

## Estudo de Layout produtivo por meio de Simulação de Eventos Discretos em uma empresa do Setor de Transformação da Argila

Caio Matheus Comar Cambui<sup>1</sup>, Claudio L. Piratelli<sup>2</sup>, Marcelo José Paschoal<sup>3</sup>

**Resumo:** Esse trabalho buscou, por meio da utilização da Simulação de Eventos Discretos, modificar as distâncias entre operações de recursos em uma fábrica do setor de transformação de argila (*Layout*). Inicialmente buscou-se na literatura referências para mostrar como a Simulação de Eventos Discretos é uma ferramenta eficaz para esse tipo de estudo. Em seguida, foram concebidos modelos de simulação do Layout atual e três propostas de melhoria, por meio da ferramenta Promodel®. Os resultados mostraram uma alteração não significativa na produção média e que aumentos mais robustos seriam alcançados com a aquisição de novos recursos.

**Palavras-chave:** Layout, Simulação de Eventos Discretos, filtros de cerâmica.

## Productive Layout Study through Discrete Event Simulation in a Clay Transformation Company

**Abstract:** This coursework sought, through the use of Discrete Event Simulation, to modify the distance between operations of resource in a factory in the clay processing sector (*Layout*). At first, were searched for references in the literature to show how the Discrete Event Simulation is an effective tool for this type of study. Forthwith, was conceived models simulate models of current *Layout* and three improvement proposals, whereof Promodel® tool. The results showed a negligible alteration in average production that greater increase was fulfilled with a purchasing of new recourses.

**Key-words:** Layout, Discrete Event Simulation, People movement.

### 1. Introdução

Segundo Silva (2012) o *Layout* ou arranjo físico do setor de produção pode ser definido como a localização e a distribuição espacial dos recursos produtivos, como máquinas, equipamentos, pessoas e/ou instalações no chão de fábrica. Por Impactar diretamente no desempenho da unidade, esta distribuição não pode ser feita com base em suposições. Segundo Corrêa e Corrêa (2004, p. 235), “um bom projeto de arranjo físico pode visar tanto eliminar atividades que não agregam valor como enfatizar atividades que agregam”.

De acordo com Chwif (2002) a simulação é a melhor ferramenta para se tirar conclusões sobre um sistema, pois ela nos fornece resultados mais próximos dos reais. Em se tratando de sistemas mais complexos, a simulação permite analisar todas as variáveis e parâmetros que variam de acordo com o tempo. Nesse sentido a simulação de eventos discretos, pode ser de grande valia para analisar e definir o melhor *Layout* (JORGE (2012)).

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia de Produção pela Universidade de Araraquara.

<sup>2</sup> Doutor em Engenharia Aeronáutica e Mecânica, Área de Produção pelo ITA. Graduado em Engenharia de Produção pela Ufscar.

<sup>3</sup> Bacharel em Relações Internacionais pela PUC-MG. Graduando em Engenharia de Produção pela Universidade de Araraquara.

Com a ajuda da simulação pode-se analisar um *Layout* e observar seus desperdícios, pois de acordo com Silva (2002) o principal motivo do planejamento de um *Layout* produtivo é minimizar as movimentações desnecessárias, minimizar o tamanho do fluxo do material e facilitar o gerenciamento do processo.

Na empresa estudada o fluxo é grande e demorado, e por vezes, inadequado. Também os funcionários têm de parar a sua produção de tempos em tempos para movimentar os produtos ou realocá-los. Dentro desse cenário a principal questão é encontrar um *Layout* que diminua o tempo do produto no sistema, aumentando assim a produtividade?

Essa pesquisa tem como objetivo analisar alternativas de *Layouts* por meio de Simulação de Eventos Discretos em uma empresa alimentícia e compará-los em função da produção média do processo, para encontrar a melhor configuração.

