

Sistema de manufatura: otimização de processos em uma unidade fabril de cimento através da teoria das filas

Manufacturing system: optimization of processes in a manufacturing unit of cement through the theory of queues

Igor Idalgo Perdoná¹

Rodrigo Veiga Nunes²

Rafael Martins das Neves³

Simone Caberte Naimer⁴

Leoni Pentiado Godoy⁵

Resumo

O sucesso de uma empresa fabril depende principalmente da agilidade do seu sistema de manufatura em absorver informações, o qual visa satisfazer as necessidades dos seus usuários. No entanto, o presente estudo tem por objetivo realizar uma análise de controle, identificando os fatores que limitam a expedição em uma fábrica de cimento e através de técnicas de produção, alinhar e otimizar o fluxo do processo nessa etapa. A Teoria das Filas é uma técnica bastante eficaz, pois busca oportunidades de aperfeiçoar as restrições, eliminando os gargalos e utilizando uma modelagem de transporte adequada, reduzindo o tempo de espera no carregamento. No que se estabelece, o estudo atingiu os propósitos instituídos, realizando a análise de controle, identificando os fatores que limitam a expedição na unidade fabril e através da utilização da técnica, Teoria das Filas, indicar onde deve ser alinhado e otimizado o fluxo do processo do cimento.

Palavras-chave: Sistemas de Manufatura. Processo Produtivo. Teoria das Filas.

Abstract

The success of a manufacturing company mainly depends on the agility of their manufacturing system to absorb information, which aims to meet the needs of its users. However, this study aims to carry out an analysis of control, identifying the factors that limit the expedition in a cement factory and through production techniques, align and optimize the process flow at this stage. The Theory of Queues is a very effective technique because it seeks opportunities to improve the restrictions, eliminating bottlenecks and using a suitable transport modeling, reducing the waiting time for charging. As it establishes the study reached the set purposes, realizing control analysis, identifying the factors that limit the shipment in the factory and by the use of the technique, queuing theory, indicate where to be aligned and optimized process flow cement.

Key words: Manufacturing Systems. Production Process. Queuing Theory.

¹ Aluno do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS [Brasil] igorperdona@hotmail.com

² Bacharel em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Pampa. Cidade, RS [Brasil] veiga_bg@hotmail.com

³ Bacharel em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Pampa. Cidade, RS [Brasil] rmneves83@gmail.com

⁴ Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS [Brasil] simone.naimer@live.com

⁵ Professora do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS [Brasil] leoni_godoy@yahoo.com.br

1 Introdução

Atualmente, o mercado internacional está cada vez mais acirrado. O sucesso de uma empresa fabril depende principalmente da agilidade do seu sistema de manufatura em absorver informações, o qual visa satisfazer as necessidades dos seus usuários. Assim sendo, para que isso ocorra, é fundamental que os fatores a seguir compo-nham o sistema, sendo eles: segurança, flexibilidade, confiabilidade, envolvimento dos empregados, bons serviços e compreensibilidade. Estes fatores trarão presteza no processo, onde a redução do tempo de espera em estações de trabalho e equipamento parado, muitas vezes, é o lucro da empresa (Black, 1998).

Quando se tem um sistema flexível de manufatura, o espaço físico é considerado fundamental, pois o mesmo faz o elo entre os elementos: tempo, informações disponíveis, redução de desperdícios, máquinas e operadores (Slack, Chambers e Johnston, 2009).

No entanto, o presente estudo tem por objetivo realizar uma análise de controle, identificando os fatores que limitam a expedição em uma fábrica de cimento e através de técnicas de produção, alinhar e otimizar o fluxo do processo nesta etapa. A competitividade está em certo ponto ligada ao arranjo e a execução, o que torna a logística um instrumento de suma importância para as empresas que desejam se consolidar no mercado.

Na busca por otimizar o processo produtivo, a Teoria das Filas é uma técnica bastante eficaz, pois busca oportunidades de aperfeiçoar as restrições, eliminando os gargalos e utilizando uma modelagem de transporte adequada, reduzindo o tempo de espera no carregamento.

No que diz respeito à Teoria das Filas, ou Teoria de Congestão, foi inicialmente motivada por aplicações em sistemas de telefonia. A mesma estuda as relações entre a demanda de um servi-

ço e o atraso sofrido pelos usuários. Essa teoria é utilizada como apoio no momento de definir um projeto e também na operação de um sistema, ajudando a encontrar as melhores alternativas, de forma a balancear o sistema, sendo que em muitos sistemas, os custos associados ao atraso são muito elevados. Com isso, é de suma importância à descoberta do ponto de equilíbrio, uma vez que o tempo de espera diminui com o aumento da capacidade, e vice-versa.

2 Referencial Teórico

2.1 Competitividade

Nos dias de hoje, a capacidade de competição de uma organização depende da capacidade de mudar e de desenvolver novas direções estratégicas. O processo de pensar o novo, de considerar ideias e soluções que ainda não são conhecidas, assume um papel importante em termos de aquisição de vantagem competitiva (Barbosa & Cândido, 2013; Roman, Piana, Lozano, Mello, & Erdmann, 2012).

Com a globalização dos mercados num estágio mais consolidado, as empresas, em todos os setores da atividade econômica, demandam com mais intensidade uma posição de liderança no cenário onde atuam. Contudo, nem todas conseguem encontrar os meios necessários para o alcance desse objetivo. Uma opção viável, apontada por estudos e pesquisas, é a organização estar inserida num ambiente em que estratégias competitivas possam estar permeando esse ambiente (Barbosa & Cândido, 2013; Roman, Piana, & Lozano, 2012).

Entende-se como fator de competitividade aquilo que se caracteriza como uma real preocupação e razão de ser de cada atividade da empresa. Essas “razões de fundo” ou “razões de ser” se configuram em aspectos que, ao serem claramente

identificados, podem contribuir para o aperfeiçoamento empresarial, ou mais especificamente, para o aumento da performance. Pode-se dizer que o fator de competitividade corresponde às variáveis nas quais a empresa precisa apresentar bom desempenho, para sobreviver e se destacar em relação ao mercado (Paiva, Costa, Barbosa, & Gonçalves, 2015; Harrison, Bosse, & Phillips, 2010; Roman et al., 2012).

