

Universidade Federal de São Carlos  
Departamento de Engenharia de Produção  
Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção

*Uso da Dinâmica de Sistemas no Processo de S&OP*

**JEAN CARLOS DOMINGOS**

São Carlos  
2013  
Universidade Federal de São Carlos

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia  
Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção

*Uso da Dinâmica de Sistemas no Processo de S&OP*

**JEAN CARLOS DOMINGOS**

**Tese de doutoramento apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos da disciplina da obtenção do título de doutorado.**

**ORIENTADOR: PROF. DR. PAULO ROGÉRIO POLITANO**

São Carlos  
2013

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da  
Biblioteca Comunitária/UFSCar**

D671ud

Domingos, Jean Carlos.

Uso da dinâmica de sistemas no processo de S & OP /  
Jean Carlos Domingos. -- São Carlos : UFSCar, 2014.  
141 f.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal de São Carlos,  
2013.

1. Engenharia de produção. 2. Planejamento de vendas e  
operações. 3. Simulação. 4. Visão holística. 5. Integração  
financeira. I. Título.

CDD: 658.5 (20<sup>a</sup>)



## FOLHA DE APROVAÇÃO

Aluno(a): Jean Carlos Domingos

TESE DE DOUTORADO DEFENDIDA E APROVADA EM 25/03/2013 PELA  
COMISSÃO JULGADORA:

Prof. Dr. Paulo Rogério Politano  
Orientador(a) DC/PPGEP/UFSCar

Prof. Dr. Luiz Carlos Di Serio  
POI/FGV-SP

Prof. Dr. Luiz Cesar Ribeiro Carpinetti  
EESC/USP

Prof. Dr. Edemilson Nogueira  
PPGEP/UFSCar

Prof. Dr. Moacir Godinho Filho  
PPGEP/UFSCar

Prof. Dr. Néocles Alves Pereira  
PPGEP/UFSCar

Prof. Dr. Mário Otávio Batalha  
Coordenador do PPGEP

Dedico este trabalho à minha esposa Ana Paula e a meus filhos, pelo amor, apoio e compreensão.

## **Agradecimentos**

Ao meu orientador, Prof. Dr. Paulo Rogério Politano, pela oportunidade, pela orientação, e pelo grande apoio e amizade demonstrada ao longo destes anos: a minha eterna gratidão.

Ao Prof. Dr. Néocles Alves Pereira pela colaboração, motivação e amizade.

Ao Prof. Dr. Carlos Bremer e aos profissionais da empresa Axia Consulting que muito contribuíram nesta pesquisa.

Aos professores, membros da banca, pelas valiosas contribuições que enriqueceram esse trabalho.

Aos profissionais das empresas que disponibilizaram tempo para participar desta pesquisa e que grandemente contribuíram no desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores do departamento de Engenharia de Produção que, direta ou indiretamente, contribuíram para realização deste trabalho.

A Secretaria e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção pelo auxílio na realização deste trabalho, em especial aos profissionais Robson, Raquel, Karina e Natália por serem sempre prestativos.

Aos colegas discentes pelo apoio, auxílio e troca de conhecimentos ao longo do curso, especialmente ao Cláudio Vilela, Stela Bacheга, Tatiane Paço, Muris Lage, Regiane Máximo, Eli Toso, Rafael de Paiva, Fábio Pandim.

Aos meus companheiros de trabalho e diretores da empresa DMB e Copecar, pelo apoio de sempre.

A minha companheira e esposa Ana Paula Batista Domingos, por ter me ajudado quando foi possível, e pelo seu companheirismo, dedicação e amor durante todo o período, tanto nos momentos tranquilos como nos mais conturbados.

Aos meus filhos Cauã e Arthur, pelo amor e por terem tolerado em muitos momentos a minha ausência ao longo destes anos.

Aos meus irmãos Janderson, Tatiane e Jéssica, aos meus cunhados/as Luciano, Cesário, Talita, Anderson, e ao meu sogro e sogra Luiz e Cleide, por todo o incentivo.

