

5

Simulação Computacional

5.1

Mapeamento do Processo

Antes de descrever o processo do Produto Placa de Vedação é interessante rever algumas definições encontradas na literatura.

“... processo é definido como qualquer atividade que recebe uma entrada (*input*), agrega-lhe valor e gera uma saída (*output*) para um cliente interno ou externo, fazendo uso dos recursos da organização para gerar resultados concretos” (Harrington, 1993).

“... processo integra pessoas, ferramentas e métodos para executar uma seqüência de passos com o objetivo definido de transformar determinadas entradas em determinadas saídas” (Carvalho & Chiossi 2001).

De acordo com Soliman (1999), a técnica de mapeamento do processo consiste em detalhar o processo de negócio focando os elementos importantes que influenciam em seu comportamento atual. Dentre as técnicas usadas para se descrever um processo, encontram-se, entre outras, o uso do fluxograma, do mapofluxograma e do mapeamento do fluxo de valor.

O fluxograma consiste em uma técnica de mapeamento que permite o registro de eventos que ocorrem durante a execução de uma tarefa específica, ou durante uma série de ações no fluxo real. Já o mapofluxograma é a representação do fluxograma do processo em uma planta de edifício ou na própria área em que a atividade se desenvolve, onde as linhas mostram a direção do movimento, e os símbolos do gráfico do fluxo do processo estão inseridos nas linhas para indicarem o que está sendo executado. Enquanto que o mapeamento do fluxo de valor é um método de modelagem para construção de cenários de manufatura de todas as atividades que ocorrem desde a obtenção da matéria-prima até a entrega ao consumidor, levando-se em consideração tanto o fluxo de materiais como o de informações (Correia et al. 2002). Existem ainda diversas outras técnicas como, *Blueprint*, *IDEF3*, *UML*, *DFD*, dentre outras.

Neste trabalho, foi utilizada a técnica do fluxograma para mapeamento do processo da unidade de fabricação do produto Placa de Vedação, já que através dela é possível reunir o layout de todos os processos envolvidos na produção.

De modo resumido, o produto Placa de Vedação pode ser definido como um material composto por: Borrachas, Matérias Secas e Fibras, sendo que as borrachas utilizadas podem ser do tipo sintético e/ou natural; as matérias secas compostas de cargas minerais, ativadores, aceleradores, agente de vulcanização e corantes e as fibras de origem orgânica e/ou inorgânica. A quantidade de cada um dos componentes define um tipo de produto conforme uma formulação. A mistura de cada produto é preparada na área de reatores formando uma massa, essa por sua vez é encaminhada para a área de calandras, onde são laminadas as Placas de Vedação.

As atividades necessárias para o processamento do produto estão descritas na Figura 16. Essa abordagem inicia-se com a solicitação das matérias-primas ao almoxarifado, não sendo considerado no estudo o processo de compras e estocagem das matérias-primas, já que o abastecimento do almoxarifado é de responsabilidade de outra unidade. Deste modo, foi considerado que o processo de abastecimento de matéria-prima para a unidade de Placa de Vedação tem capacidade infinita, ou seja, sempre haverá matéria-prima disponível para uso.

