



PLANEJAMENTO DO SET-UP DE PRENSA HIDRÁULICA  
NA PRODUÇÃO DE ARTEFATOS DE BORRACHA

Bernard Ventura

Marcello Zeitune Goldkorn

Projeto de Graduação em Engenharia de Produção, pela Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, apresentado como um dos requisitos à colação de grau.

Orientador: Eduardo Galvão Moura Jardim, Ph.D

Rio de Janeiro

Fevereiro de 2012

PLANEJAMENTO DO SET-UP DE PRENSA HIDRÁULICA  
NA PRODUÇÃO DE ARTEFATOS DE BORRACHA

Bernard Ventura

Marcello Zeitune Goldkorn

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO DE PRODUÇÃO.

Examinado por:

---

Prof. Eduardo Galvão Moura Jardim, Ph.D

---

Prof. Vinícius Carvalho Cardoso, D.Sc

---

Prof. Leonardo de Aragão Guimarães, M.Sc

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

FEVEREIRO de 2012

Ventura, Bernard

Goldkorn, Marcello Zeitune

Planejamento do set-up de prensa hidráulica na produção de artefatos de borracha / Bernard Ventura, Marcello Zeitune Goldkorn - Rio de Janeiro: UFRJ / Escola Politécnica, 2012.

xii, 77 p.: Il.; 29,7 cm.

Orientador: Eduardo Galvão Moura Jardim

Projeto de Graduação - UFRJ / Escola Politécnica / Curso de Engenharia de Produção, 2012.

Referências Bibliográficas: p. 67

1. Prensa hidráulica. 2. Artefatos de borracha. 3. Planejamento, Controle e Sequenciamento da Produção

I. Jardim, Eduardo. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Curso de Engenharia de Produção. III. Planejamento do set-up de prensa hidráulica na produção de artefatos de borracha.

## **Agradecimento**

Às nossas famílias, às nossas escolas, à Chazit, aos nossos mestres, aos nossos amigos, à vontade de superar desafios e ao colega inseparável que cada um teve nesses anos de formação:

Muito obrigado.

À Fluidloc, um agradecimento especial por nos ter recebido de braços abertos e possibilitado a execução do nosso mais caro projeto:

Muito obrigado.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica / UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro de Produção.

Planejamento do set-up de prensa hidráulica na produção de artefatos de borracha

Bernard Ventura

Marcello Zeitune Goldkorn

Fevereiro de 2012

Orientador: Eduardo Galvão Moura Jardim

Curso: Engenharia de Produção

Este projeto de graduação tem por objetivo realizar um estudo da cadeia produtiva de artefatos de borracha em fábrica carioca. Ele busca otimizar o set-up de duas prensas hidráulicas a partir de um sistema de programação heurística. Teoria das restrições, manutenção de estoques, planejamento da produção e modelagem de algoritmos são alguns dos temas que permeiam o texto e que contribuíram para o desenvolvimento de ferramenta que, num espaço curto de tempo, já traz resultados significativos para a unidade produtiva como a redução em 50% do tempo de entrega de pedidos a clientes.

*Palavras-chave:* Prensa hidráulica, Artefatos de borracha, Planejamento, Controle e Sequenciamento da Produção.

Abstract of Undergraduate Project presented to Poli / UFRJ as a part fulfillment of the requirements for the degree of Industrial Engineer.

Set-up planning of an hydraulic press in a rubber products plant

Bernard Ventura

Marcello Zeitune Goldkorn

February / 2012

Advisor: Eduardo Galvão Moura Jardim

Course: Industrial Engineering

This paper focuses on a study of the productive chain of a rubber products factory in Rio de Janeiro. It aims at creating a heuristic programming system to optimize the set-up of two hydraulic presses. Theory of constraints, stock control, production planning and algorithm's models are some of the main subjects that can be found across this study. All of them contributed to develop the tool that, in a short period of time, brought significant results to the productive plant like a 50% reduction on the customer delivery time.

Keywords: Hydraulic Press, Rubber Products, Planning, Control and Sequencing of the Production.

## CONTEÚDO

<b>1. PREFÁCIO .....</b>	<b>3</b>
<b>2. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>4</b>
<b>3. O PROBLEMA .....</b>	<b>5</b>
<b>4. O OBJETIVO .....</b>	<b>6</b>
<b>5. A ABORDAGEM ADOTADA.....</b>	<b>7</b>
<b>6. O CONTEXTO ESTUDADO.....</b>	<b>8</b>
6.1 A EMPRESA.....	8
6.2 POSICIONAMENTO COMPETITIVO NO MERCADO DE GAXETAS DE BORRACHA.....	9
6.3 O PROCESSO PRODUTIVO .....	10
<b>7. O REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>15</b>
7.1 TEORIA DAS RESTRIÇÕES.....	15
7.2 GESTÃO DE ESTOQUES .....	23
7.3 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO – SEQUENCIAMENTO E PRIORIZAÇÃO .....	26
7.4 EXPEDITING .....	28
7.5 MODELAGEM – O ALGORITMO GULOSO .....	29
<b>8. SITUAÇÃO PROPOSTA – A INTERVENÇÃO .....</b>	<b>31</b>
8.1 DEFINIÇÃO DO LOCAL DA INTERVENÇÃO .....	31
8.2 ANÁLISE DE ESTOQUES .....	33
8.3 A MÁQUINA .....	37
8.4 O PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO NA PRENSA .....	42
8.5 O SISTEMA.....	44
8.6 O ALGORITMO .....	52
8.7 UM EXEMPLO .....	54
<b>9. AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS .....</b>	<b>62</b>
<b>10. SÍNTESE E CONCLUSÃO.....</b>	<b>65</b>
<b>11. BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>67</b>
<b>12. ANEXOS .....</b>	<b>68</b>
ANEXO 1 – INFORMAÇÕES GERAIS.....	68
ANEXO 2 – HISTÓRICO FLUIDLOC.....	69
ANEXO 3 – PRODUTOS FLUIDLOC, CLASSIFICAÇÃO ABC .....	70
ANEXO 4 – ORGANOGRAMA FLUIDLOC.....	74
ANEXO 5 – FLUXOGRAMA PRODUÇÃO DE ARTEFATOS DE BORRACHA .....	75
ANEXO 6 – O MERCADO DA FLUIDLOC.....	77

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: PRINCIPAIS CONCORRENTES DA EMPRESA - FONTE: SITES DIVERSOS	9
FIGURA 2: GAXETA DE BORRACHA - FONTE: SITE FLUIDLOC ( <i>WWW.FLUIDLOC.COM.BR</i> )	10
FIGURA 3: PROCESSO PRODUTIVO RESUMIDO – FONTE: OS AUTORES	10
FIGURA 4: ETAPA 1 – PREPARAÇÃO QUÍMICA DA BORRACHA - FONTE: OS AUTORES	11
FIGURA 5: ETAPA 2 – MÁQUINA EXTRUSIVA - FONTE: OS AUTORES	12
FIGURA 6: ETAPA 3 - MÁQUINA DE CORTE GROSSO - FONTE: OS AUTORES	12
FIGURA 7: ETAPA 4 - PRENSA DE CONTROLE MANUAL - FONTE: OS AUTORES	13
FIGURA 8: ETAPA 6 - CORTE FINO - FONTE: OS AUTORES	14
FIGURA 9: PLANEJAMENTOS DA PRODUÇÃO - FONTE: GAITHER (2005)	27
FIGURA 10: DIVERSIDADE DE PRODUTOS E CAPACIDADE PRODUTIVA - FONTE: OS AUTORES	33
FIGURA 11: CAIXAS NOS DEPÓSITOS FLUIDLOC	34
FIGURA 12: ESTOQUE INTERMEDIÁRIO ENTRE AS ETAPAS DE CORTE GROSSO E PRENSA	35
FIGURA 13: O ALMOXARIFADO – FONTE: OS AUTORES	36
FIGURA 14: A PRENSA HIDRÁULICA	37
FIGURA 15: A PRENSA HIDRÁULICA - VISÃO INTERNA	38
FIGURA 16: PROCESSO DE PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO NA PRENSA - FONTE: OS AUTORES	42
FIGURA 17: FOLHA PARA COMUNICAÇÃO PCP -PRENSA, VERSÃO ANTIGA	43
FIGURA 18: MENU PRINCIPAL DO SISTEMA: CINCO ENTRADAS – FONTE: OS AUTORES	46
FIGURA 19: TELA SITUAÇÃO	48
FIGURA 20: RELATÓRIO PARA PRODUÇÃO	51
FIGURA 21: TELAS DO ALGORITMO GULOSO - FONTE: OS AUTORES	53
FIGURA 22: TELAS DE NOVOS PEDIDOS - EXEMPLO	54
FIGURA 23: TELA SITUAÇÃO - EXEMPLO	55
FIGURA 24: INSTRUÇÃO DE FAROL DE CRITICIDADE	56
FIGURA 25: ALGORITMO DEFININDO A ALOCAÇÃO DE PLACA 1 - EXEMPLO	58
FIGURA 26: ALGORITMO DEFININDO A ALOCAÇÃO DA PLACA 2 - EXEMPLO	60
FIGURA 27: RELATÓRIO - EXEMPLO	61
FIGURA 28: FOLHA PARA COMUNICAÇÃO PCP - OPERAÇÃO, VERSÃO ATUAL	62
FIGURA 29: FLUIDLOC, PRÓXIMA A ROD. PRESIDENTE DUTRA. FONTE - GOOGLE MAPS	68
FIGURA 30: HISTÓRICO - FONTE: OS AUTORES	69
FIGURA 31: ORGANOGRAMA - FONTE: OS AUTORES	74
FIGURA 32: O MERCADO NACIONAL E O SHARE DA FLUIDLOC - FONTE: OS AUTORES	77

## ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1: ANÁLISE DE CAPACIDADE NO PROCESSO PRODUTIVO	31
TABELA 2: COMPOSIÇÃO DAS CAVIDADES NOS SEIS MODELOS DE MOLDE	39
TABELA 3: EXEMPLO DE MODELOS DE MACHOS, COM SEUS RESPECTIVOS DIÂMETROS	42



## 1. PREFÁCIO

Através de uma abordagem, pragmática, enxuta e direta, realizamos um trabalho de campo para concluirmos nosso curso de Engenharia de Produção na Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Buscou-se, sempre, integrar conhecimentos de naturezas diversas: teorias de produção, algoritmos de programação, entendimento do negócio da empresa, entre outros. Projetos e análises ricos são construídos através de percepções sistêmicas do curso de graduação, enxergando conexões entre diferentes assuntos.

O tema da pesquisa nos parece integralmente aderente ao propósito do curso e, de certa forma, complementar às nossas experiências profissionais ao longo dos dois últimos anos. Estamos amplamente satisfeitos com os resultados obtidos e acreditamos que o caminho percorrido na UFRJ – e não este fim – foi o agente determinante em nossa formação.

Esperamos que nossos resultados possam agregar à Fluidloc de forma a recompensar o tempo dedicado à pesquisa e fazer jus ao nome da instituição que nos acolheu por todos esses anos.

Desde o princípio, foi diagnosticado grande motivação por parte da empresa em melhor compreender a forma como ela própria poderia redesenhar o processo de definição do set-up da prensa e automatizá-lo. Aliado a isso, o grupo identificou questões pontuais que se apresentaram como oportunidades de estudo e aprofundamento e que seriam de valor para o desenvolvimento do projeto de graduação. Não menos importante, a acessibilidade às informações contribuiu de forma definitiva para que realizássemos um primeiro retrato do *as is* na empresa.

Por fim, os integrantes têm a sensação de que foi fundamental para o êxito do projeto uma abordagem focada, voltada sempre para resultados palpáveis. Sabemos que o projeto, que em grande parte lidou com processos operacionais e ferramentas de automação, agregou para nossa formação como formandos e engenheiros de produção da UFRJ.

## 2. INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem início a partir de um retrato da fábrica, *as is*, onde são explicitadas informações sobre a empresa que será analisada e, logo em seguida, o seu processo produtivo do produto em questão - os artefatos de borracha.

Com base nos problemas identificados a partir de uma reunião inicial com um dos sócios da empresa, foi elaborado um referencial teórico o qual possibilitou o embasamento da análise e da solução apresentadas a seguir.

Na tentativa de solucionar o problema, foi elaborado um sistema a partir do Excel, e após algumas reuniões com o setor de Planejamento e Controle da Produção, foi possível chegar a uma solução aderente às necessidades da empresa.

Por fim, a solução foi apresentada para o setor de PCP, que passou a utilizá-la a partir de então, possibilitando a esse projeto uma etapa mais rara em trabalhos de fim de curso: a avaliação dos impactos gerados pela solução. Essa fase do projeto tem como objetivo confrontar a teoria e a prática a partir dos resultados obtidos com a implantação. Com essa visão, o trabalho termina por propor os próximos passos que devem ser traçados para a continuidade da melhoria nesse setor.

### 3. O PROBLEMA

A oportunidade de realizar o trabalho na Fluidloc surgiu de uma conversa com o sócio-diretor da empresa. Nesta ocasião, informou-nos de que havia, no setor de Planejamento e Controle da Produção (PCP), dificuldade de se programar a produção do mix de produtos devido aos mais de 3.000 modelos de artefatos de borracha possíveis.

“Programação das operações consiste em alocar no tempo as atividades, obedecendo ao sequenciamento definido e ao conjunto de restrições considerado”<sup>1</sup>.

A partir dessa situação, a empresa perde uma série de oportunidades que poderiam torná-la mais competitiva. Os estoques são bastante elevados, a área comercial não consegue definir um prazo para pedidos de clientes e, conseqüentemente, algumas vezes esses prazos são ultrapassados. Além disso, a área de PCP não enxerga um retrato completo da situação de todos os pedidos que a empresa deve produzir.

O problema consiste, portanto, na incapacidade de agilizar processos chave na fábrica e transformá-los de forma estruturada num reflexo do direcionamento dado pela liderança fabril e pela área comercial.

No caso, o processo chave é a etapa da prensa hidráulica que apresenta um problema matemático complexo de natureza combinatória explosiva devido a uma série de restrições de produção.

---

<sup>1</sup> “CORREA, H. CORREA, C., 2011. Administração de produção e de operações: manufatura e serviços:

#### 4. O OBJETIVO

A partir dos problemas anteriormente abordados, o objetivo deste trabalho é implementar um sistema heurístico que possa trazer soluções, apesar da complexidade da situação, para a produção do mix de artefatos de borracha, a partir da análise dos pedidos de clientes.

Será elaborado um sistema de baixo custo que possa auxiliar o setor de PCP da empresa sem necessidade de uma dispendiosa e longa implementação. Para isso, a solução deve ser simples e adequada à realidade de informações e número de funcionários do setor.

Essa solução visa contribuir para um maior alinhamento entre a operação no chão de fábrica da Fluidloc e um planejamento estruturado de sua produção em curto prazo coerente com as diretrizes comerciais.

Inclusive, espera-se que os impactos tragam subsídios à negociação com clientes, na medida em que a empresa passa a ter papel mais proativo na determinação dos prazos de entrega dos artefatos de borracha após implementação da ferramenta desenvolvida.

Os objetivos serão discutidos na sessão de avaliação dos impactos e na síntese do texto.

## 5. A ABORDAGEM ADOTADA

A abordagem adotada refere-se ao plano de execução adotado ao longo do projeto, identificando as etapas e respectivos resultados intermediários a serem alcançados.

O problema a ser estudado deve ser iniciado a partir de uma análise de todo o fluxo de produção das gaxetas de borracha para identificar quais recursos são críticos na definição do *mix* de produção e quais recursos são gargalos para o fluxo.

A partir de uma primeira visita, foi conhecido o macro processo da produção de artefatos de borracha, contextualizando-o nos processos de negócio da empresa. Através da análise das capacidades de seus sub-processos, identificou-se a restrição do processo (gargalo) que foi definido como o foco do estudo. Acreditamos que ele ditará a produção das outras etapas e, portanto, melhorias trarão impactos mais significativos para a empresa.

Em seguida, propõe-se melhorias que permitam potencializar a utilização dos recursos da fábrica sem novos investimentos significativos. Para isso, é vital que se entenda como é feito o planejamento e controle da produção da fábrica e, em particular, do posto e da máquina estudados. A partir disso, será criada a primeira versão de uma ferramenta que modela a melhor forma de trabalhar com essa máquina, considerando as principais restrições. O próximo passo será a apresentação dessa etapa do projeto à área de PCP e acompanhamento dessa implementação ao longo do tempo. Durante esse período, deverão ser analisados os pontos positivos e negativos da versão e serem feitas as mudanças necessárias para melhorar a versão utilizada.