Aos meus pais Sebastião Januário Domingos e Maria Ap. Gomes Domingos, pela minha formação moral e exemplos de uma vida digna e honesta.

## RESUMO

Apesar do processo de S&OP (Sales and Operations Planning) não ser uma prática nova nas empresas, principalmente naquelas de grande porte, ele ainda carece de estudos nas suas práticas e ferramentas computacionais de apoio. Isso decorre por ser um processo complexo onde a maioria dos representantes gerenciais das funções organizacionais participa da sua execução, com cada um tentando contribuir para definir um planejamento coordenado de ações para um período de curto, médio e longo prazo. Modelos e ferramentas computacionais focadas para o auxílio no processo de S&OP são utilizadas e podem contribuir para a melhoria da qualidade da sua execução e dos seus resultados. As ferramentas mais comuns são aquelas baseadas em planilhas eletrônicas, cujo conteúdo é gerado por meio do conhecimento especializado dos tomadores de decisão, e as mais sofisticadas, são baseadas em técnicas de pesquisa operacional inseridas em sistemas APS (Advanced Planning Systems), cujos modelos analíticos procuram gerar planos otimizados. A partir da revisão bibliográfica realizada sobre as técnicas computacionais usadas para o auxílio do processo S&OP, foi identificada a ausência de estudos relacionados ao uso de Dinâmica de Sistemas. Adicionalmente, a revisão aponta a necessidade de estudos relacionados à integração de análise econômica e financeira durante a elaboração dos planos agregados e o uso de variáveis probabilísticas no processo que possibilitem a análise estatística no sentido de fornecer planos mais confiáveis. Outra questão relevante observada é que os gestores que participam do processo S&OP nem sempre tem uma visão global de todas variáveis e restrições envolvidas neste processo, assim observa-se também que as técnicas e ferramentas utilizadas para execução do processo de S&OP não oferecem uma visão holística das atividades e variáveis envolvidas. Com isso, o objetivo da pesquisa é desenvolver um modelo de Simulação de Dinâmica de Sistemas que proporcione uma visão holística para o processo de S&OP e que permita a integração com os processos da área financeira e o uso de variáveis probabilísticas. O método de pesquisa utilizado foi baseado em uma abordagem qualitativa e quantitativa com procedimento modelagem/simulação. O modelo de simulação baseado na metodologia da dinâmica de sistemas para o processo de S&OP foi elaborado e analisado em casos ilustrativos, realizados em duas empresas com característica de produção para estoque (MTS). As simulações dos casos ilustrativos foram conduzidas por um projeto de experimento (DOE) para selecionar e avaliar um conjunto de cenários, determinando o melhor cenário e verificando a adequação com a prática das empresas. A avaliação do uso e dos resultados das simulações realizadas nos dois casos aponta que o modelo de dinâmica de sistemas melhora a compreensão dos gestores sobre todas as atividades envolvidas no processo de S&OP, como também fornece uma visão holística de todas as áreas envolvidas. A simulação gera planos compatíveis comparados com a prática empresarial, com a vantagem de tratar a análise econômica e financeira simultaneamente e possibilitar a geração de inúmeros cenários de planos de S&OP.

Palavras-Chave: S&OP, Planejamento de Vendas e Operações, Simulação, Dinâmica de Sistemas, Visão Holística, Integração Financeira.