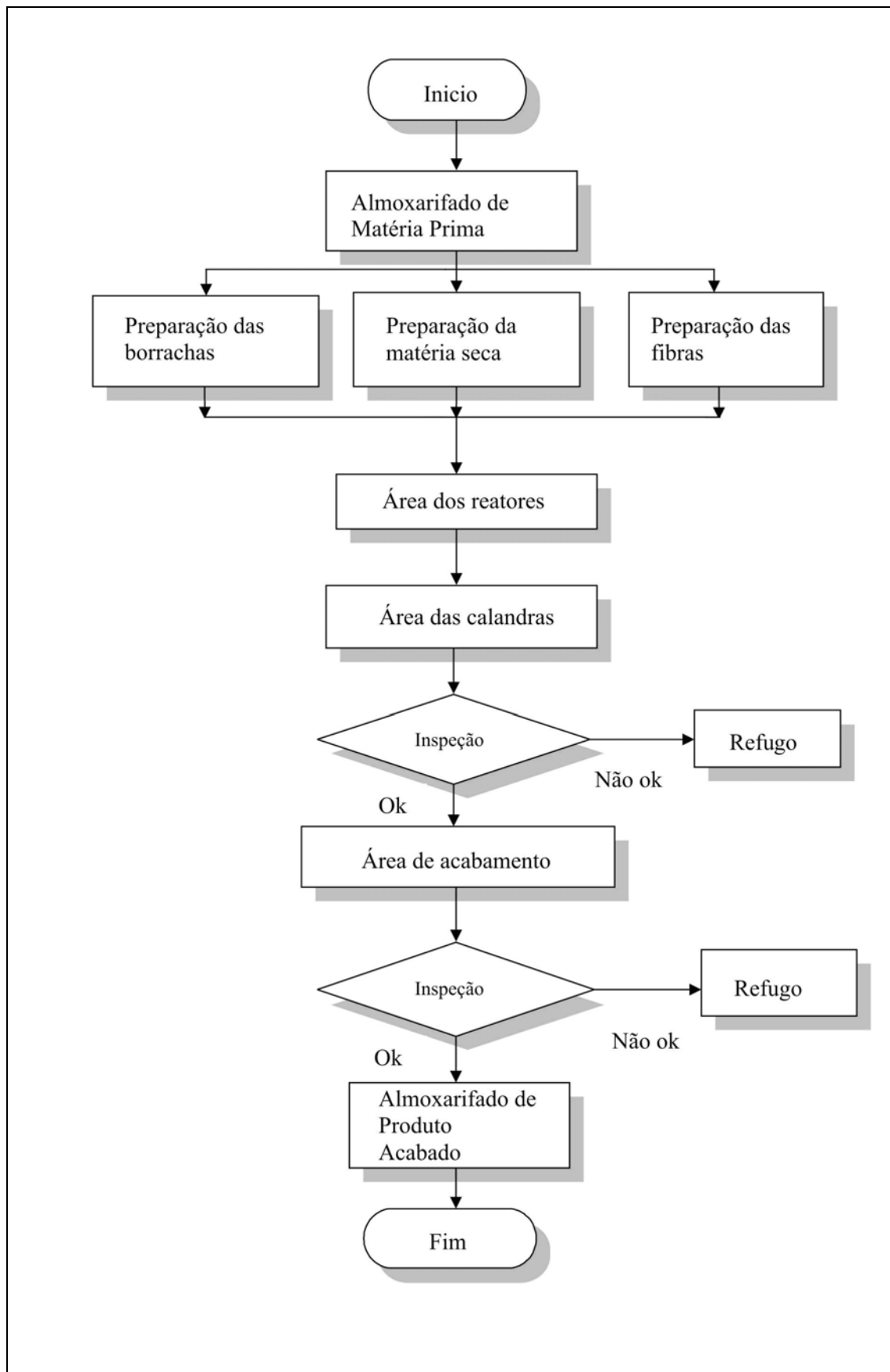


Figura 16: Fluxograma do processo de fabricação da Placa de Vedação

As matérias-primas oriundas do almoxarifado são direcionadas para as respectivas áreas de preparação. Na área de preparação das borrachas executam-se as atividades de corte, moagem, pesagem e armazenagem dos kits de borrachas. Na área de preparação das matérias secas são feitas às pesagens formando os kits de matéria seca. Na área de preparação das fibras efetuam-se as atividades de moagem, pesagem e armazenagem dos kits de fibras.

A área dos reatores é o local onde se processam as misturas. O operador de mistura busca os kits de borracha, de matéria seca e de fibra e alimenta o reator conforme procedimentos de fabricação. Ao término do tempo de processamento, a mistura é descarregada em um carrinho e fica armazenada na própria área dos reatores.

O transporte do carrinho da mistura da área dos reatores até a área de calandra é feito pelo operador de calandra. Nesta área ocorre à laminação das Placas de Vedação que ficam armazenadas sobre mesas móveis, onde serão inspecionadas. O material classificado é então transportado para a área de acabamento pelos operadores de acabamento, enquanto que o material desclassificado segue para o refugo.

Na área de acabamento realizam-se as atividades de corte, aplicação de antiaderente e impressão da logomarca. Ocorre também uma segunda inspeção onde o material desclassificado segue para o refugo e o classificado é transportado para o almoxarifado de produto acabado (APA) onde fica armazenado, para posterior embalagem de acordo com as solicitações dos pedidos.

A unidade em estudo funciona em três turnos de segunda a sábado nos horários de 05h45 as 14h00, de 14h00 as 22h15 e de 22h15 as 05h45. A manutenção preventiva é realizada sempre aos domingos, portanto não será considerada nesse estudo. Todos os transportes dessa unidade são realizados de forma manual pelos operadores, com exceção na saída do almoxarifado de matéria-prima e na entrada do almoxarifado de produto acabado que são feitos por empilhadeiras. Por motivos estratégicos e de confidencialidade, não será revelada a real capacidade produtiva instalada nessa unidade. Isto não compromete o estudo proposto, já que o objetivo do trabalho é mostrar o potencial da aplicação da ferramenta de simulação computacional, utilizando o software Arena, propondo o melhor cenário dos recursos máquinas/operadores e fluxo do processo para atender a demanda prevista.

5.2

Coleta de Dados para Simulação

De acordo com os autores Law & Kelton (2000), a simulação trabalha com dados específicos de cada processo, tratando também de suas anormalidades e aleatoriedade. A coleta de dados para Harrel *et al.* (2004) é um dos pontos mais importantes do processo de simulação, pois, segundo os autores, se os dados não forem consistentes o modelo também não o será.

Para a modelagem desse estudo foram utilizados os dados históricos das médias e desvios padrões que são usados para programar toda a unidade. Esses parâmetros foram obtidos através de um levantamento de dados, coletados ao longo de um período de 12 meses nos processos de preparação das borrachas, matéria seca e fibra e nas áreas dos reatores, calandras e acabamento, estando também considerados os dados relativos às fadigas mentais e físicas, ineficiências, preparações, refeições e até mesmo as necessidades fisiológicas. Para análise dos dados foi utilizado o software Statgraphics Centurion que sugeriu uma distribuição probabilística normal através dos testes Chi – Squared, Shapiro – Wilk W e Skewness Z – score.

Mesmo assim foram feitas entrevistas com os especialistas dos processos (operadores e engenheiros) para se comparar e validar esses dados. Entretanto, por motivos de confidencialidade, os dados apresentados neste capítulo foram corrigidos por um fator. Essa correção não alterou a proposta do estudo e as simulações então obtidas não traduzem a realidade da fábrica, mas demonstram as possíveis alternativas de cenários produtivos, auxiliando aos gestores nas suas análises e tomadas de decisão, o que está de acordo com o objetivo desse trabalho.

5.3

Modelo de Simulação Computacional

Para reproduzir os diversos cenários e estimar os respectivos resultados foram utilizados os dados da previsão de demanda obtidos pelo Método II relativos ao período 49 para cada mercado, já mencionados no item 4.4. A modelagem proposta para a fábrica Placa de Vedação foi feita para cada um dos cinco mercados separadamente, conforme apresentados no Capítulo 4.

Para um melhor entendimento desse assunto é necessário que se façam algumas definições, tais como:

Entidades: representam qualquer objeto que se mova pelo sistema;

Atributos: são as características próprias de cada entidade, servem como etiquetas, que ficam estampadas nas entidades podendo ser utilizadas no momento da tomada de decisão;

Filas: representam uma série de entidades enfileiradas uma atrás da outra que por algum motivo não pode seguir o fluxo normal do processo;

Recursos: são os elementos (máquinas e operadores) que não se movimentam pelo fluxo lógico do processo.

Com relação aos dados estatísticos, o software ARENA possui um banco de dados que armazena os dados relativos à simulação do modelo proposto. Dessa forma, ao final de cada simulação, o software emite um relatório que possui vários indicadores de desempenho relativos aos processos, recursos e filas contendo, por exemplo, tempo de utilização e capacidade ocupada de cada recurso, tempo de espera e tamanho das filas, custos, entre outros.

Para a modelagem proposta foram definidas como entidades: borracha, matéria seca e fibra; como recursos: os operadores de cada área, os reatores e as calandras; como filas: os processos de borracha, matéria seca, fibra, reatores, calandras e acabamento.

Os indicadores de desempenho utilizados para avaliar o melhor cenário dos recursos máquinas/operadores e fluxo do processo visando atender a demanda prevista foram: o tempo médio na fila (TF), ou seja, o tempo médio que uma entidade leva esperando na fila para ser atendida em um recurso; a utilização média do recurso (UR), expressada pela razão entre o tempo efetivamente gasto durante o processamento e o tempo total disponível; o total processado em cada recurso/processo (TMP): de borracha, de fibra, de matéria seca, dos reatores, das calandras, do acabamento e o total processado que chegou ao final do sistema disponível para dar entrada no almoxarifado de produto acabado. Todos os tempos utilizados nessa modelagem estão em minutos.

