

# SIMULAÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO DE CERÂMICA VERMELHA EM CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ

**André Peres Aragão (UENF)**

pc\_status@hotmail.com

**José Ramón Arica Chávez (UENF)**

arica@uenf.br

**MARCUS VINICIUS DA SILVA SALES (UENF)**

mf.sales@hotmail.com



*Este trabalho apresenta a simulação do processo produtivo de cerâmica vermelha numa empresa de Campos dos Goytacazes (RJ), utilizando um modelo de filas. Através da coleta de dados, da análise do sistema e a modelagem do processo produtivo no framework de simulação Arena 7.0, foi possível identificar os principais setores do processo que implicam nos maiores gargalos. O objetivo do estudo é obter melhor desempenho na inferência dos resultados e no tempo de resposta, proporcionando a comparação de cenários de modo a decidir aquele que atende as necessidades da empresa e ao mesmo tempo gera o menor custo.*

*Palavras-chaves: Simulação, Filas, Cerâmica Vermelha*

## 1. Introdução

Quando se discute sobre aperfeiçoar sistemas produtivos como um todo, na maioria das vezes trata-se de mudanças na estrutura organizacional por meio de um planejamento estratégico. Segundo Ávila (2006), uma prática utilizada em sistemas produtivos é a reengenharia de processos, que consiste em fazer a análise crítica do sistema, a criação de medidas de otimização e a elaboração de um novo plano. Porém, essas alterações na realidade trazem riscos de não alcançarem os objetivos esperados, causando uma resistência na tomada de decisões no que se refere às mudanças de cenários e tempos de resposta.

Uma alternativa que pode ajudar a aprimorar os procedimentos citados é a análise e a modelagem dos processos de produção por meio da simulação, na que se possibilita visualizar o sistema real de uma forma simplificada, contribuindo na tomada de decisão dos projetistas para a introdução de eventuais mudanças e seus possíveis impactos. Podem-se citar algumas aplicações tais como a simulação do processo de congelamento/resfriamento em uma unidade produtora de aves (BRUSTOLIN e SILVA, 2007), simulação computacional da manufatura (SILVA et al, 2007) e a aplicação de simulação computacional como ferramenta em uma metodologia de um projeto de layout de blocos em uma fábrica de refratários com processo discreto de produção (MEIRELLES et al, 2009). Portanto, com o advento da simulação de sistemas utilizando modelos computacionais, torna-se possível analisar virtualmente o sistema real, sem a necessidade de interferir nas suas atividades. A simulação pode ser usada também em sistemas reais que ainda não existem ou estão em fase de aperfeiçoamento (protótipos), que podem ser testados sem a necessidade de serem implementados. O modelo irá simular as ocorrências do sistema real, com o intuito de identificar eventuais problemas e, conseqüentemente, tratá-los.

Neste trabalho se elabora um modelo de simulação para a linha da produção de telhas de uma indústria de cerâmica vermelha em Campos dos Goytacazes (RJ), a fim de identificar possíveis problemas de produção e propor o tratamento destes, visando contribuir no estudo de custos do sistema produtivo. Para tal fim se usa o software Arena 7.0, que permite inserir o uso da teoria das filas como base do estudo. Pretende-se identificar os possíveis gargalos que podem ocorrer no sistema e propor mudanças visando à redução de custos e a eficiência na produção.

O presente trabalho está estruturado em sete seções. A seção 2 mostra a importância do setor ceramista no Brasil e as etapas do processo de produção. A seção 3 apresenta o estudo sobre modelagem de sistemas. A seção 4 apresenta os objetivos principais em se utilizar a simulação. A seção 5 mostra um breve estudo sobre a teoria das filas. A seção 6 apresenta a aplicação do estudo em uma indústria cerâmica. Por fim, na seção 7 são apresentados os resultados e conclusões do estudo.

## 2. Processo Cerâmico

O setor ceramista possui forte conotação social por ser uma atividade empregadora que apresenta alta relação entre mão de obra ocupada e faturamento bruto (SILVESTRE, 2001). Souza (2003) relata que a indústria de cerâmica nacional abrangendo os setores de cerâmica vermelha, cerâmica branca e revestimentos, tinha um faturamento médio anual de US\$ 5 bilhões em 2003, representando aproximadamente 1% do PIB do Brasil. Portanto, considera-se um setor de grande relevância nacional.

Segundo a Associação Nacional da Indústria Cerâmica (2010), no Brasil, existem cerca de

5.500 cerâmicas e olarias, sendo que 63% fabricam tijolos e blocos, 36% telhas e 1% tubos. As fábricas de tijolos, blocos e telhas são responsáveis por produzir cerca de 5,3 bilhões de peças/mês, consumindo aproximadamente 10.300.000 ton/mês de argila. As fábricas de tubos produzem em média cerca de 325,5 km peças/mês. A distribuição da mão de obra ocupada é formada por 400 mil empregos diretos, 1,25 milhões de empregos indiretos e um faturamento anual de R\$ 6 bilhões.

O Brasil conta com quase duas mil fábricas de telhas cerâmicas que estão espalhadas e atendem a todas as regiões. Mensalmente, as empresas são responsáveis pela produção de 1.300 bilhões de peças, que vão dos modelos clássicos aos modernos e incluem opções naturais e coloridas.

O processo de produção de cerâmica vermelha é padronizado em todas as indústrias, alterando-se somente a tecnologia utilizada. Segundo Normey-Rico, Müller e Bristol (2003) o processo de fabricação de produtos cerâmicos “tradicionais”, entre os quais podem ser incluídos os pavimentos e revestimentos cerâmicos desenvolve-se normalmente em fases sucessivas, começando com a seleção das matérias-primas, que devem formar parte da composição de partida (argilas, caulins, feldspatos, quartzos e carbonatos) prosseguindo para cada fase de refinamento e preparação da matéria-prima. Após a preparação da matéria prima segue as etapas: (i) conformação; (ii) corte; (iii) prensagem; (iv) secagem; (v) queima; (vi) estoque; (vii) expedição. O fluxograma na Figura 1 ilustra essas etapas.

