

**UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC**

**CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

**ANDERSON LUÍS FURLAN**

**MODELO DE PLANEJAMENTO E ESCALONAMENTO DE PRODUÇÃO  
BASEADO NA TEORIA DAS RESTRIÇÕES PARA UM SISTEMA DE  
PLANEJAMENTO E PROGRAMAÇÃO AVANÇADO**

**CRICIÚMA**

**2013**

**ANDERSON LUÍS FURLAN**

**MODELO DE PLANEJAMENTO E ESCALONAMENTO DE PRODUÇÃO  
BASEADO NA TEORIA DAS RESTRIÇÕES PARA UM SISTEMA DE  
PLANEJAMENTO E PROGRAMAÇÃO AVANÇADO**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado para obtenção do grau de Bacharel no Curso de Ciência da Computação da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. MSc. Leila Laís Gonçalves

**CRICIÚMA**

**2013**

ANDERSON LUÍS FURLAN

**MODELO DE PLANEJAMENTO E ESCALONAMENTO DE PRODUÇÃO  
BASEADO NA TEORIA DAS RESTRIÇÕES PARA UM SISTEMA DE  
PLANEJAMENTO E PROGRAMAÇÃO AVANÇADO**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado  
pela Banca Examinadora para obtenção do  
Grau de Bacharel, no Curso de Ciência da  
Computação da Universidade do Extremo Sul  
Catarinense, UNESC.

Criciúma, 27 de novembro de 2013

**BANCA EXAMINADORA**

  
Prof<sup>a</sup>. MSc. Leila Laís Gonçalves – (UNESC)

  
Prof<sup>a</sup>. MSc. Merisandra Côrtes de Mattos Garcia – (UNESC)

  
Prof. Esp. Fabrício Giordani – (UNESC)

**Dedico este trabalho aos meus pais, à  
minha namorada, Kelly, aos meus amigos e,  
por fim, a Deus.**

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, que sempre me incentivaram a estudar, que me ensinaram o valor das coisas e do trabalho, que nunca pouparam esforços em fazer o melhor que puderam em minha criação e me ajudaram desde o primeiro passo a me tornar quem eu sou hoje. Eles são parte fundamental da minha vida e agradeço toda dedicação que tiveram para comigo durante este trabalho e durante toda a minha vida. Eu os amo e serei eternamente grato por tudo!

Aos meus colegas de trabalho da UNESCO, em especial do DTI - Departamento de Tecnologia de Informação e do SECOM – Setor de Comunicação Integrada, que tanto me ajudaram ao longo da minha trajetória profissional e com os quais compartilhei os momentos difíceis do TCC.

À UNESCO, que me proporcionou a oportunidade do primeiro estágio, do primeiro emprego e da bolsa de estudo para que eu cursasse a graduação. Espero ter colaborado com meu trabalho para tornar essa instituição um lugar melhor para os acadêmicos, professores, funcionários e estagiários. O lugar onde conheci pessoas inesquecíveis e vivi experiências memoráveis as quais estarão eternamente enraizadas em minha memória e que mudaram completamente o meu ser e tornaram o menino que ali entrou em um homem.

À coordenação do curso, em especial à professora Ana, à professora Merisandra pelos incentivos nos momentos difíceis deste trabalho, à professora Leila que, como orientadora, deu as diretrizes para este trabalho ser realizado, e aos demais professores do corpo docente.

À todos os colegas do curso, que à sua maneira contribuíram, seja nas atividades de grupos ou discussões nos intervalos.

Aos amigos Luiz Fernando (Nando) e o Maicon (Kako), que proporcionaram grandes momentos de alegria, camaradagem, mas que optaram por seguir outros caminhos que não a Ciência da Computação.

Também ao Luiz Ricardo (Gerente), grande amigo desde o início até agora na reta final, incentivando-me nesses últimos momentos da graduação.

Ao Raul (Raulzito), esse cara esforçado, trabalhador, exemplo de honestidade e de bom coração, que tanto me ajudou e incentivou nos momentos difíceis desse TCC e que merece tudo de bom nessa vida.

Ao Claiton (Notialck), que é um verdadeiro irmão, que segue comigo na batalha desde o ensino médio e agora na graduação. Agradeço pelo incentivo nesse TCC e pela parceria de sempre, meu amigo.

Agora, de forma especial, o maior agradecimento vai para minha namorada, Kelly, que tanto me incentivou durante o desenvolvimento deste trabalho, nos momentos em que pensei em desistir, me fazendo mudar de ideia, ouvindo meus problemas e minhas reclamações da dificuldade do desenvolvimento do mesmo, sempre muito compreensiva e incentivadora. Minha melhor amiga e meu amor, que me faz a cada dia acordar e querer ser um homem melhor e que abriu mão de muitos momentos comigo em prol da conclusão desse trabalho, o qual hoje dedico a ela, que é uma exemplo de pessoa determinada, guerreira e focada nos seus ideais. Agradeço a Deus por colocar uma pessoa tão especial em minha vida, que viveu todos esses momentos comigo, de dificuldades e alegrias. Sem dúvida, sem o seu incentivo, sem os seus puxões de orelha, sem o seu amor, não teria conseguido terminar esse trabalho de conclusão.

À Deus, essa energia universal que nos dá a oportunidade de crescermos como seres espirituais, colocando obstáculos para superarmos e alegrias para celebrarmos e assim nos proporcionar a maior viagem de aprendizado do universo, a vida.

E à minha família e a todas as pessoas que de alguma forma fizeram parte dessa trajetória, mas que não foram citadas aqui, um muito obrigado.

**“Se você for como quase todo mundo, você aceita tantas coisas sem questioná-las que, de fato, acaba não pensando.”**

**Eli Goldtratt**

## RESUMO

Um dos desafios das empresas do setor produtivo é administrar de forma eficiente e eficaz a relação entre capacidade e recursos de produção, variedade de produtos, estoque, demanda e prazo de entrega. Um planejamento garante a eficiência das linhas de produção, alocando recursos de forma intuitiva e dinâmica, com o mínimo de ociosidade possível para cada recurso, de forma que o produto final tenha um processo de fabricação mais eficiente e padronizado, e assim, obtenha-se redução de custos. Como a área de Planejamento, Programação e Controle de Produção está diretamente relacionada aos lucros e custos da empresa, busca cada vez mais inovações para melhorar o desempenho do processo produtivo e a gestão da produção. Isso se reflete na tecnologia que tem ganhado espaço e desenvolvido novas metodologias por meio dos sistemas de planejamentos e programação avançados, ou *Advanced Planning and Scheduling* (APS), que utilizam conceitos como escalonamento de produção, ou *Scheduling*, e a Teoria das Restrições, originalmente *Theory of Constraints*. O desafio de planejar o processo de produção de modo mais adequado, sem que muitos recursos fiquem ociosos durante o processo produtivo, exige *softwares* que satisfaçam esse quesito. Os *softwares* existentes que tentam solucionar este problema, utilizam uma programação estática para lidar com uma atividade dinâmica que é a produção e não são visualmente agradáveis - não geram a visualização adequada de como ficaria o processo produtivo -, ou são de alto custo. Nesse sentido, o objetivo geral desse trabalho é propor um modelo de planejamento e escalonamento de produção baseado na Teoria das Restrições para um Sistema de Planejamento e Programação Avançado. Com base nele, apresentou-se um protótipo interativo de APS como uma solução aberta e viável para pequenas empresas, como alternativa aos *softwares* que são de alto custo e pouco interativos. Para isso, a metodologia utilizada foi bibliográfica, tendo sido elaborada a modelagem, a implementação de um protótipo interativo e a validação do mesmo em um estudo de caso de um sistema produtivo. E como resultado obteve-se um modelo de planejamento e escalonamento de produção, o modelo APEP e o protótipo validado.

**Palavras-chave:** Gestão da Produção. Escalonamento de Produção. Planejamento, Programação e Controle de Produção. Teoria das Restrições. *Advanced Planning and Scheduling*.

## ABSTRACT

One of the challenges of the production companies is to manage efficiently and effectively the relationship between capacity and production resources, variety of products, inventory, demand and delivery. A schedule ensures the efficiency of production lines, allocating resources intuitively and dynamically with the least possible idle for each resource, so that the final product has a more efficient process for manufacturing and standardized, and thus get up reduced costs. As the area of Planning, Programming and Production Control is directly related to the costs and profits of the company, seeking ever more innovations to improve the performance of the production process and production management. This is reflected in the technology that has gained ground and new methodologies developed through the Advanced Planning Systems, or Advanced Planning and Scheduling (APS), using concepts such as production scheduling and Theory of Constraints. The challenge of planning the production process more adequately, without many resources sit idle during the production process, requires software that satisfy this aspect. Existing software that try to solve this problem, use a static programming to provide you with a dynamic activity is the production and are not visually pleasing - do not generate the appropriate view of how would the production process - or are expensive. Accordingly, the aim of this study is to propose a model of planning and scheduling of production based on Theory of Constraints for System Planning and Advanced Programming. Based on it, presented an interactive prototype APS as an open and viable solution for small businesses as an alternative to software that are expensive and not very interactive. For this, the methodology used was literature, being developed modeling, the implementation of an interactive prototype and validation of the same in a case study of a production system. And as a result we obtained a model for planning and scheduling production, the APEP model and validated prototype.

**Keywords:** Production Management. Production Scheduling. Planning, Programming and Production Control. Theory of Constraints. Advanced Planning and Scheduling.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Estrutura de um Sistema ERP .....	28
Figura 2 - Relação dos planejamentos da Gestão de Produção com os planos de atividades do PPCP .....	32
Figura 3 - Fluxo e estrutura do PPCP .....	34
Figura 4 - A Logística Tambor-Pulmão-Corda (TPC) .....	50
Figura 5 - Gráfico de Gantt – Cenário 1 .....	52
Figura 6 - Gráfico de Gantt – Cenário 2 .....	53
Figura 7 - Tela inicial do <i>software APS Preactor Express</i> .....	54
Figura 8 - Tela para a geração da programação da Produção do <i>software Preactor Express</i> .....	55
Figura 9 - Tela de cadastro do <i>software Preactor Express</i> .....	56
Figura 10 - Gráfico de Gantt gerado pelo <i>APS Preactor Express</i> para mostrar a programação da produção .....	57
Figura 11 - Algoritmos de escalonamento do <i>Preactor Express</i> .....	58
Figura 12 - Processo de produção da cerveja.....	67
Figura 13 - Modelo de PPCP com Modelo APEP.....	69
Figura 14 - Modelo de Planejamento e Escalonamento de Produção APEP .....	71
Figura 15 - Protótipo APEP .....	72
Figura 16 - Código-fonte parcial da classe <i>Principal</i> do protótipo - armazenamento de dados .....	74
Figura 17 - Código-fonte parcial da classe <i>Principal</i> do protótipo - entrada de dados .....	75
Figura 18 - Código-fonte parcial da classe <i>Principal</i> do protótipo - objeto <i>apep</i> .....	75
Figura 19 - Código-fonte parcial da classe <i>Principal</i> do protótipo - objeto <i>apep</i> , método <i>escalonar</i> .....	76
Figura 20 - Código-fonte parcial do método <i>escalonar</i> da classe <i>APEP</i> .....	78
Figura 21 - Mensagem de erro de escalonamento.....	78
Figura 22 - Mensagem de confirmação do escalonamento.....	79
Figura 23 - Método salvar da classe <i>APEP</i> .....	79
Figura 24 - Gráfico de Gantt gerado pelo <i>plug-in jQuery GanttView</i> . .....	80
Figura 25 - Modificação do <i>jQuery.GanttView</i> para melhorar a visualização do escalonamento.....	81

Figura 26 - Arquivo "data.js" gerado com a conversão dos tipos de objeto <i>Java</i> para <i>JavaScript</i> .....	82
Figura 27 - Modelo de visualização e interação do protótipo desenvolvido. ....	83
Figura 28 - Modelo de interação do protótipo desenvolvido. ....	84
Figura 29 - Escalonamento manual do cenário 1. ....	86
Figura 30 - Escalonamento do protótipo do cenário 1. ....	87
Figura 31 - Escalonamento do protótipo do cenário 1 (data reduzida). ....	88
Figura 32 - Escalonamento manual do cenário 2. ....	89
Figura 33 - Escalonamento do protótipo no cenário 2. ....	90

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparativo de <i>softwares</i> APS.....	41
Tabela 2 - Recursos do cenário 1. ....	85
Tabela 3 - Produtos do cenário 1. ....	85
Tabela 4 - Processo de produção da cerveja <i>Malzbier</i> nos tanques. ....	85
Tabela 5 - Processo de produção da cerveja <i>Pilsen</i> nos tanques.....	85
Tabela 6 - Produtos do cenário 2. ....	88

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AP	Administração da Produção
APS	<i>Advanced Planning and Scheduling</i>
ATO	<i>Assemble to Order</i>
BoM	<i>Bill of Material</i>
CRP	<i>Capacity Resources Planning</i>
CSS	<i>Cascading Style Sheets</i>
DBR	<i>Drum - Buffer - Rope</i>
EDDF	<i>Earlist Due Date First</i>
ERP	Enterprise Resource Plannig
ETO	<i>Engineer to Order</i>
FCS	<i>Finite Capacity Scheduling</i>
FCFS	<i>First come first serve</i>
HTML	<i>HyperText Markup Language</i>
IA	Inteligência Artificial
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
JIT	<i>Just in Time</i>
LL	Lucro Líquido
LPT	<i>Longest Processing Time</i>
MPS	<i>Master Production Scheduling</i>
MRP	<i>Material Requirements Planning</i>
MRP II	<i>Manufacturing Resources Planning</i>
MTS	<i>Make to Stock</i>
MTO	<i>Make to Order</i>
OPT	<i>Optimized Production Technology</i>
PCP	Planejamento e Controle de Produção
PPCP	Planejamento, Programação e Controle de Produção
PMP	Plano-Mestre de Produção
RCCP	<i>Rough Cut Capacity Planning</i>
RRC	Recurso com Restrição de Capacidade
RSI	Retorno Sobre o Investimento
SAP	<i>Systemanalyse and Programmentwicklung</i>
SFC	<i>Shop Floor Control</i>

SPT      *Shortest Processing Time First*  
TOC      *Theory of Constraints*  
W3C      *World Wide Web Consortium*

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>16</b>
1.1 OBJETIVOS GERAL .....	18
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	18
1.3 JUSTIFICATIVA .....	18
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	19
<b>2 GESTÃO DA PRODUÇÃO E SISTEMAS DE INFORMAÇÃO</b> .....	<b>21</b>
2.1 GESTÃO DA PRODUÇÃO .....	21
2.2 A PRODUÇÃO E OS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO .....	22
2.3 SISTEMAS DE ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO .....	25
2.4 PLANEJAMENTO, PROGRAMAÇÃO E CONTROLE DE PRODUÇÃO .....	31
2.4 SISTEMA DE PLANEJAMENTO E PROGRAMAÇÃO AVANÇADO .....	36
2.5 COMPARATIVO DE SISTEMAS DE APS .....	38
<b>3 ESCALONAMENTO DE PRODUÇÃO</b> .....	<b>42</b>
3.1 MODELOS E TÉCNICAS DE OTIMIZAÇÃO DE ESCALONAMENTO DE PRODUÇÃO .....	43
3.2 TEORIA DAS RESTRIÇÕES .....	44
<b>3.2.1 Passos e Princípios da Teoria das Restrições</b> .....	<b>46</b>
<b>3.2.2 Modelo Tambor, Pulmão e Corda</b> .....	<b>48</b>
3.3 GRÁFICO DE GANTT .....	51
3.4 PREACTOR .....	53
<b>3.4.1 Algoritmos de Escalonamento do Preactor</b> .....	<b>57</b>
<b>4 TRABALHOS CORRELATOS</b> .....	<b>60</b>
4.1 ANÁLISE DA APLICAÇÃO DOS SISTEMAS BASEADOS NO CONCEITO DE CAPACIDADE FINITA NOS DIVERSOS NIVEIS DA ADMINISTRAÇÃO DA MANUFATURA ATRAVÉS DE ESTUDOS DE CASO .....	60
4.2 IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS DE PROGRAMAÇÃO DETALHADA DA PRODUÇÃO: LEVANTAMENTO DAS PRÁTICAS DE PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO NA INDÚSTRIA .....	61
4.3 ESTUDO SOBRE A IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE PLANEJAMENTO AVANÇADO COM CAPACIDADE FINITA, EM UMA EMPRESA DE FUNDIÇÃO DE FERRO .....	62

4.4 SISTEMAS AVANÇADOS DE PLANEJAMENTO E PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO UMA APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA DE AUTOMAÇÃO BANCÁRIA....	62
4.5 ADVANCED PLANNING AND SCHEDULING: IS LOGISTICS EVERYTHING?.	63
<b>5 APEP: MODELO DE PLANEJAMENTO E ESCALONAMENTO DE PRODUÇÃO</b> .....	<b>65</b>
5.1 METODOLOGIA.....	65
<b>5.1.1 Levantamento bibliográfico.....</b>	<b>65</b>
<b>5.1.2 Estudo de Caso .....</b>	<b>66</b>
<b>5.1.3 Modelagem do planejamento e escalonamento de produção APEP .....</b>	<b>68</b>
<b>5.1.4 Desenvolvimento do Protótipo .....</b>	<b>71</b>
<b>5.1.5 Validação do Protótipo .....</b>	<b>84</b>
5.2 RESULTADOS OBTIDOS.....	91
<b>6 CONCLUSÃO .....</b>	<b>92</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>94</b>
<b>APÊNDICE.....</b>	<b>98</b>
APÊNDICE A – Artigo .....	99

## 1 INTRODUÇÃO

A fabricação de um produto envolve diversos processos desde a compra da matéria-prima, produção de materiais intermediários, definição da linha de produção, equipamentos a serem utilizados, operários, entre outros. Toda a definição de fabricação sequencial deste produto se chama processo de produção.

O processo de produção é o que determina o sucesso ou não de uma indústria, se ela conseguirá corresponder aos diversos pedidos e entregar o produto. Um dos desafios das empresas do setor produtivo é administrar de forma eficiente e eficaz a relação entre capacidade e recursos de produção, variedade de produtos, estoque, demanda e prazo de entrega. Sendo bem elaborado, ele garante a eficiência das linhas de produção, alocando recursos de forma intuitiva e dinâmica, com o mínimo de ociosidade possível para cada recurso, de forma que o produto final tenha um processo de fabricação mais eficiente e padronizado.

No mercado competitivo atual, as empresas buscam aperfeiçoar a forma de produzir, com o objetivo de reduzir custos e aumentar a eficiência. Como a área de Planejamento, Programação e Controle de Produção (PPCP) está diretamente relacionada aos lucros e custos da empresa, tem recebido bastante visibilidade e atenção dos executivos desde a década de 90, de acordo com Corrêa e Pedroso (1996).

Isso se reflete na tecnologia que tem ganhado espaço e desenvolvido novas metodologias por meio dos sistemas de planejamentos e programação avançados, ou *Advanced Planning and Scheduling* (APS), que utilizam conceitos como escalonamento de produção, ou *Scheduling*, e a Teorias das Restrições, originalmente *Theory of Constraints* (TOC), para buscar um melhor desempenho na atividade de gestão da produção.

Os sistemas APS utilizam técnicas que analisam cada recurso produtivo e sua capacidade de produção (conceito de capacidade finita) para gerar um plano de produção viável que aborda todos os níveis de planejamento da gestão de produção. No entanto, para que se atingisse o alto grau de especificação e detalhamento que os sistemas APS oferecem hoje, os sistemas de administração começaram na década de 70, com um sistema que calculava as necessidades de compra de materiais e os listava, o *Material Requirements Planning* (MRP).

Como ressalta Lidell (2011), foi um avanço para época. Porém, com a

evolução dos sistemas os desenvolvedores de *softwares* viram a necessidade da indústria de ampliar horizontes e aumentaram esses sistemas, adicionando módulos financeiros, de estoque e outros, que deu origem ao *Manufacturing Resources Plannig* (MRP II), e posteriormente ao *Enterprise Resource Plannig* (ERP) que é largamente utilizado pelas empresas hoje em dia (GIACON; MESQUITA, 2011).

Entretanto, as metodologias utilizadas nestes sistemas não compreendem as limitações e os problemas que podem ocorrer no chão de fábrica e acabam prejudicando as organizações, pois não geram um planejamento de produção fiel a produção. Isso porque os sistemas MRP/MRP II utilizam uma lógica estática para lidar com um problema dinâmico, que é a produção.

Muitas variáveis estão envolvidas no processo produtivo, como quantidade de máquinas, ordens de produção, tempos de produção, entre outros. Porém podem ocorrer imprevistos, como quebra de máquinas, atrasos na produção por ausência de funcionários, encomendas urgentes que têm prioridade maior e isso os sistemas MRP não estão preparados para lidar.

Então ao longo da história foram desenvolvidos novos sistemas para tentar solucionar esse problema, entre eles, o *Just In Time* (JIT), o *Optimized Production Technology* (OPT) e os Sistemas de Capacidade Finita.

O Sistema de Planejamento e Programação Avançado, ou APS surgiu para ampliar o poder dos Sistemas de Capacidade Finita para além da questão da capacidade produtiva em relação à demanda. Esses sistemas consideram e reconhecem as restrições provenientes da matéria prima e atuam na demanda de suprimento, programação, execução e otimização da programação da produção (ZATTAR, 2004).

O uso de *softwares* de APS para apoio à tomada de decisão no planejamento e escalonamento da produção é de útil ao setor produtivo para atender o mercado competitivo e administrar, de forma eficiente e eficaz, a relação entre capacidade e recursos de produção.

Como exemplo de *software* APS, pode-se citar o *Preactor*, que é líder no seguimento, e apresenta como diferencial uma interatividade visual de fácil entendimento. A questão negativa desse *software* é o fato de ser proprietário, ter alto custo, assim como outros sistemas de mesmo gênero, o que acaba inviabilizando a aquisição por parte de pequenas e médias empresas.

Nesse sentido, objetiva-se com este trabalho propor um modelo de

escalonamento de produção baseado na teoria restrições e implementar um protótipo de APS livre que faça o escalonamento da produção de forma otimizada, suprimindo assim a necessidade deixada pelos sistemas MRP/MRP II e ERP, quanto ao escalonamento e planejamento da produção. Para validação do protótipo, o mesmo será aplicado em um sistema produtivo de uma cervejaria.

### 1.1 OBJETIVOS GERAL

Propor um modelo de planejamento e escalonamento de produção baseado na Teoria das Restrições para um Sistema de Planejamento e Programação Avançado.

### 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Com a elaboração deste trabalho se pretendeu atingir os seguintes objetivos específicos:

- a) compreender os principais conceitos e metodologias utilizadas nos sistemas de planejamento e programação da produção baseados no conceito de capacidade finita;
- b) identificar e descrever as abordagens matemáticas e algorítmicas (regras heurísticas, otimizantes, restrições) para planejamento e escalonamento de produção em sistemas baseados em capacidade finita;
- c) propor um modelo de planejamento e escalonamento de produção baseado no conceito de capacidade finita para Sistemas de Planejamento e Programação Avançados;
- d) implementar um protótipo de APS interativo e com recursos visuais utilizando bibliotecas e APIs gráficas;
- e) validar a implementação do protótipo com aplicação em estudo de caso em um sistema produtivo.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

A implementação de um protótipo de APS interativo e com recursos

visuais, utilizando bibliotecas gráficas, como solução aberta e não proprietária, objetiva estender as possibilidades das pequenas empresas no uso deste tipo de ferramenta.

O desenvolvimento de um sistema concorrente de padrão aberto e de desempenho similar, que ofereça um aspecto visual interativo, que facilite sua manipulação, com custo inferior aos *softwares* APS, é de fundamental importância para as empresas. Além de sua importância prática, o desenvolvimento desse sistema contribui para a Ciência da Computação ao agregar conhecimentos dos *softwares* APS no campo da Engenharia de Sistemas.

O estudo sobre o processo de produção, sistemas de gestão modelos e técnicas para programação, planejamento e escalonamento da produção e o modelo TPC da teoria das restrições visa ampliar os conhecimentos obtidos durante o curso de Ciência da Computação. Assim como fundamentar a proposição de um modelo específico de planejamento e escalonamento de produção para um APS.

A aplicação da Teoria das Restrições (*Theory of Constraints - TOC*), busca melhorar a performance do processo de planejamento e escalonamento da produção com uso do método Tambor-Pulmão-Corda (TPC), pois propicia melhor uso dos recursos de gargalo, aqueles que são os mais lentos ou mais utilizados da fábrica e que mais interferem processo produtivo (GOLDRATT; COX, 2003).

A validação com um estudo de caso em um sistema produtivo visa obter dados de uma situação real e, portanto complexa de um sistema produtivo, consolidar o referencial teórico e comprovar a utilidade de sistemas de APS.

O aspecto visual e interativo é um diferencial para facilitar o uso visando uma manipulação mais intuitiva com recursos de “arrastar e soltar” presentes nas ferramentas de APS proprietárias mais avançadas.

#### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Para melhor entendimento do assunto abordado, o trabalho está dividido em sete capítulos.

O primeiro capítulo consiste na Introdução, onde é apresentado o tema de forma concisa, o objetivo geral, os objetivos específicos e a estrutura do trabalho.

No capítulo dois, intitulado Gestão da Produção e Sistemas de Informação, são elucidadas questões como gestão de produção, sistemas de

produção que auxiliam na administração da mesma, atividade de planejamento e programação da produção, sistemas de planejamento e programação avançados e, por fim, um breve comparativo de sistemas APS.

O terceiro capítulo, Escalonamento de Produção, apresenta a teoria de escalonamento de produção; a Teoria das Restrições; o modelo Pulmão, Tambor e Corda; o gráfico de Gantt, como o modelo mais popular de representação do escalonamento; e o *software* Preactor, como um exemplo de aplicação APS que se baseia em capacidade finita e utiliza regras heurísticas e o modelo da Teoria das Restrições para realizar o escalonamento da produção.

No capítulo quarto, denominado Trabalhos correlatos, é exposta uma breve descrição de alguns trabalhos semelhantes na área que auxiliaram na elaboração desta pesquisa.

O quinto capítulo, Apep: Modelo de Planejamento e Escalonamento de Produção, descreve a metodologia aplicada, a modelagem de escalonamento de produção baseada no conceito de capacidade finita e a implementação do protótipo, a validação e os resultados obtidos com a aplicação do protótipo, no estudo de caso em um sistema produtivo de uma cervejaria.

As conclusões e sugestões de trabalhos futuros são descritos no capítulo sete.

## 2 GESTÃO DA PRODUÇÃO E SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

As decisões referentes à programação da produção se tornam “um problema combinatório de tal ordem que soluções intuitivas são inadequadas pelas limitações humanas de administrar informações” (CORRÊA; PEDROSO, 1996, p. 65). Desse modo, os sistemas de informação foram desenvolvidos para dar suporte à atividade de gestão, de planejamento, programação e controle de produção. Em sua evolução, os sistemas de informação têm sido providos de melhorias contínuas, acompanhando as Teorias da Administração e os avanços computacionais.

Neste capítulo, são abordadas questões referentes ao papel da gestão da produção e à atividade de produção de bens e serviços nas organizações, os sistemas de informação que dão suporte à produção incluindo seu planejamento, programação e controle (PPCP). São apresentados conceitos e características dos Sistemas de Planejamento e Programação Avançado, do inglês *Advanced Planning and Scheduling* ou *Advanced Planning Systems* (APS), principal foco deste trabalho.

### 2.1 GESTÃO DA PRODUÇÃO

A missão corporativa de uma organização é o que resume os seus objetivos e, a partir dela, é definida uma estratégia corporativa, que é basicamente a maneira como ela utilizará todos os seus recursos e funções para obter uma vantagem competitiva sobre as demais. A estratégia de produção diz como a instituição empregará os seus recursos produtivos, sejam eles de natureza tecnológica ou humana, para apoiar a estratégia corporativa, e é nessa parte que se faz importante a gestão de produção (DAVIS; AQUILANDO; CHASE, 2001).

Conforme os autores, a gestão da produção, ou Administração da Produção (AP), compreende o gerenciamento dos recursos diretamente envolvidos no processo de produção de um produto ou serviço, ofertado pela organização. Logo, “Administração da Produção (AP) é o projeto, operação e a melhoria dos sistemas que criam e distribuem os principais produtos e serviços de uma empresa” (CHASE; JACOBS; AQUILANO, 2006, p. 22). Para tal, é necessário todo um planejamento do processo produtivo e uma tomada de decisão que envolve três níveis: estratégico, tático e operacional (DAVIS; AQUILANDO; CHASE, 2001).

Côrrea, Gianesi e Caon (2007, p.17) definem a atividade de planejamento

como: “planejar é entender como a consideração conjunta da situação presente e da visão de futuro influencia as decisões tomadas no presente para que se atinjam determinados objetivos no futuro”.

O planejamento estratégico é de longo prazo; nele são especificados critérios que vão ao encontro da estratégia corporativa, como a determinação dos produtos que serão produzidos, processos importantes de manufatura, fornecedores de matéria prima, materiais intermediários, criação de novas fábricas, novas linhas de produção, entre outros (AGUILAR, 2004). É o planejamento que define o mercado do qual participará e a capacidade de uma organização em atender os seus clientes.

O planejamento tático se baseia nas restrições e definições do planejamento estratégico, tendo enfoque em questões como enquadrar materiais e pessoal da melhor forma possível. Exemplo de decisões deste nível são: quantidade de trabalhadores, turnos, estoque de produtos acabados, entre outros (CHASE; JACOBS; AQUILANO, 2006).

Tubino (2007) aborda o planejamento tático pelo nome de planejamento-mestre da produção. Segundo o autor, é nesse planejamento que se definem quais produtos acabados (bens ou serviços) a organização vai oferecer, desenvolvendo os passos de programação e execução das operações da empresa (montagem, fabricação e compras).