## **ABSTRACT**

Despite the process of S&OP (Sales and Operations Planning) is not a new practice in enterprises, especially those of large size, it still deficiency studies in their practices and computational tools support. This happens because it is a complex process where the majority of the representatives managerial of organizational functions participating in the execution, with each trying to contribute to define a coordinated plan of actions for a period of short, medium and long term. Computational models and tools focused to aid the process of S & OP are used and can contribute to improving the quality of its implementation and results. The most common tools are those based on spreadsheets, whose content is generated through the expertise of the decision makers, and more sophisticated techniques are based on techniques of the operational research inserted in Advanced Planning Systems (APS), whose analytical models seek to generate optimized plans. From the literature review on the computational techniques used to aid the S&OP process, was identified the lack of studies related to the use of System Dynamics. Additionally, the review indicates the need for studies related to the integration of economic and financial analysis during the preparation of aggregates plans and the use of probabilistic variables in the process enabling the statistical analysis in order to provide plans more realistic. Another relevant issue observed is that managers involved in the process S&OP does not always have a global vision of all variables and constraints involved in this process, so it is also observed that the techniques and tools used to implement the S&OP process does not provide a holistic view of activities and variables involved. Thus, the aim of this work is to develop a simulation model of System Dynamics which provides a holistic vision for the S&OP process, allowing the integration of finance processes and the use of probabilistic variables. The research method used was based on a qualitative and quantitative approach procedure with modeling / simulation. Thus, the aim of the research is to develop a simulation model of System Dynamics to assist the S & OP process. The research method used was based on a qualitative and quantitative approach with modeling / simulation procedure. The simulation model based on the methodology of system dynamics for the S & OP process was developed and analyzed in illustrative cases, performed in two companies with feature make to stock (MTS). Simulations of illustrative cases were conducted by a design of experiment (DOE) to select and evaluate a set of scenarios, determining the best scenario and checking the adequacy with practice of companies. A evaluation of the use and results of simulations in both cases shows that the system dynamics model improves the understanding of the managements on all activities involved in the S&OP process, as well provides a holistic view of all areas involved. The simulations provides compatible plans compared with business practice, with the advantage of dealing with economic and financial analysis simultaneously and allow the generation of numerous scenarios of S&OP plans.

**Keywords:** Sales and Operation(S&OP), Simulation, System Dynamics, Holistic Vision, Finance Integration.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Processo do método científico empregado. ....	8
Figura 2.1 – Etapas do processo de S&OP. (CORRÊA et al., 2007).....	17
Figura 2.2 – Ciclos Periódicos e Horizonte de Planejamento. (CORRÊA et al., 2007).....	18
Figura 3.1 – Visão linear de um problema .....	28
Figura 3.2 – Estrutura de loop fechado .....	28
Figura 3.3 – Exemplos de Feedbacks: Positivo e Negativo .....	36
Figura 3.4 – Diagrama Geral de Ciclo Causal .....	37
Figura 3.5 – Diagrama de Estoque e Fluxo .....	40
Figura 4.1 – Modelo referencial de dinâmica de sistemas para S&OP desenvolvido neste trabalho. ....	47
Figura 4.2 – Modelo de dinâmica de sistemas para S&OP: Macroprocesso Suprimentos.....	48
Figura 4.3 – Modelo de dinâmica de sistemas para S&OP: Macroprocesso produção.....	50
Figura 4.4 – Modelo de dinâmica de sistemas para S&OP: Macroprocesso capacidade.....	52
Figura 4.5 – Modelo de dinâmica de sistemas para S&OP: Macroprocesso custeio por absorção.....	54
Figura 4.6 – Modelo de dinâmica de sistemas para S&OP: Macroprocesso faturamento e análise econômica.....	56
Figura 4.7 – Modelo de dinâmica de sistemas para S&OP: Macroprocesso fluxo de caixa. ....	58
Figura 4.8 – Modelo de dinâmica de sistemas para S&OP: Macroprocesso previsão de vendas.....	59
Figura 4.9 – Exemplo da interface desenvolvida para interação com o usuário.....	60
Figura 5.1 – Comportamento dinâmico da variável de resposta Margem de Contribuição Unitária.....	76
Figura 5.2 – Gráfico das médias do indicador de desempenho “lucro líquido”. ....	87
Figura 5.3 – Gráfico das médias do indicador de desempenho “percentual de margem líquida”.....	88
Figura 5.4 – Gráfico das médias do indicador de desempenho “percentual da margem de contribuição”. ....	89
Figura 5.5 – Gráfico das médias do indicador de desempenho “Percentual de utilização da capacidade do centro de trabalho restrito”. ....	90
Figura 5.6 – Gráfico das médias do indicador de desempenho “percentual de atendimento do plano de vendas”.....	91
Figura 5.7 – Gráfico das médias do indicador de desempenho “volume de produção”.....	92
Figura 5.8 – Percentual de margem de contribuição obtidas na simulação para a família de produto 1 e 2. ....	94
Figura 5.9 – Percentual de margem de líquida obtidas na simulação para a família de produto 1 e 2.....	94
Figura 5.10 – Quantidade prevista mensalmente para família 1 no primeiro e segundo caso de simulação.....	98
Figura 5.11 – Gráfico gerado pelo modelo de simulação para comparação entre o plano de vendas e as vendas realizadas para a família 1. ....	99