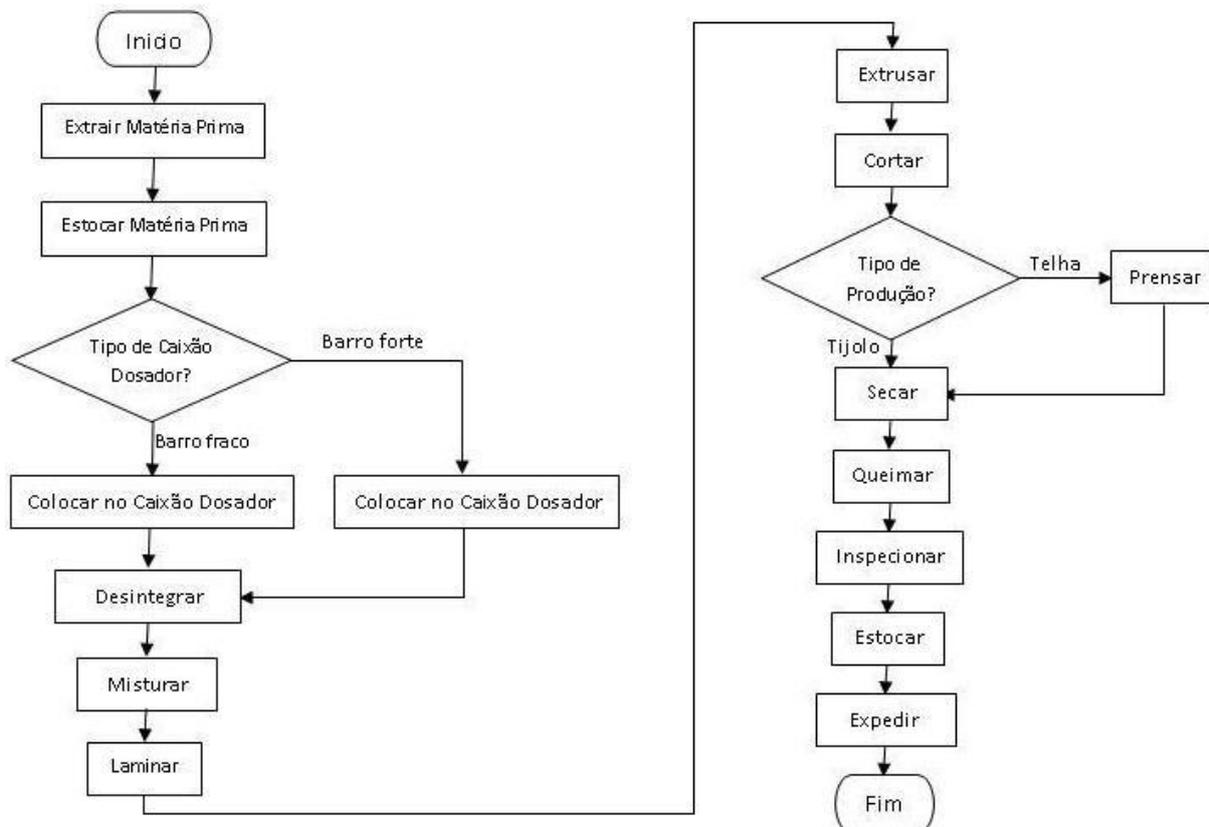


Figura 1 – Fluxograma das etapas do processo de produção de cerâmica vermelha

A matéria-prima se caracteriza entre as etapas de extração e laminação, pois nesse intervalo a massa receberá dosagens diferentes de acordo com o produto que será produzido. Na extrusora, a massa é impulsionada por meio de parafusos sem fim, passando através de uma

matriz (boquilha), conformando-a no formato do produto que se deseja fabricar. Em seguida, a cortadeira corta a massa conformada em blocos compactos para o caso de telhas ou em diferentes dimensões padronizadas para o caso de tijolos. As telhas são as únicas peças que passam pela etapa de prensagem. Os blocos que foram cortados na etapa anterior seguem em uma esteira até a prensa, onde adquirem o formato de telha. A próxima etapa é a secagem, que pode ser tanto ao ar livre como em estufas. Essa etapa tem como finalidade eliminar parte da umidade dos produtos. Após a secagem, os produtos são transportados para os fornos específicos de cada tipo de produto. Na retirada dos produtos dos fornos, os mesmos são rapidamente inspecionados e transportados para o estoque. Dessa maneira, os produtos ficam armazenados até que sejam expedidos.

### 3. Modelagem

Modelos consistem em conjuntos de elementos que descrevem alguma realidade física, abstrata ou hipotética (MELLOR et al, 2005). Os modelos físicos são representações do sistema real por meio de protótipos ou uma reprodução análoga do sistema. Nos modelos abstratos, também conhecidos como modelos conceituais, a representação é feita por meio de modelos matemáticos, descritivos, estatísticos, de simulação ou gráficos. Os modelos hipotéticos são modelos de sistemas que não existem fisicamente, entretanto podem ser elaborados por meio de outros modelos que já foram implementados. Um modelo deve conter informações necessárias para o entendimento dos analistas, da forma mais clara e objetiva possível, omitindo informações irrelevantes. Contudo, a falta de dados no modelo pode trazer um resultado inconsistente, em contra partida o excesso de dados acarreta em um modelo complexo de difícil análise. Existem várias formas de modelagem e um modelo particular pode ser modelado em diversas linguagens específicas de domínio (DSLs).