Em seguida serão apresentadas as análises e a modelagem para cada tipo de mercado.

5.3.1

Mercado A

Para esta análise foi considerado o dado da previsão de demanda de 83617 kg. Como cada mistura possui um peso médio de 220 kg, será necessário que ao final do período tenha sido processado o equivalente a 381 misturas (TMP) para o almoxarifado de produto acabado. Foram ponderados também rendimentos de 95% e 98%, respectivamente, nas áreas de calandra e acabamento relativos à inspeção.

Para a entrada de dados foram definidas três entidades: borracha, fibra e matéria seca. Para a preparação do processo de borracha, foram utilizadas 25 chegadas de 17 entidades, com um intervalo de 1440 minutos entre cada chegada. O processo das atividades de corte, moagem, pesagem e armazenagem dos kits de borrachas seguem uma distribuição $N(11,0.5)$ dimensionado para um turno e dois operadores. A área de preparação de fibras utiliza a mesma modelagem de entrada, sendo que o seu processo de moagem, pesagem e armazenagem dos kits de fibras segue uma distribuição $N(43,2)$ dimensionada para três turnos com um operador em cada um. Na área de preparação de matéria seca utiliza-se a mesma modelagem que a preparação de borracha. A Figura 17 ilustra a modelagem desse contexto.

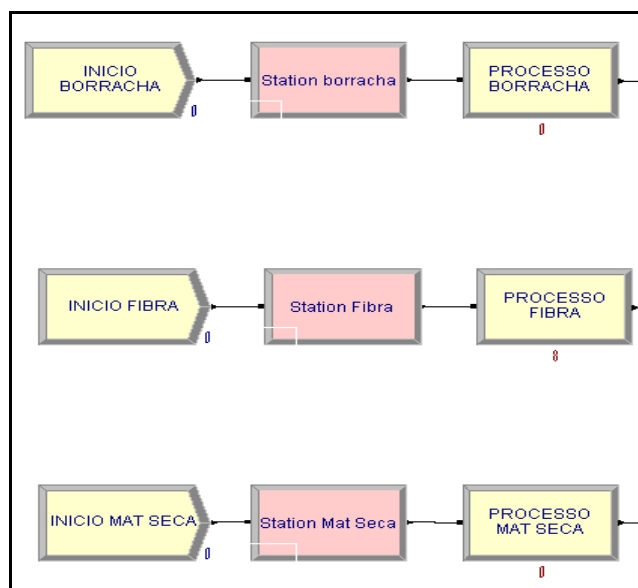


Figura 17: Ilustração das entidades de entrada

Para garantir que um kit de cada entidade vá para a área de reatores, foi necessário utilizar os módulos *Mach* e *Bach*. A partir deste ponto, é possível considerar este conjunto como uma entidade. Esta modelagem está ilustrada na Figura 18.

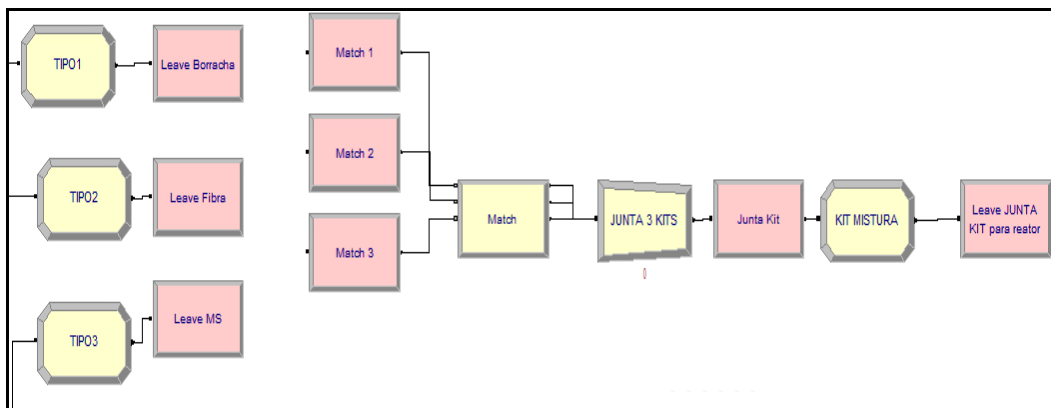


Figura 18: Ilustração da junção dos kits para a formação da mistura

Na área de reator, para garantir uma utilização equilibrada dos mesmos, foi utilizado o módulo “*pickstation*” com um tempo de transferência de 1 minuto e com o menor valor para o somatório das quantidades nas filas, nas rotas e nos recursos. Foi criada também uma fila única, com a finalidade de aguardar a liberação dos reatores (*Seize: PREPARACAO*), cuja capacidade de mistura e junção dos três kits nesta fila fica condicionada a quantidade de reatores necessários para o atendimento da demanda. Essa relação é de uma mistura na espera para cada reator utilizado. Esta área possui um operador por reator e trabalha em três turnos. Cada reator processa uma mistura seguindo uma distribuição $N(100,4)$. A Figura 19 mostra a modelagem proposta para essa área.