O termo competitividade vem sendo discutido ao longo dos anos, apresentando diferentes interpelações e modelos. As vantagens competitivas estão associadas à habilidade das firmas de conquistar e manter um *market share* interessante. A competitividade pode estimular a inovação, bem como permitir que a empresa lide melhor com as mudanças no ambiente (Paiva et al., 2015; Harrison et al., 2010; Roman et al., 2012).

As aptidões de *marketing* desempenham a capacidade de satisfazer as necessidades dos consumidores com produtos de melhor *design*, *performance*, localização, serviços, entrega, entre outros. As relações gerenciais são associadas às melhorias das relações internas e externas. Economias de escala são relacionadas a elevados volumes de produção, que permitem a redução de custos. São razões determinantes da competitividade nacional: condições de fatores; condições de demanda; indústrias correlatas e de apoio; e estratégia, estrutura e rivalidade das empresas (Paiva et al., 2015).

2.2 Células de manufatura

Nas últimas décadas um novo modelo de organização de sistemas de produção, denominado células de manufatura, vem sendo usado. Neste tipo de sistema de produção, máquinas de distintas funcionalidades são agrupadas em uma célula, que é dedicada à produção de uma família de partes, isso é, partes que possuem alto nível de similaridade entre si, no que dizem respeito

às máquinas necessárias para sua manufatura (Dalleaste, 2011; Laugeni & Martins, 2012; Trindade & Ochi, 2006).

Os agrupamentos referidos anteriormente sejam pelo sistema de classificação ou pela matriz de processos, aspirando melhorias nos processos produtivos, levam ao conceito de células de manufatura. A célula de manufatura tem como objetivo minimizar o problema crítico de disposição relativa das máquinas, reduzindo distâncias e caminhos percorridos durante o processo (Dalleaste, 2011; Laugeni & Martins, 2012; Trindade & Ochi, 2006).

A organização de uma unidade industrial em células de manufatura aproxima diferentes processos fabris, causando a diminuição severa das necessidades de transporte e do tempo de atravessamento. As células de manufatura ao aproximar diferentes processos fabris, diminuem a quantidade de estoque intermediário e a quantidade de produto acabado, permitindo uma grande diminuição das necessidades de transporte e do tempo de atravessamento (Graziani, Santos, Batiz, & Júnior, 2013; Hyer & Brown, 1999).

A velocidade de resposta consequente faz com que as células de manufatura respondam com êxito às inúmeras variações de demanda do mercado, concedendo o aumento de fluxo de caixa. Com o reconhecimento da existência de vários tipos de células de manufatura e da grande diversidade de resultados alcançados, consegue-se evidenciar que esta forma de organização do trabalho tem qualificações maiores que um simples arranjo (Graziani, Santos, Batiz, & Júnior, 2013; Hyer & Brown, 1999).

As células de manufatura vêm tornando-se uma das principais soluções encontradas no decorrer dos anos para a aproximação de sistemas de produção. Com isso, as células de manufatura vêm sofrendo várias mudanças, entre essas mudanças estão: o aumento da variedade de produ-

tos, a redução do tamanho do lote, melhoria da qualidade, redução de custos, concorrência no mercado, flexibilidade, sistemas de fabricação, etc. Essas mudanças de mercado necessitam de uma resposta rápida para um melhor atendimento ao cliente (Trintin & Sellitto, 2013).

Um sistema de células de manufatura ideal compõe-se de *clusters* sem lacunas e sem qualquer correlação, ou seja, elementos excepcionais. Contudo, na prática é raro encontrar sistemas de produção que possam se tornar sistemas de manufatura com *clusters* sem correlação alguma, excluindo notoriamente casos particulares onde o sistema é composto por um único *cluster* (Trindade & Ochi, 2006).

2.3 Sistema flexível de manufatura

Apesar de que não haja entendimento entre vários autores quanto à origem do primeiro sistema flexível de manufatura (*Flexible Manufacturing System* - FMS), alguns consideram a indústria inglesa de máquinas-ferramenta “Mollins” como sendo a primeira a implantar, em 1968, um sistema desse tipo. O conceito de FMS foi originado na Grã-Bretanha em 1960. Esses sistemas criados, inicialmente exerciam manufaturas de famílias de partes usando máquinas e ferramentas de controle numérico (Cano, 2006; Rocha, Prudente, & Lima, 2009).

Sistemas flexíveis de manufatura surgiram a partir de modificações nos sistemas de manufatura, como reação às necessidades específicas do mercado, sendo a principal resposta rápida às necessidades de mudança do produto como atualizações, alterações nas funcionalidades, variedade, entre outras (Cano, 2006; Rocha, Prudente, & Lima, 2009).

Contudo, para que isso possa ser obtido com eficiência, esses sistemas são em sua grande maioria complexos tanto no nível dos equipamentos, geralmente de alta tecnologia, como no seu con-

trole e operação. Uma planta FMS é dividida em diversas estações ou células e cada estação/célula possui diversos componentes, tais como: robôs e máquinas, além de um sistema de transporte para movimentar materiais entre as estações. (Cano, 2006; Rocha et al., 2009).

Um sistema flexível de manufatura é formado por máquinas-ferramenta com comando numérico computadorizado, interconectadas para transferência de informação, por um sistema de rede de comunicações, e transferência de materiais, por um sistema de manipulação, troca, e transporte de peças e ferramentas como: esteiras, veículos transportadores, etc. A implantação deste sistema é recomendada na produção em pequena escala, quando os modelos a serem produzidos são bastante variados. Em contra partida, pode-se recusar quase todo uso de mão de obra que seu funcionamento não é afetado (Cano, 2006; Rocha et al., 2009).

Nos dias de hoje, na indústria, os FMS estão se tornando maiores e mais complexos, com isso requerem algum nível de otimização. O desafio atualmente se dá em implementar ou melhorar os antigos sistemas de produção de forma rápida, com objetivo da busca de maior eficiência e em consequência disso, obtenção de redução dos custos. Os métodos utilizados atualmente já estão ultrapassados e esses tornam a tarefa complicada (Bittencourt & Rhamos, 2009).

