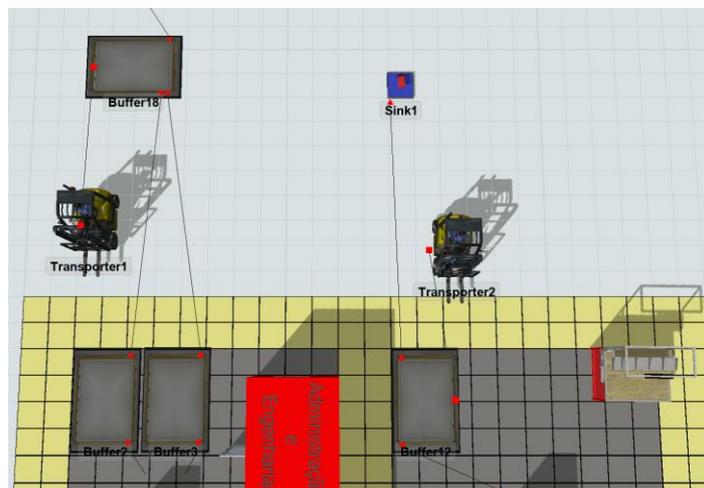


Figura 28 – Empilhadeiras

E para que seja realizado o transporte, abra a janela de propriedades da chegada de peças e da fila de saída, acesse a guia ‘Output’, e marque a opção “Use Transport”, fazendo com que os objetos de partida da empilhadeira (chega de peças e fila após a máquina 5B), utilize o objeto conectado à porta central número 1, como ilustrado na Figura 29.

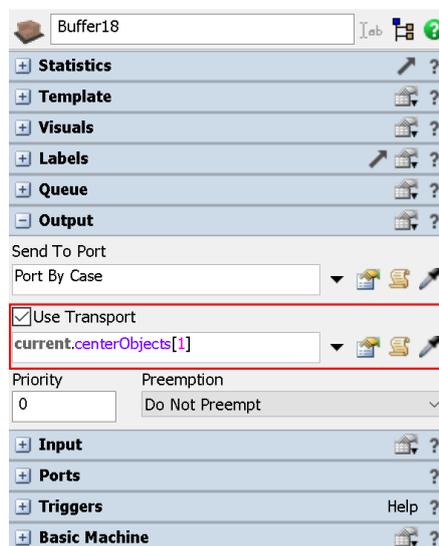


Figura 29 - Use transport empilhadeiras

As empilhadeiras levam 5 minutos para realizar o transporte de uma caixa da chegada de peças até a primeira fila do modelo, para simular isso, altere a velocidade da empilhadeira de entrada para 0,06 m/s é importante que o posicionamento do objeto de chegada de peças esteja corretamente localizado a 10m conforme realizado anteriormente, para que a empilhadeira tenha assertividade no tempo de movimentação.

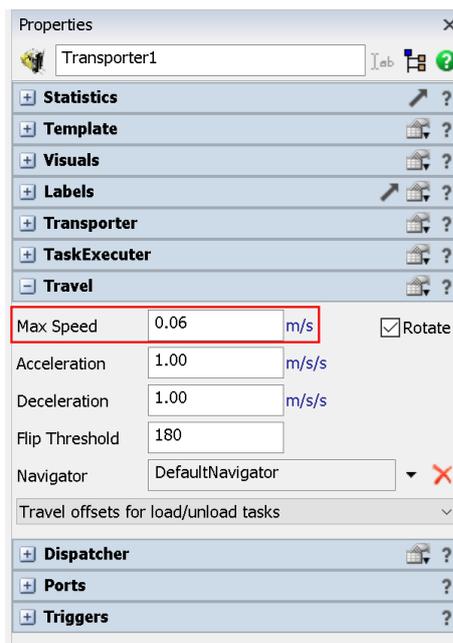


Figura 30 - Velocidade empilhadeira

OPERADOR DA MÁQUINA 1C

Como a máquina 1C é o gargalo da operação, o tempo de movimentação do operador pode afetar o resultado da simulação, por isso deve possuir um trajeto preciso e constante. Neste exercício, o operador é responsável por carregar e descarregar a máquina, porém sua movimentação na frente da máquina é desconsiderada, a ferramenta de *Network Nodes* faz com que todos os componentes sejam acessados de apenas um nó, fazendo com que o operador não se mova durante a carga e a descarga (tempos de carga e descarga configurados nas propriedades da máquina). A movimentação realizada pelo operador é durante a inspeção, em que ele leva a peça até a bancada e retorna, as distâncias e os meios de criação dos *Network Nodes* serão descritos a seguir.

Arraste os pontos do *Network node* localizados na biblioteca Lean board Game para dentro do modelo e os conecte-os segurando a tecla “A” em seu teclado, e da mesma maneira conecte um *Network Node* à bancada e o outro à máquina e ao operador conforme a Figura 31.

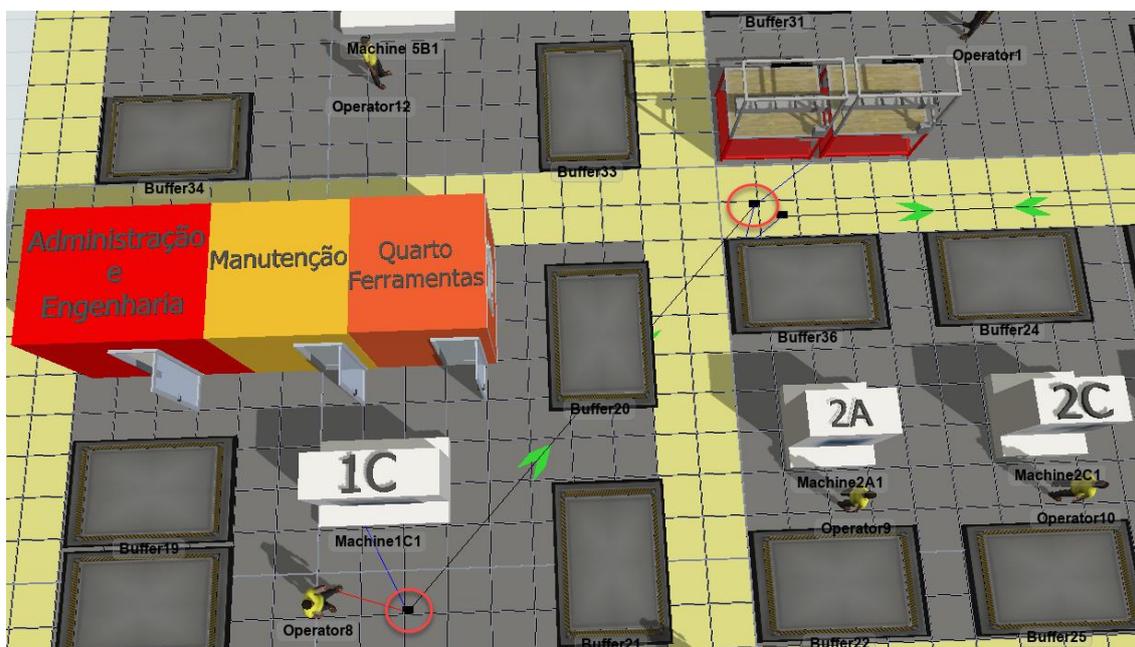


Figura 31 - Conexão Network Nodes

Para que o espaço fique preciso ao espaço que o operador deverá percorrer, os *Network Nodes* oferecem o recurso de distância virtual, que permite simular distâncias diferentes entre dois pontos sem a necessidade de mover os pontos na simulação 3D. Essa distância virtual deve ser configurada para atender os caminhos de ida e volta, ou seja, a distância do ponto A ao ponto B deve ser configurada para ser a mesma do ponto B ao ponto A.

Para definir a distância virtual entre dois *Network Nodes*, abra as propriedades de um dos nós, selecione o Node de destino, e no campo “*Virtual Distance*” insira o valor respectivo à distância entre os pontos do modelo. A distância entre os dois pontos para o operador da máquina 1C percorrer é de 22

metros. **É necessário inserir o valor nos dois network nodes.** Sua configuração deverá ficar como exemplificado na Figura 32

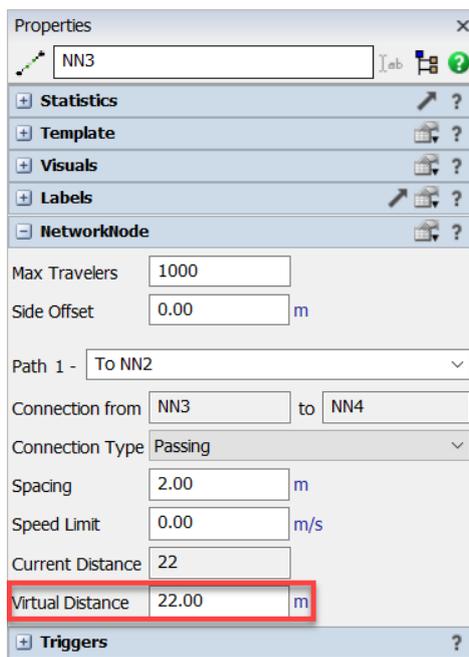


Figura 32 - NN propriedades

TRANSPORTE ENTRE FILAS INTERMEDIÁRIAS

A estrutura do modelo está quase pronta. Adicione mais dois operadores (destacados em azul) no modelo e o conecte com 'S' nas filas destacadas em vermelho e ilustradas na Figura 33. Observe que o operador próximo à máquina 5B deve ser conectado às filas agrupadas naquela área em vermelho, enquanto o operador próximo à máquina 1C deve ser conectado às filas do grupo debaixo.



Figura 33 - Filas intermediárias

Após conectar às filas, marque a opção “Use Transport”, localizada na aba “Output”, em todas elas e nas demais filas do modelo também (**Exceto a fila de saída**). Para configurar esta variável de maneira fácil e mais rápida, utilize a ferramenta “Edit Selected Objects”, para utilizá-la acesse no menu superior em “View” a ferramenta “Edit Selected Objects” conforme a Figura 34, esta é uma ferramenta que permite copiar as propriedades já configuradas em um objeto para outro. Será utilizada para copiar a variável “Use Transport” para todas as outras filas do modelo.

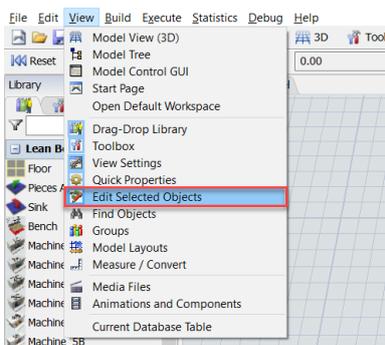


Figura 34 - Edit Selected Objects

Em seguida você verá uma tela aparecer no lugar das “Quick Properties” na parte lateral direita de seu modelo com todas as opções que poderá copiar para os outros objetos, desde variáveis como tamanho, conteúdo máximo, até conexões de entrada, saída etc.

Para copiar o “Use Transport” para as outras filas, mantenha pressionada a tecla “Ctrl” e clique em todas as filas que utilizarão transporte, exceto na fila que já está configurada, nesta fila apenas clique com o mouse sem a tecla “Ctrl” pressionada para destacá-la em amarelo conforme a Figura 35.