Com isso, essas últimas etapas ilustram um processo de melhoria contínua e permitem que novas percepções sejam implementadas e venham a agregar à solução no futuro.

## 6. O CONTEXTO ESTUDADO

### 6.1 A EMPRESA

A Fluidloc nasceu em 1976 de uma companhia norte-americana chamada Wagner Electric e foi fundada por Hélio Ventura, imigrante turco. O primeiro negócio *core* foi a produção e venda de óleo lubrificante para veículos das linhas leve e pesada. As informações gerais estão dispostas no **Anexo 1**. Para uma descrição mais detalhada do histórico da empresa, ver **Anexo 2**. O **Anexo 4** ilustra a estrutura hierárquica da mesma (organograma).

Localizada na Pavuna, a empresa é hoje presidida pelo filho do fundador, Michel Sandro Ventura, e administrada também por seu sócio, Francisco de Freitas Leite. Conta com três linhas principais de produtos: pistões, cilindros e gaxetas de borracha, além de kits comerciais que nada mais são que a montagem dos componentes individuais em pacotes de forma a melhor atender as necessidades de seus clientes. O **Anexo 3** apresenta os artefatos de borracha, produtos que serão alvo da análise, divididos em classificação ABC (*critério*: volume vendido).

A fábrica não é voltada para o mercado de massas e sim para *nichos* de mercado, ou seja, para mercados mais específicos e menores (caminhões, linha agrícola, etc.). Além disso, a organização não toma como concorrentes todas as empresas que produzem os mesmos produtos, pois há uma grande diferença entre as indústrias que produzem artigos de freio e de embreagem *originais* e as que vendem para as grandes montadoras. Essas tem como concorrentes as indústrias menores que, como no caso da Fluidloc, podem estar voltadas para linhas mais alternativas ou para distribuidores de peças de reposição. Em termos comparativos, para se manter no mercado, seus produtos “não-originais” devem ser vendidos a um preço de 60% em relação ao produto vendido pelo outro grupo.

Como principais tendências, levantou-se a criação de um espaço no site ([www.fluidloc.com.br](http://www.fluidloc.com.br)) destinado a *web-commerce*. Essa mudança deve afetar diretamente a forma de se relacionar com os clientes, dado que o sistema atual de representação, onde há a presença de um *player* intermediário, perderá

força. Espera-se que clientes de menor porte possam ser atendidos e que as margens – antes consumidas pelas comissões dos representantes – cresçam significativamente. Além disso, a manutenção do foco da produção no nicho em que se encontra hoje, afastada da linha leve e com grande participação na linha agrícola, deve se manter pelos próximos anos.

Dentre seus principais concorrentes no mercado nacional, destacamos:



Figura 1: Principais concorrentes da empresa - fonte: sites diversos

O mercado e a participação da Fluidloc estão descritos no **Anexo 6**.

## 6.2 POSICIONAMENTO COMPETITIVO NO MERCADO DE GAXETAS DE BORRACHA

A Fluidloc se especializou na fabricação de artefatos de borracha compatíveis com líquido para freios. Dentro desta especialidade, há 4 fabricantes principais no Brasil:

**Controil** - é o maior concorrente com 40 a 50 % do mercado.

**BINS** - 5 a 10 % do mercado

**HUTCHINSON** – (exige quantidades muito grandes e só vende a fabricantes) - 5 a 10 % do mercado

**PIAU** - 2 a 4 % e é considerado de muita baixa qualidade, sendo sua produção não automatizada

**CARIBOR** – (só vende a fabricantes) – 5 a 7 % do mercado

A seguir é apresentada uma imagem com um exemplo de artefato de borracha em sua forma acabada, pronta para ser embalada e enviada ao cliente:



Figura 2: Gaxeta de borracha - fonte: site Fluidloc ([www.fluidloc.com.br](http://www.fluidloc.com.br))

### 6.3 O PROCESSO PRODUTIVO

O processo produtivo de borrachas na fábrica se dá em um galpão dedicado. Foram identificadas 7 etapas no processo, conforme fluxograma abaixo:

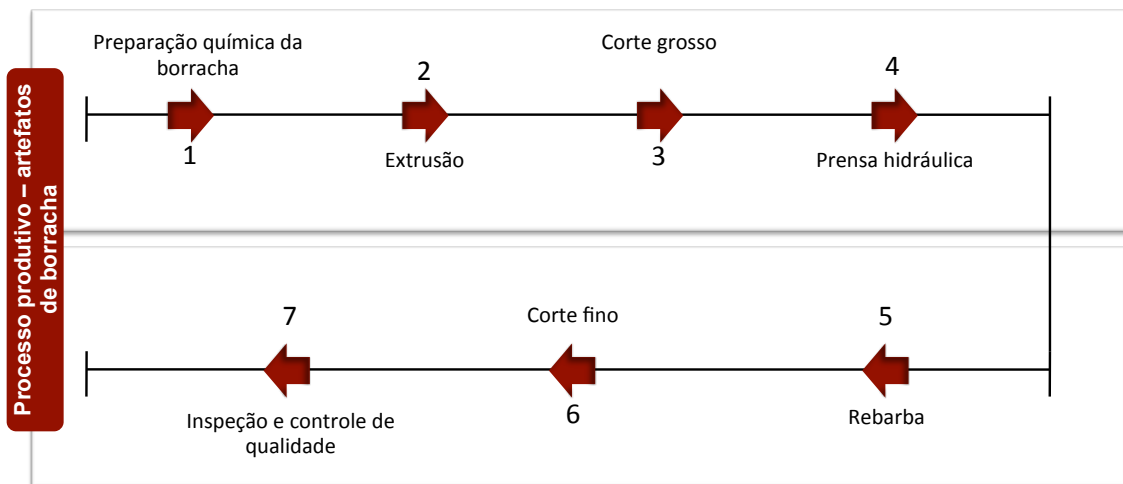


Figura 3: Processo produtivo resumido – fonte: os autores

A etapa de preparação química da borracha consiste em misturar o estireno batadieno (SBR), que é a base do elastômero, com a carga (negro de fumo), o



vulcanizante (enxofre), o acelerador e o pacote de antioxidantes e antiozonantes para a fabricação do subproduto bruto.



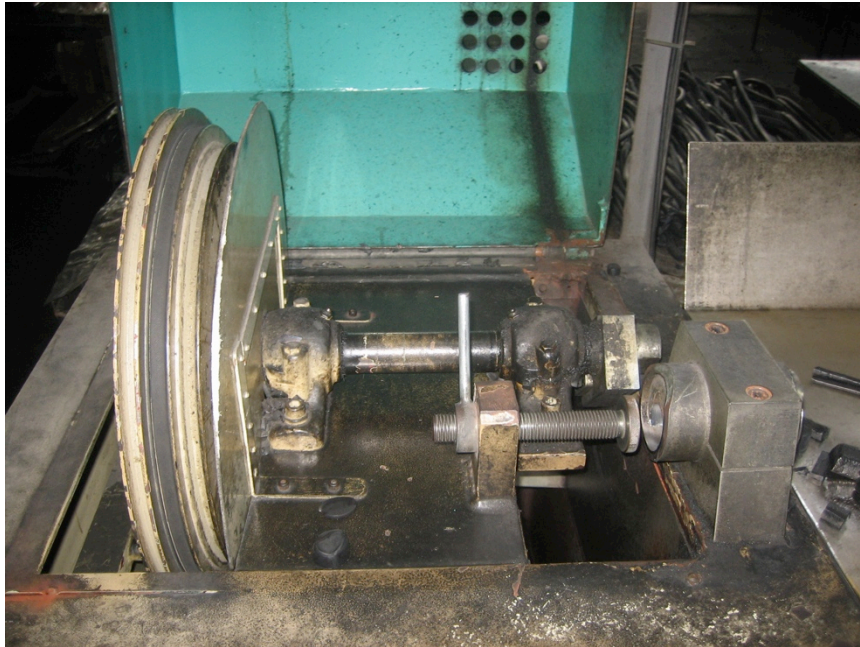
Figura 4: Etapa 1 – Preparação química da borracha - fonte: os autores

Já a etapa de extrusão consiste em transformar pedaços de borracha longos e sem formato definido em tubos cilíndricos de diâmetro de aproximadamente 4 cm. Isso se dá através de máquina extrusiva. Na ilustração, é possível identificar os pedaços de borracha oriundos da etapa anterior.



**Figura 5: Etapa 2 – Máquina extrusiva - fonte: os autores**

Uma vez produzidos, esses tubos são cortados, formando cilindros igualmente espessos mas de comprimento significativamente menor.



**Figura 6: Etapa 3 - Máquina de corte grosso - fonte: os autores**

Após, os cilindros pequenos são dispostos nas cavidades dos machos na prensa hidráulica. O modelo estudado é o de programação automática, que ainda opera em conjunto com máquinas do modelo antigo, de programação manual.



Figura 7: Etapa 4 - Prensa de controle manual - fonte: os autores

Já com formato específico de um modelo de gaxeta, o sub-produto segue seu fluxo na direção de duas etapas de refinamento: a rebarba e o corte fino. A primeira tem a função de retirar a borracha que fica colada na peça após a prensa enquanto a segunda busca garantir que as dimensões da peça produzida respeitarão rigidamente as especificações técnicas do produto. Nestas etapas, também são utilizados gabaritos (*poka-yoke*) como meio de garantir menos produtos não conforme.



Figura 8: Etapa 6 - Corte fino - fonte: os autores

Por fim, as peças são inspecionadas individualmente na tentativa de mitigar a venda de produtos com pequenas falhas.

## 7. O REFERENCIAL TEÓRICO

A seguir, serão apresentados os principais temas que nortearam a análise e tornaram a intervenção realmente eficaz.

### 7.1 TEORIA DAS RESTRIÇÕES

A Teoria das Restrições, criada pelo físico israelense Eliyahu M. Goldratt, é uma metodologia de gerenciamento de organizações e busca, através de dedução lógica e focada. Segundo Corbett (2005)<sup>2</sup>:

“A TOC é baseada no princípio de que existe uma causa comum para muitos efeitos, de que os fenômenos que vemos são consequência de causas mais profundas. Esse princípio nos leva a uma visão sistêmica da empresa”.

De acordo com SOUZA, F. B. (2005)<sup>3</sup>, a ToC surgiu a partir um software de programação de produção, criado por Goldratt e outros consultores israelenses, chamado OPT. Em meio ao desenvolvimento do software, Goldratt foi formalizando uma série de princípios que construíram o pensamento OPT (Optimized Production Technology – Tecnologia de Produção Otimizada). A partir dos anos 80, ele cria a Teoria das Restrições, uma ampliação do pensamento OPT.

Devido a esse fato, é muito comum encontrar essas duas siglas como sinônimos na literatura. Entretanto, TOC é muito mais que um software de programação baseado em capacidade finita dos recursos ou aquelas idéias iniciais. Ela compõe diversos aspectos relacionados à logística, sistema de

---

<sup>2</sup> CORBETT, T., 2005. Bússula Financeira: O processo decisório da Teoria das Restrições. São Paulo: Editora Nobel

<sup>3</sup> SOUZA, F. B., 2005. Do OPT à Teoria das Restrições: mitos e avanços. Revista Produção, São Paulo: maio/ago 2005

desempenho e processos de raciocínio como método de solução de problemas. Ainda é possível agregar a ToC novos conhecimentos relacionados a Marketing (BLACKSTONE JR, 2001), Distribuição (GOLDRATT et al., 2000; YUAN et al., 2003; PTAK & SCHRAGENHEIM, 2004), Gestão de Projetos (GOLDRATT, 1998; STEIN, 2000), Gestão da Cadeia de Suprimentos (GOLDRATT et al., 2000; UMBLE & UMBLE, 2002; PTAK & SCHRAGENHEIM, 2004; SIMATUPANG et al., 2004), dentro outros. Devido a essa amplitude, estamos esclarecendo que, ao longo do estudo a seguir, será abordado como Teoria das Restrições sempre que algum autor falar sobre o pensamento OPT.

Steenkamp (1995)<sup>4</sup> identifica a Teoria das restrições como uma abordagem global de gestão para as organizações onde o foco é a identificação e a elevação das restrições e ou gargalos, além da implementação do processo de melhoria contínua para que possam alcançar o objetivo de ganhar dinheiro. Na maioria das vezes as empresas confundem a meta real com alguns fatores, tais como: garantia de entregas rápidas, obtenção de uma fatia importante de mercado, metas para alcance de zero defeitos, liderança no mercado e outros. Na TOC estes fatores são necessidades básicas, a fim de alcançar o verdadeiro objetivo que é fazer dinheiro.

Considerando que a manufatura deve contribuir para esse objetivo, Correa e Correa (2011)<sup>1</sup> afirmam que essa contribuição está relacionada a atuação sobre três elementos: aumentando o ganho que advém de materiais que passam através da fábrica e são vendidos (*throughput*), reduzindo estoques (*inventory*) e reduzindo as chamadas despesas operacionais (*operating expenses*). Esses termos serão definidos abaixo, segundo a abordagem da ToC:

Ganho (*throughput*) é a taxa segundo a qual o sistema gera ganho de dinheiro a partir da venda de seus produtos, É importante ressaltar que ganho está

---

<sup>4</sup> STEENKAMP, J. G., 1995. The theory of constraints: its usefulness and applicability. Master of Business Administration. University of the Witwatersrand, Johannesburg

relacionado a produtos vendidos. Aqueles que estão prontos mas ainda não foram comercializados são considerados como estoques.

Estoque (*inventory*) é quantificado pelo dinheiro que a empresa empregou nos bens que pretende vender. Esse valor é referente apenas à matéria-prima envolvida na produção. Não deve ser incluído o “valor adicionado” pelo trabalho inclui-se nas despesas operacionais.

Despesas operacionais (*operating expenses*) é o dinheiro que o sistema gasta para transformar estoque em ganho.

Com base na contribuição da manufatura para o verdadeiro objetivo das empresas, guiados pelos três elementos descritos acima, Correa e Correa (2011)<sup>1</sup> esclarece que foram elaborados os nove princípios da Teoria das Restrições em operações.

Tradicionalmente, a abordagem na produção era a de balancear a capacidade das várias etapas de um processo produtivo e, então, tentar estabelecer um fluxo de materiais suave, se possível contínuo. A ToC afirma que esse balanceamento de capacidade é muito difícil de ser obtido na maioria das situações, já que, com uma variedade crescente de produtos sendo processados em unidades produtivas, as produtividades relativas dos diferentes mix de produtos fatalmente resultarão em desbalanceamentos. É fundamental ressaltar que essa dificuldade ocorre porque a Teoria das Restrições tem como pressuposto que o recurso gargalo é um ativo caro, impossibilitando a compra de várias unidades desse recurso.

Já que é um fato que as unidades produtivas em sua maioria estão sujeitas a capacidades desbalanceadas, o que se deveria procurar buscar é um melhor balanceamento do fluxo de produção na fábrica, garantindo que, em cada etapa de um processo produtivo, o fluxo que atravessa o sistema seja balanceado de forma igual.

A utilização do recurso não gargalo não deve ser definida por sua própria disponibilidade, mas deve ser determinada pela capacidade de processamento de alguma restrição do sistema.

Utilização e ativação de um recurso não são sinônimos. Ativar um recurso não-gargalo mais do que o suficiente para alimentar um recurso gargalo limitante não contribui em nada com os objetivos definidos pela ToC. Muito pelo contrário, o ganho se manteria constante, limitado pelo recurso gargalo e, simultaneamente, haverá o aumento de estoque e, conseqüentemente, as despesas operacionais devido a administração desse estoque gerado. Como a ativação do recurso, nesse caso, não implica contribuição para o atingimento dos objetivos, ela não pode ser chamada de “utilização” do recurso, pois não está tornando-o útil – é apenas sua “ativação”.

Por definição, no tempo disponível, ou o recurso gargalo esta sendo usado para efetivamente processar os fluxos (de material, informações ou pessoas), ou está sendo preparado (em processo de set-up) para processar seus fluxos. Se é economizada uma hora do tempo de preparação, por consequência, é ganha uma hora para ser utilizada em processamento e uma hora ganha num recurso gargalo é uma hora ganha para o sistema global.

Ao analisar um recurso não-gargalo, o tempo disponível está dividido em três possíveis atividades: preparação, processamento e ociosidade que representa o tempo em que o recurso está desativado devido a diferença de capacidade entre ele e o gargalo. Portanto, uma hora ganha de preparação não representa uma hora ganha de processamento e sim, de ociosidade.