O trabalho é composto em outras quatro seções juntamente. A seção 2 apresenta um referencial teórico sobre *Layout* de fábrica, simulação de eventos discretos, além de trazer algumas aplicações práticas de simulação para problemas com *Layout*; A seção 3 apresenta a Metodologia: classificação da pesquisa e os procedimentos operacionais; A seção 4 apresenta a empresa objeto de estudo, a situação atual e os resultados das propostas de melhorias. A seção 5 contempla a conclusão e as considerações finais.

## 2. Revisão Bibliográfica

### 2.1 Layout de Fábrica

Pode-se dizer que o *Layout* é o elemento essencial para auxiliar a alcançar a produtividade máxima, podendo mudar tudo como o ambiente, garantir um conforto e melhorar as vendas. (JUNIOR, Antônio; SANTOS, Kelly; VENDRAME, Francisco; SARRACENI, Jovira e VENDRAME, Máris, 2009).

Martins e Laugeni (2003, p 110) dizem que qualquer *Layout* proposto ou criado deriva dos principais *Layouts* que são:

- a) *Layout* Funcional ou Por Processo – todos os processos e equipamentos do mesmo tipo são alocados juntos em uma mesma área, para que assim o produto se desloque buscando os diferentes processos;
- b) *Layout* por posição fixa ou posicional – o material permanece em uma única posição e os processos e máquinas se deslocam até eles;
- c) *Layout* Celular – consiste em juntar máquinas diferentes, em um determinado local, para que possam fabricar o produto inteiro. Assim o produto desloca dentro da célula procurando o processo necessário;
- d) *Layout* Linear ou por produto – máquinas e processos são colocados de acordo com a sequência das operações, e o produto segue por esse caminho sem rotas alternativas;
- e) *Layout* misto ou Combinado – geralmente é um misto do *Layout* funcional com o linear, aproveitando ao máximo as vantagens de cada processo, porém pode ser um misto entre os demais tipos de *Layout*.

De acordo com Moreira e Neto (2010), na prática as empresas preferem o *Layout* misto ou combinado, pois o produto tem várias etapas diferentes passando por vários setores de

fabricação.

## 2.2 Simulação de eventos discretos

A simulação se deu início na década de 1970 na área militar e por isso ela era uma ferramenta muito restrita devido ao seu alto valor e poucos profissionais capacitados para a área. (PATROCINIO, André, 2018)

Conforme Law e Kelton (2000) a simulação é a realidade expressada no computador, o qual nos apresenta uma visualização do sistema em que podemos observar sua movimentação, percurso, filas e tempo de sistema, através de animações e gráficos. Isso nos ajuda a enxergar melhor o modelo, podendo assim fazer uma análise mais adequada e propor mudanças para melhorar o desempenho do sistema, sem termos necessidade de mudar o físico, pois a nossa simulação está dentro de um sistema controlado onde podemos fazer varias alterações sem ter o custo de uma alteração física.

Segundo Bateman, Bowden, Gogg, Marrell, Mott e Montevechi (2013) a simulação evoluiu muito ao longo dos anos com softwares cada vez tecnológicos o que tornou a simulação muito popular na resolução de sistemas. Porém esse crescimento não se deu da mesma forma como ferramenta de valor para resolução dos problemas; ou seja, a simulação é uma ferramenta muito poderosa na resolução de problemas, mas ainda não é muito conhecida no meio empresarial.

Contudo a simulação está com sua popularidade em constante crescente devido à quantidade de trabalhos apresentados sobre o tema e sua gama utilização, e isso muito se deve aos softwares disponíveis no mercado. Dentre eles, um que merece destaque nesse meio é o Promodel Optimization Suite (Promodel) por possuir vários menus que facilitam a visualização e a montagem rápida de qualquer sistema, além de possuir uma ferramenta de apoio à tomada de decisões que, estatisticamente nos auxilia na busca da melhor solução, tornando as simulações de múltiplos experimentos voltados para uma única saída (BATEMAN, Robert; BOWDEN, Royce; GOGG, Thomas; MARRELL, Charles; MOTT, Jack; e MONTEVECHI, José, 2013, p47).