Quatro etapas são importantes para que um sistema possa ser bem modelado (FILHO, 2001):

- Etapa de Planejamento

- Formulação e Análise do Problema: O objetivo é entender o problema e definir o propósito que se deseja alcançar no estudo, definir a motivação do estudo e analisar os possíveis riscos bem como restrições e limites do problema;

- Planejamento do Projeto: Nesse momento procura-se viabilizar recursos pertinentes ao projeto no tocante ao número de funcionários, recursos tecnológicos e custos afins. É necessário elaborar um cronograma de atividades e descrever os vários cenários que serão investigados;

- Formulação do Modelo Conceitual: É a abstração do sistema real em uma determinada forma de modelagem. Devem ser estabelecidos como os dados deverão ser incluídos no modelo, a estratégia de modelagem (modelo matemático, por exemplo) e o nível de abstração. Para que se possa obter um modelo o mais próximo da realidade, o usuário deve participar constantemente dessa etapa.

- Coleta de Macro-Informações: Qualquer informação, fato ou estatística que seja fundamental na contribuição para o estudo da coleta de dados.

- Etapa de Modelagem

- Coleta de Dados: A partir da coleta de macro-informações, os dados serão coletados de forma específica e utilizados no modelo;

- Tradução do Modelo: É o mapeamento do modelo conceitual para uma linguagem de

programação ou de simulação específica. O maior problema enfrentado atualmente é a falta de documentação dos modelos mapeados. Na maioria das vezes o responsável por traduzir esse modelo não documenta todos os passos efetuados no mapeamento, acarretando num alto grau de complexidade do modelo traduzido, dificultando outros analistas a entender o que foi feito. Nesse caso, é necessário o conhecimento tácito do responsável pela tradução do modelo para que se possa posteriormente atualizar o modelo mapeado;

- Verificação e Validação: Após o modelo estar devidamente traduzido em uma linguagem específica, é necessário analisar dois pontos: (i) o modelo deve ser verificado tanto na sua sintaxe quanto a sua semântica. Na maioria das vezes são utilizados testes com programas computacionais a fim de detectar erros de sintaxe; (ii) o modelo deve ser validado por meio da análise e comparação dos resultados gerados com o sistema real. Segundo Filho (2001), a qualidade e a validade de um modelo de são medidas pela proximidade entre os resultados obtidos pelo modelo e aqueles originados do sistema real. As etapas de verificação e validação são extremamente importantes, pois a partir delas é que serão feitos os experimentos do estudo.

Assim, na Figura 2, o fluxograma mostra os estágios a que um modelo pode estar vinculado.

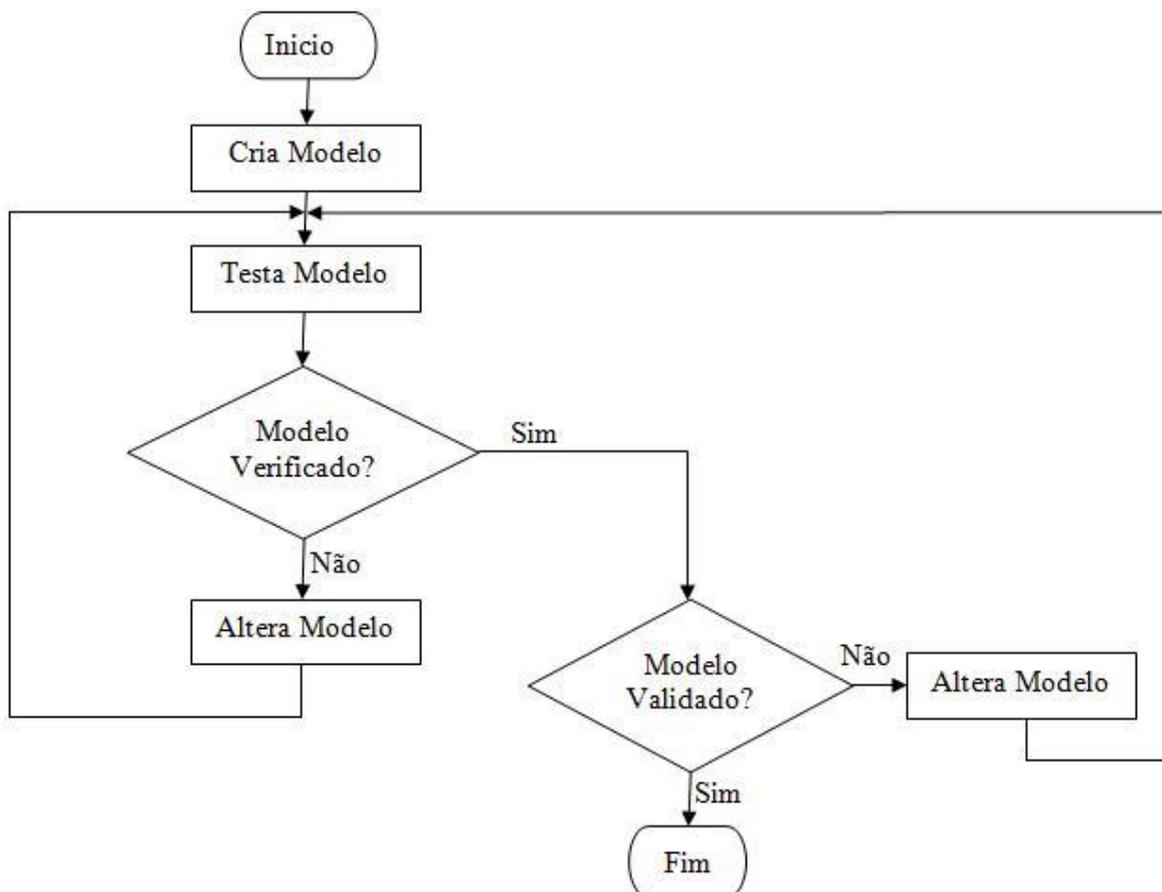


Figura 2 – Fluxograma das etapas do modelo computacional

- Etapa de Experimentação

- Projeto Experimental Final: Consiste em elaborar um conjunto de experimentações no qual se retornem informações satisfatórias com o menor número de experimentos possíveis.

