

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

BRUNO TOURINHO DE BRITIZ E ALBUQUERQUE  
EDUARDO DE SOUZA PINTO LEMGRUBER

**OTIMIZAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO DE PRODUÇÃO EM UMA  
INDÚSTRIA DE EMBALAGENS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO  
TCC 2

CURITIBA

2014

BRUNO TOURINHO DE BRITZ E ALBUQUERQUE

EDUARDO DE SOUZA PINTO LEMGRUBER

## **OTIMIZAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO DE PRODUÇÃO EM UMA INDÚSTRIA DE EMBALAGENS**

Monografia do Projeto de Pesquisa apresentada à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso – TCC 2 do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para aprovação na disciplina.

Orientador: Prof. Dr. Eng. Luiz Carlos de Abreu Rodrigues

CURITIBA

2014

## TERMO DE ENCAMINHAMENTO

Venho por meio deste termo, encaminhar para apresentação a monografia do Projeto de Pesquisa “**OTIMIZAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO EM UMA INDÚSTRIA DE EMBALAGENS**”, realizada pelos alunos Bruno Tourinho de Britez e Albuquerque e Eduardo de Souza Pinto Lemgruber, como requisito parcial para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso – TCC 2, do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Carlos de Abreu Rodrigues  
UTFPR - Damec

Curitiba, 17 de Dezembro de 2014.

## TERMO DE APROVAÇÃO

Por meio deste termo, aprovamos a monografia do Projeto de Pesquisa **“OTIMIZAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO EM UMA INDÚSTRIA DE EMBALAGENS”**, realizada pelos alunos Bruno Tourinho de Brites e Albuquerque e Eduardo de Souza Pinto Lemgruber, como requisito parcial para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso – TCC 2, do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Prof. Dr. Luiz Carlos de Abreu Rodrigues  
DAMEC, UTFPR  
Orientador

Prof. Dr. Leandro Magatão  
DAMEC, UTFPR  
Avaliador

Prof. MSc. Tiago Rodrigues Weller  
DAMEC, UTFPR  
Avaliador

Curitiba, 17 de Dezembro 2014.

## RESUMO

A proposta deste trabalho é realizar uma melhoria no modo de sequenciamento de produção de uma empresa de embalagens localizada na região metropolitana de Curitiba. Nesta fábrica são feitos oito modelos de embalagens, que diferem entre si pelo modo de fabricação, matéria prima utilizada e aplicação. O motivo da escolha dessa empresa de embalagens é que o mercado de embalagens brasileiro está em ligeira expansão e torna-se cada vez mais competitivo, forçando assim, as empresas a melhorarem continuamente seus processos internos. A falta de uma metodologia nesta empresa, que possibilite uma otimização do sequenciamento da produção das embalagens, faz com que esta sofra com elevados tempos de *setup* e também no atendimento correto dos prazos de entrega solicitados. O não aproveitamento das características similares dos produtos que poderiam ser fabricados em sequência, reduzem o tempo disponível de máquina e a produtividade. Para que esse problema fosse resolvido foi necessária a coleta dos dados no cenário atual, proposta uma abordagem de programação por modelo matemático e, por final, a verificação da eficácia da abordagem proposta. Fatores como demanda, capacidade e mix de produção foram importantes para o desenvolvimento da abordagem proposta. Comprovou-se que a metodologia proposta auxilia a programação (sequenciamento) da produção, reduzindo o tempo de máquina parada, aumento da produtividade e atendimento dos prazos de entrega corretamente.

**Palavras-chave:** Planejamento e Controle da Produção, Sequenciamento da Produção, Indústria de Embalagens.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 - Processo de Flexografia .....               | 9  |
| Figura 2 - Fluxo do Processo .....                     | 11 |
| Figura 3 - Percentual das Entregas .....               | 11 |
| Figura 4 - Atividades de Planejamento e Controle ..... | 17 |
| Figura 5 - Layout da Planta .....                      | 25 |
| Figura 6 - Fluxograma do Processo .....                | 27 |
| Figura 7 - Esquema de Impressão das Embalagens.....    | 30 |
| Figura 8 - Percentual das Entregas .....               | 31 |
| Figura 9 - Relação de Produção.....                    | 31 |
| Figura 10 - 1ª Parte Com Setup .....                   | 38 |
| Figura 11 - 2ª Parte Com Setup .....                   | 40 |
| Figura 12 – 1ª Parte Sem Setup.....                    | 42 |
| Figura 13 – 2ª Parte Sem Setup.....                    | 44 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 - Mapeamento dos riscos do projeto .....     | 67 |
| Tabela 2 - Tempos de Setup .....                      | 29 |
| Tabela 3 – Nomeclatura para o Modelo Matemático ..... | 32 |
| Tabela 4 - Solução da Parte 1 Com Setup .....         | 39 |
| Tabela 5 - Solução da Parte 2 Com Setup .....         | 41 |
| Tabela 6 – Solução da Parte 1 Sem Setup .....         | 43 |
| Tabela 7 – Solução da Parte 2 Sem Setup .....         | 45 |
| Tabela 8 - Comparação dos Resultados Obtidos.....     | 46 |

## **LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS**

DOS *Disk Operating System*

ISO *International Organization for Standardization*

PDCA *Plan, Do, Check and Action*

SGQ Sistema de Gestão da Qualidade

PCP Planejamento e Controle da Produção

PLIM Programação Linear Inteira Mista

# SUMÁRIO

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO</b>                                 | <b>8</b>  |
| 1.1      | Contexto do Tema                                  | 9         |
| 1.2      | Caracterização do Problema                        | 10        |
| 1.3      | Objetivos   | 12        |
| 1.3.1    | Objetivos Específicos                             | 13        |
| 1.4      | Justificativa                                     | 13        |
| <b>2</b> | <b>Fundamentação Teórica</b>                      | <b>15</b> |
| 2.1      | Melhoria Contínua                                 | 15        |
| 2.2      | Gestão da Qualidade                               | 16        |
| 2.3      | Planejamento e Controle da Produção               | 16        |
| 2.4      | Programação e Controle da Produção                | 18        |
| 2.5      | Nivelamento da Produção                           | 18        |
| 2.6      | Regras de Sequenciamento                          | 19        |
| 2.7      | Just In Time                                      | 20        |
| 2.8      | A Aplicação do PDCA para a Solução de Problemas   | 20        |
| <b>3</b> | <b>METODOLOGIA</b>                                | <b>22</b> |
| 3.1      | Descrição da Metodologia                          | 22        |
| 3.2      | Justificativa da Metodologia                      | 23        |
| 3.3      | Produtos do Projeto                               | 23        |
| <b>4</b> | <b>ESTUDO DE CASO</b>                             | <b>24</b> |
| 4.1      | Apresentação da Empresa                           | 24        |
| 4.2      | Divisões da Fábrica                               | 24        |
| 4.3      | Fluxograma do Processo                            | 26        |
| 4.4      | Processo de Fabricação da Embalagem               | 28        |
| 4.5      | Período de Análise da Produção                    | 30        |
| 4.6      | Modelo Matemático – Sequenciamento da Produção    | 32        |
| <b>5</b> | <b>Resultados</b>                                 | <b>37</b> |
| 5.1.1    | Solução da Parte 1 Com Setup                      | 38        |
| 5.1.2    | Solução da Parte 2 Com Setup                      | 40        |
| 5.1.3    | Solução da Parte 1 Sem Setup                      | 42        |
| 5.1.4    | Solução da Parte 2 Sem Setup                      | 44        |
| 5.1.5    | Compilação dos Resultados                         | 46        |
| <b>6</b> | <b>Conclusão</b>                                  | <b>47</b> |
|          | <b>REFERÊNCIAS</b>                                | <b>49</b> |
|          | <b>ANEXO A – DEMANDA DO 1º TRIMESTRE DE 2014</b>  | <b>52</b> |
|          | <b>ANEXO B – SOLUÇÃO DE TODO O PROBLEMA</b>       | <b>55</b> |
|          | <b>ANEXO C – SOLUÇÃO DAS PARTES SIMPLIFICADAS</b> | <b>58</b> |
|          | <b>ANEXO D – SEM SETUP NA FUNÇÃO OBJETIVO</b>     | <b>62</b> |
|          | <b>ANEXO E – ASPECTOS OPERACIONAIS</b>            | <b>66</b> |

# 1 INTRODUÇÃO

O cenário nacional das indústrias de embalagens mostra-se em elevada concorrência, seja no setor de embalagens flexíveis, no setor plástico ou no setor de embalagens odonto-médico-hospitalares. A globalização trouxe um aumento na concorrência e deixou os clientes mais exigentes, forçando assim, as empresas a se adaptarem a esse tipo de mercado e a buscarem as melhores técnicas de fabricação e melhores meios de gestão.

Nas corporações de pequeno e médio porte, comumente as estratégias de produção não estão alinhadas com os planos de negócios. Desse modo, perde-se a comunicação entre os setores, fazendo com que, na organização, a eficiência, a eficácia, os lucros e as metas não sejam alcançados (BARDAL *et al.*, 2010).

O planejamento e controle da produção é um dos principais processos que gerenciam as atividades relativas à manufatura, de modo a satisfazer continuamente a demanda dos clientes. Para Slack (2002), o propósito do planejamento e controle da produção é “garantir que os processos de produção ocorram eficaz e eficientemente e que produzam produtos e serviços conforme requeridos pelos consumidores”.

No mercado de embalagens odonto-médico-hospitalares, a demanda é em sua maior parte estável, porém o *mix* de produtos tende a ser elevado. Com isso, as empresas desse ramo, normalmente, realizam muitos *setups* de máquina e, por isso, devem possuir um bom planejamento e controle da produção para atender essa alta variedade de produtos dos clientes. Infelizmente, muitas empresas ainda utilizam técnicas de produção em massa que funcionaram muito bem para Henry Ford nos anos 20, quando a flexibilidade e a oferta de opções ao cliente não eram importantes (LIKER, 2007).

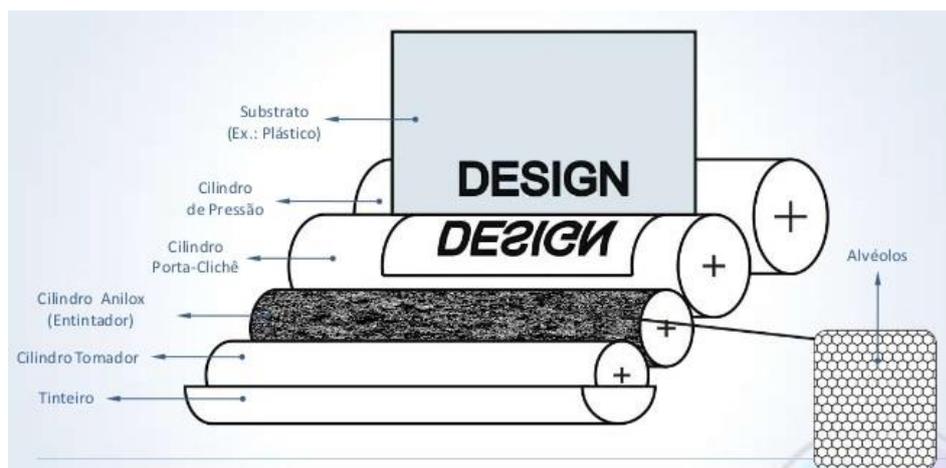
De acordo com a ABRE (Associação Brasileira de Embalagem), os fabricantes nacionais de embalagens registraram receitas líquidas de vendas de R\$ 51,8 bilhões em 2013, e para 2014, as perspectivas são moderadas, pois a produção de embalagens deverá crescer em média 1,5% (ABRE, 2014).

## 1.1 Contexto do Tema

A empresa em análise trabalha no segmento de embalagens odonto-médico-hospitalares, onde seu portfólio de produtos abrange oito tipos de embalagens, sendo eles, papel monolúcido revestido, papel grau cirúrgico reforçado, papel grau cirúrgico com laca, papel grau cirúrgico sem laca, envelopes tipo *pouche chevron*, filmes termofomáveis, bobinas tubulares e *vented bags*.

As embalagens que serão analisadas no presente trabalho são somente de um determinado cliente, que representa em média 70% do volume de produção mensal da empresa, possuindo um portfólio com mais de 100 produtos diferentes, onde são feitas embalagens do tipo papel grau cirúrgico com laca e sem laca.

O processo de fabricação de embalagem se resume basicamente em três etapas principais: impressão, rebobinamento e acabamento do material. A impressão é feita pelo processo de flexografia e se caracteriza por ser um sistema de impressão gráfica em que a fôrma (clichê de borracha ou fotopolímero) é relevográfica. São utilizadas tintas líquidas a base de água, que secam naturalmente durante a etapa de impressão, não necessitando de cura forçada. A Figura 1 mostra o esquema da etapa de impressão flexográfica, composta basicamente pelo anilox, o cilindro porta-clichê, o clichê e o substrato.



**Figura 1 - Processo de Flexografia**

Fonte: Matos Jr. (2010).

“O anilox é um rolo metálico ou cerâmico com sua superfície completamente gravada com finíssimos alvéolos (celdas) dentre uma lineatura de 80 a 500 linhas

por polegada linear” (CAPARROZ, 2014). Sua função é dosar a quantidade de tinta que será depositada no clichê. Já o cilindro porta clichê é fabricado em aço ou alumínio, tendo a função de intermediar o contato entre o clichê e a tinta e também entre o clichê e o substrato. O diâmetro desse cilindro varia conforme o passo da embalagem a ser fabricada. O clichê é um polímero onde são gravadas as imagens das embalagens a serem produzidas, assemelhando-se a um carimbo, onde são entintadas somente as áreas em alto relevo. Por fim, o substrato refere-se à matéria prima a ser impressa, podendo ser papel ou plástico.

A etapa de rebobinamento é feita em máquinas rebobinadeiras, que simultaneamente cortam e rebobinam o material processado na impressão. As larguras de corte e peso máximo das bobinas finais são de acordo com a especificação do cliente. Por último, a etapa de acabamento é caracterizada pela paletização e identificação do material a ser enviado.

A razão principal desse trabalho é definir uma sistemática de modo a otimizar a programação da produção levando-se em consideração o *mix* de produtos, as cores de impressão, os cilindros porta-clichês utilizados e principalmente as datas de entregas solicitadas pelo cliente. O presente tema se insere nas áreas de Manufatura, Engenharia de Processos e Administração da Produção.

## **1.2 Caracterização do Problema**

Pretende-se realizar uma melhoria no processo de programação de produção de uma empresa de embalagens, devido ao fato de que mesmo a empresa recebendo a previsão da demanda de catálogos antecipadamente, a data de entrega muitas vezes não é atendida. A Figura 2 ilustra o fluxo do processo do pedido, desde o seu recebimento até a entrega.



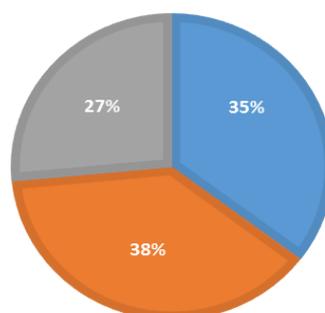
**Figura 2 - Fluxo do Processo**

Fonte: Autoria Própria

Inicialmente o cliente envia a solicitação de compras para o setor comercial com, em média, 20 dias de antecedência determinando a data de entrega de cada produto. Frequentemente, essa data não é cumprida, gerando atrasos, desgaste do setor comercial, acúmulos de volumes na produção e aumento no custo interno de fabricação do produto, pois muitas vezes é necessário realizar horas extras para reduzir os produtos em atraso. A Figura 3 mostra o percentual das entregas realizadas no período de setembro a novembro de 2013.

**PERCENTUAL DAS ENTREGAS**

■ Entregas em Atraso ■ Entregas Antecipadas ■ Entregas no Prazo



**Figura 3 - Percentual das Entregas**

Fonte: Autoria Própria

Analisando o gráfico da figura 3 verifica-se que o problema não está apenas nas entregas em atraso, mas também na alta porcentagem de entregas antecipadas. Uma das hipóteses para esses problemas é de que o programador da produção não tem uma visão macro da fila de produtos a serem produzidos, e sim, apenas a visualização dos produtos que estão próximos do início da produção. Com isso, ao inserir itens antes não programados na fila, sem perceber, ele pode produzir produtos com maior prazo de entrega em substituição de outros com prazos curtos. Supõe-se que clientes com solicitação de pedidos enviados, mas com prazo de entrega ainda distantes, sofrerão atrasos, pois até a data de sua fabricação, haverá inserções de outros produtos no meio da fila.

Outra hipótese, é que o modo que está sendo programada a produção faz com que o programador tenha que tomar muitas decisões sozinho e definir a sequência da fila de produção sem conhecer exatamente quais critérios devem ser prioritários em relação a outros, ou seja, a falta de critérios e a interferência humana podem estar influenciando em erros de sequenciamento.

A programação da produção é realizada em um software desenvolvido internamente na empresa, em sistema operacional DOS, que exibe a fila de produtos que entrarão em produção, onde se pode alterar quando necessário a posição de uma determinada ordem de produção. Essa mesma fila é exibida em um monitor localizado no chão de fábrica para que os operadores saibam o que produzir. Atualmente, a empresa analisada não dispõe de uma maneira sistêmica para definir um sequenciamento ótimo de produção que otimize ao máximo a disponibilidade de máquinas, operadores e tempo de produção, já que “a atividade de programação é uma das mais complexas tarefas no gerenciamento de produção” (SLACK, 2002).

### **1.3 Objetivos**

O objetivo do presente trabalho é elaborar um modelo de Programação Linear Inteira Mista que encontre uma programação ótima possível para uma determinada demanda de produção de embalagens a fim de respeitar os prazos de entrega de uma indústria localizada na região metropolitana de Curitiba/PR.

### 1.3.1 Objetivos Específicos

Como decorrência do objetivo principal, pretende-se alcançar os seguintes objetivos específicos:

- Aprofundar os conhecimentos relativos à programação de produção e análise de demanda;
- Elaborar uma sistemática que auxilie o programador da produção em encontrar uma maneira ótima de sequenciamento;
- Aumentar a produtividade da etapa de impressão.