Na Teoria das Restrições, o lote de transferência é sempre uma fração do lote de processamento. O lote de processamento é o tamanho de lote que vai ser processado num recurso antes que este seja preparado de novo para processamento de outro item. Já o lote de transferência é o tamanho do lote que vai ser transferido para as próximas operações. Como esses lotes não tem obrigatoriamente que ser iguais, quantidades de material processado podem ser transferidas para uma operação subsequente mesmo antes que todo o material do lote de processamento seja processado. Isso permite que os lotes sejam divididos podendo reduzir substancialmente o tempo de passagem dos produtos pela fábrica.

Na ToC, diferente do que acontece em outros sistemas tradicionais, o tamanho dos lotes de processamento é definido a partir da situação da fábrica e tem a



possibilidade de variar de operação para operação. A definição dos tamanhos de lote levam em conta os custos de carregar estoques, custos de preparação, necessidades de fluxo de determinados itens, tipos de recursos (gargalo e não-gargalo), entre outros.

Os gargalos definem os estoques ao longo do fluxo do sistema. Isso ocorre porque estes são dimensionados e localizados em pontos tais que conseguem isolar os gargalos das flutuações estatísticas propagadas pelos recursos não-gargalos, que os alimentam. Cria-se, por exemplo, um estoque antes da máquina gargalo, de modo que qualquer atraso, seja ele causado pela flutuação estatística ou por eventos aleatórios, não repercuta em parada do gargalo por falta de material.

A ToC considera simultaneamente a programação de atividades e a capacidade dos recursos, principalmente os recursos gargalos, que são limitantes. Considerando as limitações de capacidade desses recursos, ocorre a decisão por prioridade na ocupação de recursos e, com base na sequência definida, é possível calcular os lead times e, conseqüentemente, programar adequadamente a produção.

A partir desses pressupostos, Goldratt e Cox (2003)<sup>5</sup> definiram cinco passos para utilizar a ToC no processo de tomada de decisão de uma empresa. Segundo o plano, as decisões direcionam os investimentos e esforços da empresa no sentido de melhorar as metas. Os cinco passos são:

1. Identificar a(s) restrição(s) do sistema.
2. Decidir como explorar a(s) restrição(s) do sistema.
3. Subordinar de todos os aspectos à decisão acima.
4. Elevar a(s) restrição(s) do sistema.
5. Voltar à primeira etapa.

---

<sup>5</sup> GOLDRATT, Eliyahu M e COX, Jeff, 2003. A Meta. 2ª edição. São Paulo: Editora Nobel

## 1. IDENTIFICAR A RESTRIÇÃO DO SISTEMA

Em qualquer processo com componentes ou personagens diferentes, haverá sempre um recurso que limita o seu fluxo máximo. Visando o aumento do desempenho do sistema é necessário identificar o elo mais fraco da corrente. Numa fábrica, o recurso que estabelece o fluxo máximo é chamado de Recurso com Restrição de Capacidade (RRC) .

A restrição, que segundo Goldratt (1990)<sup>5</sup> significa “qualquer elemento que limita a organização no seu objetivo de fazer mais dinheiro”, pode ser proveniente, na maioria dos casos, de material, mercado, capacidade ou políticas. Cada forma de restrição exigirá uma abordagem diferente.

Se a restrição for de mercado, por se tratar de um elemento externo irá solicitar uma outra abordagem. Analisando as restrições internas, elas podem ser físicas ou políticas. As restrições políticas encaminham o processo de abordagem para uma substituição. Já as restrições físicas, exemplificadas como capacidade e material no parágrafo acima, deve-se seguir os passos descritos a seguir para uma solução aderente a ToC:

“Quando isso for alcançado[...]o próximo passo fica óbvio. Nós acabamos de pôr as mãos nas poucas coisas que são escassas, limitadas até o ponto que restringem o sistema como um todo. Então vamos estar certos de que não desperdiçaremos o pouco que temos. Em outras palavras, o passo número 2 é:”<sup>6</sup>

## 2. DECIDIR COMO EXPLORAR A RESTRIÇÃO DO SISTEMA

Já que o elo mais fraco da corrente define a sua resistência, a restrição primária, dentro da empresa, irá definir o ganho máximo, ou seja, a empresa

---

<sup>6</sup> GOLDRATT, Eliyahu M, 1990. *What is this Thing Called Theory of Constraints*.

não poderá vender mais do que o mercado está puxando e o que é possível “fluir” pela restrição. Este, portanto, é o recurso mais precioso e sobre ele devem ser voltadas todas as atenções. Após identificar o recurso que limita o desempenho da fábrica, é fundamental utilizá-lo da melhor forma possível com o objetivo de otimizar sua capacidade. Todo minuto perdido nesse recurso é um minuto a menos no nível de produção de todo o sistema, então é necessário garantir que sempre haja um estoque de segurança na frente da restrição para que ela não pare. Se for o caso de Recurso (Máquina ou Equipamento), valem ainda ações de aplicação de hora-extra, agrupamento de set-up's e, eventualmente, descarga ou subcontratação de determinadas operações.

"Agora que decidimos como iremos administrar as restrições, como deveríamos administrar a grande maioria dos recursos da empresa, que não são restrições? Intuitivamente é óbvio. Deveríamos administrá-los de modo que tudo que as restrições vão consumir será fornecido pelas não-restrições. Existe alguma razão em administrar as não-restrições para fornecer mais do que isso? Claro que não, já que o desempenho do sistema como um todo está selado - ditado pelas restrições.

Então o terceiro passo é:"<sup>6</sup>

### **3. SUBORDINAR TODOS OS ASPECTOS À DECISÃO ACIMA**

Uma vez que estabelecemos o nível máximo em função da restrição, a próxima etapa significa sincronizar todos os outros recursos de forma que trabalhem pelo ritmo da restrição, nem mais nem menos do que ela pode “processar”. Eles não podem deixar faltar material para a restrição trabalhar, pois assim ela pararia e o desempenho do sistema seria afetado negativamente. Por outro lado, os recursos não-restrição não devem trabalhar mais rápido que a restrição, pois não estariam aumentando o nível de produção da linha, estariam apenas aumentando o nível do estoque em processo. A redução ao máximo dos Inventários e Despesas Operacionais depende de uma gestão eficaz da lógica dos estoques visando a redução sistemática dos mesmos. Garantir o

máximo Ganho depende da redução da variabilidade do sistema o que pode ser também conseguido pela correta gestão dos estoques

"Mas não vamos parar aqui, é óbvio que ainda temos espaço para muito mais aprimoramentos. Restrições não são um ato de Deus, há muito que podemos fazer sobre elas. Qualquer que seja a restrição, tem que haver um modo de reduzir o seu impacto limitador, e assim, o próximo passo é muito evidente."<sup>6</sup>

#### **4. ELEVAR A RESTRIÇÃO DO SISTEMA.**

No processo de Exploração, foi definido como otimizar o uso da restrição. Nesta etapa, são consideradas as várias alternativas para aumentar a capacidade de produção dos gargalos: Este passo pode ser levado adiante via uma série de ações sobre o sistema, por exemplo, compra de máquinas (recursos), redução dos tempos de preparação no gargalo, contratação de mais funcionários, introdução de um outro turno, etc. Uma vez que se quebra uma restrição, fatalmente aparecerá outro elo mais fraco, uma nova restrição. Assim sendo, temos o quinto passo neste nosso processo.

"Podemos parar aqui? Sim, sua intuição está certa. Vai haver uma outra restrição, mas vamos verbalizar isso um pouco melhor. Se continuarmos a elevar a restrição, então deve chegar a hora em que quebraremos a restrição. O que elevamos não vai mais estar limitando o sistema. Seu desempenho irá então para o infinito? Claro que não. Outra restrição irá limitar o seu desempenho e então o quinto passo deve ser:"<sup>6</sup>

#### **5. VOLTAR À PRIMEIRA ETAPA**

Após realizar os quatro passos, a restrição inicial foi quebrada e uma nova restrição surgiu. Nesse momento, deve-se retornar ao ponto inicial, num processo de melhoramento contínuo, sem que haja acomodação. Neste passo é importante não deixar que a inércia, por si só, se transforme em Restrição.

"Infelizmente, não podemos expor essas 5 etapas sem adicionar à última etapa um aviso: não deixe que a inércia se torne a restrição do sistema.

Não há como enfatizar demais esse aviso. O que geralmente acontece é que, dentro das nossas organizações, derivamos da existência da restrição atual muitas regras. Algumas vezes formalmente, muitas vezes apenas intuitivamente. Quando uma restrição é quebrada, parece que não nos preocupamos em revisar essas regras. Como resultado, nossos sistemas estão, na sua maioria, limitados por restrições políticas." <sup>6</sup>

---

## 7.2 GESTÃO DE ESTOQUES

Os estoques são, em geral, uma das maiores preocupações dos gestores de operações, obviamente, dos gestores financeiros, que se preocupam com a quantidade de recursos financeiros que os estoques imobilizam e seus correspondentes custos, dos gestores comerciais, que se preocupam com o prejuízo no atendimento aos clientes que uma possível indisponibilidade do estoque de produtos acabados pode acarretar e dos gestores fabris, que se preocupam com a onerosa ociosidade de sua fábrica que uma possível falta de matéria-prima pode acarretar.

Estoques são considerados, de acordo com Correa e Correa (2011)<sup>1</sup>, acúmulos de recursos materiais entre fases específicas de processos de transformação. Esses acúmulos de materiais tem uma propriedade fundamental, que é uma arma no sentido de que pode ser usada positivamente ou negativamente: eles proporcionam independência às fases dos processos entre as quais se encontram. Quanto maiores os estoques entre as duas fases de um processo de transformação, mais independentes ou desacopladas entre si essas fases se tornam. Essa independência serve para regular diferenças entre taxas ao longo do processo produtivo, como entre suprimentos e demanda, no caso de estoque de insumos ou entre produção e demanda, no caso de produtos acabados.

Para entender a natureza dos estoques, é necessário analisar o motivo que resulta na formação desse estoque. Os principais motivos são falta de coordenação, incerteza de previsões, especulação ou necessidade de

preencher canal de distribuição. A partir dessa análise, é possível verificar se a formação de estoque é vantajosa ou não para o processo produtivo.

A falta de coordenação entre fases de um processo de transformação impossibilita a convergência das curvas de suprimento e consumo das etapas do processo, gerando, assim, de estoque intermediários. Tipicamente, essa falta de coordenação resulta de capacidade, tecnologia, obtenção ou informação.

Em certas situações, há a possibilidade de coordenar perfeitamente as taxas de suprimentos e consumo entre determinadas etapas de um processo de transformação. Entretanto, quando as taxas não são previsíveis, ou previsíveis mas sujeitas a erro considerável, tem-se a situação em que há incertezas quanto às taxas de consumo e suprimento. Isso significa que elas não são tão previsíveis quanto as inércias decisórias demandariam. Nesse caso, estoques se mostram necessários para fazer frente a essas incertezas.

Em alguns casos, a formação de estoques não se dá para minimizar problemas como falta de coordenação ou incerteza, mas tem a intenção de criar valor e correspondente realização de lucro.

Algumas situações logísticas demandam que produtos sejam colocados em disponibilidade próximos dos mercados consumidores. Para que continuamente os consumidores encontrem produtos nos pontos-de-venda, o canal de distribuição precisa estar preenchido. Os produtos que preenchem os canais de distribuição podem representar estoques consideráveis.

Há vários tipos de estoque em processos de operações:

- Estoques de matérias-primas e componentes comprados
- Estoques de material em processo
- Estoques de produtos acabados
- Estoques de materiais para MRO (manutenção, reparo e operação)

A gestão de estoques é guiada por uma função objetivo que visa reduzir os custos provenientes da presença ou da falta de estoques. Para analisar a política de estoques ideal para a situação em análise, é necessário entender todos esses custos e identificar os mais críticos para definir as prioridades em um futuro *trade-off*.

Custos de emissão do pedido: a cada compra de lote, incorrem custos relacionados a expedição, por parte do fornecedor, e de recebimento, por parte do comprador. Quanto maior o tamanho dos lotes, menores serão os custos discriminados acima.

Custos de *stockout*: A falta de estoque de matéria-prima ou bens acabados podem incorrer em custos. Em relação ao estoque de bens acabados, os custos de *stockout* podem incluir vendas perdidas e clientes insatisfeitos. Já em termos de estoque de matéria-prima, os custos podem incluir a interrupção na produção e, possivelmente, ainda gerar vendas perdidas e clientes insatisfeitos.

Custos de aquisição: Ao pedir lotes maiores, os custos unitários podem ser menores por causa de descontos pela quantidade e pela diluição dos custos indiretos como frete, manuseio de materiais e custos burocráticos.

Custos da qualidade de partida (*start up*): Ao iniciar um lote de produção pela primeira vez, há muitas variáveis para acertar, o que pode causar um grande número de produtos defeituosos. Os trabalhadores podem estar aprendendo a nova função, materiais podem não ser abastecidos apropriadamente, configurações de máquinas podem não estar bem reguladas, entre outros. Utilizar lotes maiores acarretam um menor número de mudanças por ano e, por consequência, menos desperdício.

Custos da manutenção em estoque: Juros sobre a dívida obtida ao comprar o lote, aluguel de armazém, manutenção das condições ideais (aquecimento, resfriamento, iluminação e limpeza), conserto, proteção, embarque, recebimento, manuseio, impostos, seguro e administração

Custos da receptividade do cliente: Grandes estoques em processo atrapalham o sistema de produção. O tempo total de produção por unidade é aumentado e a capacidade para reagir às mudanças nos pedidos dos clientes diminui.

Custos para coordenar a produção: Como grandes estoques obstruem o processo produtivo, são necessários investimentos para desembaraçar essas obstruções e resolver problemas de produção relacionados com o congestionamento.

Custos de redução do retorno sobre o investimento (ROI): Com a compra de grandes estoques, há um aumento no investimento e uma redução no ROI. Isso tem reflexo na empresa ao elevar as taxas de juros sobre a dívida e reduzir o preço das ações.

Custos de capacidade reduzida: Estoques representam uma forma de desperdício. Materiais perdidos, guardados e produzidos antes que sejam necessários desperdiçam a capacidade de produção.

Custos da qualidade de lotes grandes: Produzir grandes lotes resulta em grandes estoques. Ao cometer um pequeno equívoco durante o processo produtivo, grande parte do lote apresenta defeitos e são descartados. Lotes menores podem reduzir esse desperdício.

Custos de problemas de produção: Estoques em processo camuflam problemas de produção. Questões como quebras de máquinas, má qualidade de produtos e escassez de materiais tornam-se mais difíceis de serem identificados.

---

7.3 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO –  
SEQUENCIAMENTO E PRIORIZAÇÃO



A figura abaixo, segundo Gaither (2005)<sup>7</sup>, ilustra o planejamento de produção de longo, médio e curto prazo. No topo, encontra-se o planejamento da capacidade de longo prazo, que trabalha com horizontes de planejamento maiores que 2 anos. Para isso, são necessários investimentos em instalações e equipamentos, elaboração de parcerias com grandes fornecedores, novos processos de produção, entre outros.