Define-se a melhor estratégia de experimentação;

- Experimentação: É a execução do modelo para a obtenção dos resultados e a realização de experimentos por meio da análise de sensibilidade;

- Interpretação e Análise Estatística dos Resultados: A partir de inferências sobre os resultados alcançados da execução do modelo, será possível analisar os dados e estimar o desempenho do sistema. De acordo com as análises, pode haver a necessidade de várias replicações na execução do modelo a fim de se obter maior precisão estatística dos resultados esperados.

- Etapa de tomada de decisão e conclusão do projeto

- Comparação de Sistemas e Identificação das melhores soluções: Desenvolvido diversos cenários de modelagem é possível analisar qual o melhor modelo se adequada ao problema com maior eficiência, ou, se houver apenas um modelo desenvolvido pela equipe do projeto, pode-se também comparar com outro sistema já existente;

- Documentação: Consiste em detalhar formalmente todos os passos percorridos durante o desenvolvimento do projeto. Isso ajudará na elaboração de novos projetos que poderão utilizar as experiências obtidas no sistema que está sendo desenvolvido, e também contribui para o aperfeiçoamento do sistema caso haja a necessidade de mudanças no futuro;

- Apresentação dos Resultados e Implementação: Por fim, é apresentado um *feedback* das atividades executadas durante o projeto, bem como os resultados alcançados e sua precisão, a confirmação dos objetivos estabelecidos e medidas que poderiam vir a melhorar o sistema no futuro se houver.

#### 4. Simulação

A simulação de processos aleatórios é uma ferramenta utilizada para análise da estrutura de sistemas através da modelagem computacional. Um modelo deve ser expresso de forma a representar um sistema real para que através dele possam ser estudados o comportamento do sistema e traçar métodos estratégicos de melhoria.

Todo modelo de processo é definido como uma ordenação específica de atividades de trabalho através do tempo e do espaço, com um início, um fim e um conjunto de entradas e saídas claramente definidas (DAVENPORT, 2000). Por meio da simulação se realiza uma imitação do funcionamento do sistema real, viabilizando a análise do comportamento do fluxo de produção através de alguns dados, tais como recursos necessários para a produção e tempos da produção.

Segundo Law e Kelton (2000) existem várias formas de abordagem no estudo de sistemas, conforme a Figura 3.

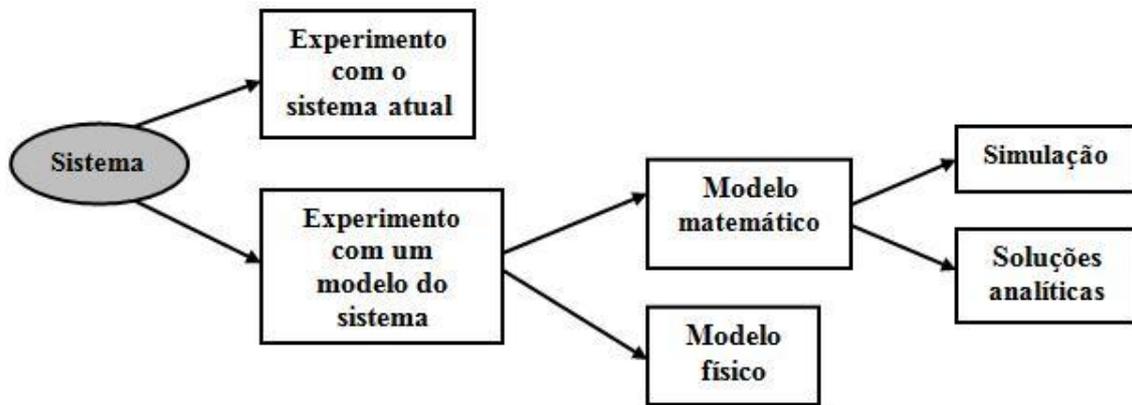


Figura 3 – Formas de estudar um sistema (Fonte: Law e Kelton (2000))

Vernadat (apud MEIRELLES et al, 2008) mostra as principais finalidades da modelagem de processos: uniformização do entendimento da forma de trabalho, gerando integração; análise e melhoria do fluxo de informações; explicitação do conhecimento sobre os processos, armazenando, assim, *know-how* organizacional; realização de análises organizacionais e de indicadores (processos, financeiros e outros); realização de simulações, apoiando tomada de decisões; e, gestão da organização.

Em geral os modelos de simulação devem conter uma entrada, na qual as entidades chegam ao sistema, um ou mais recursos de atendimento e uma saída. A Figura 4 ilustra esse conceito.



Figura 4 – Representação esquemática de um modelo de sistema (Fonte: Filho (2001)).

Para cada uma das etapas associa-se um tempo médio. Esses tempos se definem a partir de uma amostra de dados que são posteriormente tratados para verificar seu comportamento (média, desvio padrão e distribuição teórica). A partir da definição dos tempos e do modelo, a próxima etapa é avaliar o desempenho do modelo computacional. Uma das técnicas de medidas de desempenho e avaliação é a Teoria das Filas. O objetivo dessa técnica é avaliar as medidas de desempenho do sistema: tempo de espera médio, probabilidade de formação de fila, porcentagem de entidades rejeitada pelo sistema, a probabilidade de uma entidade esperar mais do que certo tempo, número médio de entidades na fila, probabilidade de que todos os servidores estejam ociosos, dentre outros.