### 1.4 Justificativa

Em uma fábrica é essencial otimizar constantemente os processos buscando a máxima eficiência de produção. Este aspecto é fundamental para a obtenção de um produto ao menor tempo e custo possível. Na busca constante por parte das empresas em alcançar uma vantagem competitiva, as melhorias contínuas em todos os setores da empresa são fundamentais para o sucesso a fim de eliminar os erros e aumentar a produção.

Atualmente, na empresa em estudo a etapa de impressão é o gargalo do processo de fabricação de embalagens, devido a erros de programação na fila de entrada em produção.

Observado este erro, há uma certa dificuldade em identificar quais parâmetros devem ser considerados como mais importantes para a elaboração da fila de produção. Esse planejamento deficiente pode ser um dos responsáveis pela diminuição da produtividade deste processo.

A implementação de uma sistemática que auxilie na programação da produção será de fundamental importância para eliminar desperdícios ocorridos na etapa de impressão, otimizando-a.

Sabendo-se que esta área de embalagens odonto-médica-hospitalar está em franca expansão no Brasil e América do Sul, é importante ter uma produção cada vez mais enxuta, com produtos de alta qualidade que reflita em reconhecimento por seus clientes e no mercado.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Melhoria Contínua

A melhoria contínua é um processo de renovação organizacional. Significa adotar novos comportamentos e reformas na estrutura administrativa, principalmente nas práticas gerenciais (SAVOLAINEN, 1999). O processo de renovação das ideologias e práticas organizacionais ocorre de modo lento, tendo como resultado novos modos de agir incorporado à rotina da organização. Assim, a melhoria contínua tem valores básicos e cabe à organização compreendê-los e articulá-los no seu contexto (OPRIME E LIZARELLI, 2010).

No Brasil, a partir da década de 1980, aparece o *Kaizen*, que foi o principal difusor da melhoria contínua no país. O *Kaizen* consiste na abordagem japonesa para a melhoria contínua dos produtos e processos com a participação de todas as pessoas e todos os níveis da organização. Essa filosofia enfatiza a melhoramento tanto do processo quanto do próprio pensamento orientado ao processo. Dá um enfoque na conscientização do problema e preza pelo uso de várias ferramentas da qualidade (BURRIL E LEDOLTER, 1999).

Para Jager *et al.* (2004) existem quatro pilares ou precondições necessárias para garantir a prática da melhoria contínua por todos os funcionários: entendimento, competência, habilidades e comprometimento. As pessoas necessitam possuir competências e conhecimentos para a solução de problemas que habilitam a sua participação por meio de ideias, sugestões e execuções, além da motivação de todos os envolvidos em colocar esforços extra para melhoria dos processos.

Para se melhorar continuamente, Carpinetti (2010) afirma que encontrar problemas ou falhas no processo e corrigi-los não é suficiente, é importante que se identifique os problemas prioritários. Segundo Werkema (1995), “as metas para melhorar, ou metas de melhoria, surgem do fato de que o mercado (clientes) sempre deseja um produto cada vez melhor, a um custo cada vez mais baixo e com entrega cada vez mais precisa”. Através da aplicação do ciclo PDCA (WERKEMA, 1995),

também denominado de Método de Solução de Problemas, é possível atingir as metas de melhorias das empresas através das soluções dos problemas.

## **2.2 Gestão da Qualidade**

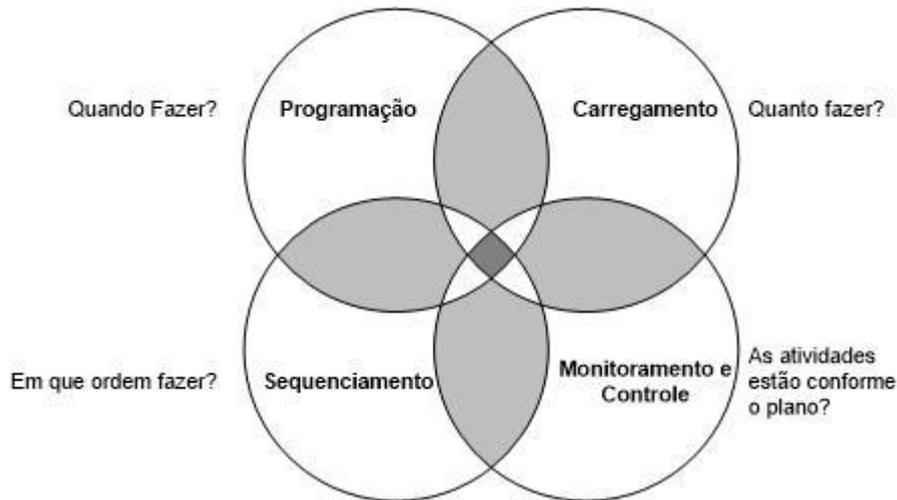
Segundo Feigenbaum (1986), a gestão da qualidade total é um sistema eficaz para integrar as forças de desenvolvimento, manutenção e melhoria da qualidade dos vários grupos de uma organização, permitindo levar a produção e o serviço aos níveis mais econômicos da operação e que atendam plenamente à satisfação do consumidor. Campos (2004) afirma que a gestão de qualidade é conseguida pelo gerenciamento de todas as atividades a serem executadas em cada projeto e cada processo produtivo, buscando eliminar totalmente as falhas, pela constante preocupação com a satisfação total das necessidades do consumidor (antecipando seus anseios) e pela participação e responsabilidade de todos da empresa.

Através de trabalhos planejados, conhecimento e controle dos processos, otimização do uso dos recursos e redução dos custos, é possível observar as vantagens de implementar a Gestão da Qualidade.

## **2.3 Planejamento e Controle da Produção**

A maneira como uma organização planeja e controla a compra de suprimentos, a produção, e tudo que está envolvido na fabricação de um determinado produto, depende de um dos quatro tipos de sistema de planejamento e controle da produção: estoque de reserva, sistemas empurrar, sistemas puxar e abordagem que se concentra nos gargalos (GAITHER E FRAZIER, 2002).

Já segundo Slack (2002), as atividades de planejamento e o controle envolvem quatro etapas: carregamento, sequenciamento, programação e controle, conforme a Figura 4 - Atividades de Planejamento e Controle.



**Figura 4 - Atividades de Planejamento e Controle**

Fonte: Slack (2002).

A quantidade de trabalho alocada para uma determinada máquina é chamada de carregamento. Já o sequenciamento é a ordem em que as tarefas serão executadas. Programação é a determinação da sequência em que o trabalho será desenvolvido. Por fim, o controle é o monitoramento das atividades planejadas.

Vollman *et al.* (1997) fala que, para que um sistema de planejamento e controle da produção seja eficaz, ele deve ter como funções: prever a demanda, realizar planejamento agregado, realizar a programação mestra, realizar o planejamento da capacidade, realizar o planejamento dos materiais, emitir as ordens, e efetivamente realizar a programação e controle da produção.

Um aspecto importante no processo de planejamento, diz respeito à previsão de demanda, que é um processo pelo qual se procura antever o que irá ocorrer no futuro para antecipar as providências necessárias para atender àqueles objetivos. As previsões de demanda são fundamentais para auxiliar na determinação dos recursos necessários para uma empresa (ROCHA, 2011).

Para Krajewski *et al.* (2009), a “previsão de demanda é uma avaliação de eventos futuros utilizadas para fins de planejamento”. Essa avaliação é uma tarefa difícil, porque a demanda por bens e serviços pode variar de maneira significativa.

Segundo Corrêa e Corrêa (2012), para que uma organização possa atender adequadamente sua demanda é necessário saber qual é a sua capacidade

produtiva necessária e suficiente para que ocorra o atendimento a esta demanda. Sendo assim, quem define a capacidade de execução das atividades produtivas é o planejador da produção.

## 2.4 Programação e Controle da Produção

Segundo Scarpelli (2006), a programação e controle da produção tem como finalidade “satisfazer o plano de materiais e o programa mestre de produção acionando a fábrica na execução de operações de fabricação dos itens e produtos conforme as quantidades e prazos necessários.”

Para Slack (2002), “ao determinar a sequência em que o trabalho será desenvolvido, algumas operações requerem um cronograma detalhado, mostrando em que momento os trabalhos devem começar e quando eles deveriam terminar”. O autor ainda comenta que a atividade de programar a produção é muito complexa pois diversos recursos devem ser considerados simultaneamente.

Uma forma de solucionar o problema da empresa é a aplicação de abordagens de Pesquisa Operacional. Em Latre *et al.* (2000), Rodrigues *et al.* (2000a), Rodrigues *et al.* (2000b) e Rodrigues *et al.* (2000) foram propostas abordagens de programação da produção combinando o uso de programação matemática, métodos heurísticos (*Simulated Annealing*) e *Constraint Programming*.

## 2.5 Nivelamento da Produção

*Heijunka* é o termo em japonês que significa nivelamento da produção. Ele é definido como “o nivelamento da produção em volume e em combinação (*mix*) de produtos. Não fabrica produtos de acordo com o fluxo real de pedidos dos clientes, o que pode subir e descer drasticamente, mas toma o volume total de pedidos em um período e nivela-os para que a mesma quantidade e combinação sejam produzidas a cada dia” (LIKER, 2007). Para Rother e Harris (2002), o nivelamento da produção

pode ser entendido como uma divisão igualada de *mix* e demanda ao longo do tempo.

## 2.6 Regras de Sequenciamento

Para definir as prioridades de sequenciamento é necessário a utilização de algumas regras. Estas podem ser simples ou mais complexas e levam em conta informações como: tempo de processamento, data prometida de entrega, momento de entrada da ordem na fábrica, importância do cliente solicitante e tempo de operação restante (CORRÊA E CORRÊA, 2012).

Já, segundo Tubino (1997), para organizar o processamento de pedidos pode-se usar regras de sequenciamento que estabelecem um meio lógico de saber qual lote terá prioridade na fila de processamento em um recurso. Assim, o autor define as seguintes regras:

- PEPS – Primeira que Entra Primeira que Sai: os lotes são processados de acordo com sua chegada no recurso;
- MTP – Menor Tempo de Processamento: os lotes serão processados de acordo com os menores tempos de processamento no recurso;
- MDE – Menor Data de Entrega: os lotes serão processados de acordo com as menores datas de entrega;
- IPI – Índice de Prioridade: os lotes serão processados de acordo com o valor da prioridade atribuída ao cliente ou ao produto;
- ICR – Índice Crítico: os lotes serão processados de acordo com o menor valor do resultado da diferença entre a data de entrega e a data atual pelo tempo de processamento.
- IFO - Índice de Folga: os lotes serão processados de acordo com o menor valor do resultado da diferença entre o menor valor da data de entrega e o somatório dos tempos de processamento pelo número de operações restantes.

- IFA – Índice de Falta: os lotes serão processados de acordo com o menor valor do resultado entre a quantidade em estoque pela taxa de demanda.

Determinar o sequenciamento mais eficaz de uma organização é um problema multiobjetivo e complexo, sendo assim, não há uma regra que maximize o desempenho da produção em todos os aspectos (COSTA, 1996).

## 2.7 Just In Time

O conceito *Just in time* (JIT) pode ser entendido como a realização de uma entrega no tempo e local exato em que foi demandada, eliminando-se as perdas por excesso de produção que geram estoques quando algo é produzido antes do prazo e também as perdas por espera, quando algo é entregue após o prazo. Segundo Slack (2002), o *Just in time* “é uma abordagem disciplinada, que visa aprimorar a produtividade global e eliminar os desperdícios”. Ele possibilita a produção eficaz em termos de custo, assim como o fornecimento apenas da quantidade correta, no momento e locais corretos, utilizando o mínimo de instalações, equipamentos, materiais e recursos humanos.

## 2.8 A Aplicação do PDCA para a Solução de Problemas

Segundo Arioli (1998), a Metodologia de Análise de Soluções e Problemas é a mais completa para solucionar problemas nas organizações, uma vez que seu roteiro de trabalho contém o ciclo PDCA, que fixa a sequência lógica: planejar, fazer, checar e agir.

O ciclo PDCA é um método gerencial de tomada de decisões para garantir o alcance das metas necessárias à sobrevivência de uma organização (WERKEMA, 1995). Esse método tem como função básica o auxílio no diagnóstico, análise e prognóstico de problemas organizacionais, sendo extremamente útil para a solução de problemas. Poucos instrumentos se mostram tão efetivos para a busca do aperfeiçoamento quanto este método de melhoria contínua, tendo em vista que ele conduz a ações sistemáticas que agilizam a obtenção de melhores resultados com a

finalidade de garantir a sobrevivência e o crescimento das organizações (QUINQUIOLO, 2002).

Na visão de Marshall Jr. (2006), para aplicar o ciclo PDCA é fundamental ter uma visão futura dos processos a fim de aumentar a competitividade da empresa. Para isso, os padrões devem ser seguidos e se os resultados esperados não forem alcançados, o ciclo deverá ser iniciado novamente. Para o autor, “o ciclo PDCA é um método gerencial para a promoção da melhoria contínua e reflete, em suas quatro fases, a base da filosofia do melhoramento contínuo”. De acordo com Andrade (2003) essas quatro principais fases do ciclo são bem definidas e podem ser descritas da seguinte maneira:

- **PLAN** (Planejar): Estabelecer os objetivos e os processos necessários para fornecer resultados de acordo com os requisitos do cliente e políticas da organização. Esta etapa abrange: a localização do problema, o estabelecimento de uma meta, a análise do fenômeno, a análise do processo e a elaboração do plano de ação;
- **DO** (Fazer): Implementar os processos, ou seja, execução das ações estabelecidas no plano de ação definidas na fase anterior, sendo realizadas no cronograma determinado, tendo todas as ações registradas e supervisionadas;
- **CHECK** (Checar): Nesta fase deve-se executar a verificação da eficácia das ações tomadas na fase anterior. Utilizando para a mesma a comparação dos resultados (planejados e executados), listagem dos efeitos secundários (oriundos das ações executadas) e verificação da resolução ou não do problema (eficácia das ações tomadas);
- **ACTION** (Agir): Esta fase é responsável pela padronização dos procedimentos implantados na fase “Do”, ou seja, se o resultado for satisfatório devem-se padronizar essas ações, transformando-as em procedimentos padrão. Para realizar essa padronização é feita a elaboração ou alteração do padrão, comunicação, treinamento e acompanhamento da utilização do padrão. A conclusão do projeto também ocorre nessa fase, sendo que poderão ser estipuladas novas metas futuras para que o processo de melhoria contínua possa ser desencadeado.

### **3 METODOLOGIA**

A metodologia científica abordada neste trabalho pode ser definida de natureza aplicada, com abordagem de pesquisa quantitativa e de objetivo exploratório, já que segundo Gil (1991), este trabalho objetiva gerar conhecimentos para aplicações práticas, através de coletas e análises quantitativa de dados. Também foram utilizados dados reais coletados na empresa em estudo, assim como pretendeu-se utilizar simulações que auxiliassem a encontrar soluções para a problemática deste trabalho. Levantamentos bibliográficos também foram utilizados.

Do ponto de vista dos procedimentos, foram realizadas visitas técnicas à empresa de modo a visualizar no chão de fábrica as questões em estudo. O método utilizado foi o de estudo de caso, pois combina as diferentes formas de coleta de dados que se baseia em várias evidências, tais como: documentação, registro de arquivos, entrevistas e observação direta (YIN, 2005).

Estudo de caso é uma categoria de pesquisa cujo objetivo é uma unidade que se analisa profundamente. Visa conhecer o seu “como” e os seus “porquês”, evidenciando a sua unidade e identidade própria (MARTINS, 2002).

#### **3.1 Descrição da Metodologia**

Com base na situação problema deste trabalho, foi adotada a metodologia de coleta e análise dos dados. Na sequência, foi apresentada uma abordagem de Pesquisa Operacional, sendo inicialmente considerado o uso de Programação Matemática ou, mais especificamente, Programação Linear Inteira Mista, tal como brevemente mencionado na seção 2.4. Após o desenvolvimento da proposta de melhoria, esta foi verificada através da comparação dos resultados apresentados por software com os dados previamente coletados.

### **3.2 Justificativa da Metodologia**

Liker (2007) fala que “o primeiro passo de qualquer processo de resolução de problema, desenvolvimento de um novo produto ou avaliação do desempenho de um funcionário é a compreensão da verdadeira situação”. Essa ideia é um dos princípios do Modelo Toyota, que busca compreender profundamente e relatar o que se vê.

A coleta e análise de dados vindo do chão de fábrica é de suma importância para se verificar o real cenário que se encontra a empresa. Em posse dos dados coletados antes do início do trabalho, foi feita a análise dos dados com o objetivo de direcionar os pontos que deveriam ser melhorados e quais as metas deveriam ser atingidas. Neste caso, a análise dos dados deve ser interpretada como a verificação dos resultados da abordagem de Pesquisa Operacional que será proposta. Ao final do trabalho, foi feita uma nova coleta dos dados com o objetivo de se realizar comparações com dados do cenário inicial, buscando verificar as melhorias que foram alcançadas.

### **3.3 Produtos do Projeto**

Ao elaborar esse projeto, obteve-se uma ferramenta computacional de Programação da Produção que auxilie o programador da produção em determinar o melhor sequenciamento da fila de demanda. Ou seja, sempre que o cliente enviar a programação de entregas com as respectivas demandas, o trabalho de programação de produção para o cumprimento das datas de entrega poderá ser facilitado pela metodologia proposta e evitará perdas na produção devido a erros de programação.