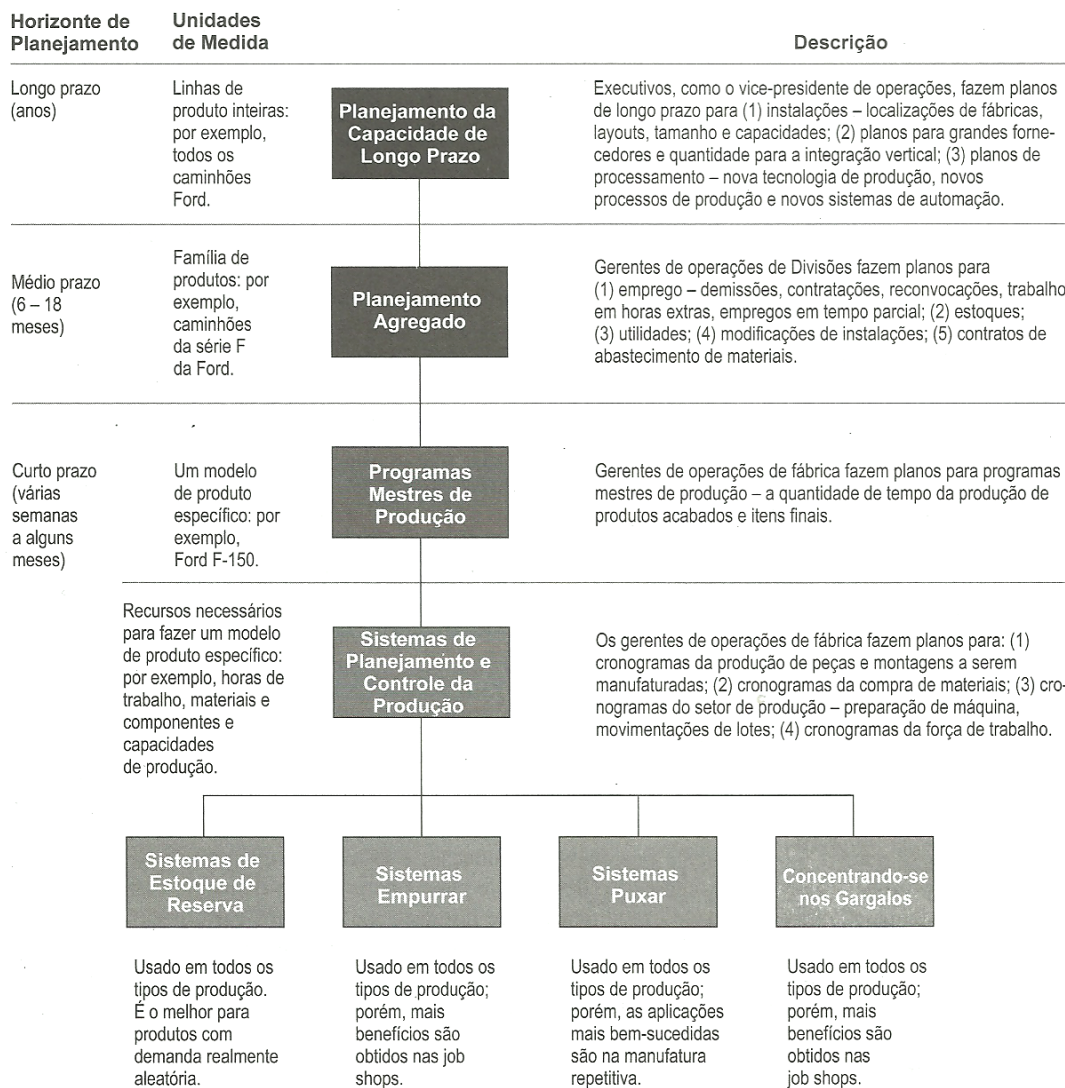


Figura 9: Planejamentos da produção - fonte: Gaither (2005)

<sup>7</sup> GAITHER, N. e FRAZIER, G, 2005. Administração da produção e operações. 1ª edição – 3ª reimpressão. São Paulo: Editora Pioneira Thomson Learning.

Em seguida, encontra-se o planejamento de médio prazo, também chamado de planejamento agregado. Através de planos para empregos, estoques, utilidades e contratos, Gaither diz que através desse planejamento são proporcionadas: instalações amplamente carregadas, minimizando a sobrecarga e subcarga, o que gera uma redução nos custos de produção; um plano para mudança sistemática da capacidade de produção para atender os picos e momentos de baixa da demanda esperada; capacidade de produção adequada para atender a demanda agregada esperada; e obter a máxima produção para a quantidade de recursos disponíveis, o que é importante em tempos de recursos escassos de produção.

Esses planos agregados impõem restrições aos planos de produção de curto prazo – os chamados programas mestres de produção - que objetivam a produção de produtos acabados ou itens finais e são usados para impulsionar sistemas de planejamento e controle. De acordo com Gaither, esses sistemas desenvolvem programas de produção de curto prazo de peças e montagens, programas de compra de materiais, programas do setor de produção e cronogramas da força de trabalho.

---

#### 7.4 EXPEDITING

Segundo Gaither (2005)<sup>7</sup>, em média, cerca de 60% das receitas dos fabricantes de automóveis são gastas em compras de materiais. Em outros mercados, como o de implementos agrícolas, de processadores de alimentos ou de refinarias de petróleo, esse valor pode chegar a 80%.

Com a popularidade da manufatura JIT, por exemplo, clientes industriais esperam receber materiais de forma mais ágil e com atendimento mais dedicado. Neste contexto, enxergam o fornecedor como um *parceiro*, buscam relações cooperativas, clientes passam a ter um número menor de fornecedores, entre outras características.

Uma das reações recorrentemente utilizadas para responder a demandas inesperadas, que tenham volumes muito acima da média ou que possuam um

nível de prioridade estratégico, é chamada de *expediting* (agilização). Segundo Gaither, é a concentração da atenção de uma ou mais pessoas em um pedido ou lote de materiais em particular, com a finalidade de agilizar o pedido ao longo de toda cadeia de suprimentos. O termo que ilustra a situação contrária chama-se *de-expediting* (desagilização), que significa desacelerar o movimento de um pedido. De acordo com o mesmo autor, esses movimentos são rotineiros em muitas empresas, que operam por meio da “administração da crise”.

---

## 7.5 MODELAGEM – O ALGORITMO GULOSO

Segundo o Instituto de Matemática e Estatística da Universidade de São Paulo (IME – USP)<sup>8</sup>, um algoritmo guloso é um algoritmo que escolhe, em cada iteração, o objetivo mais “apetitoso” que vê pela frente, fazendo com que esse objetivo faça parte da solução que o algoritmo constrói.

Ele possui algumas características marcantes. Primeiramente, é tido como míope, ou seja, ele toma decisões com base nas informações disponíveis na iteração corrente, sem olhar as consequências que essas decisões terão no futuro. Além disso, ele não se arrepende ou volta atrás: as escolhas que faz em cada iteração são definitivas.

Embora algoritmos gulosos pareçam obviamente corretos, a prova de sua correção é, em geral, muito sutil. Para compensar, algoritmos gulosos são muito rápidos e eficientes. Abaixo, trecho de texto de Ian Parberry acerca deste tema:

“Um algoritmo guloso começa com uma solução para um subproblema muito pequeno e aumenta sucessivamente para uma solução para o problema maior. O aumento é feito de uma forma “gulosa”, ou seja, prestando atenção para ganhos de curto prazo ou locais, sem se preocupar se isso o levará para uma solução de longo prazo ou global. Como na vida real, algoritmos gulosos às vezes levam para a melhor solução, às vezes para soluções muito boas e às

---

<sup>8</sup> [http://www.ime.usp.br/~pf/analise\\_de\\_algoritmos/aulas/guloso.html](http://www.ime.usp.br/~pf/analise_de_algoritmos/aulas/guloso.html), 2010

vezes para soluções péssimas. O truque é determinar quando ser guloso. A maioria dos algoritmos gulosos é enganosamente simples.

Uma coisa que se irá notar sobre algoritmos gulosos é que eles são normalmente fáceis de serem concebidos, implementados, analisados e são muito rápidos, mas são quase sempre difíceis de serem provados corretos.”<sup>9</sup>

Um problema de otimização combinatória consiste em encontrar um elemento de valor ótimo num conjunto finito. Dependendo do problema, *ótimo* pode significar *máximo* ou *mínimo*. No caso da maximização, por exemplo, a estratégia de um algoritmo guloso é calcular um máximo “local” na esperança de encontrar um máximo “global”. Uma analogia recorrentemente utilizada é a do montanhista que pedala sempre para cima na esperança de encontrar o pico mais alto da montanha.

De forma semelhante, Rocha e Dorini (2004)<sup>10</sup> destacam algumas das características principais de algoritmos gulosos:

- ✓ A escolha feita pelo algoritmo é a que parece ser a melhor no dado momento
- ✓ A escolha não depende das soluções dos outros subproblemas
- ✓ A instância do problema é reduzida a cada iteração (abordagem *bottom-up*)
- ✓ Nem sempre um algoritmo guloso consegue resolver um problema de otimização

Eles são utilizados, mais comumente, em problema de planejamento, em códigos de Huffman, em grafos, entre outros. Os algoritmos gulosos mais famosos são os de *Kruskal*, *Prim* e *Dijkstra*; eles serviram para provar que nem sempre um algoritmo mais sofisticado se prova mais preciso; é possível combinar elegância e simplicidade quando se conhece bem o problema tratado.

---

<sup>9</sup> PARBERRY, I, 1995. Problems on Algorithms. 1ª edição. Editora Prentice Hall.

<sup>10</sup> ROCHA, A. e DORINI, L., 2004. Algoritmos Gulosos: Definições e Aplicações, Campinas: Unicamp.

## 8. SITUAÇÃO PROPOSTA – A INTERVENÇÃO

De forma a causar impacto real e significativo nos resultados da empresa, buscou-se melhorias que afetassem diretamente o recurso gargalo da produção. Antes de mais nada, fez-se necessário identificar o gargalo.

### 8.1 DEFINIÇÃO DO LOCAL DA INTERVENÇÃO

O Anexo 5 ilustra, com detalhes, o processo de produção de artefatos de borracha. Pode-se perceber que não está balanceada e que há grandes discrepâncias nas capacidades das etapas do processo.

Abaixo, a tabela de capacidade produtiva nominal das etapas descritas:

Posto	Un./h méd
Produção de Borracha	41380
Extrusão	43200
Corte Tiras	14400
Prensa	504
Rebarba Manual	1200
Corte Rebarba	900
Inspeção	1800

Tabela 1: Análise de capacidade no processo produtivo de artefatos de borracha - fonte: os autores

Em termos de definição do *mix* de produtos, há três etapas do processo que são executadas de forma distinta dependendo do produto: preparação química, prensa hidráulica e corte fino. No entanto, a distinção feita pela preparação química da borracha é muito pequena (há 4 tipos de compostos que atendem a todos os artefatos de borracha produzidos) e há estoques de segurança generosos entre essa etapa e a extrusão. Assim, o PCP da fábrica não dá atenção especial para a definição de sua matriz produtiva. O corte fino também executa seguindo diferenciações pequenas e ainda possui capacidade produtiva superior à da prensa.

Portanto, a etapa que será o “coração” do macro processo é a prensa hidráulica. A flexibilidade da produção e sua ordem se dão através do sequenciamento desta máquina em específico. Até lá (etapas: preparação química, extrusão e corte grosso), o processo é realizado de forma homogênea, as operações são realizadas de forma praticamente idêntica. Ou seja, a preparação da borracha, sua extrusão e o primeiro corte (grosso) são iguais para todos os modelos de produtos (com exceção da pequena variação na preparação química). Daí a necessidade de uma conexão direta PCP → Prensa. O esquema abaixo ilustra a situação:

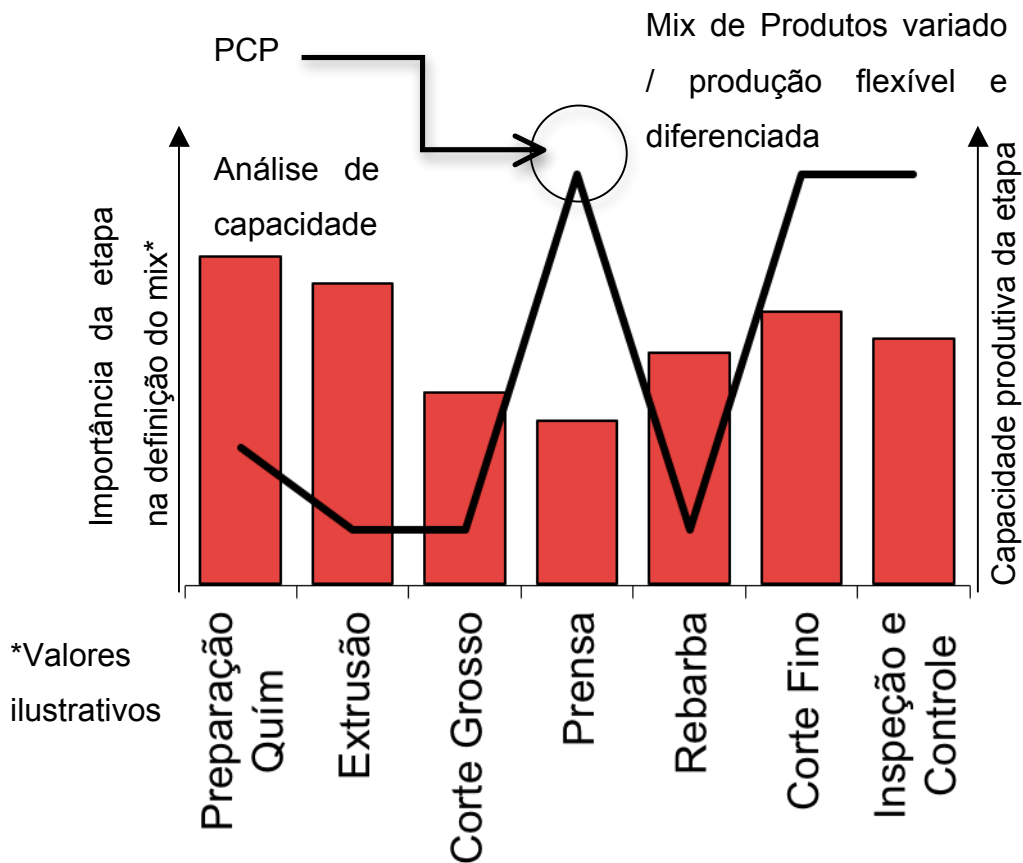


Figura 10: Diversidade de produtos e capacidade produtiva - fonte: os autores

## 8.2 ANÁLISE DE ESTOQUES

Ao percorrer a fábrica é possível verificar a grande quantidade de estoque de material em processo e de produto acabado. Alguns estoques intermediários de produtos que fazem parte do mix que está sendo produzido no período corrente ficam próximos à etapa seguinte do processo produtivo. Caso não façam parte do mix, são armazenados em um espaço ainda no próprio galpão de produção.

Em relação ao estoque de produtos já acabados, há um almoxarifado onde os produtos, após armazenados em pequenas caixas, são colocados em caixas maiores que contém apenas os mesmos produtos. Essa pequena caixa é a embalagem que será entregue ao cliente, enquanto a caixa maior é utilizada apenas para armazenagem e controle interno. A figura abaixo ilustra:



Figura 11: Caixas nos depósitos Fluidloc

Alguns motivos podem justificar a situação da empresa. Com base no referencial teórico apresentado acima e as características da Fluidloc, serão analisadas as principais causas.

O processo é iniciado com a preparação química da borracha a partir de alguns compostos e o “nego de fumo”. Essa mistura é feita em grandes quantidades e é um processo demorado. Isso faz com que seja necessário um estoque de matéria prima para que o processo não seja impedido de começar devido a falta de insumos. Caso haja atraso nessa etapa, todo o fluxo é prejudicado, elevando o custo do *stockout*.



Devido ao processo químico, essa etapa é realizada com grandes quantidades a fim de evitar grandes desperdícios no manuseio de pó, conforme descrito anteriormente como o custo da qualidade de partida. Isso acarreta uma grande quantidade de estoque em processo na próxima etapa, a extrusão.

A extrusão e o corte grosso são etapas rápidas e, ao receberem um estoque em processo elevado, repassam-o para a próxima fase. Isso se justifica devido à baixa capacidade produtiva da próxima etapa, a prensa hidráulica. Por isso, é necessário ter estoque de segurança em vista, novamente, do custo de *stockout*.



Figura 12: Estoque intermediário entre as etapas de corte grosso e prensa

Fonte: os autores

A partir da prensa, os produtos já são bem diferentes e, por isso, a fábrica trabalha com períodos de produção. Em determinados dias, serão trabalhados apenas determinados produtos para evitar desperdício de tempo com set-up. Isso ocorre na rebarba, corte fino e inspeção. Por isso, outros produtos que não estão sendo produzidos ficam estocados aguardando seus períodos de produção.

Agora, ao analisar o estoque de produtos acabados, é importante entender que a demanda da fábrica é toda composta por pedidos de diferentes clientes e cada um com especificações diferentes, como prazo, quantidade, número de modelos diferentes, entre outras. Uma prática muito comum é o envio de parte do pedido em um curto espaço de tempo após a solicitação das peças.

Desta forma, o PCP sinaliza que sejam produzidas mais peças do que o número total de pedidos, com o objetivo de manter um estoque final. Esse estoque é calculado através da média de venda dos últimos três meses desse modelo. Abaixo é possível analisar o almoxarifado da empresa:



Figura 13: O almoxarifado – Fonte: Os autores

### 8.3 A MÁQUINA

A prensa hidráulica de controle automático foi adquirida em 2010, substituindo uma prensa hidráulica de controle manual. Assim, a iniciativa agilizou o processo produtivo e aumentou sua precisão no cumprimento das especificações técnicas. No entanto, apresentou novos desafios que tornaram o aumento da eficiência do processo uma conquista complexa.