## 5. Teoria das Filas

Segundo Fogliatti e Mattos (2007), um sistema com filas é qualquer processo aonde os usuários provenientes de uma determinada população, chegam para receber um serviço no qual aguardam, se for necessário, e saem do sistema assim que o serviço é concluído. O sistema de filas é observado em qualquer atividade na qual se envolve uma demanda de

usuários superior à capacidade de atendimento do sistema.

Um sistema de filas possui as seguintes características:

- Usuário (Cliente ou Entidade): Os indivíduos que chegam ao sistema a fim de obter algum tipo de serviço (recurso).
- Fila: Formada por entidades que estão aguardando o serviço (recurso) ser liberado.
- Disciplina de Atendimento: Após o recurso ser liberado uma nova entidade deverá ser processada caso haja uma fila. Portanto, é preciso determinar o próximo cliente que irá alocar o recurso por meio de uma disciplina de atendimento. As disciplinas mais conhecidas são: (i) FIFO (primeiro a chegar é o primeiro a ser atendido); (ii) LIFO (último a chegar é o primeiro a ser atendido); (iii) RR (tempo pré-determinado de atendimento; caso a entidade não tenha completado o processo, ela poderá retornar para fila e prosseguir com o processo em outro momento); (iv) LIFO preemptivo (último a chegar pode interromper o serviço e alocar o recurso); (v) PRI (prioridade de atendimento estabelecida para as entidades); (vi) SIRO (atendimento aleatório);
- Atendimento ou Processo: Tempo no qual a entidade se processa. As entidades podem ser atendidas utilizando um servidor, finitos servidores ou infinitos servidores, num único estágio ou em vários. Segundo Hillier e Lieberman (2004) um atendente não precisa necessariamente ser um único indivíduo, ele pode ser um grupo de pessoas, por exemplo, uma equipe de manutenção que combina forças para realizar simultaneamente o serviço exigido para um cliente. A Figura 5 mostra um modelo de sistemas de filas.

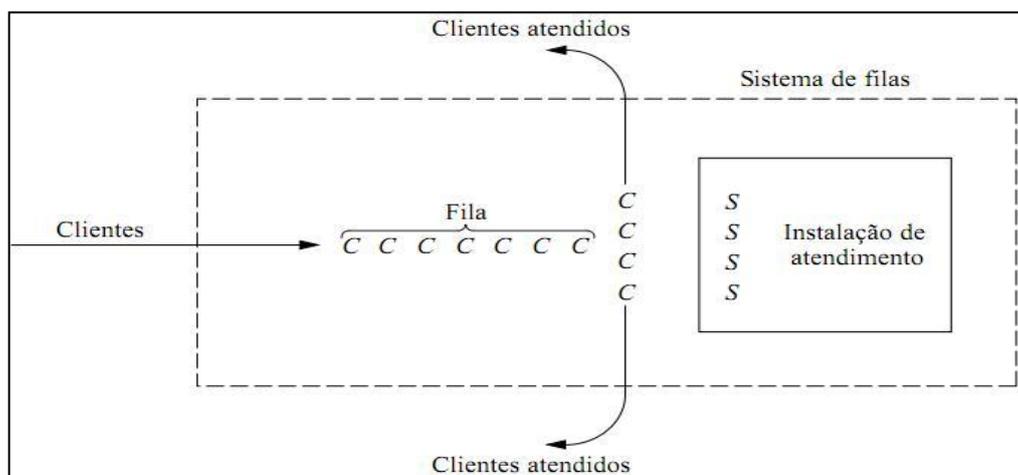


Figura 5 – Modelo de sistemas com filas (Fonte: Hillier e Lieberman (2004))

- Capacidade do Sistema: Quantidade máxima de entidades que podem estar no sistema, sendo finita ou infinita. A capacidade finita é entendida como um espaço físico limitado, por exemplo, uma fila de banco, e a capacidade infinita se definem como um espaço suficientemente grande ao ponto de nunca exceder sua capacidade, por exemplo, navios que aguardam para ser abastecidos em um portuário.

Os processos de chegada e atendimento se especificam de acordo com o comportamento do fluxo de chegada e de atendimento das entidades ao sistema. Se forem conhecidos o número de chegadas e os instantes de tempo em que elas acontecem, esse processo é denominado determinístico (FOGLIATTI e MATTOS, 2007). Se não for possível conhecer esses valores,

o processo é denominado estocástico (aleatório).

O processo estocástico no sistema de filas se caracteriza por uma distribuição de probabilidade definida pela taxa de chegada média ( $\lambda$ ) ou a taxa de atendimento médio ( $\mu$ ), por meio da coleta e análise dos dados. Um processo estocástico é uma família/sequência de variáveis aleatórias  $X(t)$  que descreve a evolução de alguma característica  $X$  do processo sob a análise ao longo do tempo  $t \in U$  (onde  $U$  é um conjunto de números inteiros não negativos) (FOGLIATTI e MATTOS, 2007). Para se obter o tipo de comportamento do sistema é preciso coletar dados (amostrar), criar uma tabela de frequências e aplicar inferências estatísticas. Um processo pode estar ligado a uma de diferentes distribuições de probabilidade tais como: Binomial, Poisson, Beta, Erlang, Exponencial, Gama, Lognormal, Normal, Uniforme, Triangular e Weibull (MEDINA e CHWIF, 2006).

De acordo com Kendall (1953), a forma utilizada para organizar o comportamento do sistema é representada por  $A / S / m / B / D$ , onde:

- A: distribuição de tempo sucessiva entre chegadas;
- S: distribuição de tempo de atendimento;
- m: número de canais de atendimento em paralelo;
- B: capacidade do sistema;
- D: disciplina de atendimento.