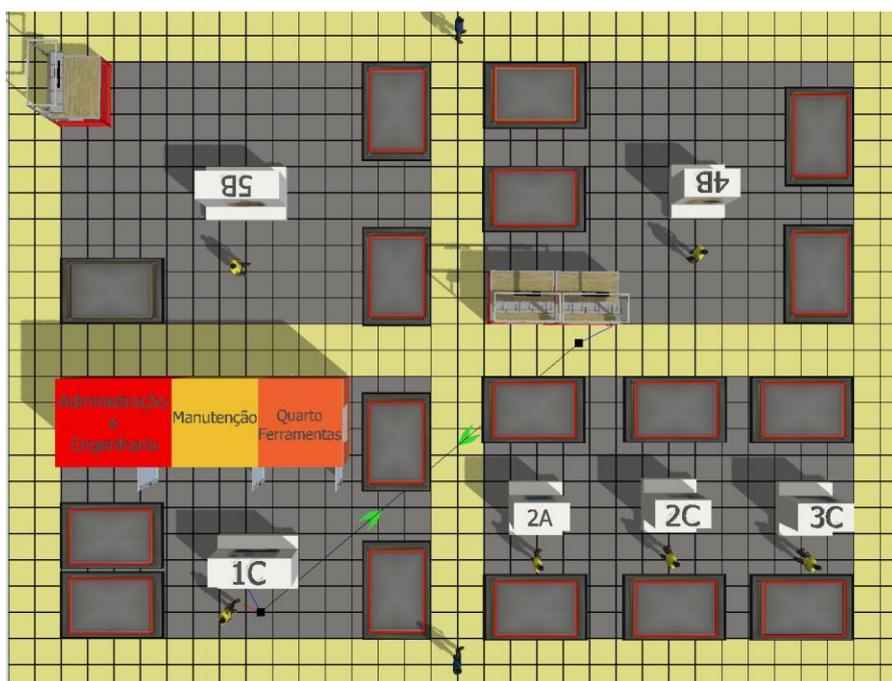


Figura 35 - Filas selecionadas

Com as filas selecionadas e a principal, que já deve estar configurada com o “UseTransport” marcado, estando destacada em amarelo, acesse o painel lateral da ferramenta “Edit Selected Objects” e na seção “Copy From Highlighted” selecione na lista a variável “UseTransport” que está em “FixedResource” ilustrada na Figura 36.

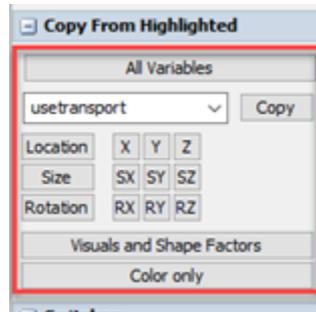


Figura 36 - Edit selected objects

Além de realizar o transporte entre os buffers, utilizaremos os operadores intermediários também para realizar o transporte de caixas para fora das máquinas.

Para configurar isso, **realize uma nova conexão central** (Utilizando-se a tecla “S”) entre os operadores intermediários e todas as máquinas, observando que o operador da parte superior do modelo (parte da 5B) deve ser conectado apenas à 4B, enquanto o outro operador deve ser conectado às máquinas 2A, 2C e 3C.

Em seguida abra a tela de propriedades da máquina, vá na aba “Output” e marque a opção “Use Transport”, porém, neste caso não será o objeto conectado à porta 1, mas sim à porta 2 (Porta respectiva conectada ao operador intermediário) conforme exemplificado na Figura 37. Realize esta configuração para todas as outras máquinas. É possível utilizar o “Edit Selected Objects” para esta operação copiando as variáveis “Transport Dispatcher” e “Use Transport”.

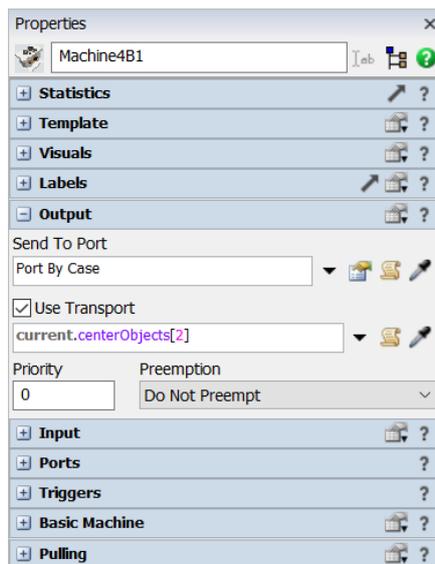


Figura 37 - Use transport 5B

O operador da máquina 4B ficará responsável por carregar a máquina, portanto, crie uma conexão entre ele e as duas filas que antecedem a máquina utilizando a conexão com S conforme a

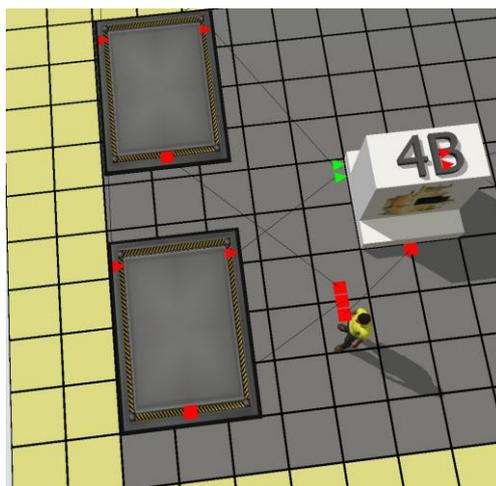


Figura 38 - Operador 4B

EMPILHADEIRA DENTRO DO CHÃO DE FÁBRICA

O transporte das caixas das filas localizada após as máquinas 2A e 3C não podem ser realizados por um operador, pois viola a norma de segurança da fábrica que permite um operador percorrer uma área de no máximo 10 quadrados carregando um produto. Por isso será adicionada uma empilhadeira para realizar este transporte, da fila após as máquinas 2A e 3C para as filas que antecedem a máquina 4B.

Próximo a fila pós máquina 2C, adicione uma empilhadeira como as utilizadas para transportar as caixas para dentro e fora do chão de fábrica, em seguida, **realize uma conexão utilizando a tecla “S” entre a empilhadeira e os buffers pós 2A e 3C**. A opção “Use Transport” deve estar habilitada em ambos os buffers.

Em seguida, defina o caminho da empilhadeira, pois segundo outra norma de segurança da fábrica, as empilhadeiras não são permitidas circular fora da área delimitada em amarelo no chão de fábrica. Para isso, crie um caminho utilizando 5 *network nodes* como ilustrado na Figura 39, conecte-os utilizando a tecla “A” entre si, entre um *network node* e a fila pós 2A, entre um *network node* e a fila pós 3C, entre dois *network nodes* e as filas antes da 4B, e entre um *network node* e a empilhadeira.

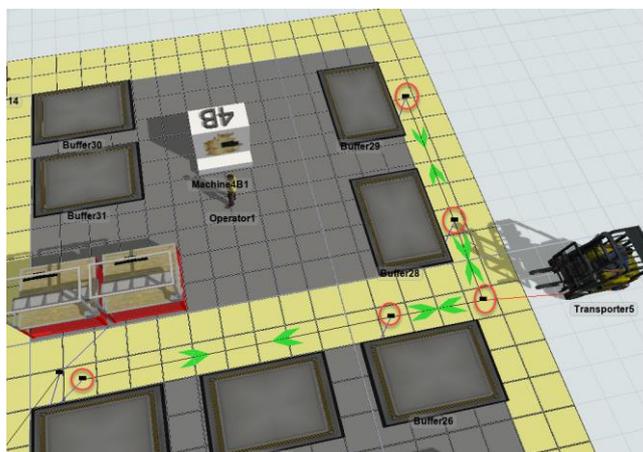


Figura 39 - Conexões Network Nodes

CRIANDO OS ESTOQUES INICIAIS

Ao início do modelo, existe dentro de cada buffer do modelo, exceto o de saída, um estoque inicial, simulando que a fábrica já inicie a sua simulação no meio de um dia corrido de trabalho em que existe material dentro dos estoques

Para simular esta operação dentro do modelo 3D, abra as propriedades do buffer de entrada do modelo, logo antes da 1C e adicione uma chegada clicando no botão direito dentro da célula e adicionando uma linha, em seguida insira os valores apresentados na Figura 40. Configuraremos este buffer para, em seguida, replicar as configurações para os demais buffers que terão estoque inicial.

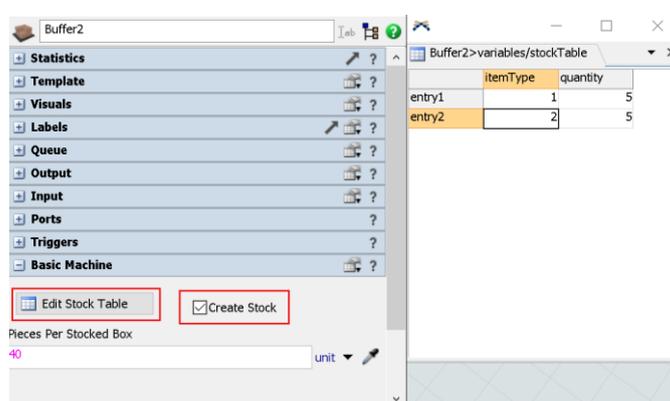


Figura 40 - Estoque inicial

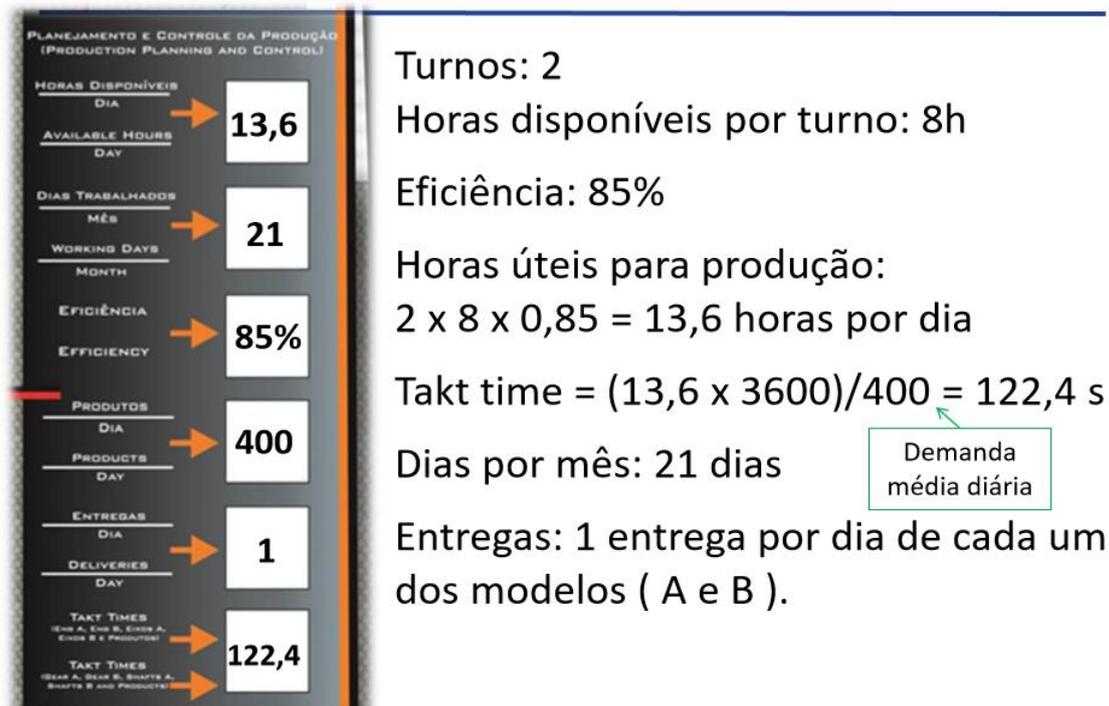


Figura 42 - Takt time

Agora que possuímos o valor do takt time por peça, equivalente a 122,4 segundos, podemos comparar com o tempo total de ciclo da máquina 1C, lembrando que ela é responsável por processar todos os tipos de itens, engrenagens e eixos. A figura abaixo mostra a relação dos tempos que compõem o tempo de ciclo da máquina 1C.