Figura 14: A prensa hidráulica

O ato de prensar se dá, basicamente, seguindo uma sequência de passos (uma vez que o set-up já foi feito):

- 1 – Posicionar peças de borracha nos machos da placa A
- 2 – Posicionar peças de borracha nos machos da placa B
- 3 – Fechar a prensa e esperar até que a máquina sinalize o fim da tarefa
- 4 – Retirar as peças moldadas da placa A
- 5 – Retirar as peças moldadas da placa B

Para que se possa entender profundamente a fabricação na prensa, é necessário segmentar o problema em várias partes menores:

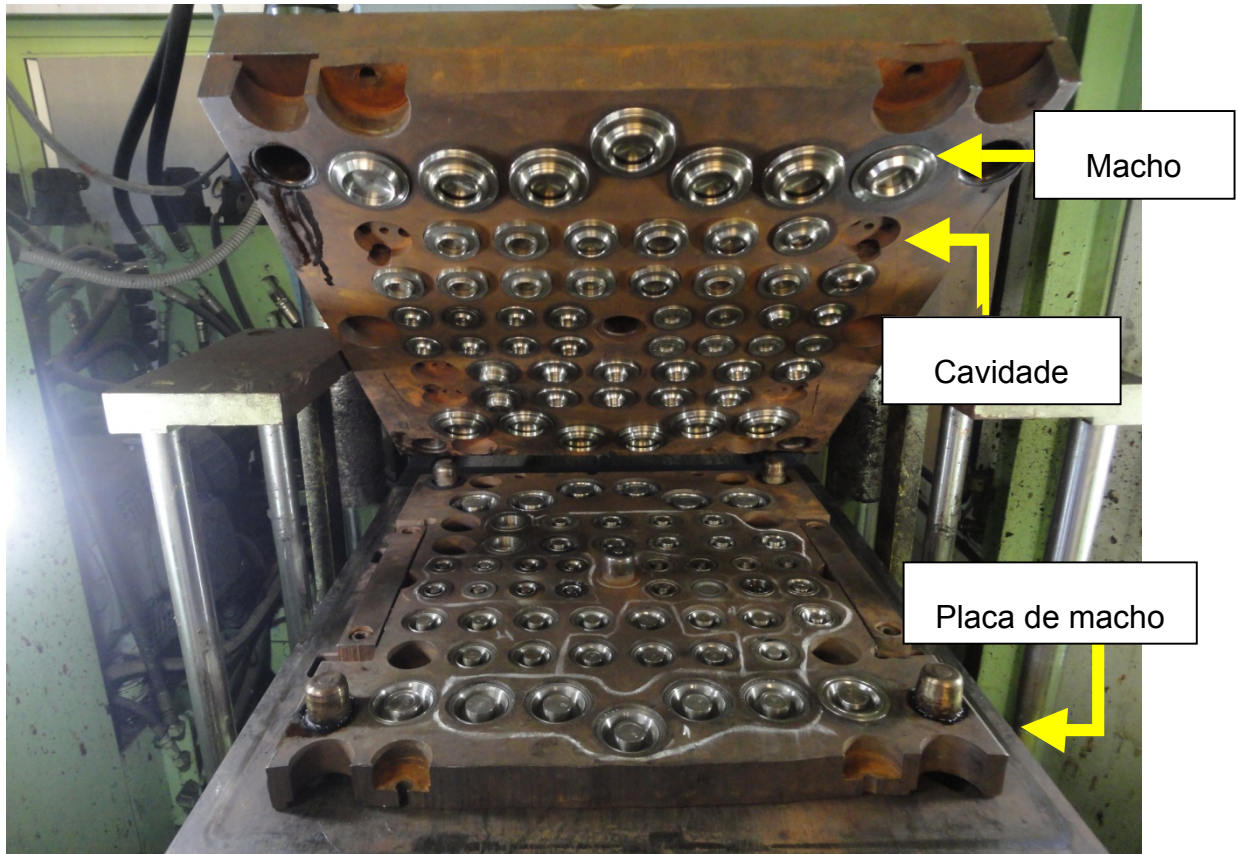


Figura 15: A prensa hidráulica - visão interna

- A. A máquina comporta duas placas de machos simultaneamente e existem seis dessas placas no total, na empresa.
- B. Cada placa de machos possui um número definido de cavidades que, por sua vez, possuem diâmetros específicos. Três das placas de machos possuem cavidades de mesmo diâmetro e as três restantes possuem cavidades com diâmetros diferentes e são chamadas de mistas.
- C. Cada placa de macho se difere da outra pelo número de cavidades e pelo diâmetro de suas cavidades, conforme tabela abaixo:

Placa	32	39	44	50	60	65
ID	mm	mm	mm	mm	mm	mm

1	55					
2	16	14	14	7	6	
3				14	10	9
4			34			
5		33				
6		22		12	9	

Tabela 2: Composição das cavidades nos seis modelos de molde - fonte: os autores

Percebe-se que há seis diâmetros diferentes e que os chamados mistos são os 2, 3 e 6. Além disso, pode-se notar que enquanto o molde 2 possui 57 cavidades, o 5 possui apenas 33, o que implica numa produção menor (produtos/prensada).

No entanto, a prensada de moldes menores – com menos cavidades – é mais rápida e portanto a vazão de produtos pode ser compensada. Dando continuidade com a explicação da máquina, temos:

- D. Cada cavidade em uma placa de machos é preenchida por um macho. Este macho define a peça que será produzida; há mais de 2000 tipos diferentes de gaxetas produzidas na Fluidloc
- E. Para que um macho encaixe em um molde, é necessário que apresente o mesmo diâmetro da cavidade na qual será encaixado.
- F. Há um número limitado de machos na empresa, conforme exemplo em tabela:

Cód. da Peça	Tipo da peça	Média Consumo Mês	Diâmetro Cavidade	Machos Disponíveis
3002343	Copo anel	2500	32 mm	25
3535	Copo cheio	2400	32 mm	15
4158	Copo cheio	2200	32 mm	12
33669	Copo cheio	2000	32 mm	56
43543	Copo cheio	1900	32 mm	36
3002224	Copo anel	1200	32 mm	15
3002573	Copo anel	1100	32 mm	7
3002293	Copo anel	17700	32 mm	57
3004223	Copo anel	1300	39 mm	41

81016	Copo anel	1200	39 mm	11
3004089	Copo anel	4600	39 mm	12
72000	Copo anel	3200	39 mm	23
2936	Copo cheio	3600	44 mm	17
666	Copo cheio	2400	44 mm	24
3002207	Copo anel	1800	44 mm	18
12360	Copo cheio	4400	50 mm	30
3001983	Copo anel	1000	50 mm	7
43680	Copo cheio	4600	60 mm	12
75265	Copo cheio	3200	60 mm	23
9520	Copo anel	1500	60 mm	9

74764	Copo cheio	5000	65 mm	22
1234	Copo Cheio	456	32 mm	900

Tabela 3: Exemplo de modelos de machos, com seus respectivos diâmetros - fonte: os autores

#### 8.4 O PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO NA PRENSA

Como a intervenção será realizada na área de PCP específico para a prensa hidráulica, é fundamental entender como ela funcionava originalmente. O processo abaixo ilustra como as ordens de produção eram enviadas no passado:

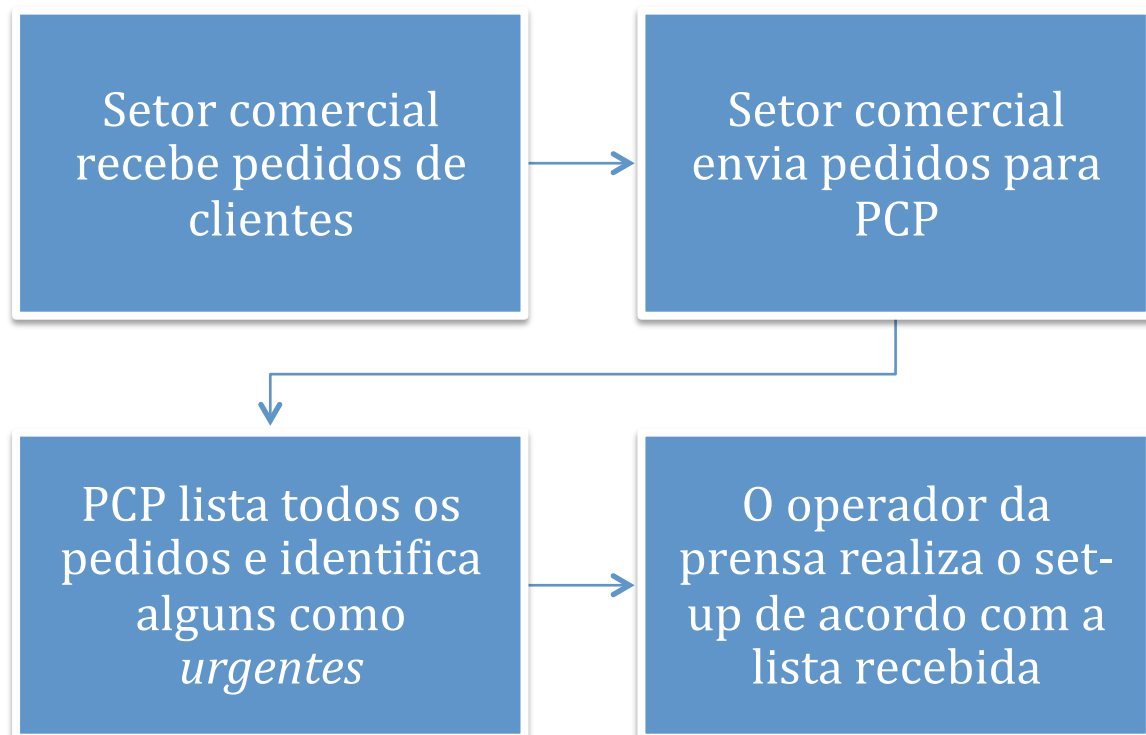


Figura 16: processo de programação da produção na prensa - fonte: os autores

Anteriormente, como pode ser identificado na imagem abaixo, o PCP enviava uma lista de sugestões com os modelos que deveriam ser produzidos e o



operador da prensa alocava as quantidades de acordo com sua experiência nas peças que mais saiam e facilidade na hora de preparar a placa.

DATA 09/12/11

**SUGESTÃO DE PRODUÇÃO  
PRIORIDADES**

CÓDIGO	QUANT.		Toma 76	Obs.: montar
	MIN.	MÁX.		
FC-42540		09	Alumina 36	02/01/12
300/2436		04	varões executor dessa mont.	
300/2236		01	e substituir p1	16/01 18/01-2558
300/3902		01		
300/2247		01		
300/5288		01	montar	
300/3116		03	300/4925 (cav?)	15/12 02/01/12
300/2558 ok				18/01/12 18/01
* Substituir a montagem	p1		moldes Fe-40901 e fazer da cav. 300/2236.	ok 02/01/12
* Substituir	p1		300/2288 ok	02/01/12
FC-12360 300/2692			hoje 01 lado	15/12/11
			fc-74769	
			fc-12360/1183	2021 15/12/11

Figura 17: Folha para comunicação PCP -Prensa, versão antiga

A partir dessa análise, nota-se a falta de planejamento da produção pós-corte grosso por parte do setor de PCP. Isso leva a empresa manter um estoque maior do que o necessário pois o PCP não consegue realizar previsão de término de produção. Outra consequência é aumentar os prazos de entrega por não ter domínio sobre o real período de tempo necessário para a produção dos pedidos.

Entretanto, esse planejamento não é uma situação simples. Trata-se de um problema complexo de matemática combinatória explosiva. As restrições, de acordo com a seção anterior são: tipo de placas, quantidade de placas,

diâmetro das cavidades, quantidade de cavidades, modelo de macho, quantidade de machos.

O sistema a ser elaborado deve tratar essas restrições e elaborar uma forma de dispor as placas na prensa de forma que seja possível produzir o necessário para atender os clientes a partir do resultado gerado pela solução. Com isso, o PCP passará a efetivamente planejar a produção da fábrica como um todo.

---

## 8.5O SISTEMA

Para executar uma intervenção que afete os resultados do macro processo de produção de artefatos de borracha na Fluidloc foi desenvolvida uma ferramenta para auxiliar o processo de sequenciamento das ordens de produção da prensa hidráulica por controle automático.

Inicialmente, o objetivo era fazer com que, através de uma lista de prioridades, fosse possível indicar para o operador da máquina de que forma o *set-up* da prensa deveria ser realizado.

Neste cenário, diagnosticou-se que a escolha das placas de macho que serão trabalhadas a cada dia e a escolha dos machos que serão utilizados em cada placa é estratégica e relaciona-se diretamente com a velocidade com que um pedido é atendido.

Os objetivos do sistema seriam, então, gerir o *set-up* da máquina diariamente, respeitando suas restrições e atendendo à demanda do PCP (e consequentemente, do setor comercial).

Partiu-se de algumas premissas para modelar o sistema:

- ✓ Todo o sistema será operado pelo analista de PCP
- ✓ O sistema terá interface amigável ao usuário
- ✓ Possibilidade de adicionar novos machos (modelos de gaxetas) ao longo do tempo à base
- ✓ Continuará sendo responsabilidade do PCP traduzir a demanda do setor comercial em uma lista de prioridades
- ✓ Relatório de comunicação com o operador da prensa padronizado

- ✓ Manutenção dos dados relativos à produção em uma base estruturada presente no sistema
- ✓ Deverá se trabalhar com um número definido como “multiplicador diário”: representa a quantidade de prensadas que se espera da máquina em um determinado turno

Assim, criou-se cinco entradas no menu principal:

- A. Novo pedido
- B. Situação
- C. Consultar relatório
- D. Exportar relatório
- E. Produção realizada

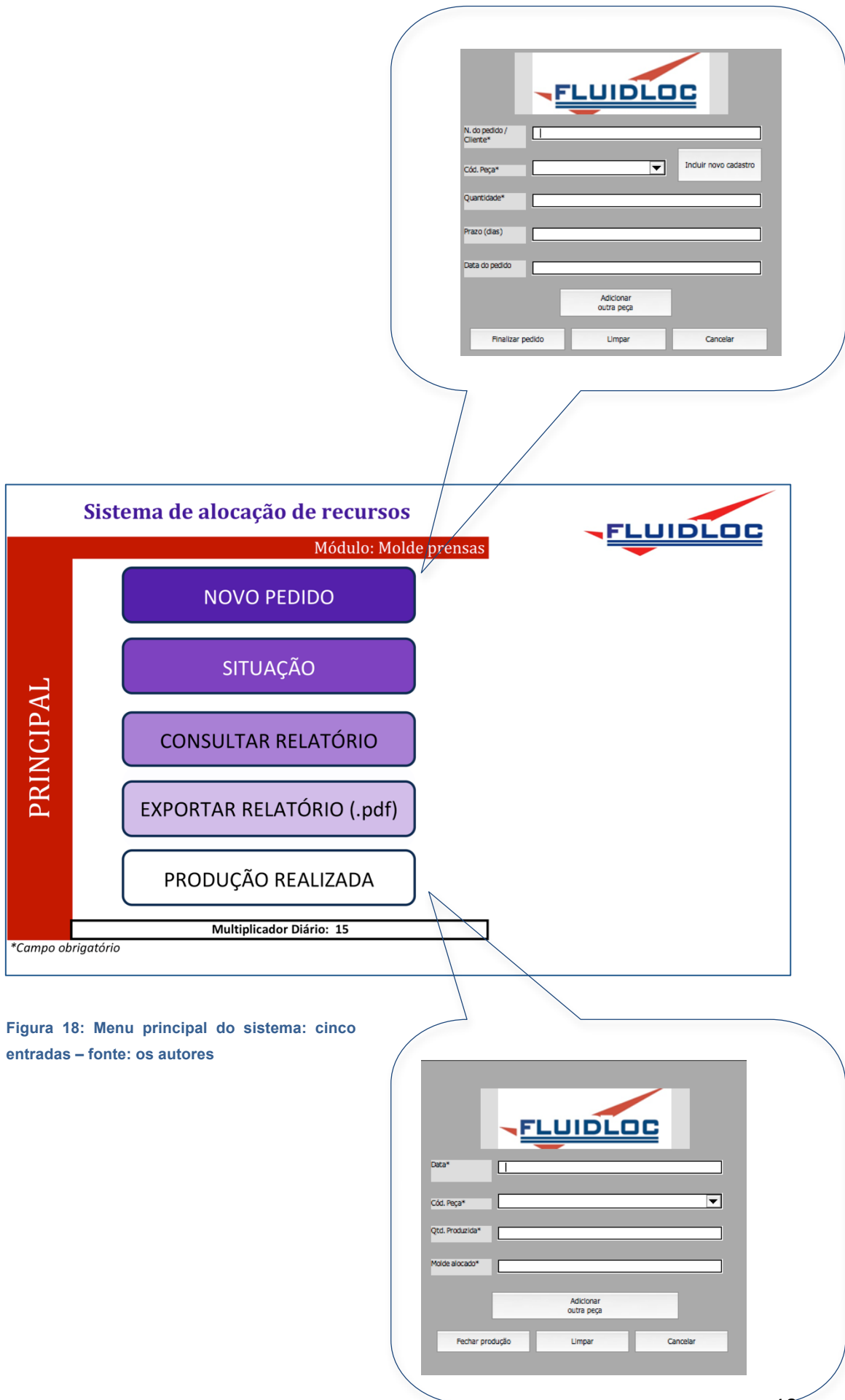


Figura 18: Menu principal do sistema: cinco entradas – fonte: os autores

## Novo pedido

A primeira entrada serve para incluir uma nova demanda do comercial. Os dados que o analista devem incluir são:

- ✓ Número do pedido
- ✓ Código da peça
- ✓ Quantidade de peças
- ✓ Prazo
- ✓ Data do pedido

A ideia aqui é conseguir dados de identificação (n. pedido, cód. da peça e qtd. de peças) e dados que auxiliem o analista de PCP a realizar a priorização (prazo e data do pedido).