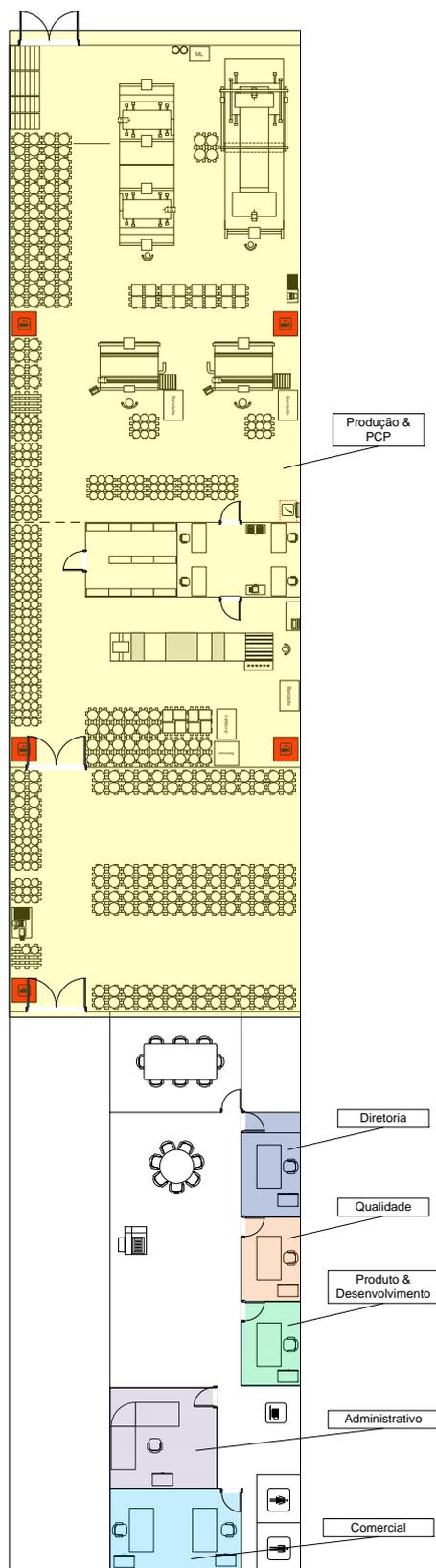
## **4 ESTUDO DE CASO**

### **4.1 Apresentação da Empresa**

A empresa estudada foi fundada há mais de 4 anos em Curitiba - PR, com foco na impressão de papel grau cirúrgico com e sem laca de selagem, envelopes *pouch chevron*, filmes termoformáveis, *vented bags* e *header bags*. Os produtos possuem como característica uma excelente qualidade de impressão e alta resistência mecânica, além de estruturas especiais com alta barreira a gases nocivos. A empresa atende toda a legislação vigente referente à produção de embalagens odonto-médico-hospitalares, com política de atuação baseada na ISO 9000:2008 e nas diretrizes internas do SGQ. Todas as etapas da cadeia produtiva são detalhadamente acompanhadas e documentadas, garantindo a rastreabilidade desde a matéria prima até o produto final.

### **4.2 Divisões da Fábrica**

Atualmente a empresa possui 25 funcionários e é dividida em 6 setores, conforme é mostrado na figura 5.



**Figura 5 - Layout da Planta**

Fonte: Autoria Própria

- **Diretoria**

Responsável pela gestão geral da empresa.

- **Comercial**

Responsável pela comercialização dos produtos, desenvolvimento de novos produtos, amostras para testes e validações, solicitação de cotações e pedidos de compra e acompanhamento do mesmo até o recebimento (*follow-up*).

- **Administrativo**

Responsável pelo recrutamento e seleção dos funcionários, admissão e integração, além de treinamentos e pequenas compras de suprimentos para a empresa.

- **Produto & Desenvolvimento**

Responsável pelo projeto das embalagens, desenvolvimento de novas matérias primas e especificações de produto.

- **Qualidade**

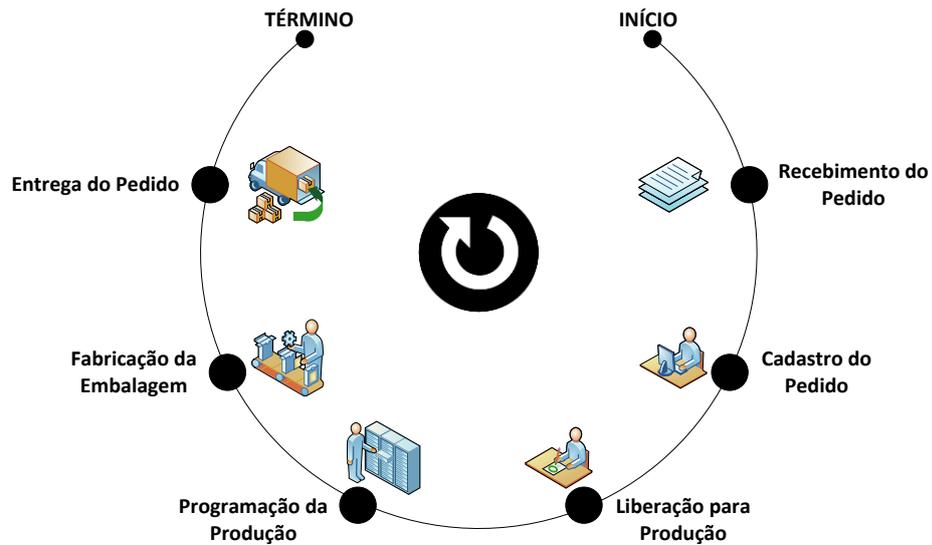
Responsável pelo controle de qualidade geral da fábrica. Controla a qualidade no processo produtivo desde a matéria prima até o produto final.

- **Produção & PCP**

Responsável pela programação e controle da produção. O PCP faz o sequenciamento da produção e a produção faz o acompanhamento do processo de produção.

### 4.3 Fluxograma do Processo

A figura 6 mostra o fluxograma do processo de entrada e saída dos pedidos na empresa em estudo. Inicia-se com o recebimento do pedido, onde comumente o cliente envia através de e-mail a sua solicitação ao setor comercial, contendo informações como o código do produto a ser fabricado, a revisão do desenho, quantidade (em quilogramas), data de entrega, informações relativas a condições de pagamento e frete.



**Figura 6 - Fluxograma do Processo**

Fonte: Autoria Própria

Dada a confirmação de recebimento do pedido ao cliente, o setor comercial faz o cadastramento desse pedido no sistema interno da empresa, onde é inserido informações do código do produto, revisão, data de entrega e quantidade, que por final receberá um número de ordem de produção, gerado sequencialmente pelo sistema da empresa. Em posse da ordem de produção, o departamento de projetos e desenvolvimento verifica as especificações, revisão, matéria prima e dimensões da embalagem, então a ordem de produção é liberada. Disponibilizada a ordem de produção para a produção, essa tem a função de sequenciá-la para que possa ser fabricada, buscando sempre eficiência, alta qualidade e atendimento dos prazos de entrega.

A fabricação das embalagens é feita através do processo já mencionado de impressão por flexografia, rebobinamento e acabamento, onde ao final a embalagem estará disponível para embarque. O último passo é a entrega do pedido ao cliente, através de transportadoras terceirizadas.

#### 4.4 Processo de Fabricação da Embalagem

No processo de fabricação das embalagens, os operadores trabalham em dois turnos de segunda à sábado, sendo que o primeiro turno trabalha das 06:30 às 14:40 e o segundo turno das 13:50 às 22 horas. Cada turno é composto por:

- 2 Impressores
- 2 Rebobinadores
- 1 Auxiliar de Produção
- 1 Operador de Acabamento

No setor de impressão existem 4 impressoras, sendo duas de última geração e duas mais antigas que trabalham a velocidades mais reduzidas. O rebobinamento é composto por duas rebobinadeiras semelhantes. E o setor de acabamento é composto por uma balança para pesagem e fechamento dos paletes.

O processo produtivo do setor de impressão começa com o recebimento da ordem de produção disponibilizada no sistema pelo PCP. O impressor verifica qual será o clichê utilizado, o tamanho do cilindro, a cor da tinta e a matéria prima, e então o processo de *setup* da impressora é iniciado.

O impressor inicia o *setup* buscando o clichê correspondente no armário porta-clichê, e faz uma verificação visual da sua integridade e confere se o código do produto e revisão estão de acordo com o que está sendo solicitado na ordem de produção. Em seguida, ele busca na estante porta-cilindro o cilindro correspondente ao produto que vai ser fabricado. Esses são identificados com o tamanho do seu diâmetro, por exemplo: cilindro 360 significa que tem 360 mm de diâmetro. Por último o impressor prepara a tinta a ser utilizada. A preparação das tintas segue uma escala de cores pré-definida onde está indicado a porcentagem das tintas a serem misturadas. Enquanto isso, o auxiliar de produção tem a função de buscar a matéria prima correta no estoque e disponibilizá-la ao lado da máquina para o impressor.

Os *setups* realizados podem variar de 10 a 30 minutos, dependendo do sequenciamento programado pelo PCP, conforme mostrado na tabela 2. Se a próxima ordem de produção utilizar o mesmo cilindro e a mesma cor de tinta, o *setup*

será rápido, pois será necessário somente a troca do clichê. Por isso, a importância de um bom sequenciamento da produção, que otimize o tempo do processo.

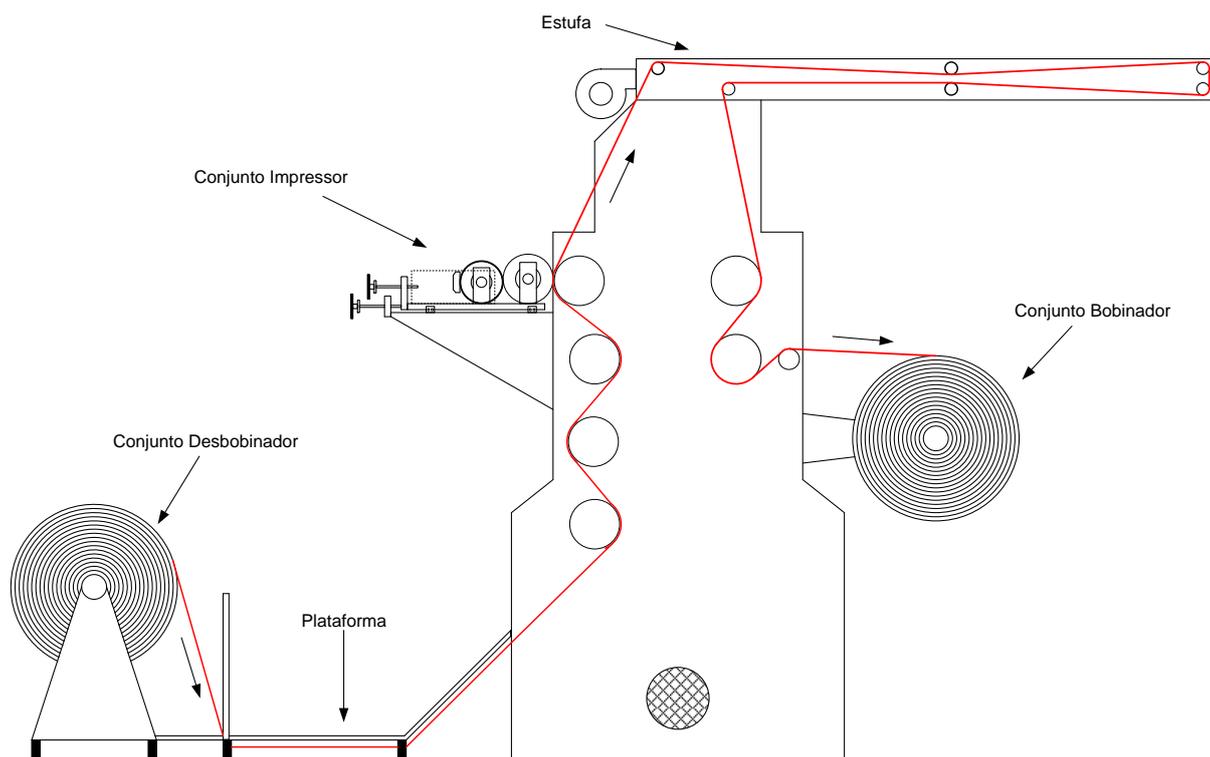
**Tabela 1 - Tempos de Setup**

| <b>Operação</b>   | <b>Tempo [min]</b> |
|-------------------|--------------------|
| Troca de Clichê   | 10                 |
| Troca de Cilindro | 15                 |
| Troca de Tinta    | 15                 |

**Fonte: Autoria Própria**

A figura 7 mostra o funcionamento básico da impressora flexográfica. O primeiro passo para iniciar a impressão do papel é colocar a bobina de matéria prima no desbobinador da máquina, verificando o sentido de desbobinamento, já que o papel possui dois lados, o externo e interno. O papel é então passado por baixo da plataforma de movimentação do operador e colocado por dentro da máquina, nos cilindros que dão sustentação durante o processo de impressão. O traçado do papel é feito de modo a mantê-lo tensionado, ou seja, bem esticado, pois quanto mais tensionado o papel, melhor a qualidade de impressão.

No conjunto impressor, a impressão é feita no papel através da transferência de tinta para o anilox, do anilox para o clichê e do clichê para o papel, e no instante seguinte após a impressão a tinta aplicada ainda está úmida, necessitando assim de secagem antes de ser bobinada. Com isso, o papel é passado dentro de uma estufa aquecida por resistências, onde a tinta seca por total, podendo assim ser bobinado sem problemas de borrões ou falhas de impressão.



**Figura 7 - Esquema de Impressão das Embalagens**

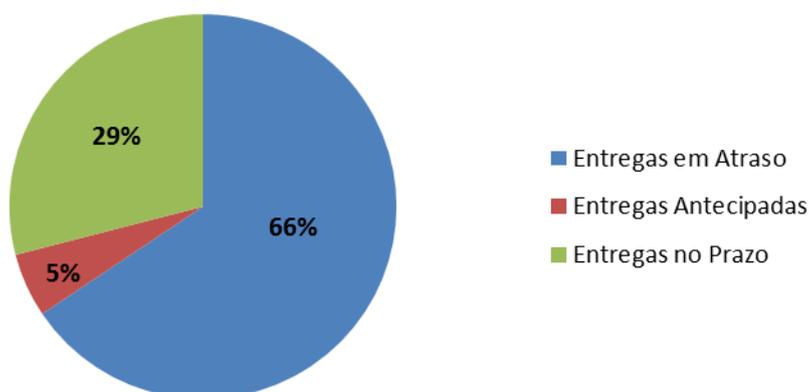
Fonte: Autoria Própria

A etapa seguinte é o rebobinamento, que consiste no corte para a largura final e adequação do peso das bobinas que serão enviadas para o cliente. Por último vem a etapa do acabamento, onde o operador pesa cada bobina, monta no palete e disponibiliza para expedição.

#### 4.5 Período de Análise da Produção

Para a análise da produção, foi compilado todos os dados do ano de 2013 e primeiro semestre de 2014 e, para fins de estudo, foi selecionado somente os dados referentes ao primeiro trimestre de 2014. Nesse trimestre foram impressos um total de 41.334 quilos de material. O percentual das entregas nesses três meses é mostrado na figura 8, onde verifica-se que mais da metade foram feitas em atraso.

### Percentual das Entregas - 1º Trimestre de 2014



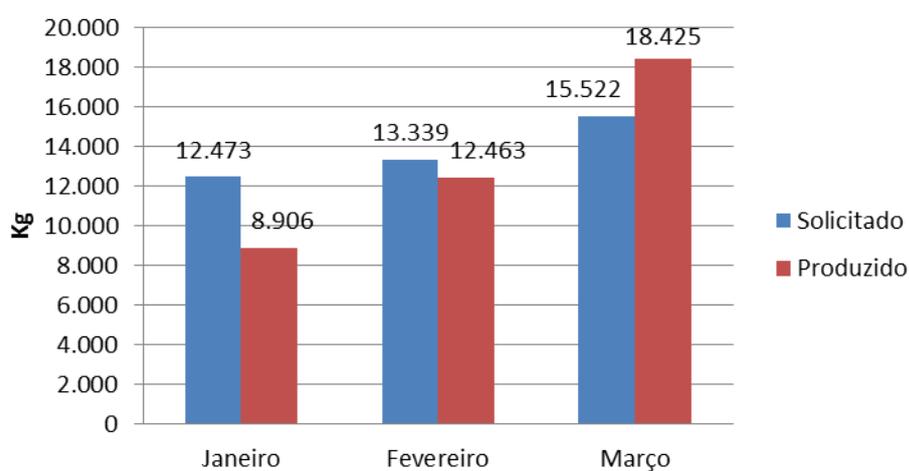
**Figura 8 - Percentual das Entregas**

Fonte: Autoria Própria

Esse gráfico é um reflexo do mau planejamento do sequenciamento da produção, pois mesmo com 66% de entregas em atraso, houve entregas com até 5 dias de antecipação.

A relação entre os volumes que foram solicitados e os que foram produzidos são mostrados na figura 9, na qual observa-se que houve um aumento gradativo do volume produzido devido aos atrasos acumulados dos meses anteriores.

### Volumes Solicitados x Produzidos



**Figura 9 - Relação de Produção**

Fonte: Autoria Própria

Para um bom desempenho de uma empresa, é muito importante que as entregas sejam feitas no prazo solicitado pelos clientes, não gerando estoque com as antecipações e nem prejudicando o processo de fabricação dos clientes com os atrasos. Esses atrasos afetam a confiabilidade do cliente com o fornecedor.

#### 4.6 Modelo Matemático – Sequenciamento da Produção

O problema de sequenciamento da produção proposto será solucionado usando-se Programação Matemática ou, mais especificamente, Programação Linear Inteira Mista (PLIM) que é um dos ramos da área de Pesquisa Operacional. O software usado foi o GAMS/CPLEX 23.3., um programa de modelagem de sistemas para problemas matemáticos. Este capítulo apresenta o modelo matemático aplicado na abordagem de PLIM. Inicialmente, apresenta-se a tabela 3 com a nomenclatura usada na apresentação do modelo matemático.

