

SIMULAÇÃO COM OTIMIZAÇÃO PARA ANÁLISE DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE PASTA DIAMANTADA

elaine cristina goncalves moreira (uenf)
elainemoreira20@yahoo.com.br

Joao Jose de Assis Rangel (ucam)
joao@ucam-campos.br

Eglon Rhuan Salazar Guimaraes1 (ucam)
eglon_rhuan@hotmail.com

Ana Lucia Dieguez Skury (uenf)
lucia@uenf.br

Ana Carolina de Almeida Sa (ucam)
carolalmeidas@gmail.com



O presente trabalho teve como objetivo analisar a linha de produção de pasta de diamante de uma empresa de produção de ferramentas diamantadas em fase de incubação. O método de análise teve como base a modelagem e simulação a eventos discretos combinada com otimização combinatória. Os dados foram coletados diretamente na empresa, através de entrevistas realizadas com a equipe técnica da mesma. Os resultados obtidos com os modelos puderam auxiliar os gestores a compreenderem melhor a dinâmica do sistema produtivo e os elementos envolvidos em suas regras operacionais. Destaca-se ainda que a simulação computacional é uma importante ferramenta de análise de sistemas que se encontram em fase de implantação, como neste caso. Os softwares de simulação computacional disponíveis possibilitam analisar cenários de um sistema produtivo com precisão e confiabilidade em um ambiente virtual de animação gráfica. Os principais resultados apresentados neste trabalho foram: números de operadores e a alocação das respectivas tarefas, taxa de utilização de recursos do sistema (operadores e máquinas) e o número de seringas de pastas produzidas em um determinado período de tempo.

Palavras-chaves: Simulação, Otimização, Pasta Diamantada

1. Introdução

O objetivo deste trabalho é apresentar um modelo de simulação com otimização, para a análise do processo de produção de Pasta Diamantada. O referido processo faz parte da linha de produtos da empresa ABRASDI. Tal empresa está localizada no município de Campos dos Goytacazes (RJ), que devido à sua proximidade a um pólo de rochas ornamentais do país, é considerado um local estratégico para a produção e comercialização de ferramentas diamantadas, utilizadas no beneficiamento destas rochas. Esta empresa está sendo incubada pela TEC-Campos (incubadora de empresas da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF),

O Brasil é um dos maiores produtores e exportadores de rochas ornamentais do mundo. O estado do Espírito Santo é o principal pólo de rochas ornamentais do país, com destaque para o município de Cachoeiro de Itapemirim, próximo à cidade de Campos dos Goytacazes. No estado do Rio de Janeiro, a região Noroeste também é rica em rochas ornamentais, com enfoque para o município de Santo Antônio de Pádua (MOREIRA; MANHÃES; HOLANDA, 2005).

Apesar de o país se destacar neste cenário, e grande parte das ferramentas diamantadas utilizadas no processamento das pedras serem produzidas no país, os principais insumos ainda são importados (destacando o diamante). Com isso, estas ferramentas, muitas vezes, não apresentam propriedades compatíveis com as rochas nacionais (ZEPEDA, 2009). Neste contexto, visando atender à produção de ferramentas diamantadas mais adaptadas às propriedades da região, é que a empresa ABRASDI está se configurando. A linha de produtos que a empresa se prepara para produzir é: Pasta e Sapatas diamantadas, utilizadas no polimento de rochas, e ainda as Serras e os Fios diamantados, que serão utilizados para o corte.

Devido ao fato da empresa estar em fase de implantação, tornou-se relevante a análise do processo de produção de Pasta Diamantada, utilizando a Simulação Computacional de Eventos Discretos apresentada em Banks (2010). A Simulação propicia que cenários de um sistema produtivo possam ser representados com precisão e confiabilidade em um ambiente virtual. As principais medidas de desempenho avaliadas foram o lead time do processo e a quantidade de operadores, considerando como restrições o custo da produção e a qualidade do produto.

Segundo Cheng, Feng e Hsu (2006) existem duas formas de usar a simulação na avaliação e melhoria do desempenho de um processo. Uma delas é selecionar todas as configurações de recursos disponíveis e então executar a simulação para cada uma delas, analisando os resultados encontrados. Tal processo pode ser muito tedioso e consumir muito tempo. Outra, consiste em testar algumas combinações de recursos, com base em algum critério de seleção, na tentativa de otimizar o desempenho do processo avaliado.

Neste sentido, utilizou-se a otimização combinada à simulação, como um processo que testa várias combinações de diferentes valores para as variáveis controláveis, na tentativa de buscar uma solução ótima (HARREL *et al.* 2000).

O uso crescente de técnicas combinadas com a simulação tem se expandido, como apresentado em Montevechi (2010). Em relação à combinação da simulação com a otimização, pode-se destacar que também tem sido muito difundida, com destaque para artigos publicados, como (PINHO E MORAIS, 2010), citando apenas o contexto nacional. E,

além disso, a principal Conferência Mundial de Simulação (*Winter Simulation Conference - WSC*), já conta com uma nova seção sobre o tema.

Assim, o presente trabalho apóia a empresa ABRASDI no desenvolvimento da tecnologia relativa à produção de Pasta Diamantada, através de uma análise por simulação computacional e otimização do processo. Os cenários investigados na fabricação das respectivas Pastas foram elaborados a partir da tecnologia que está sendo desenvolvida pelos pesquisadores do LAMAV/UENF.

Pretendeu-se neste estudo analisar também o tempo total da produção da linha, a taxa de utilização dos operadores e máquinas, além de propor a melhor utilização destes recursos. Na segunda fase dos experimentos foram incluídos alguns fatores, tornando necessária a análise por otimização. Possibilitando a identificação de cenários considerados ótimos diante da grande quantidade de variações possíveis. Para isto foi utilizado o aplicativo OptQuest[®], disponível no pacote de instalação do software Arena12[®].