Nesta etapa, foram criadas duas funcionalidades que surgiram de feedback do analista e que tem por objetivo facilitar e dinamizar a utilização do sistema:


- ❖ A inserção de uma peça ainda não cadastrada no sistema diretamente. Isso se daria sempre que, na listagem das peças existentes no cadastro, não fosse encontrada a peça a ser produzida. O nome do botão responsável por tal função é “Incluir novo cadastro”
- ❖ A segunda funcionalidade está relacionada aos vários pedidos que vêm do mesmo fornecedor (mesma demanda comercial). Todos eles têm fornecedor, data e prazo iguais, cabendo apenas ao código da peça e à quantidade diferenciá-los. Neste caso, basta que o analista aperte o botão “Adicionar nova peça” para que os dados de código e quantidade se apaguem, confirmando que a primeira inserção foi feita com sucesso.

Todos os pedidos incluídos aqui vão diretamente para a tela *coração* do sistema, chamada “Situação”.

## Situação

Neste tela, o analista irá operar o sistema e agregar valor através da priorização dos pedidos. A segunda entrada (*Situação*), leva diretamente para esta tela.

# SITUAÇÃO



# Prioridade

← →

Módulo: Molde prensas

? Critico

? Prazo

# Prioridade	Pedido	Cód. peça	Quantidade	N. do Pedido / Cliente	Data do pedido	Prazo	Critico	Prazo
1	1	3002341	15292	HBS	27/09/11	20 dias		
2	1	3002539	5764	HBS	27/09/11	20 dias		
3	1	33669	11459	HBS	27/09/11	20 dias		
4	1	3001979	8988	HBS	27/09/11	20 dias		
5	1	3002343	6000	HBS	27/09/11	20 dias		
6	2	3001979	3010	DEFREIOS	27/09/11	20 dias		
7	2	3004089	2370	DEFREIOS	27/09/11	20 dias		
8	2	3002293	6000	DEFREIOS	27/09/11	20 dias		
9	2	3002341	2500	DEFREIOS	27/09/11	20 dias		
10	2	72000	3000	DEFREIOS	27/09/11	20 dias		
11	2	43543	2300	DEFREIOS	27/09/11	20 dias		
12	2	33669	3160	DEFREIOS	27/09/11	20 dias		
13	2	1499	1000	DEFREIOS	27/09/11	20 dias		
14	2	12400	300	DEFREIOS	27/09/11	20 dias		
15								
16								
17								
18								
19								
20								

Excluir pedido

↑ Voltar

Figura 19: Tela situação

Nesta tela, através de setas, realiza-se mudanças na ordem dos pedidos – limitados a um total de 20.

São listadas justamente as informações inseridas através do “Novo pedido”, além de dois faróis criados para facilitar o processo de priorização. São eles:

- A. Crítico: o farol calcula a quantidade de dias restantes para o fim do prazo do pedido e compara com a quantidade de peças dividida por 1000; em outras palavras, o farol estará verde se houver tempo, a um ritmo de 1000 peças por dia, de entregar o pedido no prazo.
- B. Prazo: o farol divide o prazo do pedido em 3: enquanto estiver nos primeiros 40% do prazo do pedido, o farol estará verde; nos 30% seguintes, amarelo; por fim, nos últimos 30% do prazo do pedido ou em caso de pedido atrasado, terá cor vermelha.

Além disso, a tela indica quais itens fazem parte de um mesmo pedido (coluna “Pedido”). Frequentemente, um mesmo cliente pede diversos itens – nesses casos, é importante para o analista de PCP entender quais itens estão agrupados para um mesmo pedido. Assim, ele pode manualmente permutá-los, buscando formas de fazer com que o pedido, como um todo, seja entregue de forma mais rápida.

Por fim, é possível excluir um pedido através de um botão.

### **Consultar e exportar relatório**

Os relatórios são os responsáveis por enviar as ordens de produção para o chão de fábrica. Todos os dias, o analista de PCP deverá exportar relatórios de produção diretamente do sistema – primeiramente gerando arquivos em formato *.pdf* e, em seguida, imprimindo o arquivo.

Os relatórios em *.pdf* deverão ser salvos de forma que possa haver um controle de todas as ordens de produção expedidas.

Nota-se que os relatórios apresentam ordens de produção identificando:

- ✓ As placas de macho (molde) que devem ser colocadas em produção

- ✓ Como cada placa de macho deve ser montada – que machos deverão ser colocados nas suas cavidades
- ✓ A produção esperada, levando em conta o multiplicador diário
- ✓ Um local para que o operador anote a produção realizada na prática

No caso abaixo, as placas de macho são as de número 2 e 1, sendo a número 2 montada com 13 cavidades com o macho 3002341, 16 cavidades com o macho 3002539 e 1 cavidade com o macho 72000.



## Sistema de alocação de recursos

Caso a produção tenha sido com moldes diferentes, favor especificar no verso do relatório.



Módulo: Molde prensas					
ID	Molde: 2				
	Peça	Diâmetro	Cavidades	Produção Esperada	Produção Realizada
1	3002341	39 mm	13,0	195,0	
2	3002539	32 mm	16,0	240,0	
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10	72000	39 mm	1,0	15,0	
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					

ID	Molde: 1				
	Peça	Diâmetro	Cavidades	Produção Esperada	Produção Realizada
1					
2	3002539	32 mm	15,0	225,0	
3	33669	32 mm	40,0	600,0	
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					

RELATÓRIO

Figura 20: Relatório para produção

Dessa forma, espera-se que o tempo necessário para se pensar no set-up da máquina deixe de existir e o operador possa concentrar-se em efetivamente executá-lo.

## 8.6 O ALGORITMO

Por trás da elaboração do relatório encontra-se um algoritmo guloso que baseia-se em concentrar toda a “força” produtiva de forma a atender da forma mais rápida possível o pedido tido como prioridade #1. Ele conta com duas definições locais separadas: a de qual será a primeira placa de machos e qual será a segunda, além da forma como cada uma será montada.

O algoritmo heurístico leva em conta, para definição da primeira placa de machos (molde), aquela que possui o maior número de cavidades com o mesmo diâmetro da peça prioritária. Levando em conta as restrições do número de machos disponíveis na fábrica, determina assim quantas cavidades serão preenchidas nesta placa com este macho. Dado que este macho ocupa um número  $x$  de cavidades, o algoritmo passa a enxergar a peça prioridade #2 da lista, se perguntando se na placa de machos escolhida há cavidades sobrando com o mesmo diâmetro da peça em questão. Dado que sim, aloca os machos nestas cavidades e segue em diante na lista de prioridades, até esgotar a lista de 20 componentes ou terminar com as cavidades da placa de machos.

A alocação da segunda placa de moldes se dá de forma similar, porém levando em conta apenas as 5 opções de placas de molde restantes e sabendo que nem todos os machos da fábrica estarão disponíveis para essa alocação dado que alguns deles estão alocados na outra placa de machos.

As figuras abaixo ilustram as telas do algoritmo:

Cód	Demanda / diâmetro I	Restrições: Moldes/Peças						Molde alocado	Produção						Peça
		1	2	3	4	5	6		39 mm	44 mm	50 mm	60 mm	65 mm		
3002341	39 mm	13292	0	195	0	0	195	2	39 mm	0	0	0	0	0	3002341
3002539	32 mm	5764	465	240	0	0	0		32 mm	240	0	0	0	0	3002539
33669	32 mm	11459	825	240	0	0	0		32 mm	0	0	0	0	0	33669
3001979	32 mm	8988	450	240	0	0	0		32 mm	0	0	0	0	0	3001979
3002343	32 mm	6000	375	240	0	0	0		32 mm	0	0	0	0	0	3002343
3001979	32 mm	3010	450	240	0	0	0		32 mm	0	0	0	0	0	3001979
3004089	39 mm	2370	0	180	0	0	180		39 mm	0	0	0	0	0	3004089
3002293	32 mm	6000	825	240	0	0	0		32 mm	0	0	0	0	0	3002293
3002341	39 mm	2500	0	195	0	0	195		39 mm	0	0	0	0	0	3002341
72000	39 mm	3000	0	210	0	0	345		39 mm	0	15	0	0	0	72000
43543	32 mm	2300	540	240	0	0	0		32 mm	0	0	0	0	0	43543
33669	32 mm	3160	825	240	0	0	0		32 mm	0	0	0	0	0	33669
1499	39 mm	1000	0	210	0	0	495		39 mm	0	0	0	0	0	1499
12400	32 mm	300	465	240	0	0	0		32 mm	0	0	0	0	0	12400

Cód	Demanda / diâmetro I	Restrições: Moldes/Peças						Molde alocado	Produção						Peça
		1	2	3	4	5	6		39 mm	44 mm	50 mm	60 mm	65 mm		
3002341	39 mm	15097	0	0	0	0	0	1	39 mm	0	0	0	0	0	3002341
3002539	32 mm	5524	225	0	0	0	0		32 mm	225	0	0	0	0	3002539
33669	32 mm	11459	825	0	0	0	0		32 mm	600	0	0	0	0	33669
3001979	32 mm	8988	450	0	0	0	0		32 mm	0	0	0	0	0	3001979
3002343	32 mm	6000	375	0	0	0	0		32 mm	0	0	0	0	0	3002343
3001979	32 mm	3010	450	0	0	0	0		32 mm	0	0	0	0	0	3001979
3004089	39 mm	2370	0	0	0	0	180		39 mm	0	0	0	0	0	3004089
3002293	32 mm	6000	825	0	0	0	0		32 mm	0	0	0	0	0	3002293
3002341	39 mm	2500	0	0	0	0	195		39 mm	0	0	0	0	0	3002341
72000	39 mm	2985	0	0	0	0	330		39 mm	0	0	0	0	0	72000
43543	32 mm	2300	540	0	0	0	0		32 mm	0	0	0	0	0	43543
33669	32 mm	3160	825	0	0	0	0		32 mm	0	0	0	0	0	33669
1499	39 mm	1000	0	0	0	0	495		39 mm	0	0	0	0	0	1499
12400	32 mm	300	465	0	0	0	0		32 mm	0	0	0	0	0	12400

Figura 21: Telas do algoritmo guloso - fonte: os autores

## 8.7 UM EXEMPLO

Para ilustrar o sistema, um exemplo foi desenvolvido. Todas as figuras são telas do sistema desenvolvido pelos autores.

- A. Inicialmente, diversos pedidos foram inseridos no sistema. Abaixo, um exemplo de um pedido inserido.



Figura 22: Telas de novos pedidos - exemplo

Após adicionar as informações, o pedido é finalizado e os dados desse pedido vão para a tela “Situação”, em último lugar na fila.

B. Em seguida, os pedidos são ordenados através de setas. Repare que o pedido inserido sai da última posição e sobe para a primeira, através apenas das setas no canto superior esquerdo.

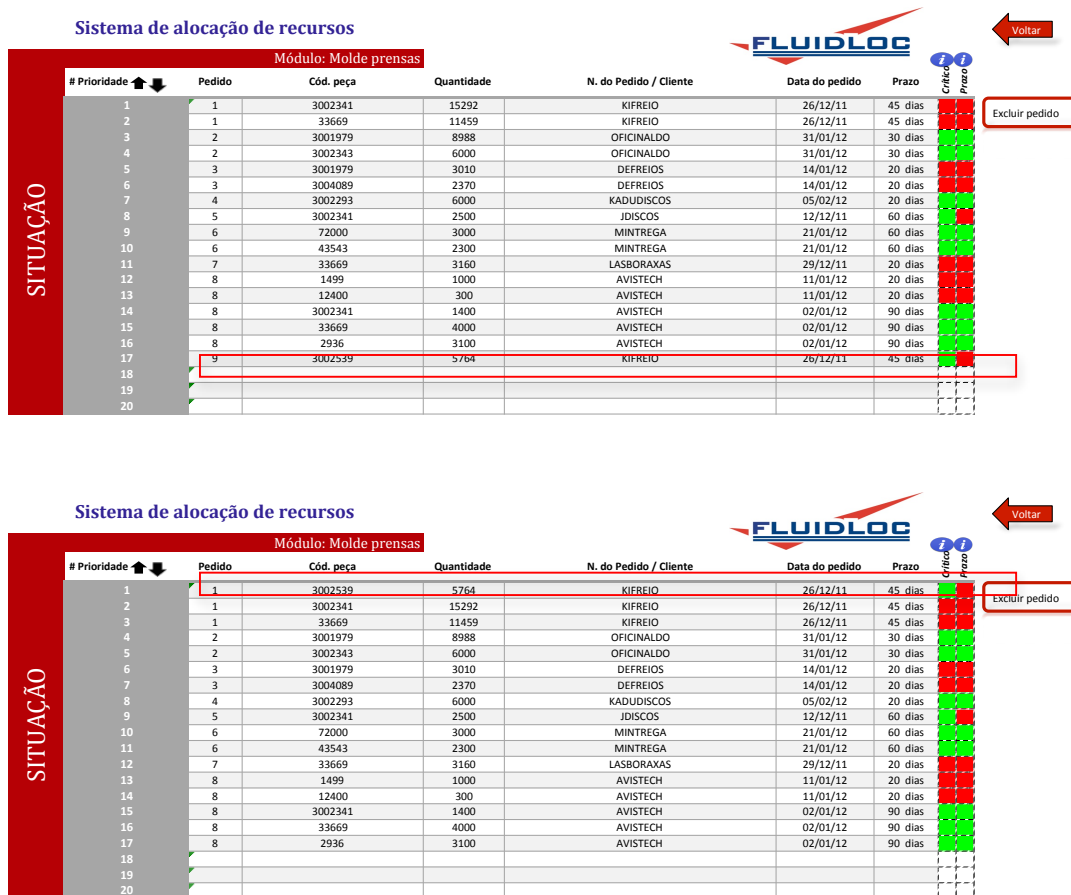


Figura 23: Tela situação - exemplo

Caso algum pedido deva ser excluído, basta selecioná-lo e clicar o botão “Excluir pedido” no canto superior direito.

Os faróis ajudam a realizar a ordenação e são explicados através de caixas de texto que aparecem ao se clicar nos ícones azuis ao lado de cada coluna de farol.

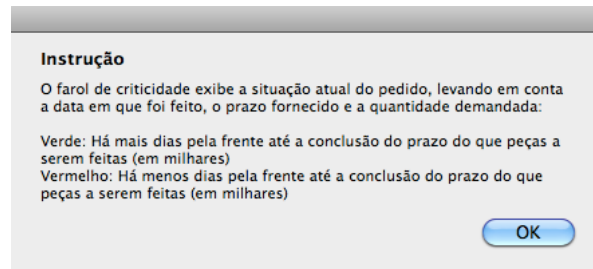


Figura 24: Instrução de farol de criticidade

- C. Uma vez ordenadas, os pedidos servem de insumos para o algoritmo trabalhar. Será feito o passo a passo ilustrando o “pensamento” e as perguntas que o algoritmo se faz, com o intuito de formar um set-up ótimo:
- O algoritmo trata primeiro da primeira placa de machos para, em seguida, tratar da segunda.
  - Primeiro, o algoritmo lista o diâmetro das peças de todos os pedidos.
  - O algoritmo cria, então, uma matriz de restrições: nesta matriz, identifica-se como cada placa de machos responderia a cada demanda de peça. As duas restrições possíveis são relacionadas a o número de cavidades com o diâmetro da peça que a placa de machos possui ou a quantidade de machos daquela peça existentes na fábrica.

Neste caso, o primeiro pedido é da peça 3002539. Há 31 machos disponíveis, o que gera um total de 465 peças passíveis de serem produzidas em um dia (número de machos x multiplicador diário, que no exemplo é 15 devido a média do número de prensadas que a máquina realiza por dia). Logo, a primeira restrição é 465.