**Tabela 2 – Nomenclatura para o Modelo Matemático**

|                  |   |
|------------------|---|
|                  | <b>Índices:</b>   |
| $i$              | Identifica um produto;  |
| $k$              | Identifica uma posição na sequência de produção;  |
| $p$              | Identifica um pedido;   |
|                  | <b>Parâmetros:</b>  |
| $ini\_ped_p$     | Instante de recebimento do pedido $p$ ;   |
| $prazo_p$        | Prazo de conclusão do pedido $p$ ;  |
| $tolerado$       | Indica a duração da antecipação na conclusão dos pedidos que será considerada tolerável. Após este período, a antecipação será penalizada na função objetivo; |
| $TP_p$           | Tempo de processamento do pedido $p$ (sem considerar <i>setups</i> );   |
| $cil\_pro_{i,p}$ | Associa um valor ao cilindro usado na produção do produto $i$ no pedido $p$ ;   |
| $cor\_pro_{i,p}$ | Associa um valor a cor usada na produção do produto $i$ no pedido $p$ ;   |
|                  | <b>Variáveis:</b>   |
| $antecipak$      | Valor da antecipação na conclusão do pedido na posição $k$ da   |

|            |  |
|------------|--|
|            | sequência de produção;   |
| $atraso_k$ | Valor do atraso na conclusão do pedido na posição $k$ da sequência de produção;  |
| $che_k$    | Se $che_k = 1$ , haverá troca de clichê ( <i>setup</i> ) antes do início do processamento do pedido na posição $k$ da sequência de produção. Caso contrário, $che_k = 0$ ;   |
| $cil_k$    | Se $cil_k = 1$ , haverá troca de cilindro ( <i>setup</i> ) antes do início do processamento do pedido na posição $k$ da sequência de produção. Caso contrário, $cil_k = 0$ ; |
| $cor_k$    | Se $cor_k = 1$ , haverá troca de cor ( <i>setup</i> ) antes do início do processamento do pedido na posição $k$ da sequência de produção. Caso contrário, $cor_k = 0$ ;      |
| $dur_k$    | Tempo total de duração do pedido que ocupa a posição $k$ ;   |
| $inicio_k$ | Instante de início do processamento do pedido na posição $k$ da sequência de produção;   |
| $objetivo$ | Valor da função objetivo;  |
| $ociosi_k$ | Tempo de ociosidade do processador entre o fim do processamento do pedido anterior (posição $k-1$ ) e o início do processamento do pedido que ocupa a posição $k$ .          |

Fonte: Autoria Própria

Seguem, abaixo, as equações usadas no modelo de sequenciamento, juntamente com uma explicação sobre cada uma delas.

$$objetivo = \sum_k (10^8 * atraso_k + 10^3 * antecipa_k) + 10 * (cil_k + cor_k) + 0,01 * che_k \quad (1)$$

Sujeito a:

$$\sum_p ordem_{p,k} = 1 \quad , \forall k \quad (2)$$

$$\sum_k ordem_{p,k} = 1 \quad , \forall p \quad (3)$$

$$dur_k = \sum_p (TP_p * ordem_{p,k}) + 10 * che_k + 15 * cil_k + 15 * cor_k \quad , \forall k \quad (4)$$

$$inicio_k = inicio_{k-1} + dur_{k-1} + ociosi_k \quad , \forall k \quad (5)$$

$$inicio_k \geq \sum_p ini\_ped_p * ordem_{p,k} \quad , \forall k \quad (6)$$

$$antecipa_k \geq \sum_p prazo_p * ordem_{p,k} - inicio_k - dur_k - tolerado \quad , \forall k \quad (7)$$

$$atraso_k \geq inicio_k + dur_k - \sum_p prazo_p * ordem_{p,k} \quad , \forall k \quad (8)$$

$$che_k \geq 1 - cil_k - cor_k \quad , \forall k \quad (9)$$

$$M * cil_k \geq \left| \sum_{p' \in Pr\_cil_{p'}} \sum (cil\_pro_{i,p'} * ordem_{p',k}) - \sum_p \sum_{i \in Pr\_cil_p} (cil\_pro_{i,p} * ordem_{p,k-1}) \right| \quad , \forall k \quad (10)$$

$$M * cor_k \geq \left| \sum_{p' \in Pr\_cor_{p'}} \sum (cor\_pro_{i,p'} * ordem_{p',k}) - \sum_p \sum_{i \in Pr\_cor_p} (cor\_pro_{i,p} * ordem_{p,k-1}) \right| \quad , \forall k \quad (11)$$

A função objetivo é dada pela expressão (1) que apresenta diferentes pesos. Como qualquer atraso (identificado por  $atraso_k$ ) na conclusão de qualquer pedido é totalmente indesejável, estes serão altamente penalizados multiplicando-se o tempo do atraso por  $10^8$ . Por sua vez, antecipações na conclusão dos pedidos que sejam superiores a cinco (5) dias serão identificadas pela variável  $antecipa_k$ . Durante a produção dos pedidos, será inevitável a realização de operações de *setup* relacionados, respectivamente, às trocas do cilindro (identificado pela variável binária  $cil_k$ ), da cor do produto (identificado pela variável binária  $cor_k$ ) e do clichê (identificado pela variável binária  $che_k$ ). A troca do clichê só ocorre quando não há troca do cilindro e da cor, tendo um “custo” de apenas 0,01; enquanto os custos de *setup* da troca do cilindro e da cor serão de 10 unidades.

Na restrição (2), a variável binária  $ordem_{p,k}$  será igual a 1 se o produto  $p$  ocupa a posição  $k$  da sequência de produção. Caso contrário, esta variável será nula. O significado desta restrição é, simplesmente, que toda posição  $k$  deve ser ocupada por algum pedido. Note que haverá uma expressão (ou restrição) escrita para cada posição  $k$ . Há um somatório de todos os pedidos  $p$ , impondo que apenas para um destes pedidos  $p$  ocorrerá  $ordem_{p,k} = 1$ . Na restrição (3), observa-se que haverá uma expressão (ou restrição) escrita para cada pedido  $p$ . Como a variável  $ordem_{p,k}$  será igual a um sempre que o pedido  $p$  ocupar a posição  $k$  da sequência de produção, esta restrição forçará que o número de posições  $k$  ocupadas pelo pedido

$p$  seja exatamente igual à um (a demanda deste pedido), para o *mix* de produção considerado.

A expressão (4) define o tempo de processamento do pedido que ocupará a posição  $k$  (da sequência). Esta equação é necessária porque se sabe o tempo de processamento de cada pedido, mas não é sabido, a princípio, qual será a posição ocupada por um pedido. Assim, é necessário saber qual é o pedido  $p$  que ocupará a posição  $k$  (definido por:  $ordem_{p,k} = 1$ ) para definir a variável  $dur_k$ . Além disso, é preciso considerar os tempos de *setup* devido às trocas, respectivamente, do clichê (com duração de 10 minutos), do cilindro (com duração de 15 minutos) e da cor (com duração de 15 minutos). Como são usadas variáveis binárias para identificar se ocorrerá ou não *setup* antes do processamento do pedido na posição  $k$ , as variáveis binárias são multiplicadas por seus respectivos tempos de *setup* (considerados constantes).

A restrição (5) impõe que o início do processamento de um pedido que ocupa a posição  $k$  ocorrerá no instante de fim do processamento do pedido na posição anterior ( $inicio_{k-1} + dur_{k-1}$ ) somado ao tempo de ociosidade ( $ociosi_k$ ) entre o fim do processamento do pedido anterior e o início do processamento do pedido que ocupa a posição  $k$ .

A restrição (6) impõe que o início do processamento do pedido que ocupa a posição  $k$  será sempre maior ou igual ao instante de recebimento do pedido. Como não se sabe *a priori* qual pedido  $p$  ocupará a posição  $k$  da sequência de produção, o instante de recebimento do pedido  $p$  ( $ini\_ped_p$ ) é multiplicado pela variável binária que identifica se ocorrerá (então,  $ordem_{p,k} = 1$ ) ou não (neste caso,  $ordem_{p,k} = 0$ )

A restrição (7) identifica o valor da antecipação ( $antecipa_k$ ) na conclusão do pedido na posição  $k$  da sequência de produção. Para identificar o prazo de conclusão do pedido ( $prazo_p$ ) que ocupará a posição  $k$ , precisamos saber qual é o pedido  $p$  que ocupará a posição  $k$  (definido por:  $ordem_{p,k} = 1$ ). Para identificar a antecipação, será preciso identificar a diferença entre o prazo de conclusão do pedido na posição  $k$  e o fim do processamento deste pedido acrescido da tolerância de antecipação ( $inicio_k + dur_k + tolerado$ ), onde *tolerado* indica a duração da antecipação na conclusão dos pedidos que será considerada tolerável, no caso tratado, cinco (5) dias. Na restrição (8), o valor do atraso ( $atraso_k$ ) na conclusão do

pedido na posição  $k$  da sequência de produção é dado pela diferença entre o fim do processamento deste pedido e o prazo de conclusão do pedido na posição  $k$ .

A variável binária  $che_k$ , que identifica a ocorrência de *setup* por troca do clichê, será 1 se, e somente se, não ocorrer *setups* por troca do cilindro (identificado se  $cil_k = 0$ ) e da cor (identificado se  $cor_k = 0$ ), conforme expresso na restrição (9). Na restrição (10), o parâmetro  $cil\_pro_{i,p}$  associa um valor ao cilindro usado na produção do produto  $i$  no pedido  $p$ , ou seja, cada cilindro assume um valor distinto e único. Ao definir qual pedido  $p$  ocupará a posição  $k$  (quando  $ordem_{p,k} = 1$ ), identifica-se através do conjunto  $i \in Pr\_cil_p$  qual é o produto  $i$  associado ao pedido  $p$  e, conseqüentemente, qual cilindro será usado ( $cil\_pro_{i,p}$ ). Se os cilindros usados nas posições  $k-1$  e  $k$  são diferentes, requerendo *setup*, a diferença no lado direito da restrição (10) será maior que zero, forçando que a variável binária  $cil_k$  assuma o valor 1. Nesta restrição,  $M$  é uma constante que assume o valor do número de diferentes cilindros existentes. A explicação da restrição (11), que controla a ocorrência de *setup* devido à mudança de cor entre os pedidos nas posições  $k-1$  e  $k$ , é análoga à explicação da restrição (10).

## 5 RESULTADOS

Após a aplicação do modelo matemático para a solução do problema de sequenciamento, o resultado encontrado foi notório. Com um re-sequenciamento da produção, foi possível verificar uma grande diferença no atendimento das entregas ao comparar o cenário teórico inicial e final.

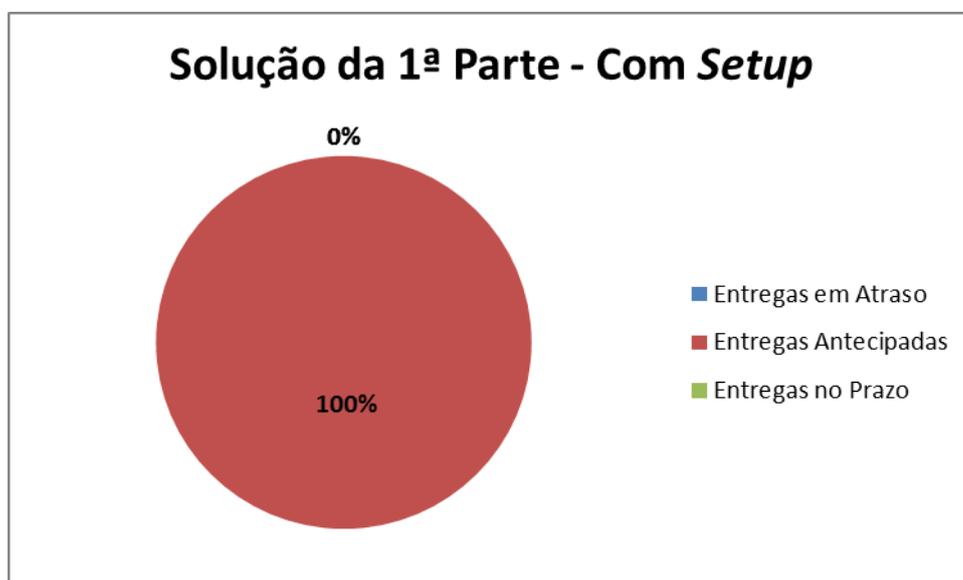
Como a tentativa de solucionar o problema inteiro se mostrou computacionalmente muito complexa e demorada, optou-se pela decomposição do problema em duas partes. Com a decomposição do problema, não foi possível atingir a solução ótima, mas o resultado atingido mostrou-se de boa qualidade.

Foram feitas duas simulações diferentes. A primeira, além de buscar um sequenciamento ótimo para a produção, também buscou uma redução do número de *setups* realizados durante o sequenciamento, ou seja, tentou-se minimizar o número de trocas que o operador deve realizar para atender as demandas solicitadas e os prazos de entrega. Na segunda simulação, o número de *setups* não foi contemplado na função objetivo, ou seja, o operador poderá realizar vários *setups* além do mínimo possível, porém os prazos de entrega ainda seriam atendidos.

Como o problema apresentado tem 91 pedidos, a primeira parte contém os 45 primeiros e a segunda parte o restante.

### 5.1.1 Solução da Parte 1 Com Setup

A análise do resultado da figura 10 mostra que não haveriam atrasos no sequenciamento proposto e todos os pedidos seriam entregues com antecipações. Como as antecipações foram limitadas dentro do prazo de no máximo 5 dias, elas não causariam transtornos para a empresa. A tabela 4 mostra os resultados obtidos diretamente do Gams, onde há intervalos de ociosidade (medidos em minutos), o que mostra que a máquina teria mais capacidade do que estava sendo solicitada. Esses intervalos foram gerados para não exceder o limite de 5 dias de antecipações.



**Figura 10 - 1ª Parte Com Setup**

Fonte: Autoria Própria

Tabela 3 - Solução da Parte 1 Com Setup

| Ordem | Pedido | Prod | Recebido  | Início    | Fim       | Prazo     | Antecipa | Ociosid | Atraso |
|-------|--------|------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|---------|--------|
| 1     | 7      | 1351 | 0( 0)     | 1056.250  | 1246.000  | 7( 4361)  | 5.00     | 1056.25 |        |
| 2     | 3      | 1387 | 0( 0)     | 1246.000  | 1438.550  | 5( 3115)  | 2.69     | 0.00    |        |
| 3     | 4      | 1349 | 0( 0)     | 1438.550  | 1638.160  | 7( 4361)  | 4.37     | 0.00    |        |
| 4     | 1      | 1348 | 0( 0)     | 1638.160  | 1837.650  | 5( 3115)  | 2.05     | 0.00    |        |
| 5     | 5      | 1466 | 0( 0)     | 1837.650  | 2073.420  | 7( 4361)  | 3.67     | 0.00    |        |
| 6     | 2      | 1350 | 0( 0)     | 2073.420  | 2270.350  | 5( 3115)  | 1.36     | 0.00    |        |
| 7     | 8      | 1410 | 0( 0)     | 3313.810  | 3738.000  | 11( 6853) | 5.00     | 1043.46 |        |
| 8     | 6      | 1499 | 0( 0)     | 3738.000  | 3886.120  | 7( 4361)  | 0.76     | 0.00    |        |
| 9     | 11     | 1543 | 0( 0)     | 3886.120  | 4230.640  | 11( 6853) | 4.21     | 0.00    |        |
| 10    | 10     | 1701 | 0( 0)     | 4230.640  | 4481.610  | 11( 6853) | 3.81     | 0.00    |        |
| 11    | 12     | 1706 | 0( 0)     | 4748.450  | 4984.000  | 13( 8099) | 5.00     | 266.84  |        |
| 12    | 9      | 1664 | 0( 0)     | 4984.000  | 5206.550  | 11( 6853) | 2.64     | 0.00    |        |
| 13    | 14     | 1456 | 0( 0)     | 7220.110  | 7476.000  | 17(10591) | 5.00     | 2013.56 |        |
| 14    | 13     | 1456 | 0( 0)     | 7476.000  | 7711.880  | 13( 8099) | 0.62     | 0.00    |        |
| 15    | 16     | 1508 | 0( 0)     | 7764.710  | 8099.000  | 18(11214) | 5.00     | 52.83   |        |
| 16    | 17     | 1348 | 0( 0)     | 8514.010  | 8722.000  | 19(11837) | 5.00     | 415.01  |        |
| 17    | 15     | 1348 | 0( 0)     | 8722.000  | 8973.470  | 17(10591) | 2.60     | 0.00    |        |
| 18    | 18     | 1466 | 0( 0)     | 8973.470  | 9210.970  | 19(11837) | 4.22     | 0.00    |        |
| 19    | 24     | 1469 | 0( 0)     | 10951.450 | 11214.000 | 23(14329) | 5.00     | 1740.48 |        |
| 20    | 20     | 1468 | 0( 0)     | 11214.000 | 11438.960 | 23(14329) | 4.64     | 0.00    |        |
| 21    | 22     | 1665 | 0( 0)     | 11438.960 | 11696.000 | 23(14329) | 4.23     | 0.00    |        |
| 22    | 19     | 1703 | 0( 0)     | 11696.000 | 11952.660 | 20(12460) | 0.81     | 0.00    |        |
| 23    | 26     | 1466 | 0( 0)     | 12217.140 | 12460.000 | 25(15575) | 5.00     | 264.48  |        |
| 24    | 23     | 1348 | 0( 0)     | 12460.000 | 12643.310 | 23(14329) | 2.71     | 0.00    |        |
| 25    | 21     | 1348 | 0( 0)     | 12643.310 | 12839.060 | 23(14329) | 2.39     | 0.00    |        |
| 26    | 30     | 1469 | 21(13083) | 14685.000 | 14952.000 | 29(18067) | 5.00     | 1845.94 |        |
| 27    | 28     | 1472 | 21(13083) | 14952.000 | 15113.080 | 29(18067) | 4.74     | 0.00    |        |
| 28    | 29     | 1478 | 21(13083) | 15113.080 | 15236.590 | 29(18067) | 4.54     | 0.00    |        |
| 29    | 25     | 1553 | 22(13706) | 15236.590 | 15407.040 | 25(15575) | 0.27     | 0.00    |        |
| 30    | 27     | 1553 | 22(13706) | 15407.040 | 15606.310 | 29(18067) | 3.95     | 0.00    |        |
| 31    | 32     | 1505 | 28(17444) | 17444.000 | 17696.140 | 31(19313) | 2.60     | 1837.69 |        |
| 32    | 31     | 1553 | 28(17444) | 17696.140 | 17847.740 | 31(19313) | 2.35     | 0.00    |        |
| 33    | 33     | 1664 | 23(14329) | 17847.740 | 18071.290 | 31(19313) | 1.99     | 0.00    |        |
| 34    | 35     | 1387 | 23(14329) | 18071.290 | 18330.850 | 31(19313) | 1.58     | 0.00    |        |
| 35    | 34     | 1466 | 21(13083) | 18330.850 | 18612.560 | 31(19313) | 1.12     | 0.00    |        |
| 36    | 36     | 1348 | 22(13706) | 18612.560 | 18809.780 | 31(19313) | 0.81     | 0.00    |        |
| 37    | 42     | 1469 | 21(13083) | 18809.780 | 19079.800 | 35(21805) | 4.37     | 0.00    |        |
| 38    | 41     | 1348 | 22(13706) | 19079.800 | 19219.320 | 35(21805) | 4.15     | 0.00    |        |
| 39    | 45     | 1466 | 21(13083) | 19698.300 | 19936.000 | 37(23051) | 5.00     | 478.98  |        |
| 40    | 38     | 1544 | 23(14329) | 19936.000 | 20218.610 | 35(21805) | 2.55     | 0.00    |        |
| 41    | 39     | 1587 | 23(14329) | 20218.610 | 20374.930 | 35(21805) | 2.30     | 0.00    |        |

|    |    |      |            |           |           |            |      |         |  |
|----|----|------|------------|-----------|-----------|------------|------|---------|--|
| 42 | 43 | 1544 | 23 (14329) | 20374.930 | 20653.090 | 37 (23051) | 3.85 | 0.00    |  |
| 43 | 40 | 1572 | 23 (14329) | 20653.090 | 20784.990 | 35 (21805) | 1.64 | 0.00    |  |
| 44 | 37 | 1664 | 23 (14329) | 20784.990 | 21002.680 | 35 (21805) | 1.29 | 0.00    |  |
| 45 | 44 | 1664 | 23 (14329) | 22205.900 | 22428.000 | 41 (25543) | 5.00 | 1203.22 |  |

Fonte: Autoria Própria

### 5.1.2 Solução da Parte 2 Com Setup

A análise do resultado da Figura 11 mostra que a solução para a segunda parte com *setup* também atenderia os prazos de entrega sem a ocorrência de qualquer atraso e ainda tendo algumas entregas sendo realizadas no prazo correto. Assim como na primeira parte, as entregas antecipadas não excedem o limite de 5 dias. A tabela 5 mostra os resultados do Gams, onde também há tempos de ociosidade, o que corrobora a afirmação de que a máquina ainda teria capacidade de absorver mais demanda.