Figura 5.12 – Gráfico gerado pelo modelo de simulação para comparação do custo unitário da família 1. ....	99
Figura 5.13 – Gráfico gerado pelo modelo de simulação para comparação da receita líquida da família 1. ....	100
Figura 5.14 – Comparação do valor do custo total dos produtos vendidos da família 1 apurados nas simulações do primeiro e segundo caso. ....	100
Figura 5.15 – Comparação do valor do lucro líquido da família 1 apurados nas simulações do primeiro e segundo caso. ....	101
Figura 5.16 – Comparação do valor da receita líquida da família 1 apurada nas simulações do primeiro, segundo e terceiro caso. ....	102
Figura 5.17 – Comparação do custo médio unitário da família 1 apurado nas simulações do primeiro, segundo e terceiro caso. ....	102
Figura 5.18 – Comparação do custo médio unitário da família 1 apurado nas simulações do primeiro, segundo, terceiro e quarto caso. ....	103
Figura 5.19 – Comparativo entre o plano de produção gerado no quarto caso (1) e quinto caso (2) de simulação. ....	104
Figura 5.20 – Comparativo entre o plano de estoque gerado no quarto caso (1) e quinto caso (2) de simulação. ....	104

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Síntese dos trabalhos que utilizam SD no planejamento da produção. ....	42
Tabela 4.1 – Variáveis do modelo de dinâmica de sistemas para S&OP: Variáveis do tipo estoque. ....	61
Tabela 4.2 – Variáveis do modelo de dinâmica de sistemas para S&OP: Variáveis do tipo fluxo. ....	62
Tabela 4.3 – Variáveis do modelo de dinâmica de sistemas para S&OP: Variáveis do tipo auxiliar. ....	63
Tabela 5.1 – Dados de estoque e valores de custo e venda para as famílias de produto acabado. ....	69
Tabela 5.2 – Dados relacionados aos itens de matéria-prima, agregados em família. ....	70
Tabela 5.3 – Lista de materiais (BOM) para as famílias de produto acabado. ....	70
Tabela 5.4 – Total de horas disponíveis da capacidade total do mês e tempo de atraso para incremento de horas extras. ....	71
Tabela 5.5 – Capacidade padrão dos centros de trabalho para mês e taxa de produtividade por centro. ....	71
Tabela 5.6 – Dados relacionados aos centros restritos por família de produto. ....	72
Tabela 5.7 – Tempos de ciclo de produção. ....	72
Tabela 5.8 – Dados necessários para realização do cálculo de custos. ....	73
Tabela 5.9 – Dados referentes a fluxo caixa e depreciação. ....	74
Tabela 5.10 – Percentuais de impostos e margem de lucro desejada. ....	74
Tabela 5.11 – Percentuais de despesas. ....	74
Tabela 5.12 – Previsão de vendas 0. ....	78
Tabela 5.13 – Previsão de vendas 1. ....	78
Tabela 5.14 – Plano de estoque 0. ....	79
Tabela 5.15 – Plano de estoque 1. ....	79
Tabela 5.16 – Fatores e níveis do projeto de experimento fatorial $2^k$ . ....	79
Tabela 5.17 – Tratamentos gerados para o projeto de experimento fatorial $2^k$ . ....	80
Tabela 5.18 – Resultados dos indicadores de desempenho obtidos nas simulações realizadas com cada cenário do experimento fatorial. ....	82
Tabela 5.19 – Análise de variância dos dados do indicador de desempenho “lucro líquido”. ....	82
Tabela 5.20 – Análise de variância dos dados do indicador de desempenho “percentual de margem líquida”. ....	83
Tabela 5.21 – Análise de variância dos dados do indicador de desempenho “Percentual de margem de contribuição”. ....	83
Tabela 5.22 – Análise de variância dos dados do indicador de desempenho “Percentual de utilização da capacidade do centro de trabalho restrito”. ....	83
Tabela 5.23 – Análise de variância dos dados do indicador de desempenho “Percentual de atendimento do plano de vendas”. ....	83
Tabela 5.24 – Análise de variância dos dados do indicador de desempenho “Volume de produção”. ....	83
Tabela 5.25 – Análise de variância dos dados do indicador de desempenho “Lucro líquido”. ....	84