Movimentação	= 20s	+	Movimentação	= 20.00s	= 192.75s
Setup	= 12s		Setup	= 14.25s	
Inspeção	= 2,25s		Inspeção	= 3.85s	
Processamento	= 49s		Processamento	= 71.40s	
-----			-----		
TC Engrenagens	= 83,25s		TC Eixos	= 109.5s	

Figura 43 - Tempo ciclo 1C

Considerando que o tempo de ciclo por peça é de 83.25s por cada engrenagem e 109.5s por cada eixo, um tempo de ciclo total de 192.75s extrapola o takt time de 122,4s, provando que nosso gargalo se encontra na máquina 1C.

A fim de resolver o problema de gargalo da 1C, são apresentadas 3 propostas:

- Abrir um terceiro turno para a máquina produzir
- Terceiro turno com automação
- Aquisição de mais uma 1C

Vamos analisar a viabilidade de cada proposta. A primeira sugere que um terceiro turno seja aberto, portanto, aumentando o takt time por peça conforme a seguinte conta:

$$\text{Takt} = ((3 \text{ turnos} \times 8 \text{ h} \times 85\% \text{ eficiencia} \times 3600 \text{ s}) / 400 \text{ pcs})$$

$$\text{Takt} = ((3 \times 8 \times 0.85 \times 3600) / 400) = \mathbf{183,6s}$$

O novo takt para o terceiro turno é de 183,6 segundos, porém como observado anteriormente o tempo de ciclo da máquina 1C é de 192.75s, fazendo com que a primeira proposta não seja o suficiente para atender a demanda.

- **Abrir um terceiro turno para a máquina produzir**
- Terceiro turno com automação
- Aquisição de mais uma 1C

A segunda proposta sugere, além da abertura do terceiro turno, a aquisição de automação para a máquina 1C. Considerando que com a automação, a carga e a descarga das peças são feitas por esteiras automáticas, existe uma redução de 10s para 3s por movimentação, totalizando 14s de redução no tempo de ciclo de cada peça. Então subtraindo este valor do tempo de ciclo da máquina 1C:

$$192.75 - 14 = 178.75s < \text{Takt} (183,6s)$$

Podemos observar que a segunda proposta atende aos requisitos da demanda, possuindo um tempo de ciclo menor que o takt time para o terceiro turno.

- **Abrir um terceiro turno para a máquina produzir**
- **Terceiro turno com automação**
- Aquisição de mais uma 1C

A terceira proposta é a aquisição de mais uma máquina 1C, a fim de se ter uma máquina dedicada a cada tipo de item (Eixos e engrenagens), o que separaria o tempo de ciclo de cada tipo, totalizando o tempo de ciclo de engrenagens em 83,25 e o tempo de ciclo de eixos em 109.5s (ver Figura 43), ambos os tempos abaixo do takt time de dois turnos (122,4s). Sendo assim uma proposta viável também para execução.

- **Abrir um terceiro turno para a máquina produzir**
- **Terceiro turno com automação**
- **Aquisição de mais uma 1C**

Observando que as duas propostas são viáveis de execução, é necessário escolher uma das duas para implantar no modelo, para isso iremos analisar o lado financeiro das propostas.

A primeira proposta viável que abre o terceiro turno da máquina 1C com automação terá gastos com a estrutura fabril para operação, 3 operadores a mais, adicional noturno dos 3 operadores, mais o custo da aquisição das esteiras para automação. Valores detalhados na Figura 44.

- **Custo 3º turno**
 - Estrutura fabril: \$ 13.000,00 mensais
 - Operadores: 50% de adicional noturno e são necessários no mínimo 3 funcionários (operador, movimentador e empilhadeira). em comparação com a solução compra da 1C, temos 3 operadores a mais e adicional noturno de 3 operadores = $(2 \times 2850 \times 1,5) + (2000 \times 1,5) = \$ 11.550,00$
- **Custo da esteira para automação**
 - Aquisição: \$ 40.000,00 =
 - Para financiamento a taxa é de 100% em 10 anos $(40.000 \times 2) / 120 = \$ 666,67$
 - Manutenção mensal = \$ 240,00
- **Total Mensal = \$ 25.456,67** (13.000+11.550+666,67+240)

Figura 44 - Custos aquisição automação

Já a segunda proposta viável, de aquisição de mais uma 1C, possui os custos de aquisição da máquina e a adição dos operadores para operá-la. Veja os valores na Figura 45.

- **Custo compra 1C**
 - Aquisição da máquina: \$ 350.000,00
 - Para financiamento, a taxa é de 100% em 10 anos
 - Parcelas mensais = $(350.000 \times 2) / (120) = \$ 5.833,33$
 - Operador: 2 x \$ 2.850,00 = \$ 5.700,00
 - **Total Mensal = \$ 11.533,33**
- MELHOR SOLUÇÃO**
- **Financeiro: 3º turno= \$ 25.456,67**
- Compra 1C= \$ 11.533,33**
-

Figura 45 - Custos aquisição 1C

Observando então os custos, é possível afirmar que a melhor solução é a aquisição de mais uma máquina 1C, vamos então agora montar o modelo e colocar a melhoria em prática.

Para adicionar mais uma máquina 1C no modelo, basta copiar e colar a máquina existente, pois já está configurada com os tempos de setup, processamento e inspeção, copie também o operador, posicione-os no modelo da seguinte forma (Figura 46) e conecte-o à máquina.

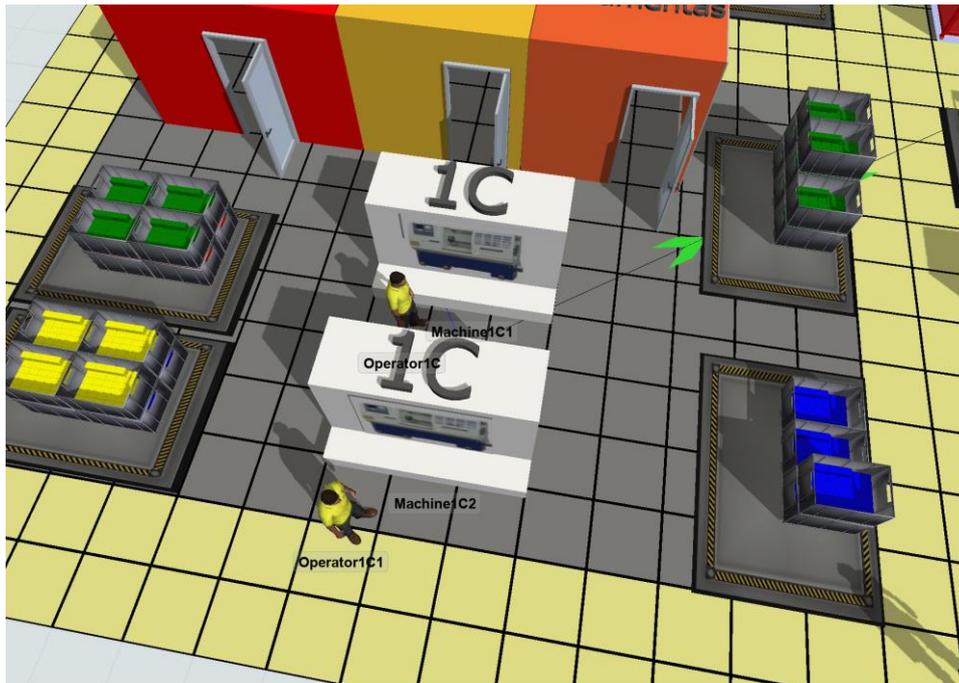


Figura 46 - Posicionamento 1C

Em seguida, reconecte o fluxo da fila de eixos para a segunda 1C e dela para a fila de eixos localizada à frente. Volte ao padrão o campo “Send To Port” da primeira 1C que está configurada para enviar para a porta 1 e porta 2, deixe as duas máquinas 1C com o campo configurado para “**First Available**”.

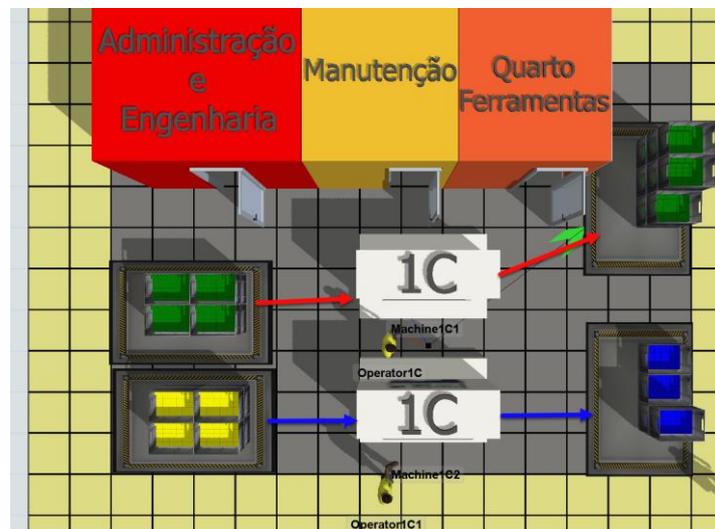


Figura 47 - Conexões e fluxo

Para definir a inspeção, crie um *Network Node* em frente à máquina 1C nova, conecte ao operador e à máquina, conecte ao *Network Node* localizado próximo à bancada e defina uma distância virtual de 17m. Defina a distância virtual dos *Network Nodes* da primeira 1C (engrenagens) como 5m. Lembre-se de colocar a distância virtual no network node perto da 1C e da Bancada. Sua configuração do novo *Network Node* deve ser como apresentado na Figura 48.

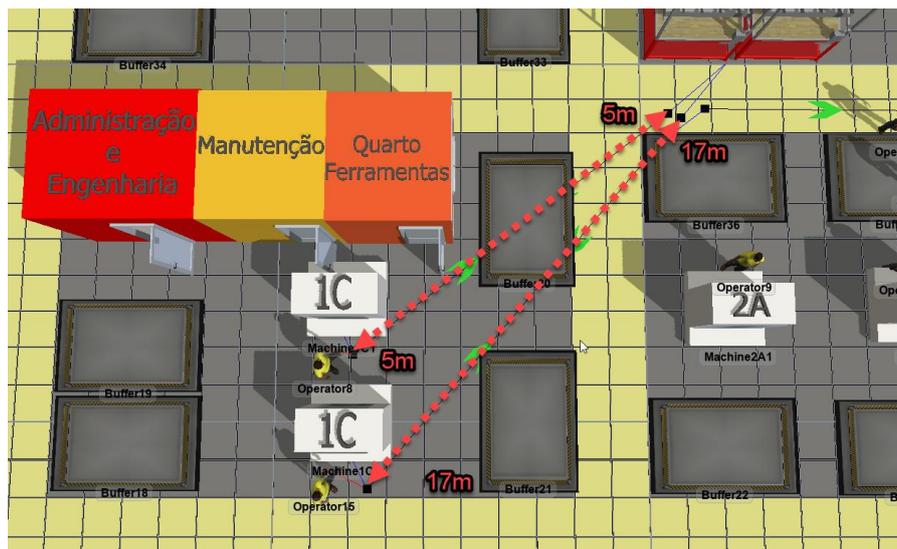


Figura 48 - Distância virtual NN

Para finalizar, acesse as propriedades das duas máquinas 1C e ajuste a tabela Pull na aba “Pulling” de cada uma, pois na primeira 1C só serão puxados itens do tipo 1 e 2, enquanto na segunda 1C apenas os itens do tipo 3 e 4. Conforme a Figura 49.