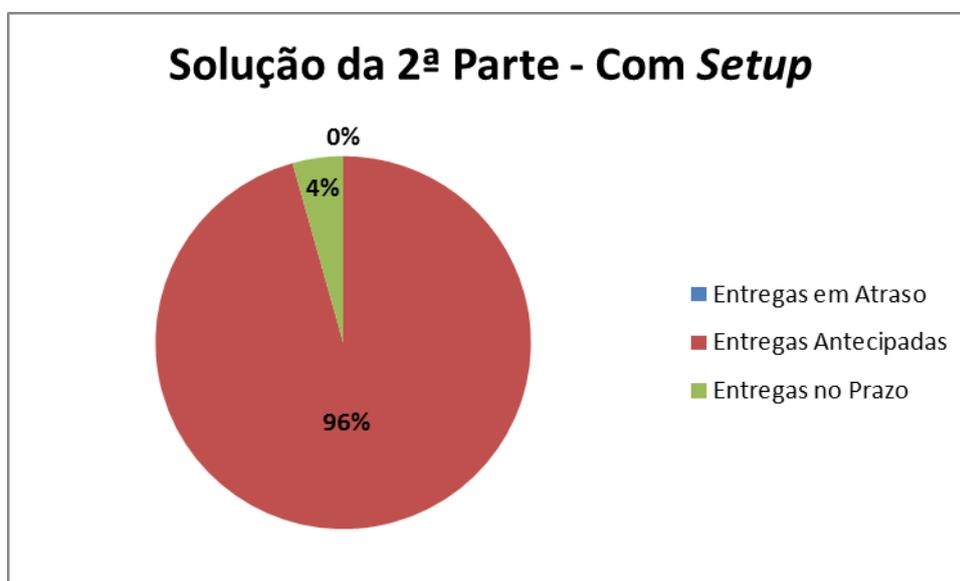


Figura 11 - 2ª Parte Com Setup

Fonte: Autoria Própria

Tabela 4 - Solução da Parte 2 Com Setup

| Ordem | Pedido | Prod | Recebido  | Início     | Fim       | Prazo     | Antecipa | Ociosid      | Atraso |
|-------|--------|------|-----------|------------|-----------|-----------|----------|--------------|--------|
| 46    | 51     | 1349 | 23(14329) | 23404.800  | 23674.000 | 43(26789) | 5.00     | 23404.80     |        |
| 47    | 52     | 1497 | 23(14329) | 23674.000  | 23903.380 | 43(26789) | 4.63     | 0.00         |        |
| 48    | 47     | 1497 | 23(14329) | 23903.380  | 24148.300 | 41(25543) | 2.24     | 0.00         |        |
| 49    | 48     | 1544 | 23(14329) | 24148.300  | 24428.020 | 43(26789) | 3.79     | 0.00         |        |
| 50    | 46     | 1664 | 23(14329) | 24428.020  | 24655.120 | 41(25543) | 1.43     | 0.00         |        |
| 51    | 49     | 1505 | 28(17444) | 24655.120  | 24911.190 | 43(26789) | 3.01     | 0.00         |        |
| 52    | 50     | 1348 | 23(14329) | 24.911.190 | 25194.910 | 43(26789) | 2.56     | 0.00         |        |
| 53    | 53     | 1396 | 46(28658) | 28658.000  | 28860.820 | 47(29281) | 0.67     | 3463.09      |        |
| 54    | 59     | 1410 | 18(11214) | 28999.300  | 29904.000 | 60(37380) | 12.00    | 138.48       |        |
| 55    | 56     | 1349 | 48(29904) | 29904.000  | 30103.110 | 49(30527) | 0.68     | 0.00         |        |
| 56    | 55     | 1664 | 48(29904) | 30103.110  | 30338.530 | 49(30527) | 0.30     | 0.00         |        |
| 57    | 54     | 1553 | 48(29904) | 30338.530  | 30665.950 | 49(30527) | 0.00     | 0.00<br>0.22 |        |
| 58    | 57     | 1553 | 49(30527) | 30860.450  | 31150.000 | 55(34265) | 5.00     | 194.50       |        |
| 59    | 58     | 1505 | 49(30527) | 31150.000  | 31348.100 | 55(34265) | 4.68     | 0.00         |        |
| 60    | 64     | 1505 | 49(30527) | 34687.140  | 34888.000 | 61(38003) | 5.00     | 3339.04      |        |
| 61    | 63     | 1664 | 49(30527) | 34888.000  | 35109.750 | 61(38003) | 4.64     | 0.00         |        |
| 62    | 69     | 1453 | 37(23051) | 35343.130  | 35511.000 | 62(38626) | 5.00     | 233.38       |        |
| 63    | 68     | 1453 | 37(23051) | 35511.000  | 35673.710 | 62(38626) | 4.74     | 0.00         |        |
| 64    | 61     | 1410 | 18(11214) | 35673.710  | 35982.620 | 60(37380) | 2.24     | 0.00         |        |
| 65    | 60     | 1497 | 49(30527) | 35982.620  | 36211.260 | 60(37380) | 1.88     | 0.00         |        |
| 66    | 66     | 1466 | 18(11214) | 36211.260  | 36402.180 | 61(38003) | 2.57     | 0.00         |        |
| 67    | 65     | 1504 | 49(30527) | 36402.180  | 36663.290 | 61(38003) | 2.15     | 0.00         |        |
| 68    | 67     | 1504 | 49(30527) | 36663.290  | 36926.400 | 62(38626) | 2.73     | 0.00         |        |
| 69    | 62     | 946  | 49(30527) | 36926.400  | 37094.900 | 61(38003) | 1.46     | 0.00         |        |
| 70    | 74     | 1486 | 49(30527) | 39061.250  | 39249.000 | 68(42364) | 5.00     | 1966.35      |        |
| 71    | 73     | 1486 | 49(30527) | 39249.000  | 39450.840 | 68(42364) | 4.68     | 0.00         |        |
| 72    | 76     | 1512 | 49(30527) | 39450.840  | 39591.820 | 68(42364) | 4.45     | 0.00         |        |
| 73    | 78     | 1505 | 49(30527) | 40288.730  | 40495.000 | 70(43610) | 5.00     | 696.91       |        |
| 74    | 81     | 1505 | 49(30527) | 40919.490  | 41118.000 | 71(44233) | 5.00     | 424.49       |        |
| 75    | 75     | 1501 | 49(30527) | 41118.000  | 41255.400 | 68(42364) | 1.78     | 0.00         |        |
| 76    | 70     | 1352 | 49(30527) | 41255.400  | 41422.110 | 67(41741) | 0.51     | 0.00         |        |
| 77    | 71     | 1466 | 18(11214) | 41422.110  | 41653.600 | 67(41741) | 0.14     | 0.00         |        |
| 78    | 80     | 1466 | 18(11214) | 41653.600  | 41802.650 | 71(44233) | 3.90     | 0.00         |        |
| 79    | 72     | 1348 | 49(30527) | 41802.650  | 41963.720 | 68(42364) | 0.64     | 0.00         |        |
| 80    | 82     | 1468 | 49(30527) | 41963.720  | 42244.960 | 71(44233) | 3.19     | 0.00         |        |
| 81    | 85     | 1469 | 18(11214) | 42244.960  | 42565.730 | 73(45479) | 4.68     | 0.00         |        |
| 82    | 79     | 1453 | 49(30527) | 42565.730  | 42749.440 | 71(44233) | 2.38     | 0.00         |        |
| 83    | 77     | 1505 | 49(30527) | 42749.440  | 42949.590 | 69(42987) | 0.06     | 0.00         |        |
| 84    | 83     | 1665 | 49(30527) | 42949.590  | 43076.920 | 72(44856) | 2.86     | 0.00         |        |
| 85    | 84     | 1544 | 49(30527) | 43076.920  | 43367.820 | 72(44856) | 2.39     | 0.00         |        |
| 86    | 91     | 1348 | 42(26166) | 43367.820  | 43748.550 | 75(46725) | 4.78     | 0.00         |        |

|    |    |      |            |           |           |            |      |         |  |
|----|----|------|------------|-----------|-----------|------------|------|---------|--|
| 87 | 87 | 1348 | 49 (30527) | 43748.550 | 43918.500 | 74 (46102) | 3.50 | 0.00    |  |
| 88 | 86 | 1348 | 42 (26166) | 43918.500 | 44087.200 | 74 (46102) | 3.23 | 0.00    |  |
| 89 | 90 | 1410 | 18 (11214) | 44087.200 | 44409.010 | 74 (46102) | 2.72 | 0.00    |  |
| 90 | 88 | 1752 | 48 (29904) | 44409.010 | 44549.300 | 74 (46102) | 2.49 | 0.00    |  |
| 91 | 89 | 1753 | 48 (29904) | 46006.770 | 46102.000 | 74 (46102) | 0.00 | 1457.47 |  |

Fonte: Autoria Própria

### 5.1.3 Solução da Parte 1 Sem Setup

A Figura 12 mostra que, se o número de *setups* não for levado em consideração para um sequenciamento ótimo, ainda sim nenhum pedido seria atendido em atraso. A tabela 6 mostra que 44 pedidos seriam atendidos antecipadamente e somente 1 pedido seria atendido no prazo correto. Como já mencionado, as antecipações não causariam transtornos à empresa, já que o limite de no máximo 5 dias de antecipação é aceitável.

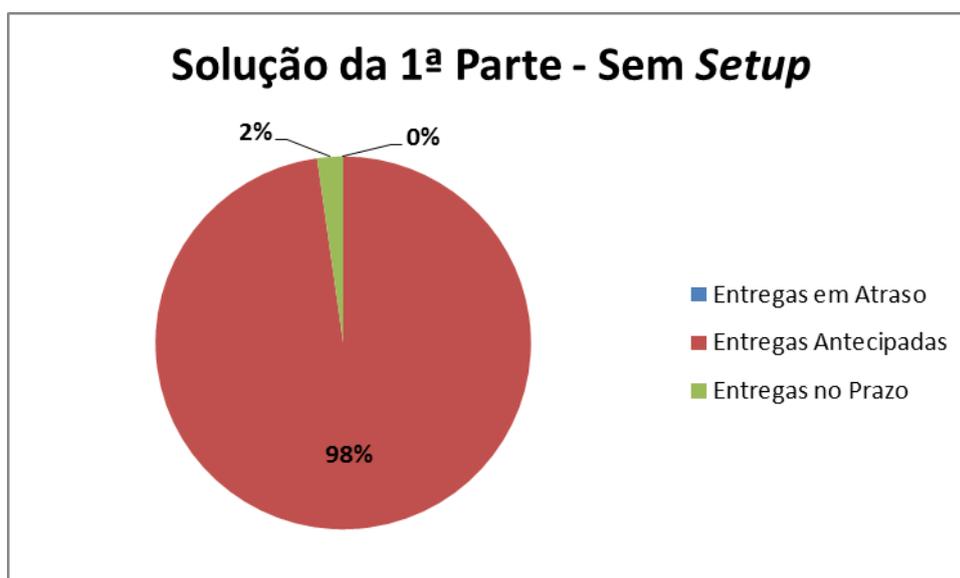


Figura 12 – 1ª Parte Sem Setup

Fonte: Autoria Própria

Tabela 5 – Solução da Parte 1 Sem Setup

| Ordem | Pedido | Prod | Recebido  | Início    | Fim       | Prazo     | Antecipa | Ociosid | Atraso |
|-------|--------|------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|---------|--------|
| 1     | 1      | 1348 | 0( 0)     | 0.000     | 3.075     | 5( 3115)  | 5.00     | 0.00    |        |
| 2     | 2      | 1350 | 0( 0)     | 3.075     | 46.190    | 5( 3115)  | 4.93     | 0.00    |        |
| 3     | 3      | 1387 | 0( 0)     | 46.190    | 89.233    | 5( 3115)  | 4.86     | 0.00    |        |
| 4     | 4      | 1349 | 0( 0)     | 1202.840  | 1246.000  | 7( 4361)  | 5.00     | 1113.61 |        |
| 5     | 5      | 1466 | 0( 0)     | 1246.000  | 1289.763  | 7( 4361)  | 4.93     | 0.00    |        |
| 6     | 6      | 1499 | 0( 0)     | 1289.763  | 1331.981  | 7( 4361)  | 4.86     | 0.00    |        |
| 7     | 7      | 1351 | 0( 0)     | 1331.981  | 1375.144  | 7( 4361)  | 4.79     | 0.00    |        |
| 8     | 8      | 1410 | 0( 0)     | 3691.180  | 3738.000  | 11( 6853) | 5.00     | 2316.04 |        |
| 9     | 9      | 1664 | 0( 0)     | 3738.000  | 3781.459  | 11( 6853) | 4.93     | 0.00    |        |
| 10    | 10     | 1701 | 0( 0)     | 3781.459  | 3825.475  | 11( 6853) | 4.86     | 0.00    |        |
| 11    | 11     | 1543 | 0( 0)     | 3825.475  | 3870.967  | 11( 6853) | 4.79     | 0.00    |        |
| 12    | 12     | 1706 | 0( 0)     | 4940.241  | 4984.000  | 13( 8099) | 5.00     | 1069.27 |        |
| 13    | 13     | 1456 | 0( 0)     | 4984.000  | 5027.765  | 13( 8099) | 4.93     | 0.00    |        |
| 14    | 14     | 1456 | 0( 0)     | 7431.985  | 7476.000  | 17(10591) | 5.00     | 2404.22 |        |
| 15    | 15     | 1348 | 0( 0)     | 7476.000  | 7520.025  | 17(10591) | 4.93     | 0.00    |        |
| 16    | 16     | 1508 | 0( 0)     | 8053.595  | 8099.000  | 18(11214) | 5.00     | 533.57  |        |
| 17    | 17     | 1348 | 0( 0)     | 8679.034  | 8722.000  | 19(11837) | 5.00     | 580.03  |        |
| 18    | 18     | 1466 | 0( 0)     | 8722.000  | 8765.792  | 19(11837) | 4.93     | 0.00    |        |
| 19    | 19     | 1703 | 0( 0)     | 9300.972  | 9345.000  | 20(12460) | 5.00     | 535.18  |        |
| 20    | 20     | 1468 | 0( 0)     | 11170.417 | 11214.000 | 23(14329) | 5.00     | 1825.42 |        |
| 21    | 21     | 1348 | 0( 0)     | 11214.000 | 11257.096 | 23(14329) | 4.93     | 0.00    |        |
| 22    | 22     | 1665 | 0( 0)     | 11257.096 | 11300.880 | 23(14329) | 4.86     | 0.00    |        |
| 23    | 23     | 1348 | 0( 0)     | 11300.880 | 11343.768 | 23(14329) | 4.79     | 0.00    |        |
| 24    | 24     | 1469 | 0( 0)     | 11343.768 | 11387.977 | 23(14329) | 4.72     | 0.00    |        |
| 25    | 25     | 1553 | 22(13706) | 13706.000 | 13748.341 | 25(15575) | 2.93     | 2318.02 |        |
| 26    | 26     | 1466 | 0( 0)     | 13748.341 | 13792.139 | 25(15575) | 2.86     | 0.00    |        |
| 27    | 27     | 1553 | 22(13706) | 14908.846 | 14952.000 | 29(18067) | 5.00     | 1116.71 |        |
| 28    | 28     | 1472 | 21(13083) | 14952.000 | 14994.518 | 29(18067) | 4.93     | 0.00    |        |
| 29    | 29     | 1478 | 21(13083) | 14994.518 | 15036.410 | 29(18067) | 4.86     | 0.00    |        |
| 30    | 30     | 1469 | 21(13083) | 15036.410 | 15080.693 | 29(18067) | 4.79     | 0.00    |        |
| 31    | 31     | 1553 | 28(17444) | 17444.000 | 17486.360 | 31(19313) | 2.93     | 2363.31 |        |
| 32    | 32     | 1505 | 28(17444) | 17486.360 | 17530.396 | 31(19313) | 2.86     | 0.00    |        |
| 33    | 33     | 1664 | 23(14329) | 17530.396 | 17573.872 | 31(19313) | 2.79     | 0.00    |        |
| 34    | 34     | 1466 | 21(13083) | 17573.872 | 17618.317 | 31(19313) | 2.72     | 0.00    |        |
| 35    | 35     | 1387 | 23(14329) | 17618.317 | 17662.143 | 31(19313) | 2.65     | 0.00    |        |
| 36    | 36     | 1348 | 22(13706) | 17662.143 | 17705.263 | 31(19313) | 2.58     | 0.00    |        |
| 37    | 37     | 1664 | 23(14329) | 18646.622 | 18690.000 | 35(21805) | 5.00     | 941.36  |        |
| 38    | 38     | 1544 | 23(14329) | 18690.000 | 18734.460 | 35(21805) | 4.93     | 0.00    |        |
| 39    | 39     | 1587 | 23(14329) | 18734.460 | 18776.899 | 35(21805) | 4.86     | 0.00    |        |
| 40    | 40     | 1572 | 23(14329) | 18776.899 | 18818.931 | 35(21805) | 4.79     | 0.00    |        |
| 41    | 41     | 1348 | 22(13706) | 18818.931 | 18861.089 | 35(21805) | 4.73     | 0.00    |        |

|    |    |      |            |           |           |            |      |         |  |
|----|----|------|------------|-----------|-----------|------------|------|---------|--|
| 42 | 42 | 1469 | 21 (13083) | 18861.089 | 18905.423 | 35 (21805) | 4.65 | 0.00    |  |
| 43 | 43 | 1544 | 23 (14329) | 19891.531 | 19936.000 | 37 (23051) | 5.00 | 986.11  |  |
| 44 | 44 | 1664 | 23 (14329) | 19936.000 | 19979.742 | 37 (23051) | 4.93 | 0.00    |  |
| 45 | 45 | 1466 | 21 (13083) | 23007.205 | 23051.000 | 37 (23051) | 0.00 | 3027.46 |  |

Fonte: Autoria Própria

#### 5.1.4 Solução da Parte 2 Sem Setup

A figura 13 mostra que a solução para segunda parte do sequenciamento sem setup, tem como resultado o cumprimento de todos os prazos de entrega, onde, de acordo com a Tabela 7, 42 entregas seriam antecipadas e 4 entregas seriam feitas no prazo solicitado pelo cliente. Períodos com ociosidades também são gerados.