Contudo, segundo Banks e Gibson (1996) a escolha do software não é o mais importante na simulação, e sim a pessoa que está fazendo as análises e os conhecimentos dela sobre o processo e o produto. Por tanto a simulação não se resume apenas no software e sim no fator humano.

Segundo Leal, Almeida e Montevechi (2008, p. 1) “Na fase inicial de um projeto de simulação, o sistema é analisado pelo modelador. As informações coletadas pelo modelador estão de forma abstrata em sua mente.”. E quais são as demais fases de um projeto de simulação?

### 2.2.1 Utilização da Simulação de eventos discretos em estudos sobre *Layout*

Lima e Marcano (2015) estudaram e sugeriram um novo *Layout* em uma empresa do setor moveleiro, por meio de simulação de eventos discretos (software factory desing suite). De acordo com os autores, simulação propiciou uma redução de 30% no tempo de movimentação, trazendo impactos positivos ao sistema como: mais segurança, mais rapidez nos trajetos, um ambiente mais agradável e estoques reduzidos.

Moreira e Neto (2010) fizeram análises e encontraram um novo *Layout* para uma empresa de beneficiamento de açaí, por meio da simulação de eventos discretos (software Arena). De acordo com os autores, com a ferramenta da simulação foi possível reduzir a movimentação dos materiais (distâncias percorridas), bem como reduzir a utilização do transportador sem alterar a produtividade do setor, o que possibilitou uma maior disponibilidade deste recurso para realizar outras atividades.

Mindelo, Brabo, Souza e Magno (2018), por meio da simulação de eventos discretos (software Promodel Optimization Suite), examinaram o processo produtivo de polpas de açaí e recomendaram um novo *Layout*. De acordo com os autores, com a ferramenta simulação, conseguiram diminuir o tempo de processo de alguns procedimentos, com isso diminuiu-se o tempo médio de sistema e aumentando assim a produtividade.

Mundim (2009) analisou e sugeriu uma melhoria para uma frota de colher e transportar cana de açúcar, por meio da simulação de eventos discretos (softwares Arena). De acordo com o autor, com a ajuda da simulação foi possível apresentar uma maneira melhor e de menor custo para a empresa na hora da colheita de cana.

Como vimos, a simulação de eventos discretos é uma ferramenta muito poderosa e pode trazer vários benefícios como diminuição das movimentações, aproveitamento melhor do processo, diminuição do custo do processo, aumento da produtividade, tempo dos operadores melhor aproveitados, rapidez nos trajetos, ambiente mais agradável e outros. Tudo isso torna a simulação de eventos discretos uma ferramenta muito útil na hora de organizar uma empresa ou modifica-la.

### 3. Método

Para modelagem e simulação do sistema atual da empresa estudada foram adotados os seguintes procedimentos.

Passo 1: Estudo do processo desde a matéria-prima até o produto final, por meio de observação e entrevistas. De acordo com todas essas informações foi elaborado o fluxograma do processo e desenhado o *Layout* atual. Com o auxílio de uma trena de medição foram determinadas as distâncias percorridas pelo produto.

Passo 2: Identificação dos recursos do processo e coleta dos tempos entre chegadas da matéria prima, deslocamentos e tempos de operações. Neste passo empregou-se a observação direta e um cronometro digital para coleta dos tempos num período de 45 dias.

Passo 3: Análise estatística dos tempos do passo 2 com auxílio da ferramenta *Statfit do Promodel®* v. 8.62 para se determinar as distribuições de probabilidade.

Passo 4: Modelagem do processo produtivo da empresa no Promodel®.

Passo 5: Simulação do processo atual da empresa para fins de avaliação dos resultados (validação)

Passo 6: Proposta de cenários de melhoria para comparação.

Passo 7: Análise do cenário mais viável para a empresa.