2. Descrição Física do Sistema

Os processos pertinentes à fabricação da Pasta Diamantada estão apresentados na Figura 1. O espaço físico da empresa ABRASDI, é dividido em áreas de: estoque, escritórios, banheiros e a parte fabril, onde estão localizadas as máquinas.

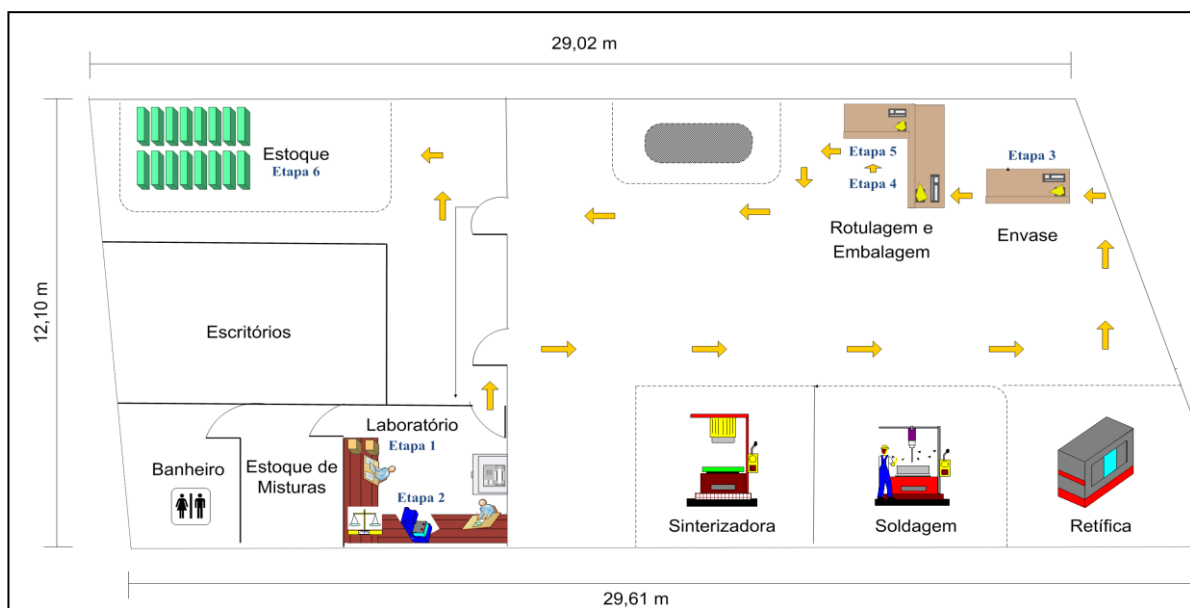


Figura 1 - Espaço físico da ABRASDI

A produção da Pasta inicia no laboratório com a análise e pesagem dos componentes da matéria-prima (Etapa 1), em seguida, estes são encaminhados até a misturadora, onde serão misturados em quantidade e tempo determinados. Vale ressaltar que a capacidade da misturadora utilizada neste processo é de 5 litros, o que permite uma produção máxima de 5 litros de pasta diamantada a cada processamento, ou seja, 1000 seringas por batelada.

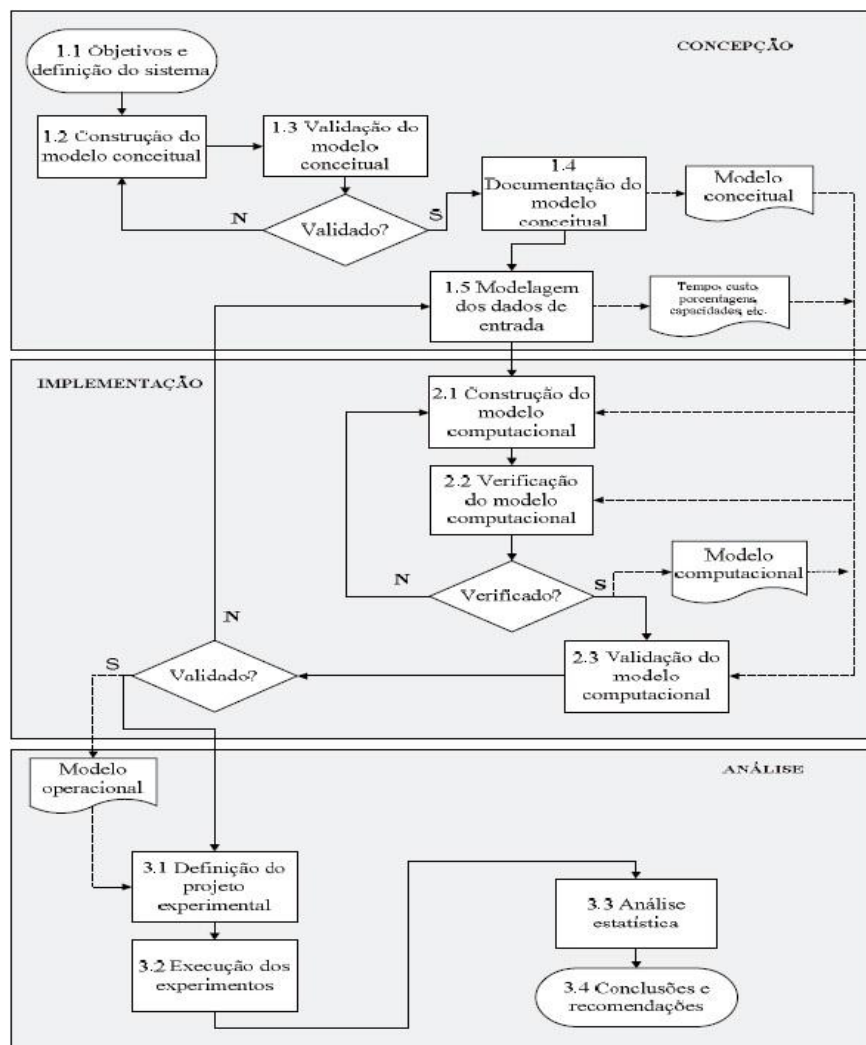
Após misturar toda a matéria-prima é acrescentado o corante artificial e, a partir daí, a mistura de Pasta Diamantada retorna ao processo de mistura (na misturadora) por mais 10 minutos, até que a mesma esteja adequada ao uso (Etapa 2).