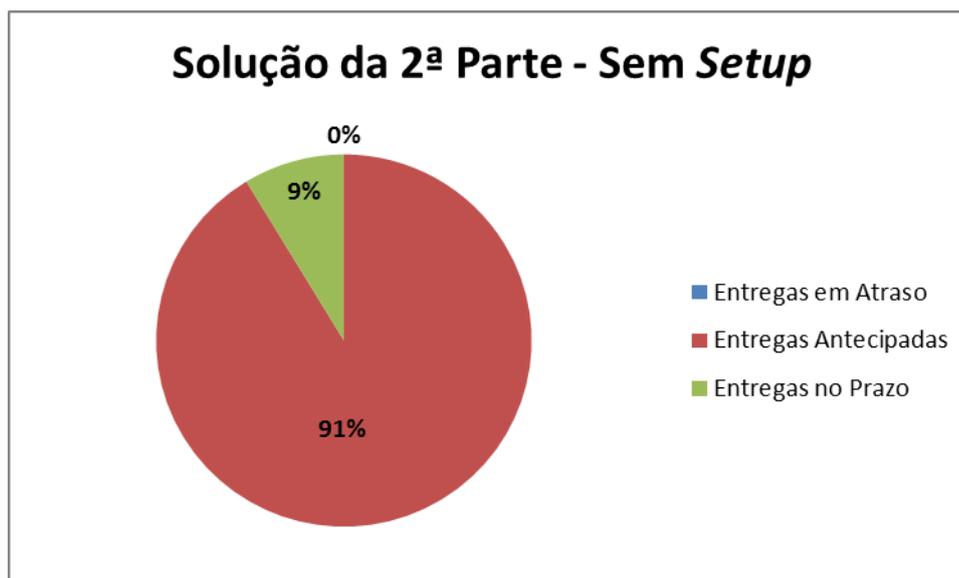


Figura 13 – 2ª Parte Sem Setup

Fonte: Autoria Própria

Tabela 6 – Solução da Parte 2 Sem Setup

| Ordem | Pedido | Prod | Recebido   | Início    | Fim       | Prazo      | Antecipa | Ociosid  | Atraso |
|-------|--------|------|------------|-----------|-----------|------------|----------|----------|--------|
| 46    | 47     | 1497 | 23 (14329) | 22153.080 | 22428.000 | 41 (25543) | 5.00     | 22153.08 |        |
| 47    | 48     | 1544 | 23 (14329) | 23364.280 | 23674.000 | 43 (26789) | 5.00     | 936.28   |        |
| 48    | 46     | 1664 | 23 (14329) | 23674.000 | 23926.100 | 41 (25543) | 2.60     | 0.00     |        |
| 49    | 52     | 1497 | 23 (14329) | 23926.100 | 24165.480 | 43 (26789) | 4.21     | 0.00     |        |
| 50    | 50     | 1348 | 23 (14329) | 24165.480 | 24459.200 | 43 (26789) | 3.74     | 0.00     |        |
| 51    | 49     | 1505 | 28 (17444) | 24459.200 | 24740.270 | 43 (26789) | 3.29     | 0.00     |        |
| 52    | 51     | 1349 | 23 (14329) | 24740.270 | 25049.470 | 43 (26789) | 2.79     | 0.00     |        |
| 53    | 53     | 1396 | 46 (28658) | 28658.000 | 28860.820 | 47 (29281) | 0.67     | 3608.53  |        |
| 54    | 61     | 1410 | 18 (11214) | 29412.220 | 29721.130 | 60 (37380) | 12.29    | 551.40   |        |
| 55    | 69     | 1453 | 37 (23051) | 29721.130 | 29904.000 | 62 (38626) | 14.00    | 0.00     |        |
| 56    | 54     | 1553 | 48 (29904) | 29904.000 | 30226.420 | 49 (30527) | 0.48     | 0.00     |        |
| 57    | 55     | 1664 | 48 (29904) | 30226.420 | 30446.840 | 49 (30527) | 0.13     | 0.00     |        |
| 58    | 56     | 1349 | 48 (29904) | 30446.840 | 30660.950 | 49 (30527) | 0.22     | 0.00     |        |
| 59    | 62     | 946  | 49 (30527) | 32659.150 | 32832.650 | 61 (38003) | 8.30     | 1998.20  |        |
| 60    | 57     | 1553 | 49 (30527) | 32832.650 | 33127.200 | 55 (34265) | 1.83     | 0.00     |        |
| 61    | 59     | 1410 | 18 (11214) | 33127.200 | 34046.900 | 60 (37380) | 5.35     | 0.00     |        |
| 62    | 58     | 1505 | 49 (30527) | 34046.900 | 34265.000 | 55 (34265) | 0.00     | 0.00     |        |
| 63    | 60     | 1497 | 49 (30527) | 34265.000 | 34518.640 | 60 (37380) | 4.59     | 0.00     |        |
| 64    | 67     | 1504 | 49 (30527) | 35227.890 | 35511.000 | 62 (38626) | 5.00     | 709.25   |        |
| 65    | 66     | 1466 | 18 (11214) | 35511.000 | 35726.920 | 61 (38003) | 3.65     | 0.00     |        |
| 66    | 63     | 1664 | 49 (30527) | 35726.920 | 35963.670 | 61 (38003) | 3.27     | 0.00     |        |
| 67    | 64     | 1505 | 49 (30527) | 35963.670 | 36169.530 | 61 (38003) | 2.94     | 0.00     |        |
| 68    | 75     | 1501 | 49 (30527) | 37439.740 | 37577.140 | 68 (42364) | 7.68     | 1270.21  |        |
| 69    | 65     | 1504 | 49 (30527) | 37577.140 | 37833.250 | 61 (38003) | 0.27     | 0.00     |        |
| 70    | 71     | 1466 | 18 (11214) | 37833.250 | 38069.740 | 67 (41741) | 5.89     | 0.00     |        |
| 71    | 73     | 1486 | 49 (30527) | 38069.740 | 38276.580 | 68 (42364) | 6.56     | 0.00     |        |
| 72    | 70     | 1352 | 49 (30527) | 38276.580 | 38443.290 | 67 (41741) | 5.29     | 0.00     |        |
| 73    | 68     | 1453 | 37 (23051) | 38443.290 | 38626.000 | 62 (38626) | 0.00     | 0.00     |        |
| 74    | 74     | 1486 | 49 (30527) | 39046.250 | 39249.000 | 68 (42364) | 5.00     | 420.25   |        |
| 75    | 78     | 1505 | 49 (30527) | 40278.730 | 40495.000 | 70 (43610) | 5.00     | 1029.73  |        |
| 76    | 82     | 1468 | 49 (30527) | 40821.760 | 41118.000 | 71 (44233) | 5.00     | 326.76   |        |
| 77    | 76     | 1512 | 49 (30527) | 41118.000 | 41258.980 | 68 (42364) | 1.77     | 0.00     |        |
| 78    | 79     | 1453 | 49 (30527) | 41258.980 | 41427.690 | 71 (44233) | 4.50     | 0.00     |        |
| 79    | 77     | 1505 | 49 (30527) | 41427.690 | 41632.840 | 69 (42987) | 2.17     | 0.00     |        |
| 80    | 81     | 1505 | 49 (30527) | 41632.840 | 41836.350 | 71 (44233) | 3.85     | 0.00     |        |
| 81    | 80     | 1466 | 18 (11214) | 41836.350 | 42005.400 | 71 (44233) | 3.58     | 0.00     |        |
| 82    | 72     | 1348 | 49 (30527) | 42005.400 | 42166.470 | 68 (42364) | 0.32     | 0.00     |        |
| 83    | 90     | 1410 | 18 (11214) | 42640.190 | 42987.000 | 74 (46102) | 5.00     | 473.72   |        |
| 84    | 88     | 1752 | 48 (29904) | 42987.000 | 43127.290 | 74 (46102) | 4.77     | 0.00     |        |
| 85    | 86     | 1348 | 42 (26166) | 43127.290 | 43315.990 | 74 (46102) | 4.47     | 0.00     |        |
| 86    | 84     | 1544 | 49 (30527) | 43315.990 | 43606.890 | 72 (44856) | 2.00     | 0.00     |        |

|    |    |      |            |           |           |            |      |         |  |
|----|----|------|------------|-----------|-----------|------------|------|---------|--|
| 87 | 83 | 1665 | 49 (30527) | 43606.890 | 43734.220 | 72 (44856) | 1.80 | 0.00    |  |
| 88 | 89 | 1753 | 48 (29904) | 43734.220 | 43834.450 | 74 (46102) | 3.64 | 0.00    |  |
| 89 | 85 | 1469 | 18 (11214) | 43834.450 | 44175.220 | 73 (45479) | 2.09 | 0.00    |  |
| 90 | 87 | 1348 | 49 (30527) | 44175.220 | 44345.170 | 74 (46102) | 2.82 | 0.00    |  |
| 91 | 91 | 1348 | 42 (26166) | 46319.270 | 46725.000 | 75 (46725) | 0.00 | 1974.10 |  |

Fonte: Autoria Própria

### 5.1.5 Compilação dos Resultados

A Tabela 8 mostra a comparação dos resultados obtidos, onde a redução do número de *setups* só foi significativa para a 2ª parte sem setup, com uma diminuição de 8 *setups*. Já as entregas em atraso foram eliminadas, porém as antecipadas respondem por quase 100% das entregas. Com isso, houve a geração de tempos ociosos, que nos cenários independentes somam quase 5 dias, um a menos do que a jornada semanal de trabalho da empresa.

**Tabela 7 - Comparação dos Resultados Obtidos**

|                        | Cenário Inicial<br>1ª Parte | Cenário Inicial<br>2ª Parte | 1ª Parte Com<br>Setup | 2ª Parte Com<br>Setup | 1ª Parte Sem<br>Setup | 2ª Parte Sem<br>Setup |
|------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Nº de Setup Realizados | 44                          | 40                          | 20                    | 32                    | 90                    | 65                    |
| Ociosidade [dias]      | 0                           | 0                           | 2,82                  | 2,4                   | 4,7                   | 3,1                   |
| Entregas em Atraso     | 84%                         | 46%                         | 0                     | 0                     | 0                     | 0                     |
| Entregas no Prazo      | 13%                         | 48%                         | 0                     | 4%                    | 2%                    | 9%                    |
| Entregas Antecipadas   | 3%                          | 6%                          | 100%                  | 96%                   | 98%                   | 91%                   |

Fonte: Autoria Própria

## 6 CONCLUSÃO

Este estudo teve como objetivo analisar o sequenciamento da produção de uma indústria de embalagens, buscando o desenvolvimento de um modelo matemático que apresentasse um sequenciamento ótimo da produção. Através do desenvolvimento do modelo matemático os objetivos iniciais foram atingidos.

Ao analisar a demanda do primeiro trimestre de 2014 observou-se que um dos principais problemas era a quantidade de entregas feitas em atraso para o cliente. O sequenciamento da produção é feito manualmente pelo responsável do PCP, que até então desconhecia os tempos envolvidos no *setup* e o tempo que cada ordem de produção exige para ser produzida. Com isso, as tomadas de decisões eram muitas vezes feitas de modo incorreto, o que acarretava em grandes atrasos de produção. Após algumas simulações através do modelo matemático, observou-se que um re-sequenciamento da produção com tomadas de decisões baseadas em parâmetros pré-definidos, como prazo de entrega, penalizações de antecipações, atrasos e tempos de *setup*, conseguiu-se chegar a um sequenciamento que além de eliminar os atrasos, não gerou antecipações maiores do que máximo previsto de 5 dias. Além disso, ficou evidente que com o re-sequenciamento da produção, houve uma maior disponibilidade da capacidade produtiva, ou seja, do tempo disponível para produção. Esse tempo pode ser utilizado tanto para aumento da produtividade da empresa e conseqüentemente maior faturamento e lucro, como também pode ser usado para paradas planejadas de manutenções preventivas e preditivas, a fim de diminuir a probabilidade de paradas não programadas por quebra de equipamentos. Outra ação que podem ser tomada nesses tempos ociosos é o investimento em treinamento dos operadores. Assuntos referentes a qualidade, segurança no trabalho e métodos e processos são sempre importantes para a manutenção do bom funcionamento da empresa e cumprimento às normas adotadas.

Com os resultados encontrados, foi possível verificar a importância de um bom sequenciamento da produção em uma indústria. O estudo de caso analisado se mostrou eficaz na empresa de embalagens atingindo seus objetivos, utilizando modelagem matemática.

Todas as melhorias foram realizadas sem a necessidade de investimentos. Para trabalhos futuros, recomenda-se dar continuidade nos estudos de otimizações de sequenciamento e abrangê-lo para linhas de produção de embalagens que trabalhem com impressoras de 4, 6, 8 e 10 cores, muito comuns no mercado de embalagens. O processo de melhoria contínua deve ser sempre incessante e expandido.

## REFERÊNCIAS

ABRE, Associação Brasileira de Embalagens. Dados de Mercado: estudo macroeconômico da embalagem ABRE/FGV: apresentação fevereiro de 2014: a indústria de embalagem em 2013 e perspectivas para 2014. Disponível em: <http://www.abre.org.br/setor/dados-de-mercado/> Acesso em: 03 jul. 2014.

ANDRADE, F.F.D. **O método de melhorias PDCA**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica - EP: São Paulo, 2003.

ARIOLI, EDIR EDEMIR. **Análise e solução de problemas: o método da qualidade total com dinâmica de grupo**. 1. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1998.

BARDAL, Miguel, MALTRACA, Lais I., MICHELASSE, Daniely B. **A implantação da produção enxuta nas pequenas empresas**. Revista Eletrônica: Administração e Ciências Contábeis. nº 3. Curitiba, Faculdades Opet, 2010.

BURRIL, C. W.; LEDOLTER, J. **Achieving quality through continual improvement**. 1999.

CAMPOS, V. F. **TQC: Controle da Qualidade Total** (no estilo japonês). 8. ed. Nova Lima: INDG, 2004.

CAPARROZ, Fernando. Flexografia. Disponível em: <http://www.tecnologiagrafica.com.br/flexografia/anilox.htm>. Acesso em 24/06/2014.

CARPINETTI, L. C. R. **Gestão da Qualidade: conceitos e técnicas**. São Paulo: Atlas, 2010.

CORRÊA, Henrique L.; CORRÊA, Carlos A. **Administração de produção e operações: manufatura e serviços: uma abordagem estratégica**. São Paulo: Atlas, 2012.

COSTA, Ricardo S. **Pontualidade total na produção sob encomenda**. 1996. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

FEIGENBAUM, A. V. **Controle da Qualidade Total: gestão e sistemas**. Vol.1. São Paulo: Makron Books, 1994.

GAITHER, Norman; FRAZIER, Greg. **Administração de produção e operações**. 8. ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2002.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 1991

JAGER, B.; MINNIE, C.; JAGER, J. WELGEMOED, M.; BESSANT, J.; FRANCIS, D. Enabling continuous improvement: a case study of implementation. **Journal of Manufacturing Technology Management**. V.15, n. 4, p.315-324, 2004.

KRAJEWSKI, Lee; RITZMAN Larry; MALHOTRA Manoj. **Administração de Produção e Operações**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

LATRE, L. G. ; RODRIGUES, L. C. A. ; RODRIGUES, M. T. M. **Planejamento e Programação da Produção em Plantas Multipropósito Operando em Batelada na Indústria Química**. Gestão e Produção (UFSCar), São Carlos, SP, Brasil, v. 7, n.3, p. 283-304, 2000.