Algumas aplicações onde é comumente utilizado um FMS: operações de manufatura com máquinas ferramentas (a mais comum aplicação), montagens de partes, inspeção, conformação de metais, etc. São benefícios de um FMS: incremento da utilização das máquinas, poucas máquinas requeridas, redução do espaço do chão de fábrica, alta capacidade de mudança, redução de inventários, baixos tempos mortos de produção, alta produtividade e qualidade do produto ótima, e

tempos grandes de produção sem intervenção do operário (Cano, 2006).

Um FMS distingue-se de outras formas de manufatura automatizada por considerar: diversidade de produtos que se deseja produzir (flexibilidade do produto); características adaptativas das máquinas (flexibilidade do produto); características adaptativas das máquinas (flexibilidade dos equipamentos); e propriedades de similaridade dos processos (flexibilidade do processo). Além do mais, consideram-se as implicações nas relações de custo/benefício e produtividade/qualidade do sistema. Tal diversidade, demanda do processo uma grande versatilidade para lidar com diferentes combinações operacionais e funcionais de máquinas ferramentas e sequencias de processos (Cano, 2006).

2.4 Teoria das filas

A teoria das filas é um campo da pesquisa operacional que aproveita conceitos básicos de processos estocásticos e de matemática aplicada para analisar o fenômeno de formação de filas e seus pormenores. A mesma foi desenvolvida com o intuito de prever o comportamento das filas com finalidade a permitir o dimensionamento adequado de instalações, equipamentos e sua infraestrutura. Esta teoria permite indicar um modelo quantitativo de fila para uma situação em particular, a partir do padrão probabilístico das chegadas dos clientes à fila, do padrão probabilístico dos atendimentos fornecidos pela empresa e a partir do número de canais de atendimento disponíveis. Compreender o comportamento das filas possibilita avaliar sistemas do mundo real, a fim de amenizar situações estressantes que esperas exageradas possam causar (Bruns, Soncim, & Sinay, 2012; Figueiredo & Rocha, 2010).

O congestionamento de tarefas a serem executadas por um equipamento trata-se de um problema fundamental com que a administração de

uma organização deve lidar, uma vez que o tempo de espera em uma fila é um dos itens que retrata a qualidade do atendimento no estabelecimento comercial, do prestador de serviço ou do equipamento. A formação de filas ocorre quando a procura por determinado serviço é maior que a capacidade do sistema em atender essa demanda (Camelo et al., 2010; Figueiredo & Rocha, 2010).

Assim, a teoria das filas, por meio de fórmulas matemáticas, como já exposto, procura encontrar um ponto de equilíbrio que satisfaça o cliente e que seja economicamente viável para o prestador do serviço. Os principais elementos de um sistema de filas são: a) cliente (unidade que requer atendimento, podendo ser máquina, pessoas e, neste trabalho específico, navios); b) fila (representa os clientes que esperam para serem atendidos); e c) canal de atendimento (processo ou sistema que realiza o atendimento do cliente) (Camelo et al. 2010; Figueiredo & Rocha, 2010).

Um sistema de fila é geralmente descrito com uma série de símbolos do tipo A/B/X/Y/Z que especifica as características de seus cinco componentes. O símbolo A indica a distribuição probabilística do tempo entre chegadas, B indica a distribuição probabilística do tempo de atendimento, X é o número de canais operando no sistema, Y representa a capacidade do sistema e Z designa a disciplina da fila. Em muitos casos práticos, somente os três primeiros símbolos são utilizados (Figueiredo & Rocha, 2010).

Ao suprimir os dois últimos símbolos, acorda-se que a capacidade do sistema é infinita e a disciplina da fila segue o critério FIFO (*first in first out*)/LIFO (*last in first out*)/SIRO (*served in random ordem*)/PRI (*priority*). As características dos componentes de um sistema de fila determinam o modelo quantitativo mais adequado ao sistema de fila a ser analisado. Como um sistema de fila pode ter vários tipos de estruturas, dependendo das características de seus componentes, cada situação

exige um estudo analítico próprio (Figueiredo & Rocha, 2010).

As fórmulas mais relevantes, conforme Moreira (2010), para o cálculo de atendimento de filas simples serão expostas no Quadro 1:

Representação dos símbolos	
μ	Taxa de atendimento
λ	Taxa de chegada
$P(0)$	Probabilidade de que o sistema esteja ocioso
$P(n)$	Probabilidade de que haja n clientes no sistema
$P(n=K)$	Probabilidade de que não tenha mais que K clientes
L_f	Número médio de clientes na fila
L	Número médio de clientes no sistema
W_f	Tempo médio que o cliente espera na fila
W	Tempo médio que o cliente espera no sistema
Fórmulas cálculo atendimento	
$P = \lambda / \mu$	Utilização do sistema
$P(0) = 1 - P$	Probabilidade de que o sistema esteja ocioso
$P(n) = (\lambda / \mu)^n * P(0)$	Probabilidade de que haja n cliente esperando ou sendo atendido
$P(n=k) = 1 - (\lambda / \mu)^{k+1}$	Probabilidade de que não haja mais que K cliente esperando
$L_f = \lambda^2 / \mu(\mu - \lambda)$	Número médio de clientes na fila
$L = L_f + (\lambda / \mu)$	Número médio de clientes no sistema
$W_f = L_f / \lambda$	Tempo médio de clientes esperando na fila
$W = L / \lambda$	Tempo médio de clientes esperando no sistema

Quadro 1: Representação e símbolos mais relevantes para atendimento de filas simples

Fonte: Elaborado pelos autores.

3 Material e métodos

Para o desenvolvimento do estudo foi efetuada uma pesquisa exploratória na empresa estudada, envolvendo levantamento bibliográfico, e entrevistas

com o gestor e com os operadores, buscando o amplo e detalhado conhecimento e experiências práticas, além de trazer a compreensão e proporcionar maior familiaridade com o problema.