Já o planejamento operacional e controle compreende um período de curto prazo - para o dia ou semana - da produção de uma indústria, fábrica ou organização. São exemplos de decisões a serem tomadas neste passo do planejamento: quais tarefas ficarão atribuídas a quais funcionários, prioridades de produção, controle no atraso na linha de produção entre outras (DAVIS; AQUILANDO; CHASE, 2001).

## 2.2 A PRODUÇÃO E OS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

Um sistema é um grupo de componentes que se relacionam para atingir um objetivo comum. Recebe entradas (insumos) que passam por um processo de transformação organizado e gera saídas (resultados) (ANTUNES et al, 2008). No caso das organizações, o sistema que transforma insumos em produtos úteis aos clientes é chamado sistema produtivo (TUBINO, 2007). O processo de transformar

os insumos em produtos úteis é denominado produção.

A produção consiste em uma rede de processos e operações para geração de um produto. Um processo compreende a transformação da matéria-prima em produtos intermediários, semiacabados, e depois em um produto final ou produto acabado. As operações são os procedimentos e trabalhos realizados no processo de fabricação do produto, com a utilização de máquinas e mão de obra (SHINGO, 1996).

Sendo assim, um “Sistema de Produção é um conjunto de partes inter-relacionadas que, quando acionadas, atuam sobre entradas, de acordo com padrões estabelecidos *a priori* para produzir saídas.” (FUSCO; SACOMANO, 2007, p. 25). As partes inter-relacionadas constituem o processo e as operações da produção. As entradas são os insumos (matérias-primas ou produtos semiacabados) e as saídas correspondem aos produtos fabricados ou serviços oferecidos pela organização.

Segundo Lustosa et al (2008), para facilitar o entendimento das relações das atividades de produção e as suas características, os sistemas de produção podem ser divididos em algumas classificações, como, por exemplo, quanto à natureza dos produtos que fabricam, o ambiente de produção, o fluxo dos processos e o grau de padronização dos produtos, entre outras.

Conforme os autores, quando classificado pela natureza dos produtos, um sistema produtivo pode ser de bens ou serviços, sendo de bens quando fabrica algo tangível, e serviços, algo intangível.

Quanto ao ambiente de produção, os sistemas de produção são divididos em: *Make to Stock* (MTS), *Assemble to Order* (ATO), *Make to Order* (MTO), *Engineer to Order* (ETO) (LUSTOSA et al, 2008).

MTS significa “produzir para estoque”. A indústria produz para possuir o maior estoque e posteriormente vendê-lo, geralmente em fábricas de produtos padronizados e de alta demanda.

ATO, ou “montagem sob encomenda”, é a classificação dada aos sistemas de produção que fabricam produtos constituídos de uma parte pré-fabricada e outra parte a ser montada, com as escolhas do cliente.

MTO são os sistemas em que a fabricação do produto só é realizada sob encomenda, como o nome sugere “fabricar sob ordem”. Nesse ambiente, somente se inicia a produção quando é emitida uma ordem de produção com o recebimento formal do pedido do cliente.

Já o ETO, ou “engenharia na ordem”, envolve o cliente no processo de produção, normalmente em grandes projetos, como obras públicas, por exemplo.

Na classificação de acordo com o fluxo, os sistemas de produção podem apresentar processos: em linha, em lote ou em projeto. Conforme Lustosa et al (2008), processos em linha caracterizam o processo de produção que acontece em uma sequência pré-definida e bem estabelecida. Os processos em lote, em geral, são aqueles em que é realizada a fabricação de produtos não padronizados que podem usar um sequenciamento próprio no âmbito da produção. Já os processos em projeto ocorrem quando os sistemas de produção possuem um único produto a ser desenvolvido por meio de um projeto.

Os sistemas de produção também podem ser classificados quanto ao grau de padronização dos produtos: padronizados ou sob medida e personalizados (LUSTOSA et al, 2008).

Buscando a otimização das atividades, devido à competitividade que existe entre as organizações, as mesmas vêm tomando medidas que afetam diretamente a gestão do sistema de produção. Essas medidas podem ser o melhoramento no nível de utilização da capacidade produtiva e a redução de estoques de matérias-primas, flexibilidade em relação à demanda e maior pontualidade nos prazos de entrega (CORRÊA; PEDROSO, 1996). Para isso, as empresas recorrem aos sistemas de informação.

Os Sistemas de Informação são ferramentas imprescindíveis para as organizações, pois coletam dados, processam, geram e distribuem informações que dão o apoio necessário para gerentes e administradores na tomada de decisão. Dessa maneira, permitem, por meio da visualização das informações, identificar possíveis problemas, o que auxilia no funcionamento e organização de operações rotineiras da empresa (LAUDON; LAUDON, 2007).

De acordo com Corrêa, Gianesi e Caon (2007), sistemas de administração da produção são sistemas de informação de apoio à decisões táticas e operacionais, a fim de atingir os objetivos estratégicos da organização. Para cumprir esse requisito, segundo eles, os sistemas de administração devem planejar:

- a) os materiais comprados;
- b) os níveis de estoques de matérias-primas, produtos semiacabados e produtos acabados, para evitar falta ou sobra que possam atrasar entregas ou diminuir os lucros da organização;

- c) a produção, programando atividades para que recursos (pessoas, máquinas, fábricas, recursos) não fiquem ociosos e sejam utilizados da melhor maneira, principalmente em pedidos mais urgentes;
- d) e informar qualquer situação da cadeia produtiva, seja dos recursos (pessoal, maquinário) ou das ordens de produção (compra de matérias-primas, em qual linha de produção se encontra a encomenda, data de entrega, entre outros).

Além dessas atividades, um sistema de administração da produção eficiente deve ser capaz de reagir eficientemente às mudanças, sejam elas normais, como, por exemplo, na prioridade de ordens de produção, ou problemas (gargalos) no chão de fábrica (CORRÊA; GIANESI; CAON, 2007).

Para cada atividade da administração da produção, como gestão de estoque, planejamento, programação, controle, sequenciamento, e escalonamento da produção, um conjunto de teorias, práticas e sistemas de informação, ou módulos específicos destes, são requeridos.

### 2.3 SISTEMAS DE ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO

Os primeiros sistemas de informação focados na área de produção nas empresas foram baseados em MRP, que surgiram na década de 1970 (ZATTAR, 2004). Popularizado por Ollie Wight, os sistemas MRP determinam quais matérias-primas e produtos semiacabados a organização precisa adquirir ou fabricar para conseguir produzir o produto final.

Eles utilizam uma lista de materiais chamada de *Bill of Material (BoM)* que serve de base para o cálculo de necessidade de materiais indicando a quantidade necessária de cada componente, o tempo gasto para fabricá-lo e o momento em que o componente deve estar pronto, ou ser comprado, para não gerar atrasos na fabricação do produto acabado e também para não manter estocados produtos semiacabados, ou matérias-primas desnecessárias, levando em conta os *lead times*<sup>1</sup> (LIDELL, 2011). Sendo assim, compreende-se que a lógica do MRP consiste em: “programar atividades para o momento mais tarde possível de modo a minimizar

---

<sup>1</sup> *Lead times*, também chamados de tempo de obtenção, são os períodos de tempo que levam para cada um dos componentes serem adquiridos ou produzidos a partir da emissão da ordem de produção ou de compra.

os estoques carregados [...]” (CÔRREA; GIANESI; CAON, 2007, p. 84). Conforme os autores, a esta lógica se dá o nome de *backward scheduling*, ou programação para trás, pois a partir da necessidade de um número x de produtos acabados é calculada a necessidade de componentes.

O MRP trabalha também com o conceito de capacidade infinita<sup>2</sup>, considerando *lead times* fixos (GIACON; MESQUITA, 2011) e cria um horizonte de planejamento dividido em períodos de tempo chamados de tempos constantes (*time buckets*) (CORRÊA; GIANESI; CAON, 2007).

Apesar de uma ferramenta para gerenciar os estoques e compras para a época (LIDELL, 2011), o MRP não trata da limitação da capacidade dos recursos produtivos da empresa (ZATTAR, 2004). Como trabalham com períodos de planejamento e utilizam o conceito de capacidade infinita, não permitem identificar e tratar gargalos no chão de fábrica (GIACON; MESQUITA, 2011). Devido a estas limitações, o MRP se torna inviável para utilização em atividades de planejamento de curto prazo, já que não demonstra a realidade do ambiente de produção (DINI, 2008).

Corrêa, Giansesi e Caon (2007) ressaltam que, em um ambiente de produção, não basta a viabilidade de materiais para a fabricação do produto final no tempo determinado. Questões como capacidade de produção, máquinas e recursos humanos devem ser estimadas para que o planejamento de produção possa cumprir o tempo de entrega determinado.

Para Lidell (2011), o MRP funciona bem para indústrias que fabricam para estoque, porque mantém um estoque de produtos semiacabados considerado seguro e agrupa a demanda em grandes lotes para fabricação em alta escala. Entretanto, em sistemas produtivos com ambiente de produção contra pedido, o controle sobre a capacidade de produção deve ser priorizado, para evitar desperdício de tempo aumentando o estoque, por exemplo, focando na fabricação do que é necessário para entregar o produto pedido ao cliente. Afirma o autor: “as empresas que produzem para estoque estão sempre vendendo estoques, enquanto que as fábricas que trabalham sob demanda estão vendendo capacidade de produção.” (LIDELL, 2011, p. 28).

Como alternativa para essa questão, surgiu na década de 80 o

---

<sup>2</sup> Capacidade infinita é uma metodologia onde a capacidade de recursos (máquinas, pessoal, entre outros) não são levados em consideração ao definir o planejamento de produção (ZATTAR, 2004).

*Manufacturing Resources Planning* ou Planejamento dos recursos de manufatura (MRP II) (ZATTAR, 2004). Esse novo sistema foi criado a partir da inclusão de um módulo de cálculo de necessidades de capacidade ao cálculo de necessidades de materiais (MRP). A nova sigla e significados atribuídos ao MRP II vieram para diferenciar este sistema de produção do tradicional MRP, já que ele representava uma extensão do conceito original (CORRÊA; GIANESI; CAON, 2007).

De acordo com Corrêa e Pedroso (1996), a diferença entre o MRP II e o MRP está no tipo de planejamento que orientam. Enquanto o MRP indica “o que”, “quanto” e “quando” produzir, o MRP II vai mais longe e indica também “como” produzir.

Segundo Davis, Aquilano e Chase (2001, p. 516):

A intenção inicial do MRP II era planejar e monitorar todos os recursos da empresa – produção, marketing, finanças e engenharia – através de um sistema fechado que gerava análises financeiras. A segunda intenção importante do conceito de MRP II era estimular o sistema de produção.

Constituído de diversos módulos, o MRP II integrou informações e representou uma evolução considerável em relação ao MRP. Porém, como afirma Zattar (2004), o MRP II, assim como o MRP, possuía deficiências como *lead times* constantes, e ainda, herdou de seu antecessor o conceito de capacidade infinita, o que proporciona falta de visibilidade dos recursos e resultava em um plano de produção não confiável.

O MRP II evoluiu para os Sistemas Integrados de Gestão Empresarial, *Enterprise Resource Planning* (ERP) (LIDELL, 2011; DINI, 2008). O ERP surgiu na década de 1990 e vem sendo largamente utilizado em âmbito mundial, com as primeiras implantações no Brasil nos anos de 1997 e 1998. Desde seu surgimento, diversas empresas têm adquirido estes sistemas para gerenciar seus negócios, principalmente para controlar e gerenciar atividades referentes aos fornecedores, clientes, pessoal e custos de forma informatizada (GIACON; MESQUITA, 2011).

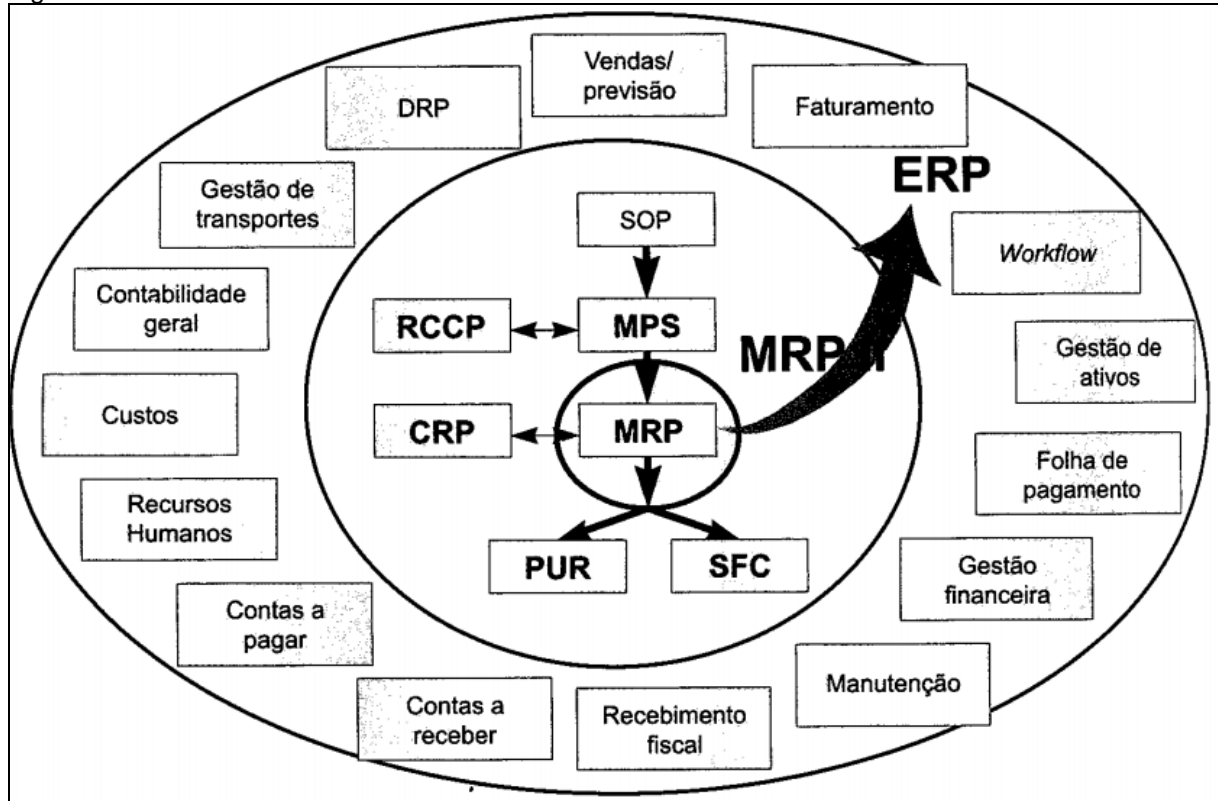
Os sistemas ERP, além dos módulos usualmente contidos no MRP II, englobaram novas atividades como lançamento de ordens, contabilidade, compras e gerenciamento de estoques, unindo as informações da empresa em um único sistema e em um único lugar (LIDELL, 2011).

Além das atividades descritas por Lidell (2011), Giacom e Mesquita (2011) destacam que este sistema de informação contempla também gerenciamento de

pedidos, distribuição e gerenciamento de recursos humanos.

A figura 1, a seguir, exemplifica a estrutura de um Sistema ERP.

Figura 1 - Estrutura de um Sistema ERP



Fonte: Corrêa, Giansesi e Caon (2007, p. 398).

Entretanto os sistemas ERP, apesar de incluir um novo conjunto de funcionalidades para gestão empresarial do negócio como um todo, não constitui uma evolução para a administração da produção. Isso porque mantém a mesma técnica dos sistemas MRP e MRP II, da década de 70, uma vez que abrange estes sistemas como módulos de gestão da produção, sendo incompatíveis com os ambientes de produção atuais (ABREU, 2000 apud DINI, 2008).

Lidell (2011, p. 31) afirma que “[...] os sistemas ERP, na verdade, ofereciam poucas funcionalidades para as indústrias que precisavam planejar e programar a utilização de recursos tais como máquinas, pessoas e ferramentas”, sendo este o foco de sistemas de administração da produção.

Em contrapartida aos sistemas que utilizam o conceito do MRP e MRP II, está o *Just in Time* (JIT), ou tempo justo, sendo o primeiro sistema de produção puxada e um dos princípios para o Sistema Toyota de Produção (GIACON; MESQUITA, 2011). Surgiu no Japão, na década de 70, desenvolvido pela *Toyota Motor Company*, com o objetivo de suprir a necessidade da montadora de veículos,

que buscava um sistema de administração da produção que coordenasse o sistema produtivo, baseado em uma demanda específica de modelos e cores diferenciados com um atraso mínimo. A organização *Toyota* buscava um sistema para produzir veículos com base na demanda, de forma ágil, apesar da complexidade de processo de produção de um automóvel (CORRÊA; GIANESI; CAON, 2007).

O próprio nome do JIT é sugestivo quanto à sua prática de produção. Davis, Aquilano e Chase (2001) descrevem que o *Just in Time* possui esse nome devido aos componentes do produto chegarem à estação de trabalho “justo a tempo” (*Just in time*) ou “na hora certa”<sup>3</sup>. Assim, são finalizados e rapidamente concluem o processo de produção.

A lógica do JIT baseia-se em gerenciar estoques de forma simples: quando o estoque está próximo do zero, é repostado, como um produto em uma prateleira de supermercado (GIACON; MESQUITA, 2011). Utilizando estoques mínimos de matérias-primas, intermediários e bens acabados, este sistema de produção tem como princípio que nada será produzido até que seja necessário (DAVIS; AQUILANO; CASE, 2001), sendo que a necessidade surge a partir da demanda pelo produto (CHASE; JACOBS; AQUILANO, 2006). Nesta linha, os esforços na concepção JIT, também chamado de produção enxuta (*Lean Manufacturing*), se concentram na eliminação de desperdícios no processo produtivo, somente realizando atividades que agreguem valor ao produto, deixando de lado quaisquer outras atividades (LUSTOSA et al, 2008).

Côrrea, Gianesi e Caon (2007) afirmam que este sistema utiliza o método *Kanban*, nome dado aos cartões que servem para identificar os itens do processo de produção movimentados ao longo da produção - os cartões *kanban*.

O sistema OPT compreende outro sistema desenvolvido para a programação da produção e tem como base um algoritmo de programação finita, voltado para maximizar o fluxo no gargalo (GIACON; MESQUITA, 2011). Gargalo é um recurso em que capacidade é igual ou menor que a demanda imposta por ele (GOLDRATT, 2002); ou, como define Caiçara Junior (2008), é a limitação do fluxo de itens em um certo ponto do sistema produtivo.

---

<sup>3</sup> Como melhor definem Chase, Jacobs e Aquilano (2006) em sua obra.

Desenvolvido na década de 70 por Eli Goldratt, o sistema OPT é considerado o primeiro sistema de gargalos e evoluiu para os conceitos da *Theory of Constraints* ou Teoria das Restrições (TOC) (DAVIS; AQUILANO; CHASE, 2001).

Também denominado DBR – *Drum, Buffer, Rop*, o OPT opera da seguinte forma: *Drum* (tambor) é o ritmo de produção, baseado no gargalo; *Buffer* (corda) é a sincronização entre a chegada de matérias-primas no estoque e o cadastro no sistema; o *Rope* (pulmão) são os recursos antes do gargalo que devem estar adequadamente ajustados para não deixar o recurso de gargalo ocioso (GIACON, 2010).

Destacam Corrêa e Pedroso (1996) que novos conceitos e sistemas vêm sendo desenvolvidos na área de administração da produção para suporte à decisão, entre elas estão os sistemas *Manufacturing Execution Systems* (MES) e os sistemas de capacidade finita.

Visto que os sistemas ERP não ofereciam ferramentas para efetuar o controle de produção, com seu módulo MRP, foram desenvolvidos os sistemas MES, para apoiar o controle de produção (LIDELL, 2011). MES são sistemas de complemento ao ERP, devido à utilização do módulo de MRP para gerenciamento da produção, não são capazes de controlar e visualizar aspectos como andamento no chão de fábrica de uma ordem de produção. Já os sistemas MES são sistemas de informação que registram dados do chão de fábrica, por exemplo, tempos de operação e *setup*, estágio das operações em tempo real, quantidade de produtos fabricados para auxiliar as empresas atualizando os seus sistemas de administração da produção, obtendo assim vantagens competitivas (GIACON; MESQUITA, 2011). Como definem Chase, Jacobs e Aquilano (2006), o MES é um sistema de informações que programa, despacha, rastreia, monitora e controla a produção no chão de fábrica.

Zattar (2004) afirma que, enquanto se desenvolviam os sistemas de MRP II, pesquisas eram realizadas a fim de criar softwares baseados no conceito de capacidade finita. Como exemplo desses sistemas, cita-se os Sistemas de Programação com Capacidade Finita, *Finite Capacity Scheduling* (FCS) e os Sistemas de Planejamento e Programação Avançados, ou *Advanced Planning and Scheduling* (APS), que serão abordados posteriormente. Todos esses sistemas fazem parte daqueles que dão suporte à administração da produção e,

conseqüentemente, à atividade de planejamento, programação e controle de produção.

## 2.4 PLANEJAMENTO, PROGRAMAÇÃO E CONTROLE DE PRODUÇÃO

Para que uma organização produza, isto é, transforme insumos em produtos (serviços ou bens), o sistema produtivo deve ser planejado em prazos e, a partir dos planejamentos realizados para cada prazo, traçar planos que executem ações e atividades e que permitam à empresa alcançar seus objetivos.

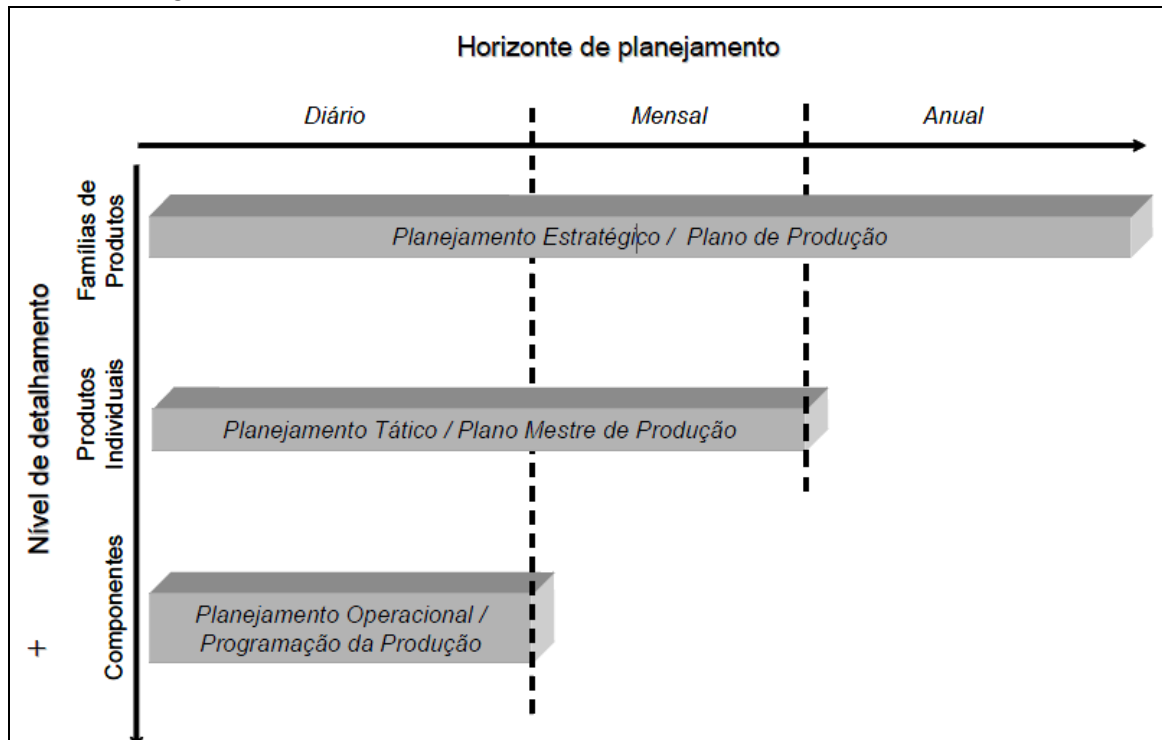
Para desenvolver os planos e aplicá-los surge o Planejamento, Programação e Controle de Produção (PPCP). O PPCP<sup>4</sup> é uma área de tomada de decisão da organização que visa planejar e controlar os recursos da produção para atender a demanda dos clientes (CORRÊA; PEDROSO, 1996). Os prazos de longo, médio e curto prazo e os planejamentos estratégico, tático e operacional, definidos pela gestão da produção, são a base para o setor de PPCP, que tem como objetivo desenvolver planos de ação e tarefas a serem realizadas em cada um dos níveis (TUBINO, 2007).

Com base nos planejamentos definidos pela gestão da produção nos níveis estratégico, tático e operacional, o PPCP traça planos em cada um desses níveis. Na figura 2, estão relacionados por Zattar (2004), incluindo seu horizonte de planejamento.

---

<sup>4</sup> Analogamente, a literatura aborda o termo PPCP como Planejamento e Controle da Produção (PCP), relacionado com atividades de Planejamento, Programação e Controle de Produção, sendo o utilizado neste trabalho a nomenclatura de PPCP. Vale ressaltar que a literatura também aborda o termo Programação e Controle de Produção (PCP), porém, por descartar a atividade de nível de planejamento, não é abordado neste trabalho.

Figura 2 - Relação dos planejamentos da Gestão de Produção com os planos de atividades do PPCP



Fonte: Zattar (2004, p. 11)

O plano de produção é elaborado a partir do planejamento estratégico, com a finalidade de direcionar os recursos de produção para as decisões estratégicas definidas. Seu objetivo é organizar os recursos produtivos - compras, estoques, máquinas, pessoal e instalações - para suprir a demanda de bens e serviços do mercado (TUBINO, 2007).

O próximo passo do PPCP consiste em desenvolver um plano com base no planejamento tático, abordado pelos autores por diferentes nomenclaturas, definido por Tubino (2007) e Zattar (2004) como Plano-Mestre de Produção. Vollman et al (2006) o nomeia como Programação Mestre de Produção. Já Dini (2008), Lidell (2011) e Vollman et al (2006) chamam-no de *Master Production Scheduling* (MPS) e Chase, Jacobs e Aquilano (2006) o classificam como plano agregado de produção.

O MPS é um módulo de tomada de decisão e une o plano de produção à programação da produção, nele são estabelecidos quais produtos serão produzidos e qual a quantidade de cada um em um horizonte de planejamento de médio prazo (ZATTAR, 2004). O MPS interage diretamente com o planejamento de capacidade de grosso modo ou *Rough Cut Capacity Planning* (RCCP) e com planejamentos de vendas, o *Sales and Operations Planning* (S&OP). O MPS, ou planejamento mestre

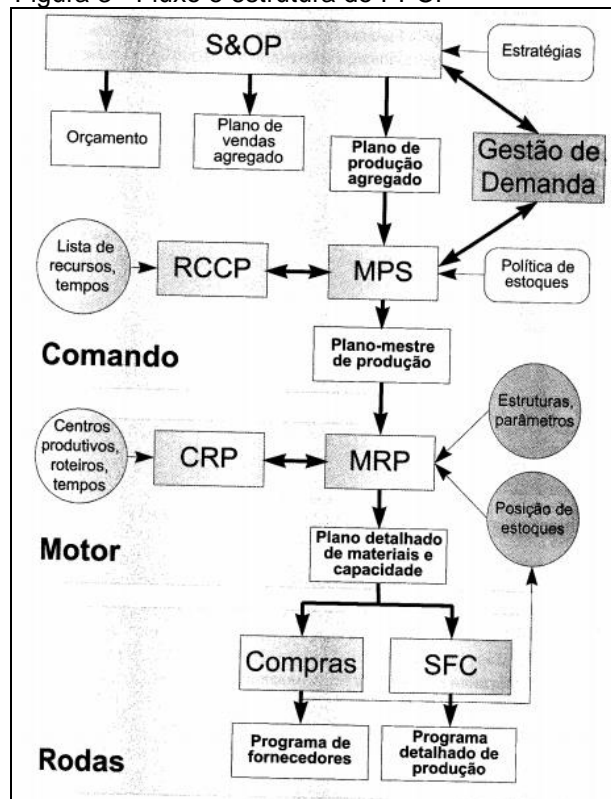
de produção, e o S&OP é o planejamento de vendas e operações, considerado um dos mais importantes, por ter a visão de longo prazo do negócio. O RCCP utiliza o plano-mestre de produção para analisar se os recursos-chave do chão de fábrica estão disponíveis e se há alguma inviabilidade no plano. Caso haja, ele sugere medidas para solucionar esses problemas, como alocação de recursos.

No MRP, é gerada a lista de materiais requeridos para fabricação, sendo que o cálculo de necessidades de capacidade é realizado pelo *Capacity Requirements Planning* (CRP). O *Shop Floor Control* (SFC) é responsável pela alocação dos materiais, máquinas e recursos humanos, além de liberação de ordens de produção.

Chase, Jacobs e Aquilano (2006) afirmam que o objetivo do plano agregado de produção é diferenciar as taxas de produção (número de produtos acabados em uma determinada unidade de tempo) da quantidade de mão-de-obra necessária (pessoal e máquinas) e do nível de estoque disponível.

Com a definição de recursos e materiais, é desenvolvida a programação da produção. O planejamento operacional tem como objetivo principal definir um plano de programa de produção que cumpra as exigências do planejamento tático. É o nível mais baixo no horizonte de planejamento e de curto prazo (compreende períodos de dias ou semanas) (ZATTAR, 2004). Tubino (2007) afirma que é nessa etapa que determina-se quantidades e momentos de compra, fabricação ou montagem de cada item do produto acabado. O fluxo que envolve o PPCP é demonstrado na figura 3.