LIKER, Jeffrey K. **O Modelo Toyota: 14 Princípios de Gestão do Maior Fabricante do Mundo**. Porto Alegre: Bookman, 2007.

MARSHALL JUNIOR, I. **Gestão da qualidade**. 8. ed. Rio de Janeiro: Ed. FGV, 2006.

MARTINS, M. A. H. **Metodologia de Pesquisa**. Universidade Luterana do Brasil – ULBRA. 2002. Disponível em: <http://mariaalicehof5.vilabol.uol.com.br/>. Acesso em: 12 Jun. 2010.

MATOS JR., PAULO. Flexografia Apresentação. Disponível em: <http://pt.slideshare.net/paulomatosjr/flexografia-apresentao>. Acesso em: 24/06/2014.

OPRIME, P.C., LIZARELLI, F.L., **Relação entre Estrutura para a Melhoria Contínua e Desempenho e Estrutura Organizacional**. Revista Produção Online, v. 10, n. 2, pp. 250-273, Florianópolis, UFSC, 2010.

QUINQUIOLO, J.M. **Avaliação da eficácia de um sistema de gerenciamento para melhorias implantado na área de carroceria de uma linha de produção automotiva**. 107f. Dissertação (Mestrado em Administração de Empresas) – Universidade de Taubaté –UNITAU, Taubaté, 2002.

ROCHA, Henrique Martins. **Apostila da Disciplina: Planejamento e Controle da Produção**. Departamento de Engenharia de Produção, Faculdade de Tecnologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011/1.

RODRIGUES, L. C. A. ; GRAELLS, M. ; CANTÓN, J. ; LATRE, L. G. ; RODRIGUES, M. T. M. ; ESPUÑA, A. ; PUIGJANER, L. **Utilization of processing time windows to enhance planning and scheduling in short term multipurpose batch plants**. Computers and Chemical Engineering, v. 24, p. 353-359, 2000.

RODRIGUES, M. T. M. ; LATRE, L. G. ; RODRIGUES, L. C. A. **Production planning using time windows for short term multipurpose batch plants scheduling problems**. Industrial & Engineering Chemistry Research, v. 39, p. 3823-3834, 2000a.

RODRIGUES, M. T. M. ; LATRE, L. G. ; RODRIGUES, L. C. A. **Short-term planning and scheduling in multipurpose batch chemical plants: A multi-level approach**. Computers and Chemical Engineering, v. 24, p. 2247-2258, 2000b.

ROTHER, M.; HARRIS, R. **Criando Fluxo Contínuo – um guia de ação para gerentes, engenheiros e associados da produção**. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2002.

SAVOLAINEN, T.I. **Cycles of Continuous Improvement-Realizing Competitive Advantage Through Quality**. International Journal of Operations & Production Management, v. 19, n. 11, p.1203-1222, 1999.

SCARPELLI, M. **Sistemas de produção agroalimentar: arquitetura para as funções de planejamento e controle da produção**. Tese (Doutorado). Universidade Federal de São Carlos. São Paulo, 2006.

SLACK, N. *et al.* **Administração da produção**. São Paulo: Atlas, 2002. v.2.

TUBINO, Dalvio Ferrari. **Manual de Planejamento e Controle da Produção**. São Paulo: Atlas, 1997

VOLLMAN, T. E.; BERRY, W. L.; WHIBARK, D. C. **Manufacturing Planning and Control Systems**. Irwin McGraw-Hill, 1997.

WERKEMA, Maria Cristina Catarino. **As ferramentas da qualidade no gerenciamento de processos**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 1995. v. 1.

YIN, Robert K. **Estudo de Caso: planejamento e métodos**. Porto Alegre: Bookman, 2005

## ANEXO A – DEMANDA DO 1º TRIMESTRE DE 2014

| ORDEM DE PRODUÇÃO | CÓDIGO DO PRODUTO | Diâmetro do Cilindro [mm] | Demanda (kg) | Data de Entrega |          | Cor   |
|-------------------|-------------------|---------------------------|--------------|-----------------|----------|-------|
|                   |                   |                           |              | SOLICITADA      | Efetuada |       |
| 18084             | 946               | 340                       | 273          | 13/03/14        | 11/03/14 | AZUL  |
| 17729             | 1348              | 300                       | 318          | 07/01/14        | 07/01/14 | AZUL  |
| 17732             | 1348              | 300                       | 416          | 21/01/14        | 30/01/14 | AZUL  |
| 17733             | 1348              | 300                       | 307          | 23/01/14        | 31/01/14 | AZUL  |
| 17734             | 1348              | 300                       | 320          | 28/01/14        | 01/02/14 | AZUL  |
| 17735             | 1348              | 300                       | 298          | 28/01/14        | 10/02/14 | AZUL  |
| 17899             | 1348              | 300                       | 322          | 06/02/14        | 19/02/14 | AZUL  |
| 17900             | 1348              | 300                       | 223          | 11/02/14        | 20/02/14 | AZUL  |
| 17927             | 1348              | 300                       | 437          | 20/02/14        | 06/03/14 | AZUL  |
| 18087             | 1348              | 400                       | 260          | 21/03/14        | 21/03/14 | AZUL  |
| 18007             | 1348              | 400                       | 273          | 28/03/14        | 28/03/14 | AZUL  |
| 18088             | 1348              | 400                       | 275          | 28/03/14        | 28/03/14 | AZUL  |
| 18140             | 1348              | 400                       | 630          | 29/03/14        | 31/03/14 | AZUL  |
| 17736             | 1349              | 280                       | 327          | 09/01/14        | 10/01/14 | AZUL  |
| 17929             | 1349              | 280                       | 464          | 20/02/14        | 08/03/14 | AZUL  |
| 18089             | 1349              | 280                       | 317          | 27/02/14        | 10/03/14 | AZUL  |
| 18198             | 1349              | 280                       | 314          | 29/03/14        | 01/04/14 | AZUL  |
| 17738             | 1350              | 300                       | 322          | 07/01/14        | 08/01/14 | AZUL  |
| 17741             | 1351              | 280                       | 327          | 09/01/14        | 14/01/14 | AZUL  |
| 18094             | 1352              | 300                       | 261          | 20/03/14        | 20/03/14 | AZUL  |
| 17740             | 1387              | 280                       | 314          | 07/01/14        | 10/01/14 | AZUL  |
| 17934             | 1387              | 280                       | 395          | 06/02/14        | 14/02/14 | AZUL  |
| 18047             | 1396              | 380                       | 356          | 25/02/14        | 04/03/14 | AZUL  |
| 17722             | 1410              | 400                       | 817          | 07/01/14        | 07/01/14 | AZUL  |
| 17723             | 1410              | 400                       | 822          | 14/01/14        | 14/01/14 | AZUL  |
| 17867             | 1410              | 400                       | 1787         | 12/03/14        | 07/03/14 | AZUL  |
| 18138             | 1410              | 400                       | 560          | 12/03/14        | 17/03/14 | AZUL  |
| 18187             | 1410              | 400                       | 616          | 28/03/14        | 31/03/14 | AZUL  |
| 17965             | 1453              | 340                       | 331          | 14/03/14        | 18/03/14 | VERDE |
| 17964             | 1453              | 340                       | 332          | 14/03/14        | 19/03/14 | VERDE |
| 18111             | 1453              | 340                       | 334          | 25/03/14        | 25/03/14 | VERDE |
| 17762             | 1456              | 360                       | 490          | 16/01/14        | 27/01/14 | VERDE |
| 17763             | 1456              | 360                       | 523          | 21/01/14        | 30/01/14 | VERDE |
| 17709             | 1466              | 300                       | 526          | 09/01/14        | 10/01/14 | AZUL  |
| 17712             | 1466              | 300                       | 530          | 23/01/14        | 12/02/14 | AZUL  |
| 17713             | 1466              | 300                       | 531          | 30/01/14        | 04/02/14 | AZUL  |
| 17873             | 1466              | 300                       | 621          | 06/02/14        | 13/02/14 | AZUL  |
| 17874             | 1466              | 300                       | 530          | 13/02/14        | 24/02/14 | AZUL  |
| 18134             | 1466              | 300                       | 410          | 13/03/14        | 21/05/14 | AZUL  |
| 18182             | 1466              | 300                       | 516          | 20/03/14        | 20/03/14 | AZUL  |
| 18141             | 1466              | 300                       | 324          | 25/03/14        | 25/03/14 | AZUL  |

|       |      |     |     |          |          |       |
|-------|------|-----|-----|----------|----------|-------|
| 17716 | 1468 | 300 | 501 | 28/01/14 | 31/01/14 | AZUL  |
| 18078 | 1468 | 300 | 620 | 25/03/14 | 25/03/14 | AZUL  |
| 17720 | 1469 | 300 | 507 | 28/01/14 | 11/02/14 | AZUL  |
| 17880 | 1469 | 300 | 516 | 04/02/14 | 11/02/14 | AZUL  |
| 17881 | 1469 | 300 | 522 | 11/02/14 | 24/02/14 | AZUL  |
| 18142 | 1469 | 300 | 624 | 27/03/14 | 27/03/14 | AZUL  |
| 17884 | 1472 | 300 | 352 | 04/02/14 | 05/02/14 | AZUL  |
| 17878 | 1478 | 300 | 264 | 04/02/14 | 06/02/14 | AZUL  |
| 18055 | 1486 | 340 | 330 | 21/03/14 | 21/03/14 | AZUL  |
| 18083 | 1486 | 340 | 306 | 21/03/14 | 21/03/14 | AZUL  |
| 17911 | 1497 | 380 | 445 | 18/02/14 | 05/03/14 | AZUL  |
| 17912 | 1497 | 380 | 406 | 20/02/14 | 10/03/14 | AZUL  |
| 18063 | 1497 | 380 | 405 | 12/03/14 | 12/03/14 | AZUL  |
| 17747 | 1499 | 340 | 252 | 09/01/14 | 13/01/14 | AZUL  |
| 18060 | 1501 | 340 | 211 | 21/03/14 | 21/03/14 | AZUL  |
| 18056 | 1504 | 340 | 424 | 13/03/14 | 14/03/14 | AZUL  |
| 18057 | 1504 | 340 | 436 | 14/03/14 | 15/03/14 | AZUL  |
| 17948 | 1505 | 340 | 526 | 06/02/14 | 06/02/14 | VERDE |
| 17952 | 1505 | 340 | 523 | 20/02/14 | 28/02/14 | VERDE |
| 18104 | 1505 | 340 | 408 | 06/03/14 | 11/03/14 | VERDE |
| 18105 | 1505 | 340 | 414 | 13/03/14 | 14/03/14 | VERDE |
| 18106 | 1505 | 340 | 413 | 22/03/14 | 22/03/14 | VERDE |
| 18107 | 1505 | 340 | 415 | 24/03/14 | 24/03/14 | VERDE |
| 18108 | 1505 | 340 | 409 | 25/03/14 | 25/03/14 | VERDE |
| 17757 | 1508 | 360 | 704 | 22/01/14 | 23/01/14 | VERDE |
| 18110 | 1512 | 360 | 241 | 21/03/14 | 21/03/14 | VERDE |
| 17772 | 1543 | 380 | 567 | 14/01/14 | 20/01/14 | AZUL  |
| 17922 | 1544 | 380 | 507 | 11/02/14 | 17/02/14 | AZUL  |
| 17923 | 1544 | 380 | 508 | 13/02/14 | 18/02/14 | AZUL  |
| 17925 | 1544 | 380 | 511 | 20/02/14 | 27/02/14 | AZUL  |
| 18066 | 1544 | 380 | 523 | 26/03/14 | 26/03/14 | AZUL  |
| 17901 | 1553 | 340 | 305 | 30/01/14 | 03/02/14 | VERDE |
| 17902 | 1553 | 340 | 411 | 04/02/14 | 04/02/14 | VERDE |
| 17954 | 1553 | 340 | 307 | 06/02/14 | 06/02/14 | VERDE |
| 18102 | 1553 | 340 | 678 | 27/02/14 | 01/03/14 | VERDE |
| 18103 | 1553 | 340 | 607 | 06/03/14 | 04/03/14 | VERDE |
| 17917 | 1572 | 380 | 231 | 11/02/14 | 18/02/14 | AZUL  |
| 17914 | 1587 | 380 | 277 | 11/02/14 | 18/02/14 | AZUL  |
| 17766 | 1664 | 380 | 530 | 14/01/14 | 15/01/14 | VERDE |
| 17903 | 1664 | 380 | 532 | 06/02/14 | 08/02/14 | VERDE |
| 17904 | 1664 | 380 | 517 | 11/02/14 | 17/02/14 | VERDE |
| 17905 | 1664 | 380 | 573 | 13/02/14 | 20/02/14 | VERDE |
| 17906 | 1664 | 380 | 541 | 18/02/14 | 27/02/14 | VERDE |
| 18112 | 1664 | 380 | 524 | 27/02/14 | 04/03/14 | VERDE |
| 18113 | 1664 | 380 | 528 | 13/03/14 | 12/03/14 | VERDE |
| 17932 | 1665 | 380 | 580 | 28/01/14 | 03/02/14 | VERDE |
| 18119 | 1665 | 380 | 287 | 26/03/14 | 26/03/14 | VERDE |
| 17683 | 1701 | 380 | 456 | 14/01/14 | 16/01/14 | AZUL  |

|       |      |     |     |          |          |       |
|-------|------|-----|-----|----------|----------|-------|
| 17681 | 1703 | 380 | 458 | 24/01/14 | 20/01/14 | AZUL  |
| 17678 | 1706 | 380 | 427 | 16/01/14 | 20/01/14 | AZUL  |
| 18018 | 1752 | 360 | 239 | 28/03/14 | 28/03/14 | VERDE |
| 18019 | 1753 | 360 | 185 | 28/03/14 | 28/03/14 | VERDE |

## ANEXO B – SOLUÇÃO DE TODO O PROBLEMA

### MODEL STATISTICS

|                     |         |                    |       |
|---------------------|---------|--------------------|-------|
| BLOCKS OF EQUATIONS | 13      | SINGLE EQUATIONS   | 1,088 |
| BLOCKS OF VARIABLES | 10      | SINGLE VARIABLES   | 9,010 |
| NON ZERO ELEMENTS   | 115,380 | DISCRETE VARIABLES | 8,554 |

\*\*\*\* SOLVER STATUS 3 Resource Interrupt

\*\*\*\* MODEL STATUS 8 Integer Solution

\*\*\*\* OBJECTIVE VALUE 14528727596333.5230

RESOURCE USAGE, LIMIT 7200.141 7200.000

ITERATION COUNT, LIMIT 6717852 2000000000

Cplex MIP uses 1 of 4 parallel threads. Change default with option THREADS.

MIP status(107): time limit exceeded

Resource limit exceeded.

MIP Solution: 14528727598089.455000 (6717714 iterations, 816 nodes)

Final Solve: 14528727596333.523000 (138 iterations)

Best possible: 9.459338

Absolute gap: 14528727598079.996000

Relative gap: 1.000000

---- 880 VARIABLE set\_cil.L

pos3 1.000, pos8 1.000, pos9 1.000, pos11 1.000, pos13 1.000

pos14 1.000, pos16 1.000, pos17 1.000, pos18 1.000, pos19 1.000  
pos20 1.000, pos21 1.000, pos22 1.000, pos23 1.000, pos24 1.000  
pos25 1.000, pos26 1.000, pos28 1.000, pos29 1.000, pos30 1.000  
pos31 1.000, pos32 1.000, pos33 1.000, pos34 1.000, pos35 1.000  
pos40 1.000, pos43 1.000, pos44 1.000, pos45 1.000, pos46 1.000  
pos47 1.000, pos48 1.000, pos51 1.000, pos53 1.000, pos58 1.000  
pos64 1.000, pos67 1.000, pos69 1.000, pos70 1.000, pos71 1.000  
pos72 1.000, pos73 1.000, pos75 1.000, pos78 1.000, pos79 1.000  
pos80 1.000, pos83 1.000, pos84 1.000, pos85 1.000, pos86 1.000  
pos88 1.000, pos89 1.000, pos91 1.000

---- 880 VARIABLE set\_cor.L

pos15 1.000, pos16 1.000, pos19 1.000, pos21 1.000, pos23 1.000  
pos24 1.000, pos25 1.000, pos26 1.000, pos28 1.000, pos29 1.000  
pos30 1.000, pos31 1.000, pos33 1.000, pos34 1.000, pos41 1.000  
pos42 1.000, pos43 1.000, pos45 1.000, pos47 1.000, pos51 1.000  
pos52 1.000, pos53 1.000, pos56 1.000, pos57 1.000, pos58 1.000  
pos62 1.000, pos69 1.000, pos70 1.000, pos72 1.000, pos80 1.000

---- 880 VARIABLE set\_che.L setup de matéria prima

pos2 1.000, pos4 1.000, pos5 1.000, pos6 1.000, pos7 1.000  
pos10 1.000, pos12 1.000, pos16 1.000, pos19 1.000, pos20 1.000  
pos23 1.000, pos24 1.000, pos27 1.000, pos29 1.000, pos30 1.000  
pos34 1.000, pos36 1.000, pos37 1.000, pos38 1.000, pos39 1.000  
pos42 1.000, pos43 1.000, pos49 1.000, pos50 1.000, pos52 1.000  
pos53 1.000, pos54 1.000, pos55 1.000, pos58 1.000, pos59 1.000  
pos60 1.000, pos61 1.000, pos63 1.000, pos64 1.000, pos65 1.000  
pos66 1.000, pos68 1.000, pos71 1.000, pos72 1.000, pos73 1.000  
pos74 1.000, pos76 1.000, pos77 1.000, pos81 1.000, pos82 1.000

pos84 1.000, pos87 1.000, pos89 1.000, pos90 1.000

---- 880 VARIABLE atraso.L

pos18 483.360, pos20 4735.800, pos21 3138.460, pos22 266.320  
pos23 446.770, pos25 5331.580, pos26 2461.540, pos33 236.060  
pos35 4549.770, pos44 432.240, pos46 4671.660, pos48 15957.330  
pos50 432.170, pos53 4900.740, pos54 2606.560, pos57 5678.910  
pos60 6323.000, pos61 14051.140, pos65 15990.870, pos66 7532.590  
pos70 4567.750, pos73 27781.810, pos75 2031.340, pos77 6292.620  
pos88 2403.570, pos89 1981.490

---- 880 VARIABLE antecipa.L

pos2 243.110, pos3 2.340, pos4 9787.030, pos6 5603.070  
pos8 1243.950, pos9 899.430, pos10 648.460, pos11 5389.960  
pos12 5201.970, pos14 1075.300, pos17 4078.390, pos19 1137.090  
pos24 2498.710, pos28 1505.690, pos32 606.210, pos34 1324.780  
pos39 20695.900, pos43 12267.290, pos47 12942.710, pos49 4144.250  
pos51 8082.080, pos55 2153.800, pos56 9502.470, pos58 7173.940  
pos59 2650.070, pos62 5747.460, pos63 1130.350, pos64 4691.640  
pos67 4720.570, pos68 191.070, pos69 6237.360, pos72 4865.070  
pos74 3247.210, pos78 6067.150, pos79 3994.640, pos80 1251.150  
pos81 3594.100, pos82 5293.150, pos84 2864.800, pos85 3196.900  
pos86 538.830, pos87 4108.130

## ANEXO C - SOLUÇÃO DAS PARTES SIMPLIFICADAS

\*Solução da 1ª Parte\*

### MODEL STATISTICS

|                     |        |                    |       |
|---------------------|--------|--------------------|-------|
| BLOCKS OF EQUATIONS | 14     | SINGLE EQUATIONS   | 594   |
| BLOCKS OF VARIABLES | 10     | SINGLE VARIABLES   | 2,485 |
| NON ZERO ELEMENTS   | 29,386 | DISCRETE VARIABLES | 2,254 |

\*\*\*\* OBJECTIVE VALUE            200.2900

RESOURCE USAGE, LIMIT    7200.074    7200.000

ITERATION COUNT, LIMIT 22449035    2000000000

ILOG CPLEX    Nov 1, 2009 23.3.3 WIN 13908.15043 VIS x86/MS Windows

Cplex 12.1.0, GAMS Link 34

Cplex licensed for 1 use of parallel lp, qp, mip and barrier.