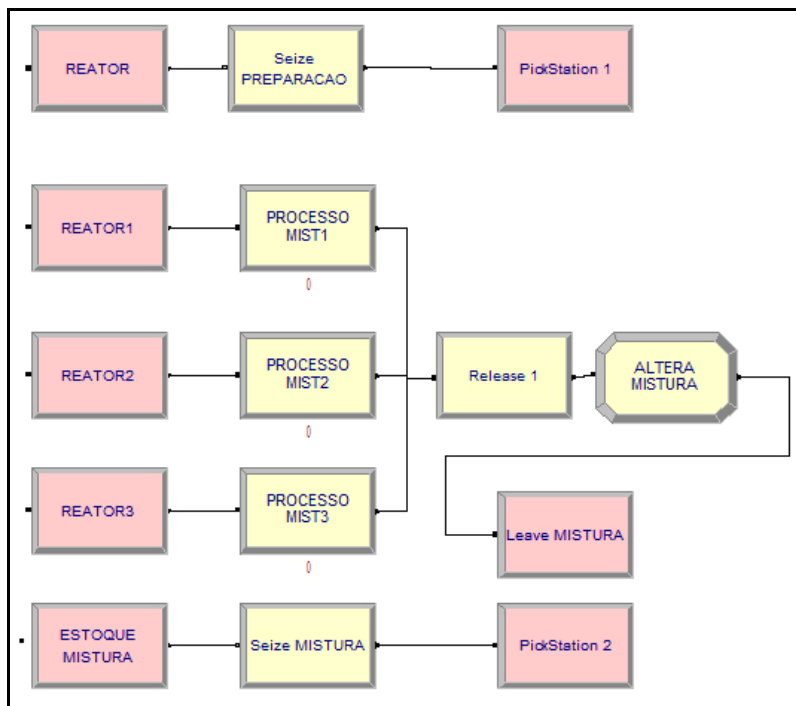


Figura 19: Ilustração da área de reator

Para a área de calandra, também foi utilizado o módulo “*pickstation*” com a mesma modelagem da área dos reatores, conforme Figura 20. Nesta área ocorre à laminação das Placas de Vedação, sendo que cada calandra processa uma mistura seguindo uma distribuição $N(160,5)$ somente para o mercado do tipo A. Esta área foi dimensionada para funcionar em três turnos com dois operadores por calandra. Para caracterizar a inspeção nesta área foi utilizado o módulo “*Decide*” com duas opções de desvio probabilístico, onde as folhas classificadas seguem para a área de acabamento com um tempo de transferência de 5 minutos e as desclassificadas para o refugo.

Uma condição importante a ser analisada é a de que só se deve iniciar o processo em um reator quando a mistura anterior tiver entrado na área de calandras. Isto é feito para evitar que a mistura fique mais de quatro horas na fila, evitando assim uma vulcanização precoce. Esta condição fez com que fosse criada uma fila única de espera (*Seize: MISTURA*) antes de entrar na área de calandras. A capacidade de mistura nesta fila fica dependente da quantidade de calandras necessárias para o atendimento da demanda. Essa relação é de uma mistura na espera para cada calandra utilizada.

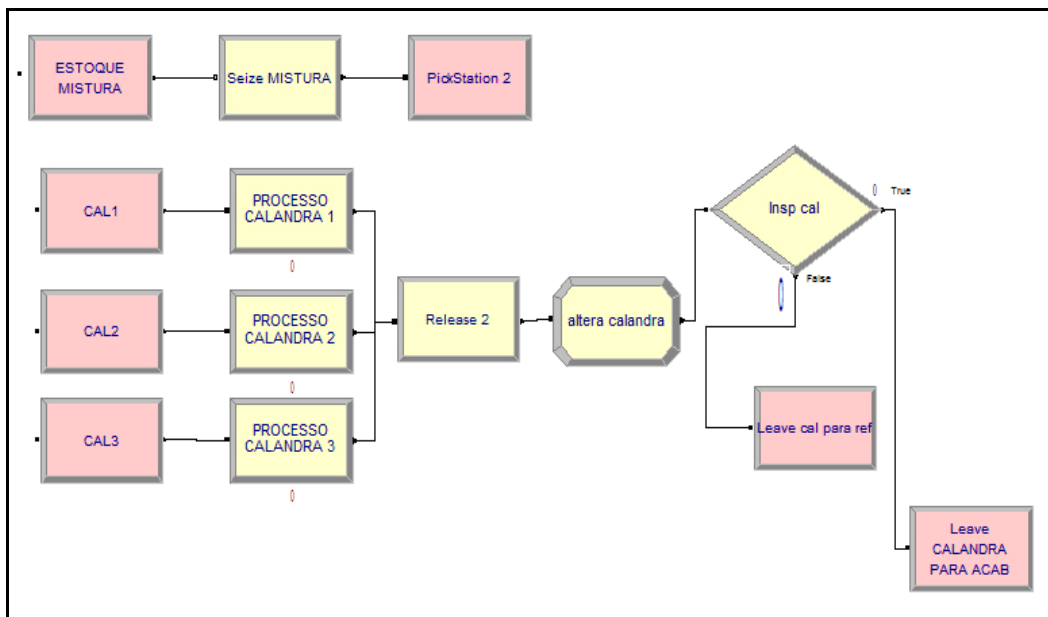


Figura 20: Ilustração da área de calandra

Os processos de corte, aplicação de antiaderente e impressão da logomarca realizados na área de acabamento seguem a distribuição $N(8,0.2)$ e trabalha em um turno com quatro operadores. Nesta área ocorre também uma segunda inspeção, caracterizada pelo módulo “*decide*”, que segue o mesmo propósito da área de calandra aonde o material desclassificado vai para o refugio e o classificado é transportado para o almoxarifado de produto acabado, com um tempo de 2 minutos, onde fica armazenado, para posterior embalagem de acordo com as solicitações dos pedidos. A Figura 21 ilustra esse contexto.

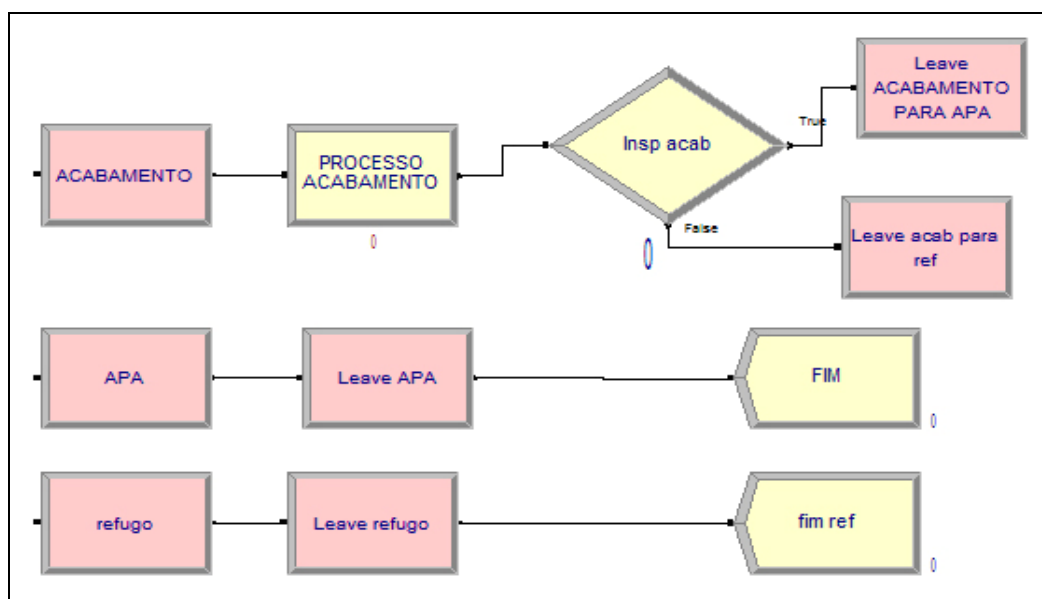


Figura 21: Ilustração da área de acabamento e entrada ao APA

A animação da modelagem proposta contendo os recursos, entidades, processos, filas e os indicadores de desempenho esta ilustrada na Figura 22.