Tabela 5.26 – Análise de variância dos dados do indicador de desempenho “Percentual de margem líquida”.....	84
Tabela 5.27 – Análise de variância dos dados do indicador de desempenho “Percentual de margem de contribuição”.....	85
Tabela 5.28 – Análise de variância dos dados do indicador de desempenho “Percentual de utilização da capacidade do centro de trabalho restrito”.....	85
Tabela 5.29 – Análise de variância dos dados do indicador de desempenho “Percentual de atendimento do plano de vendas”.....	85
Tabela 5.30 – Análise de variância dos dados do indicador de desempenho “Volume de produção”...86	
Tabela 5.31 – Demonstrativo de Resultado do Exercício (DRE) obtido por 1 simulação do cenário escolhido.....	93
Tabela 5.32 – Casos simulados por solicitação dos participantes.....	97
Tabela 5.33 – Comparativo das práticas das empresas no processo S&OP e o uso da dinâmica de sistemas.....	107

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	1
1.1	Contextualização do Tema .....	1
1.2	Questão de Pesquisa.....	4
1.3	Objetivo Geral e Específico .....	5
1.4	Justificativa.....	6
1.5	Método Científico .....	8
1.6	Estrutura da Tese .....	12
2	PLANEJAMENTO DE VENDAS E OPERAÇÕES – S&OP .....	14
2.1	Visão Geral e Objetivos do S&OP .....	14
2.2	O processo de S&OP .....	16
2.3	Considerações sobre a Implantação e Operação do Processo de S&OP .....	21
2.4	Avanços no Processo de S&OP.....	25
3	DINÂMICA DE SISTEMAS .....	27
3.1	Pensamento Sistêmico.....	27
3.2	Histórico da Dinâmica de Sistemas .....	29
3.3	Modelagem e Simulação de Dinâmica de Sistemas .....	31
3.3.1	Sistemas .....	31
3.3.2	Modelos.....	32
3.3.3	Simulação.....	34
3.4	Elementos da Dinâmica de Sistemas .....	35
3.4.1	Feedbacks.....	36
3.4.2	Diagramas Causais.....	37
3.4.3	Diagramas de Estoque e Fluxos .....	39
3.5	Uso da Dinâmica de Sistemas no Planejamento da Produção.....	40
4	PROPOSTA DE MODELO DE DINÂMICA DE SISTEMAS PARA A SIMULAÇÃO DO PROCESSO DE S&OP .....	45
4.1	Considerações iniciais do modelo .....	45
4.2	Descrição do modelo de simulação .....	46
4.2.1	Suprimentos.....	48
4.2.2	Produção.....	49
4.2.3	Capacidade .....	51
4.2.4	Custeio por absorção.....	53
4.2.5	Faturamento e análise econômica.....	55
4.2.6	Fluxo de caixa.....	57