	Item.Type	Quantity
Schedule 1	1	4
Row 2	2	12
Row 3	1	4

	Item.Type	Quantity
Schedule 1	3	4
Row 2	4	12
Row 3	3	4

Figura 49 – Pull

Com estes passos, conseguimos eliminar o problema da 1C fora do takt time, porém ainda temos uma outra máquina fora do Takt Time, que é a máquina 5B. Observe o cálculo de seu tempo de ciclo abaixo (Figura 50).

Movimentação	= 30.0s
Setup	= 9.0s
Inspeção	= 6.6s
Processamento	= 80.0s

TC 5B	=125.6s

Figura 50 - Tempo de Ciclo 5B

Com um tempo de ciclo de 125.6 segundos, a máquina 5B está acima do takt time de 122,4s/peça. Como esta é uma máquina que demanda precisão por estar fora do takt time, é preciso que o caminho realizado pelo operador esteja condizente com os tempos da máquina para não haver divergências. Para finalizar a parte 1 da primeira melhoria, alinhe o caminho do operador da máquina 5B colocando um *Network Node* em frente à máquina 5B e um em frente à bancada 3, e defina uma distância virtual de 12m para **os dois Network Node** conforme a Figura 51.

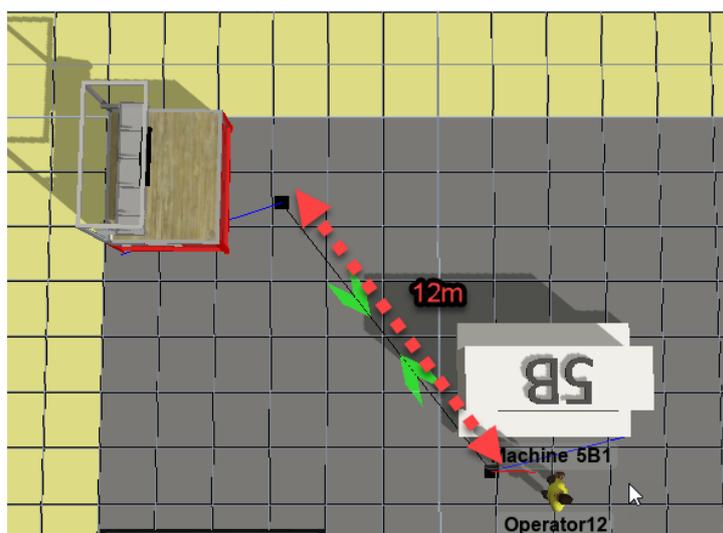


Figura 51 - Distância 5B

Com estas configurações é finalizada a primeira parte do round 1 de melhorias. A segunda parte visa em reduzir o tempo de ciclo da máquina 5B, pois ela é a última máquina a estar fora do takt time do modelo.

1ª RODADA DE MELHORIAS PARTE 2

Iniciando a segunda parte, é preciso reduzir o tempo de ciclo total da máquina 5B. Para isso são aplicadas na teoria do case, algumas melhorias internas na máquina que facilitam o setup, reduzindo o tempo total de setup de 60 minutos para 7 minutos (420s), o que reduz o valor de 9 s/pç para 1.05 s/pç.

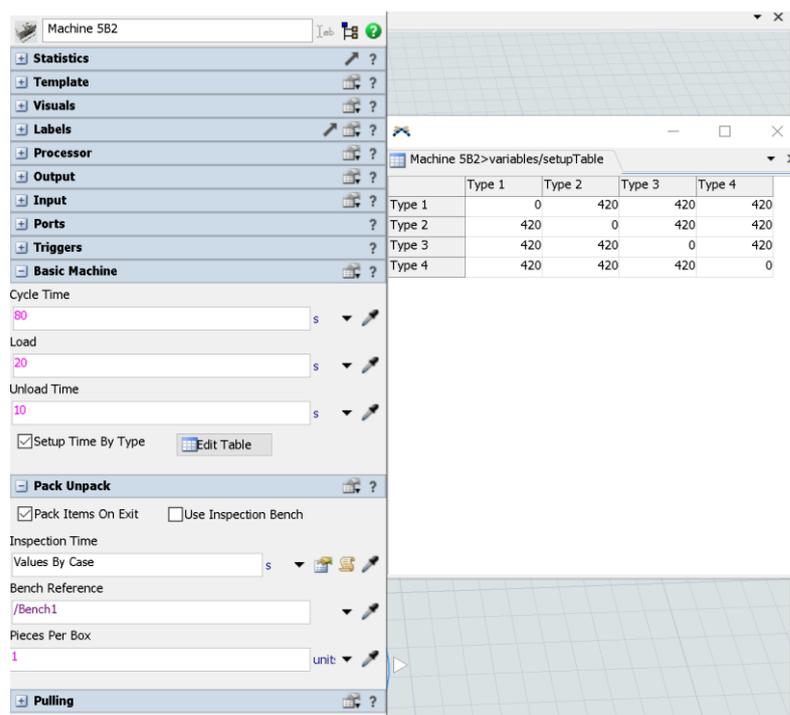


Figura 52 - Setup 5B

Outra melhoria realizada no modelo é a aproximação da bancada de inspeção da máquina 5B, que passa de 12m para 4m. Para isso, aproxime visualmente a bancada e o *Network Node* e em seguida altere a distância virtual para 4m. Após todas estas melhorias obtemos o seguinte cálculo de tempo de ciclo.

Movimentação	= 30.0s
Setup	= 1.05s
Inspeção	= 6.2s
Processamento	= 80.0s

TC 5B	= 117.25s

Figura 53- Tempo ciclo 5B melhorias

Agora com um tempo de ciclo de 117.25s a máquina 5B passa a não atrapalhar mais o takt time e a produção agora consegue atender a demanda de 400 peças/dia.

2ª RODADA DE MELHORIAS

A segunda rodada de melhorias visa aprimorar a quantidade de espaço utilizado dentro da fábrica para que seja possível a aquisição de mais recursos em um cenário futuro, além de eliminar os gastos com estoques intermediários e movimentação excessiva.

Para realizar esta rodada de melhoria, um novo layout para a fábrica é sugerido, nele será possível economizar os gastos de uma empilhadeira, dos estoques intermediários e ainda liberar grande espaço que é utilizado atualmente. Este layout consiste em realizar a passagem das peças diretamente de uma máquina para a outra, sem a necessidade dos buffers intermediários e

dos operadores que realizavam este transporte. Observe na Figura 54 como é este novo layout.

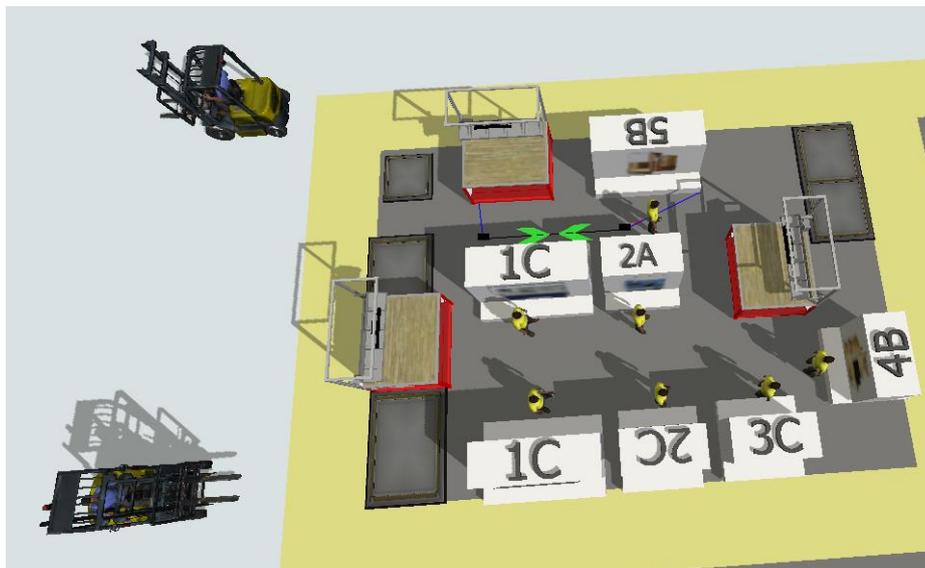


Figura 54 - Layout round 2

Para montarmos este modelo partindo de nossa situação atual, primeiramente exclua os operadores de transporte entre as filas, a empilhadeira de dentro do chão de fábrica junto com seus network nodes, exclua também todos os buffers intermediários, exceto os que antecedem a máquina 5B. Todos os objetos que deverão ser excluídos estão destacados em vermelho na Figura 55.

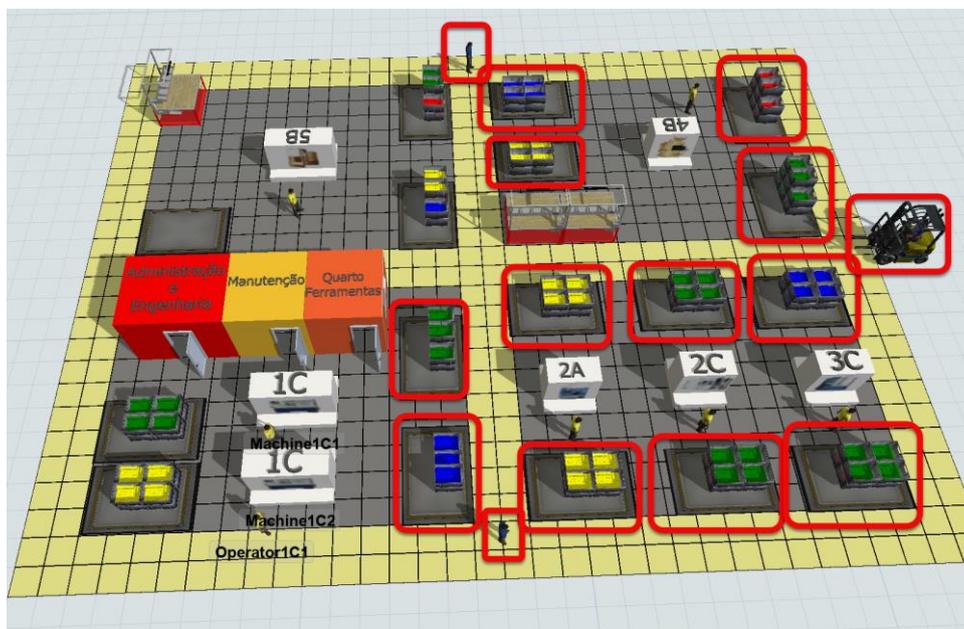


Figura 55 - Layout construção

Após excluir todos estes componentes do modelo, para uma melhor procedência, mova os componentes localizados no quadrado do chão de fábrica da máquina 5B para outro quadrado, como o exemplo abaixo (Figura 56).