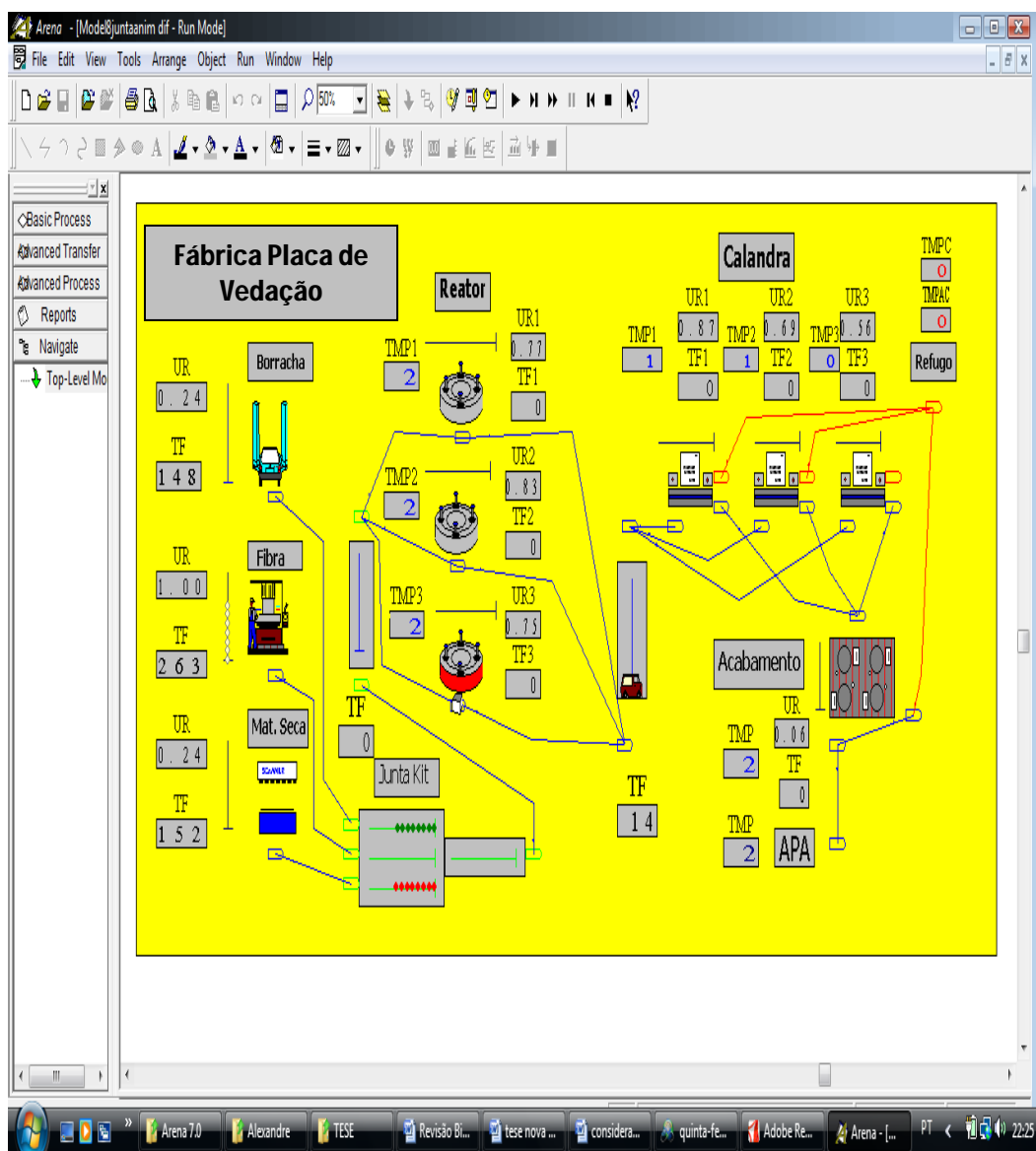


Figura 22: Representação ilustrativa da animação para a unidade de Placa de Vedação

Através da análise dos indicadores de desempenho e das distribuições citadas anteriormente é possível verificar as ociosidades e/ou excessos para cada área e propor o melhor cenário para alocação dos recursos para este mercado. Assim sendo duas propostas foram analisadas: (a) cenário com três reatores e três calandras e (b) cenário com dois reatores e duas calandras.

Cenário (a):

Os resultados obtidos nesse cenário estão apresentados na Tabela 20. Com base nesses indicadores, observa-se a existência de uma ociosidade nas áreas de

borracha, de fibra, de matéria seca, de reator e de acabamento, sendo que na área de reator, verifica-se que o indicador de desempenho UR foi menor que 0.5 para cada um dos três reatores. O mesmo resultado também foi verificado na área de calandra, ou seja, ociosidade caracterizada pelo UR menor do que 0.7, também para cada calandra. O indicador de desempenho TF das filas únicas da área de reator e de calandra foi de 0 e 75 minutos, respectivamente. Com esta suposição obteve-se um TMP final para dar entrada ao APA de 398 misturas, o que atenderia com facilidade a demanda prevista.

Tabela 20: Desempenho dos recursos para um cenário com 3 reatores e 3 calandras – Mercado A.

Processo	TF	UR	TMP	Total de Turnos	Nº de operadores/Turno
Borracha	88	0.13	425	1	2
Fibra	347	0.51	425	3	1
Matéria Seca	88	0.13	425	1	2
Reator1	0	0.42	150	3	1
Reator2	0	0.42	150	3	1
Reator3	0	0.35	125	3	1
Total Reator	-	-	425		
Calandra1	0	0.67	150	3	2
Calandra2	0	0.67	150	3	2
Calandra3	0	0.56	125	3	2
Total Calandra	-	-	425		
Acabamento	0	0.09	405	1	4
APA	-	-	398		

Cenário (b):

Na segunda suposição, cujos resultados estão apresentados na Tabela 21, observa-se que para o Mercado A este seria o cenário mais indicado. As áreas de borracha, fibra, matéria seca e acabamento continuam apresentando ociosidade, indicando a possibilidade de absorver outros mercados. Na área de reator, embora também se verifique uma ociosidade para os dois reatores com o indicador de desempenho UR de 0.56 e 0.50 respectivamente, não seria possível processar esse total de misturas em apenas um reator, pois excederia o tempo total disponível. Pode-se então aproveitar melhor a relação número de operador de mistura por

reator. Outra possibilidade seria utilizar o tempo disponível para produzir misturas de outros mercados. No caso da área de calandra bastam duas calandras para atender a demanda do mercado A com os UR's de 0.95 e 0.94, mostrando que praticamente todo o tempo disponível já esta sendo utilizado. Os tempos médios de espera para atendimento nas filas únicas da área de reator e calandra foram de 59 e 228 minutos, respectivamente. O indicador de desempenho TMP final dessa modelagem para dar entrada ao APA foi equivalente a 395 misturas, o que esta acima do mínimo previsto que foi de 381 misturas atendendo-se, portanto sem problemas a demanda prevista para esse mercado.