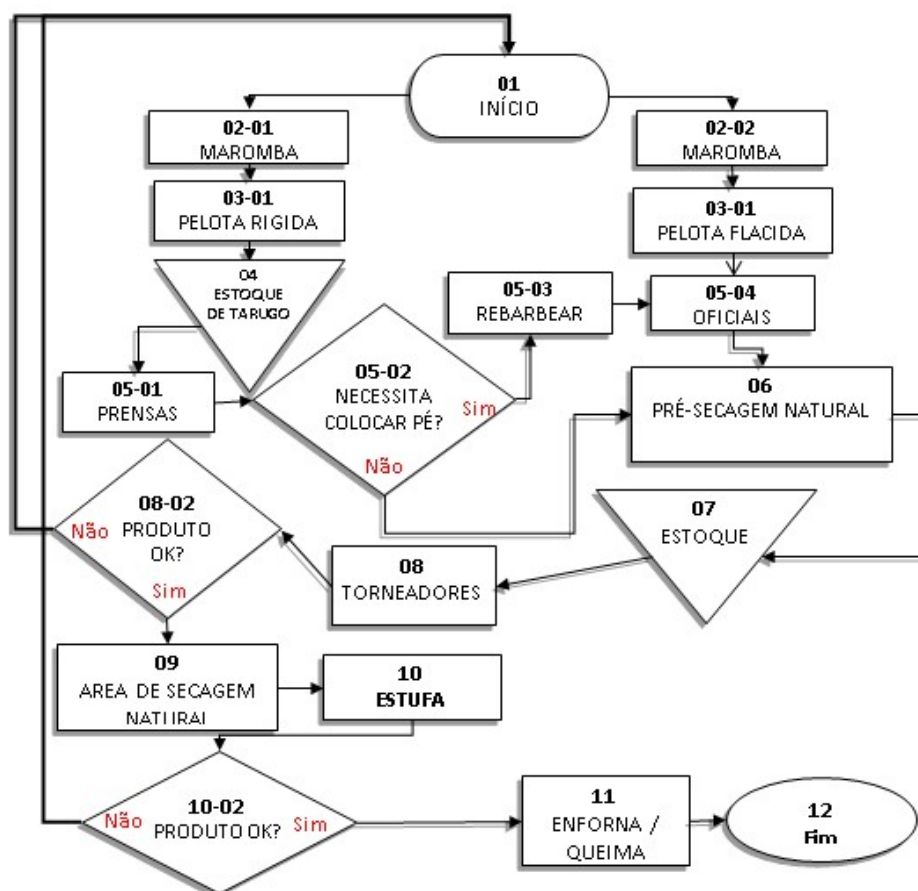
### 4. Aplicação da modelagem e simulação na empresa objeto de estudo

#### 4.1 Descrição da empresa e do processo produtivo

Esse estudo foi realizado em uma empresa que atua no setor cerâmico a mais de 70 anos no mercado, com sede no município de Jaboticabal interior de São Paulo. A Empresa se dedica á produção de filtros de água (por gravidade e pressão) para o uso domestico e acessórios para filtros. Atualmente, com mais de 60 produtos em sua linha, a empresa continua inovando para atender de maneira cada vez mais eficiente às necessidades de seu publico alvo que abrange todas as classes sociais.

#### 4.2 Aplicação do Método

Passo 1: De acordo com a seção 2.1, o *Layout* do processo produtivo é por processo. O processo produtivo, apesar de manual, utiliza as mais modernas tecnologias de produção de artigos cerâmicos, o que garante produtos de alta qualidade e muito bem conceituados no mercado nacional e internacional. A figura 1 ilustra o seu fluxograma. Primeiramente a matéria prima é retirada através da maromba e encaminhada para as prensas que, de acordo com o pedido, dão forma ao filtro; no caso do “pé do filtro”, ele é levado para área de colagem onde, manualmente (após o tempo de cura do fundo) é colado e levado para área de descanso; no caso “cabeça” é automaticamente levada para área de descanso. Na área de descanso, espera-se ate o barro ficar com uma dureza correta para que a peça seja torneada; após a torneação as peças são levadas para a área de secagem onde são levadas par o secador e enforadas.