Em seguida, a Pasta Diamantada segue as etapas finais do seu processo de produção. Então, ela é movimentada do laboratório para a área de envase (Etapa 3). Nesta etapa a mistura é envasada em seringas de 5 ml, por um operador treinado e apto a esta tarefa. Cada batelada de mistura é suficiente para preencher 1000 seringas com Pasta Diamantada.

A próxima etapa é a rotulagem destas seringas (Etapa 4) e posterior embalagem das mesmas (Etapa 5). As seringas são embaladas em caixas individuais. Depois desta etapa, a Pasta Diamantada é transferida para o setor de estoque (Etapa 6), finalizando o processo de produção.

3. Descrição do Modelo de Simulação

Para a elaboração deste projeto de simulação foi seguida a metodologia apresentada por Montevechi (2010). A Figura 2 apresenta os passos utilizados para o desenvolvimento do trabalho, da seguinte forma: Concepção (construção do modelo conceitual; coleta de macroinformações e dados, modelagem dos dados de entrada); Implementação (construção do modelo computacional, verificação e validação); Análise (modelo operacional; projeto experimental; experimentação; interpretação e análise estatística dos resultados; comparação e identificação das melhores soluções; documentação e apresentação dos resultados).



Fonte: Adaptado de Montevechi *et al.* (2010)

Figura 2 – Sequência de passos para um projeto de simulação

O modelo conceitual, descrito em IDEF-SIM (MONTEVECHI *et al*, 2010), foi traduzido para o software Arena[®]12 da Rockwell Automation para a realização das simulações computacionais (KELTON; SADOWSKI; STURROCK, 2007). A Figura 3 apresenta o modelo conceitual do sistema e o Apêndice, por sua vez, apresenta o conteúdo dos elementos do respectivo modelo. Desta forma, foi possível construir um modelo conceitual do processo com um aspecto visual de fácil entendimento e lógica semelhante à utilizada na programação do modelo computacional.

Para a verificação e validação do modelo, foi utilizada adicionalmente a metodologia de trabalho proposta por Sargent (2007). Vale ressaltar que o modelo computacional só foi inicializado após o modelo conceitual estar pronto e garantido de que todos os pressupostos e hipóteses atribuídas ao modelo foram corretamente implantados.

As informações referentes às regras operacionais e aos tempos dos processos foram obtidas mediante levantamento de dados realizados junto à empresa ABRASDI. Assim, optou-se por utilizar funções de distribuição do tipo Normal para descrever à dinâmica dos processos, tendo em vista o fato de que a empresa se encontra em fase de implantação. A função Normal pode ser utilizada sempre que a aleatoriedade for causada por várias fontes independentes agindo de forma aditiva em torno de um ponto médio (FREITAS FILHO, 2008).

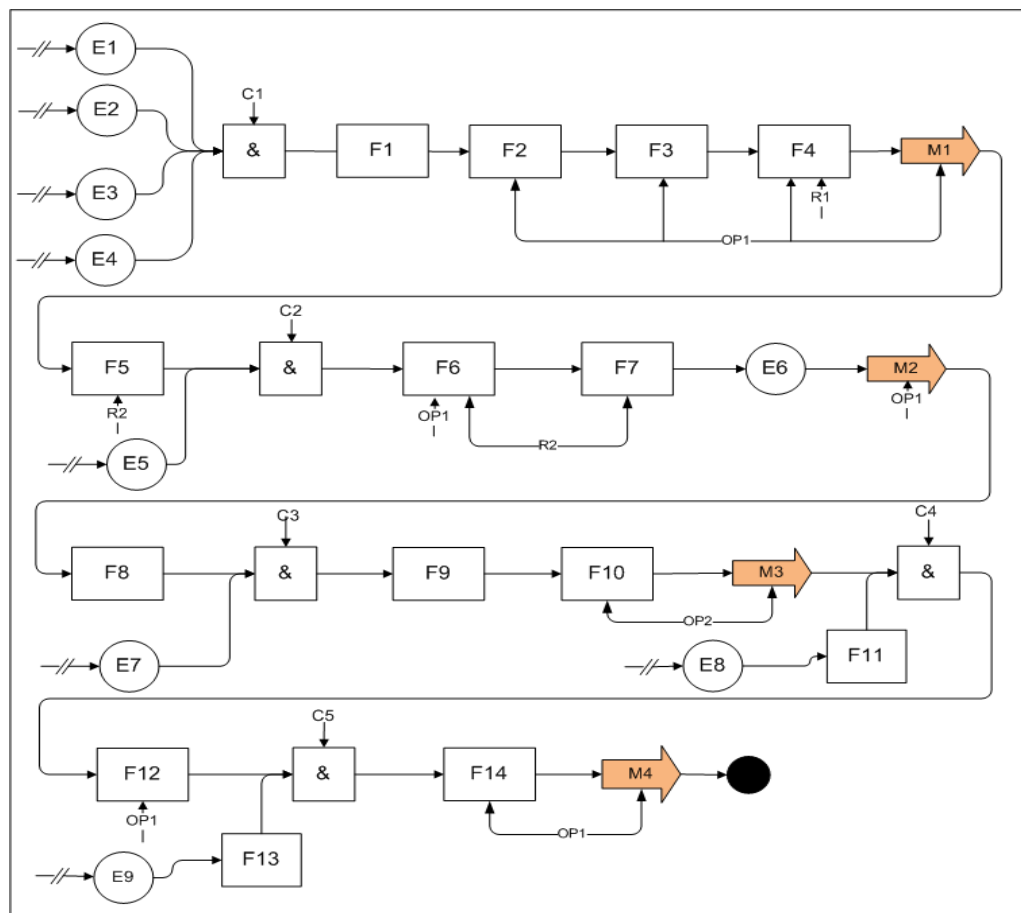


Figura 3 - Modelo Conceitual do sistema de fabricação de pasta diamantada - IDEF-SIM