Essa etapa da pesquisa se desenvolveu numa situação natural, que é rica em dados descritivos e tem um plano aberto e flexível, além de focalizar a realidade de forma intensa e contextualizada. A empresa em estudo está sediada em um município localizado ao extremo sul do estado do Rio Grande do Sul. A mesma é produtora de cimento CPIV-32. O produto é comercializado em diversos municípios do estado. A fábrica possui tecnologia semelhante às indústrias europeias e sua capacidade apresenta valores significativos.

A coleta de dados foi baseada em entrevista, que trata-se de uma técnica de coleta de dados na qual o pesquisador tem um contato mais direto com a pessoa, no sentido de inteirar-se de suas opiniões acerca de um determinado assunto. Neste trabalho, utilizou-se a entrevista semi-estruturada, o que permitiu uma maior liberdade para o pesquisador. A partir disso, foram elaboradas perguntas preestabelecidas. Assim, pretendeu-se buscar a objetividade das respostas dos entrevistados.

Com esse levantamento de dados, se dispôs um estudo de caso baseado na investigação empírica e numérica, que apura um fenômeno contemporâneo dentro do seu contexto real, esboçando uma profunda e exaustiva investigação de objetos que comportaram amplas e detalhadas informações.

4 Resultados e discussão

A Figura 1 demonstra de forma resumida, uma visão geral do processo produtivo da empresa, desde a extração da matéria-prima até ao produto final (cimento).

Na fabricação de cimento, cada fase ou estágio do processo envolve um conjunto de controles

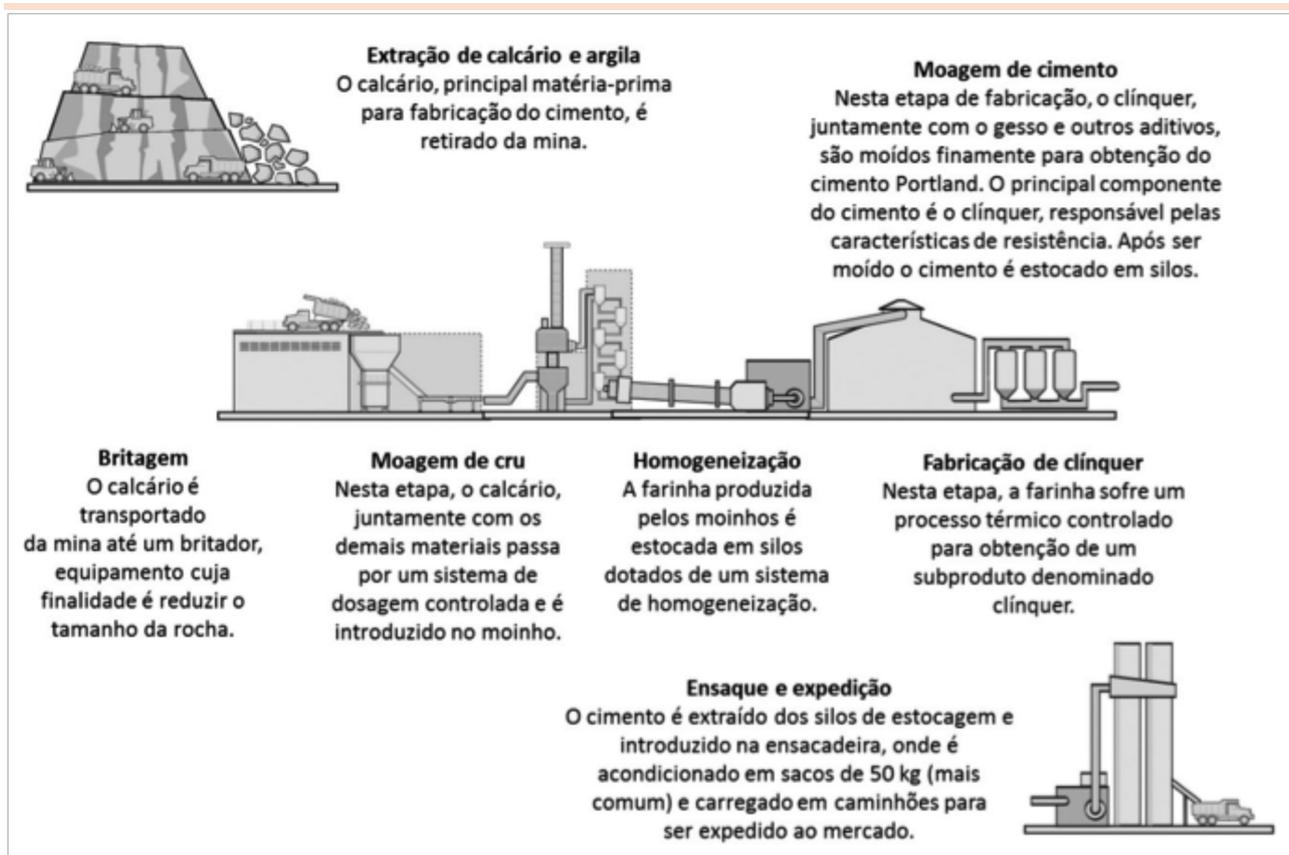


Figura 1: Etapas do processo de fabricação do cimento

Fonte: Elaborado pelos autores.

e operações responsáveis pelas transformações físicas e químicas, desde o estágio original (calcário) até o estado final (cimento).

Na etapa de expedição do cimento CPIV-32, o sistema é automatizado, contendo apenas dois trabalhadores nessa célula. A expedição é programada através do sistema de vendas. Esse informa para a célula de ensaque quantos sacos de cimento serão expedidos naquele dia, com o número de caminhões e capacidade de sacos que será carregada em cada caminhão, o operador libera a ensacadeira para rotar, e assim inicia-se a extração de cimento em um silo, através de um elevador, que alimenta outro silo, onde esse cimento passa por uma ensacadeira, de acordo com a Figura 2.

O cimento é embalado através de uma ensacadeira rotativa de turbina vertical, onde os bicos injetores recebem os sacos através do *radi-*

mat. Estes são controlados por sensores que indicam quando o sistema tem que ser abastecido com mais sacaria. Após o cimento ser embalado, ele é transportado em correias que alimentam os *autopac*, que são responsáveis pelo carregamento dos caminhões. Com relação à quantidade de sacos de cimento, o operador informa ao *software* das *autopac*, que é o *software* responsável por fazer a distribuição do cimento em pilhas nos caminhões.