Fonte: Os próprios autores

Figura 1- Fluxograma do processo de fabricação

Passos 2 e 3: As distancias entre os processos são: entre a área de prensas até a área de prensagem, da área de “pés para torneiar” até a torneação que possui uma distancia de 28,36m e da torneação para área de secagem onde se movimenta uma distancia de 39,76m.

A tabela 1 apresenta a sequência de operações, recursos, quantidades dos recursos e tempos de processo. Para todos os tempos aleatórios foram realizados testes Chi-Quadrado, Anderson-Darling e Kolmogorov-Smirnov com significância de 5% e não se rejeitou a hipótese de distribuição Gaussiana.

Operação	Recurso	Quantidade	Tempo processo (min)	Tipo	Próxima Operação
01. Maromba	Maromba	2	120	Constante	02
02. Prensa	Prensa e Prensista	2	$N\sim(13,2;0,455)$	Normal	03
03. Rebarbear	Torno e Rebarbeador	2	15,2	Constante	04
04. Colar Pé	Torno e Oficial	2	$N\sim(1,61; 0,143)$	Normal	05
05. Torneação	Torno e Torneador	2	$N\sim(112;9,41)$	Normal	-

Fonte: Os próprios autores

Tabela 01 - Detalhamento das operações do processo de fabricação do filtro

Passo 4: O modelo de simulação foi desenvolvido no *Promodel*<sup>®</sup> versão 8.62. Foram consideradas os seguintes elementos no modelo:

Entidades: argila; tarugo; corpo do pé SJ 8l; pé fab SJ 8l; pé torneado SJ 8l; Anel do Pé

Locais: maromba prensa (capacidade 100); estoque argila bruta (capacidade Infinita); prensa (capacidade 1); oficial (capacidade Infinita); pé secando (capacidade Infinita); pé torneiar (capacidade Infinita); maromba argila (capacidade 70); rebarbear (capacidade 1); torneação (capacidade 1); secagem (capacidade Infinita); pé para colar (capacidade Infinita).

Recursos: um prensista; um rebarbeador; um torneador; uma prensa tipo 1; um oficial (colador de pé); dois tornos; uma maromba prensa, e; uma maromba argila.

Passo 5: a simulação do *Layout* atual representou 20 dias de operação do processo, com 9 horas de trabalho diários. Como há variáveis aleatórias (tempo de operações), foram feitas 200 replicações para obtenção dos indicadores de desempenho médios, dentro de intervalos de confianças satisfatórios (99,9%)

Após as 200 replicações de 9hs durante 20 dias, os indicadores de desempenho do sistema atual são apresentados na Tabela 2.

Indicadores		
Produção média	Tempo médio sistema (min)	Tempo médio de operação (min)
84,38	18.639,09	1.693,60

Fonte: Os próprios autores

Tabela 02 – Indicadores de produção da situação atual



Pelos resultados apresentados pela Tabela 02, o sistema atual produz uma média de 84,38 estantes de pés de filtros durante 20 dias (com confiança de 99,9% se produz entre 84 – 84,5 filtros em 20 dias). Os resultados foram validados com a produção real do mês de 83 estantes em média.

Passo 6: Na tentativa de solucionar o problema apresentado, 3 cenários foram propostos. Cabe ressaltar que este trabalho se limita a sugerir reposicionamentos de recursos e não rearranjos de tipos de *Layout*, apresentados na seção 2.1.

Cenário 1: Rebarbear e prensar em uma única operação, mudou-se a distância de prensar para colar pé de 29,3m para 33,5m, mudou-se a distância do pé pra torneiar para a torneação de 28,36m para 14,6m e mudou-se a distância da torneação para secagem de 39,76m para 14m. Transformando rebarbear e prensar em uma única função podemos deixar o prensista apenas com a função de prensar e o rebarbeador rebarbeia e transporta a estante e diminuindo as distâncias da torneação temos que o torneador passa a andar menos e ficar mais próximo do torno.