A produção inicia-se na etapa (F1) com o agrupamento de estearina (E1), borracha sintética (E2), óleo de rícino (E3) e diamante (E4) para posterior recebimento (F2) das mesmas no laboratório pelo operador 1 (OP1), que em seguida realiza a análise (F3), a pesagem com o auxílio de uma balança (R1) e prepara a mistura de polímeros (F4), exceto do diamante que será acrescentado posteriormente.

O operador 1 (OP1) irá transportar (M1) a mistura de polímeros e o diamante até o misturador (R2), onde ocorrerão dois processos sequenciais: primeiro será feita a mistura dos polímeros com o diamante (F5) por um tempo de 30 minutos. A seguir, o operador (OP1) acrescentará à mistura (F6) o equivalente a 50 gramas de corante artificial (E5), e esta retornará ao misturador por mais 10 minutos (F7) até que a pasta esteja homogênea e própria para o uso.

Ao final deste processo, a Pasta Diamantada (E6) será movimentada do misturador para a bancada de envase (M2) pelo operador 1 (OP1). Então, a Pasta será dividida em 1000 partes de 5 gramas (F8) e aguardará a entrada de seringas (E7) para logo formar lotes compostos de 20 seringas e 20 partes de pasta (F9), afim de iniciar o processo de envase (F10). Esta operação dura aproximadamente 5 minutos e é realizada exclusivamente pelo operador 2 (OP2), visto que requer prática e treinamento para a execução desta tarefa.

O lote de Pasta envasada será movimentado pelo operador 2 (OP2) da bancada de envase para a de rotulagem (M3). Assim que chega à bancada de rotulagem, o operador 1 (OP1) será responsável por receber o lote de 20 rótulos (F11) e rotular as seringas (F12). Tarefa que despende aproximadamente 30 segundos por seringa.

Em seguida, o operador 1 (OP1) receberá lotes de 20 embalagens (E9) (F13) e embalará as seringas já rotuladas (F14). Para embalar, utilizam-se 30 segundos para cada caixa de seringa.

Seringas embaladas já podem ser transportadas pelo operador 1 (OP1) até o setor de estoque (M4), finalizando o seu processo produtivo.

É importante ressaltar que a rodada de simulação deste sistema de produção levou em consideração a produção de 1 batelada composta por 5 litros de pasta diamantada, caracterizando um sistema terminal no qual apresenta condições iniciais fixas e um evento que determina um fim natural para o processo de simulação (LAW, 2007).

4. Experimentos

De acordo com Montgomery (2009), um experimento é um teste ou uma série de testes, onde alterações controladas são realizadas sobre as variáveis envolvidas em um sistema (fatores). Este experimento possibilita observar e identificar as razões das mudanças ocorridas sobre os resultados, que são representados por variáveis previamente eleitas (variáveis de resposta).

Nesta fase de experimentos, é necessário analisar os fatores, os níveis e a resposta. Segundo Chwif e Medina (2010): um fator é qualquer variável de entrada a ser considerada. Como por exemplo, o número de operadores em uma central de atendimento. Já os níveis, são considerados de modo qualitativo, associando valores numéricos aos fatores. E uma resposta é uma variável de saída que se deseja analisar, como, por exemplo: a produtividade de uma linha de produção ou o tempo de espera da fila.

O Projeto Fatorial n^k foi a estratégia de simulação computacional utilizada na experimentação deste projeto. Nele n é o número de níveis e k o número de fatores. Nesta estratégia, descrita em detalhes em Freitas Filho (2008), o Projeto Experimental n^k é utilizado para determinar o efeito de k fatores, onde cada fator possui n alternativas ou níveis.

O fator a ser analisado no sistema de produção de Pasta Diamantada é o número de operadores. Sendo este composto por 10 níveis. A variável de resposta é o *lead time* do

processo. É importante ressaltar que o modelo foi configurado com quantidade de mistura suficiente para a fabricação das 1000 seringas de Pasta Diamantada. Não sendo necessário um novo preparo de mistura. Já o número de replicações no qual o modelo convergiu e que foi adotado, é equivalente a 10 replicações. A obtenção do número de replicações, ou seja, o número de vezes em que o modelo será repetido com diferentes sementes das funções de distribuição, foi realizada a partir de análises feitas na ferramenta de apoio do Arena, *Process Analyser*.

A Figura 4 apresenta os resultados obtidos com os primeiros experimentos das simulações computacionais. Eles foram realizados com o objetivo de identificar o número de operadores necessários à linha de produção. Sem considerar a especialidade pertinente a cada tarefa. Assim, foi configurado em todo o modelo um mesmo nome para os operadores: Operador. Para o fator Operador, foram utilizados 10 níveis.

Ao analisar a Figura 4, pode-se averiguar que, na medida em que se aumenta a quantidade de operadores, há uma redução no tempo de produção. Nota-se também que, ao utilizar 2 operadores, reduz-se o tempo de produção em 49,54% se comparado ao tempo de 1 operador, ao passo que, ao ser acrescido um quarto operador, a queda no tempo de produção é satisfatória (24,46%), porém menos significativa. Contudo, a definição da quantidade de operadores, depende das necessidades da empresa. Visto que uma pequena redução no tempo de produção causado pela contratação de mais um operador, pode trazer um considerável ganho que justifique tal contratação.