Segundo o coordenador da célula de expedição de cimento, com a implantação deste sistema de carregamento, utilizando as *autopac*, ocorreu uma redução significativa de colaboradores, pois anteriormente os caminhões eram carregados manualmente.

A Figura 3 ilustra a ensacadeira, onde o cimento é embalado. Esse sistema possui alta tec-

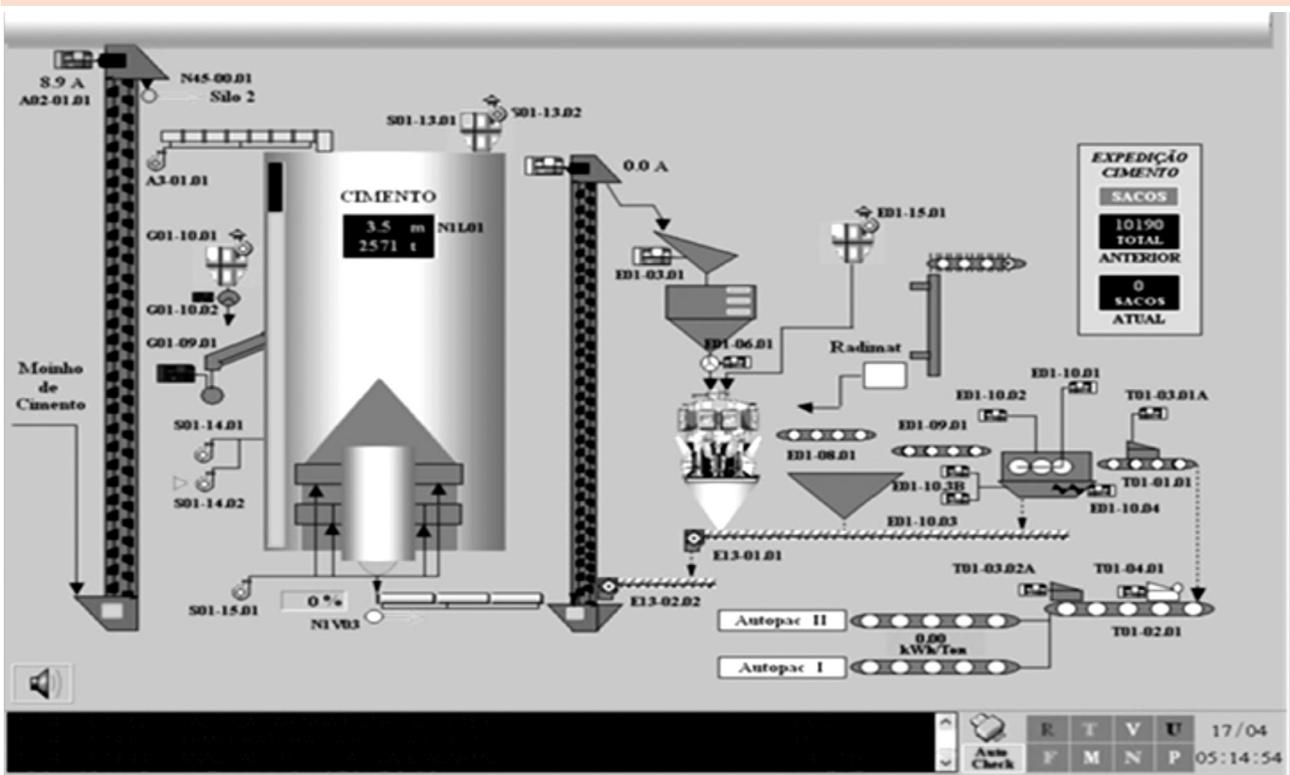


Figura 2: Processo de expedição de cimento
 Fonte: Elaborado pelos autores.

nologia, com balanças eletrônicas acopladas para que o saco de cimento saia com o peso da especificação contido na embalagem, ganhando assim, a confiança dos clientes. Através do diagnóstico preliminar, foi constatado que a empresa tem grande cuidado nesta etapa, tendo em vista que essas balanças são monitoradas diariamente, realizando aferição do peso na embalagem do produto.

Na etapa de carregamento de clínquer o sistema é totalmente controlado pelo operador, onde o mesmo tem a missão de controlar o tempo de carregamento para que o caminhão não ultrapasse o peso, pois se ultrapassar, o mesmo retornará ao pátio da empresa. A expedição de clínquer é controlada pela equipe da logística que é a responsável tanto pelo transporte terrestre quanto pelo transporte marítimo, uma vez que o clínquer ao chegar à cidade de Pelotas-RS é embarcado em navios com destino a outras unidades pertencentes ao grupo.



Figura 3: Ensacadeira rotativa
 Fonte: Elaborado pelos autores.

Na Figura 4, está representado o processo da expedição de clínquer. O clínquer é carregado em um caminhão onde o tempo de carregamento controlado pelo operador varia em relação à densidade do clínquer, sendo esse fator controlado no processo de fabricação do mesmo.

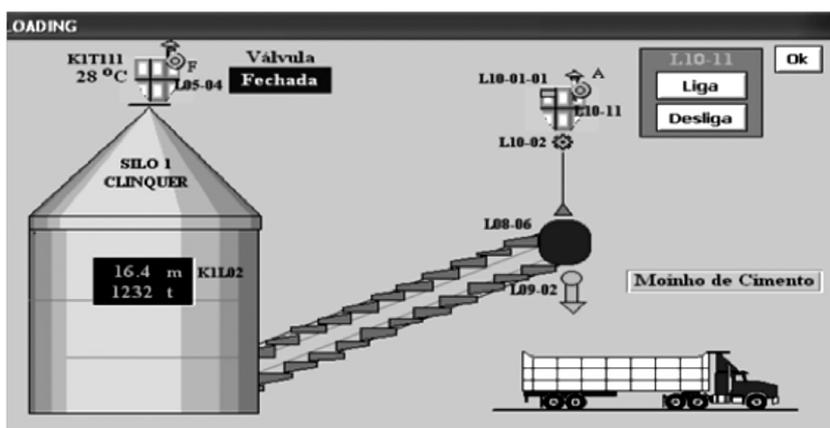


Figura 4: Processo de expedição de clínquer
Fonte: Elaborado pelos autores.