Figura 3 - Fluxo e estrutura do PPCP



Fonte: Adaptado de Corrêa, Giansi e Caon (2007, p.151)

Para Corrêa e Pedroso (1996), a programação da produção traça as prioridades das ordens de produção, indicando o início, os recursos para a fabricação dos produtos que serão aplicados, definindo todos os passos da fabricação de cada ordem, a fim de atender o MPS. Ressaltam os autores que este é o nível mais complexo da administração da produção, devido as diversas variáveis envolvidas no processo.

Fatores que geram alta complexidade na programação da produção são as ordens de produção, os recursos e as operações. Como fatores de complexidade, tanto para a programação da produção quanto relativos as ordens de produção, eles destacam:

- a) datas diferenciadas de entrega;
- b) tempos de *set up* variáveis;
- c) personalização dos produtos (cada ordem pode exigir características diferentes do produto em questão);
- d) equipamentos de produção com capacidades e tempos de produção variados;
- e) importância diferenciadas para cada cliente.

Quanto aos recursos:

- a) disponibilidade de matérias-primas;
- b) máquinas que requerem manutenção e são propícias a danos;
- c) quadro funcional pode estar incompleto devido à ausência, por motivos diversos dos funcionários;
- d) ferramentas indisponíveis.

Em termos operacionais, os autores citam:

- a) qualidade;
- b) perecibilidade, no caso de alimentos perecíveis, por exemplo;
- c) tempo pós-produção;
- d) restrições como venda em lotes;
- e) recursos de gargalo.

Visto tamanha complexidade do ambiente de produção que o PPCP deve gerenciar, as empresas recorrem aos sistemas de informação para auxiliá-las em suas atividades.

Corrêa e Pedroso (1996) preconizam que os sistemas de PPCP devem ser projetados considerando decisões relacionadas aos níveis de planejamento de longo, médio e curto prazo das organizações, apoiando decisões relacionadas ao “o que”, “quanto”, “quando” e “onde” produzir.

Lidell (2011) afirma que o PPCP engloba todas as áreas da empresa como vendas, engenharia, manutenção, por receber informações destas para traçar os planos e fazer a programação da produção.

A função de um sistema de PPCP é controlar e planejar todas as questões relacionadas à produção, como gerenciamento de materiais, de fornecedores, fazer a programação do pessoal e do maquinário no chão de fábrica e priorizar pedidos de clientes-chave, entre diversas outras atividades (VOLLMANN et al, 2006).

Para realizar tais atividades, as empresas se baseiam nos diversos sistemas de informação existentes para a administração da produção, já descritos, como o MRP, MRP II, JIT, OPT e os sistemas baseados em capacidade finita, como o FCS e o APS.

## 2.4 SISTEMA DE PLANEJAMENTO E PROGRAMAÇÃO AVANÇADO

Como visto, PPCP é um sistema de alta complexidade. Nesse sentido, visando o apoio na tomada de decisão no que diz respeito à programação de produção, surgiram os sistemas de programação da capacidade finita. Eles consideram as características tecnológicas da produção e a capacidade de produção como restrições, de onde vem o termo capacidade finita, e assim conseguem gerar um plano de produção viável (CORRÊA; PEDROSO, 1996).

Para os autores, dentre as funcionalidades que os *softwares* baseados no conceito de capacidade finita devem possuir, estão:

- a) a capacidade de modelar o sistema produtivo para a programação da produção, descrevendo equipamentos, pessoas, turnos, calendário, o roteiro de fabricação dos produtos, indicando velocidades de operação de máquinas, pessoas e etapas na produção, tempos de *setup* e todas as variáveis envolvidas no processo de fabricação;
- b) a possibilidade de informar as reais condições do chão de fábrica, como empregados faltantes, quebra de maquinário e manutenções, de forma detalhada e explícita;
- c) possuir informações da demanda dos clientes, como datas de entrega e previsão de vendas;
- d) comportar a tomada de decisão para permitir alterações no programa de produção como, por exemplo, alterar prioridades de pedidos e ordens de produção por parte de programadores de produção e dirigentes.

Tais funcionalidades são necessárias para que a programação da produção seja condizente com as particularidades do chão de fábrica e, com isso, buscar um aprimoramento das atividades.

Zattar (2004) afirma que os *softwares* baseados no conceito de capacidade de finita, *Finite Capacity Scheduling* (FCS), surgiram em paralelo a evolução dos sistemas baseados na lógica do MRP. Os sistemas FCS têm como fundamento traçar um programa de produção que tenha uma restrição à capacidade do sistema produtivo, garantindo assim a viabilidade do plano de produção. Dini (2008) ressalta que esses sistemas têm como entrada a demanda de produção (pedidos de clientes) e como saída uma programação da produção a curto prazo.

Com a inserção de novas funcionalidades, como restrição de matérias-primas e o controle apurado de estoques, os sistemas FCS evoluíram para os Sistemas de Planejamento e Programação Avançados (APS) (ZATTAR, 2004). Estes surgiram no início dos anos 90 e representam um grande salto de qualidade na administração da produção, por unir conceitos de engenharia de produção aos sistemas de informação (LIDELL, 2011).

Os sistemas APS, evolução dos sistemas de produção com capacidade finita, seguem os mesmos preceitos, pois, como Giaccon e Mesquita (2011) explicam, utilizam restrições de matéria-prima, planejando entregas somente diante da necessidade e utilizam as técnicas de escalonamento de produção (*Scheduling*) para minimizar os tempos de *setup*. Essas técnicas são aplicadas pelo sequenciador, que Lidell (2011) destaca ser o diferencial dos sistemas APS, por gerenciar o tempo com regras personalizáveis de sequenciamento, ao invés dos tradicionais tempos constantes (*time buckets*) dos sistemas MRP e derivados. Para ele, a qualidade de um *software* APS está ligada diretamente à qualidade do seu sequenciador.

Segundo Zattar (2004), são definidos como APS os sistemas que incorporem restrições e metas de negócio fazendo uso de algoritmos de otimização; auxiliem em decisões de suporte em tempo real; gerem um planejamento e programação de produção, planejando diversos cenários rapidamente, tenham rápido processamento após as mudanças e considerem recursos materiais e da planta. Na visão de Lidell (2011), esses sistemas devem incluir também os objetivos estratégicos do negócio.

Lidell (2011) afirma que existem três características que diferem os APS dos demais sistemas, são elas:

- a) a capacidade de possuir um alto nível de detalhamento e assim criar um modelo com as restrições reais do sistema produtivo em questão;
- b) oferecer regras avançadas de sequenciamento de forma personalizada, que servirá de ferramenta para os programadores de produção;
- c) facilidade de customização para se adequar às novas operações e processos da empresa.

Como afirma Torres (1999), para que os *softwares* gerem a programação da produção, levando em conta todas as restrições de capacidade para cada

recurso utilizado na produção, e façam o detalhamento das operações, é imprescindível capacidade computacional. Isso porque os *softwares* APS utilizam ferramentas para o escalonamento de produção e algoritmos pra otimização, como a Teoria das Restrições, para tratar da problemática da produção (que serão abordados posteriormente).

## 2.5 COMPARATIVO DE SISTEMAS DE APS

Como exposto anteriormente, os *softwares* APS possuem alguns princípios básicos que os definem, porém no mercado há variações de funcionalidades de um sistema para outro, devido aos diferentes fabricantes que, conseqüentemente, aplicam técnicas diferentes no desenvolvimento de seus sistemas.

Além disso, como os APS são sistemas que necessitam se adequar ao sistema produtivo, alterações personalizadas e focadas para cada cliente são utilizadas, o que traz uma diversificação de *softwares* dessa linha.

Como explicam Corrêa e Pedroso (1996), os sistemas de programação da produção com capacidade finita, em geral, não apresentam uma definição básica predominante, em razão dos diferentes conceitos na concepção e no escopo das decisões a que eles dão o suporte. Com isso, concluiu-se que antes da implantação de um *software* do gênero, uma análise cuidadosa dos *softwares* disponíveis é necessária, para definir aqueles que mais se adequam ao sistema produtivo em questão.

Isso é destacado por Lidell (2011) em sua obra, onde cita que no advento do APS, muitos fornecedores de sistemas ERP reconheceram o problema em seus módulos em MRP e adquiriram módulos desses *softwares* para fazer a integração. No entanto, em muitos dos casos não se obteve bom resultados, porque as empresas de APS que venderam seus *softwares* estavam tendo dificuldades por possuírem tecnologia deficiente e, assim, seus sistemas não eram bons para a demanda.

Tal relato vai ao encontro da afirmação de Corrêa e Pedroso (1996) sobre o quão importante é a análise na hora da aquisição de um *software* APS. Nesse sentido, Lidell (2011) esclarece que apenas a aquisição de um *software* APS não significa que a organização terá benefícios.

Corrêa e Pedroso (1996) preconizam três fatores fundamentais que refletem a implantação e sucesso destes sistemas:

- a) a capacidade da empresa de se adequar ao sistema;
- b) a escolha de um *software* que atenda as necessidades e particularidades da organização e se adequa as restrições específicas do ambiente de produção;
- c) a metodologia de implantação, capacitando as pessoas para a utilização do sistema.

Visto esses preceitos, os sistemas de programação da produção com capacidade finita são classificados pelos autores com base em três critérios: pelo nível de interação com o usuário; pela abrangência das decisões no âmbito de planejamento da produção e pelo método de resolução do problema.

Quanto ao nível de interação com o usuário, os sistemas podem ser abertos ou fechados. Os abertos requerem a interação do usuário na tomada de decisão. Nestes, os usuários, em geral programadores da produção, definem as regras e a ferramenta simula o ambiente produtivo, sendo um *software* que atua como suporte à tomada de decisão. Nos sistemas fechados, a troca de informações com o usuário é mínima, se restringindo apenas a indicação dos gargalos produtivos e a definição nos objetivos de desempenho, sendo a tomada de decisão responsabilidade do *software*.

Outro critério utilizado pelos autores na classificação é a abrangência desses sistemas em relação ao planejamento de produção. Nesse sentido, Corrêa e Pedroso (1996) fizeram a classificação tendo como critério o horizonte de planejamento em que o sistema atua. Dividindo em:

- a) sistemas de apoio ao PMP, onde o enfoque dos sistemas APS serve para determinar o plano referente aos itens e quantidades de produtos acabados a serem produzidos em cada período;
- b) sistemas de apoio à programação da produção, para os sistemas de programação da produção com capacidade finita que classificam as ordens em sequência para serem fabricadas no ambiente produtivo em um determinado período de tempo;
- c) sistemas de gestão dos materiais integrado a capacidade produtivo, ainda referente ao plano de produção, mas com foco na gestão de

materiais, onde o sistema tem por finalidade definir as necessidades de aquisição de materiais, conforme a produção, para cada período;

d) sistemas que executam o controle da produção, monitoram as ordens planejadas ou o plano de produção.

Os autores Corrêa e Pedroso (1996) classificam os sistemas também quanto ao método utilizado para a solução do problema:

a) sistemas baseados em regras de liberação: definem a ordem em que será atendida, entre uma fila de ordens;

b) sistemas matemáticos otimizantes: aqueles baseados em algoritmos matemáticos, que definem o melhor resultado possível com base em um objetivo;

c) sistemas matemáticos heurísticos: caracterizados por utilizarem algoritmos matemáticos heurísticos, garantindo soluções viáveis, mas não ótimas;

d) sistemas especialistas puros: sendo os sistemas APS baseados em Inteligência Artificial (IA) e, por meio de conhecimento adquirido de um especialista em determinada área, o transforma em uma série de regras de decisão que, através do motor de inferência, chegam a um resultado;

e) sistemas apoiados em redes neurais: desenvolvidos utilizando Inteligência Artificial que simulam o aprendizado da mente humana. Consistem em uma rede de informações distribuídas por neurônios (nós) que acumulam o conhecimento e geram uma solução adaptativa e reativa.

Após estas classificações, Corrêa e Pedroso (1996) traçaram um comparativo entre os principais *softwares* APS disponíveis no mercado, comparando quais funcionalidades eles oferecem, o nível de troca de informações com os usuários e o método de solução utilizado.

A tabela 1 apresenta um comparativo dos *softwares* APS.

Tabela 1 - Comparativo de *softwares* APS

Software	Fabricante	Origem	Método de Solução	Grau de Interação	Funções
AHP – Leitstand	AHP	Alemanha	Regras de liberação	Aberto	Programação da produção e Controle de produção.
FI-2 Leitstand	IDS Prof.Scher	Alemanha	Regras de liberação	Aberto	Programação da produção e controle da produção
FMS Leitstand	Siemens	Alemanha	Regras de liberação	Aberto	Programação da produção e controle da produção
Preactor 200	CIMulation Centre	Inglaterra	Regras de liberação	Semi-aberto	Programação da produção
MOOPI	Berclain	Canadá	Matemático Heurístico	Fechado	Programação da produção, gestão de materiais e controle de produção
Schedulex	Numetrix	Canadá	Matemático Heurístico	Semi-fechado	PMP e programação da produção
MRS	Taylor Indl. Software	Canadá	Regras de liberação	Aberto	Programação da produção e controle da produção
AutoSched	Auto Simulations	EUA	Regras de liberação	Aberto	Programação da Produção
Scheduler	Manugistics	EUA	Matemático	Semi-fechado	PMP
Rynthm	I2 Technologies	EUA	Matemático heurístico	Semi-fechado	PMP, programação da produção e gestão dos materiais integrada.
The Goal System	Goal Systems	EUA	Matemático heurístico	Fechado	Programação da produção, gestão das materiais integrada.
Factor	Pristker Corp.	EUA	Regras de liberação	Aberto	Programação da produção e controle de produção.
Jobbing	INT	Brasil	Regras de liberação	Aberto	Programação da produção.
Prodira 1000	Coprodin Eletrônica	Brasil	Regras de liberação	Semi-aberto	Programação da produção.

Fonte: Adaptado de Corrêa e Pedroso (1996)

Corrêa e Pedroso (1996) elucidam assim as funcionalidades de cada *software* e os métodos por eles aplicados para alcançar a sua finalidade. Devido à quantidade de sistemas disponíveis e serem *softwares* proprietários, optou-se nessa pesquisa, por apresentar o resultado de comparação de outros autores, já que não é o foco fazer um comparativo, mas sim descrever as funcionalidades dos sistemas APS e aplicá-las em um modelo de desenvolvimento próprio.

### 3 ESCALONAMENTO DE PRODUÇÃO

Os sistemas APS, como a própria nomenclatura sugere, utilizam o *scheduling*, ou escalonamento, para gerar um programa da produção aplicável ao chão de fábrica de uma empresa.

Escalonamento é a atividade de alocar recursos limitados para tarefas sobre um período definido, sendo os recursos: máquinas, operários, entre outros; e as tarefas: operações no processo de produção de um produto. É um processo de tomada de decisão que tem a função de aperfeiçoar um ou mais objetivos definidos pela organização (OLIVEIRA, 2001).

Lidell (2011) descreve escalonamento como o balanceamento entre a demanda por produtos e os recursos de produção disponíveis de uma organização, e seu objetivo é gerar um plano de produção confiável e viável. Entende-se por demanda os pedidos de clientes, ordens de compra de estoque para reposição, entre outros. Os recursos são os equipamentos, ferramentas, matérias-primas, produtos semiacabados e acabados e os recursos humanos envolvidos no processo de produção.

Kusiak e Ahn (1992 apud HOFFMAN; GÓMEZ, 2000) caracterizam a atividade de escalonamento como sendo uma técnica em que se cria uma lista ordenada, indicando como cada peça será alocada em uma linha de produção, utilizando os recursos disponíveis, dado um objetivo determinado.

Galvão (2007, p. 08) descreve *scheduling* como “[...] um grupo de tarefas (*jobs*) devem ser processadas por um grupo de máquinas, sob diferentes restrições adicionais, de forma a minimizar a função objetivo”.

Problemas de escalonamento são classificados como problemas NP-difíceis, pois enumeram de forma implícita ou explícita todas as possibilidades para garantir a obtenção de uma solução ótima para a programação da produção. O *scheduling* é realizado por meio de algoritmos de otimização, estes completamente viáveis em problemas pequenos com objetivos limitados (DIAS, 2004).

No entanto, quanto maior a complexidade e dinamismo de um ambiente de produção, mais difícil mantê-lo operando satisfatoriamente (GONSALES, 2013). Logo, em problemas reais, onde tem-se muitas variáveis envolvidas no processo, torna-se difícil ou impossível modelar todas as possibilidades, pois quanto maior o

número de variáveis envolvidas, maior o processamento computacional necessário (DIAS, 2004).

Tentando se aproximar de uma solução otimizada que seja possível de aplicação no cotidiano, foram desenvolvidas técnicas de otimização que abrangem algoritmos computacionais para a resolução do escalonamento de forma otimizada e possível dentro da limitação dos sistemas computacionais existentes.

### 3.1 MODELOS E TÉCNICAS DE OTIMIZAÇÃO DE ESCALONAMENTO DE PRODUÇÃO

Para a solução de problemas de escalonamento de produção, Galvão (2007) e Oliveira (2001) ressaltam dois modelos de escalonamento de produção: os matemáticos e os heurísticos.

Os modelos matemáticos ou exatos utilizam algoritmos que apresentam como resultado a solução ótima. No entanto, são modelos que requerem grande capacidade computacional, o que os torna inviáveis em grande parte dos casos (GALVÃO, 2007).

Oliveira (2001) descreve que tais algoritmos levam em consideração algum parâmetro para realizar a busca e encontrar o resultado ótimo, que pode ser a minimização dos tempos de produção ou a maximização do uso dos recursos, por exemplo. Ele descreve que a complexidade do problema de escalonamento e o alto número de soluções possíveis tornam impossível a modelagem de todas as variáveis envolvidas no processo. Como exemplo, o autor cita dois métodos que utilizam modelos matemáticos enumerativos<sup>5</sup>: *Branch and Bound* e *Johnson*. O método *Branch and Bound*, utiliza uma estrutura de busca em árvore com ramificações e o método *Johnson*, trabalha a questão do menor tempo de processamento.

Almeida (1995) vai além e ressalta que para cumprir a tarefa de otimizar os recursos para a produção, que é a função do escalonamento, deve-se utilizar alguns métodos que, embora não tragam a solução ótima, sejam rápidos e originem soluções muito boas, próximas da ótima, sem requerer tanto esforço computacional e que sejam de rápido procedimento, como os modelos heurísticos.

---

<sup>5</sup> São assim chamados por não tratarem de informação para direcionar a busca.

Modelos heurísticos ou aproximados utilizam regras para priorizar as tarefas, como regras de prioridades, sem grande esforço computacional, mas que, no entanto, não garantem uma solução ótima, conforme Galvão (2007). O autor cita alguns exemplos de regras de priorização:

- a) *First Come First Serve* (FCFS), por ordem de chegada;
- b) *Earliest Due Data First* (EDD), por data de entrega mais próxima;
- c) *Shortest Processing Time First* (SPT), a peça com menos período de processamento tem sua prioridade aumentada;
- d) *Longest Processing Time* (LPT), dá prioridade a peça com mais tempo de processamento, para ser logo finalizada;
- e) *Weighted Shortest Processing Time First* (WSPT), classifica a peça com menor tempo de processamento como mais prioritária, considerando um peso diferente para cada tarefa.

Muitas outras regras heurísticas<sup>6</sup> são definidas por Oliveira (2001), mas no geral, elas se referem aos mesmos critérios que são: tempo de processamento, data de entrega, número de operações, custo, instante de chegada, máquina ou tráfego e montagem.

Para Dias (2004), os métodos heurísticos consistem em algoritmos de escalonamento que permitem resolver problemas de alta complexidade em tempos aceitáveis e que se aproximam da solução ótima, baseando-se em regras pré-estabelecidas, ordenando assim cada tarefa por escala de prioridade.

O método heurístico utilizado no trabalho desenvolvido é a teoria das restrições onde as regras heurísticas se baseiam nas limitações dos recursos de produção existentes.

### 3.2 TEORIA DAS RESTRIÇÕES

A Teoria das Restrições (TOC), de acordo com Oenning et al (2004), é amplamente utilizada por gestores empresariais com objetivo de otimização da produção, buscando a melhor forma de utilizar sua capacidade de produção.

Zattar (2004) explica que a base do surgimento da TOC remonta ao final da década de 1970, quando pesquisadores israelenses, dentre os quais estava

---

<sup>6</sup> Como Oliveira (2001) define as regras de prioridade (assim definidas também por Galvão (2007)), utilizadas nos modelos heurísticos.

Eliyahu Goldratt, deram início ao desenvolvimento de um *software* para a otimização da produção baseando-se em novas heurísticas: *Optimized Production Technology - OPT*. A autora continua:

Na segunda metade dos anos 80, Goldratt ampliou a técnica do OPT criando o que hoje é conhecido como a Teoria das Restrições, que passou a ser definida pelo próprio Goldratt (1991; p.8) como “uma nova filosofia de gerenciamento global, juntamente com o *Just-in-Time* e o *Total Quality Management*”. A partir deste ponto a TOC amplia sua atuação do campo da produção para a organização da empresa como um todo. A premissa principal da TOC, segundo Goldratt (1991; p.46), é que “a otimização local não garante a otimização total” e a partir desta idéia estabelece os conceitos básicos de sua teoria (ZATTAR, 2004, p.55-56).

Na sequência, a partir da publicação do livro *The goal*, do físico Eliyahu M. Goldratt, em 1985, traduzido em diversos países, a abordagem metodológica criada pela TOC foi inicialmente introduzida. Depois, essa abordagem ampliou-se para outras áreas da empresa, como, por exemplo, agregando novos instrumentais à contabilidade gerencial (MARQUES; CIA, 1998).

Apesar de a TOC ter como origem o OPT, Souza (2005, p.185) chama atenção para a importância de não confundir OPT com TOC, e afirma que “TOC é muito mais que um *software* de programação baseado em capacidade finita dos recursos”, pois agrega diversos aspectos relacionados à: logística, processos de raciocínio como método de solução de problemas e sistema de desempenho.

De acordo com Goldratt (1993 apud OENNING et al, 2004), a meta das empresas com fins lucrativos é o lucro tanto no presente quanto no futuro e, para isso, é imprescindível a otimização da capacidade produtiva da indústria por meio da maximização da utilização das restrições de produção, compreendendo que sempre existirá alguma restrição que limite a sua capacidade de produção.

Antunes et al (2008, p.106) complementa que, depois de sugerir que a meta principal das empresas é “ganhar dinheiro hoje e no futuro”, Goldratt a ampliou para englobar também “satisfazer os empregados hoje e no futuro” e “satisfazer os clientes hoje e no futuro”, ao entender que essas duas últimas metas são cruciais para alcançar a meta econômica.

Conforme os autores, é fundamental para o alcance da meta que a mesma seja mensurada pela empresa. Para isso, Goldratt e Cox (2003) propõem três medidores:

- a) Lucro líquido (LL): medidor absoluto;

- b) Retorno sobre o investimento (RSI): medidor relativo;
- c) Fluxo de caixa (C): medidor de sobrevivência.

Nessa perspectiva, Corbett Neto (1997, p.39) pontua:

A TOC encara qualquer empresa como um sistema, isto é, um conjunto de elementos entre os quais há alguma relação de interdependência. Cada elemento depende um do outro de alguma forma, e o desempenho global do sistema depende de esforços conjuntos de todos os seus elementos. Um dos conceitos mais fundamentais é o reconhecimento do importante papel da restrição de qualquer sistema.

Conforme Zattar (2004), a TOC baseia-se na premissa de que qualquer sistema tem no mínimo uma restrição, caso contrário este sistema poderia produzir uma quantidade infinita do seu produto.

Logo, compreende-se que o conceito-chave da TOC é a "restrição". A restrição consiste em qualquer obstáculo que limita o melhor desempenho do sistema em direção a sua meta (MARQUES; CIA, 1998).

Marques e Cia (1998) citam que há dois tipos de restrições principais:

- a) restrições físicas: são aquelas associadas ao fornecimento de materiais, a capacidade produtiva, a logística e ao mercado;
- b) restrições não físicas ou políticas: são aquelas relacionadas a aspectos gerenciais e comportamentais, por meio das normas, procedimentos e práticas usuais da organização.

Complementa Giuntini (s.d., p.13): “restrição é a limitação da quantidade que pode ser produzida decorrente da capacidade comprometida em um ou vários recursos de atividades, tais como quantidade de máquinas insuficiente, recursos humanos não qualificados”. Ou seja, restrições correspondem a fatores que não podem ser mudados em curto prazo, de acordo com o autor.

Nesse sentido, Giuntini (s.d., p.1) afirma: “a TOC implica reduzir Inventário e Despesa Operacional e aumentar o Ganho. Mede seus resultados através do Retorno Sobre o Investimento, o Lucro Líquido e o Fluxo de Caixa”.

### **3.2.1 Passos e Princípios da Teoria das Restrições**

De acordo com Goldratt e Cox (2003), são cinco os passos da TOC para a implementação de um processo cíclico de aprimoramento contínuo, com objetivo de identificar, controlar e gerenciar, da melhor maneira possível, as restrições:

- a) identificar as restrições;
- b) decidir como explorar as restrições do sistema;
- c) subordinar qualquer outra coisa à decisão anterior;
- d) elevar as restrições do sistema;
- e) se nos passos anteriores uma restrição foi quebrada, volte ao primeiro passo, mas não permita que a inércia se torne uma restrição do sistema.

Oenning et al (2004) explica que o primeiro passo consiste em encontrar o elemento que está limitando a capacidade de produção da empresa. O que, nas restrições internas, pode ser feito através de testes que possibilitam encontrar o ponto que possui uma capacidade de produção inferior às necessidades da empresa.

O segundo passo, segundo eles, implica tomar medidas que possam otimizar o elemento limitante identificado no primeiro passo. Reconhecendo que a capacidade produtiva da empresa é a capacidade de seus gargalos, afirmam que uma das formas de explorar ao máximo o gargalo é buscar a combinação ótima de produtos, já que: “a combinação ótima de produtos é a que possibilita o maior ganho possível para a empresa.” (OENNING et al, 2004, p.212).

Decidida a forma de otimização do gargalo, todos os demais recursos da empresa devem ser subordinados a essa decisão, o que consiste no terceiro passo. Prudêncio (2009, p.212) explica: “a subordinação é a etapa responsável por garantir um nível de atividade com o mínimo estoque possível, reduzindo assim o Investimento e Despesa Operacional”.

O quarto passo, segundo Oenning et al (2004), dita que deve-se aumentar a capacidade do gargalo da empresa sempre que possível, pois ao elevar a capacidade de um recurso restritivo, se estará aumentando a capacidade do sistema como um todo.

Por fim, os autores afirmam que o quinto passo implica o reconhecimento de que, apesar de quebrada a restrição identificada, surgirá outra em seu lugar. Sendo assim, Prudêncio (2009) destaca que é imprescindível que se retorne ao ponto de partida, entendendo o processo de melhoramento como contínuo, sem que haja acomodação para não tornar a inércia uma restrição.

Além dos cinco passos para otimização da produção, a TOC propõe nove princípios de otimização (heurísticas) que devem ser levados em conta. A saber:

1. Balancear o fluxo do sistema e não a sua capacidade;
2. O nível de utilização de um recurso não gargalo não é determinado por seu próprio potencial e sim por outra restrição do sistema;
3. A utilização e a ativação de um recurso não são sinônimos;
4. Uma hora perdida no gargalo é uma hora perdida no sistema inteiro;
5. Uma hora economizada onde não é gargalo é apenas uma ilusão;
6. Os gargalos governam o ganho e o inventário;
7. O lote de transferência não pode e muitas vezes não deve ser igual ao lote de processamento;
8. O lote de processo deve ser variável e não fixo; e.
9. Os programas devem ser estabelecidos considerando todas as restrições simultaneamente. (ZATTAR, 2004, p. 57).

Desta forma, Prudêncio (2009, p. 20) pontua:

Quando os recursos fabris são devidamente programados para atingir o máximo na restrição primária de capacidade e a liberação de materiais é controlada e protegida de forma a garantir suprimento contínuo na restrição sem criar filas desnecessárias nos outros recursos, a empresa atingirá o ótimo desempenho global: o ganho será maximizado, o investimento será minimizado e o nível de despesas operacionais, para suportar essas posições, será o menor possível.

É importante salientar, então, que a TOC consiste em uma sistemática de subsídio na tomada de decisões relacionadas a maximização do ganho por meio da otimização da produção (OENNING et al, 2004).

### **3.2.2 Modelo Tambor, Pulmão e Corda**

A TOC indica uma metodologia de planejamento e controle da produção chamada Tambor-Pulmão-Corda (TPC), do inglês *Drum-Buffer-Rope* (DBR), de acordo com Souza (2005).

A TPC baseia-se na ideia de que existem apenas alguns poucos recursos com restrição de capacidade, os RRC, e são eles os responsáveis por estabelecer o índice de produção de toda a fábrica, sendo denominados Tambor. (UMBLE; SRIKANTH, 1996 apud SOUZA, 2005).

Na sequência, os autores pontuam que, “para garantir que a produção do RRC não seja interrompida por falta de peça, cria-se na frente dele um inventário que o protegerá contra as principais interrupções que possam ocorrer dentro de um intervalo predeterminado de tempo”, o que é chamado de Pulmão de Tempo (UMBLE; SRIKANTH, 1996 apud SOUZA, 2005, p.185).

O Pulmão, explicam Ayuso e Oliviera (2004), corresponde à proteção do sistema contra as variabilidades ou flutuações – características dos sistemas complexos -, realizada através do inventário. Os autores salientam:

Entretanto, o pulmão não deve ser visto como “estoque de segurança” (conceito muito utilizado no MRP), mas sim como uma “antecipação de tempo” cuja consequência é o inventário físico. Ou seja, o material é programado para estar disponível antes do tempo necessário. Além disso, pulmões são estabelecidos apenas em pontos estratégicos do sistema. (AYUSO; OLIVIERA, 2004, p.3)

E assim, para que o estoque não cresça acima do nível estabelecido pelo pulmão, deve-se limitar o ritmo em que a matéria-prima é transformada em manufatura. A essa intervenção, chama-se de Corda (MARQUES; CIA, 1998).