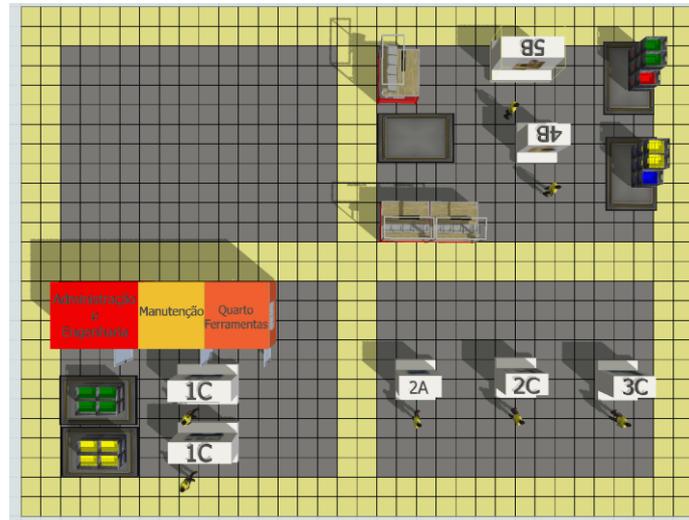


Figura 56 - Construção do layout I

Em seguida, mova as máquinas 1C e suas filas de entrada para o quadrado que se encontra vazio e posicione a bancada de inspeção da 1C entre as duas filas de entrada, que devem ser redimensionadas agora para um tamanho de: $X = 1.20$ e $Y = 1.20$, conforme a Figura 57.

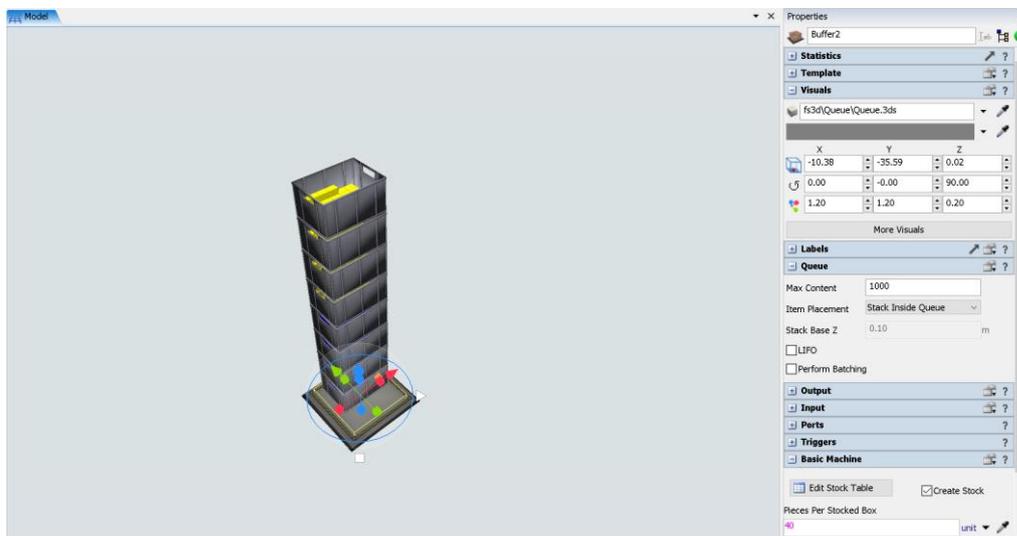


Figura 57 - Tamanho Fila de entrada

Atenção quando for mover as máquinas 1C de lugar, pois a máquina que processa engrenagens deve ser a localizada na parte “inferior” do quadrado conforme a Figura 58.

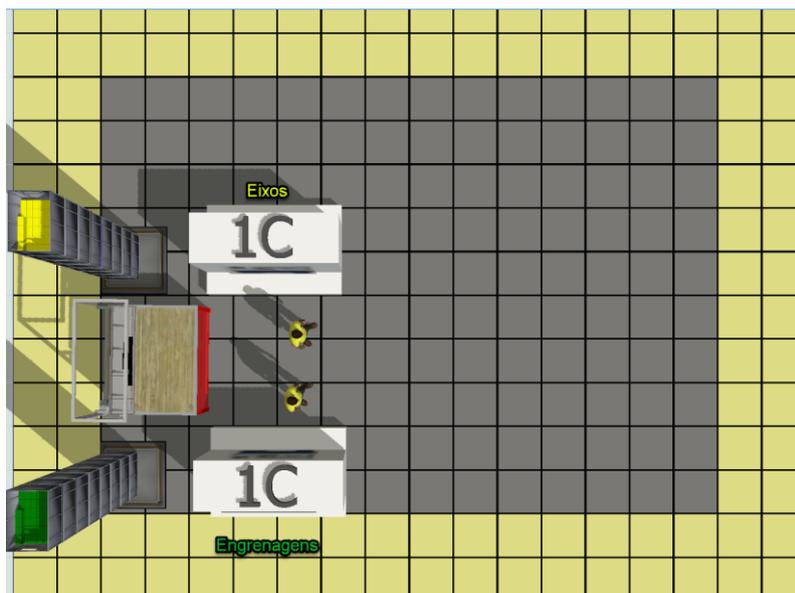


Figura 58 - Construção do layout II

Após mover as máquinas 1C, mova as máquinas seguintes mantendo o fluxo de eixos e engrenagens da maneira que era antes da reestruturação:

- Eixos: 1C – 2A – 4B – 5B
- Engrenagens: 1C – 2C – 3C – 4B – 5B

Posicione as máquinas 2A, 2C e 3C à frente das máquinas 1C correspondentes, a máquina 4B ao final da sequência e a segunda bancada de inspeção ao lado da máquina 2A conforme apresentado na Figura 59.

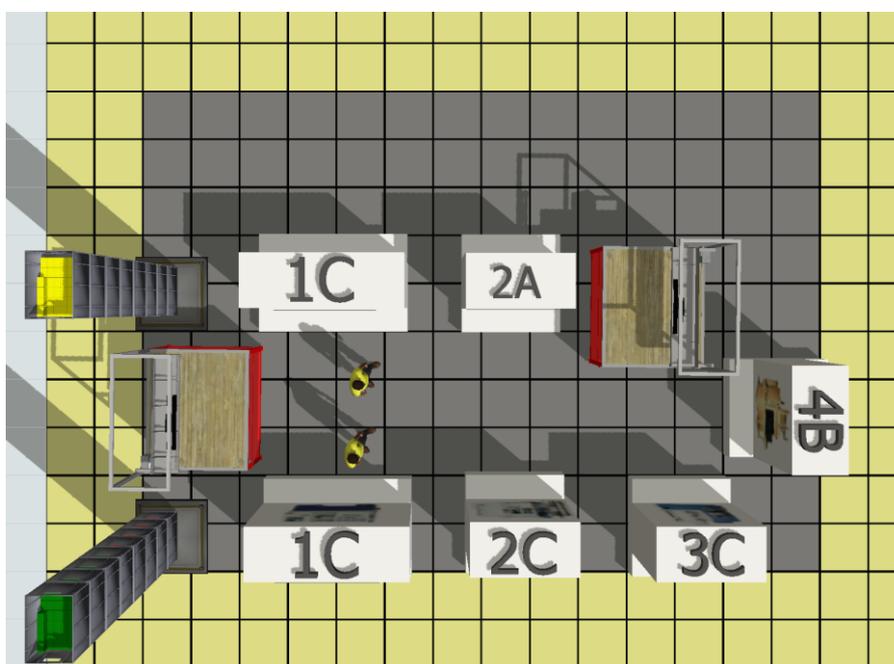


Figura 59 – Construção do layout III

Para finalizar a construção do layout, posicione os operadores de cada máquina à frente da mesma, traga as filas intermediárias (**também redimensionadas**) antes da máquina 5B, posicionando-as após a máquina 4B.

Traga também a máquina 5B para dentro do layout e posicione-a “atrás” da máquina 2A, e ao lado da máquina 5B, posicione sua bancada e em seguida a fila de saída do modelo, como a Figura 60.

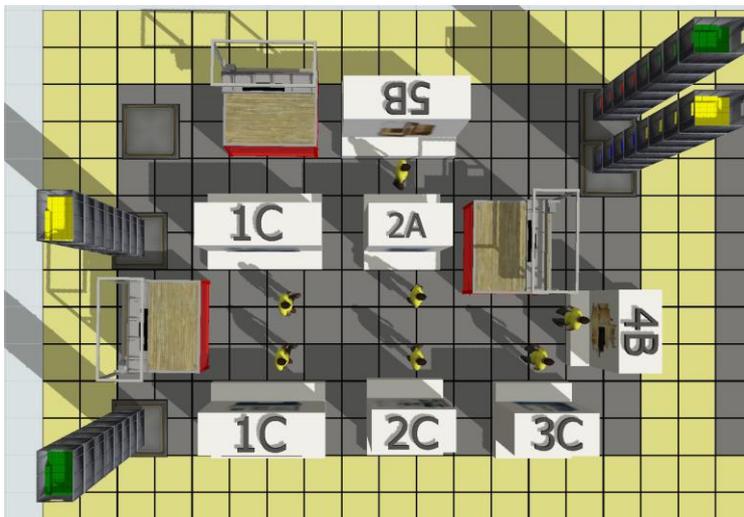


Figura 60 - Construção do layout IV

Após a construção do layout, conecte as máquinas de acordo com o fluxo apresentado acima para cada produto, seguindo a representação da Figura 61.

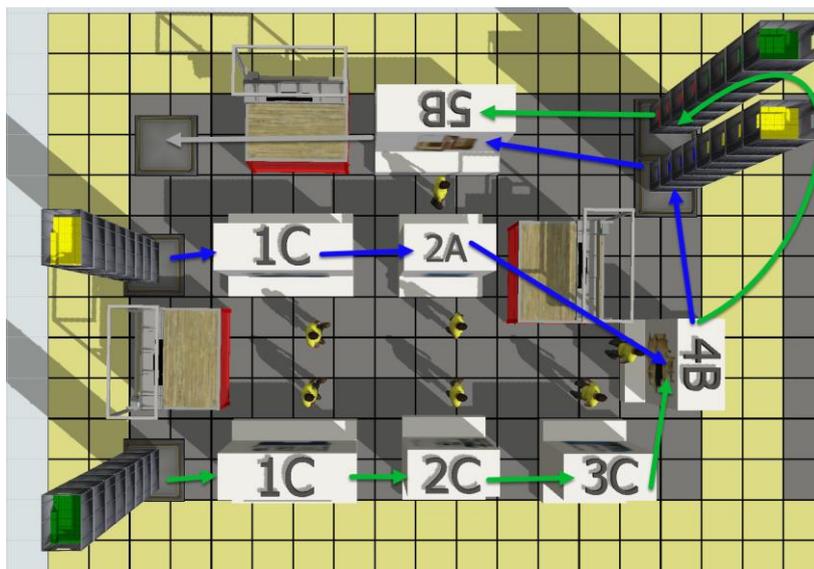


Figura 61 - Fluxo de produtos

Após conectar todas as máquinas, verifique se todas elas estão com a opção do campo “Send to Port” configuradas como “First Available”, **com exceção** da 4B que deve enviar eixos para uma fila e engrenagens para outra. Verifique também a conexão com os operadores e altere o campo “Use transport” para utilizar o operador conectado à primeira porta central, já que neste layout não há operadores intermediários.

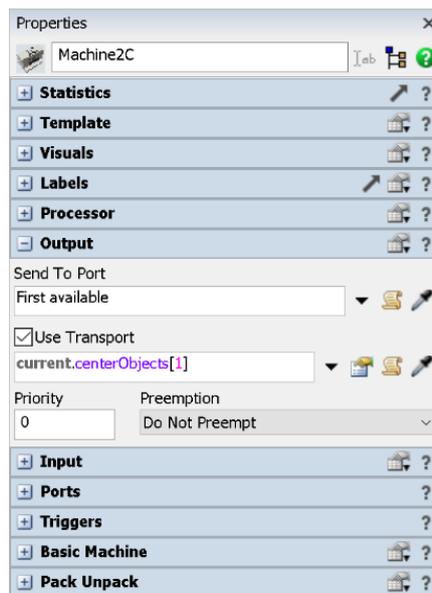


Figura 62 - Use transport máquinas

Agora configure a passagem direta das peças pelas máquinas, ou seja, as peças só serão encaixotadas novamente quando passarem pelas máquinas 2A e 3C, saindo apenas uma peça por vez das máquinas 1C e passando direto para a próxima máquina. Para realizar esta configuração existem uma caixa de seleção localizada na tela de propriedades de cada uma das máquinas.