Esses caminhões após passarem na balança de pesagem, ficam no pátio aguardando para serem carregados, eles transportam em média 25 (vinte e cinco) toneladas. Ao estacionar, os mesmos são posicionados de ré para ficar embaixo da trompa de carregamento, o que dependendo do motorista pode demorar mais um pouco.

O operador responsável pelo carregamento fica em uma cabine, onde o mesmo opera a trom-

ba, controlando o tempo e fazendo com que o caminhoneiro mova o caminhão para que a carga fique distribuída em toda a caçamba. Segundo o operador, é um processo simples, onde o erro de pesagem ocorre às vezes, apenas no carregamento do primeiro caminhão.

4.1 Análises do controle

A organização com visão a cumprir com as normas, e manter a confiança dos clientes, tem o cuidado na hora da entrega do seu produto final. Com isso, efetua-se uma amostragem diária, conforme a Tabela 1, para que se verifique o percentual de defeitos apresentado pelas balanças e para que se verifique também, se o erro pode ser aceitável ou não.

Essa amostragem é executada todos os dias por operador que trabalha na célula de ensaque. O colaborador coleta 32 (trinta e dois) sacos de cimento para conferir a pesagem em outra balança. Em caso de não conformidade das quatro coletas efetuadas em cada bico da ensacadeira, com a média menor que 50,20 ou maior que 50,50, o setor de instrumentação é informado, conforme exemplificado na Tabela 1, no bico 7, na primeira e se-

Tabela 1: Controle dos bicos da ensacadeira

		PESO PADRÃO	1º PES.	2º PES.	3º PES.	4º PES.	MÉDIA	CORREÇÃO	DESVIO PADRÃO
MÉDIA/DIA 50,29	BICO 1	50,3	50,25	50,22	50,26	50,25	50,25	0,05	0,02
	BICO 2	50,3	50,22	50,3	50,35	50,35	50,31	-0,01	0,06
	BICO 3	50,3	50,43	50,38	50,38	50,26	50,36	-0,06	0,07
	BICO 4	50,3	50,35	50,36	50,28	50,28	50,32	-0,02	0,04
	BICO 5	50,3	50,33	50,31	50,32	50,39	50,34	-0,04	0,04
	BICO 6	50,3	50,25	50,39	50,36	50,34	50,34	-0,04	0,06
	BICO 7	50,3	49,96	50,19	50,25	50,22	50,16	0,14	0,13
	BICO 8	50,3	50,36	50,25	50,25	50,28	50,29	0,01	0,05

Fonte: Elaborado pelo autor.

gunda pessoa e na média, grifados em vermelho, azul e verde (abaixo da média), respectivamente. O mesmo realiza manutenção no equipamento no intervalo de almoço, uma vez que o equipamento se mantém parado neste período.

Com isso, pode ser observada a frequência e a frequência acumulada das pesagens diárias no gráfico, representado na Figura 5.

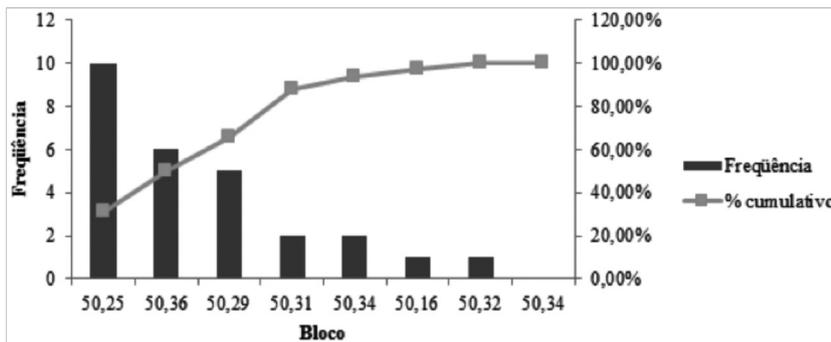


Figura 5: Histograma (pesagens diárias)

Fonte: Elaborado pelos autores.

4.2 Fatores que limitam a expedição

A etapa de expedição de cimento acontece de segunda a sexta-feira, no horário das 08h00min às 17h30min, com uma hora de intervalo de almoço. São expedidos, aproximadamente, 12 (doze) mil sacos de cimento por dia.

A programação de vendas é integrada à logística da empresa, a qual é responsável por informar para o coordenador da célula, quantos sacos serão expedidos no dia. Com isso, há uma programação para que o carregamento seja finalizado até às 17h30min, visando não gerar horas-extras. Após este horário, os equipamentos da célula de ensaue são entregues ao setor de manutenção. O mesmo é responsável pelo bom

funcionamento da ensacadeira, uma vez que a empresa adota o sistema zero de estoque, não devendo parar durante o horário de funcionamento, para que não seja gerado atraso no cumprimento ao contratado pelos clientes.

Na Figura 6, é possível observar o tempo (em horas) do sistema de ensaue, enfatizando que o mesmo fica mais tempo parado por tempo de preparo de caminhão (desenrolar) do que por manutenção no sistema.

Na célula de ensaue, se tem uma grande preocupação com a manutenção preventiva, tendo a responsabilidade de minimizar qualquer contratempo, imprevistos e custos operacionais no retorno de equipamentos que venham a afetar a produtividade da empresa.