Os pulmões de tempo são divididos em três tipos: Pulmão de Recurso, Pulmão de Mercado e Pulmão de Montagem (GOLDRATT, 1990 apud SOUZA, 2005).

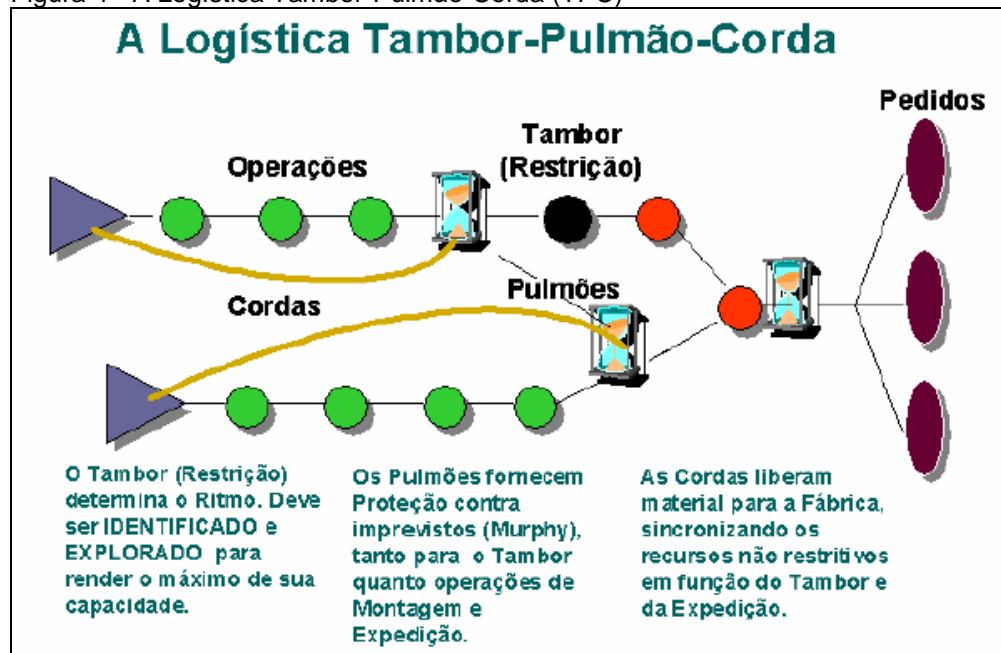
De acordo com Goldratt (1990 apud SOUZA, 2005) o Pulmão de Recurso resulta da necessidade de proteger as restrições de recurso, inviabilizando a interrupção do trabalho. Souza (2005, p.185) afirma que “a origem deste pulmão é a área localizada à frente do RRC e conterà estoques de material em processo”.

O Pulmão de Mercado ou Expedição, conforme o autor, protege a restrição de mercado, com o objetivo de que as entregas sejam realizadas sempre dentro do prazo estabelecido. O Pulmão de Mercado é refletido e posicionado nos armazéns de produtos acabados.

Não sendo suficientes apenas esses dois, deve-se estabelecer também o Pulmão de Montagem, pois: “se o intuito é explorar a restrição, deve-se evitar que peças produzidas por um recurso restritivo fiquem esperando, na operação de montagem, por peças provenientes de recursos não-restrição”. Assim, o Pulmão de Montagem é responsável por conter apenas peças que passaram por recursos não-restritivos (GOLDRATT, 1990 apud SOUZA, 2005, p.185).

A seguir, para melhor entendimento, a figura 6 traz um esquema de como funciona a logística TPC.

Figura 4 - A Logística Tambor-Pulmão-Corda (TPC)



Fonte: Prudêncio (2009, p.21)

Sintetizando, Giuntini (s.d.) diz que a solução chamada TPC possibilita que as tarefas sejam liberadas conforme o programado, e não antes. Para o autor:

Elas caminham de centro de trabalho para centro de trabalho, à medida que cada centro de trabalho completa sua tarefa e até que o trabalho entre no pulmão protetor na frente do gargalo (restrição). Tendo em vista que cada um dos centros de trabalho na frente do gargalo pode operar a uma velocidade maior do que a média em que o trabalho é liberado para o sistema, os inventários de material em processo de fabricação na frente do pulmão protetor são geralmente mínimos. Quando uma tarefa entra no pulmão protetor, fica ali até o momento em que foi programada para entrar no gargalo, e não antes. (GIUNTINI, s.d., p.14).

Souza (2005) destaca que a proposta para programação e controle da produção, denominada de TPC, proposta pela TOC, é capaz de gerar excelentes resultados práticos às empresas mesmo quando não há a implementação conjunta de um sistema computacional especializado em programação da produção baseada na capacidade limitada dos recursos, como o OPT. No entanto, o autor salienta que, em algumas situações, como fábricas muito balanceadas, onde pequenas oscilações no *mix* de produtos levam a alterações na localização dos recursos gargalos, o uso de um sistema computacional especialista é imprescindível.

### 3.3 GRÁFICO DE GANTT

Como forma de representar o escalonamento de produção graficamente, a literatura contempla o gráfico de Gantt como sendo o mais popular. Inventado por H.L. Gantt em 1917, o eixo X representa o tempo e o eixo Y representa os vários equipamentos envolvidos no escalonamento (OLIVEIRA, 2001).

O gráfico mostra como cada recurso de produção é alocado para as atividades ao longo de um período de tempo, que é uma maneira de avaliar a produção e demonstrar o controle de produção (LIDELL, 2011).

Entretanto, Galvão (2007) ressalta que ele não é uma ferramenta de sequenciamento, mas sim uma forma de representar as soluções geradas pelos *softwares* que fazem o escalonamento de produção.

Os gráficos de Gantt podem conter alguns tipos de informação, conforme a informação que transmitem. Almeida (1995) cita que os gráficos são divididos em:

- a) diagramas de sequenciamento ou progresso, que informam um calendário das atividades;
- b) diagramas de carga, que mostram a quantidade de trabalho aplicada a cada recurso; e
- c) diagramas de registro, que contêm os registros do tempo de operação, atrasos, entre outros.

A seguir, nas figuras 5 e 6, são apresentados por Lidell (2011) cenários de escalonamento de produção fictícios para mostrar a representação de dados da programação da produção em gráficos de Gantt.

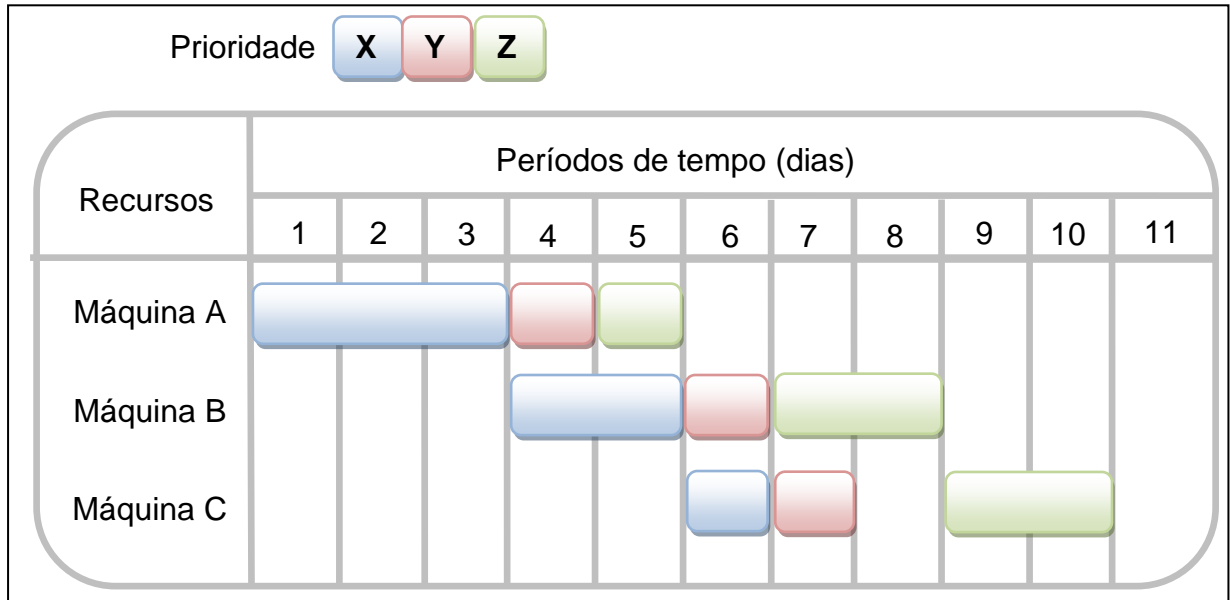
Nos cenários tem-se os produtos *x*, *y*, *z* e os períodos de tempo de 1 a 11, expresso em dias e os recursos representados pelas máquinas A, B e C.

Os produtos seguem a mesma sequência de fabricação, sendo obrigatório respeitar a ordem do processo produto: primeiro os produtos *x*, *y* e *z* passam pela operação na máquina A, depois na máquina B e, por último, na máquina C.

O produto *x*, no seu processo de fabricação, fica por 3 dias na máquina A, 2 dias na máquina B e 1 dia na máquina C. O produto *y*, para ser fabricado, fica 1 dia em cada um dos recursos produtivos. Já o produto *z* deve ficar 1 dia na máquina A, 2 dias na máquina B e 3 dias na máquina C.

Em um primeiro cenário, o produto x é prioridade, então deve ser finalizado primeiro no dia 6; o produto y, no dia 7; e no dia 10 é terminado o processo de fabricação do produto z.

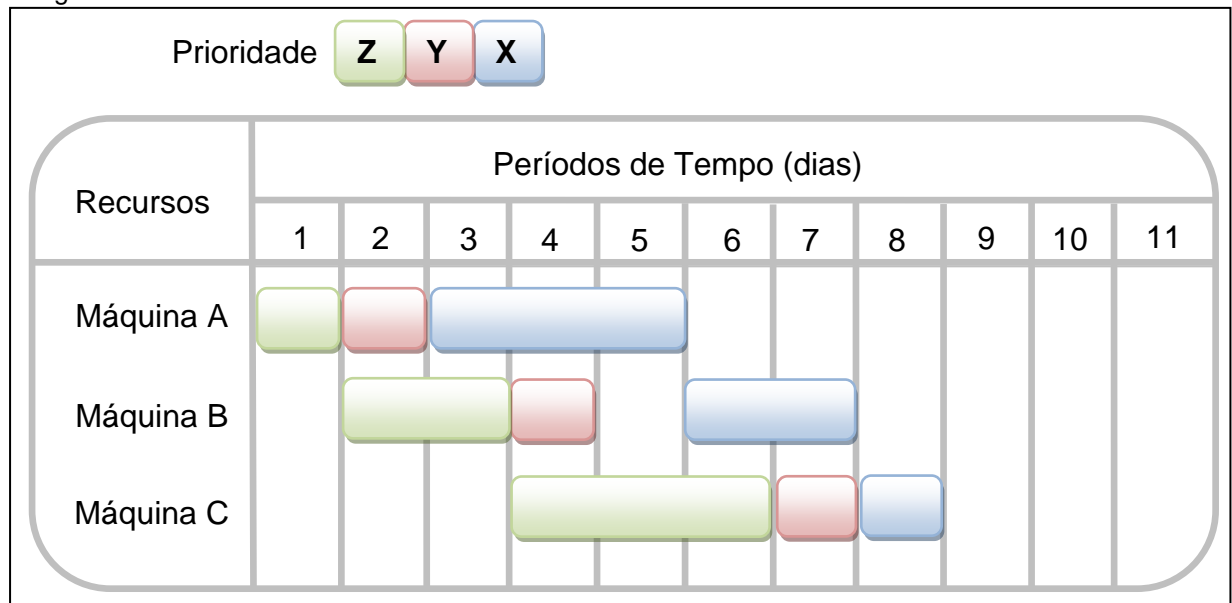
Figura 5 - Gráfico de Gantt – Cenário 1



Fonte: Adaptado de Lidell (2011, p.57)

O segundo cenário retrata o produto z como prioridade que deve ser entregue no dia 6, o produto y no dia 7 e o produto x no dia 8, o que, segundo o autor, seria muito difícil de visualizar sem um *software* APS, ressaltando a importância do mesmo para a programação da produção. Nesse sentido, o autor afirma: “O propósito deste exercício é demonstrar que a capacidade de manipular o sequenciamento de ordens e operações pode ter um impacto muito significativo no desempenho de uma fábrica” (LIDELL, 2011, p. 58).

Figura 6 - Gráfico de Gantt – Cenário 2



Fonte: Adaptado de Lidell (2011, p.57)

E assim, por meio de uma representação simples como é o gráfico de Gantt, cenários complexos de ambiente de produção são apresentados e interpretados mais claramente por engenheiros de produção utilizadores de *softwares* APS, pois retratam facilmente a programação da produção de forma objetiva.

Um exemplo de *software* APS que representa o escalonamento de produção por meio do gráfico de Gantt é o *Preactor*.

### 3.4 PREACTOR

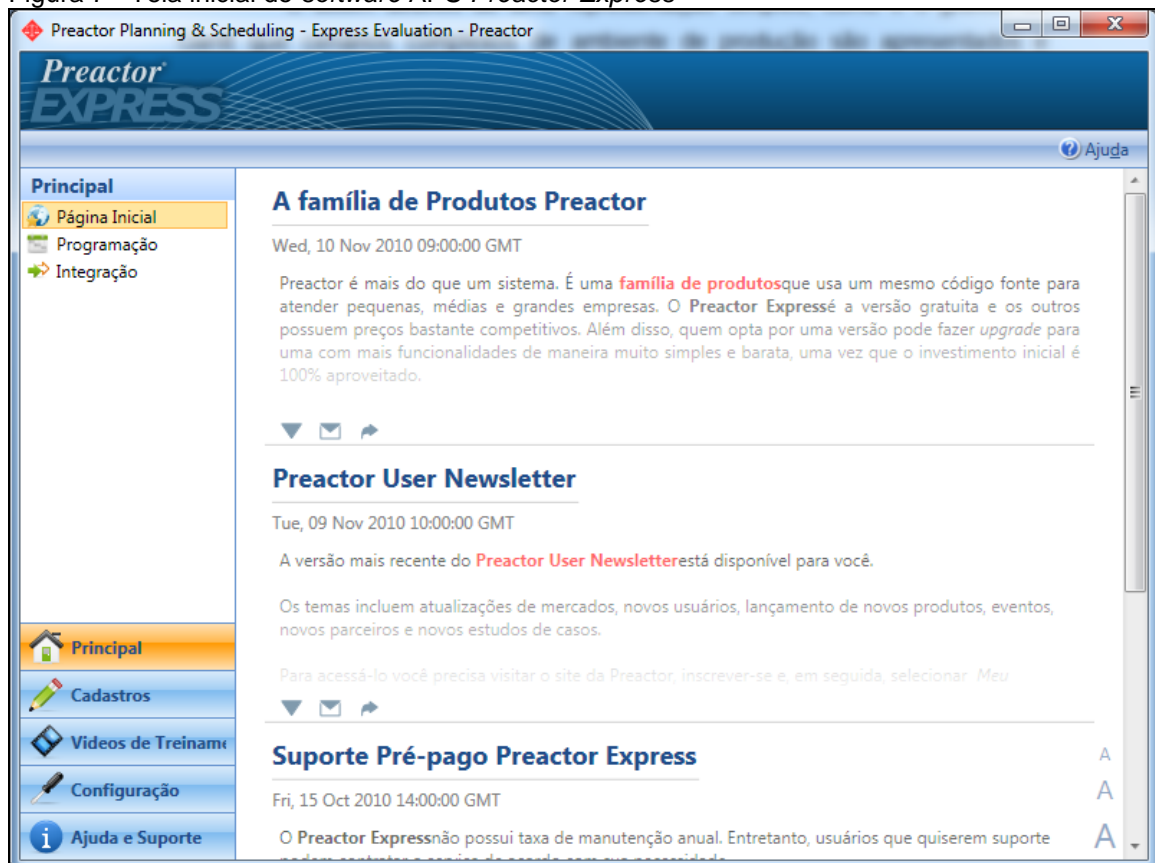
O *Preactor* é um exemplo de aplicação APS que se baseia em capacidade finita e utiliza técnicas heurísticas e o modelo da Teoria das Restrições para realizar o escalonamento da produção. São duas versões do *software*, a paga e a gratuita - esta última disponível para testes, distribuída sobre o nome de *Preactor Express* no site da *Preactor Internacional*, desenvolvedora do sistema, no link <<http://www.preactor.com/Express/Default.aspx#.Ubl2IPk3sRk>> para *download* após cadastro e utilização por 30 dias.

A versão utilizada para testes e análise neste trabalho é a versão 11.1.0.21035 do *software Preactor Express*. A análise de um *software* APS é essencial para posterior desenvolvimento do modelo proposto por esse trabalho.

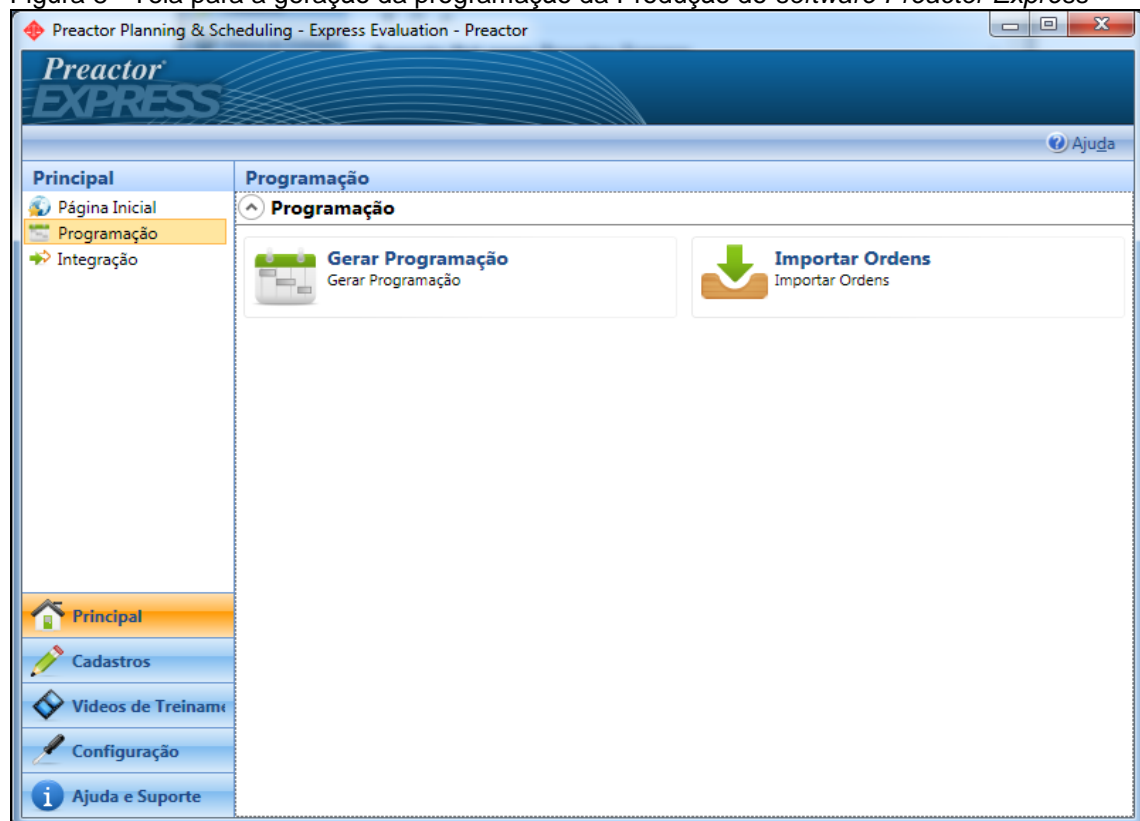
Dias (2004a) ressalta que o *Preactor* faz o equilíbrio entre a capacidade dos recursos disponíveis, as restrições, prioridades e assim gera o programa de produção de forma confiável respeitando as limitações do sistema produtivo.

Na figura 7 é apresentada a tela inicial do *software Preactor Express*. O escalonamento de produção é realizado a partir do menu “Programação” e posteriormente em “Gerar Programação”, como é apresentado na figura 8.

Figura 7 - Tela inicial do *software APS Preactor Express*



Fonte: O Autor (2013).

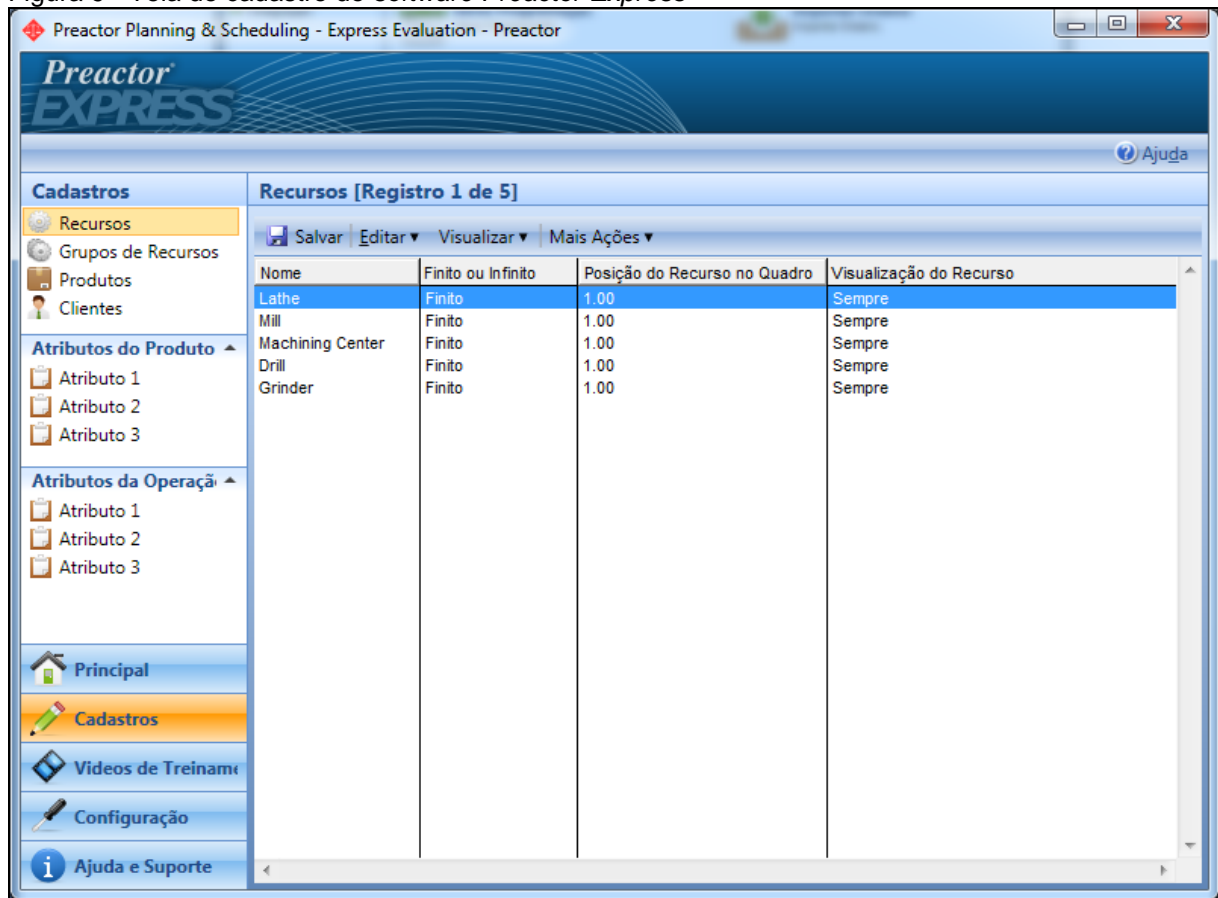
Figura 8 - Tela para a geração da programação da Produção do software *Preactor Express*

Fonte: O Autor (2013).

Para realizar o escalonamento e gerar a programação da produção o *software* necessita das informações básicas que são inseridas no menu “Cadastros” conforme é mostrado na figura 9. As informações compreendem:

- a) recursos, onde são especificados os recursos da linha de produção como máquinas e mão de obra. Também podem ser especificados o limite de capacidade como finito ou infinito.
- b) grupo de recursos, para agrupar máquinas e mão-de-obra relacionada a mesma tarefa.
- c) produtos, onde são cadastrados o nome do produto, as operações em ordem sequencial de produção relacionadas ao mesmo, os atributos que no caso podem ser matérias-primas ou produtos semi-acabados, que fazem parte deste produto, entre outras informações.
- d) clientes, onde são inseridos os dados básicos como nome da empresa, contato, telefone e e-mail.

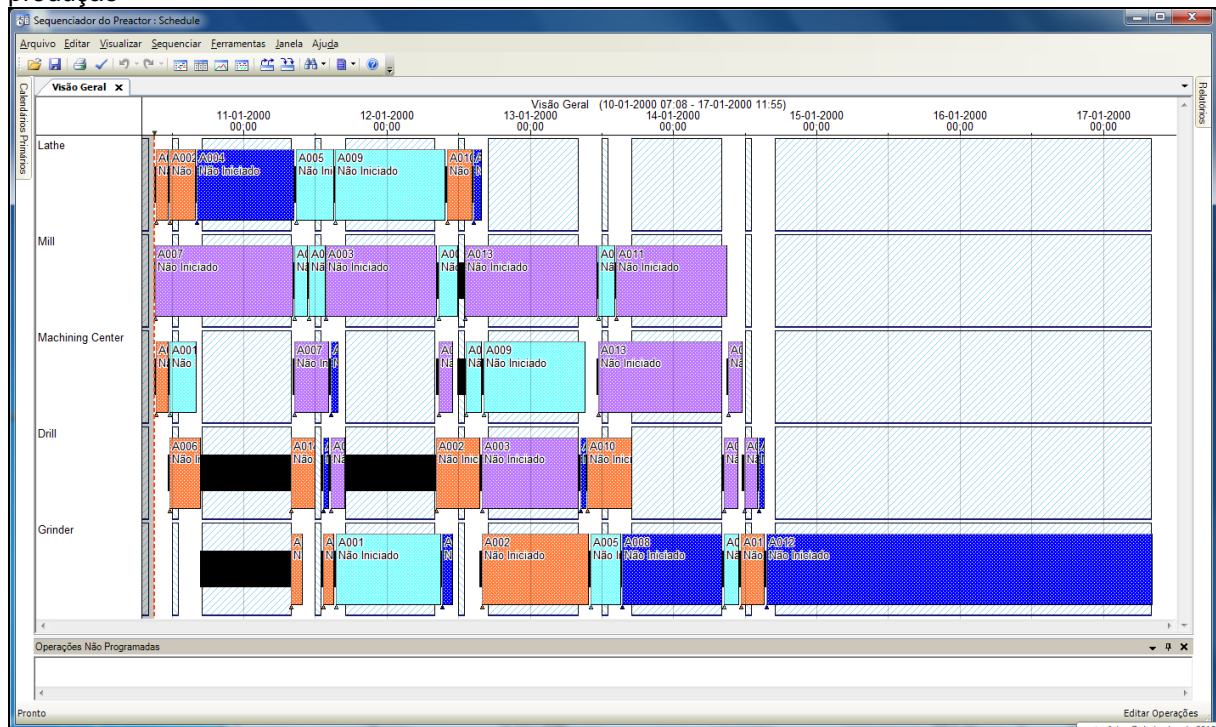
Figura 9 - Tela de cadastro do software Preactor Express



Fonte: O Autor (2013).

A forma de apresentação dos dados referente à programação da produção acontece por meio do gráfico de Gantt, citado anteriormente, conforme figura 10. No próprio gráfico de Gantt, o *software* permite editar o escalonamento gerado e apresentado, onde através do método de “arrastar” e “soltar” o usuário pode alterar a sequência de fabricação das ordens de produção.

Figura 10 - Gráfico de Gantt gerado pelo APS *Preactor Express* para mostrar a programação da produção



Fonte: O Autor (2013).

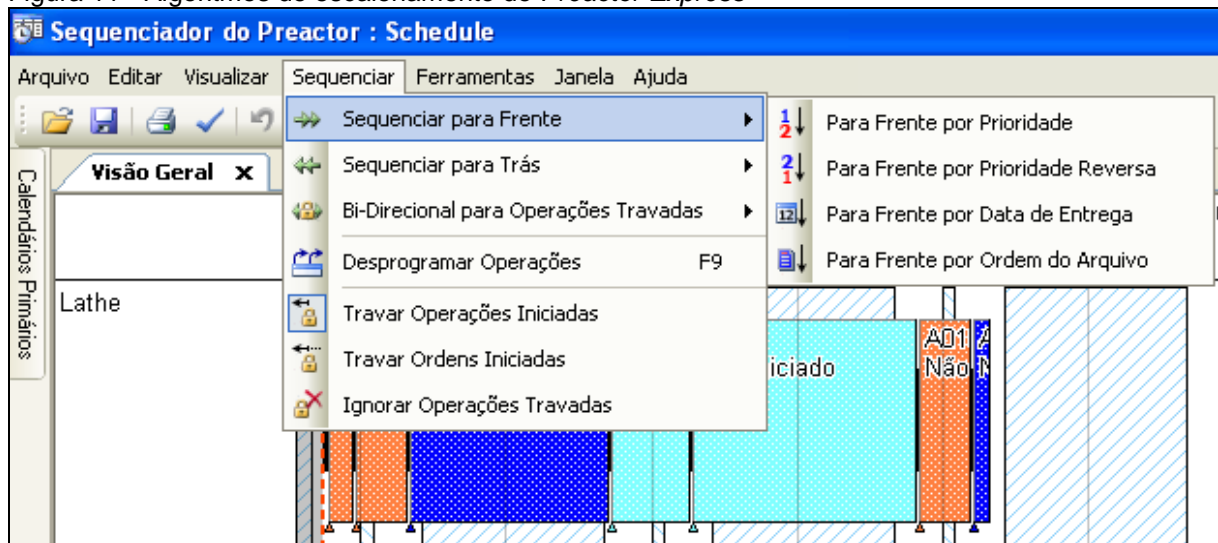
### 3.4.1 Algoritmos de Escalonamento do Preactor

O *Preactor Express* trabalha com métodos heurísticos para realizar o escalonamento de produção, possuindo algoritmos com lógicas de escalonamento para a frente (*forward*), para trás (*backward*), e no modo bidirecional, como pode-se observar na figura 11.