4.2.7	Previsão de vendas.....	59
4.2.8	Exemplo de interface de usuário para o modelo de DS para S&OP .....	60
4.2.9	Relação das variáveis do modelo de DS para o S&OP.....	61
5	SIMULAÇÃO DO MODELO .....	67
5.1	Considerações sobre a realização das simulações .....	67
5.2	Especificação da simulação.....	68
5.3	Simulações.....	74
5.3.1	Projeto de experimento fatorial 2k .....	77
5.3.2	Análise do projeto de experimento fatorial.....	81
5.4	Avaliação do modelo referencial pelas empresas.....	95
5.4.1	Empresa A .....	95
5.4.2	Empresa B .....	105
5.4.3	Considerações sobre o uso do modelo de dinâmica de sistemas e a prática das empresas no processo S&OP .....	107
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	110
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	116
	APENDICE I .....	124
	APENDICE II.....	137
	APÊNDICE III .....	141

# 1 INTRODUÇÃO

Um dos grandes desafios dos gestores é manter-se atualizado sobre tudo o que acontece em sua organização e compreender como ela age e reage frente ao mercado ou as inúmeras mudanças estratégicas, políticas, organizacionais e mercadológicas que ocorrem com o tempo. Esta dificuldade aumenta quanto mais complexa for a organização.

O correto entendimento da organização ocorre a partir do momento em que cada gestor consegue observar como tudo “funciona” ao seu redor, não somente sob sua ótica, mas com uma visão que engloba a dos demais gestores da organização, como cada uma das áreas se interage e como são as integrações entre os processos internos com os processos externos da empresa tais como clientes, fornecedores, concorrentes entre outros.

Esta tese trata da utilização da teoria da dinâmica de sistema no processo de planejamento de vendas e operações (S&OP) com enfoque em proporcionar uma visão holística para o processo. Neste capítulo de introdução, é apresentada a contextualização do tema deste trabalho, como também, a questão de pesquisa, os objetivos, as justificativas, o método científico e a estrutura geral da tese.

## 1.1 Contextualização do Tema

Geralmente as decisões de nível estratégico e tático relacionadas à capacidade produtiva estão vinculadas a incertezas do ambiente de negócios da organização, pois objetivam o médio/longo prazo e envolvem disponibilizar recursos materiais, humanos e financeiros significativos. Segundo Corrêa et al. (2007), para que uma decisão deste tipo possa ser tomada, é necessário o desenvolvimento de uma certa “visão de futuro” que considere, dentro do horizonte de tempo associado, fatores como a demanda prevista e o nível de capacidade desejado.

Segundo Wallace (2008), o processo de S&OP visa prover esta “visão de futuro”, pois um de seus principais objetivos é buscar o balanceamento entre a demanda e a oferta de produtos, mostrando com antecedência, quando e onde as faltas e excessos de capacidade irão ocorrer em um determinado período de tempo.

O processo de S&OP faz parte de uma estrutura hierárquica de funções do Planejamento e Controle da Produção (PCP) (VOLLMAN et al., 2008). Essa estrutura está dividida em planejamento estratégico, tático e operacional, conforme as funções

desempenhadas ao longo de um período de planejamento. Em função da visão de futuro de médio prazo que o S&OP fornece, ele é classificado no nível tático da hierarquia do PCP.

Sipper e Bulfin (1997) usam o termo planejamento agregado ao invés do termo S&OP. De acordo com esses autores, o planejamento agregado visa planejar a produção no médio prazo (de três a dezoito meses) com a finalidade de balancear a taxa de produção e a taxa da demanda. Pesquisadores da área de PCP e empresas têm dado nomes diferentes para o S&OP, como planejamento agregado de produção, planejamento estratégico de produção, planejamento de vendas e produção, entre outros (CORRÊA et al., 2007). Segundo Oliver Wight Americas (2010) e Thomé et al. (2012), o processo de S&OP é considerado uma evolução do processo de planejamento agregado no planejamento tático nas empresas.

O S&OP é um processo de planejamento caracterizado por revisões mensais e contínuos ajustes de acordo com as incertezas de demanda e da disponibilidade de recursos e de suprimentos. Ele é realizado por colaboradores responsáveis das principais áreas da empresa, para que sejam analisados os impactos de cada decisão em todas as áreas envolvidas (CORRÊA et al., 2007), (VOLLMAN et al., 2008). Geralmente, sua realização segue cinco etapas: levantamento de dados, planejamento da demanda, planejamento da produção, reunião preliminar de S&OP e reunião executiva de S&OP. O resultado do processo é a geração de plano de vendas agregado, de plano de produção agregado, plano de desenvolvimento de novos produtos e plano financeiro que visam atender as necessidades reais dos clientes e fornecedores e que estejam de acordo com os objetivos estratégicos da organização.