A fim de otimizar e minimizar os efeitos nessa etapa do processo de fabricação do cimento, utiliza-se da técnica de produção conhecida como teoria das filas. A mesma visa analisar o fenômeno de formação de filas e seus pormenores. Os resultados obtidos são apresentados a seguir, nas Figuras 7 e 8:

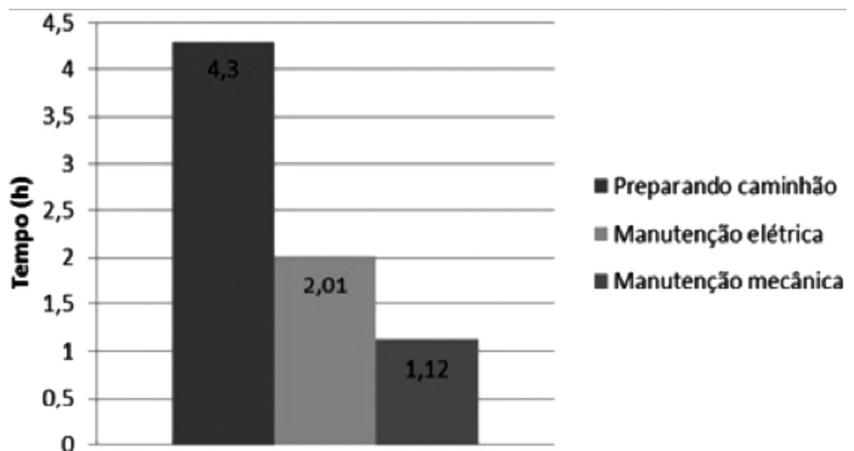


Figura 6: Setup do sistema de ensaue

Fonte: Elaborado pelos autores.

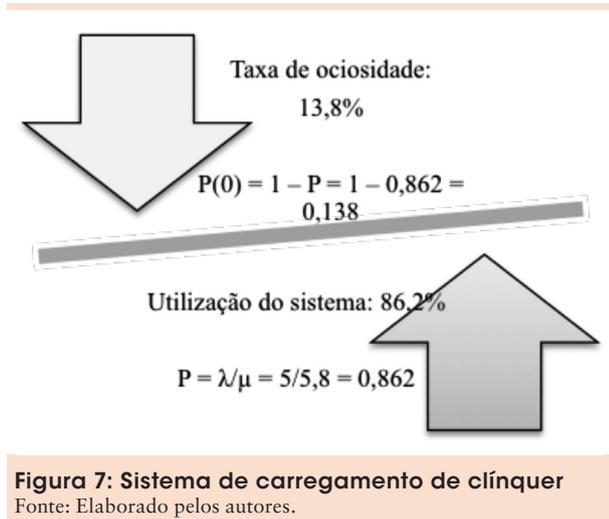


Figura 7: Sistema de carregamento de clínquer
 Fonte: Elaborado pelos autores.

Analisando o processo, observa-se que a utilização do sistema está em 86,2%, o qual poderá ser melhorado se modificar a rota dos caminhões no pátio com o intuito de otimizar o fluxo, minimizando o tempo de espera. Essa possibilidade seria possível com a abertura da parede dos fundos do galpão de carregamento. Com essa mudança, poderá diminuir o tempo de movimentação do caminhão e também o de descarregamento, podendo chegar a resultados próximos dos 100% de utilização do sistema. Por consequência, reduzirá a taxa de ociosidade, que é de 13,8%.

No que concerne ao congestionamento, referindo-se a taxa de utilização do sistema de carregamento de 100% e tempo de espera de 1min16s para carregamento, julga-se um congestionamento aceitável, sem alteração das instalações, de acordo com o exposto acima, e sem a necessidade de alteração do quadro de funcionários, de oito caminhões, conforme o fator de utilização: $p = \lambda/\mu = 5/(7,1,16 = 8,12) = 61,57\%$, onde

λ trata-se de cinco caminhões na fila de espera e μ trata-se do tempo total de caminhões na fila de carregamento. Tal modelo resulta na taxa de ociosidade de 38,43%, que significam $\cong 3$ (três) caminhões, onde somado aos cinco caminhões considerados na fila de espera, totalizam oito caminhões aceitáveis no congestionamento na mesma fila.

Para estes cálculos, foram considerados os tempos de entrada dos caminhões no pátio até o carregamento do clínquer, descartando a movimentação de saída, a qual foi temporizada com média de 03min40s.

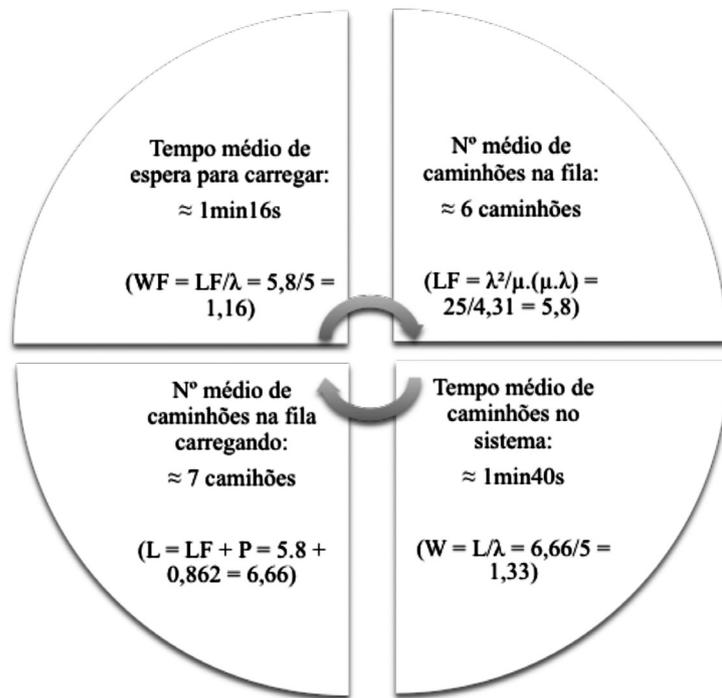


Figura 8: Médias de espera em números de caminhões e tempo
 Fonte: Elaborado pelos autores.

5 Considerações finais

No que se estabelece, o estudo atingiu os propósitos instituídos, realizando a análise de controle, identificando os fatores que limitam a expedição na unidade fabril e através da utilização da técnica, Teoria das Filas, indicar onde deve ser alinhado e otimizado o fluxo do processo do cimento.