Os algoritmos estão pré-definidos no sistema à escolha do utilizador, mas também é permitida a edição e utilização de algoritmos próprios. O uso de cada algoritmo escalona cada ordem de produção de acordo com critérios como prioridade, prioridade reversa e data de entrega, conforme escolhido pelo usuário (DIAS, 2004b). Como afirma a autora:

Através de algoritmos de escalonamento baseados em heurísticas, pretende-se determinar a melhor sequência das operações de forma a maximizar/minimizar *objectivos* tais como tempos de processamento, de preparação, etc. tendo em conta as informações relativas aos recursos e aos produtos. (DIAS, 2004b, p.3).

Figura 11 - Algoritmos de escalonamento do *Preactor Express*



Fonte: O Autor (2013)

Os algoritmos utilizados no *Preactor* procuram, à sua maneira, escalonar a produção de forma otimizada, cada um com uma regra, uma prioridade que define como as ordens de produção serão distribuídas no chão de fábrica. Segundo Dias (2004b), os algoritmos utilizados no *software* são:

- a) *Forward*
- b) *Backward*
- c) *Bottleneck*
- d) *Dynamic Bottleneck*
- e) *Minimize WIP Forward*
- f) *Minimize WIP Backward*
- g) *Parallel Loading*
- h) *Product Specific*
- i) *Preferred Sequence*

O algoritmo *Forward*, ou para frente, atribui as operações dos produtos aos recursos, a partir do momento em que estes ficam disponíveis, ou seja, a partir de um momento que um recurso está disponível no sequenciamento, então deve ser atribuída uma operação à ele, seguindo uma sequência lógica padrão de qualquer chão de fábrica.

O algoritmo de APS *Backward*, ou para trás, é o oposto do *Forward*, com a programação reversa, isto é, o escalonamento é feito a partir da data de entrega da ordem de produção, onde a última operação é alocada primeiro, e as operações anteriores são escalonadas em uma sequência inversa (DIAS, 2004b). Desse modo,

se há 5 operações para a fabricação de um produto, inicialmente são definidos em qual o recurso e o período a operação 5 utilizará, posteriormente a operação 4, a 3 e assim até alocar todas as operações em seus recursos produtivos e períodos de produção. Dessa forma, impedindo ou tentando impedir o atraso na entrega da encomenda.

O *Bottleneck* se baseia na TOC. Com base na limitação de um recurso/grupo de recursos de gargalo feita pelo usuário, é realizado o escalonamento. Cada ordem de produção é escalonada para trás a partir da data de entrega. O *Dynamic Bottleneck* é um aprimoramento do *Bottleneck* em que varia de produto escalonado.

A autora ainda define, os algoritmos *Minimize WIP Forward* e *Minimize WIP Backward*. Eles trabalham em cima do conceito de *Work-In-Process* (WIP), que é o tempo em que as tarefas ficam em execução, e ambos visam minimizá-lo bloqueando a primeira ordem de produção com data de entrega mais próxima e alocando os recursos inicialmente para ela, seja para frente, no caso do *Minimize WIP Forward*, ou para trás no tempo, caso seja o algoritmo *Minimize WIP Backward*.

No algoritmo *APS Parallel Loading*, não se segue um padrão por ordem de produção como os demais algoritmos de escalonamento, afirma Dias (2004b). Ele escalona inicialmente todas as primeiras operações de todas as ordens disponíveis, depois as segundas operações e assim sucessivamente, buscando ter um escalonamento de produção paralelo de todas as ordens de produção em execução.

“Os algoritmos de escalonamento podem ser globais (abrangem todas as operações), ou podem ser específicos para cada recurso/produto”, define Dias (2004b, p. 12), que é o caso do *Product Specific*, onde, para cada produto e/ou para cada ordem de produção, as operações podem ser definidas e escalonadas por tipos diferentes de algoritmo de escalonamento.

Diferentemente dos outros algoritmos vistos até então no *Preferred Sequence*, a autora destaca que é possível ser escolhido o critério para que o escalonamento seja realizado, que pode ser atributos associados, tempos de processamento, tempos de preparação, entre outros.

## 4 TRABALHOS CORRELATOS

Desde o início do surgimento dos sistemas de informação, a preocupação com sistemas voltados para a área industrial se manifestou presente. Isso fica claro com o crescente desenvolvimento e evolução dos sistemas MRP (para MRP II, ERP e diversos módulos adjacentes). Recentemente os pesquisadores estão abordando sistemas de produção mais complexos como os de capacidade finita, em especial o APS, foco deste trabalho.

A seguir, estão alguns trabalhos semelhantes que visam difundir a utilização dos sistemas APS para melhorar o desempenho das atividades de PPCP das organizações.

### 4.1 ANÁLISE DA APLICAÇÃO DOS SISTEMAS BASEADOS NO CONCEITO DE CAPACIDADE FINITA NOS DIVERSOS NÍVEIS DA ADMINISTRAÇÃO DA MANUFATURA ATRAVÉS DE ESTUDOS DE CASO

Izabel Cristina Zattar (2004), acadêmica do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, desenvolveu sua dissertação intitulada “Análise da aplicação dos sistemas baseados no conceito de capacidade finita nos diversos níveis da administração da manufatura através de estudos de caso”. Sua pesquisa visava compreender a utilização dos sistemas de produção baseados em capacidade finita, sua aplicação nos diferentes estágios da administração da manufatura (produção), realizando um levantamento dos estudos dos métodos de resolução matemáticos utilizados por esses sistemas e exemplos de integração com outros sistemas de produção.

O que motivou a pesquisa foi o fato deste tipo de sistema estar com boa aceitação pelo mercado, porém sem uma literatura disponível que permita as organizações desenvolverem os próprios *softwares*.

Visando alcançar o objetivo proposto, Zattar (2004) desenvolveu uma pesquisa em três organizações que tinham adquirido seus *softwares* APS, mas que estavam em diferente estágio de implantação. Fez um levantamento bibliográfico sobre os assuntos de administração da manufatura; sistemas de informação da administração da produção, traçando sua evolução ao longo da história; uma análise de sistemas híbridos; a teoria das restrições, utilizada em sistemas de capacidade

finita, e por fim apresentou o estudo de caso, apresentando as empresas e os sistemas APS por elas utilizados.

Com base no estudo de caso, Zattar(2004) fez um comparativo da utilização dos sistemas APS/FCS e outros sistemas de PPCP no dia-a-dia das empresas, onde constatou que elas optavam por trabalhar sistemas híbridos de APS/FCS e ERP. E que dentro do contexto dos *softwares* APS, traçou os horizontes de planejamento (estratégico, tático e operacional) que cada *software* contemplava em cada uma das empresas estudadas fazendo um paralelo com os ambientes de produção por elas utilizadas (contra-pedido e para estoque).

#### 4.2 IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS DE PROGRAMAÇÃO DETALHADA DA PRODUÇÃO: LEVANTAMENTO DAS PRÁTICAS DE PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO NA INDÚSTRIA

Edivaldo Giacon (2010) desenvolveu, na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, sua dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia intitulada: “Implantação de Sistemas de Programação Detalhada da Produção: levantamento das práticas de programação da produção na indústria”. A pesquisa de Giacon (2010) tinha como objetivo verificar as necessidades e dificuldades da programação detalhada da produção, as barreiras de implantação e os benefícios dos APS.

Para isso, ele verificou o estágio em que a tecnologia da informação estava na organização para sustentar a gestão, o nível de detalhamento das operações no chão de fábrica, problemas e dificuldades encontrados, e a evolução, barreiras e benefícios dos sistemas de produção de capacidade finita nas organizações estudadas.

Após o levantamento do referencial teórico, o autor promoveu uma pesquisa através de um questionário utilizando um *software* especialista do método de pesquisa *survey*. O método utilizado foi o levantamento *survey* nas empresas filiadas à Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (Fiesp).

Os resultados obtidos evidenciam que a programação detalhada da produção é uma atividade complexa para a maioria das empresas com estratégia de produção contra pedido (MTO), que estão direcionadas para aumento de desempenho estratégico. Giacon (2010) afirma que a grande maioria das empresas

ainda utiliza o modelo de planejamento MRP. No entanto, elas possuem objetivos que podem ser mais facilmente alcançados com o uso de sistemas APS. Ainda assim, existem dois fatores limitantes a aquisição de sistemas: o aspecto financeiro e a falta de capacitação.

#### 4.3 ESTUDO SOBRE A IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE PLANEJAMENTO AVANÇADO COM CAPACIDADE FINITA, EM UMA EMPRESA DE FUNDIÇÃO DE FERRO

Jose Prudêncio (2009) elaborou, como seu trabalho de conclusão de curso de especialização em Logística na Fundação Getúlio Vargas, a pesquisa: “Estudo sobre a implantação de um sistema de planejamento avançado com capacidade finita, em uma empresa de fundição de ferro”. O estudo teve como objetivo verificar a eficácia do sistemas APS em um ambiente de balanceamento rigoroso, devido à grande quantidade de produtos e o mercado instável que, em muitos casos, acabam com a sobrecarga dos equipamentos. Utilizou o software *Drummer APS* e fez uma comparação em números do resultados obtidos, com os esperados e os anteriores.

Prudêncio (2009) constatou que a modernização da sistemática de PCP com a implantação de um sistema APS resultou em melhoria considerável no que tange a performance operacional, comprovada em auditorias para a certificação da norma ISO TS 16949, voltada para o segmento automotivo. Sendo assim, o autor afirma que foi fundamental a implantação do sistema de programação finita para a empresa, pois trouxe como resultados a redução de estoques, melhorando a acuracidade dos inventários e a pontualidade de entrega, permitindo uma análise criteriosa dos resultados obtidos com a implementação do sistema.

#### 4.4 SISTEMAS AVANÇADOS DE PLANEJAMENTO E PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO UMA APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA DE AUTOMAÇÃO BANCÁRIA

Adriani Dini (2008) desenvolveu, como Trabalho de Conclusão de Curso, no curso de graduação de Administração de Empresas, a pesquisa intitulada “Sistemas avançados de planejamento e programação da produção: uma aplicação

na indústria de automação bancária”. O trabalho consistiu em implantar um Sistema de Planejamento e Programação Avançado em uma indústria de automação bancária, com o objetivo de detalhar a sistemática do planejamento da programação da produção da empresa em estudo; apresentar o processo de implantação do APS; identificar e analisar os resultados.

O método da pesquisa caracterizou-se como estudo de caso exploratório-descritivo, tendo estudado o setor de PCP da organização, pretendendo descrever a introdução de uma ferramenta especialista em sequenciamento fino de produção em um único setor de uma organização específica.

Dini (2008) constatou que a nova sistemática de planejamento e programação da produção trouxe benefícios à empresa em diversos fatores. Os maiores impactos da implantação do *software* podem ser verificados nas atividades de Programação da Produção, Sequenciamento e Sincronismo das Operações. O autor afirma que, após a implementação do Preactor, as três atividades ficaram sob controle do PCP, que importa as ordens de produção e realiza a programação da produção utilizando o critério de priorização das ordens de produção para o atendimento das datas de entrega. Além disso, outro fator importante observado após a implantação do Preactor é a possibilidade do PCP gerar e analisar diferentes cenários de programação, estimando com antecedência o resultado da programação prevista.

#### 4.5 ADVANCED PLANNING AND SCHEDULING: IS LOGISTICS EVERYTHING?

Eck (2003, tradução nossa) elaborou, para requisito parcial de obtenção do Doutorado em Business mathematics and informatics na universidade de Amsterdam, a pesquisa: “Advanced Planning and Scheduling: Is logistics everything?”, que teve como objetivo o estudo e discussão do conceito de Supply Chain Management, ou cadeia de suprimentos, que envolve o planejamento e programação de produção e distribuição dos produtos acabados aos clientes, ou seja, envolve toda a cadeia produtiva.

Nesse sentido, aborda o conceito de sistemas APS como a resolução e gerenciamento de todos esses processos e faz a discussão sobre a funcionalidade básica de um APS, a comparação com os antigos sistemas MRP e MRP II, quanto à atividade de gerenciamento do ambiente produtivo.

Utilizou o levantamento bibliográfico como metodologia, explicando os conceitos de Supply Chain Management, sistemas de informação com foco na produção e o APS, suas funcionalidades e forma de implementação e como resultado obteve a análise do ponto de vista de como o APS contribuí de forma significativa a cadeia de suprimentos.

## 5 APEP: MODELO DE PLANEJAMENTO E ESCALONAMENTO DE PRODUÇÃO

Esta pesquisa propõe um modelo de planejamento e escalonamento de produção baseado na Teoria das Restrições para um Sistema de Planejamento e Programação Avançado.

Para alcançar o objetivo desta pesquisa efetuou-se: uma pesquisa bibliográfica, onde foram estudados tópicos como a gestão da produção, os sistemas de informação, as atividades de PPCP, os sistemas APS e a Teoria das Restrições; o desenvolvimento de um modelo de planejamento e escalonamento de produção, com base na literatura estudada e no *software Preactor*; a implementação de um protótipo utilizando algoritmos de escalonamento baseado na Teorias das Restrições e a validação do protótipo com aplicação em um estudo de caso de uma cervejaria.

### 5.1 METODOLOGIA

Dentro das linhas de pesquisa do curso de Ciência de Computação, este projeto se insere na linha de Engenharia de Sistemas, voltado para a área de projetos de sistemas computacionais.

As etapas de desenvolvimento da pesquisa foram: levantamento bibliográfico, o desenvolvimento de um modelo de planejamento e escalonamento de produção, a implementação de um protótipo e a validação do mesmo no estudo de caso.

#### 5.1.1 Levantamento bibliográfico

A primeira etapa desta pesquisa foi o levantamento bibliográfico, buscando organizar as referências. O desenvolvimento foi baseado nos materiais já produzidos sobre o assunto, como livros, artigos, dissertações, sites da internet, projetos e produtos comerciais. Fontes variadas, como sites específicos sobre gestão de produção, sistemas de informação, sistemas APS, Teoria das Restrições e o *software Preactor* foram enfoque da pesquisa.

Mas tanto, no que diz respeito ao desenvolvimento de um modelo de planejamento e escalonamento de produção e a implementação do protótipo,

pretendeu-se abordar uma bibliografia que fundamentasse o tema de forma acadêmica.

### **5.1.2 Estudo de Caso**

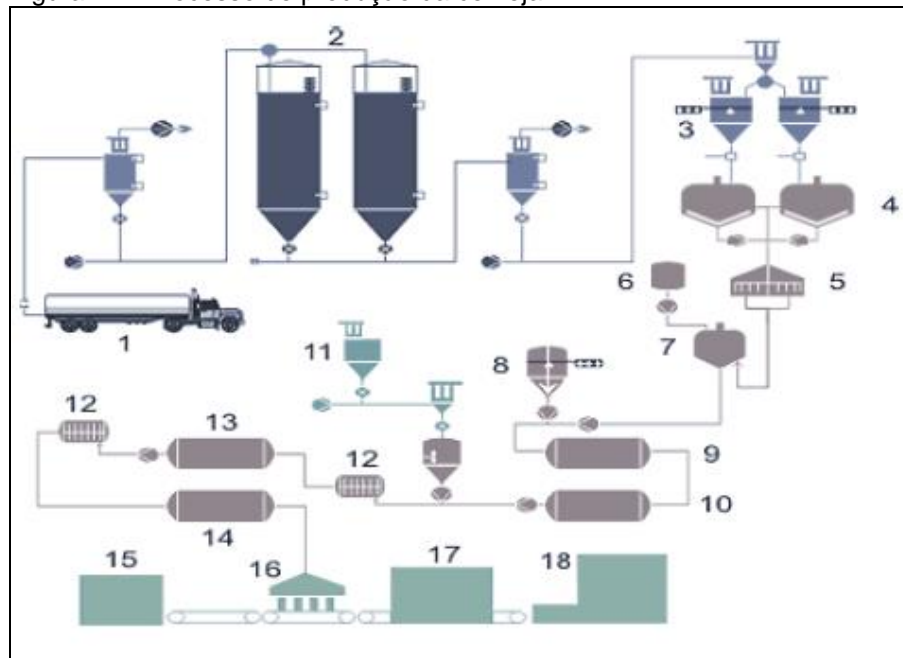
Este trabalho tem como um dos objetivos validar o protótipo APS aplicando-o em um estudo de caso na empresa de produção cervejeira X, para otimização da produção, sendo que a cervejaria em questão trabalha com um ambiente de produção MTO, ou contra-pedido. Logo, a partir do dossiê técnico de Carvalho (2007), serão descritas as operações, as matérias-primas e os procedimentos envolvidos no processo de fabricação da cerveja, utilizados na cervejaria.

A cerveja é produzida a partir de quatro ingredientes básicos: água, lúpulo, cevada e malte, sendo que se estima existir cerca de 20 mil tipos de cervejas no mundo. Além da cevada outros cereais como o trigo, o centeio, o milho podem ser utilizados como matéria-prima na fabricação da cerveja. Segundo Carvalho (2007), o produto é definido pela lei nº 8.918, de 14 de julho de 1994, artigo 67, que diz:

Cerveja é a bebida obtida pela fermentação alcoólica do mosto de malte de cevada e água potável, por ação da levedura cervejeira, com adição de lúpulo ou seu extrato, podendo parte do malte ser substituído por cereais maltados ou não ou por carboidratos de origem vegetal.

O autor apresenta no fluxograma abaixo (figura 12) o processo de produção da cerveja.

Figura 12 - Processo de produção da cerveja



Fonte: Carvalho (2007)

A primeira etapa (número 1) do processo de produção da cerveja é o transporte e recebimento do malte. Em seguida (número 2), é armazenado em tanques, chamados de silos, onde devem permanecer por um período de 15 a 30 dias. Depois, o malte é levado até moinhos (número 3), onde é cortado para liberar o amido que há no interior do cereal. Após o corte, o malte passa por um processo chamado de mosturação, onde é misturado à água e aquecido a uma temperatura de 72°C (número 4).

A mostura, como é chamado a mistura resultante do processo de mosturação, passa por uma filtração que retira a casca do malte, passando a denominar-se mosto (número 5). Depois da filtração e geração do mosto, é realizada a fervura do mesmo, onde o mosto é colocado em tanques (número 7) para ser adicionado a ele o lúpulo (número 6), um conservante natural que atribui a cerveja e ao *chopp* o sabor amargo característico.

O processo seguinte é o resfriamento, que deixa o mosto pronto para receber a levedura (número 8) e assim realizar a fermentação (número 9). As enzimas da levedura irão consumir os açúcares presentes no mosto e produzir o álcool, ácidos e outras substâncias características da cerveja. A fermentação pode ser alta ou baixa, sendo que a temperatura varia entre 10° e 25°C.

A cerveja verde, como é chamado o mosto após a fermentação, é enviada para os tanques de maturação (número 10), onde permanece em uma temperatura próxima de 0°C para uma fermentação lenta. É no processo de maturação que a cerveja passa a ter o teor quase correto da sua composição de álcool e ácidos e também onde há a clarificação para retirar o aspecto turvo.

Feito isso, é acrescentado diatomácea para retirar a cor desagradável da cerveja (número 11) e ocorre uma segunda filtração (número 12). Posteriormente, ela passa por uma fase de acabamento (número 13), onde recebe dióxido de carbono, estabilizantes e antioxidantes para conservá-la por um tempo maior para a comercialização.

A cerveja acabada (número 14) é engarrafada (número 16) em garrafas limpas com a solução de hidróxido de sódio (número 15).

Conforme Carvalho (2007), a pausterização (número 17) é o processo que diferencia a cerveja do *chopp*. Quando passada pela pasteurização o produto resultante é a cerveja propriamente dita, quando não, é definida como *chopp*. A pasteurização consiste em eliminar alguns microrganismos que prejudicam as características originais da cerveja.

E a última operação a ser realizada no processo de produção da cerveja é a expedição (número 18), onde a cerveja é transportada da fábrica para ser comercializada. No caso do *chopp*, que é a cerveja não pasteurizada, ainda ocorre o embarrilamento, isto é, o *chopp* é colocado em barris que podem ser de madeira, alumínio ou aço de carbono para depois serem comercializados.

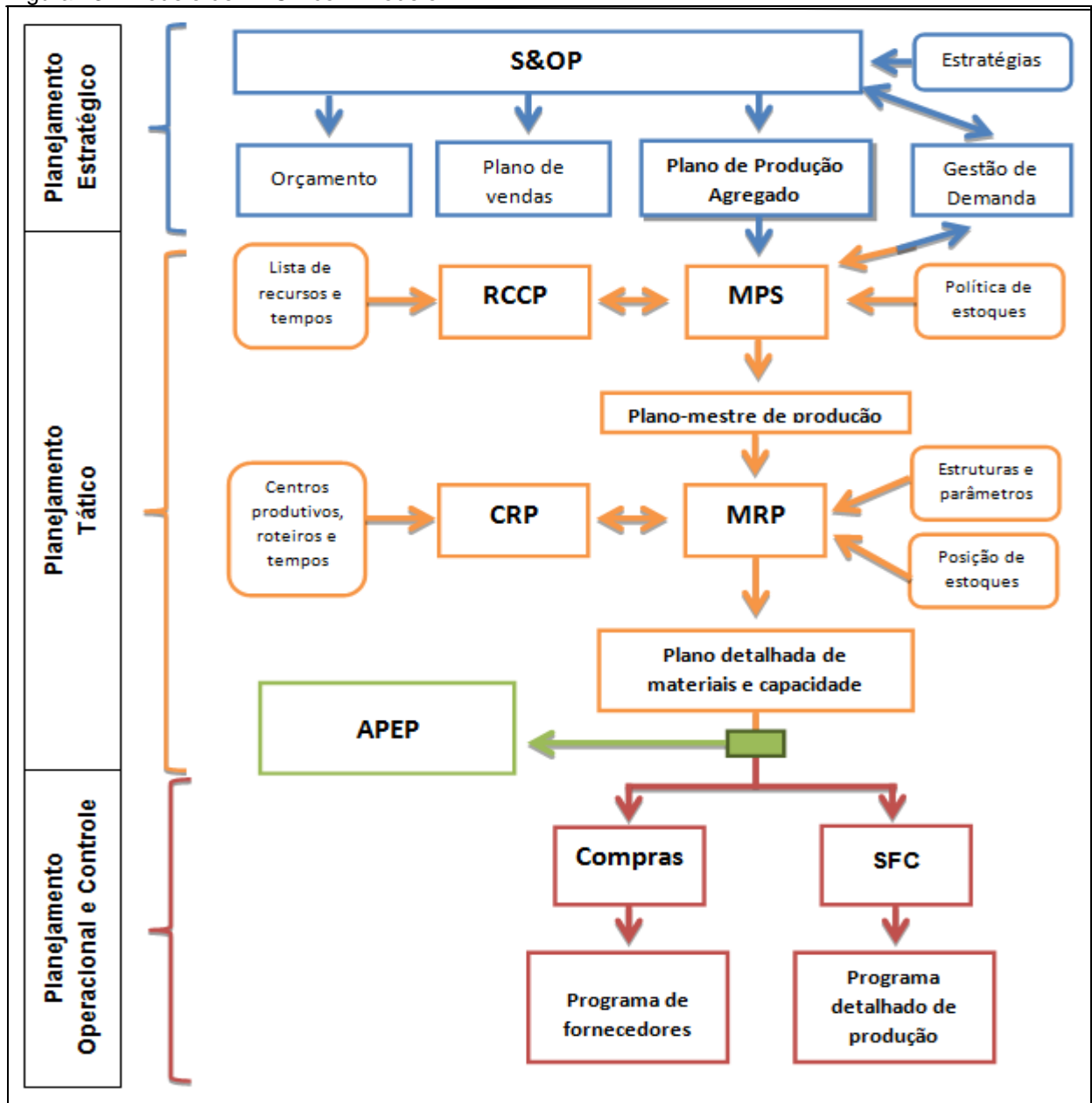
Após breve descrição do processo de fabricação industrial de uma cervejaria, propõe-se o modelo de planejamento e escalonamento de produção APEP, que visa otimizar a produção dos processos decorrentes nos tanques.

### **5.1.3 Modelagem do planejamento e escalonamento de produção APEP**

A partir do levantamento bibliográfico realizado, sobre sistemas de informação de gestão da produção, principalmente os sistemas APS, o estudo da TOC e a análise do *software Preactor*, apresenta-se neste trabalho um modelo de planejamento e escalonamento de produção que visa contemplar todos os requisitos para que um sistema de informação consiga abranger de forma clara e sucinta as variáveis envolvidas em planejamento e escalonamento de produção.

A figura 13 apresenta o esquema de funcionamento de um PPCP e onde se encaixa o modelo de planejamento e escalonamento desenvolvido neste trabalho, o modelo APEP. O mesmo foi concebido com base no referencial teórico estudado que permitiu a compreensão do fluxo de PPCP e a concepção de um modelo de planejamento e escalonamento baseado na teoria das restrições para um APS, que contemplasse solucionar a deficiência existente no modelo atual de PPCP que trata a capacidade de produção como infinita.

Figura 13 - Modelo de PPCP com Modelo APEP



Fonte: Do Autor.

O modelo APEP tem por objetivo traçar as diretrizes que devem ser levadas em conta para se desenvolver um sistema que realize o planejamento e escalonamento de produção, com base nas restrições de capacidade dos recursos, isto é, tratando a capacidade dos recursos como finita, para um sistema APS. Nesse sentido, o modelo se enquadra no horizonte de planejamento tático e gera a programação da produção otimizada a ser utilizada no chão de fábrica.

O modelo tem por característica abranger um ambiente de produção MTO, isto é, que produz por pedido e atua nos gargalos de produção, servindo de apoio a programação da produção.

Na figura 14 é apresentado o modelo APEP, que compreende: entrada de dados, armazenamento de dados, escalonamento, saída de dados, visualização e interação.

A entrada de dados consiste na leitura de pedidos vindos do sistema S&OP. Esta pode ocorrer por qualquer meio de armazenamento que o sistema utilize, seja arquivos de texto simples, objetos de classes, tabelas de banco de dados, entre outros, desde que possuam os dados do código do pedido, produto e quantidade do produto e prazo de entrega.

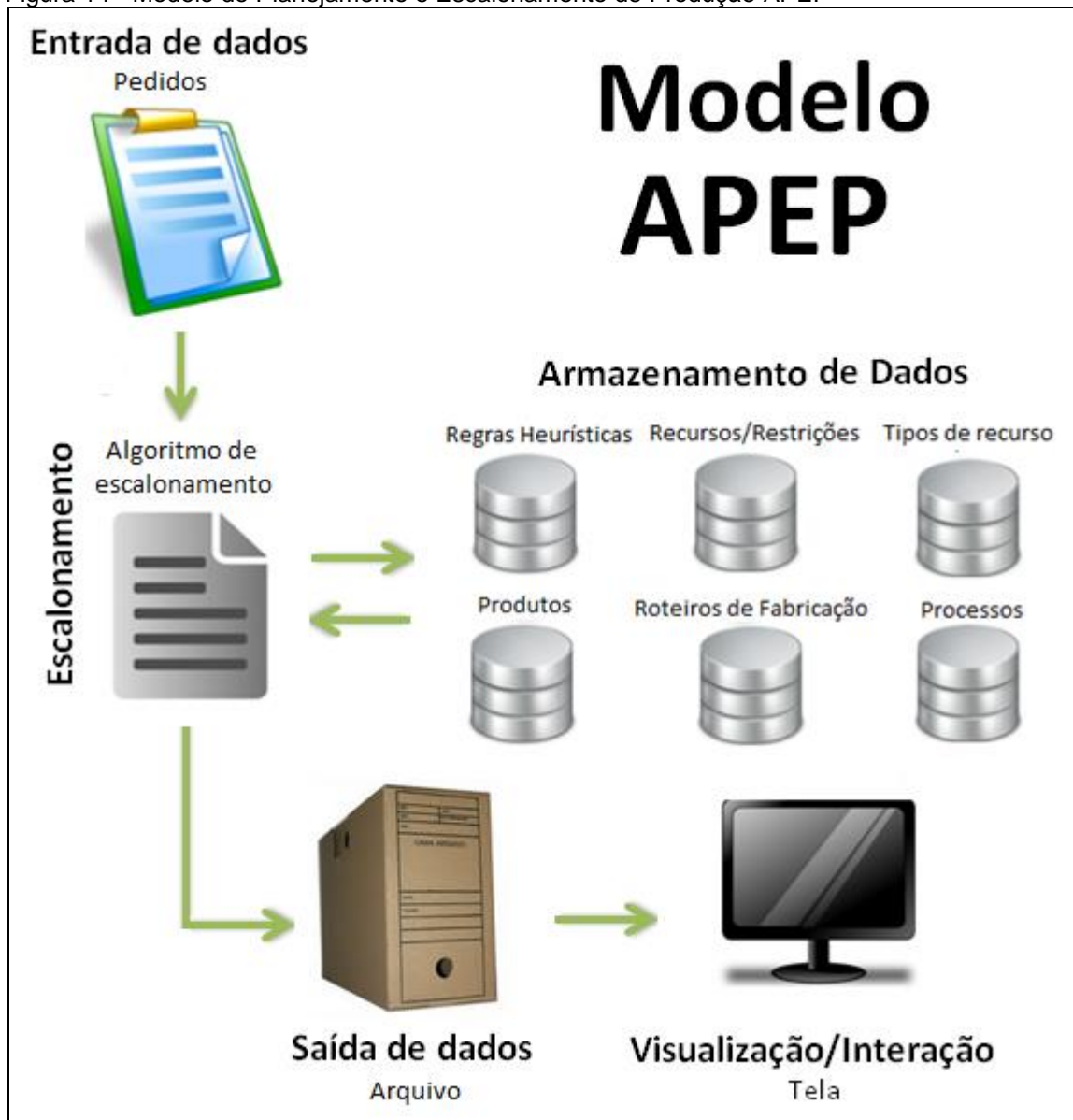
Posteriormente a entrada de dados de pedidos, uma base de dados deve estar disponível para a consulta do algoritmo, que deve possuir obrigatoriamente os produtos, os processos de produção, os roteiros de fabricação, os recursos com suas restrições de capacidade, os tipos de recurso e as regras heurísticas para escalonamento. Podem ser armazenados de qualquer gênero, como tabela de banco de dados, objetos de classes, textos simples e outros.