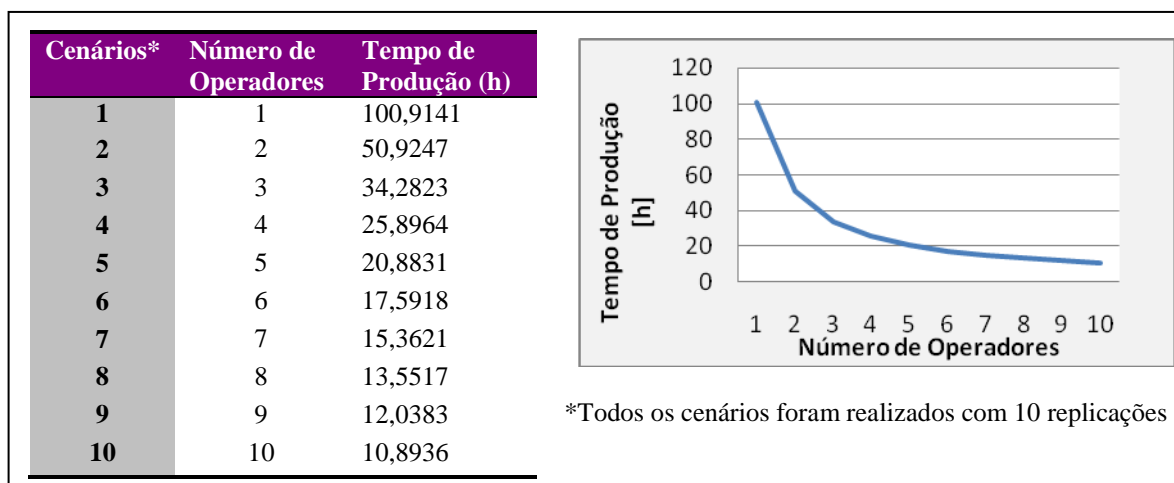


Figura 4 - Número de operadores X Tempo de produção

Em vista disso, foi necessário realizar experimentos mais detalhados, nos quais deveriam ser feitas combinações dos diferentes tipos de operadores e seus respectivos postos de trabalho.

Para o detalhamento dos novos experimentos, foram analisados dois fatores sobre todo o processo de fabricação da Pasta. Estes fatores são Operador 1 e Operador 2, cada um com uma função específica no sistema. Na Tabela 1, são apresentados os fatores e as etapas em que eles participam do processo de produção.

Símbolos	Fatores	Descrição das atividades
A	Operador 1	Etapa 1, Etapa 2, Etapa 4, Etapa 5, Etapa 6
B	Operador 2	Etapa 3

Tabela 1 - Descrição dos fatores

A Tabela 2 mostra a combinação dos dois fatores mencionados acima com o tempo de produção. Ao observar esta Tabela, conclui-se que o fator B realiza uma função específica e crítica do processo, considerando que o tempo de produção, com o acréscimo feito no fator B, tenha reduzido significativamente em relação à variação do fator A. Ou seja, ao utilizar 1 fator A e 2 fatores B, houve uma redução de 51,07%. Logo, com o acréscimo de 1 operador do tipo B, o tempo de produção reduziu mais do que a metade se comparado com o tempo de apenas 1 nível de cada fator.

Cenários	A	B	Tempo de Produção (h)
1	1	1	84,5429
2	1	2	43,1754
3	2	1	84,5429
4	2	2	42,8416

Tabela 2. Combinação dos operadores X Tempo de Produção

Feita esta análise, concluiu-se que o fator de maior influência no processo é o fator B. Neste sentido, foi elaborada uma tabela e um gráfico, como ilustra a Figura 5, no qual se pode notar que, na medida em que o fator operador 2 é acrescido, o tempo de produção é reduzido. Observa-se ainda, que a partir do cenário 3 no qual utiliza-se de 3 operadores 2, o tempo de produção continua diminuindo, porém à taxas decrescentes. Isto mostra que o acréscimo demasiado de operadores 2, pode não ser a melhor solução para um maior aumento da produção.

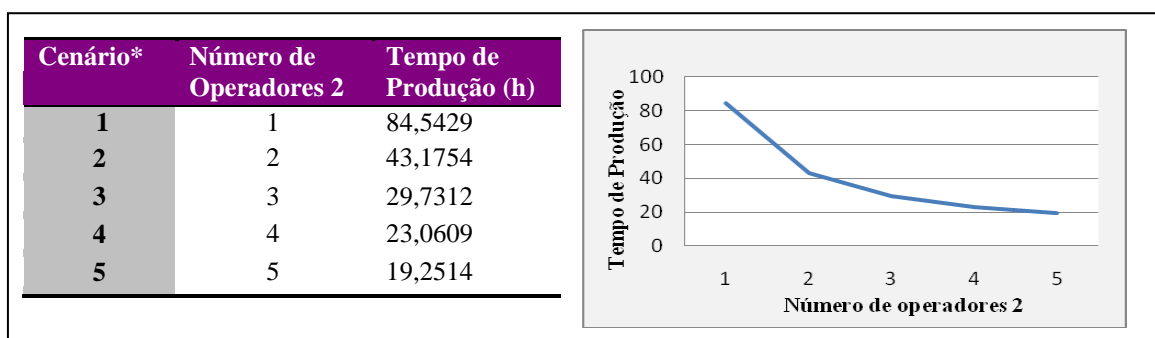


Figura 5 - Quantidade de operadores 2 X Tempo de produção

Ao realizar o estudo sobre a influência entre os fatores A e B, observou-se a necessidade de uma análise mais apurada, contendo um maior número de interações entre os operadores. Esta análise consiste em obter melhores resultados nas combinações entre o número de operadores em cada processo com o tempo de produção, considerando o valor de convergência da variável de saída (tempo de produção). Este experimento será composto por dois fatores, A e B, cada um deles com três níveis. O projeto fatorial completo terá um total de $3^2=9$ experimentos conforme apresenta a Figura 6.