O processo de S&OP é reconhecido como um dos processos de planejamento da cadeia de suprimentos (OLIVA; WATSON, 2011). Trabalhos com esse foco são apresentados por Feng et al (2008) que propõe um modelo de programação inteira mista para o processo de S&OP a fim de gerar planos de suprimento, produção, distribuição e vendas para os parceiros da cadeia. Além de exercer um papel de integração vertical entre os níveis de decisão estratégicos e operacionais dentro da organização, o S&OP pode exercer o papel de integrador horizontal por meio das decisões de mesmo nível tático da organização, mas de diferentes funções empresariais, como marketing, manufatura, finanças, entre outras, como também pode exercer o papel de coordenador da cadeia de suprimentos da organização foco.

Técnicas baseadas na pesquisa operacional são utilizadas para o apoio ao processo de S&OP (HAHN; KUHN, 2011). Técnicas de modelagem matemática baseadas em programação linear, programação linear mista, programação estocástica, entre outros, são utilizadas para gerar os planos de produção agregado e plano de vendas agregadas, considerando restrições de recursos e utilizando funções objetivo para minimizar os custos ou



maximizar os lucros (GENIN et al., 2007) (CHEN-RITZO, 2010). Planilhas eletrônicas são as mais usadas pelas empresas, por sua simplicidade e por serem mais difundidas no meio empresarial. Algumas dessas planilhas são mais elaboradas e usam recursos do Solver que permitem criar planos de produção agregados otimizados (SILVA FILHO et al., 2009).

Alguns trabalhos exploram os benefícios potenciais no uso de sistemas APS (*Advanced Planning Systems*) para apoiar o processo de S&OP (SHAPIRO, 2010) (IVERT; JONSSON, 2010). Os sistemas APS são ferramentas computacionais que incorporam técnicas de pesquisa operacional permitindo simular vários cenários das funções empresariais com objetivo de gerar planos otimizados ou próximos do ótimo (STADTLER, 2005) (JONSSON et al., 2007). Vários sistemas APS também vêm sendo desenvolvidos por pesquisadores e centros de pesquisas, buscando apresentar novos algoritmos e processos (VAN NIEUWENHUYSE et al., 2011). Apesar das funcionalidades inseridas nos APS que visam atender as necessidades das cadeias de suprimentos, a maioria das suas implementações se restringe a uma única organização ou em um único chão de fábrica, visto que são grandes as dificuldades técnicas e organizacionais em gerar planos para todos os parceiros da cadeia (HVOLBY; STEGER, 2010) (IVERT; JONSSON, 2011) (RUDBERG; CEDERBORG, 2011).

Alguns autores afirmam que o futuro do S&OP (LANDEGHEM; VANMAELE, 2002; SCHLEGEL; MURRAY, 2010) será baseado no planejamento probabilístico, para modelar a variabilidade das incertezas que o mercado apresenta, usando modelos de simulação apoiados por projeto de experimentos de modo a fornecer valores mais apropriados para as variáveis de decisão do processo.

Uma revisão da literatura de S&OP publicada na *International Journal Production Economics* por THOMÉ et al (2012) apontou a necessidade de pesquisas para a integração do processo de análise financeira. Na revisão realizada por THOMÉ et al (2012), onde foram revistos e classificados 271 artigos, e na revisão da literatura realizada neste trabalho não foi identificado nenhum trabalho que envolvesse o uso de dinâmica de sistemas no processo de S&OP.

A partir da revisão da literatura observa-se que as técnicas e ferramentas utilizadas para execução do processo de S&OP não oferecem uma visão holística das atividades e variáveis envolvidas na construção dos planos agregados, dificultando o compartilhamento de informações e o entendimento de como cada decisão a ser tomada afeta o desempenho global da empresa.