A etapa do escalonamento é onde produção é escalonada, utilizando-se de um algoritmo que leve em conta:

- a) a capacidade do recurso como finita;
- b) possua regras heurísticas para a ordenação, respeitando assim as restrições.

Terminado o escalonamento, um arquivo de saída é gerado, respeitando o padrão de uma biblioteca gráfica. Está então gera o gráfico de *Gantt* na tela e permite os ajustes finais a serem realizados pelo usuário, por meio da manipulação interativa.

Figura 14 - Modelo de Planejamento e Escalonamento de Produção APEP



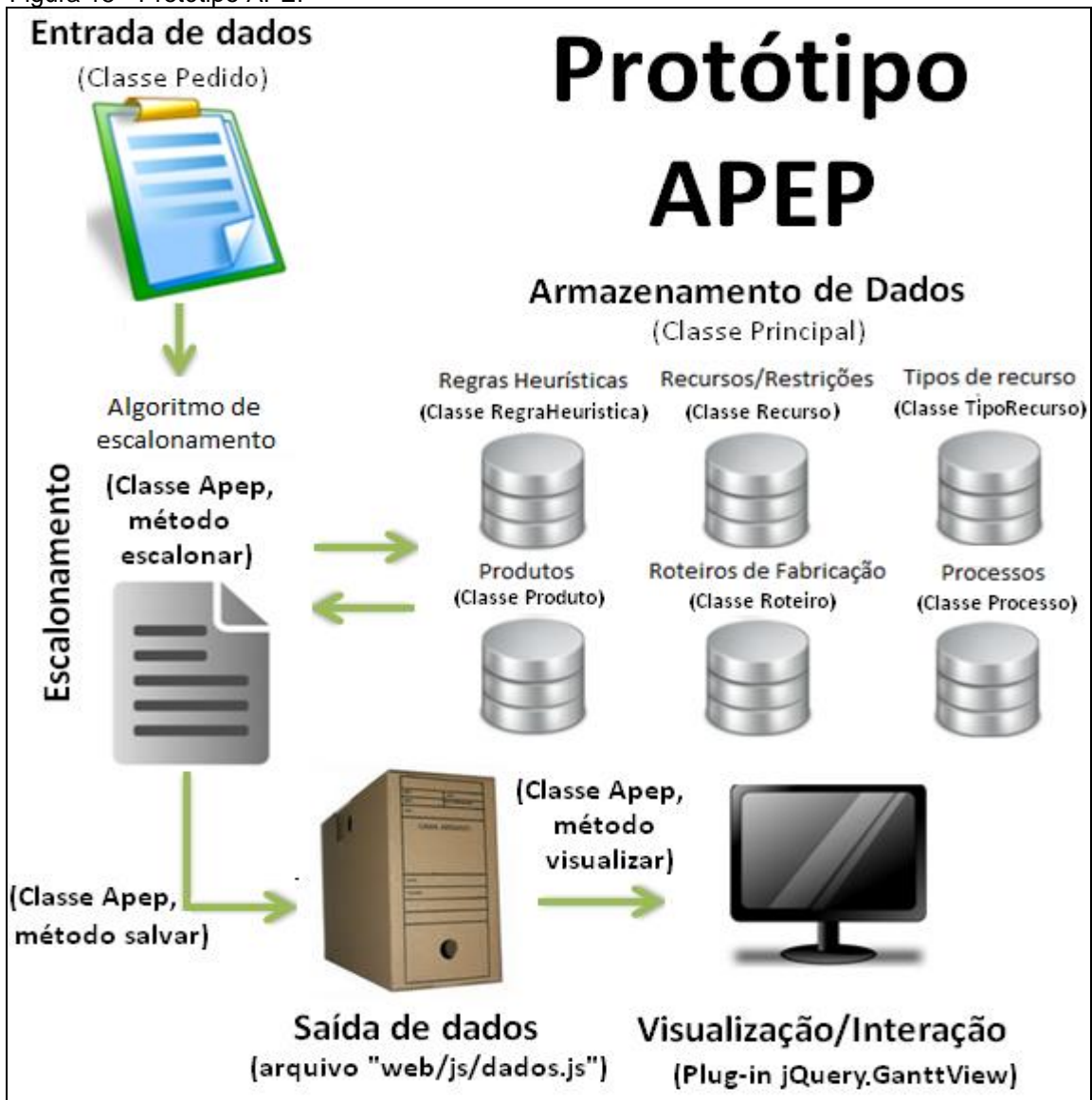
Fonte: Do Autor.

Proposto o modelo APEP, é realizada a implementação do mesmo em protótipo interativo.

#### 5.1.4 Desenvolvimento do Protótipo

Com base no modelo de planejamento e escalonamento de produção APEP, desenvolveu-se um protótipo interativo de APS (figura 15). A solução é composta pelo aplicativo escalonador, pelo algoritmo de escalonamento e pela visualização e interatividade.

Figura 15 - Protótipo APEP



Fonte: Do Autor.

Para desenvolvimento do aplicativo escalonador, optou-se pela linguagem de programação *Java*, por ser multiplataforma, pela vasta documentação existente e por utilizar o paradigma de orientação a objetos, por meio do conceito de classe, que permite reaproveitamento e escalabilidade de código. Como ferramenta de desenvolvimento, utilizou-se o ambiente integrado de desenvolvimento ou *Integrated Development Environment (IDE)*, NetBeans.

O aplicativo escalonador inicia a execução a partir da classe *Principal* por meio do método *main*, onde estão armazenados todos os dados necessários para a aplicação, diretamente no escopo do código.

Estes dados compreendem:

- a) o armazenamento de dados, constituído de dados dos produtos, dos recursos, dos tipos de recursos, dos processos, dos roteiros, sendo estes objetos das classes *Produto*, *Recurso*, *TipoRecurso*, *Processo* e *Roteiro* respectivamente.
- b) a entrada de dados, composta de dados dos pedidos representados por objetos da classe *Pedido*.
- c) o objeto *apep* da classe *APEP* instanciado contendo todos os pedidos e os recursos, sendo que a partir dele e por meio dos métodos *escalonar*, *salvar* e *visualizar* são realizadas respectivamente as atividades de escalonamento, saída de dados e visualização propostas no modelo APEP.

Na figura 16, encontra-se o código-fonte parcial da classe *Principal*, que diz respeito à parte do armazenamento de dados do protótipo. São mostrados os objetos *cervejaMalzbier* e *cervejaPilsen*, que representam os produtos Cerveja Malzbier e Cerveja Pilsen, respectivamente, os tanques como tipo de recurso, os recursos tanque 1, tanque 2, tanque 3 e tanque 4, sendo adicionados a uma lista de recursos, os processos de fabricação da cerveja fabricados nos tanques, que são: a Brassagem, Fermentação e Maturação e, por fim, a instância dos roteiros de fabricação de cada produto, representados pelas listas *roteiroCervejaMalzbier* e *roteiroCervejaPilsen*, que contêm cada passo da fabricação do produto. Esses passos são definidos por uma ordem, a duração, em dias, os tipos de recursos utilizados, e o processo a ser realizado.

Figura 16 - Código-fonte parcial da classe *Principal* do protótipo - armazenamento de dados

```

public class Principal {

    public static void main(String[] args) {
        SimpleDateFormat formatoData = new SimpleDateFormat("dd/MM/yyyy");

        // Produtos
        Produto cervejaMalzbier = new Produto(0, "Cerveja Malzbier", new ArrayList<Roteiro>());
        Produto cervejaPilsen = new Produto(1, "Cerveja Pilsen", new ArrayList<Roteiro>());

        // Tipos de recurso
        TipoRecurso tanques = new TipoRecurso(0, "Tanques");

        // Recursos
        List<Recurso> recursos = new ArrayList<Recurso>();
        recursos.add(new Recurso(1, "Tanque 1", 1000, tanques, new ArrayList<OrdemDeFabricacao>()));
        recursos.add(new Recurso(2, "Tanque 2", 1000, tanques, new ArrayList<OrdemDeFabricacao>()));
        recursos.add(new Recurso(3, "Tanque 3", 1000, tanques, new ArrayList<OrdemDeFabricacao>()));
        recursos.add(new Recurso(4, "Tanque 4", 1000, tanques, new ArrayList<OrdemDeFabricacao>()));

        // Processos de fabricação
        List<Processo> processos = new ArrayList<Processo>();
        Processo brassagem = new Processo(0, "Brassagem");
        Processo fermentacao = new Processo(1, "Fermentacao");
        Processo maturacao = new Processo(2, "Maturacao");
        processos.add(brassagem);
        processos.add(fermentacao);
        processos.add(maturacao);

        // Roteiros de fabricação
        List<Roteiro> roteiroCervejaMalzbier = new ArrayList<Roteiro>();
        roteiroCervejaMalzbier.add(new Roteiro(1, 1, tanques, brassagem));
        roteiroCervejaMalzbier.add(new Roteiro(1, 6, tanques, fermentacao));
        roteiroCervejaMalzbier.add(new Roteiro(2, 2, tanques, maturacao));
        cervejaMalzbier.setRoteiro(roteiroCervejaMalzbier);

        List<Roteiro> roteiroCervejaPilsen = new ArrayList<Roteiro>();
        roteiroCervejaPilsen.add(new Roteiro(1, 1, tanques, brassagem));
        roteiroCervejaPilsen.add(new Roteiro(2, 6, tanques, fermentacao));
        roteiroCervejaPilsen.add(new Roteiro(2, 3, tanques, maturacao));
        cervejaPilsen.setRoteiro(roteiroCervejaPilsen);
    }
}

```

Fonte: Do Autor.

A figura 17 apresenta o código-fonte da classe *Principal* do protótipo que faz referência à entrada de dados do modelo APEP. Nela são apresentados dois pedidos de 2000 litros para as datas 01/12/2013 e 03/12/2013, respectivamente, sendo que o primeiro pedido tem como produto a cerveja do tipo *Malzbier* e o segundo, a cerveja do tipo *Pilsen*.

Figura 17 - Código-fonte parcial da classe *Principal* do protótipo - entrada de dados

```

/**
 * Entrada de dados
 */
// Pedidos
List<Pedido> pedidos = new ArrayList<>();
try {
    pedidos.add(new Pedido(1, 2000, formatoData.parse("01/12/2013"), cervejaMalzbier));
    pedidos.add(new Pedido(2, 2000, formatoData.parse("03/12/2013"), cervejaPilsen));
}

```

Fonte: Do Autor.

O objeto *apep* da classe *Principal* do protótipo é apresentado na figura 18, onde recebe os pedidos e recursos e depois executa o método *escalonar*, *salvar* e *visualizar*, que implementam a parte de escalonamento, saída de dados e visualização do modelo.

Figura 18 - Código-fonte parcial da classe *Principal* do protótipo - objeto *apep*

```

APEP apep = new APEP(pedidos, recursos);
apep.escalonar();
apep.salvar("web/js/data.js");
apep.visualizar("web/index.html");

```

Fonte: Do Autor.

O protótipo pode ser executado de duas formas:

- a) a partir do arquivo "*APEP.jar*", sendo que nesse caso os dados já estão fornecidos na classe *Principal*, sem possibilidade da edição dos mesmos;
- b) ou abrindo a pasta *APEP* na IDE NetBeans e executando o projeto. Dessa forma, é possível fazer o cadastro, edição e remoção de pedidos, produtos, recursos, e outras informações, por meio da declaração dos objetos em questão na classe *Principal* que está no pacote *apep*. Basta editar, recompilar e executar a aplicação.

O protótipo, quando executado, instancia todos os objetos contidos no método *main* da classe *Principal* na memória e passa os recursos e os pedidos para um objeto *apep*. Em seguida, o objeto chama o método *escalonar* (figura 19), que executa a implementação do algoritmo de escalonamento.

Figura 19 - Código-fonte parcial da classe *Principal* do protótipo - objeto *a pep*, método *escalonar*.

```
APEP a pep = new APEP(pedidos, recursos);  
a pep.escalonar();
```

Fonte: Do Autor.

O algoritmo de escalonamento utilizado foi adaptado do trabalho de Oliveira (2001). Como ocorre em sistemas APS, ele escalona a produção através de restrições e regras heurísticas e se baseia no conceito de capacidade finita.

Inicialmente, o algoritmo requer uma ordenação dos pedidos por meio de uma regra heurística. A regra utilizada neste trabalho foi a *Earlist Due Data First* (EDDF), que ordena os pedidos por menor prazo de entrega, por considerar que os prazos com data de entrega mais próximos, devem ter prioridade de fabricação para que fiquem prontos a tempo.

Em seguida, o algoritmo percorre os pedidos a fim de escaloná-los. Enquanto toda a quantidade a ser produzida do respectivo produto do pedido não tiver sido escalonada, ele tentará escalonar nos recursos existentes.

Se o produto do pedido já estiver alocado em um ou mais recursos, o algoritmo percorre esses recursos e checa se a capacidade do recurso ainda não está no limite. Se não estiver, aloca a quantidade total do pedido ou a quantidade possível de alocar até o limite do recurso e diminui da quantidade a alocar do pedido, isto se for possível de produzir o pedido neste recurso a tempo, ou seja, que respeite a data de entrega do pedido, senão o pedido será escalonado em outro recurso.

Caso o produto do pedido não esteja alocado em nenhum dos recursos existentes, isto é, há um novo produto a ser alocado nos recursos, então deve ser calculado o tempo de fabricação do produto, somando a quantidade em dias de todos os processos de produção, depois é criada uma ordem de fabricação para este produto e, por fim, percorrida a fila de recursos. Na fila de recursos será calculado o tempo disponível do recurso com base na data de entrega do pedido, para ver inicialmente se há tempo hábil de fabricação do pedido no recurso. Se houver e a capacidade do recurso for maior ou igual à quantidade a alocar do pedido, aloca-se toda a quantidade do pedido. Caso contrário, aloca-se o que for possível e o restante ficará para a próxima tentativa, e a ordem de fabricação do produto é adicionada às ordens de fabricação do recurso.

Após a explicação do funcionamento do algoritmo, o pseudocódigo do algoritmo adaptado de escalonamento de Oliveira (2001) é apresentado na figura 20.

Figura 20 - Pseudocódigo do algoritmo de escalonamento em capacidade finita adaptado de Oliveira (2001).

```

Escalonar
-Ordena a fila de pedidos conforme prazo de entrega
-Percorre a fila de pedidos
  -Enquanto pedido tiver Quantidade a Alocar
    -Se "Procura Produto do Pedido em Fila de Recursos" igual a Falso
      -Calcula tempo de Fabricação do produto
      -Cria uma nova Ordem de Fabricação para o produto do pedido atual
      -Percorre a fila de recursos
        -Calcula tempo disponível para a produção no Recurso
        -Se o prazo disponível Ordem de Produção for maior ou igual ao tempo de Fabricação do produto
          -Se a capacidade do Recurso for maior ou igual a Quantidade a Alocar do pedido
            -Adiciona a quantidade total do pedido à Ordem de Fabricação
            -Adiciona Ordem de Fabricação a Fila de Ordens de Fabricação do Recurso
            -Atualiza a Quantidade a Alocar do pedido
            -Pára de percorrer a fila de recursos
          -Senão
            -Aloca pedido parcial a Ordem de Fabricação
            -Atualiza a Quantidade a Alocar do pedido
            -Adiciona Ordem de Fabricação a Fila de Ordens de Fabricação do Recurso
            -Pára de percorrer a fila de recursos
        -Fim do Enquanto
    -Fim do Percorre fila

Procura Produto do Pedido em Fila de Recursos
-Percorre Recursos
  -Percorre Fila de Ordens de Fabricação do Recurso
    -Se o Produto Procurado está na Ordem de Fabricação Atual
      -Se o prazo do pedido for menor ou igual ao prazo da Ordem de Fabricação Atual
        -Calcula a Capacidade Disponível no recurso
        -Se a Capacidade Disponível for maior que zero
          -Se Capacidade Disponível for maior ou igual a Quantidade a Alocar do pedido
            -Adiciona a quantidade total do pedido a quantidade da Ordem de Fabricação
            -Atualiza a Quantidade a Alocar do pedido
            -Retorna Verdadeiro
          -Senão
            -Atualiza a Quantidade a Alocar do pedido
            -Adiciona a Capacidade Disponível no Recurso a quantidade Ordem de Fabricação
            -Retorna Verdadeiro
        -Fim do Percorre Fila
    -Fim do Percorre Recursos
  -Retorna Falso

```

Fonte: Adaptado de Oliveira (2001).

Com a implementação do algoritmo de escalonamento de Oliveira (2001) pelo método *escalonar* do objeto *apep*, é gerado um escalonamento de produção otimizado que leva em conta capacidade dos recursos finita e também o prazo de entrega do pedido. Na figura 21 é apresentada uma parte da implementação do algoritmo no método *escalonar* da classe *APEP*.

Figura 20 - Código-fonte parcial do método *escalonar* da classe *APEP*

```

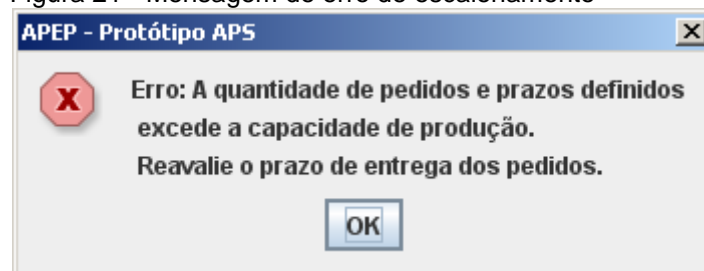
for (Pedido pedido : pedidos) {
    int count = 0;
    while (pedido.getQuantidadeParaAlocar() > 0) {
        if (!APEP.procuraProdutoEmOrdemDeFabricacao(recursos, pedido)) {
            int tempoDeFabricacao = pedido.getProduto().getTempoFabricacao();
            OrdemDeFabricacao ordemDeFabricacao = new OrdemDeFabricacao(pedido.getProduto(), pedido.getPrazo(), 0);
            for (Recurso recurso : recursos) {
                int prazo = ((int) ((ordemDeFabricacao.getPrazo().getTime() / (1000 * 24 * 60 * 60)) -
                    (new Date().getTime() / (1000 * 24 * 60 * 60))));
                if (prazo - recurso.getTempoTotalProducao(ordemDeFabricacao.getPrazo()) >= tempoDeFabricacao) {
                    if (recurso.getCapacidade() >= pedido.getQuantidadeParaAlocar()) {
                        ordemDeFabricacao.setQuantidade(pedido.getQuantidadeParaAlocar());
                        recurso.getListaOrdemDeFabricacao().add(ordemDeFabricacao);
                        pedido.setQuantidadeParaAlocar(0);
                        break;
                    } else {
                        ordemDeFabricacao.setQuantidade(recurso.getCapacidade());
                        pedido.setQuantidadeParaAlocar(pedido.getQuantidadeParaAlocar() - recurso.getCapacidade());
                        recurso.getListaOrdemDeFabricacao().add(ordemDeFabricacao);
                        break;
                    }
                }
            }
        }
        if (count > recursos.size()) {
            JOptionPane.showMessageDialog(null, "Erro: A quantidade de pedidos e prazos definidos \n excede a capacidade de "
                + "produção. \n Reavalie o prazo de entrega dos pedidos.", "APEP - Protótipo APS", JOptionPane.ERROR_MESSAGE);
            System.out.println("\nErro: A quantidade de pedidos e prazos definidos excede a capacidade de produção.");
            System.exit(1);
            break;
        }
        count++;
    }
}

```

Fonte: Do Autor.

A fim de complementar o algoritmo, foi criada uma verificação que apresenta uma mensagem de erro no escalonamento (figura 21) se não houver capacidade de produzir a quantidade pedida de produtos para as datas esperadas nos recursos existentes, visto que não é possível realizar o escalonamento dos pedidos, e então finaliza-se o aplicativo.

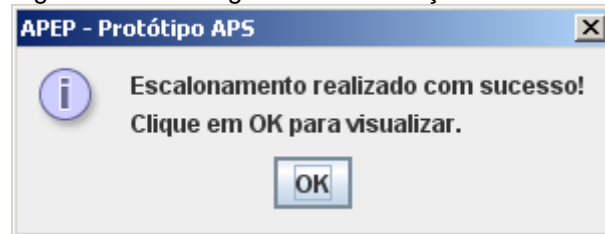
Figura 21 - Mensagem de erro de escalonamento



Fonte: Do Autor.

Se o escalonamento foi realizado é apresentada uma mensagem (figura 22) e o aplicativo continua sua execução.

Figura 22 - Mensagem de confirmação do escalonamento



Fonte: Do Autor.

Com o escalonamento realizado, o protótipo chama o método *salvar* do objeto *apep* (figura 23), que tem como objetivo salvar os dados do escalonamento em um arquivo para a geração e visualização do gráfico de *Gantt*.

Figura 23 - Método salvar da classe APEP

```
apep.salvar ("web/js/data.js");
```

Fonte: Do Autor.

Visto que um dos objetivos específicos do trabalho é a interatividade e apresentação de recursos visuais no protótipo, foi realizada uma pesquisa de bibliotecas e *APIs* gráficas que atendessem a este requisito, para aplicar na parte de visualização e interatividade do protótipo.

Dentre os pesquisados, foi escolhido para utilização neste trabalho o *plug-in* *jQuery.ganttView* (<https://github.com/thegrubbsian/jquery.ganttView>) pela facilidade de uso, pois lê os dados a partir de um arquivo *JavaScript*, e cria toda a interface de apresentação em *HyperText Markup Language I* (HTML) e *Cascading Style Sheets* (CSS). A interação que ele proporciona, permite ao usuário liberdade para arrastar e soltar um processo de produção para um ajuste final do escalonamento. A sua escolha deu-se em função de utilizar tecnologias Web, que podem ser apresentadas uniformemente em qualquer navegador de um computador, exceto naqueles não compatíveis com o *plug-in*.

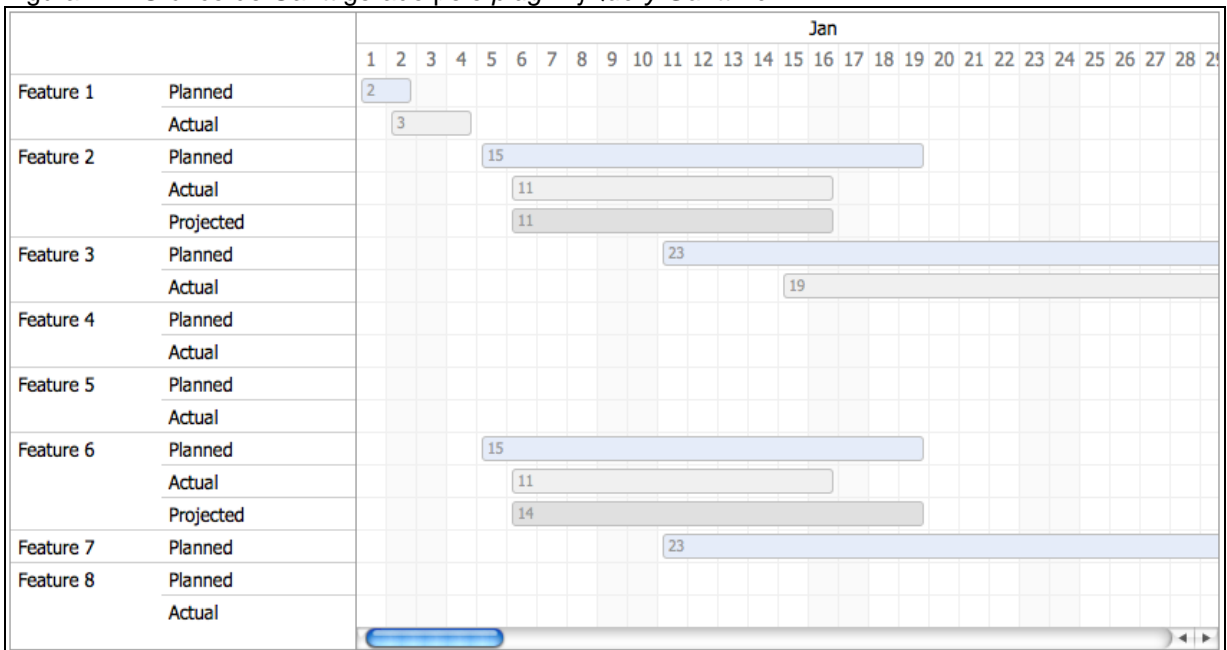
HTML é uma linguagem de marcação para documentos que se popularizou por gerar a estrutura de páginas na web, desde o surgimento. E CSS é a linguagem de estilo padrão estipulada pela *World Wide Web Consortium* (W3C) para a Internet. A W3C é um consórcio internacional que visa desenvolver padrões e protocolos para desenvolvimento web. Quanto ao *JavaScript* é uma linguagem de

*script* que se popularizou por rodar nos navegadores e trazer ações e eventos para páginas da Internet.

O *plug-in jQuery.ganttView* utiliza a biblioteca *JavaScript jQuery* ([jquery.com](http://jquery.com)). Em geral uma biblioteca, em programação, é um trecho de código específico para determinada função. No caso do *jQuery*, sua função é manipular a estrutura da página, estilo e uma série de outras funcionalidades. Outra dependência do *plug-in* é a biblioteca *datejs* (<http://www.datejs.com/>), que é uma biblioteca de padronização de data necessária para gerar o calendário e a *jQueryUI* (<http://jqueryui.com/>), que é uma biblioteca para melhoramento da interface.

Na figura 24 é apresentado o gráfico de Gantt do site do *plug-in* que demonstra a forma como ele apresenta o gráfico na tela.

Figura 24 - Gráfico de Gantt gerado pelo *plug-in jQuery GanttView*.



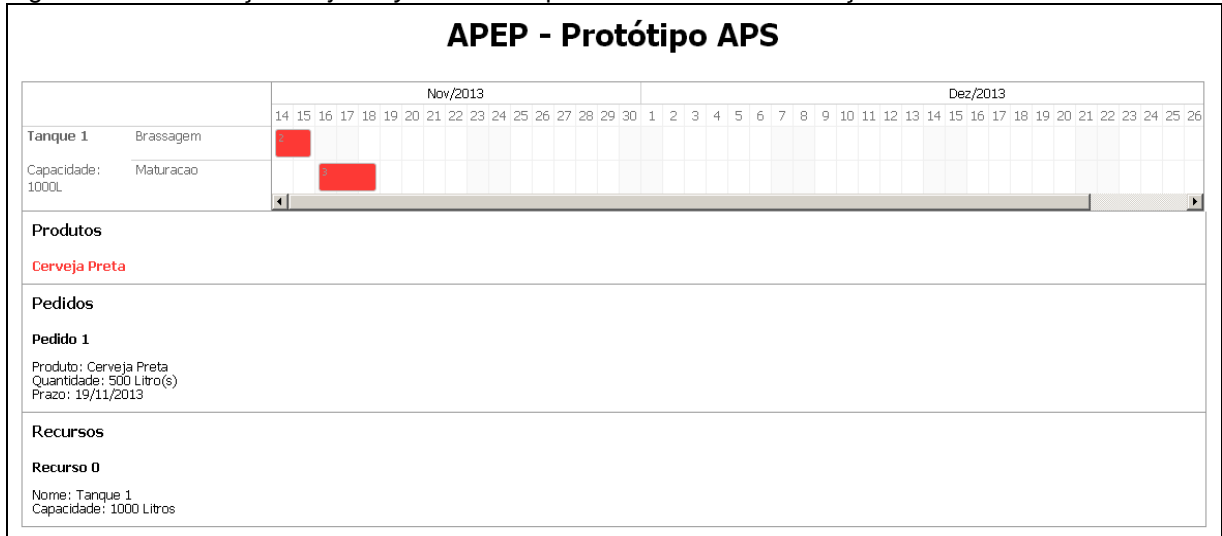
Fonte: Github (2013).

Para apresentar os dados de escalonamento na tela, fez-se necessário inicialmente editar o *plug-in jQuery.ganttView*, alterando o conteúdo do HTML, criando divisões de conteúdo para mostrar os produtos, pedidos e recursos. Após a edição do HTML, foram adicionadas funções *JavaScript* dentro do arquivo *“js/script.js”* do *plug-in* para listar os produtos, pedidos e recursos na tela.

Também foram adicionados ao arquivo de dados do *plug-in* o *“js/data.js”* objetos *JavaScripts* dos produtos, pedidos e recursos para serem listados pelas funções *JavaScript* na tela.

O resultado é apresentado na figura 25, onde observa-se o gráfico de *Gantt* gerado, uma divisão de conteúdo para listagem dos produtos, outra divisão para a listagem dos pedidos e, por fim, para a listagem dos recursos.

Figura 25 - Modificação do *jQuery.GanttView* para melhorar a visualização do escalonamento.



Fonte: Do Autor.