		Fator A		
		2	4	6
Fato B	2	2,2	2,4	2,6
	4	4,2	4,4	4,6
	6	6,2	6,4	6,6

Cenários	3 ²	Tempo (h)
1	2,2	42,8416
2	2,4	22,7967
3	2,6	16,1790
4	4,2	42,8416
5	4,4	22,8223
6	4,6	16,1477
7	6,2	42,8416
8	6,4	22,8223
9	6,6	16,1621

Figura 6 - Combinação dos dois operadores

Na Figura 6, há destaque para os cenários de maior relevância no sistema. Assim, vale ressaltar os cenários 2, 3, 5 e 6, nos quais têm um total de 6, 8, 8 e 10 operadores, respectivamente, e um tempo de produção bem próximo um do outro. Considerando este fato, pode-se concluir que para um tempo de produção de aproximadamente 16 horas, convém utilizar o cenário 3 ao invés do 6, tendo em vista que o número de operadores utilizados no processo é menor e o tempo de produção é bem semelhante. Desta forma, serão utilizados 8 operadores, sendo uma combinação de 2 fatores A e 6 fatores B.

Conclui-se ainda que para um tempo de produção de aproximadamente 23 horas, o melhor cenário a ser utilizado é o 2, ao invés do cenário 5 pelos mesmos motivos da escolha do cenário 3 acima. Vale lembrar que com este tempo de produção serão utilizados 2 fatores A e 4 fatores B.

5. Otimização do Modelo

Dentre os resultados encontrados pelo método de análises utilizando experimentos com o modelo de simulação, o melhor encontrado foi um cenário com 8 operadores para produzir 1000 seringas de Pasta em um tempo total de 16,1790 horas. Sendo estes operadores distribuídos da seguinte forma: 2 operadores do tipo 1 e 6 operadores do tipo 2.

No entanto, a otimização com o modelo de simulação possibilitou avaliar a redução de operadores no processo de produção mantendo-se os mesmos resultados encontrados anteriormente (1000 seringas produzidas em 16,1790 horas). O operador 2 executa somente uma tarefa que necessita de qualificação e especificidade para a sua execução. Já o operador 1 realiza todas as outras tarefas do processo e, conseqüentemente, é menos especialista que o outro. Diante disso, foi considerado que o operador 1 teria maior possibilidade de diminuir o tempo de execução dos processos e por este motivo foi escolhido para ser otimizado.

De acordo Chwif e Medina (2010), para iniciar a otimização do modelo de simulação, quatro passos devem ser seguidos:

- Definir as variáveis de decisão e suas faixas de variação;
- Definir as restrições do problema;
- Definir a função objetivo e o tipo de otimização (maximização ou minimização);
- Definir o número de rodadas de simulação (ou um tempo de limite para o processo de otimização) e o número de replicações em cada rodada.

Conforme citado, a otimização deste Modelo de Simulação objetiva minimizar a quantidade de operadores 1. Para realizar esta redução, se faz necessário encontrar o equilíbrio na redução dos tempos dos seus processos de produção. Este operador realiza a etapa de

pesagem, rotulagem e embalagem, cada uma com um tempo igual a 10 minutos. A otimização realizada visou maximizar os tempos de execução dos processos entre um limite de 7 a 10 minutos, permitindo produzir as 1000 seringas em 16,1790 horas com 7 operadores. Efetuar esta análise somente através de Simulação Computacional seria inviável, pois o número de combinações geradas por todas as opções possíveis inviabiliza esta experimentação. Devido a isto o aplicativo OptQuest®, disponível no software de simulação Arena® 12, foi utilizado nesta investigação. Este aplicativo permite criar modelos de otimização com base em modelos de simulação já desenvolvidos. Sendo necessário definir os controles com suas respectivas restrições e uma função objetivo, para que as soluções possam ser avaliadas.

Um problema de Simulação com Otimização pode ser representado na Equação 1 (CHEN, FU, SHI, 2008; CHEN et al., 2007; CHEN et al., 2010; FRAZIER, 2010) onde θ é um vetor de dimensão p que representa todas as variáveis de decisão do sistema e Θ é a região de soluções viáveis. Se $J(\theta)$ for uma função escalar, caracteriza um problema de objetivo único. Por outro lado, se $J(\theta)$ for um vetor, trata-se de um problema multi-objetivo. $J(\theta)$ é linear em θ e Θ e pode ser definido com um conjunto de equações lineares em θ que representam as restrições do problema conforme os conceitos de programação linear (BARRADAS, 2010).

$$\begin{aligned} \min J(\theta), \\ \theta \in \Theta \end{aligned} \quad (1)$$

A análise realizada possuiu um único objetivo: maximizar os três tempos avaliados respeitando as restrições do modelo. As variáveis de decisão utilizadas em todas as etapas e seus respectivos limites inferiores e superiores são as seguintes: Tempo de Embalagem (TE), Tempo de Pesagem (TP) e Tempo de Rotulagem (TP), todas com o limite inferior de 7 minutos e superior de 10 minutos. O objetivo em se maximizar os tempos entre 7 e 10 minutos, deveu-se ao fato de serem estes tempos relacionados ao trabalho de operadores e, quanto mais próximo do limite máximo, há possibilidade de se executar a tarefa com menor esforço físico dos mesmos para a produção máxima desejada.