Cplex MIP uses 1 of 4 parallel threads. Change default with option THREADS.

MIP status(107): time limit exceeded

Resource limit exceeded.

MIP Solution:            200.290000    (22448974 iterations, 47296 nodes)

Final Solve:            200.290000    (61 iterations)

Best possible:            20.993492

Absolute gap:            179.296508

Relative gap:            0.895185

---- 887 VARIABLE set\_cil.L

pos4 1.000, pos7 1.000, pos8 1.000, pos9 1.000, pos13 1.000  
pos16 1.000, pos21 1.000, pos23 1.000, pos29 1.000, pos33 1.000  
pos34 1.000, pos35 1.000, pos40 1.000

---- 887 VARIABLE set\_cor.L

pos12 1.000, pos16 1.000, pos21 1.000, pos22 1.000, pos29 1.000  
pos34 1.000, pos44 1.000

---- 887 VARIABLE set\_che.L setup de matéria prima

pos2 1.000, pos3 1.000, pos5 1.000, pos6 1.000, pos10 1.000  
pos11 1.000, pos14 1.000, pos15 1.000, pos17 1.000, pos18 1.000  
pos19 1.000, pos20 1.000, pos24 1.000, pos25 1.000, pos26 1.000  
pos27 1.000, pos28 1.000, pos30 1.000, pos31 1.000, pos32 1.000  
pos36 1.000, pos37 1.000, pos38 1.000, pos39 1.000, pos41 1.000  
pos42 1.000, pos43 1.000, pos45 1.000, pos46 1.000

\*Solução da 2ª Parte\*

MODEL STATISTICS

|                     |        |                    |       |
|---------------------|--------|--------------------|-------|
| BLOCKS OF EQUATIONS | 14     | SINGLE EQUATIONS   | 594   |
| BLOCKS OF VARIABLES | 10     | SINGLE VARIABLES   | 2,485 |
| NON ZERO ELEMENTS   | 30,536 | DISCRETE VARIABLES | 2,254 |

\*\*\*\* SOLVER STATUS 3 Resource Interrupt

\*\*\*\* OBJECTIVE VALUE 13899361320.1900

RESOURCE USAGE, LIMIT 7200.084 7200.000

ITERATION COUNT, LIMIT 19543281 2000000000

ILOG CPLEX Nov 1, 2009 23.3.3 WIN 13908.15043 VIS x86/MS Windows  
Cplex 12.1.0, GAMS Link 34

Cplex licensed for 1 use of parallel lp, qp, mip and barrier.

Cplex MIP uses 1 of 4 parallel threads. Change default with option THREADS.

MIP status(107): time limit exceeded

Resource limit exceeded.

MIP Solution: 13899361288.081303 (19543210 iterations, 95976 nodes)

Final Solve: 13899361320.190002 (71 iterations)

Best possible: 14.220000

Absolute gap: 13899361273.861303

Relative gap: 1.000000

---- 891 VARIABLE atraso.L

pos57 138.950

---- 891 VARIABLE antecipa.L

pos54 4361.000

---- 891 VARIABLE set\_cil.L

pos47 1.000, pos51 1.000, pos52 1.000, pos53 1.000, pos54 1.000  
pos55 1.000, pos56 1.000, pos57 1.000, pos61 1.000, pos62 1.000  
pos64 1.000, pos65 1.000, pos66 1.000, pos67 1.000, pos72 1.000  
pos73 1.000, pos76 1.000, pos80 1.000, pos82 1.000, pos84 1.000  
pos86 1.000, pos89 1.000, pos90 1.000

---- 891 VARIABLE set\_cor.L

pos50 1.000, pos52 1.000, pos56 1.000, pos64 1.000, pos72 1.000  
pos75 1.000, pos82 1.000, pos85 1.000, pos90 1.000

---- 891 VARIABLE set\_che.L setup de matéria prima

pos48 1.000, pos49 1.000, pos58 1.000, pos59 1.000, pos60 1.000  
pos63 1.000, pos68 1.000, pos69 1.000, pos70 1.000, pos71 1.000  
pos74 1.000, pos77 1.000, pos78 1.000, pos79 1.000, pos81 1.000  
pos83 1.000, pos87 1.000, pos88 1.000, pos91 1.000

## ANEXO D - SEM SETUP NA FUNÇÃO OBJETIVO

\*Solução da 1ª Parte\*

### MODEL STATISTICS

|                     |        |                    |       |
|---------------------|--------|--------------------|-------|
| BLOCKS OF EQUATIONS | 14     | SINGLE EQUATIONS   | 594   |
| BLOCKS OF VARIABLES | 10     | SINGLE VARIABLES   | 2,485 |
| NON ZERO ELEMENTS   | 29,248 | DISCRETE VARIABLES | 2,254 |

SOLVER CPLEX FROM LINE 883

\*\*\*\* MODEL STATUS 1 Optimal

\*\*\*\* OBJECTIVE VALUE 0.0000

RESOURCE USAGE, LIMIT 97.081 7200.000

ITERATION COUNT, LIMIT 243035 2000000000

MIP status(101): integer optimal solution

Fixed MIP status(1): optimal

Proven optimal solution.

MIP Solution: 0.000000 (242972 iterations, 497 nodes)

Final Solve: 0.000000 (63 iterations)

Best possible: 0.000000

Absolute gap: 0.000000

Relative gap: 0.000000

---- 887 VARIABLE set\_cil.L

pos2 1.000, pos3 1.000, pos4 1.000, pos5 1.000, pos6 1.000  
pos7 1.000, pos8 1.000, pos9 1.000, pos10 1.000, pos11 1.000  
pos12 1.000, pos13 1.000, pos14 1.000, pos15 1.000, pos16 1.000  
pos17 1.000, pos18 1.000, pos19 1.000, pos20 1.000, pos21 1.000  
pos22 1.000, pos23 1.000, pos24 1.000, pos25 1.000, pos26 1.000  
pos27 1.000, pos28 1.000, pos29 1.000, pos30 1.000, pos31 1.000  
pos32 1.000, pos33 1.000, pos34 1.000, pos35 1.000, pos36 1.000  
pos37 1.000, pos38 1.000, pos39 1.000, pos40 1.000, pos41 1.000  
pos42 1.000, pos43 1.000, pos44 1.000, pos45 1.000, pos46 1.000

---- 887 VARIABLE set\_cor.L

pos2 1.000, pos3 1.000, pos4 1.000, pos5 1.000, pos6 1.000  
pos7 1.000, pos8 1.000, pos9 1.000, pos10 1.000, pos11 1.000  
pos12 1.000, pos13 1.000, pos14 1.000, pos15 1.000, pos16 1.000  
pos17 1.000, pos18 1.000, pos19 1.000, pos20 1.000, pos21 1.000  
pos22 1.000, pos23 1.000, pos24 1.000, pos25 1.000, pos26 1.000  
pos27 1.000, pos28 1.000, pos29 1.000, pos30 1.000, pos31 1.000  
pos32 1.000, pos33 1.000, pos34 1.000, pos35 1.000, pos36 1.000  
pos37 1.000, pos38 1.000, pos39 1.000, pos40 1.000, pos41 1.000  
pos42 1.000, pos43 1.000, pos44 1.000, pos45 1.000, pos46 1.000

---- 887 VARIABLE set\_che.L setup de matéria prima

pos2 1.000, pos3 1.000, pos4 1.000, pos5 1.000, pos6 1.000  
pos7 1.000, pos8 1.000, pos9 1.000, pos10 1.000, pos11 1.000  
pos12 1.000, pos13 1.000, pos14 1.000, pos15 1.000, pos16 1.000  
pos17 1.000, pos18 1.000, pos19 1.000, pos20 1.000, pos21 1.000  
pos22 1.000, pos23 1.000, pos24 1.000, pos25 1.000, pos26 1.000

pos27 1.000, pos28 1.000, pos29 1.000, pos30 1.000, pos31 1.000  
 pos32 1.000, pos33 1.000, pos34 1.000, pos35 1.000, pos36 1.000  
 pos37 1.000, pos38 1.000, pos39 1.000, pos40 1.000, pos41 1.000  
 pos42 1.000, pos43 1.000, pos44 1.000, pos45 1.000, pos46 1.000

\*Solução da 2ª Parte\*

#### MODEL STATISTICS

|                     |        |                    |       |
|---------------------|--------|--------------------|-------|
| BLOCKS OF EQUATIONS | 14     | SINGLE EQUATIONS   | 594   |
| BLOCKS OF VARIABLES | 10     | SINGLE VARIABLES   | 2,485 |
| NON ZERO ELEMENTS   | 30,398 | DISCRETE VARIABLES | 2,254 |

\*\*\*\* SOLVER STATUS 3 Resource Interrupt

\*\*\*\* OBJECTIVE VALUE 13410807570.0000

RESOURCE USAGE, LIMIT 10802.781 7200.000

ITERATION COUNT, LIMIT 6442625 2000000000

ILOG CPLEX Nov 1, 2009 23.3.3 WIN 13908.15043 VIS x86/MS Windows

Cplex 12.1.0, GAMS Link 34

Cplex licensed for 1 use of parallel lp, qp, mip and barrier.

Cplex MIP uses 1 of 4 parallel threads. Change default with option THREADS.

MIP status(107): time limit exceeded

Resource limit exceeded.

MIP Solution: 13410807570.000002 (6442548 iterations, 25940 nodes)

Final Solve: 13410807570.000002 (77 iterations)

Best possible: 0.000000

Absolute gap: 13410807570.000002

Relative gap: 1.000000

---- 891 VARIABLE atraso.L

pos58 133.950

---- 891 VARIABLE set\_cil.L

pos46 1.000, pos47 1.000, pos48 1.000, pos50 1.000, pos51 1.000  
 pos52 1.000, pos53 1.000, pos54 1.000, pos55 1.000, pos57 1.000  
 pos58 1.000, pos59 1.000, pos61 1.000, pos62 1.000, pos63 1.000  
 pos64 1.000, pos65 1.000, pos66 1.000, pos67 1.000, pos70 1.000  
 pos71 1.000, pos72 1.000, pos73 1.000, pos76 1.000, pos77 1.000  
 pos78 1.000, pos81 1.000, pos83 1.000, pos84 1.000, pos85 1.000  
 pos86 1.000, pos88 1.000, pos89 1.000, pos91 1.000

---- 891 VARIABLE set\_cor.L

pos46 1.000, pos47 1.000, pos48 1.000, pos49 1.000, pos50 1.000  
 pos51 1.000, pos52 1.000, pos54 1.000, pos55 1.000, pos58 1.000  
 pos60 1.000, pos61 1.000, pos62 1.000, pos63 1.000, pos64 1.000  
 pos65 1.000, pos66 1.000, pos68 1.000, pos73 1.000, pos74 1.000  
 pos75 1.000, pos76 1.000, pos77 1.000, pos79 1.000, pos80 1.000  
 pos81 1.000, pos83 1.000, pos84 1.000, pos85 1.000, pos87 1.000  
 pos89 1.000, pos91 1.000

---- 891 VARIABLE set\_che.L setup de matéria prima

pos46 1.000, pos47 1.000, pos48 1.000, pos49 1.000, pos50 1.000  
 pos51 1.000, pos52 1.000, pos56 1.000, pos63 1.000, pos65 1.000  
 pos69 1.000, pos74 1.000, pos75 1.000, pos82 1.000, pos83 1.000  
 pos90 1.000, pos91 1.000

## ANEXO E - ASPECTOS OPERACIONAIS

### Cronograma das Etapas do Tcc

A ideia do projeto começou quando um dos alunos identificou uma oportunidade de melhoria no modo de programação da produção na empresa onde trabalha. Como à época esse cursava a disciplina de Manufatura com o professor Luiz Carlos de Abreu Rodrigues, foi feito o convite ao professor para que esse fosse orientador do projeto. O termo de abertura foi entregue no dia 09 de maio de 2014, e as reuniões com o professor orientador aconteciam conforme fossem aparecendo as dúvidas, além de ter sido muito utilizado o *e-mail* para comunicação entre orientador e orientado. As próximas fases do projeto acontecerão conforme o Quadro 1.

| Atividades TCC 1 e 2                   | Quinzenas 2014 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        | Nov 1ª | Nov 2ª | Dez 1ª |   |   |
|--|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---|---|
|  | Mai 1ª         | Mai 2ª | Jun 1ª | Jun 2ª | Jul 1ª | Jul 2ª | Ago 1ª | Ago 2ª | Set 1ª | Set 2ª | Out 1ª | Out 2ª |        |        |        |   |   |
| Definição do tema e PO                 | ■              |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |   |   |
| Tema de Abertura                       | ■              |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |   |   |
| Registrar atividades 1 da PPP          |                |        | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■ | ■ |
| Reunião com o PO                       | ■              | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■ | ■ |
| Registrar atividades 2 da PPP          |                |        | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■ | ■ |
| Registrar atividade 3 da PPP           |                |        | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■ | ■ |
| Entrega do relatório PPP               |                |        |        |        |        |        | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■ | ■ |
| Apresentação da PPP                    |                |        |        |        |        |        |        | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■ | ■ |
| Entrega da versão final da PPP         |                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |   |   |
| Coletar dados na empresa               |                | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■ | ■ |
| Compilar e analisar os dados coletados |                |        | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■      | ■ | ■ |
| Elaboração de uma metodologia          |                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |   |   |
| Implantação da metodologia             |                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |   |   |
| Coleta de dados                        |                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |   |   |
| Compilar e analisar os dados coletados |                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |   |   |
| Revisão e formatação do PP             |                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |   |   |
| Entrega da monografia (PP)             |                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |   |   |
| Apresentação do PP                     |                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |   |   |
| Correção do PP                         |                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |   |   |
| Entrega da versão final da monografia  |                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |   |   |

Quadro 1 - Planejamento das Atividades do Projeto

## Orçamento

Não serão necessários recursos para a execução do projeto, pois os softwares que serão utilizados são gratuitos ou estão disponíveis para uso na universidade ou na empresa. A coleta de dados e demais atividades que poderiam gerar custos extras também não exigirão recursos, pois o aluno não precisará sair de sua rotina para executá-las.

## Riscos

A Tabela 8 mostra o mapeamento dos riscos envolvidos no desenvolvimento do trabalho de conclusão de curso. Nela também consta as informações avaliadas durante as fases já executadas do projeto, bem como avaliações das fases que ainda serão executadas.

**Tabela 8 - Mapeamento dos riscos do projeto**

| Risco                                     | Gravidade<br>(G) | Probabilidade<br>de ocorrência<br>(O) | Índice de risco<br>(IR = G x O) | Medida de contingência<br>(para G ou O maior ou igual a 5 e<br>para G x O maior ou igual a 30) |
|---|------------------|---------------------------------------|---------------------------------|--|
| Faltam informações importantes            | 5                | 2                                     | 10                              | Adquire-se informações no chão de fábrica  |
| Conflito na equipe                        | 5                | 0                                     | 0                               | Reunião junto com prof. Orientador   |
| Aluno abandona o projeto                  | 8                | 0                                     | 0                               | Continuidade ao projeto individualmente  |
| Parceiro externo desiste do projeto       | 9                | 1                                     | 1                               | Utiliza-se informações já adquiridas   |
| Problema formulado não pode ser resolvido | 8                | 1                                     | 8                               | Formula-se outro problema baseado nas mesmas informações                                       |

**Fonte: Autoria Própria**

## **Considerações Finais**

Supondo o que foi proposto e descrito, considera-se que o presente projeto pode ser executado devido à existência de vasta literatura, artigos e livros relacionados ao assunto que propõem teorias e possibilidades de resolução de problemas dessa natureza. Os dados necessários para a realização do sequenciamento da produção da empresa de embalagens em estudo estão disponíveis em sua base de dados. Dessa forma, espera-se obter uma metodologia para o sequenciamento da produção da empresa em estudo, reduzindo e/ou evitando tempos ociosos, perdas de produção, desnivelamento de produção, além de atrasos nos prazos de entrega.