Posteriormente, foi a vez de padronizar o aplicativo escalonador em *Java* para gerar no arquivo de dados do *plug-in*, chamado “*js/data.js*”, o objeto *JavaScript* necessário para a geração do gráfico, o objeto *ganttData*. Para tal criaram-se novas classes para converter as classes *Pedido*, *Recurso*, *Processo* e *Produto*, para o padrão *JavaScript* só com os atributos necessários para a visualização no objeto *ganttData*, estas são: *PedidoVisualizacao*, *RecursoVisualizacao*, *ProcessoVisualizacao* e *ProdutoVisualizacao*. Para cada uma das classes foi criado o método *toJavaScriptGanttData()*, que tem por objetivo gerar o código *JavaScript* dos objetos no padrão do *plug-in*.

Para salvar os dados do escalonamento gerado pelo aplicativo escalonador e assim gerar o arquivo de saída de dados proposto no modelo APEP, o método *salvar* percorre todos os produtos, processos e recursos e vai instanciando novos objetos *ProdutoVisualizacao*, *ProcessoVisualizacao* e *RecursoVisualizacao* e adicionando um ao outro, criando a nova forma de relacionamento entre os objetos para exibição, conforme padrão estipulado pelo *plug-in*.

A figura 26 apresenta esse novo relacionamento gerado no arquivo de dados do *plug-in*, o “*js/data.js*”, onde os recursos são objetos *JavaScript* que fazem parte do objeto *ganttData* e possui os atributos *name*, com o nome, e *series*, sendo

que o atributo *series* corresponde aos objetos de processos de produção envolvidos na fabricação do produto e o produto representado pelo atributo *color*.

Figura 26 - Arquivo "data.js" gerado com a conversão dos tipos de objeto *Java* para *JavaScript*.

```

1  var ganttData = [
2    {
3      name:"Tanque 1<br><br>Capacidade: 1000L",
4      series:[
5        {
6          name:"Brassagem", start:new Date(2013, 10, 14), end: new Date(2013, 10, 14), color: "#174457"
7        },
8        {
9          name:"Fermentacao", start:new Date(2013, 10, 15), end: new Date(2013, 10, 20), color: "#174457"
10       },
11       {
12         name:"Maturacao", start:new Date(2013, 10, 21), end: new Date(2013, 10, 22), color: "#174457"
13       },
14       {
15         name:"Brassagem", start:new Date(2013, 10, 23), end: new Date(2013, 10, 23), color: "#174457"
16       },
17       {
18         name:"Fermentacao", start:new Date(2013, 10, 24), end: new Date(2013, 10, 29), color: "#174457"
19       },
20       {
21         name:"Maturacao", start:new Date(2013, 10, 30), end: new Date(2013, 11, 01), color: "#174457"
22       }
23     ]
24   },
25   {
26     name:"Tanque 2<br><br>Capacidade: 1000L",
27     series:[
28       {
29         name:"Brassagem", start:new Date(2013, 10, 14), end: new Date(2013, 10, 14), color: "#c47f07"
30       },
31       {
32         name:"Fermentacao", start:new Date(2013, 10, 15), end: new Date(2013, 10, 20), color: "#c47f07"
33       },
34       {
35         name:"Maturacao", start:new Date(2013, 10, 21), end: new Date(2013, 10, 23), color: "#c47f07"
36       },
37       {
38         name:"Brassagem", start:new Date(2013, 10, 24), end: new Date(2013, 10, 24), color: "#c47f07"
39       },
40       {
41         name:"Fermentacao", start:new Date(2013, 10, 25), end: new Date(2013, 10, 30), color: "#c47f07"
42       },
43       {
44         name:"Maturacao", start:new Date(2013, 11, 01), end: new Date(2013, 11, 03), color: "#c47f07"

```

Fonte: Do Autor.

Após o procedimento de salvar os dados do escalonamento no arquivo de dados do *plug-in*, o aplicativo escalonador por meio do método *visualizar* do objeto *apep* (conforme sequência definida no método *main* da classe *Principal*) faz uma chamada ao sistema operacional para abrir o arquivo principal do *plug-in* para a visualização, o "*index.html*" (figura 27) e finaliza sua execução.

Figura 27 - Método de visualização do escalonamento.

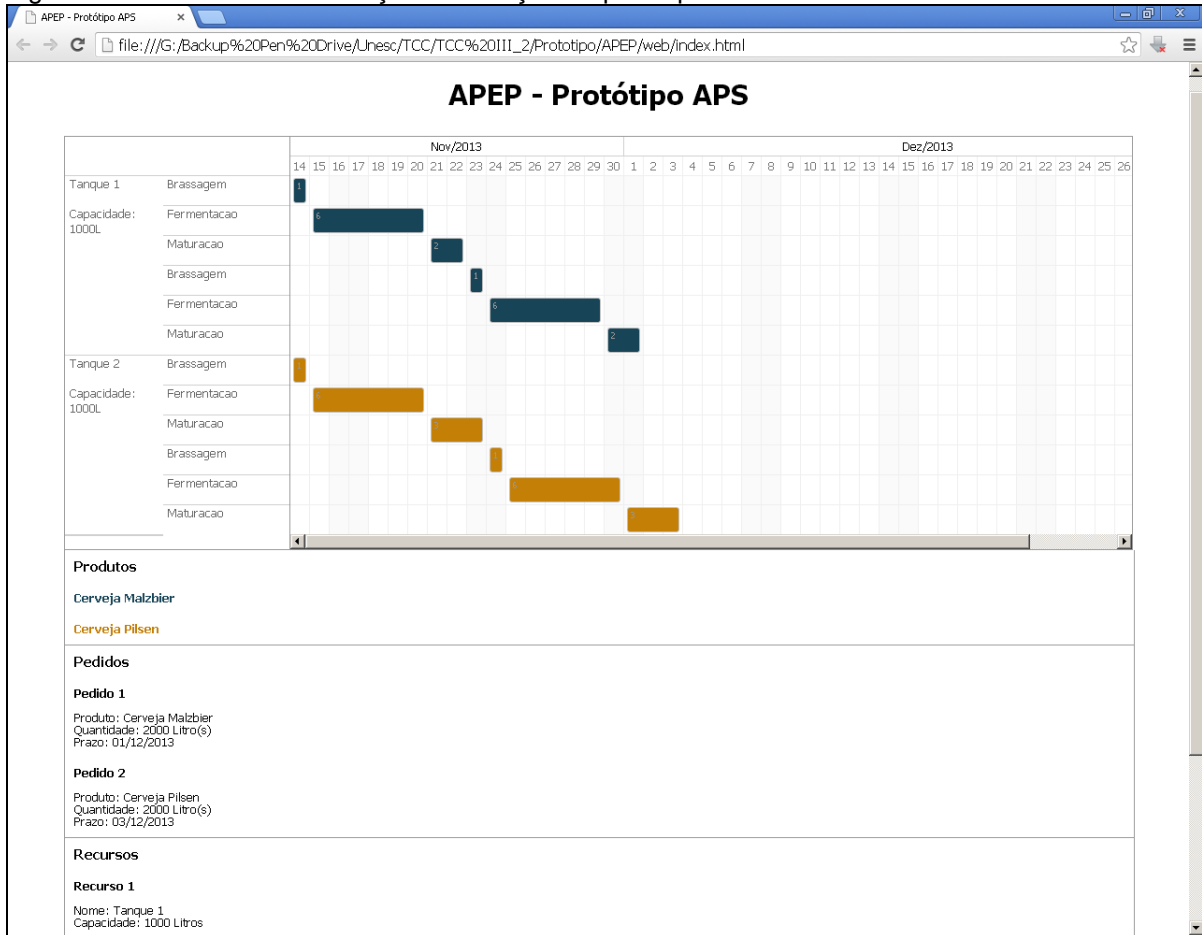
```
apep.visualizar("web/index.html");
```

Fonte: Do Autor.

Com a execução do arquivo "*index.html*" do *plug-in* tem-se a última parte da solução proposta que é a visualização e interação, onde a partir dos dados do

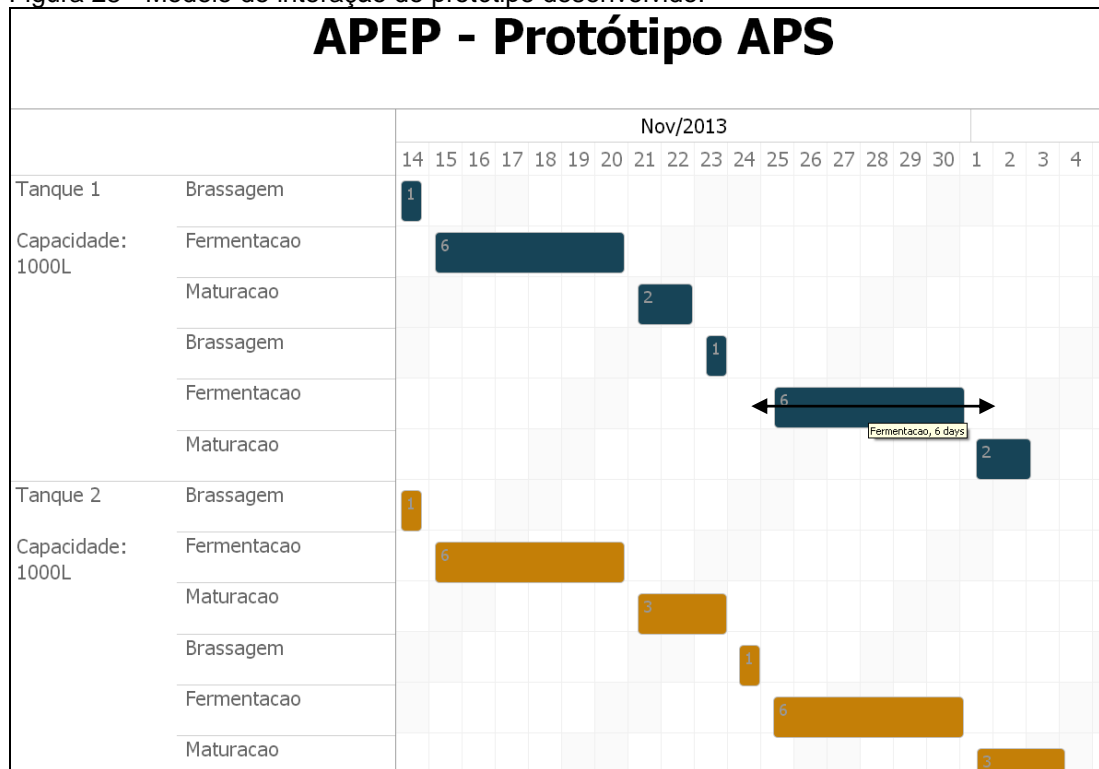
arquivo “js/data.js” o *plug-in jQuery.ganttView* gera todo o HTML, CSS e *JavaScript* para a exibição do gráfico de *Gantt* no navegador (figura 27) e permite a interação no modo “arrastar e soltar” dos processos de produção em cada recurso para antes ou depois da data escalonada (figura 28).

Figura 27 - Modelo de visualização e interação do protótipo desenvolvido.



Fonte: Do Autor.

Figura 28 - Modelo de interação do protótipo desenvolvido.



Fonte: Do Autor.

### 5.1.5 Validação do Protótipo

Concluída a etapa de desenvolvimento do protótipo baseado no modelo de planejamento e escalonamento de produção APEP, com o intuito de avaliar a sua aplicação e eficiência, inicia-se neste capítulo a validação do mesmo, aplicando dados da cervejaria X.

Utilizam-se os processos produtivos de brassagem, fermentação e maturação, aplicado aos recursos produtivos dos tanques que são os gargalos produtivos da cervejaria e que necessitam de escalonamento otimizado para não afetar a entrega de produtos nos prazos. Os processos seguem uma sequência definida sendo que um não pode ser executando antes do outro.

Como exemplo de teste para a validação do protótipo, utilizou-se o seguinte cenário: que a cervejaria X possui 4 tanques com capacidade de 1000 litros cada (tabela 2).

Tabela 2 - Recursos do cenário 1.

<b>Recurso</b>	<b>Capacidade</b>
<b>Tanque 1</b>	1000 Litros
<b>Tanque 2</b>	1000 Litros
<b>Tanque 3</b>	1000 Litros
<b>Tanque 4</b>	1000 Litros

Fonte: Do Autor.

Existem dois pedidos de produtos diferentes, levando em conta que esses produtos, por se tratarem de cervejas diferentes, não podem ser misturados, visto que um afetaria a produção do outro. A tabela 3 apresenta esses pedidos, onde tem-se um pedido de cerveja do tipo *Malzbier* de 2000 litros para o dia 01/12/2013 e outro de cerveja *Pilsen* de 2000 litros para dia 03/12/2013.

Tabela 3 - Produtos do cenário 1.

<b>Produto</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Prazo</b>
<b>Cerveja <i>Malzbier</i></b>	2000 Litros	01/12/2013
<b>Cerveja <i>Pilsen</i></b>	2000 Litros	03/12/2013

Fonte: Do Autor.

Sendo que o processo de fabricação que ocorre nos tanques independe da quantidade do produto e dura 9 dias para a cerveja *Malzbier* (tabela 4) e 10 dias para a cerveja *Pilsen* (tabela 5).

Tabela 4 - Processo de produção da cerveja *Malzbier* nos tanques.

<b>Ordem</b>	<b>Processo</b>	<b>Duração</b>
<b>1</b>	Brassagem	1 dia
<b>2</b>	Fermentação	6 dias
<b>3</b>	Maturação	2 dias

Fonte: Do Autor.

Tabela 5 - Processo de produção da cerveja *Pilsen* nos tanques.

<b>Ordem</b>	<b>Processo</b>	<b>Duração</b>
<b>1</b>	Brassagem	1 dia
<b>2</b>	Fermentação	6 dias
<b>3</b>	Maturação	3 dias

Fonte: Do Autor.

Em um escalonamento manual, considerando a data inicial do escalonamento para o dia 14/11/2013, sem o uso do protótipo, seriam alocados 1000 litros para produção em cada um dos tanques. Dois tanques ficariam responsáveis por produzir a cerveja *Malzbier* e dois a cerveja *Pilsen*. Os produtos ficarão prontos até o dia 22/11/2013 e 23/11/2013, respectivamente, sendo que o prazo para entrega é só para os dias 01/12/2013 e 03/12/2013 (figura 29).

O problema desse escalonamento é que todos os recursos ficam alocados e se um pedido urgente surgir para o dia 23/11/2013, ele não conseguirá ser atendido.

Figura 29 - Escalonamento manual do cenário 1.

Recursos	Produtos <b>Malzbier</b> <b>Pilsen</b>												
	14/11	15/11	16/11	17/11	18/11	19/11	20/11	21/11	22/11	23/11	24/11	25/11	
Tanque 1	Br	Fermentação						Matura					
Tanque 2	Br	Fermentação						Matura					
Tanque 3	Br	Fermentação						Maturação					
Tanque 4	Br	Fermentação						Maturação					

Fonte: Do Autor.

Com a aplicação do protótipo, alcança-se um escalonamento mais otimizado porque ao utilizar o algoritmo de escalonamento baseado em capacidade finita, que leva em consideração a capacidade do recurso, e o conceito de maximização da utilização dos gargalos da Teoria das Restrições, o protótipo consegue verificar que o pedido da cerveja *Malziber* possui tempo hábil para ser produzido totalmente no tanque 1, visto que o prazo de entrega é para o dia 01/12/2013 e pode-se produzir 1000 litros por vez. O mesmo ocorre com o pedido da cerveja *Pilsen* que pode ser produzido no tanque 2, visto que o prazo de entrega é para o dia 03/12/2013 (figura 30).





O escalonamento manual é apresentado na figura 30, onde se percebe que a cerveja *Malzbier* possuía pedidos de fabricação de 300 litros e os mesmos foram agrupados no tanque 1 (figura 32).

Figura 32 - Escalonamento manual do cenário 2.

Produtos		Malzbier		Pilsen										
Recursos	14/11	15/11	16/11	17/11	18/11	19/11	20/11	21/11	22/11	23/11	24/11	25/11		
Tanque 1	Br	Fermentação						Matura						
Tanque 2	Br	Fermentação						Maturação						
Tanque 3														
Tanque 4														

Fonte: Do Autor.

No cenário 2, os produtos foram agrupados no tanque 1 para uma otimização, visto que o recurso permitia tal capacidade. O protótipo implementado, por levar em consideração a questão da capacidade finita do recurso, e a maximização da utilização do recurso, também faz união dos produtos iguais e o aloca no recurso enquanto ele tiver capacidade para tal. Como no caso, o recurso tem uma capacidade de 1000 litros, e são 3 pedidos de 300 litros respectivamente, o algoritmo de escalonamento aloca os 3 pedidos no primeiro recurso (figura 33).

Nesse caso, não houve otimização, já que é visível ao escalonamento manual a lógica de unir os pedidos de 300 litros. O que se propôs com a demonstração desse cenário é que o protótipo trata a questão de produtos iguais agrupando-os nos recursos até o limite da capacidade dos mesmos (não exemplificado no cenário 1), levando em conta o conceito de capacidade finita e maximização da utilização dos gargalos da Teoria das Restrições.



## 5.2 RESULTADOS OBTIDOS

O presente trabalho apresentou um modelo de planejamento e escalonamento de produção baseado na Teoria das Restrições para um APS, nomeado de modelo APEP, desenvolvido a partir do embasamento teórico obtido por meio de pesquisa bibliográfica. Com base no modelo elaborado, foi implementado um protótipo e aplicado a um estudo de caso, onde foi validado por meio de testes, chegando ao resultado de um escalonamento de produção otimizado.

Para o desenvolvimento do modelo, foi fundamental compreender os conceitos de sistemas de planejamento e programação da produção que se baseiam no conceito de capacidade finita, para então elaborar como um sistema do gênero entra no contexto do PPCP para realizar o escalonamento otimizado da produção e assim desenvolver o modelo APEP.

Com o modelo desenvolvido, foi implementado um protótipo de APS interativo, que realiza o escalonamento de produção baseado em capacidade finita e o apresenta de forma interativa por meio da utilização do plug-in *jQuery.GanttView*. A interatividade permite que usuários alterem o escalonamento de produção gerado e apresentado no gráfico de *Gantt*, permitindo a ele “arrastar”, “soltar” e “redimensionar” os processos de produção.

Como forma de teste e validação do protótipo desenvolvido com base no modelo APEP, o mesmo foi aplicado em um estudo de caso de um sistema produtivo de uma cervejaria, onde foi feito um breve levantamento de como ocorre o processo produtivo da cerveja e, com bases nos dados levantados, foram realizados testes no protótipo afim de validar o seu funcionamento, onde o mesmo obteve sucesso ao otimizar o escalonamento de produção.

## 6 CONCLUSÃO

A complexidade crescente do processo produtivo nas empresas exige que a gestão da fabricação seja altamente inteligente e eficaz. A aplicação de ferramentas computacionais nesse cenário é muito importante, já que tem a capacidade de aumentar a velocidade e a qualidade do processo, o que permite maior competitividade e, conseqüentemente, maior lucro às empresas.

Desta maneira, a área de Engenharia de Sistemas, da Ciência da Computação, contribui de forma significativa no cotidiano das empresas, sendo de extrema utilidade na gestão da produção, desde a seleção de matérias-primas até a saída do produto final, além de estabelecer e gerir padrões de qualidade. Assim, esses sistemas ajudam a evitar perdas, desperdícios e prejuízos, minimizando tempo de paradas e garantindo entregas assertivas.

As ferramentas APS, que se propõem a programar a produção em capacidade finita, promovendo a visão da capacidade disponível, os gargalos, altos estoques e a flexibilização da programação da fábrica, surgiram para contemplar essa demanda.

Entre as qualidades das ferramentas APS, está sua capacidade de aliar os melhores conceitos e técnicas de produção à precisão da tecnologia da informação; melhorar as práticas gerenciais; identificar e subordinar os sistemas produtivos aos gargalos da fábrica; favorecer o controle de estoque; oferecer simulação de cenários; proporcionar melhor desempenho nas entregas; gerenciar o ambiente de produção de modo a minimizar desconroles e os custos oriundos de imprevistos; aumentar o ganho global da empresa.

Este trabalho abordou os principais conceitos e metodologias utilizadas nos sistemas de planejamento e programação da produção baseados no conceito de capacidade finita; identificou e descreveu as abordagens matemáticas e algorítmicas (regras heurísticas, otimizantes, restrições) para planejamento e escalonamento de produção em sistemas baseados em capacidade finita, apresentou a modelagem do modelo de planejamento e escalonamento de produção proposto, nomeado de APEP.

Com base nesse modelo proposto, foi desenvolvido um protótipo interativo com o objetivo de aplicar e validar o modelo. O mesmo utilizou-se do *plug-*

*in* gráfico *jQuery.GanttView*, para apresentar o resultado do escalonamento na tela e permitir a interação do usuário no modelo “arrastar” e “soltar”.

Todos os objetivos propostos foram atingidos, resultando em um modelo consistente de planejamento e escalonamento de produção baseado na teoria das restrições para um sistema APS.

Sendo assim, o desenvolvimento deste trabalho de conclusão permitiu o aprimoramento do conhecimento de engenharia de sistemas, entendendo os sistemas de informação voltados à produção e como um planejamento e escalonamento otimizado pode fazer a diferença no setor produtivo, mas não só nele como em qualquer outra área, pois planejar resulta em melhor qualidade. Também serviu de aquisição de conhecimento na área de programação onde foram utilizadas, linguagens de programação Web em paralelo com Desktop.

Tendo em vista a amplitude da área, são sugestões para trabalhos futuros:

- a) utilização de modelos matemáticos para implementação de APS;
- b) aplicar modelo APEP em outro sistema produtivo;
- c) comparativo de sistema FCS com APS.

## REFERÊNCIAS

- AGUILAR, Gisele G. **Análise de sistemas de planejamento avançado (APS):** conceituação e avaliação. 2004. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Disponível em: <[http://www.maxwell.lambda.ele.puc-rio.br/Busca\\_etds.php?strSecao=resultado&nrSeq=5880@2](http://www.maxwell.lambda.ele.puc-rio.br/Busca_etds.php?strSecao=resultado&nrSeq=5880@2)>. Acesso em: 09 set. 2012.
- ALMEIDA, Ana M.N. de. **Escalonamento dinâmico de tarefas industriais sujeitas a prazos de entrega.** 1995. 157f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores). Universidade de Porto, Porto. Disponível em: <<http://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/12193/2/Texto%20integral.pdf>>. Acesso em 26 nov. 2012.
- ANTUNES, Junico et al. **Sistemas de produção:** conceitos e práticas para projeto e gestão da produção enxuta. Porto Alegre: Bookman, 2008. 328p.
- CAIÇARA JUNIOR, Cícero. **Sistemas integrados de gestão – ERP:** uma abordagem gerencial. 3.ed. Curitiba: Ibpex, 2008. 197p.
- CARVALHO, Lilian Guerreiro de. **Dossiê Técnico:** Produção de Cerveja. Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas – SBRT, 2007. 54p. Disponível em: <<http://sbrt.ibict.br/dossie-tecnico/downloadsDT/NTc=>>>. Acesso em: 10 out. 2013.
- CHASE, Richard B.; JACOBS, F. Robert; AQUILANO, Nicolas J. **Administração da produção para a vantagem competitiva.** 10.ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. 724p.
- CORBETT NETO, Thomas. **Contabilidade de ganhos:** a nova contabilidade gerencial de acordo com a Teoria das Restrições. São Paulo: Nobel, 1997. 192p.
- CORRÊA, Henrique L.; PEDROSO, Marcelo C. Sistemas de programação da produção de capacidade finita: uma decisão estratégica? **RAE - Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v. 36, p.60-73, out./dez. 1996. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rae/v36n4/a07v36n4.pdf>>. Acesso em: 03 set. 2012.
- CORRÊA, Henrique L.; GIANESI, Irineu G. N.; CAON, Mauro. **Planejamento, programação e controle de produção:** MRP II / ERP: conceitos, uso e implantação: base para SAP, Oracle Applications e outros softwares integrados de gestão. 5.ed. São Paulo: Atlas, 2007. 434p.
- DAVIS, Mark M.; AQUILANO, Nicolas J.; CHASE, Richard B. **Fundamentos da administração da produção.** 3.ed. São Paulo: Bookman, 2001. 598p.
- DIAS, Ana Sofia de Castro. **Preactor APS - Uma visao geral.** INESC Porto – Unidade de Engenharia de Sistemas e Computadores. 2004a.50p. Disponível em: <<http://paginas.fe.up.pt/~ee02031/documentos/Preactor%20APS%20-%20Uma%20visao%20geral.pdf>> Acesso em: 28 abr. 2013

DIAS, Ana Sofia de Castro – **Preactor APS** - Algoritmos de escalonamento do Preactor. INESC Porto – Unidade de Engenharia de Sistemas e Computadores . 2004b. 14p. Disponível em: <  
<http://paginas.fe.up.pt/~ee02031/documentos/Algoritmos%20de%20escalonamento%20do%20Preactor.pdf> > Acesso em: 28 abr. 2013

DINI, Adriano. **Sistemas avançados de planejamento e programação da produção**: Uma aplicação na indústria de automação bancária. 2008. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Administração de Empresas). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em:<  
<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/18064/000685760.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 09 ago. 2012.

ECK, Marjolein Van. **Advanced planning and scheduling**: Is logistics everything? 2003. 62 f. Tese (Doutorado). Vrije Universiteit Amsterdam, Amsterdam, 2002. Disponível em: <<http://obp.math.vu.nl/logistics/papers/vaneck.doc>>. Acesso em: 02 abr. 2013.

FUSCO, José A.; SACOMANO, José B. **Operações e gestão estratégica da produção**. São Paulo: Arte & Ciência, 2007. 360 p.

GALVÃO, Frederico M. **Aplicação de um modelo de sequenciamento da produção para um setor de moldagem de artefatos plásticos**. 2007. 32f. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora. Disponível em:  
 <[http://www.ufjf.br/ep/files/2009/06/tcc\\_dez2007\\_fredericogalvao.pdf](http://www.ufjf.br/ep/files/2009/06/tcc_dez2007_fredericogalvao.pdf)>. Acesso em: 25 nov. 2012.

GIACON, Edivado. **Implantação de sistemas de programação detalhada da produção**: levantamento das práticas de programação da produção na indústria. 2010106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em:  
 <[http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3136/tde-20082010-144158/publico/Dissertacao\\_Edivaldo\\_Giacon.PDF](http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3136/tde-20082010-144158/publico/Dissertacao_Edivaldo_Giacon.PDF)>. Acesso em: 04 ago. 2012.

GIACON, Edivaldo; MESQUITA, Marco Aurélio de. Levantamento das práticas de programação detalhada da produção: um *survey* na indústria paulista. **Gest. Prod.** [online]. v.18, n.3, p. 487-498, 2011. Disponível em:  
 <<http://www.scielo.br/pdf/gp/v18n3/04.pdf>>. Acesso em: 07 out. 2012.

GOLDRATT, Eliyahu M.; COX, Jeff. **A meta**: um processo de melhoria contínua. 2.ed. Tradução: Thomas Corbett Netto. São Paulo: Nobel, 2003.

GONSALES, Samuel. Dez motivos que levam engenheiros de produção a adotarem ferramentas APS. Ferramental: **Revista brasileira da indústria de ferramentais**, Joinville, SC: v.8, n.45, p.19-20, jan. 2013. Bimestral.

HOFFMANN, L. T., GÓMEZ, A. T. Estudo de regras de despacho aplicadas a escalonamento. **Revista Scientia**. São Leopoldo: v.11, n.2, p.1 - 11, 2000.

Disponível em: < <http://www.lac.inpe.br/~hoffmann/publicacoes/2000p01.pdf>>.  
Acesso em: 25 nov. 2012.

JQUERY.GANTTVIEW. **Github**. 2013. Disponível em:  
<<https://github.com/thegrubbsian/jquery.ganttView?source=c>>. Acesso em 10 nov.2013

LAUDON, Kenneth C.; LAUDON, Jane P. **Sistemas de informação gerenciais**. 7.ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007. 452p.

LIDELL, Mike. **O pequeno livro azul da programação da produção**. 3.ed. Tradução: vários autores. São Paulo: TECMARAN Consultoria e Planejamento, 2009. 127p.

LUSTOSA, Leonardo et al. **Planejamento e controle de produção**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008. 380p.

MARQUES, José Augusto Veiga da Costa and CIA, Joanília Neide de Sales. Teoria das restrições e contabilidade gerencial: interligando contabilidade a produção. **Rev. adm. empres.** [online]. vol.38, n.3, p. 34-46, 1998.

OENNING, Vilmar et al. Teoria das Restrições e Programação Linear. Uma análise sobre o enfoque de otimização da produção. In: XXIV Encontro Nac. de Eng. de Produção, 2004, Florianópolis, SC. **Anais eletrônicos... ABREPO**, 2004. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2004\\_Enegep0101\\_1441.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2004_Enegep0101_1441.pdf) >. Acesso em: 13 nov.2012.

OLIVEIRA, Ronald L. de. **Escalonamento de um job shop**: análise de um algoritmo com regras heurísticas. 2001. 101f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em:  
<<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/3741/000342440.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 21 nov. 2012.

PRUDÊNCIO, José. **Estudo Sobre A Implantação de um Sistema de Planejamento Avançado com Capacidade Finita, em uma Empresa de Fundição de Ferro**. 2009. 47 f. Monografia (MBA em Logística Empresarial) - Fundação Getúlio Vargas, Joinville. Disponível em: <[http://www.linter.com.br/wp-content/uploads/2010/03/mba\\_tcc\\_case\\_aps\\_drummer1.pdf](http://www.linter.com.br/wp-content/uploads/2010/03/mba_tcc_case_aps_drummer1.pdf) >. Acesso em: 23 mai. 2013.

SHINGO, Shigeo. **Sistema toyota de produção**: do ponto de vista da engenharia da produção. 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 1996. 296p.