Desta forma, obteve-se o modelo de otimização linear inteira apresentado na Equação 2. Sendo este, posteriormente implementado e submetido à ferramenta OptQuest®:

$$\text{Maximizar: } Z = TE + TP + TR \quad (2)$$

Sujeito à:

$$\begin{aligned} 7 \leq TE \leq 10 \\ 7 \leq TP \leq 10 \\ 7 \leq TR \leq 10 \\ S \geq 1000 \\ TP \leq 16,1790 \end{aligned}$$

A variável S representa a quantidade de seringas de Pasta Diamantada produzidas. A variável TP representa o tempo de produção das 1000 seringas. Vale ressaltar que para atingir este objetivo, os gestores da empresa deverão investir em treinamento do seu operador 1 para que ele seja hábil o suficiente para diminuir seu tempo nos processos, e conseguir trabalhar sem a necessidade de mais 1 operador, tendo por base a redução dos tempos de seus processos.

O modelo de otimização apresentado foi submetido ao OptQuest®, os melhores resultados encontrados estão apresentados na Tabela 3.

Resultados	T. Embalagem (seg.)	T. Pesagem. (seg.)	T. Rotulagem (seg.)	Z = TE + TP + TR (seg.)
1	526		481	
2	527	600	480	1607

3	528	479
4	539	468
5	540	467
6	541	466
7	543	464
8	545	462
9	546	461
10	547	460

Tabela 3 – Melhores Resultados

Os resultados acima demonstram que o tempo de pesagem não precisa ser alterado, sendo decrementados apenas os tempos de embalagem e de rotulagem. Ao analisar o primeiro resultado, pode-se notar que será necessária uma redução de 12% do tempo de embalagem e 20% do tempo de rotulagem para atingir o objetivo. O quinto resultado apresenta uma redução de 10% no tempo de embalagem e 22% do tempo de rotulagem. Já o último resultado obtido, poderá ser feita uma redução de 9% no tempo de embalagem e 23% no tempo de rotulagem para que as 1000 seringas sejam produzidas com os 7 operadores sem que seja necessário um acréscimo no tempo de produção.

Todavia, a escolha da melhor solução entre as encontradas, cabe aos responsáveis pela ABRASDI, haja vista que eles poderão optar pelo processo que pode ser feito em menor ou maior tempo. Além do fato de serem eles os responsáveis por determinar qual é o processo indicado para de ter o seu tempo de execução reduzido.

Convém ressaltar que a partir destas análises o objetivo deste trabalho foi atingido, pois se pretendeu fabricar a mesma quantidade de seringas no mesmo tempo de produção, porém com um operador a menos. Isso só foi possível com a diminuição de alguns tempos dos processos por ele realizados.

Assumindo que cada operador gere para a empresa um custo médio mensal de R\$ 1.200,00 resultando em um custo anual R\$ 14.400,00, caso a empresa consiga trabalhar com um operador a menos em sua linha de produção, conforme proposto neste trabalho, ela irá alcançar a redução nos seus custos de R\$ 14.400 ao ano.

6. Considerações finais

Ao analisar o modelo elaborado para simular a produção de Pasta Diamantada, foi possível constatar que o mesmo atendeu às expectativas de sua construção. O modelo auxiliou a compreensão da dinâmica dos processos envolvidos e proporcionou aos gestores da empresa ABRASDI, a análise e tomada de decisão a respeito de regras operacionais e recursos exigidos para a linha de produção de Pasta Diamantada.

Os resultados da Simulação indicaram o número necessário de operadores para atender ao processo de produção. Em vista disso, pode-se auxiliar na contratação de operários necessária para a produção de 1000 seringas de Pasta Diamantada em um tempo compatível às necessidades e realidades da empresa.

Já os resultados obtidos através da combinação da Simulação com Otimização possibilitaram a redução do número de operadores atuando no processo (de 8 para 7) sem ser necessário aumentar o tempo total de produção. Estes resultados foram obtidos com mudanças de alguns parâmetros do sistema de produção.

A importância deste trabalho se reforça pelo fato de não existir no Brasil outra empresa de fabricação de ferramentas diamantadas com tecnologia brasileira. Espera-se que os resultados das Simulações Computacionais aqui apresentados sobre a produção de Pasta Diamantada

possam contribuir para o desenvolvimento de novos trabalhos a serem realizados neste campo de conhecimento.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao CNPq e à FAPERJ pelo suporte financeiro para esta pesquisa. Aos gestores da empresa ABRASDI pelo fornecimento de dados e pela proposta e acompanhamento deste trabalho. E também à professora Maria Marta Garcia pelas sugestões para a elaboração do texto.