É possível perceber o quanto a empresa trabalha para cumprir com os prazos. A célula de expedição, em horário sazonal, diariamente, recebe manutenção preventiva. Esse sistema não fica muito tempo sem operação por fatores mecânicos, fazendo com que o sistema de carregamento seja o mais rápido possível.

Para o maior aprimoramento das células de manufatura, se faz necessário um investimento maior de tempo e estudo na unidade fabril. O resultado apresenta melhor *performance* quando a concentração é bem fixada no chão de fábrica.

Um questionamento que inquietou os autores do estudo foi o porque não haver um sistema de estoque na unidade. O coordenador da célula de ensaque e o gerente da unidade fabril, em uma conversa informal, expuseram que a possibilidade da empresa manter um estoque não seria inviável, porém a formação de estoque traria um custo maior à fabricação do produto, aumentando o preço final. O que não agregaria valor ao mesmo, pois seria necessário um alto investimento em infraestrutura e equipamentos como empilhadeiras, *pallets*, e demais aparelhos para acondicionar corretamente o produto. No caso de não haver esses investimentos, pode ser que a avaria gerada por perda de produtos acabados em consequência do mau acomodamento dos produtos, seja extremamente alta.

O sugerido pelos autores foi, então, a possibilidade de construção de um pequeno estoque, pois quando ocorre falha no sistema elétrico, todo o sistema fica parado com vários caminhões na espera, acarretando no atraso da entrega da mercadoria aos clientes finais, e desperdício de produto por travancamento da produção. Assim sendo, seria uma das formas da unidade cumprir com o acordado ao cliente, sem gerar inconvenientes e reduzir as sobras de produto inutilizado pelas falhas elétricas.

Por fim, analisando o processo de carregamento do clínquer, observa-se que a utilização do sistema está em 86,2%, resultando em uma taxa de ociosidade de 13,8%. Referindo-se a taxa de utilização do sistema, julga-se um congestionamento aceitável, sem alteração das instalações e sem a necessidade de alteração do quadro de funcionários, de oito caminhões na fila de espera.

Referências

- Barbosa, M. de F. N. & Cândido, G. A. (2013). Práticas ambientais e suas relações com a competitividade e a sustentabilidade: um estudo de caso em empresa agroindustrial. *Latin American Journal of Business Management*; 4(2), 58-80.
- Bittencourt, F. M. & Rhamos, A. L. T. (2009). *Modelagem das estações do sistema flexível de manufatura do lab*. CIM da PUCRS. Artigo apresentado no X Salão Iniciação Científica PUCRS, Porto Alegre, RS, Brasil.
- Black J. T. (1998). *O projeto da fábrica com futuro*. Porto Alegre: Artes Médicas.
- Bruns, de R., Soncim, S. P. & Sinay, M. C. F. de. (outubro, 2012). *Pesquisa operacional: uma aplicação da teoria das filas a um sistema de atendimento*. Artigo apresentado no Encontro Nacional de Engenheiros de Produção. Bento Gonçalves, Brazil.
- Camelo, G. R., Coelho, A. S., Borges, R. M., Souza, R. M. (2010). Teoria das filas e da simulação aplicada ao embarque de minério de ferro e manganês no terminal marítimo de ponta da madeira. *Cadernos do IME – Série Estatística*, 29, 01-16.
- Cano, C. E. V. (2006). *Técnica de navegação de um robô móvel baseado em um sistema de visão para integrá-lo a uma célula flexível de manufatura*. Dissertação de mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil.
- Dalleaste, F. S. (2011). *Célula de manufatura: implantação na indústria de componentes eletrônicos*. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil.
- Figueiredo, D. D. & Rocha, S. H. (2010). Aplicação da teoria das filas na otimização do número de caixas: um estudo de caso. *Cesumar*, 12(2), 175-182.
- Graziani, Á. P., Santos, A. J. dos S., Batiz, E. C. & Júnior, N. J. P. (2013). Otimização de processo através de manufatura celular na fabricação de compressores herméticos em uma unidade industrial localizada em Joinville. *Produção em Foco*, 03(1), 189-210.

Harrison, J. S., Bosse, D. A. & Phillips, R. A. (2010). Managing for stakeholders, stakeholder utility functions, and competitive advantage. *Strategic Management Journal*, 31(1), 58-74.

Hyer, N. L. & Brown, KA. (1999). The discipline of real cells. *Journal of Operations Management*, 17, 557-574.

Laugeni F. P. & Martins P. G. (2012). *Administração da produção* (2a ed.). São Paulo: Saraiva.

Moreira D. A. (2010). *Pesquisa operacional: curso introdutório* (2a ed.). São Paulo: Thomson Learning.

Paiva, de R. V. C, Costa, D. de M., Barbosa, F. V. & Gonçalves, R. G. (2015). Epistemologia dos modelos de competitividade: uma nova proposta. *Revista Pensar Gestão e Administração*, 3(2).

Rocha, da H. M., Prudente, L. N. & Lima, I. I. E. J. (2009). *Desenvolvimento de ambiente de simulação de sistema flexível de manufatura utilizando software scada*. Artigo apresentado no V Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, Belo Horizonte, Brazil.

Roman, D. J., Piana, J., Lozano, M. A. S. P. e. (2012). Fatores de competitividade organizacional. *Brazilian Business Review*, 3(1), 27-46.

Slack, N, Chambers, S. & Johnston, R. (2009). *Administração da produção* (3a ed.). São Paulo: Atlas.

Trindade, Á. R & Ochi, L. S. (2006). Um algoritmo evolutivo híbrido para a formação de células de manufatura em sistemas de produção. *Pesquisa Operacional*, 26(2).

Trintin, J. R. A. & Sellitto, M. A. (2013). Método para formação de células de fabricação: aplicação em uma empresa da indústria metal-mecânica. *Revista Liberato*, 14(21): 01-12.

Recebido em 18 out. 2016 / aprovado em 10 fev. 2017

Para referenciar este texto

Perdoná, I. I., Nunes, R. V., Neves, R. M das., Naimer, S. C., & Godoy, L. P. Sistema de manufatura: otimização de processos em uma unidade fabril de cimento através da teoria das filas. *Exacta – EP*, São Paulo, v. 15, n. 4, p. 13-25, 2017.