Tabela 21: Desempenho dos recursos para um cenário com 2 reatores e 2 calandras – Mercado A

Processo	TF	UR	TMP	Total de Turnos	Nº de operadores/Turno
Borracha	88	0.13	425	1	2
Fibra	345	0.50	425	3	1
Matéria Seca	88	0.13	425	1	2
Reator1	0	0.62	225	3	1
Reator2	0	0.56	200	-	-
Reator3	-	-	-	-	-
Total Reator	-	-	425		
Calandra1	0	0.95	213	3	2
Calandra2	0	0.94	210	3	2
Calandra3	-	-	-	-	-
Total Calandra	-	-	423		
Acabamento	0	0.09	404	1	4
APA	-	-	395	-	-

5.3.2

Mercado B

Para este mercado foi considerado o dado da previsão de demanda de 65370 kg. Como cada mistura possui um peso médio de 220 kg, será necessário que ao final do período tenha sido processado o equivalente a 298 misturas para o almoxarifado de produto acabado. Esse mercado apresenta os piores rendimentos nas áreas de calandra e acabamento em relação aos outros mercados. A inspeção

apresenta dados de 88% e 92% respectivamente. Estes dados se devem a grande exigência desse mercado, com especificações mais rigorosas e por dificuldades operacionais na fabricação dos produtos.

Para a área de preparação dos processos de borracha, fibras e matéria seca foram utilizadas 25 chegadas de 15 entidades, com um intervalo de 1440 minutos entre cada chegada, para cada um desses processos. Os demais processos seguem as mesmas condições do Mercado A sendo que as suas distribuições probabilísticas estão descritas na Tabela 22.

Tabela 22: Distribuição probabilística dos processos – Mercado B

Processo	Distribuição
Borracha	N(11,0.5)
Fibras	N(43,2)
Matéria seca	N(11,0.5)
Reatores	N(100,4)
Calandras	N(260,6)
Acabamento	N(10,0.4)

Com as distribuições probabilísticas da Tabela 22 e com as análises dos indicadores de desempenho verifica-se que a modelagem proposta para esse mercado sugere um cenário composto por dois reatores e três calandras. Os resultados estão apresentados na Tabela 23.

Igualmente ao Mercado A, percebe-se que as áreas de borracha, fibra, matéria seca e acabamento atendem com facilidade a demanda prevista, UR's de 0.11, 0.45, 0.11 e 0.11 respectivamente. Com a ociosidade existente pode-se, por exemplo, absorver outros mercados. Na área de reator, embora se verifique outra ociosidade para os dois reatores, UR's de 0.56 e 0.49, não seria possível processar esse total de misturas com apenas um reator, pois da mesma maneira que o Mercado A, excederia o tempo disponível. Observa-se também a possibilidade de aproveitar melhor a relação número de operador de mistura por reator ou novamente utilizá-los para absorver a demanda de outros mercados. Para a área de calandra seriam necessárias três calandras para atender a demanda do Mercado B com o indicador de desempenho UR apresentando 0.90 para as três, portanto, pode-se, por exemplo, usar essa disponibilidade de 0.10 para fabricar os produtos *make to stock*. Verifica-se para essa modelagem que os tempos das filas únicas

foram de 50 e 219 minutos para as áreas de reator e calandra respectivamente. O indicador de desempenho TMP final (APA) foi de 307 misturas, um pouco acima ao dado da demanda prevista que equivale a 298 misturas.

Tabela 23: Desempenho dos recursos para um cenário com 2 reatores e 3 calandras – Mercado B.

Processo	TF	UR	TMP	Total de Turnos	Nº de operadores/Turno
Borracha	77	0.11	375	1	2
Fibra	303	0.45	375	3	1
Matéria Seca	77	0.11	375	1	2
Reator1	0	0.56	200	3	1
Reator2	0	0.49	175	-	-
Reator3	-	-	-	-	-
Total Reator	-	-	375		
Calandra1	0	0.90	124	3	2
Calandra2	0	0.90	124	3	2
Calandra3	0	0.90	124	-	-
Total Calandra	-	-	372		
Acabamento	0	0.09	329	1	4
APA	-	-	307	-	-

5.3.3

Mercado C

O dado da previsão de demanda usado para o Mercado C foi de 55945 kg. Como cada mistura possui um peso médio de 220 kg, será necessário que ao final do período tenha sido processado o equivalente a 256 misturas para o almoxarifado de produto acabado. A inspeção nas áreas de calandra e acabamento apresenta dados de rendimento de 92% e 99% respectivamente.

Na área de preparação do processo de borracha, fibras e matéria seca foram utilizadas 25 chegadas de 12 entidades, com um intervalo de 1440 minutos entre cada chegada, para cada um desses processos. Os demais processos seguem as mesmas condições do Mercado A, sendo que os dados relativos aos processos de fabricação estão descritos na Tabela 24.

Tabela 24: Distribuição probabilística dos processos – Mercado C

Processo	Distribuição
Borracha	N(11,0.5)
Fibras	N(43,2)
Matéria seca	N(11,0.5)
Reatores	N(100,4)
Calandras	N(140,4)
Acabamento	N(8,0.2)

A modelagem proposta para esse mercado, tendo como base as distribuições probabilísticas citadas na Tabela 24 e os indicadores de desempenho, sugere um cenário composto de um reator e de duas calandras de acordo com os resultados apresentados na Tabela 25.