Dentre as distribuições teóricas listadas acima, as mais comuns no processo de A e S são (FOGLIATTI e MATTOS, 2007):

- D: distribuição determinística ou degenerada (tempos constantes);
- M: distribuição exponencial (sem memória ou Markoviana);
- $E_k$ : distribuição Erlang do tipo k;
- G: distribuição geral (qualquer distribuição permitida).

Podem-se criar diversas combinações de representação do sistema a partir dessa notação. A mais comum é a  $M / M / 1$  na qual tanto o tempo de chegadas sucessivas e o tempo de atendimento ocorrem conforme uma distribuição exponencial e possui apenas um servidor. As últimas três posições por default caracterizam respectivamente capacidade infinita e atendimento FIFO ou poderia ser descrita como  $M / M / 1 / \infty / FIFO$ .

Para cada combinação há uma forma de calcular as medidas de desempenho do sistema. No exemplo dado, a forma de calcular algumas dessas medidas são mais reduzidas e específicas para esse tipo de problema uma vez que existe uma fórmula genérica na qual se pode calcular e obter os mesmo resultados conforme é citado pelos autores Fogliatti e Mattos (2007) e Filho (2001).

## 6. Estudo de Caso

O estudo de caso mostra a proposta de um modelo do sistema de produção de telhas em uma das empresas cerâmicas de Campos dos Goytacazes (RJ). De acordo com a análise dos dados obtidos junto à cerâmica, decidiu-se apresentar neste trabalho apenas parte do processo produtivo. A empresa produz diferentes tipos de tijolos e telhas, mas no estudo será apresentado somente o processo de fabricação de telhas. Foram modeladas as etapas de preparação da matéria prima (considerou-se a massa já pronta), conformação, corte

prensagem e transporte para secagem.

A primeira fase desse trabalho constituiu-se no levantamento dos dados, para o cálculo da produção de telhas. Para a produção de 30.000 telhas foram necessárias 105 toneladas de matéria-prima (argila), a um custo de R\$3,00/ton. O tempo gasto na produção, passando pelas etapas de conformação e prensagem, é de aproximadamente 7 horas e 20 minutos. Esses dados foram obtidos através de observação direta. Nesse período de observação, verifica-se como está disposta a mão de obra direta deste sistema de produção: 1 operador na extrusora, 4 auxiliares prensando as telhas, 6 auxiliares retirando as telhas da esteira (lugar onde as telhas são colocadas após serem prensadas) e 3 auxiliares transportando o produto para o processo de secagem; sendo que o salário diário de um operador é R\$37,00 e dos auxiliares de produção é de R\$30,67.

A jornada semanal de trabalho na cerâmica é de 44 horas. Os funcionários trabalham de segunda-feira a sábado. Então, considerar-se-á uma jornada diária de 7,33 horas, ou seja, 44 horas por semana dividido por 6 dias trabalhados que é igual a 7,33. A partir desses dados, a Figura 6 mostra o modelo desenvolvido no Arena 7.0 para o sistema de produção de telhas.