Cenário 2: Rebarbear e prensar em uma única operação, mudou-se a distância de prensar para colar pé de 29,3m para 33,5m e na torneação foi proposta uma esteira de 20 metros com velocidade de 4 metros por segundo para a operação. Como no cenário 1, transformando rebarbear e prensar em uma única função podemos deixar o prensista apenas com a função de prensar e o rebarbeador rebarbeia e transporta a estante, já com a esteira o torneador não precisará sair do torno e a peça se movimentaria através da esteira e não mais do torneador.

Cenário 3: Aquisição de uma Prensa Nova (já faz o pé completo), 1 prensista, 2 Tornos e 2 Torneadores. Mudou-se as distâncias de prensar para pé para torneiar para 27m, mudou-se a distância do pé pra torneiar de 28,36m para 14,6m e mudou-se a distancia da torneação para secagem de 39,76m para 14m. Com a nova prensa não é preciso mais rebarbear nem colar pé, então ela será posicionada próxima a área de aguardando torneação para o movimento de peças seja pouco e como dito no cenário 1, diminuindo as distâncias da torneação temos que o torneador passa a andar menos e ficar mais próximo do torno.

Após as 200 replicações de 9hs durante 20 dias, os indicadores de desempenho para os cenários propostos são apresentados na Tabela 3.

Pela tabela 3, pode-se observar que o cenário que apresenta a melhor produtividade média de estantes de filtros a cada 9hs é o cenário 3.

Cenário	Produção média em 9hr durante 20 dias	Intervalo confiança 99,9%	Tempo médio sistema (min)	Tempo médio de operação (min)
1	84,73	84,62 – 84,84	18.648,10	1.693,42
2	85,00	84,89 – 85,09	18.652,82	1.693,90
3	187,00	187 – 187	12.487,38	4.148,75

Fonte: Os próprios autores

Tabela 03 – Indicador de produção dos cenários propostos

Pelos resultados apresentados na tabela 3, o cenário 3 apresenta a maior produção média, que é de 187 pés de filtros em 9 horas durante 20 dias. Contudo os outros dois cenários possuem em média 84,73 (cenário 1) e 85,00 (cenário 2), ou seja um ganho de produção média não muito significativa em relação ao *Layout* atual.

## 5. Conclusão

O objetivo deste trabalho foi analisar alternativas de *Layouts* por meio de Simulação de Eventos Discretos em uma empresa do setor de transformação da argila e compará-los em função da produção média do processo, para encontrar a melhor configuração.

Após uma completa análise do *Layout* atual e das propostas de melhoria conclui-se que o a mudança das distâncias do *Layout* não nos traz um aumento expressivo no sistema produtivo, pois o mesmo possui grandes tempos em que as peças passam em espera e isso é um fato que compromete a produção, porem essas esperas é de natureza da matéria prima.

Ao considerar os três cenários propostos, sem duvida o cenário 3 é o cenário ideal para a empresa, segundo os indicadores. Contudo, requer um alto investimento para aquisição da compra de uma máquina nova ou da automação de uma já existente. O cenário 2 seria o recomendado para a empresa, pois apesar de não trazer ganhos expressivos de produção média, promoveria uma redução da taxa média de utilização dos recursos (ou seja, os colaboradores teriam um tempo maior para exercerem outra função ou produzirem outros tipos de filtros).

A simulação de eventos discretos auxiliou a empresa estudada a repensar o rearranjo de suas operações e mostrou que, para ganhos mais robustos, seriam necessário investimentos em novos recursos. Para um trabalho futuro sugere-se considerar a mudança para produção puxada, estudar um novo meio de secagem para que o tempo na operação diminua (especialmente no inverno, pois as peças são secas no ar livre). Recomenda-se também uma análise de investimento nestes novos equipamentos considerando um fluxo de caixa incremental a partir dos ganhos demonstrados pelo aumento de produção média.