Referências

- BANKS, JERRY, CARSON II, JOHN S., BARRY, NELSON L., DAVID M-NICOL.** *Discrete – Event System Simulation*. Fifth Edition, United States of America, Editora: Pearson Education, 2010.
- CHEN, C.H.; FU, M.C.; HE, D.; LEE, L.H. & WASSERKRUG, S.** *Simulation Optimization Using the Cross-Entropy Method with Optimal Computing Budget Allocation*. ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation. Vol. 20, n. 1, artigo 4, 2010.
- CHEN, Y.; CHEW, E.P.; LEE, L.H. & TENG, S.** *Multi-objective Simulation-based Evolutionary Algorithm for an Aircraft Spare Parts Allocation Problem*. European Journal of Operational Research. N. 189, p. 476-491, 2007
- CHEN, C.H.; FU, M.C. & SHI, L.** *Some Topics for Simulation Optimization*. Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference, ed. S.J. Mason, R.R. Hill, L. Mönch, O. Rose, T. Jefferson & J.W. Fowler, 2008.
- CHENG, T.; FENG, C.; HSU, M.** *An integrated modeling mechanism for optimizing the simulation model of the construction operation*. Automation in Construction, v.15, p.327–340, 2006.
- CHWIF, LEONARDO; MEDINA, AFONSO C.** *Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações*. 3ª edição, São Paulo, Editora Do Autor, 2010.
- FREITAS FILHO, P. J.** *Introdução a modelagem e simulação de sistemas*. 2ª edição, Editora Visual, 2008.
- HARREL, C. R.; GHOSH, B. K.; BOWDEN, R.** *Simulation Using Promodel*. McGraw-Hill, 2000.
- KELTON, W. D.; SADOWSKI, R. P. E STURROCK, D.T.** *Simulation with Arena*, Forth Edition, New York: McGraw- Hill, 2007.
- LAW, AVERILL M.** *Simulation Modeling Analysis*. Fourth Edition, New York, Editora MCGRAW-HILL, 2007.
- MONTEVECHI, JOSÉ ARNALDO BARRA ET AL.** *Conceptual Modeling in Simulation Projects by mean adapted IDEF: an Application in a brasilian company*. In Winter Simulation Conference, Arizona, USA, p. 1624 – 1635, 2010
- MONTGOMERY, D.C.** *Design and Analysis of Experiments*. 7th edition. John Wiley & Sons, Inc, 2009.
- MOREIRA, J. M. S.; MANHÃES, J. P. V. T.; HOLANDA, J. N. F.** *Reaproveitamento de resíduo de rocha ornamental proveniente do Noroeste Fluminense em cerâmica vermelha*. Cerâmica 51, Campos Dos Goytacazes - Rj, p.180-186, 2005.
- PINHO, Alexandre Ferreira de; MORAIS, Nathália Silvestre de.** *Utilização da Simulação Computacional combinada à técnica de Otimização em um processo produtivo*. Revista P&d em Engenharia de Produção, Itajubá - Mg, v. 08, n. 02, p.88-101, 23 jun. 2010.
- SARGENT, R.G.** *Verifications and validation of simulations models*. In: Winter simulation conference, Miami, USA. p. 124-137, 2007.
- VINICIUS ZEPEDA.** *Novos produtos deverão impulsionar setor de rochas ornamentais no estado*. Disponível em: <http://www.faperj.br/boletim_interna.phtml?obj_id=5886>. Acesso em: 29 out, 2009.

APÊNDICE: Parâmetros do modelo conceitual.

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	PARÂMETRO
E1	Estearina	Qnt: lentidade (0,7L); Tempo de Criação: 0seg; Quantidade de entidade: 1.
E2	Borracha sintética	Qnt: lentidade (1,4L); Tempo de Criação: 0seg.; Quantidade de entidade: 1.
E3	Óleo de rícino	Qnt: lentidade (1,4L); Tempo de Criação: 0seg.; Quantidade de entidade: 1.
E4	Diamante	Qnt: lentidade (1,5L); Tempo de Criação: 0seg.; Quantidade de entidade: 1
E5	Corante	Qnt: lentidade (50g); Tempo de Criação: 0seg.; Quantidade de entidade: 1
E6	Pasta diamantada	Qnt: lentidade (5L)
E7	Seringa	Qnt: 1000; Tempo de Criação: 0seg.; Quantidade de entidade: 1000.
E8	Rótulo	Qnt: 1000; Tempo de Criação: 0seg.; Quantidade de entidade: 1000
E9	Embalagem	Qnt: 1000; Tempo de Criação: 0seg.; Quantidade de entidade: 1000.
F1	Unir os quatro tipos de matéria-prima	Qnt: 1 lote composto dos 4 tipos de matéria
F2	Receber matéria-prima	NORM (10,0.1) seg. Qnt. de OP1: 01
F3	Analisar matéria-prima	NORM (10,0.1) seg. Qnt. de OP1: 01
F4	Pesar matéria prima e misturar	NORM(10,0.1)min. Qnt. de OP1:01 e qnt. de
F5	Misturar	NORM (30,0.3) min. Qnt. de R2: 01
F6	Adicionar corante	NORM (10,0.1) seg. Qnt. de OP1: 01 e qnt. de
F7	Misturar corante	NORM (10,0.1) min. Qnt. de R2: 01
F8	Dividir mistura	1 mistura é dividida em 1000 partes
F9	Juntar mistura	A mistura é agrupada junto às seringas em lotes de 20 partes de mistura para 20 de seringas
F10	Envasar	NORM (5,0.5) min. Qnt. de OP2: 01
F11	Agrupar rótulos	Os rótulos serão agrupados em lotes de 20 cada
F12	Rotular	NORM (30,0.3) seg. Qnt. de OP1: 01
F13	Agrupar embalagens	As embalagens serão agrupadas em lotes de 20
F14	Embalar	NORM (30,0.3) seg. Qnt. de OP1: 01
OP1	Recurso: Operador 1	Qnt: 01
OP2	Recurso: Operador 2	Qnt: 01
R1	Recurso: Balança	Qnt: 01
R2	Recurso: Misturador	Qnt: 01
M1	Movimentar mistura da mesa de recebimento p/ misturador	Distância: 0,7m; Velocidade: 1,50m/s; qnt. de OP1: 01
M2	Movimentar pasta p/ bancada de envase	Distância:0,8m;Velocidade:1,50m/s; qnt. de OP1: 01
M3	Movimentar a pasta da bancada de envase p/ a de rotulagem	Distância: 4,20m; Velocidade: 1,50m/s; qnt. de OP2: 01
M4	Movimentar as embalagens da área de embalagem p/ estoque	Distância: 23,0m; Velocidade: 1,50m/s; qnt. de OP1: 01
C1	Controlar a entrada de matéria prima	Para cada mistura utilizam-se 4 tipos
C2	Controlar adição de corante em mistura	Para cada mistura libera-se 50g de corante
C3	Controlar fluxo de seringas com a	Para cada 5g de pasta libera-se 1 seringa
C4	Controlar fluxo de rótulos com	Para cada seringa libera-se 1 rótulo
C5	Controlar fluxo de embalagens	Para cada seringa libera-se 1 embalagem