Verifica-se novamente para as áreas de borracha, fibra, matéria seca e acabamento a presença de ociosidade, conforme apresenta o indicador de desempenho UR de 0.09, 0.36, 0.09 e 0.06, respectivamente, sinalizando outra vez a possibilidade de absorver outros mercados. Na área de reator, mesmo com um, ainda possui o UR de 0.84 de ocupação, o que sugere a possibilidade de absorver produtos de outros mercados. No caso da área de calandra, os indicadores mostram que uma calandra não teria capacidade para atender todo o Mercado C, pois teria o indicador UR maior do que 1, portanto é necessário que se utilizem duas calandras. Uma sugestão para otimizar essa situação seria, por exemplo, usar uma calandra dedicada a esse mercado e uma fração da outra ao longo deste período. O tempo de espera foi de 373 e 0 minutos para as filas únicas das áreas de reator e calandra respectivamente.. Para esse mercado o TMP final (APA) foi de 273 misturas, o que satisfaz a demanda prevista que equivale a 256 misturas atendendo com facilidade o Mercado C. Novamente, como sugestão, verifica-se a possibilidade de produzir os produtos *make to stock* aproveitando essa disponibilidade.

Tabela 25: Desempenho dos recursos para um cenário com 1 reator e 2 calandras – Mercado C

Processo	TF	UR	TMP	Total de Turnos	Nº de operadores/Turno
Borracha	60	0.09	300	1	2
Fibra	237	0.36	300	3	1
Matéria Seca	60	0.09	300	1	2
Reator1	0	0.84	300	3	1
Reator2	-	-	-	-	-
Reator3	-	-	-	-	-
Total Reator	-	-	300		
Calandra1	0	0.59	150	3	2
Calandra2	0	0.58	150	3	2
Calandra3	-	-	-	-	-
Total Calandra	-	-	300		
Acabamento	0	0.06	274	1	4
APA	-	-	273	-	-

5.3.4

Mercado D

Para o Mercado D foi utilizado o dado de demanda de 28405 kg. Como cada mistura possui também um peso médio de 220 kg, será necessário que ao final do período tenha sido processado o equivalente a no mínimo 130 misturas para o almoxarifado de produto acabado. A inspeção nas áreas de calandra e acabamento relata dados relativos aos rendimentos de 90% e 95% respectivamente.

Para a área de preparação dos processos de borracha, fibras e matéria seca foram utilizadas 25 chegadas de 6 entidades, com um intervalo de 1440 minutos entre cada chegada, para cada processo. Os demais processos seguem as mesmas condições do mercado A sendo que os dados relativos aos processos de fabricação com suas distribuições probabilísticas estão apresentados na Tabela 26.

Tabela 26: Distribuição probabilística dos processos – Mercado D

Processo	Distribuição
Borracha	N(11,0.5)
Fibras	N(43,2)
Matéria seca	N(11,0.5)
Reatores	N(100,4)
Calandras	N(180,4)
Acabamento	N(10,0.4)

Os indicadores de desempenho para o Mercado D, relatados na Tabela 27, foram obtidos com a modelagem de um cenário de um reator e uma calandra. Para essa modelagem foram utilizados os dados de processo apresentados na Tabela 26. As análises dos indicadores de desempenho demonstram ser este o cenário mais indicado para esse mercado.

Para as áreas de borracha, fibra, matéria seca e acabamento, apresentam o indicador de desempenho, UR de 0.04, 0.18, 0.04 e 0.04 respectivamente. Novamente observa-se que essas áreas atendem com facilidade a demanda prevista. Na área de reator, mesmo utilizando apenas um, percebe-se que a sua ocupação não é total com o UR de 0.42, o que sugere novamente a possibilidade de, por exemplo, utilizá-lo na fabricação de produtos de outros mercados. O mesmo raciocínio pode ser feito para a área de calandras que com apenas uma, possui o UR de 0.75. Ressalta-se também que para as áreas de reator e calandra o indicador de desempenho TF para as filas únicas foi de 147 e 203 minutos, respectivamente. O TMP processado ao final do processo foi equivalente a 127 misturas. Observa-se que esta abaixo do mínimo para esse mercado que prevê 130 misturas. Porém como nos mercados anteriores o TMP esta acima dos seus respectivos mínimos de mistura, verifica-se que esta diferença pode ser absorvida em outro mercado. Outra possibilidade é de que essa diferença seja produzida nesse mesmo mercado, devido aos UR's já abordados.

Tabela 27: Desempenho dos recursos para um cenário com 1 reator e 1 calandra – Mercado D

Processo	TF	UR	TMP	Total de Turnos	Nº de operadores/Turno
Borracha	27	0.04	150	1	2
Fibra	108	0.18	150	3	1
Matéria Seca	27	0.04	150	1	2
Reator1	0	0.42	150	3	1
Reator2	-	-	-	-	-
Reator3	-	-	-	-	-
Total Reator	-	-	150		
Calandra1	0	0.75	150	3	2
Calandra2	-	-	-	3	2
Calandra3	-	-	-	-	-
Total Calandra	-	-	150		
Acabamento	0	0.04	135	1	4
APA	-	-	127		

5.3.5

Mercado E

Para a análise do Mercado E utilizou-se o dado da previsão de demanda de 12791 kg. Nesse mercado, diferente dos outros, o peso médio de cada mistura é de 150 kg, será então necessário que ao final do período tenha sido processado um mínimo equivalente a 86 misturas para o almoxarifado de produto acabado. Nas áreas de calandra e acabamento foram utilizados os dados de rendimentos de 94% e 98% respectivamente, relacionados à inspeção.

A área de preparação dos processos de borracha, fibras e matéria seca utilizou 25 chegadas de 4 entidades, com um intervalo de 1440 minutos entre cada chegada, para cada processo. Os demais processos seguem as mesmas condições do mercado A sendo que os dados relativos aos processos com suas distribuições probabilísticas estão descritos na Tabela 28.

Tabela 28: Distribuição probabilística dos processos – Mercado E

Processo	Distribuição
Borracha	N(11,0.5)
Fibras	N(43,2)
Matéria seca	N(11,0.5)
Reatores	N(110,5)
Calandras	N(160,4)
Acabamento	N(8,0.2)

O Mercado E possui o menor dado de previsão de demanda (12791 kg) e o menor peso médio de mistura (150 kg). Considerando os dados relativos aos processos desse mercado, com as suas distribuições probabilísticas, conforme tabela 28 e uma análise dos indicadores de desempenho, chega-se a conclusão que o melhor cenário para a alocação dos recursos desse mercado é o de um reator e o de uma calandra, de acordo com os dados apresentados na Tabela 29.