## Referências

BANKS, Jerry; GIBSON, Randall. **Getting started in simulation modeling**. Industrial Engineering Solutions, v. 28, n. 11, p. 34-39, 1996.

BATEMAN, Robert E., BOWDEN, Royce D., GOGG, Thomas J., MARRELL, Charles R., MOTT, Jack R. A., e MONTEVECHI, José Arnaldo Barra (2013). **Simulação de Sistemas**. Rio de Janeiro: ELSEVIER.

CHWIF, Leonardo. Utilizando simulação de eventos discretos em projetos de sistemas automatizados de manufatura. São Paulo, 1999.

CORRÊA, Henrique Luiz. **Teoria geral da administração: abordagem histórica da gestão de produção e operações**. Editora Atlas SA, 2000.



JORGE, Anderson Alencar; LOOS, Mauricio Johnny. **Análise de rendimento de produção com a mudança de Layout.** *Análise*, v. 38, n. 61, 2017.

JUNIOR, Antonio Travassos Augusto; SANTOS, Kelly Aline Teixeira dos Santos; FRANCISCO, César Vendrame; JOVIRA, Maria Sarraceni; e VENDRAME, Máris de Cássia Ribeiro. **LAYOUT: A Importância de escolher o Layout ideal devido à exigência no mercado competitivo.** ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO UNISALESIANO. Lins. **Anais...** Lins: Centro Universitário Católica Salesiano Auxilium, 2009.

LEAL, Fabiano; ALMEIDA, DA de; MONTEVECHI, José Arnaldo Barra. **Uma Proposta de Técnica de Modelagem Conceitual para a Simulação através de elementos do IDEF.** Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, **Anais...** João Pessoa, PB, 2008.

LIMA, David Junior de; MARCATO, Rodrigo Dias. **Otimização do Layout produtivo através de simulação computacional em uma empresa do setor moveleiro.** **ENEGEP-XXXV ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Anais...** Fortaleza, Ceara-BR 2015.

MARTINS, Carlos Diogo de Almeida; SOUZA, Álvaro Silva Galeano de; FERNANDES, Lucas Athayde; PENA, Heriberto Wagner Amanajás. **Rearranjo do Layout produtivo por meio do estudo de tempos e movimentos em uma empresa de grande porte no setor madeireiro.** *Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana*, Fevereiro, 2018. Disponível em: <<http://www.eumed.net/2/rev/oel/2018/02/tempos-movimentos-madeira.html>>.

MINDELO, Vitor; BRABO, Rafael; SOUZA, Luiz Felipe e MAGNO, Jean Cláudio. **Análise de um processo produtivo de polpas de açaí através da simulação de eventos discretos.** **ENEGEP-XXXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Anais...** Maceió, Alagoas-BR, 2018.

MOREIRA, Alexandre Freire; NETO, Anselmo Ramalho Pitombeira. **Estudo de Layout em uma Empresa de Beneficiamento de Castanha de Caju com uso de Simulação de Eventos Discretos.** **ENEGEP- XXX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Anais...** São Carlos, São Paulo-BR, 2010.

MUNDIM, João Umbiruçu Campos. **Uso de simulação de eventos discretos para o dimensionamento de frota para colheita e transporte de cana-de-açúcar.** 2009. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

PATROCÍNIO, AndreLuis Marques; ASSIS, Rodrigo; PAIXÃO, Guilherme Silva. **Análise e Aplicação de simulação de eventos discretos em sistemas de manufatura: Um estudo de caso na indústria mecânica.** *Proc. of XXXVIII ENEGEP*, Maceió, Alagoas-BR, 2018.

SILVA, Alessandro Lucas da; RENTES, Antonio Freitas. **Um modelo de projeto de Layout para ambientes job shop com alta variedade de peças baseado nos conceitos da produção enxuta.** *Gestão & Produção*, v. 19, n. 3, p. 531-541, 2012.



Slack, N.; Chambers, s. Harland, C.; Harrison A. & Johnston, R. **Adiministração da Produção**. Ed. São Paulo: Atlas 2012.