A segunda restrição neste caso será diferente para cada placa de machos: está relacionada a quantas peças poderiam ser produzidas em cada placa de machos com o diâmetro da peça pedida. Neste caso, a 3002539 tem 32mm. A tabela abaixo ilustra que machos possuem cavidades com este diâmetro e quantas:

Molde	32 mm	39 mm	44 mm	50 mm	60 mm	65 mm
1	55					
2	16	14	14	7	6	
3				14	10	9
4			34			
5		33				
6		22		12	9	

Tabela 2 - Restrições de machos para moldes

Pode-se perceber que apenas os moldes 1 e 2 possuem cavidades compatíveis com o diâmetro da peça. Da mesma forma que se calcula a capacidade diária na primeira restrição, aqui também busca-se enxergá-la através do multiplicador diário. Assim, a placa 1 possui ( $55 \times 15 = 825$ ) como restrição e a placa 2 possui ( $16 \times 15 = 240$ ).

O algoritmo seleciona então as menores restrições para todos os moldes. Logo, a primeira linha da matriz de restrições será:

$$[465 \quad 240 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

A figura abaixo ilustra a explicação:

Cód	Demanda / diâmetro l	Qtd	Restrições: Moldes/Peças						Molde alocado	Produção						Peça
			1	2	3	4	5	6		Diâmetro	32 mm	39 mm	44 mm	50 mm	60 mm	
3002539	32 mm	5764	465	240	0	0	0	195	32 mm	465						3002539
3002341	39 mm	15292	0	195	0	0	0	195	39 mm	0	360					3002341
33669	32 mm	13459	825	240	0	0	0	0	32 mm	0	0					33669
3001979	32 mm	8988	450	240	0	0	0	0	32 mm	0	0					3001979
3002343	32 mm	6000	375	240	0	0	0	0	32 mm	0	0					3002343
3001979	32 mm	3010	450	240	0	0	0	0	32 mm	0	0					3001979
3000088	39 mm	2370	0	180	0	0	0	180	39 mm	0	0					3000088
3002292	32 mm	6000	825	240	0	0	0	0	32 mm	0	0					3002292
3002341	39 mm	2500	0	195	0	0	195	195	39 mm	0	0					3002341
72000	39 mm	3000	0	210	0	0	345	330	39 mm	0	0					72000
48543	32 mm	2300	540	240	0	0	0	0	32 mm	0	0					48543
33669	32 mm	1160	825	240	0	0	0	0	32 mm	0	0					33669
1499	39 mm	1000	0	210	0	0	0	495	39 mm	0	0					1499
12400	32 mm	300	465	240	0	0	0	0	32 mm	0	0					12400
3002341	39 mm	1400	0	195	0	0	195	195	39 mm	0	0					3002341
33669	32 mm	4000	825	240	0	0	0	0	32 mm	0	0					33669
2936	44 mm	3100	0	210	0	0	255	0	44 mm	0	0					2936

Demandas

Definição da placa

Definição das peças (qtd.) que serão produzidas na placa

Figura 25: Algoritmo definindo a alocação de placa 1 - exemplo

d. Apenas com esta definição, o algoritmo já seleciona a placa de machos 1 como a definida para o set-up. Ela é aquela que melhor



responde à demanda número 1 do PCP. Esta definição aparece de forma chamativa na tela acima.

- e. A partir daí, o algoritmo realiza o mesmo procedimento para as demais demandas, porém já levando em conta a placa escolhida. É fundamental ter em mente que as restrições já passam a ser diferentes, pois parte da capacidade da placa para este diâmetro (32mm) já está comprometida e também os machos disponíveis desta peça já estão todos alocados para responder o primeiro pedido.

O segundo pedido é da peça 3002341, cujo diâmetro é de 39mm. Na mesma tabela acima é visível que o molde 1 não possui nenhuma cavidade com este diâmetro. Logo, o algoritmo segue adiante na lista.

O terceiro pedido é da peça 33669, cujo diâmetro é de 32mm. Esta peça possui 56 machos, que permitem uma produção de 840 peças diárias. Porém, essa capacidade não será explorada totalmente, pois das 55 cavidades de 32mm da placa 1, 31 já estão alocadas. Sobram 24, que representam uma capacidade de 360 peças diárias.

Assim, todas as cavidades da placa 1 já estão alocadas nos pedidos 1 e 3. Todos os pedidos em diante estarão zerados por uma questão de restrição da placa (0). A figura acima ilustra a conclusão da primeira alocação na parte direita da tela.

- D. De forma análoga, a segunda placa será alocada. No entanto, esta segunda alocação possui uma restrição óbvia: agora há apenas 5 placas disponíveis!

Cod	Demanda / diâmetro I	Restrições: Moldes/Pecas						Molde alocado	Produção						Peca			
		1	2	3	4	5	6		Diâmetro	32 mm	39 mm	44 mm	50 mm	60 mm		65 mm		
3002539	32 mm	0	0	0	0	0	0	2	32 mm	0							3002539	
3002341	39 mm	195	0	0	0	195	195		39 mm	195								3002341
33669	32 mm	240	0	0	0	0	0		32 mm	240								33669
3001979	32 mm	240	0	0	0	0	0		32 mm									3001979
3002343	32 mm	6000	0	0	0	0	0		32 mm									3002343
3001979	32 mm	3010	0	0	0	0	0		32 mm									3001979
3004089	39 mm	2370	0	180	0	0	180		39 mm	0								3004089
3002292	32 mm	6000	0	240	0	0	0		32 mm	240								3002292
3002341	39 mm	2500	0	195	0	0	195		39 mm	195								3002341
72800	39 mm	3000	0	210	0	0	210		39 mm	15								72800
43543	32 mm	2300	0	240	0	0	0		32 mm									43543
33669	32 mm	3160	0	240	0	0	0		32 mm									33669
1499	39 mm	1000	0	210	0	0	0		39 mm									1499
12400	32 mm	300	0	240	0	0	0		32 mm									12400
3002341	39 mm	1400	0	195	0	0	195		39 mm	0								3002341
33669	32 mm	4000	0	240	0	0	0		32 mm									33669
2936	44 mm	3100	0	210	0	255	0	44 mm	210								2936	
			0															
			0															
			0															
			0															
			0															
			0															
			0															
			0															
			0															

Figura 26: Algoritmo definindo a alocação da placa 2 - exemplo

E. Tendo alocado as duas placas, o algoritmo alimenta uma tela chamada “Relatório”. O botão da tela inicial “Consultar relatório” e “Exportar relatório” estão direcionados a esta tela. No exemplo, o relatório gerado teria este aspecto:

## Sistema de alocação de recursos

*Caso a produção tenha sido com moldes diferentes, favor especificar no verso do relatório.*



RELATÓRIO

Módulo: Molde prensas					
ID	Molde: 1				
	Peça	Diâmetro	Cavidades	Produção Esperada	Produção Realizada
1	3002539	32 mm	31,0	465,0	
2					
3	33669	32 mm	24,0	360,0	
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					

ID	Molde: 2				
	Peça	Diâmetro	Cavidades	Produção Esperada	Produção Realizada
1					
2	3002341	39 mm	13,0	195,0	
3	33669	32 mm	16,0	240,0	
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10	72000	39 mm	1,0	15,0	
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17	2936	44 mm	14	210,0	
18					
19					
20					

Figura 27: Relatório - exemplo

## 9. AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS

Os impactos sentidos na fábrica foram perceptíveis. Dentre aspectos positivos e negativos, pode-se citar o benefício de retirar da operação a tarefa de determinar que placas de macho e que machos deveriam ser colocados em produção, reduzindo a produção de peças sem demanda iminente.

A partir do sistema, o PCP envia a quantidade exata de peças que devem ser produzidas por prensada e o relatório gerado passa a ser documento oficial da fábrica. O planejamento envia a folha com a especificação de como preparar a placa e o operador deve indicar se conseguiu reproduzir o que estava descrito ou se teve de fazer alguma alteração, em caso de não encontrar o macho correto. A figura a seguir representa o documento rubricado:

**Sistema de alocação de recursos 26/01/12**  
Caso a produção tenha sido com moldes diferentes, favor especificar no verso do relatório.

**Molde: Molde prensas**

Molde: 2 <i>mentar</i>					
ID	Peça	Diâmetro	Cavidades	Produção Esperada	Produção Realizada
1	3002160	32 mm	5,0	75,0	05
2	18188	32 mm	2,0		01
3	33411	32 mm	2,0	30,0	03
4	3001979	32 mm	9,0		08
5	43667	39 mm	2,0	30,0	02
6	3004089	39 mm	8,0		08
7	43598	39 mm	4,0		03
8	3004074	44 mm	7,0	105,0	09
9	3004412	44 mm	2		03
10	3004040	44 mm	1,0		01
11	2936	44 mm	4		
12	3003174	50 mm	1		01
13	3001900	50 mm	1		01
14	3002127	50 mm	5	75,0	05
15	3002093	60 mm	6	90,0	06
16					
17					
18					
19					
20					

Molde: 1 <i>OK, trabalho 26/01</i>					
ID	Peça	Diâmetro	Cavidades	Produção Esperada	Produção Realizada
1	12400	32 mm	19,0	285,0	
2	43543	32 mm	24,0	360,0	
3	87042	32 mm	9,0	135,0	
4	3001970	32 mm	2,0	30,0	
5	3001971	32 mm	2,0	30,0	
6	3002224	32 mm	15,0	225,0	
7	3004895	32 mm	2,0		
8	3023	32 mm	2,0		
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					

*Substituir p/ molde OR conf. montagem acima 31/01 dt*  
*01/02/12*  
*[Assinatura]*

Figura 28: Folha para comunicação PCP - operação, versão atual

Dessa forma, o PCP passou a ter um papel proativo, trazendo aderência entre as necessidades comerciais da empresa e a execução na sua cadeia produtiva. Com o sistema, tornou-se possível calcular projeções consistentes de tempo de entrega, permitindo uma melhor comunicação entre a produção e o comercial.

De acordo com a responsável pelo PCP, ao analisar dois pedidos semelhantes (quantidade e modelos), foi possível perceber que houve grande redução no tempo de entrega, passando de 3 meses para um mês e meio. Isso se torna possível devido ao melhor entendimento do PCP sobre o quadro geral de pedidos e a produção em andamento, à facilidade de previsão dos modelos que serão produzidos e à redução do prazo de segurança que era adicionado ao tempo de entrega para evitar possíveis atrasos.

O mix de produtos está sendo produzido de forma mais consciente além de ser entregue mais rapidamente. Esse reflexo pode levar ainda a uma redução de estoques, já que os produtos acabados constam na lista de pedidos de clientes.

Destaca-se também a flexibilidade da ferramenta em Excel: a plataforma roda em basicamente qualquer máquina e tem manutenção simples. Os recursos são, também, bastante acessíveis. De uma forma geral, o sistema apresenta soluções utilizáveis a baixo custo.

Como ponto negativo, a ferramenta é pouco robusta: o mau uso da planilha pode gerar defeitos facilmente.

Além disso, nem todas as restrições foram levadas em conta na hora do desenvolvimento da ferramenta. É possível, por exemplo, que a ordem de produção para a prensa não seja executada pois uma placa de molde está em manutenção; nestes casos, o PCP fica descoberto e necessita tomar a decisão de como executar o set-up por conta própria.

Há também uma falha quando o cliente realiza um pedido com mais de um modelo. O comum, quando isso ocorre, é a entrega de parte da quantidade solicitada em um primeiro momento, incluindo todos os modelos solicitados. Entretanto, na solução adotada, não é possível alocar mais de um modelo com

a mesma prioridade. Portanto, caso possível, o sistema produzirá, primeiramente, todas as peças com prioridade #1 para depois produzir as peças com prioridade #2.

Por fim, foi verificado que a empresa continua com objetivo de manter como nível de estoque a média de pedidos dos três últimos meses de cada modelo, prática que ilustra a dificuldade, anterior a implementação, da produção responder rapidamente às solicitações do setor comercial. Espera-se que o nível desse estoque de segurança seja reduzido ao longo do tempo, ao perceber que esse tamanho não é mais necessário.

## 10. SÍNTESE E CONCLUSÃO

Ao analisar a solução implementada em funcionamento, observou-se um maior controle por parte do setor de PCP na produção realizada pela prensa, gerando um maior foco na produção e, por fim, uma redução no tempo de entrega de pedidos.

A partir desse resultado pode-se afirmar que os objetivos traçados inicialmente pelo grupo foram atingidos, de forma que o projeto trouxe benefícios que efetivamente geraram resultados para a FLUIDLOC na produção de artefatos de borracha.

O problema complexo de matemática combinatória foi resolvido utilizando um sistema de programação heurístico utilizando algoritmo guloso. Apesar de não ser a solução ótima, cumpre os objetivos de gerar um resultado que pode ser aplicado na produção e de ser uma solução barata, com rápida implementação e que utiliza informações já existentes no setor de PCP.

Espera-se que a empresa possa, a partir de agora, responder de forma mais rápida e precisa aos pedidos que chegam, mantendo um controle sólido de seus processos comerciais e integrando os três setores harmoniosamente. Um novo planejamento da capacidade dos departamentos e uma gestão da mudança estruturada seriam próximos passos que contribuiriam para finalizar com a ideia inculcada aqui.

É necessário, ainda, uma reformulação da gestão de estoques da empresa pois ela está defasada em relação ao tempo de resposta da produção ao comercial. Anteriormente, esse tempo era mais demorado, o que necessitava de um determinado nível de estoque. Após a implementação do sistema, com a redução desse tempo, é possível reduzir o nível de estoque.

*Deixamos, como mensagem final, a ideia de que trabalho acadêmico nunca deve estar desvinculado de resultados práticos na Escola Politécnica. Formar alunos que busquem, sempre, enxergar o fruto de seus esforços e a forma como agregaram valor ao colocar em prática o que estudaram é o caminho para um corpo discente motivado, engajado e preparado para o mundo profissional.*

*A satisfação e o bem-estar consequentes do sentimento de utilidade e da realização de que somos todos agentes de câmbio são os combustíveis para nos levantarmos cedo sempre.*



## 11. BIBLIOGRAFIA

- BLACKSTONE, J.H., 2001. ***Theory of Constraints - A Status Report***. International Journal of Production Research.
- CORBETT, T., 2005. ***Bússula Financeira: O processo decisório da Teoria das Restrições***. São Paulo: Editora Nobel
- CORREA, H. e CORREA, C., 2011. ***Administração de produção e de operações: manufatura e serviços: uma abordagem estratégica***. 1ª edição – 4ª reimpressão. São Paulo: Editora Atlas
- GAITHER, N. e FRAZIER, G, 2005. ***Administração da produção e operações***. 1ª edição – 3ª reimpressão. São Paulo: Editora Pioneira Thomson Learning.
- GOLDRATT, Eliyahu M e COX, Jeff, 2003. ***A Meta***. 2ª edição. São Paulo: Editora Nobel
- GOLDRATT, Eliyahu M, 1990. ***What is this Thing Called Theory of Constraints***.
- PARBERRY, I, 1995. ***Problems on Algorithms***. 1ª edição. Editora Prentice Hall.
- ROCHA, A. e DORINI, L., 2004. ***Algoritmos Gulosos: Definições e Aplicações***, Campinas: Unicamp.
- SOUZA, F. B., 2005. ***Do OPT à Teoria das Restrições: mitos e avanços***. Revista Produção, São Paulo: maio/ago 2005
- STEENKAMP, J. G., 1995. ***The theory of constraints: its usefulness and applicability***. Master of Business Administration. University of the Witwatersrand, Johannesburg

### Sites consultados:

- SITE FLUIDLOC: [www.fluidloc.com.br](http://www.fluidloc.com.br) (acessado entre 01/11/2011 e 01/02/2012)

## 12.ANEXOS

### ANEXO 1 – INFORMAÇÕES GERAIS

Razão Social: FLUIDLOC S/A IND. & COM.

Endereço: Praça Sargento Fábio Pavani, 84  
Pavuna, Rio de Janeiro, RJ.

CEP: 21525-680.

Telefone: 2474 - 1580

Fax: 2474 - 4121

Website: [www.fluidloc.com.br](http://www.fluidloc.com.br)

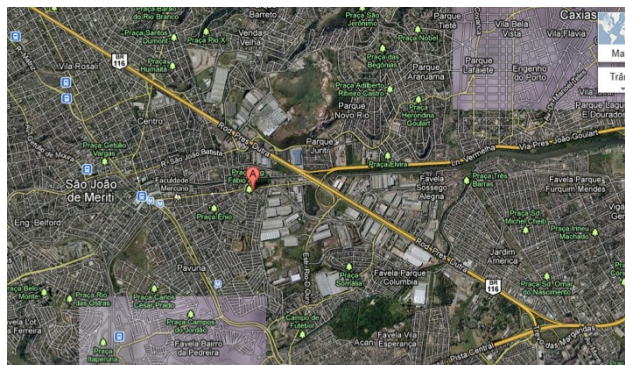


Figura 29: Fluidloc, próxima a Rod. Presidente Dutra. Fonte - Google Maps

Número total de empregados: 112 (cento e doze) empregados – Novembro de 2011.