A opção “pack itens on exit” que faz com que as peças, após serem processadas” sejam empacotadas e liberadas para a próxima máquina. Esta opção será **desmarcada** para as máquinas 1C e 2C, pois as peças serão encaixotadas já nas próximas máquinas 2A e 3C.

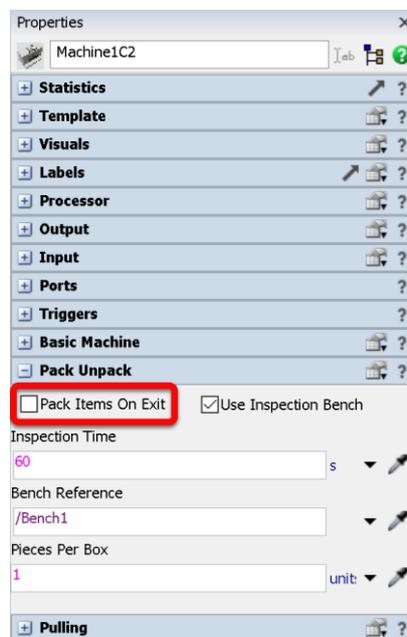


Figura 63 – Opção de não empacotar

Para um refinamento maior da máquina que possui um dos maiores tempos de ciclo do modelo, crie um *Network Node* em frente à máquina 5B e um

em frente à sua bancada de inspeção e defina uma distância virtual nos dois *Network Nodes* de 2m conforme a Figura 64 abaixo.

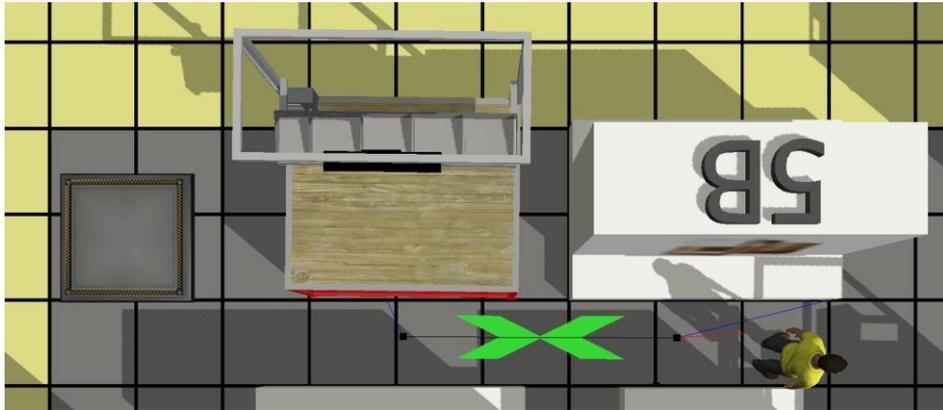


Figura 64 - Network nodes 5B

Após estes passos, seu modelo deve estar configurado corretamente de acordo com o segundo round de melhorias, liberando espaço na fábrica e reduzindo os custos. As análises das melhorias serão feitas posteriormente neste manual.

3ª RODADA DE MELHORIAS

A terceira rodada de melhorias visa agora encapsular todo o processo que é realizado a fim de eliminar mais recursos, otimizar o espaço utilizado e assim aumentar os lucros de toda a operação. O processamento realizado em célula demanda apenas um operador por cada célula de trabalho. Cada célula é composta pelas máquinas que são exclusivas de um tipo de item (Célula de eixos e de engrenagens), assim quando o processamento é finalizado, o mesmo operador que realiza o processo das máquinas e que faz a inspeção é responsável por levar a caixa já processada até a máquina compartilhada (4B) e retirar a caixa de lá e levar para os buffers da 5B, que mantém com seu operador próprio.

O layout da terceira melhoria deve se parecer com a Figura 65 abaixo, em que é possível observar as células compostas pelas máquinas 1C e 2A, e 1C, 2C e 3C, cada uma com um operador.

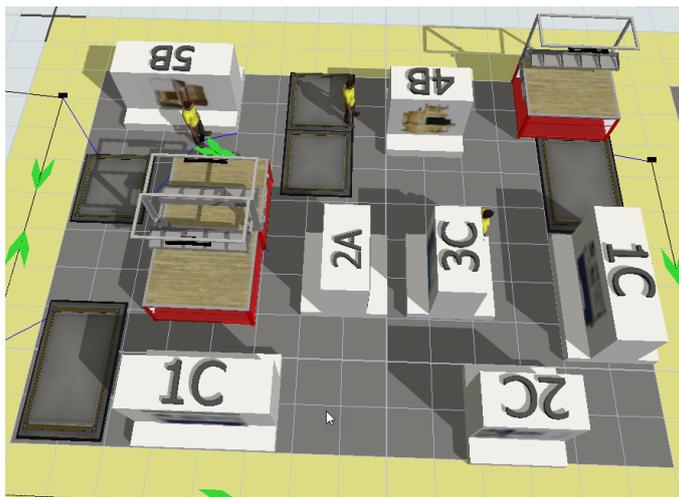


Figura 65 - Layout 3a melhoria

Para a construção deste layout é recomendado novamente mover para fora, pelo menos, os seguintes componentes deste local no chão de fábrica (**não excluir**):

- Máquina 1C engrenagens
- Fila de chegada de engrenagens
- Máquina 2C
- Máquina 3C
- Bancada 1, 2 e 3

Colocando estes itens para fora do quadrado, teremos um layout como o seguinte apresentado na Figura 66 abaixo.

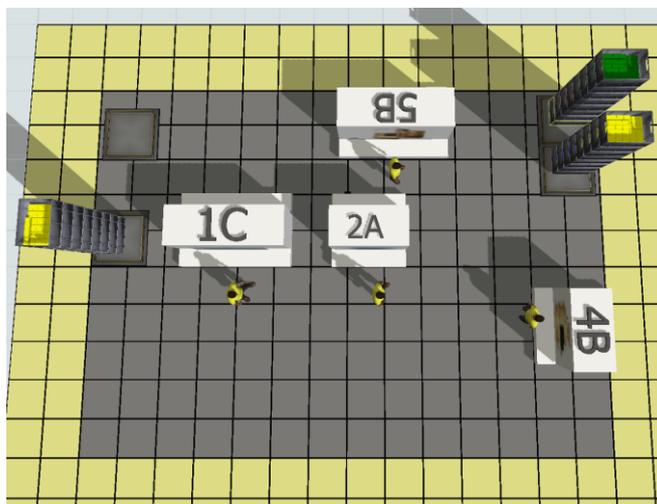


Figura 66 - Construção do layout V

Em seguida, posicione as máquinas e as filas da seguinte maneira. De forma a já começar a estruturar o layout.

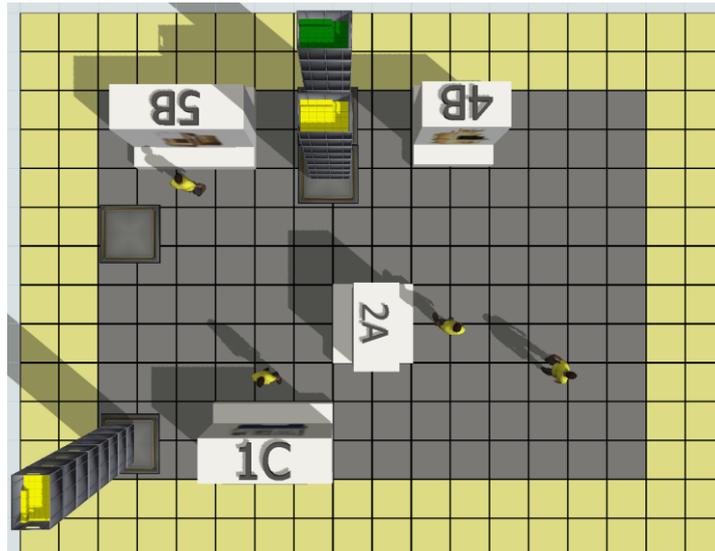


Figura 67 - Construção do layout VI

Em seguida, exclua os operadores conectados às máquinas 2A, 3C, 2C e 4B. Deixe no modelo apenas 3 Operadores, os dois das máquinas 1C e o operador da máquina 5B. Após remover os operadores do modelo, traga as outras três máquinas e a outra fila de entrada para dentro do layout conforme a Figura 68.

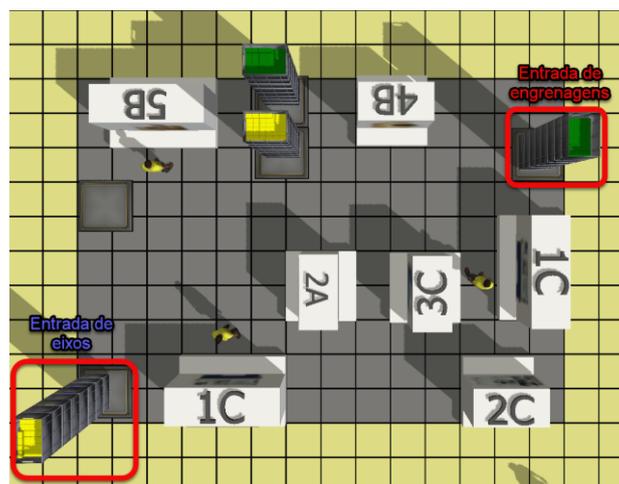


Figura 68 - Construção do layout VII

O fluxo das peças não deve ser alterado, mantenha as conexões inalteradas, configurando apenas as conexões centrais realizadas com os operadores para que seja feito o transporte e o processamento de maneira correta. Traga agora as três bancadas para o layout e posicione-as conforme a Figura 69, neste layout, a máquina 1C e a máquina 2A utilizarão a bancada 2 para inspeção, a máquina 5B continuará utilizando a bancada 3 e as demais máquinas utilizarão a bancada 1. Crie, caso tenha deletado um par de *Network Nodes* para o operador da máquina 5B realizar a inspeção. Caso não tenha deletado os *NN's* apenas os mova de forma que fiquem à frente da máquina e da bancada.

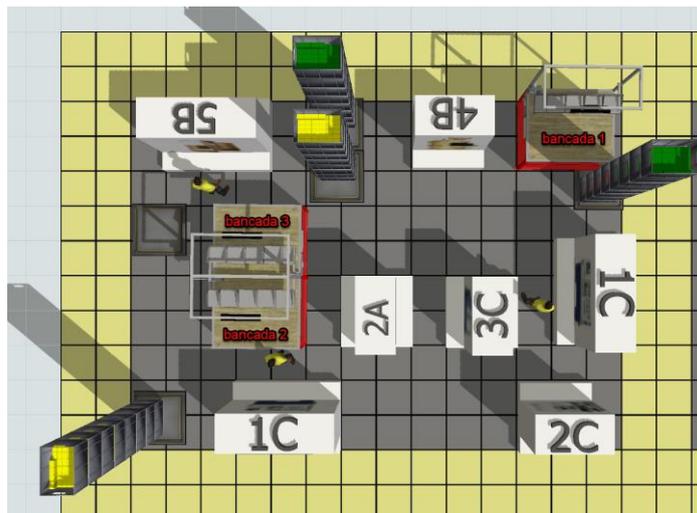


Figura 69 - Construção do layout VIII

Por fim, crie um caminho de *Network Nodes* para que a empilhadeira possa carregar a fila de entrada localizada “atrás” da máquina 1C de engrenagens e a fila de saída da máquina 5B. Não esqueça de conectar também a outra fila de entrada e a fila que fica localizada após a chegada de peças para que a empilhadeira possa realizar o carregamento das caixas para dentro da fábrica. Neste modelo otimizado será excluída a outra empilhadeira visto que apenas uma é capaz de carregar e descarregar as caixas do modelo, o que ajudará na redução dos custos de produção após esta rodada de melhoria.