SOUZA, Fernando Bernardi de. Do OPT à Teoria das Restrições: avanços e mitos. **Prod.** [online]. 2005, vol.15, n.2, p. 184-197. Disponível em:  
<<http://www.scielo.br/pdf/prod/v15n2/v15n2a04.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2013

TORRES, Márcio S. **Proposta de um método para a implantação de um sistema de planejamento fino da produção baseado na teoria das restrições**. 1999. 185f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em:  
<<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/2944/000284154.pdf?sequence=>>  
. Acesso em 20 out. 2012.

TUBINO, Dalvio F. **Planejamento e controle de produção: teoria e prática**. São Paulo: Atlas, 2007.190p.

VOLLMANN, Thomas E. et al. **Sistemas de planejamento & controle de produção: para o gerenciamento da cadeia de suprimentos**. 5.ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. 648p.

ZATTAR, Izabel C. **Análise da aplicação dos sistemas baseados no conceito de capacidade finita nos diversos níveis da administração da manufatura através de estudo de caso**. 2004. 120f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em:  
<<http://www.tede.ufsc.br/teses/PEMC0799.pdf>>. Acesso em: 09 ago. 2012.

## APÉNDICE

# Modelo de Planejamento e Escalonamento de Produção Baseado na Teoria das Restrições para um Sistema de Planejamento e Programação Avançado

Anderson L. Furlan<sup>1</sup>, Leila Laís Gonçalves<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Curso de Ciência da Computação – Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC) – Criciúma – SC – Brazil

anderson-furlan@hotmail.com, llg@unesc.net

**Abstract.** *The challenge of planning the production process more adequately, without resources sit idle, requires software that satisfy this aspect. Most existing software using a static schedule to give you with a dynamic activity is production, not solving adequately the problem, by considering the capacity of resources as infinite. Accordingly, in this article we try to present a model of planning and scheduling of production based on Theory of Constraints for System Planning and Advanced Programming (APS), which takes into account the capacity of resources as finite. Based on it, we developed an interactive prototype APS as an open and viable solution for small businesses as an alternative to software of its kind that are expensive and not very interactive.*

**Resumo.** *O desafio de planejar o processo produtivo de modo mais adequado, sem que recursos fiquem ociosos, exige softwares que satisfaçam esse quesito. A maioria dos softwares existentes utilizam uma programação estática para lidar com uma atividade dinâmica que é a produção, não solucionando de forma adequada o problema, por considerar a capacidade de produção dos recursos como infinita. Nesse sentido, esse artigo apresenta um modelo de planejamento e escalonamento de produção baseado na Teoria das Restrições para um Sistema de Planejamento e Programação Avançado (APS), que leva em conta a capacidade dos recursos como finita. Com base nele, desenvolveu-se um protótipo interativo de APS como uma solução aberta e viável para pequenas empresas, como alternativa aos softwares do gênero que são de alto custo e pouco interativos.*

## 1. Introdução

A fabricação de um produto envolve diversos processos, desde a compra da matéria-prima, definição dos recursos a serem utilizados na produção (máquinas e operários), até a finalização do produto e venda no comércio. A sequência de fabricação deste produto é chamada de processo de produção.

O processo de produção é o que determina o sucesso ou não de uma indústria, se ela conseguirá corresponder aos diversos pedidos e entregar o produto. Um dos desafios das empresas do setor produtivo é administrar de forma eficiente e eficaz a relação entre capacidade e recursos de produção. Sendo bem elaborado, ele garante a eficiência da produção, alocando recursos de forma intuitiva e dinâmica, com o mínimo de ociosidade. A área que trata dessa questão é o Planejamento, Programação e Controle de Produção (PPCP).

No mercado competitivo as empresas buscam aperfeiçoar a forma de produzir, com o objetivo de reduzir custos e aumentar a eficiência. Como a área de PPCP está diretamente

relacionada aos lucros e custos da empresa, tem recebido bastante visibilidade e atenção dos executivos desde a década de 90, de acordo com Corrêa e Pedrosa (1996).

Isso se reflete na tecnologia que tem desenvolvido novas metodologias por meio dos sistemas de planejamentos e programação avançados, ou *Advanced Planning and Scheduling* (APS), que utilizam conceitos como escalonamento de produção, ou *Scheduling*, e a Teorias das Restrições, originalmente Theory of Constraints (TOC), para buscar um melhor desempenho na atividade de gestão da produção.

Como exemplo de software APS, pode-se citar o Preactor, que é líder no seguimento e apresenta como diferencial uma interatividade visual de fácil entendimento. A questão negativa desse software é o fato de ser proprietário, ter alto custo, assim como outros sistemas de mesmo gênero, o que acaba inviabilizando a aquisição por parte de pequenas e médias empresas.

Nesse sentido, este artigo apresenta um modelo de escalonamento de produção baseado na teoria restrições de um APS e implementa um protótipo interativo de APS como uma solução aberta, com base no modelo, que escalona a produção de forma otimizada, suprindo assim a necessidade deixada pelos sistemas MRP/MRP II e ERP e sendo assim de fácil acesso por pequenas empresas. Para validação do protótipo, o mesmo será aplicado em um sistema produtivo de uma cervejaria.

## **2. A Produção, Os Sistemas de Informação e Escalonamento de Produção**

A produção consiste em uma rede de processos e operações para geração de um produto. Um processo compreende a transformação da matéria-prima em produtos intermediários, semiacabados, e depois em um produto final ou produto acabado. As operações são os procedimentos e trabalhos realizados no processo de fabricação do produto, com a utilização de máquinas e mão de obra (SHINGO, 1996).

A gestão da produção, ou Administração da Produção (AP), compreende o gerenciamento dos recursos diretamente envolvidos no processo de produção de um produto ou serviço, ofertado pela organização (DAVIS; AQUILANDO; CHASE, 2001).

Buscando a otimização das atividades, devido à competitividade que existe entre as organizações, as mesmas vêm tomando medidas que afetam diretamente a gestão da produção. Para isso, as empresas recorrem aos sistemas de informação.

Os Sistemas de Informação são ferramentas imprescindíveis para as organizações, pois coletam dados, processam, geram e distribuem informações que dão o apoio necessário para gerentes e administradores na tomada de decisão. (LAUDON; LAUDON, 2007).

Os primeiros sistemas de informação focados na área de produção nas empresas foram baseados em MRP, que surgiram na década de 1970 (ZATTAR, 2004) e determinam quais matérias-primas e produtos semiacabados a organização precisa adquirir ou fabricar para conseguir produzir o produto final.

Apesar de uma boa ferramenta para gerenciar os estoques e compras para a época (LIDELL, 2011), o MRP não trata da limitação da capacidade dos recursos produtivos da empresa (ZATTAR, 2004). Devido a estas e várias outras limitações, o MRP se torna inviável para utilização em atividades de planejamento de curto prazo, já que não demonstra a realidade do ambiente de produção (DINI, 2008).

Como alternativa para essa questão, surgiu na década de 80 o Manufacturing Resources Planning ou Planejamento dos recursos de manufatura (MRP II) (ZATTAR, 2004).

Porém, como afirma Zattar (2004), o MRP II, assim como o MRP, possuía deficiências e herdou de seu antecessor o conceito de capacidade infinita, o que proporciona falta de visibilidade dos recursos e resulta em um plano de produção não confiável.

O MRP II evoluiu para os Sistemas Integrados de Gestão Empresarial, Enterprise Resource Planning (ERP) (LIDELL, 2011; DINI, 2008). O ERP surgiu na década de 1990 e vem sendo largamente utilizado em âmbito mundial, pois possuem os módulos contidos no MRP II, englobaram novas atividades como lançamento de ordens, contabilidade, compras e gerenciamento de estoques, unindo as informações da empresa em um único sistema e em um único lugar (LIDELL, 2011).

Desde seu surgimento, diversas empresas têm adquirido estes sistemas para gerenciar seus negócios, principalmente para controlar e gerenciar atividades referentes aos fornecedores, clientes, pessoal e custos de forma informatizada (GIACON; MESQUITA, 2011).

Entretanto, os sistemas ERP, apesar de incluírem um novo conjunto de funcionalidades para gestão empresarial do negócio como um todo, não constituem uma evolução para a administração da produção. Isso porque mantêm a mesma técnica dos sistemas MRP e MRP II da década de 70, uma vez que abrangem estes sistemas como módulos de gestão da produção, sendo incompatíveis com os ambientes de produção atuais (ABREU, 2000 apud DINI, 2008).

Em paralelo à evolução do MRP, surgiram os sistemas baseados no conceito de capacidade de finita, *Finite Capacity Scheduling* (FCS). Eles têm como fundamento traçar um programa de produção que tenha uma restrição à capacidade do sistema produtivo, garantindo assim a viabilidade do plano de produção.

Com a inserção de novas funcionalidades, como restrição de matérias-primas e o controle apurado de estoques, os sistemas FCS evoluíram para os Sistemas de Planejamento e Programação Avançados (APS) (ZATTAR, 2004). Estes surgiram no início dos anos 90 e representam um grande salto de qualidade na administração da produção, por unir conceitos de engenharia de produção aos sistemas de informação (LIDELL, 2011).

Os sistemas APS, evolução dos sistemas de produção com capacidade finita, seguem os mesmos preceitos, pois, como Giacom e Mesquita (2011) explicam, utilizam restrições de matéria-prima, planejando entregas somente diante da necessidade e utilizam as técnicas de escalonamento de produção (*Scheduling*) para minimizar os tempos de setup.

Escalonamento, ou *Scheduling* é a atividade de alocar recursos limitados para tarefas sobre um período definido, sendo os recursos: máquinas, operários, entre outros; e as tarefas: operações no processo de produção de um produto. É um processo de tomada de decisão que tem a função de aperfeiçoar um ou mais objetivos definidos pela organização (OLIVEIRA, 2001).

Como descrito, os sistemas APS vem para preencher a lacuna deixada pelo MRP/MRP II no contexto de PPCP, traçando uma programação da produção viável com base na limitação da capacidade dos recursos, de forma que gere um escalonamento real do chão de fábrica.

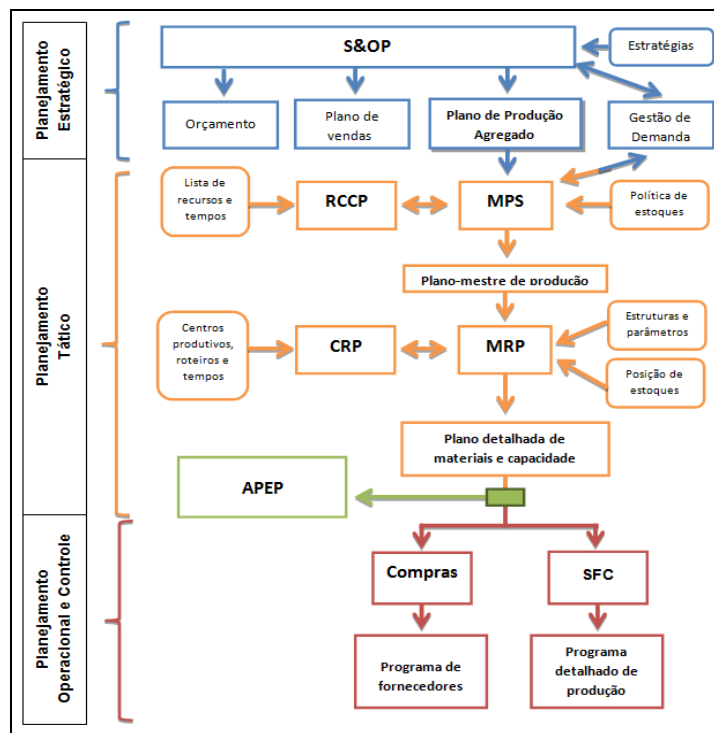
Nesse sentido, é apresentado no artigo um modelo de planejamento e escalonamento de produção que visa contemplar em que contexto do PPCP um sistema APS, que leva em consideração a capacidade finita dos recursos e as restrições do ambiente produtivo (conceito da Teoria das Restrições), se encontra e como se dá o seu funcionamento.

### **3. APEP: Modelo de Planejamento e Escalonamento de Produção**

A partir do levantamento bibliográfico realizado sobre sistemas de informação de gestão da produção, principalmente os sistemas APS, o estudo da Teoria das Restrições, Escalonamento e PPCP, apresenta-se neste artigo um modelo de planejamento e escalonamento de produção que visa contemplar todos os requisitos que um sistema de informação deve possuir para abranger de forma clara as variáveis envolvidas no processo produtivo.

A figura 1 apresenta o esquema de funcionamento de um PPCP e onde se encaixa o modelo de planejamento e escalonamento desenvolvido neste trabalho, o modelo APEP. O mesmo foi concebido com base no referencial teórico estudado que permitiu a compreensão do fluxo de PPCP e a concepção de um modelo de planejamento e escalonamento baseado na teoria das restrições para um APS que solucione a deficiência existente no modelo atual de PPCP de sistemas MRP/MRP II que trata a capacidade de produção como infinita.

Na figura 2 é apresentado o modelo desenvolvido, o modelo APEP. Este tem por objetivo traçar as diretrizes que devem ser levadas em conta para se desenvolver um sistema que realize o planejamento e escalonamento de produção, com base nas restrições de capacidade dos recursos, isto é, tratando a capacidade dos recursos como finita, para um sistema APS.



**Figura 1. Modelo APEP no contexto do PPCP**

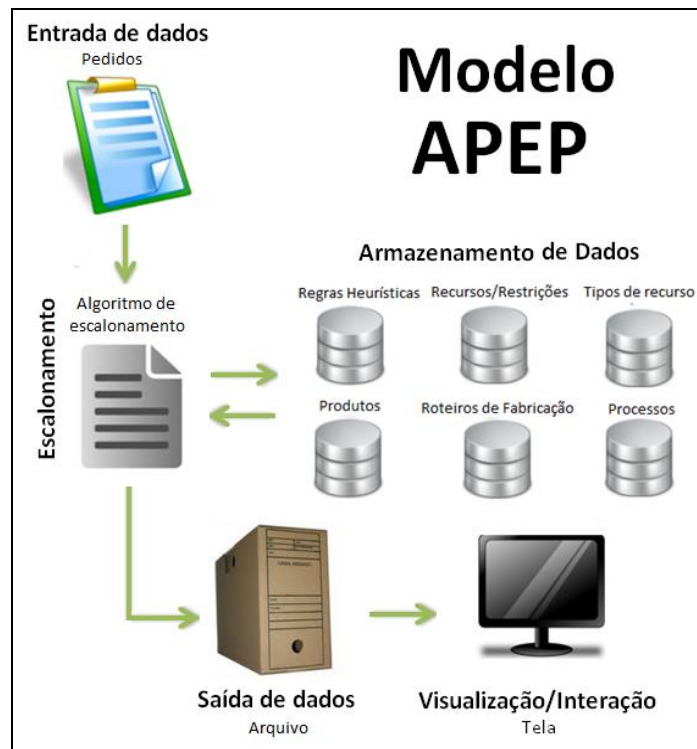
Nesse sentido, o modelo se enquadra no horizonte de planejamento tático e gera a programação da produção otimizada a ser utilizada no chão de fábrica. O modelo tem por característica abranger um ambiente de produção MTO, isto é, que produz por pedido e atua nos gargalos de produção (teoria das restrições), servindo de apoio a programação da produção.

A entrada de dados consiste na leitura de pedidos vindos do módulo de vendas (S&OP). Esta pode ocorrer por qualquer meio de armazenamento que o sistema utilize, seja arquivos de texto simples, objetos de classes, tabelas de banco de dados, entre outros, desde possuam os dados do código do pedido, produto e quantidade do produto e prazo de entrega.

Posteriormente à entrada de dados de pedidos, uma base de dados deve estar disponível para a consulta do algoritmo, que deve possuir obrigatoriamente os produtos, os processos de produção, os roteiros de fabricação, os recursos com suas restrições de capacidade, os tipos de recurso e as regras heurísticas para escalonamento. Podem ser armazenados de qualquer gênero, como tabela de banco de dados, objetos de classes, textos simples e outros.

A etapa do escalonamento é onde produção é escalonada utilizando-se de um algoritmo de capacidade finita que possua regras heurísticas para a ordenação, respeitando assim o conceito de teoria das restrições.

Terminado o escalonamento, um arquivo de saída é gerado respeitando o padrão de uma biblioteca gráfica. Esta então gera o gráfico de *Gantt* na tela e permite os ajustes finais a serem realizados pelo usuário, por meio da manipulação interativa.



**Figura 2. Modelo APEP**

Com base no modelo de planejamento e escalonamento de produção APEP, desenvolveu-se um protótipo interativo de APS (figura 3). A solução é composta pelo aplicativo escalonador, pelo algoritmo de escalonamento e pela visualização e interatividade.

Para desenvolvimento do aplicativo escalonador, optou-se pela linguagem de programação Java, e como ferramenta de desenvolvimento utilizou-se o ambiente integrado de desenvolvimento ou *Integrated Development Environment* (IDE), NetBeans.

O aplicativo escalonador inicia a execução a partir da classe *Principal* por meio do método *main*, onde estão armazenados todos os dados necessários para a aplicação, diretamente no escopo do código. É composto da entrada de dados, base de dados, algoritmo de escalonamento e responsável por gerar o arquivo de saída de dados.

O algoritmo de escalonamento utilizado foi adaptado do trabalho de Oliveira (2001). Como ocorre em sistemas APS, ele escalona a produção através de restrições e regras heurísticas e se baseia no conceito de capacidade finita. A regra heurística utilizada foi a *Earlist Due Data First* (EDDF), que ordena os pedidos por menor prazo de entrega e as restrições levadas em consideração são o sequenciamento e a capacidade dos recursos.

A parte de visualização e interatividade foi desenvolvida através do *plug-in* *jQuery.ganttView* (<https://github.com/thegrubbsian/jquery.ganttView>), onde os dados do escalonamento de produção gerados pelo aplicativo escalonador são convertidos e salvos no formato do *plug-in*, que os lê e gera o gráfico de *Gantt* para a exibição no navegador, em *HyperText Markup Language* (HTML) e *Cascading Style Sheets* (CSS), do escalonamento de produção. O *plug-in* também permite a interação no estilo “arrastar e soltar”.

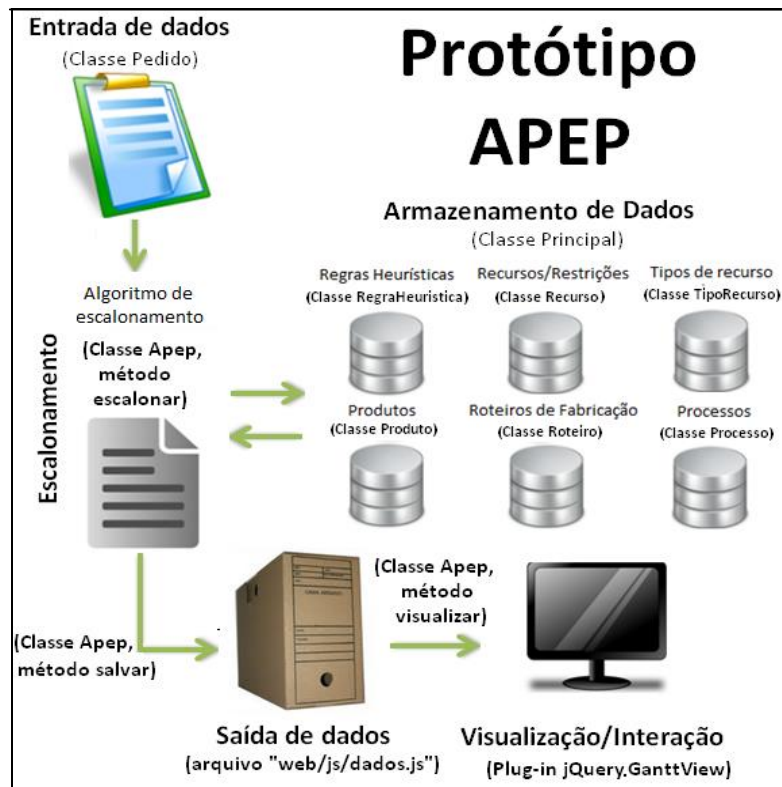


Figura 3. Protótipo APEP

Com o intuito de avaliar a aplicação e eficiência do protótipo desenvolvido, o mesmo foi aplicado em um estudo de caso na cervejaria X, mais precisamente nos processos de produção da cerveja que ocorrem nos tanques: a brassagem, a fermentação e a maturação.

Como exemplo de teste para a validação do protótipo, utilizou-se o cenário onde a cervejaria X possui 4 tanques com capacidade de 1000 litros cada (tabela 1).

Tabela 1. Recursos

Recurso	Capacidade
Tanque 1	1000 Litros
Tanque 2	1000 Litros
Tanque 3	1000 Litros
Tanque 4	1000 Litros

Dois pedidos de produtos diferentes, sendo que esses produtos por se tratarem de cervejas diferentes não podem ser misturados, pois um afetaria a produção do outro. A tabela 2 apresenta esses pedidos, onde tem-se um pedido de cerveja do tipo *Malzbier* de 2000 litros para o dia 01/12/2013 e outro de cerveja *Pilsen* de 2000 litros para dia 03/12/2013.

Tabela 2. Pedidos

Produto	Quantidade	Prazo
Cerveja <i>Malzbier</i>	2000 Litros	01/12/2013
Cerveja <i>Pilsen</i>	2000 Litros	03/12/2013

Sendo que o processo de fabricação que ocorre nos tanques independe da quantidade do produto e dura 9 dias para a cerveja *Malzbier* e a 10 dias para a cerveja *Pilsen* (tabela 3).

**Tabela 3. Processo de produção da cerveja *Malzbier* nos tanques**

Ordem	Processo	Cerveja <i>Malzbier</i>	Cerveja <i>Pilsen</i>
		Duração	Duração
1	Brassagem	1 dia	1 dia
2	Fermentação	6 dias	6 dias
3	Maturação	2 dias	3 dias

Em um escalonamento manual, considerando a data inicial do escalonamento para o dia 14/11/2013, sem o uso do protótipo, seriam alocados 1000 litros para produção em cada um dos tanques. Dois tanques ficariam responsáveis por produzir a cerveja *Malzbier* e dois a cerveja *Pilsen*. Os produtos ficarão prontos até o dia 22/11/2013 e 23/11/2013, respectivamente, sendo que o prazo para entrega é só para os dias 01/12/2013 e 03/12/2013 (figura 4).

Recursos	Produtos														
	Malzbier	Pilsen	14/11	15/11	16/11	17/11	18/11	19/11	20/11	21/11	22/11	23/11	24/11	25/11	
Tanque 1	Br		Fermentação						Matura						
Tanque 2	Br		Fermentação						Matura						
Tanque 3	Br		Fermentação						Maturação						
Tanque 4	Br		Fermentação						Maturação						

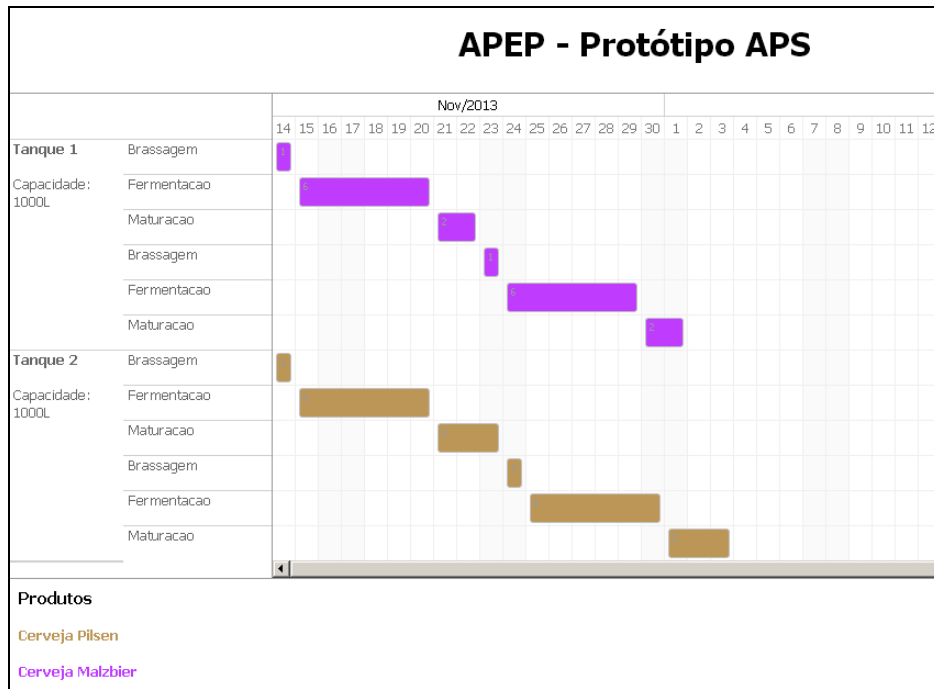
**Figura 4. Escalonamento Manual**

Com a aplicação do protótipo, alcança-se um escalonamento mais otimizado visto que, ao utilizar o algoritmo de escalonamento baseado em capacidade finita, ele considera a capacidade do recurso e o tempo de produção e consegue realizar a maximização da utilização dos gargalos, conceito da Teoria das Restrições.

Como resultado, o pedido da cerveja *Malzbier* é escalonado no tanque 1, já que o prazo de entrega é para o dia 01/12/2013 e pode-se produzir 1000 litros por vez. O mesmo ocorre com o pedido da cerveja *Pilsen* que pode ser produzido no tanque 2 pois o prazo de entrega é somente para o dia 03/12/2013 (figura 5).

Logo, se um novo pedido de 1000 litros surgir para o dia 23/11/2013, será escalonado no tanque 3, uma situação que não seria possível se o escalonamento fosse manual, já que os tanques estariam todos ocupados.

Demonstra-se, nesse sentido, a importância da maximização da utilização dos recursos, conceito da Teoria das Restrições, na aplicação de escalonamento de produção e também como a questão da capacidade finita de recursos e a questão do sequenciamento, quando bem tratadas, conseguem gerar uma programação da produção otimizada.



**Figura 5. Escalonamento do Protótipo**

#### 4. Conclusão

A complexidade crescente do processo produtivo nas empresas exige que a gestão da fabricação seja altamente inteligente e eficaz. A aplicação de ferramentas computacionais nesse cenário é muito importante, visto que tem a capacidade de aumentar a velocidade e a qualidade do processo, o que permite maior competitividade e, conseqüentemente, maior lucro às empresas.

As ferramentas APS, que se propõem a programar a produção em capacidade finita, promovendo a visão da capacidade disponível, os gargalos, altos estoques e a flexibilização da programação da fábrica, surgiram para contemplar essa demanda.

Entre as qualidades das ferramentas APS está sua capacidade de aliar os melhores conceitos e técnicas de produção à precisão da tecnologia da informação; melhorar as práticas gerenciais; identificar e subordinar os sistemas produtivos aos gargalos da fábrica; favorecer o controle de estoque; oferecer simulação de cenários; proporcionar melhor desempenho nas entregas; gerenciar o ambiente de produção de modo a minimizar descontroles e os custos oriundos de imprevistos; aumentar o ganho global da empresa.

Este artigo abordou os principais conceitos e metodologias utilizadas nos sistemas APS e, com base no estudo desenvolvido, apresentou o modelo de planejamento e escalonamento de produção APEP, no contexto do PPCP.

A partir desse modelo proposto, desenvolveu-se um protótipo interativo com o objetivo de aplicar o modelo. O mesmo utilizou-se do *plug-in* gráfico *jQuery.GanttView* para apresentar o resultado do escalonamento na tela e permitir a interação do usuário no modelo “arrastar” e “soltar”. Aplicado a um estudo de caso, constatou-se que o protótipo é válido e produz um escalonamento de produção otimizado.

## Referências

- Corrêa, Henrique L. e Pedroso, Marcelo C (1996). “Sistemas de Programação da Produção de Capacidade Finita: Uma Decisão Estratégica?”. *Rae - Revista De Administração De Empresas*, São Paulo, V. 36, P.60-73, Out./Dez. Disponível Em: <[Http://Www.Scielo.Br/Pdf/Rae/V36n4/A07v36n4.Pdf](http://www.scielo.br/Pdf/Rae/V36n4/A07v36n4.Pdf)>. Acesso Em: 03 Set. 2012.
- Davis, Mark M., Aquilano, Nicolas J. e CHASE, Richard B (2001). “Fundamentos da administração da produção”. 3.ed. São Paulo: Bookman. 598p.
- Dini, Adriano (2008). “Sistemas avançados de planejamento e programação da produção: Uma aplicação na indústria de automação bancária”. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Administração de Empresas). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em:<  
<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/18064/000685760.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 09 ago. 2012.
- Giacon, Edivaldo e Mesquita, Marco Aurélio de (2011). Levantamento das práticas de programação detalhada da produção: um survey na indústria paulista. *Gest. Prod.* [online]. v.18, n.3, p. 487-498. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/gp/v18n3/04.pdf>>. Acesso em: 07 out. 2012.
- Laudon, Kenneth C. e Laudon, Jane P (2007). “Sistemas de informação gerenciais”. 7.ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall. 452p.
- Lidell, Mike (2011). O pequeno livro azul da programação da produção. 3.ed. Tradução: vários autores. São Paulo: TECMARAN Consultoria e Planejamento, 2011. 127p.
- Oliveira, Ronald L. de (2001). Escalonamento de um job shop: análise de um algoritmo com regras heurísticas. 101f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/3741/000342440.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 21 nov. 2012.
- Shingo, Shigeo (1996). Sistema toyota de produção: do ponto de vista da engenharia da produção. 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 296p.
- Zattar, Izabel C (2004). Análise da aplicação dos sistemas baseados no conceito de capacidade finita nos diversos níveis da administração da manufatura através de estudo de caso. 120f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em: <<http://www.tede.ufsc.br/teses/PEMC0799.pdf>>. Acesso em: 09 ago. 2012.