Número de Turnos: 3 – Noturno, Diurno e Sábado. São nove funcionários trabalhando a noite e 103 funcionários trabalhando de dia. Além disso, três funcionários, por trabalharem em ambiente insalubre e estarem expostos a resíduos químicos, são legalmente limitados a trabalhar no máximo seis horas e meia por dia, tendo que trabalhar também aos sábados.

## ANEXO 2 – HISTÓRICO FLUIDLOC

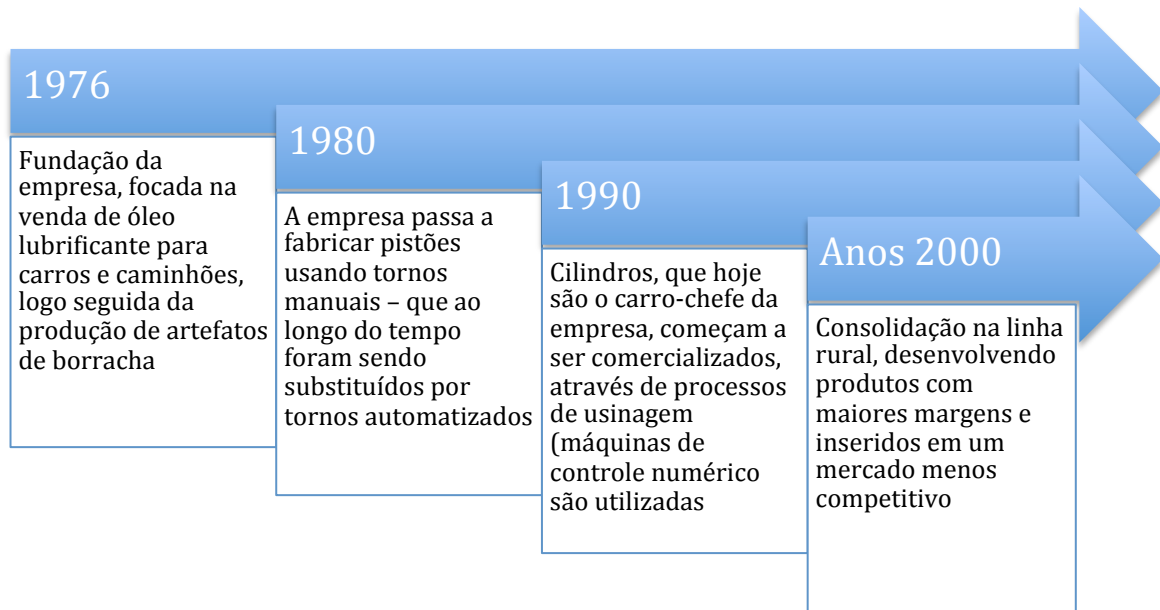


Figura 30: Histórico - fonte: os autores

ANEXO 3 – PRODUTOS FLUIDLOC, CLASSIFICAÇÃO ABC

Classe	Produção Mensal Média	Código	Volume Acumulado (%)
Classe A	41437,9	3002293	11,61%
Classe A	28272,0	3002343	19,53%
Classe A	15024,2	43667	23,74%
Classe A	11726,3	3002288	27,03%
Classe A	11625,0	43680	30,28%
Classe B	11608,6	43597	33,54%
Classe B	11488,4	3002974	36,76%
Classe B	11164,8	3004221	39,88%
Classe B	9720,8	74764	42,61%
Classe B	8452,1	2936	44,98%
Classe B	8221,7	33669	47,28%
Classe B	7091,7	4600	49,27%
Classe B	6904,2	3001979	51,20%
Classe B	6772,9	1499	53,10%
Classe B	6202,1	12360	54,84%
Classe B	5983,7	40565	56,51%

Classe B	5729,2	43543	58,12%
Classe B	5595,8	75265	59,69%
Classe B	5137,9	3002224	61,13%
Classe B	4950,0	68180	62,51%
Classe B	4460,4	12400	63,76%
Classe B	3783,3	74773	64,82%
Classe B	3455,4	1219	65,79%
Classe B	3420,8	87042	66,75%
Classe B	2966,3	3023	67,58%
Classe B	2700,0	3535	68,34%
Classe B	2641,3	666	69,08%
Classe B	2589,6	2937	69,80%
Classe B	1891,7	68181	70,33%
Classe B	1829,2	3004089	70,85%
Classe B	1762,5	3002038	71,34%
Classe B	1707,1	4158	71,82%
Classe B	1666,8	3002521	72,28%
Classe B	1502,5	3002207	72,71%
Classe B	1470,8	3002705	73,12%

Classe B	1373,8	3003614	73,50%
Classe B	1339,6	16930	73,88%
Classe B	1333,8	3002026	74,25%
Classe B	1329,6	3002589	74,62%
Classe B	1315,0	2108	74,99%
Classe B	1304,2	3002609	75,36%
Classe B	1245,8	12000	75,71%
Classe B	1170,8	3002294	76,04%
Classe B	1143,3	68196	76,36%
Classe B	1104,2	14492	76,67%
Classe B	1104,2	3002025	76,97%
Classe B	1068,8	9520	77,27%
Classe B	978,6	43598	77,55%
Classe B	952,1	3002127	77,81%
Classe B	904,2	42541	78,07%
Classe B	904,2	3002436	78,32%
Classe B	900,9	14213	78,57%
Classe B	900,0	3002027	78,83%
Classe B	885,4	3002341	79,07%

Classe B	881,3	11905	79,32%
Classe B	870,4	72000	79,57%
Classe B	860,8	3002595	79,81%
Classe C	833,3	3002472	80,04%
Classe C	820,8	5994	80,27%
Classe C	808,3	3002594	80,50%
Classe C	774,3	3003424	80,71%
Classe C	762,1	72002	80,93%
Classe C	760,4	3002469	81,14%
Classe C	746,3	81000	81,35%
Classe C	741,7	43192	81,56%
Classe C	724,2	1153125	81,76%
Classe C	720,8	3003151	81,96%
Classe C	716,3	857	82,16%
Classe C	701,1	5901	82,36%
Classe C	683,8	81050	82,55%
Classe C	675,0	3002464	82,74%
Classe C	670,8	3002697	82,93%

ANEXO 4 – ORGANOGRAMA FLUIDLOC

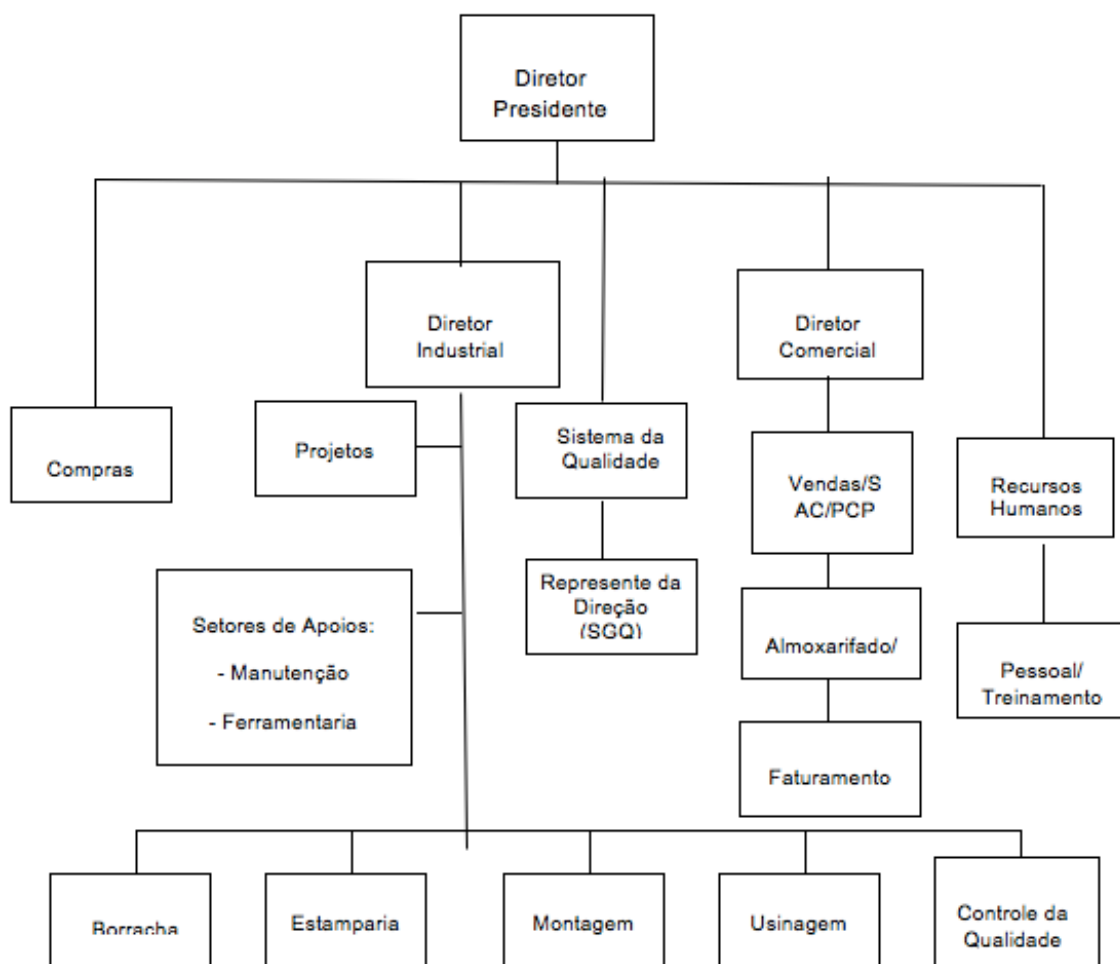















Figura 31: Organograma - fonte: os autores

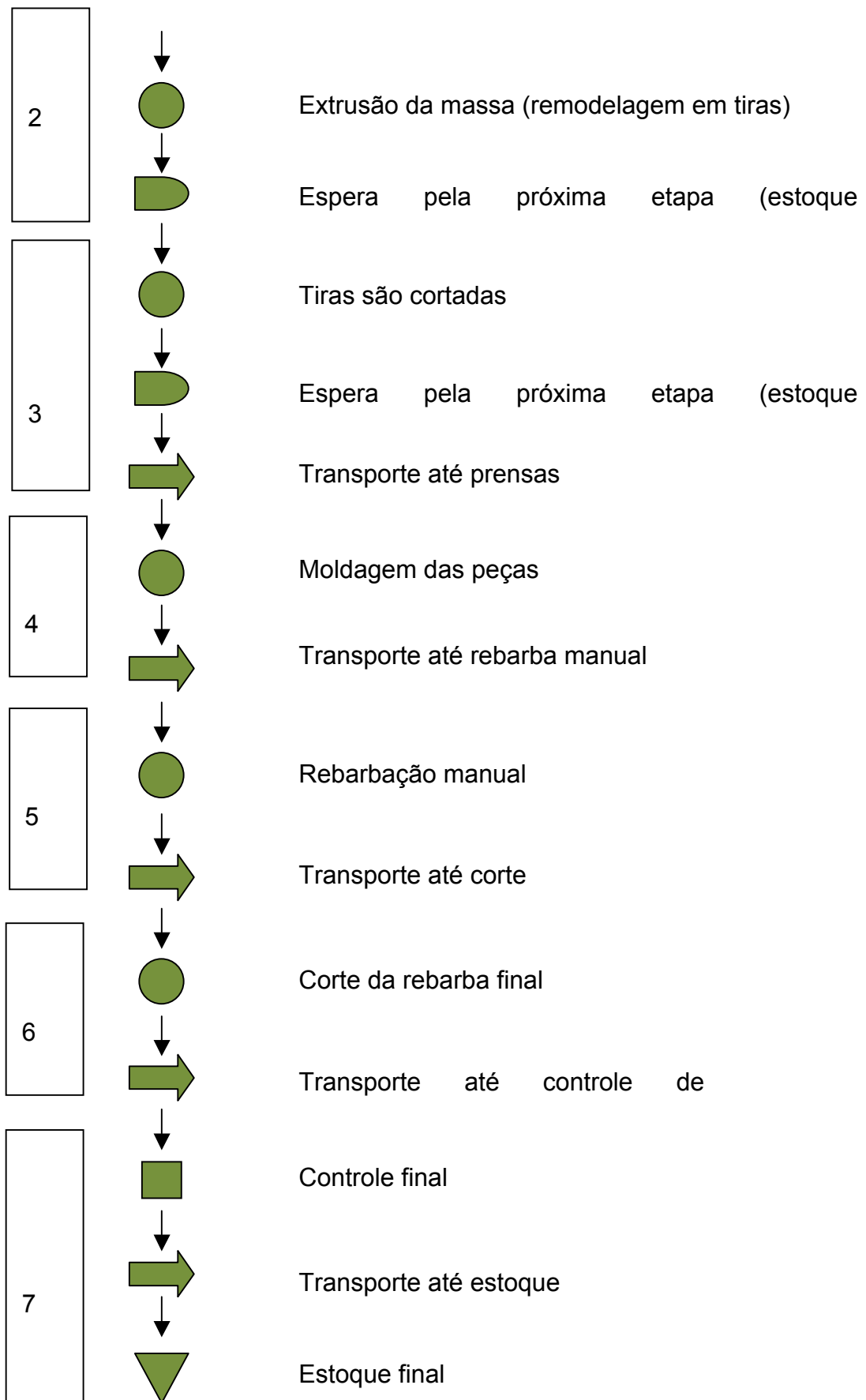


ANEXO 5 – FLUXOGRAMA PRODUÇÃO DE ARTEFATOS DE BORRACHA

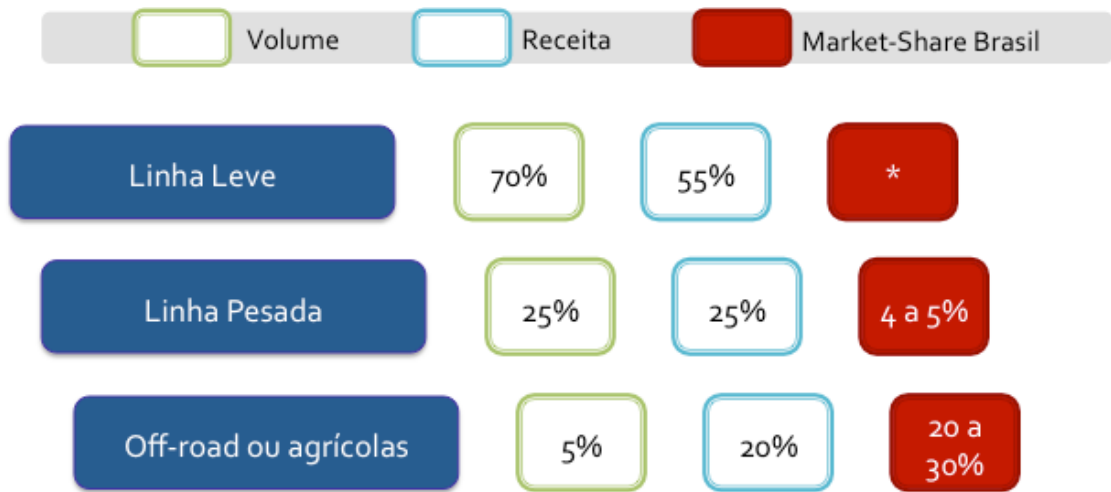
Descrição detalhada do processo produtivo da borracha

Ciclo	Símbolo	Descrição	
1		Estoque das matérias-	
		Transporte até a balança	
		Pesagem e seleção dos itens da	
		Transporte até máquina Bambury	
		Processamento da mistura	
		Laminação	
		Transporte até o local de descanso da	
		Massa deve aguardar 8h	
		Transporte até máquina Bambury	
		Reprocessamento da	
		Retira-se uma amostra	
		Teste de dureza da amostra	
	2		Transporte até o posto de extrusão

Descrição detalhada do processo produtivo da borracha (cont.)



## ANEXO 6 – O MERCADO DA FLUIDLOC



\* Volume não estimado; Mercado muito pulverizado, além de não ser o foco da empresa;

Figura 32: O mercado nacional e o share da Fluidloc - fonte: os autores