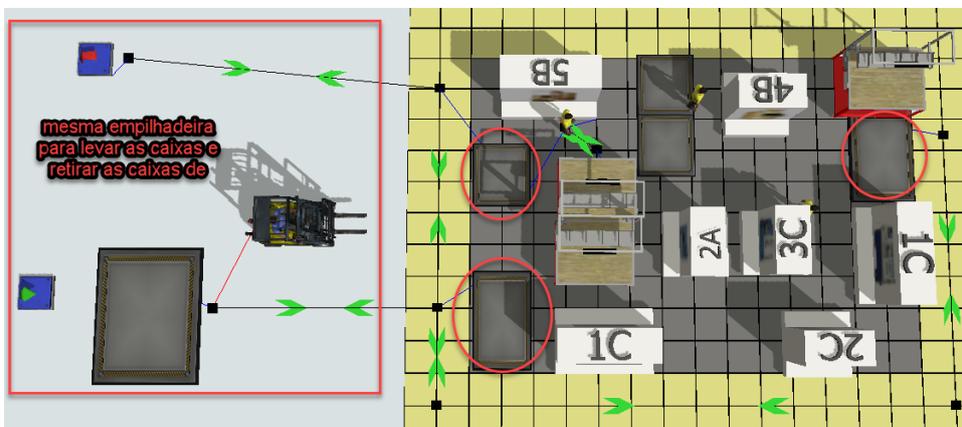


Figura 70 - Empilhadeira

Revisando o fluxo e as conexões, o seu modelo deve estar conforme a terceira rodada de melhoria, apresentando o melhor resultado obtido para este case, otimizando a utilização de espaço e de recursos, diminuindo os custos da produção e aumentando a produtividade da fábrica.

DADOS E ANÁLISES – MODELO BASE

Os modelos simulam uma operação de fábrica que opera com uma carga média horária de 13,6 horas úteis durante um período de 21 dias considerando uma eficiência de 85% sobre 16 horas diárias, este período simulado totaliza

1028160s de simulação. Para definir que a simulação será executada por este período de tempo, abra a janela que possui o campo “Stop Time” localizada na parte superior ilustrada na Figura 71.

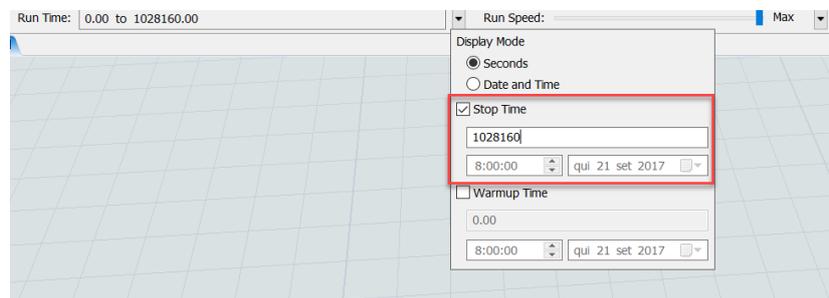


Figura 71 - Model time

No estágio inicial do modelo a fábrica se encontra com todas as máquinas ocupando muito espaço no chão de fábrica, um gargalo de produção que impede a produção da demanda diária de 400 peças e muita movimentação, com necessidade de estoques intermediários, movimentadores e empilhadeiras dentro da fábrica. Confira na Figura 72 como é o estado base da fábrica antes de qualquer melhoria.

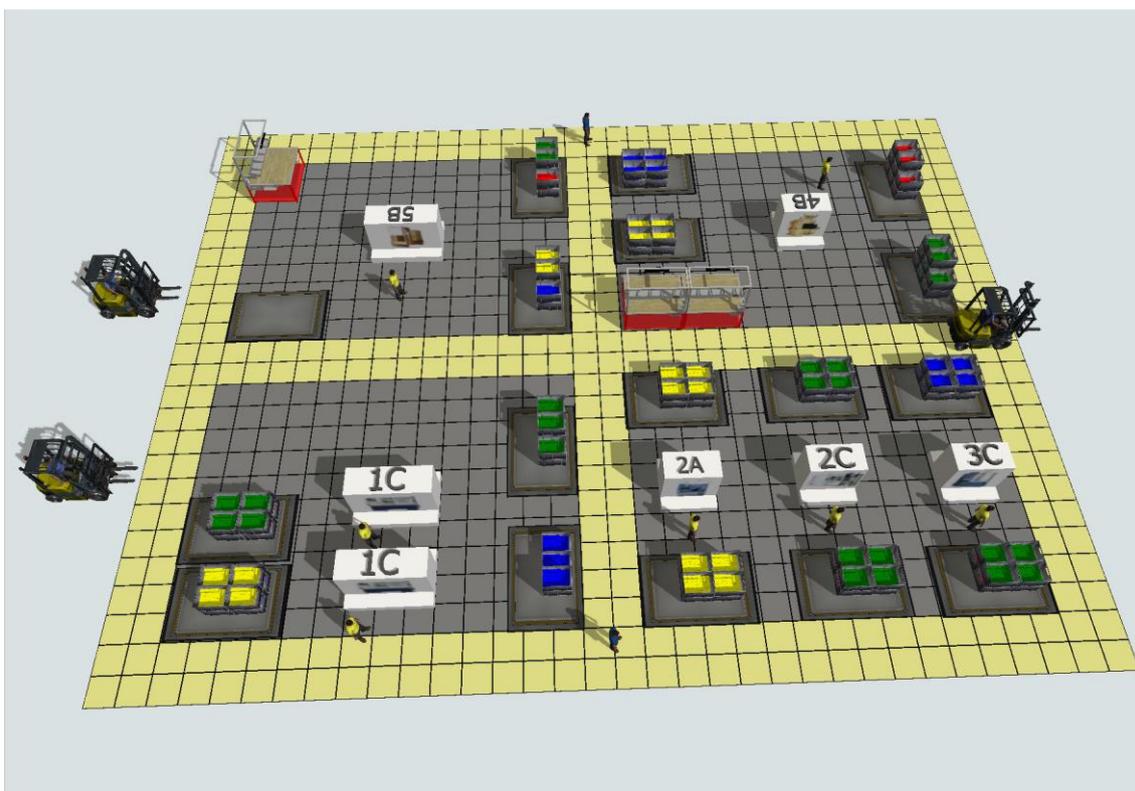


Figura 72 - Layout inicial

Neste estado, temos como gargalo de nossa operação, a máquina 1C, que realiza o setup de engrenagens e eixos, o que eleva consideravelmente seu tempo de ciclo, visto que o tempo de ciclo de cada operação é somado, o que excede o takt time da demanda de 400 peças por dia.

Movimentação	= 20s	+	Movimentação	= 20.00s	= 192.75s
Setup	= 12s		Setup	= 14.25s	
Inspeção	= 2,25s		Inspeção	= 3.85s	
Processamento	= 49s		Processamento	= 71.40s	
<hr/>			<hr/>		
TC Engrenagens	= 83,25s		TC Eixos	= 109.5s	

Figura 73 - Tempo de ciclo 1C]

Considerando que neste estado a máquina 1C é o gargalo de nossa operação e que seu tempo de ciclo **médio** por peça é de 192.75s podemos afirmar que após o tempo de execução do modelo de 21 dias úteis (1028160s com eficiência de 85% por turno) serão produzidas pela máquina 1C aproximadamente 266 caixas, segundo o cálculo apresentado na

Tempo 1028160 / 192,75 =
5334

5334 / 20 peças por caixa
(Produto acabado)= 266 caixas

Figura 74 - Cálculo peças 1C

Após rodarmos o modelo de simulação pelo tempo correspondente aos 21 dias úteis de trabalho, podemos analisar a máquina 1C para verificarmos os resultados da simulação e avaliar se é condizente com os resultados previstos e nossos cálculos.

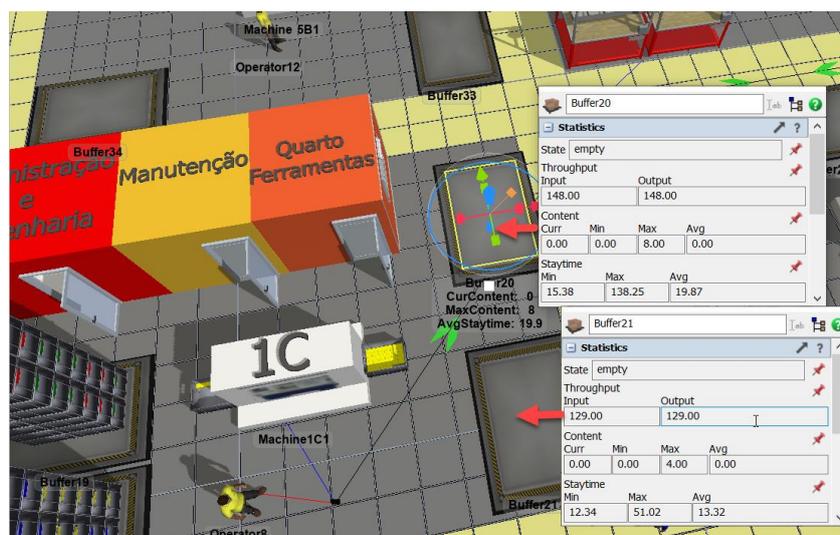


Figura 75 - Estatísticas 1C

O valor apresentado representa então um total de 266 caixas, sendo $149 - 8(\text{caixas iniciais}) + 129 - 4(\text{caixas iniciais}) = 265$ o que é muito assertivo aos cálculos apresentados anteriormente, considerando que foi realizado o cálculo sobre o tempo de ciclo médio da máquina 1C.

DADOS E ANÁLISES – 1ª RODADA DE MELHORIAS

O primeiro round de melhorias consiste em fazer com que a fábrica seja capaz de atingir a demanda de produção de 400 caixas por mês. Para isso foram apresentadas três propostas e a escolhida como mais viável foi a aquisição de mais uma máquina 1C, pois assim cada uma ficará responsável por um dos dois tipos de itens (engrenagens e eixos) o que separa o tempo de ciclo de cada um dos tipos em duas máquinas fazendo com que assim atinjam o takt time necessário.

Para comprovar este resultado, os cálculos da produção se basearão sobre a máquina que possuir o maior tempo de ciclo, que neste caso se trata da máquina 5B, já que o gargalo da máquina 1C foi eliminado. Analisando o seu tempo de ciclo na Figura 76 abaixo podemos realizar o cálculo de quanto será a produção após rodar a simulação.

Movimentação	= 30,0s
Setup	= 9,0s
Inspeção	= 6,6s
Processamento	= 80,0s

TC total	=125,7s

Figura 76 - Tempo de ciclo 5B

Seguindo o mesmo raciocínio para calcular o número de caixas produzidas pela máquina 1C, podemos efetuar o cálculo para a máquina 5B utilizando o tempo de ciclo médio informado acima e chegar ao resultado apresentado na Figura 77.