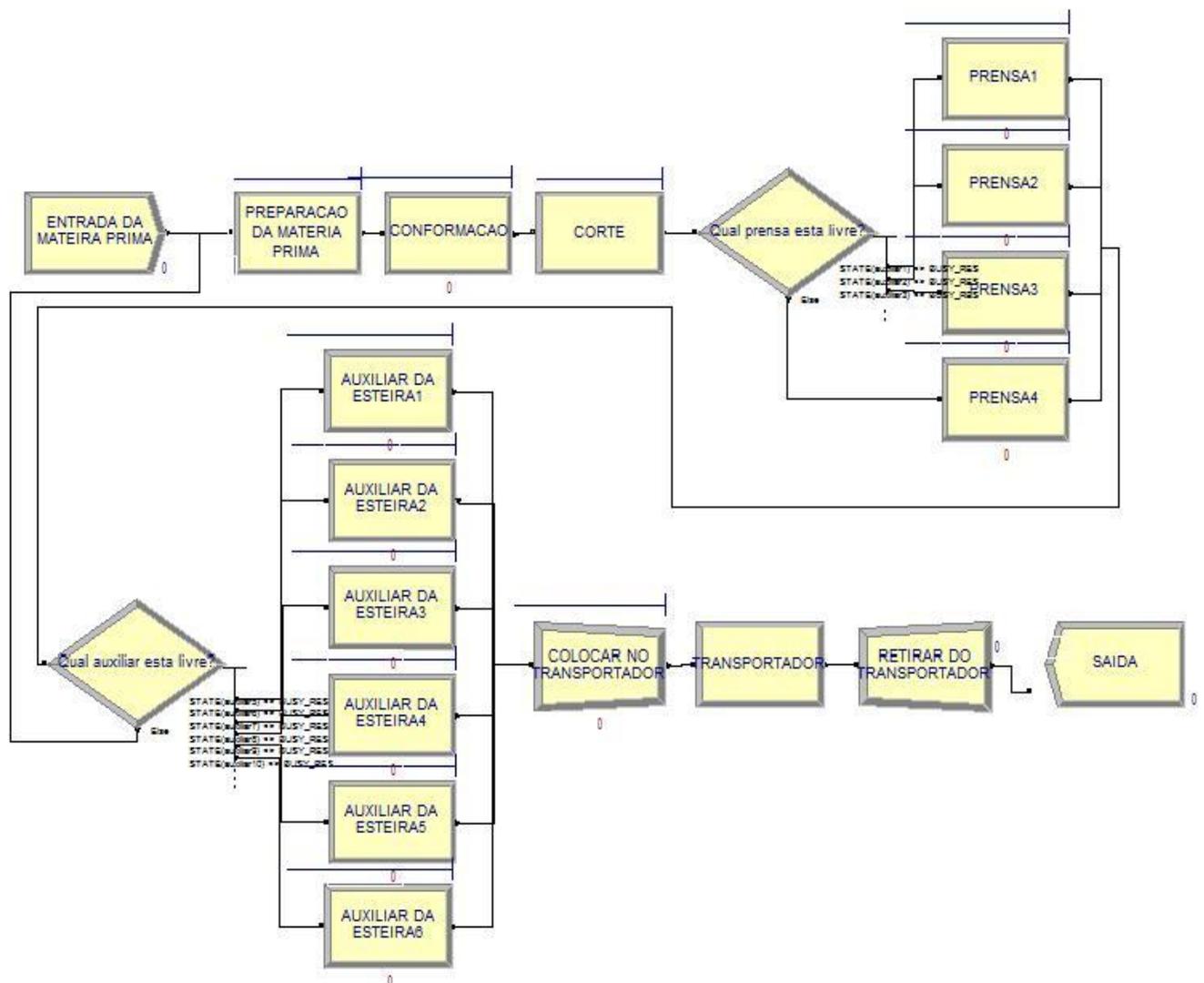


Figura 6 – Modelo do sistema de produção de telhas.

O modelo inicia com a preparação da matéria prima, a qual está configurada para produzir 30.000 telhas. O processo de conformação tem o tempo médio de processamento constante de 0.879599980 massa/seg. O corte está padronizado de acordo com a conformação, e tem a capacidade de cortar 4 blocos em 3.51839990 segundos, em média. Após o corte, verifica-se qual prensa está livre. No modelo, segue-se a ordem: a PRENSA1 recebe o primeiro bloco, a PRENSA2 recebe o segundo bloco, a PRENSA3 recebe o terceiro bloco e a PRENSA4 recebe o quarto bloco. Essa sequência prossegue até o fim da simulação. Em média, cada prensa leva o tempo de 3.51839990 seg. para prensar uma telha. Em seguida, as telhas percorrem por uma esteira, da qual são retiradas pelos auxiliares e introduzidas em um transportador com um tempo médio de 5.27759990 seg. para executar essa tarefa. A ordem em que as telhas são retiradas da esteira segue o mesmo padrão das prensas. As telhas são transportadas por 3 auxiliares e a cada viagem são agrupadas em 300 peças no transportador.

No modelo, os processos da prensa e da esteira poderiam ser representados cada um por um bloco de processos, alterando-se apenas a capacidade de processamento simultâneo para 4 e 6 respectivamente. Entretanto, o sistema foi modelado conforme a Figura 6 para que fosse possível visualizar o desempenho dos auxiliares.

## 7. Análise dos Resultados e Conclusões

O modelo foi desenvolvido e executado no Arena 7.0 utilizando um notebook convencional. Utilizou-se o tempo de produção de 7,33h e validou-se o modelo, verificando os resultados simulados. A partir da simulação do processo produtivo, fizeram-se algumas alterações no modelo original (por meio de vários testes), chegando-se aos resultados da Tabela 1.

| MODELO   | GARGALO | PEÇAS PRODUZIDAS | CUSTO DE PRODUÇÃO | RETRABALHO | QTD DE PRENSAS | QTD DE AUXILIARES NA ESTEIRA |
|----------|---------|------------------|-------------------|------------|----------------|------------------------------|
| Original | Não     | 30.000           | R\$750,71         | Não        | 4              | 6                            |
| Teste 1  | Sim     | 30.000           | R\$812,05         | Não        | 5              | 7                            |
| Teste 2  | Sim     | 30.000           | R\$781,38         | Não        | 5              | 6                            |
| Teste 3  | Sim     | 30.000           | R\$781,38         | Não        | 4              | 7                            |
| Teste 4  | Sim     | 21.600           | R\$631,84         | Não        | 3              | 6                            |
| Teste 5  | Sim     | 20.700           | R\$622,39         | Sim        | 4              | 5                            |

Tabela 1 – Comparação entre os resultados do modelo proposto com os resultados dos modelos modificados

Em relação ao modelo original:

- Os auxiliares da prensa e os auxiliares da esteira possuem uma taxa de utilização média de 99%;
- O custo total diário da produção foi de R\$750,71;
- Não houve retrabalho de peças;
- Os auxiliares da prensa produziram individualmente 7.500 peças/h e os auxiliares da esteira produziram cada um 5.000 peças/h.

Em relação ao modelo original, as modificações propostas foram as seguintes: o Teste 1 aumentou o número de prensas para 5 e o número de auxiliares na esteira para 7; o Teste 2 aumentou as prensas para 5 e manteve os auxiliares; o Teste 3 manteve o número de prensas e aumentou os auxiliares para 7; o Teste 4 diminuiu as prensas para 3 e manteve os auxiliares;

e, o Teste 5, manteve o número de prensas e diminuiu os auxiliares para 5. Em relação aos auxiliares do transporte, não se fizeram alterações no número de funcionários. Dos resultados da simulação, observa-se que:

- Nos Testes 1, 2 e 3 não se apresentaram mudanças no total produzido, porém o Teste 1 possui o custo de produção de R\$812,05. Os Testes 2 e 3 possuem o mesmo custo de produção de R\$781,38. Para esses testes também se verifica que ocorre aumento de ociosidade dos servidores;
- Os gargalos do sistema encontraram-se nos processos de conformação e corte, pois quando se aumenta o número de prensas ou de auxiliares na esteira, o sistema continuou produzindo a mesma quantidade de telhas;
- A extrusora e a cortadeira possuem restrição na capacidade de conformação e corte da massa, não podendo ser alteradas;
- Se o sistema tivesse 3 prensas e continuasse com os 6 auxiliares na esteira (Teste 4), um dos auxiliares poderia ser descartado, pois estaria ocioso. Para os 5 auxiliares que são necessários no sistema, 2 deles tiveram a taxa de utilização de 75% e os outros 3 uma taxa de 99%. De acordo com os resultados, a produção de dois auxiliares da prensa foi de 7.503 peças/h e o outro auxiliar prensou 7.504 peças/h. Os auxiliares da esteira que obtiveram maior desempenho produziram em média 5.002 peças/h e os outros produziram 3.751 peças/h. Nota-se que, como existem menos prensas, os estágios anteriores caracterizaram um gargalo no sistema. Ao final da produção, obteve-se cerca de 21.600 telhas produzidas (72% da produção do modelo original) com o custo total de R\$631,84;
- Caso o sistema fosse alterado para 4 prensas e 5 auxiliares na esteira (Teste 5), gerar-se-ia aproximadamente 8.464 peças para o retrabalho. Todos os auxiliares da esteira sofreram uma perda de 14% do seu desempenho totalizando a produção de 4.287 peças/h. Os auxiliares da prensa mantiveram o desempenho de 99% da taxa de utilização. Ao final da produção, obteve-se cerca de 20.700 telhas produzidas (69% da produção do modelo original) com o custo de R\$622,39;
- Em relação aos custos obtidos, pode-se verificar que, somando-se o número de auxiliares da prensa com o número de auxiliares da esteira, os custos dos testes que resultam a mesma quantidade de auxiliares, apresentam o mesmo custo de produção, caso a quantidade de matéria prima utilizada seja a mesma. Na busca pela eficiência da produção, a decisão a ser tomada não deve levar em consideração somente o custo mínimo obtido, deve-se utilizar uma combinação destes custos com a quantidade de peças que se deseja produzir. De acordo com a inferência dos resultados, conclui-se que o custo mínimo diário com aproveitamento total da produção de telhas é de R\$750,71, na qual se encontra no sistema de produção original.

Os conceitos de modelagem e simulação apresentados neste trabalho fornecem base para entender o que seja modelo e sua importância bem como a simulação de sistemas. O estudo sobre teoria das filas objetiva melhorar o desempenho do modelo simulado por meio de equações matemáticas e técnicas de controle de filas. Naturalmente, este modelo deve ser complementado incluindo as outras etapas do processo.

## Referências

ÁVILA, D.R. *Modelagem de processos organizacionais utilizando a matriz de estrutura baseada em atividades*. In: XXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP, 2006.

**ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA.** Disponível em: < <http://www.anicer.com.br/> >. Acesso em: 9 Mar, 2010.

**BRUSTOLIN, J.R. & SILVA, E.M.** *Simulação do Processo de Congelamento em uma Unidade Produtora de Aves.* In: XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP, 2007.

**DAVENPORT, T.H.** *Mission critical: realizing the promise of enterprise systems.* 1. ed. Boston: Harvard Business School Press, 2000.

**FILHO, P.J.F.** *Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas.* Ed. Visual Books. Florianópolis, SC, 2001.

**FOGLIATTI, M.C & MATTOS, N.M.C.** *Teoria de Filas.* Ed. Interciência. Rio de Janeiro, 2007.

**HILLIER, F.S. & LIEBERMAN, G.J.** *Introductions to Operations Research.* 8. ed., McGraw-Hill, New York, 2004.

**KENDALL, D. G.** *Stochastic Processes Occurring in the Theory of Queues and their Analysis by the Method of the Imbedded Markov Chains.* Ann. Math. Statist. Vol. 24, p. 338-354, 1953.

**LAW, A.M. & KELTON, W.D.** *Simulation Modeling and Analysis.* 3. ed., McGraw-Hill, New York, 2000.

**NORMEY-RICO, J.E.; MÜLLER, J.F & BRISTOL, V.M.** *Controle de Temperatura de Secadores de Revestimentos Cerâmicos Alimentados com Gás Natural.* 2º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo & Gás. Rio de Janeiro, 2003.

**MEDINA, A.C. & CHWIF, L.** *Modelagem e Simulação de Eventos Discretos.* Capítulo 2, Versão 0.2, 2006.

**MEIRELLES, A.; PAZ, C.; BOTELHO, I.; PAVÃO, S. & FERRAZ, P.** *Aplicação de uma Metodologia de Modelagem de Processos de Controle de Qualidade: um Estudo em uma Empresa do Setor Farmacêutico.* In: XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP, 2008.

**MEIRELLES, A.F.; MEIRELLES, L.A.; BARBASTEFANO, R.G. & FLEXA, R.C.** *Simulação e Layout - Um Estudo de Caso.* In: XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP, 2009.

**MELLOR, S.J.; SCOTT, K.; UHL, A. & WEISE, D.** *MDA Destilada: Princípios de Arquitetura Orientada por Modelos.* Ed. Ciência Moderna. Rio de Janeiro, 2005.

**SILVA, C.E.S.; OLIVEIRA, E.S.; SILVA, S.F.; SALGADO, E.G. & MELLO, C.H.P.** *Contribuição da Análise do Valor na Simulação da Manufatura.* In: XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP, 2007.

**SILVESTRE, B.S.** *Uma Análise Competitiva do Setor Ceramista de Campos dos Goytacazes.* Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção - Campos dos Goytacazes-RJ. Universidade Estadual do Norte Fluminense - UENF. 109p, 2001.

**SOUZA, S.D.C.** *Uma Abordagem Evolucionária da Dinâmica Competitiva em Arranjos Produtivos Locais.* Tese de Doutorado em Engenharia de Produção - Campos dos Goytacazes-RJ. Universidade Estadual do Norte Fluminense - UENF. 342p, 2003.