A alocação dos recursos do Mercado E está semelhante ao do Mercado D. Os indicadores de desempenho, apresentam as áreas de borracha, fibra, matéria seca e acabamento novamente com ociosidade podendo assim atender os outros mercados, conforme demonstrado no indicador de desempenho UR de 0.03, 0.12, 0.03 e 0.02, respectivamente. Na área de reator, mesmo utilizando apenas um, verifica-se que a sua ocupação não é total, possui o UR de 0.30, o que sugere que se possa utilizá-lo para outros produtos, como por exemplo, absorvendo os produtos do Mercado D. O mesmo raciocínio pode ser feito para a área de calandra, que com apenas uma, possui uma ocupação de 0.44 e pode também ser utilizada para produzir os produtos do Mercado C. O indicador de desempenho TF das filas únicas foi de 102 e 76 minutos para as áreas de reator e calandra, respectivamente. O TMP final (APA) para esse mercado foi de 91 misturas, o que satisfaz com facilidade a demanda prevista que equivale a 86 misturas.

Tabela 29: Desempenho dos recursos para um cenário com 1 reator e 1 calandra – Mercado E

Processo	TF	UR	TMP	Total de Turnos	Nº de operadores/Turno
Borracha	16	0.03	100	1	2
Fibra	64	0.12	100	3	1
Matéria Seca	16	0.03	100	1	2
Reator1	0	0.30	100	3	1
Reator2	-	-	-	-	-
Reator3	-	-	-	-	-
Total Reator	-	-	100		
Calandra1	0	0.44	100	3	2
Calandra2	-	-	-	3	2
Calandra3	-	-	-	-	-
Total Calandra	-	-	100		
Acabamento	0	0.02	93	1	4
APA	-	-	91	-	-

5.4

Considerações

A verificação e a validação das modelagens propostas são de extrema importância para a análise dos resultados apresentados. Para o desenvolvimento desse trabalho foram utilizados os dados históricos ajustados da fábrica Placa de Vedação. Além disso, durante todo o trabalho de modelagem, verificou-se a participação dos especialistas desse processo, contribuindo com suas considerações. Um dos métodos apresentados na literatura para validação das modelagens é dos autores Harrel *et al.* (2004) que consideram ser imprescindível que haja envolvimento tanto das pessoas que conhecem o sistema a ser modelado quanto àqueles que vão tomar as decisões durante o desenvolvimento do modelo. Portanto, apesar da correção feita nos dados históricos, às modelagens foram consideradas válidas pelos especialistas da área visto que não apresentaram nenhuma discrepância em relação aos fluxos produtivos existentes. Outro fator que contribuiu para a validação desses modelos foi à possibilidade de visualização dos fluxos dos processos, obtido com o software Arena, contribuindo também para as análises dos especialistas e participantes desse processo.

Com as modelagens propostas, foi possível verificar para cada processo as limitações e as ociosidades em suas capacidades, assim como também as suas principais filas e suas utilizações, possibilitando identificar gargalos e desbalanceamentos da linha. Com essas informações, é possível reagir com antecedência às variações das demandas propondo soluções, que otimizem os recursos e atendam as necessidades de cada mercado.

Pode-se verificar também que com a ajuda da ferramenta de simulação computacional é possível otimizar a alocação dos operadores. Por exemplo, considerando as análises feitas para os cinco mercados apresentadas nos itens 5.3.1 a 5.3.5 é possível obter os tempos de ocupação de cada processo. A partir desses valores determina-se a quantidade de processos necessários para atender a demanda da semana 49, conforme apresentado na Tabela 30.

Tabela 30: Tempo de ocupação e quantidade de processos para atender a demanda do período 49

Área	Tempo de ocupação (h)	Quantidade de Processos
Borracha	3.30	1
Matéria Seca	3.30	1
Fibra	38.64	2
Reator	90.24	4
Calandra	166.80	7
Acabamento	2.48	1

Os dados apresentados na Tabela 30 indicam uma ociosidade nos tempos de ocupação para as áreas de borracha, matéria seca e acabamento, com 3.30, 3.30 e 2.48 horas, respectivamente, ou seja, é necessário menos de um turno de ocupação. Tal desbalanceamento pode ser contornado melhorando a alocação dos operadores, por exemplo, os operadores do processo de borracha podem absorver as atividades do processo de matéria seca. No caso da área de acabamento, embora tenha apresentado somente um tempo de ocupação de 2.48 horas, não foi contemplado na modelagem o tempo destinado às atividades envolvendo o refugo, portanto manteve-se a equipe de quatro operadores.

Já para área de fibra observa-se que é necessário um tempo de ocupação de 38,64 horas, ou seja, esta área não será capaz de atender a demanda solicitada

mesmo trabalhando em três turnos, portanto será necessário ter dois processos de fibra um com três e outro com dois turnos, totalizando cinco operadores. Outra opção seria manter três turnos e terceirizar a diferença para o atendimento da demanda prevista.

Utilizando a mesma análise para as áreas de reator e calandra, verifica-se que a área de reator precisa ter 4 processos operando em três turnos, portanto recomendam-se quatro operadores por turno. Na área de calandras necessita de sete processos operando em três turnos, o que sugere dois operadores por calandra por turno, totalizando quarenta e dois operadores.

Assim sendo, considerando a relação de operadores por processo já existentes na Unidade e a análise dos dados da Tabela 30 é possível apresentar uma proposta de alocação de operadores de modo a tentar otimizar a linha, conforme a Tabela 31.

Tabela 31: Estrutura proposta para atender a demanda do período 49

Área	Tempo de ocupação (h)	Quantidade de Processos	Nº turno	Nº de operadores por turno	Total de operadores
Borracha	3.30	1	1	2	2
Matéria Seca	3.30	1	1	0	0
Fibra	38.64	2	2.5	1	5
Reator	90.24	4	3	1	12
Calandra	166.80	7	3	2	42
Acabamento	2.48	1	1	4	4

Outro fator a ser destacado é a possibilidade de a empresa saber antecipadamente qual a disponibilidade para fabricação dos produtos *make to stock* e, portanto escolher qual a melhor estratégia a ser adotada, através dos planejamentos de produção.

Outro benefício observado com o uso da simulação computacional de grande proveito para a empresa, foi de que com a aplicação dos modelos propostos é possível obter uma visão sistêmica dos efeitos que alterações nos processos terão sobre o desempenho global dos fluxos de produção, possibilitando a criação de cenários futuros sem a necessidade de investimentos reais. Dessa forma, o tomador de decisão pode conhecer as conseqüências de suas ações,

permitindo uma melhor avaliação dos sistemas logísticos e tendo como consequência uma maior eficiência na utilização dos recursos, na redução dos estoques intermediários e finais, menores custos operacionais, dentre outras.