Tempo 1028160 / 125.7 = 8180
8180 / 40 peças por caixa (Produto acabado)= 204 caixas

Figura 77 - Número de caixas 5B

Rodando o modelo de simulação podemos confirmar este valor ao analisarmos a quantidade de caixas que saem da máquina 5B observando a fila de saída do modelo. Após os 21 dias úteis de trabalho deverá ser possível

constatar o valor de saída na fila de aproximadamente 204 caixas de produto acabado. Para acessar este valor, basta clicar na fila e as estatísticas aparecerão na parte superior do menu das “Quick Properties” e podem ser destacados conforme a Figura 78.

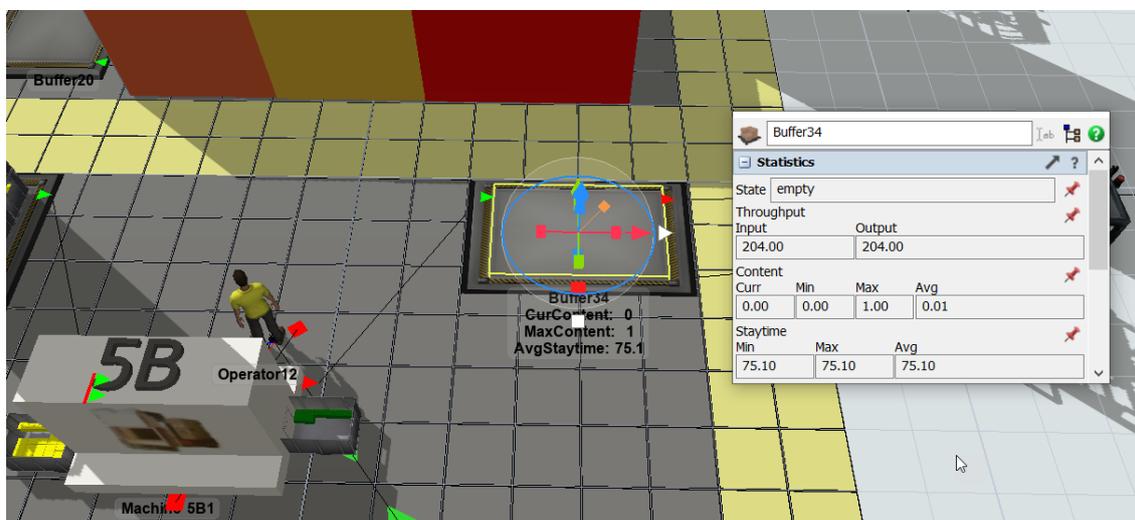


Figura 78 - Resultados primeiro round

Conforme o resultado apresentado na Figura 78 é possível afirmar que o modelo está alinhado com as propostas e cálculos teóricos realizados previamente. Finalizando assim a análise do primeiro round de melhorias.

DADOS E ANÁLISES – 2ª RODADA DE MELHORIAS

No segundo round de melhorias as máquinas se encontram centralizadas em apenas um quadrante da fábrica já com uma redução de equipamentos, estoque intermediário e operadores, com uma disposição do layout configurada como a Figura 79.

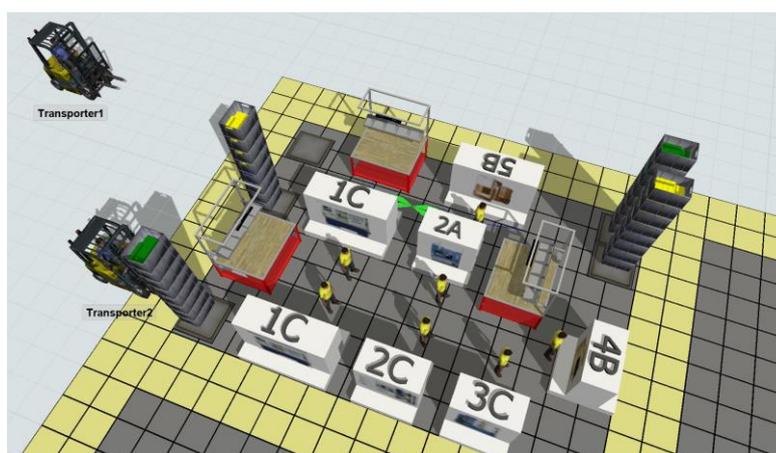


Figura 79 - Layout 2o round

Neste modelo já não contamos mais com gargalos que impedem a produção da demanda, além de já contar com melhorias de redução de layout, movimentação e transporte entre estoques intermediários. Nesta disposição, a

máquina 5B continua a ser a máquina com o maior tempo de ciclo, porém já conta com as melhorias realizadas no setup e na distância da bancada, observe no VSM o tempo de ciclo detalhado de cada máquina.

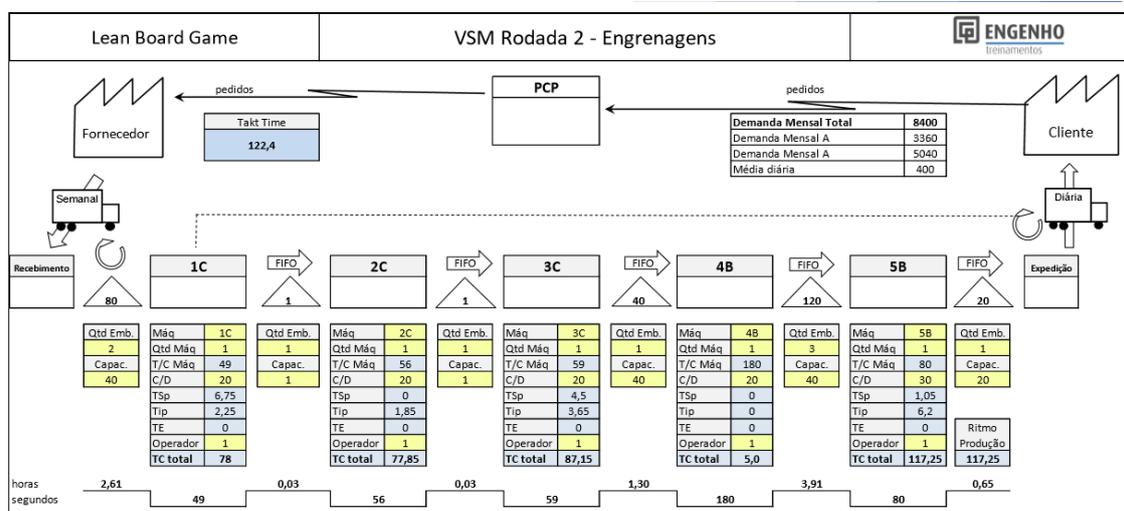


Figura 80 - VSM 2o Round

Neste VSM podemos observar que o tempo de ciclo total da máquina 5B é de 117,25 que dividido pelo tempo total de simulação resulta no número de peças produzidas segundo o cálculo apresentado na Figura 81 abaixo.

$$\begin{aligned} \text{Tempo } 1028160 / 117,25 &= \\ &8769 \\ \\ 8769 / 40 \text{ peças por caixa} \\ (\text{Produto acabado}) &= 219 \text{ caixas} \end{aligned}$$

Figura 81 - Cálculo 2o Round

Para que seja possível confirmar este valor, rode o modelo com a segunda rodada de melhoria configurada e observe a estatística que é apresentada na fila de saída de produtos acabados do modelo, deverá apresentar o mesmo valor calculado acima na Figura 81.



Figura 82 - Resultados 2o Round

Obtendo os dados apresentados na Figura 82, podemos afirmar que o segundo round de melhorias no modelo de simulação está alinhado com o modelo proposto para este case e está pronto para partir para a análise da terceira e última rodada de melhorias.

DADOS E ANÁLISES – 3ª RODADA DE MELHORIAS

No terceiro round de melhorias é aplicado o conceito de células de produção, redução de operadores e a retirada de mais uma empilhadeira, ficando apenas uma responsável por realizar a carga e a descarga das caixas no chão de fábrica. O principal objetivo deste round é poder eliminar certos componentes e utilizar um layout que permita a continuidade da produção, ou seja, reduzir os custos sem afetar a produtividade.

Para que esta rodada seja validada, é preciso comprovar que ela manteve a produção da rodada anterior mesmo utilizando um número reduzido de operadores e recursos. Mesmo com as melhorias de distância e da produção em célula, a máquina gargalo 5B não foi alterada, fazendo com que o tempo de ciclo médio da operação permanecesse o mesmo, portanto a produção deverá se manter em 219 caixas após o tempo de simulação ser rodado. Vamos rodar a simulação.

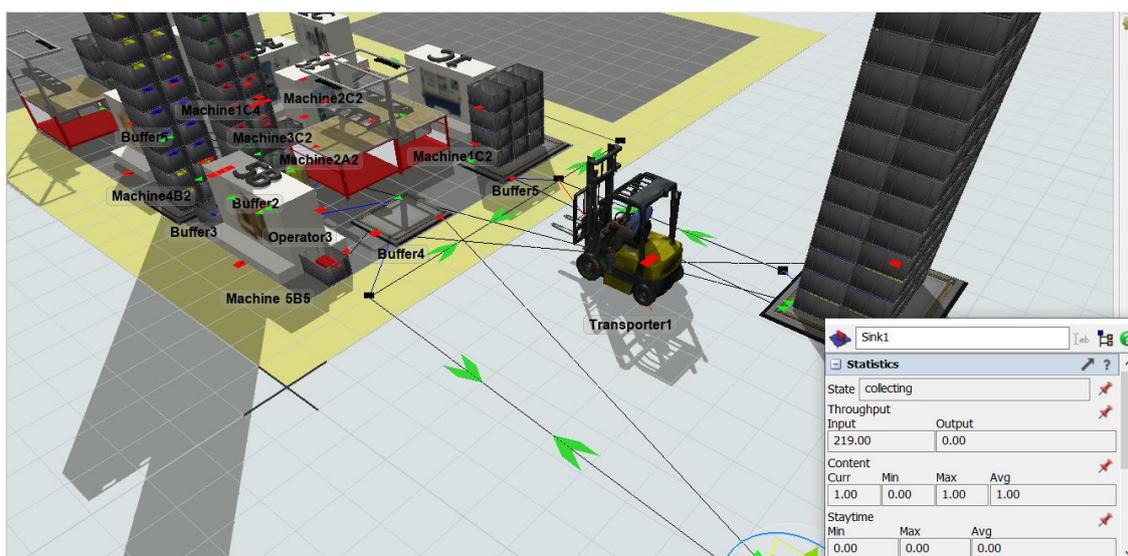


Figura 83 - Resultados 3o Round

Observando os resultados obtidos na Figura 83, é possível visualizar que o resultado continua condizente com os cálculos realizados e que a melhoria foi um sucesso, mantendo o nível de produção com um custo reduzido, visto que a redução de pessoal e recursos gerará uma economia mensal, valorizando assim o produto acabado e aumentando consequentemente os lucros da empresa. Este resultado finaliza a validação da terceira rodada de validação deste case.

FINALIZADO

Parabéns, você concluiu com êxito a execução do modelo completo do Lean Board Game com todas as rodadas de melhorias. Com estes modelos você pôde analisar a diferença que a montagem de layout, adoção de estratégias e redução de procedimentos podem impactar no resultado de uma simulação. Para explorar mais estes fatores, fique à vontade para alterar os tempos e dados do modelo e analisar as mudanças que ocorrem no decorrer da simulação, como por exemplo, aquisição de novas máquinas, alteração dos tempos de setup, processamento, inspeção etc. Você poderá estudar o impacto que cada mudança realizada irá causar, e ver como o case irá se comportar em um cenário de maior duração como por exemplo, seis meses, um ano e assim por diante.

Para uma leitura mais aprofundada deste case completo, acesse o artigo publicado em <http://www.informs-sim.org/wsc16papers/299.pdf>.