Uma abordagem holística para o processo de S&OP pode ser obtido com a teoria da dinâmica de sistemas.

A Dinâmica de Sistemas surgiu dos estudos do comportamento dinâmico em relação ao tempo das organizações industriais, descritos no livro *Industrial Dynamics* do professor Jay W. Forrester (FORRESTER, 1961). Desde aquela época, a abordagem de Dinâmica de Sistemas vem sendo empregada nas mais diversas áreas do conhecimento, tais como economia, ecologia, biologia, física, entre outros (SENGE, 2008).

A Dinâmica de Sistemas pode ser usada para definir políticas de médio e longo prazo e regras de negócio nas organizações (STERMAN, 2000). Ela permite estudar e analisar o comportamento das variáveis dos sistemas ao longo do tempo por meio da simulação, bem como serve para explicitar e compartilhar os modelos mentais dos colaboradores das organizações com o uso de diagramas de estoque e fluxo.

Vários trabalhos apresentam a Dinâmica de Sistemas modelando vários aspectos da cadeia de suprimentos em (MARTINEZ-OLVERA, 2009) (TOWILL, 1996) (KAMATH; ROY, 2007) (CAGLIANO; DEMARCO; RAFELE, 2011), (SAKURAMOTO, 2008) (SASAKI et al., 2008) (YIMER et al., 2011) (OLHAGER, 2010). Modelos teóricos de Planejamento Agregado e Plano Mestre da Produção são propostos com modelos híbridos de Dinâmica de Sistemas e Simulação de Eventos Discretos nos trabalhos (PASTRANA et al., 2010) (VENKATESWARAN; SON, 2005) (MORECROFT, 2005) (RABELO et al., 2003).

Com base na literatura acadêmica, a abordagem de Dinâmica de Sistemas foi escolhida para ser utilizada como ferramenta alternativa para apoiar o processo de S&OP. O uso da dinâmica de sistemas pode fornecer a visão holística para o processo de S&OP permitindo a elaboração de planos agregados e inter-relacionados das diversas áreas envolvidas neste processo e apoiar o processo de tomada de decisão compartilhado entre os participantes do processo de S&OP da organização.

## **1.2 Questão de Pesquisa**

Para que se possa determinar com clareza as condições necessárias à determinação do método de pesquisa, é preciso determinar a questão de pesquisa que este trabalho pretende investigar, assim como o objetivo desta pesquisa e o objeto de estudo, para que, a partir do levantamento do referencial teórico disponível e da experiência do

pesquisador no assunto, seja definido o método científico a ser adotada para obter os resultados esperados.

Este trabalho se concentrou na área de gestão da produção com enfoque no processo de planejamento de vendas e operações (S&OP), onde a partir de pesquisas iniciais e de experiências anteriores, foi identificado que este processo ainda carece de estudos na academia e nas práticas empresarias. Uma questão relevante observada, é que os gestores que participam do processo S&OP nem sempre tem uma visão global de todas variáveis e restrições envolvidas na construção dos planos agregados. A falta desta visão global pode gerar tomada de decisões não assertivas pelos gestores participantes deste processo.

Uma vez constatado essa questão, é definido como objeto de estudo deste trabalho o Uso da Dinâmica de Sistemas no Processo de S&OP, por se tratar de uma teoria que permite a representação holística de processos complexos das mais diferentes áreas de conhecimento.

A questão principal de pesquisa que guiará a definição das estratégias de condução deste trabalho é:

*A visão holística proporcionada pelo uso da simulação de dinâmica de sistemas pode auxiliar na elaboração dos planos do processo de S&OP?*

### **1.3 Objetivo Geral e Específico**

O objetivo geral deste trabalho é proporcionar uma visão holística para o processo de S&OP por meio do uso da simulação de Dinâmica de Sistemas.

Este objetivo geral pode ser dividido nos seguintes objetivos específicos:

- Construir um modelo de simulação de Dinâmica de Sistemas que represente as interações existentes no processo de suprimentos, produção, capacidade, previsão de vendas, custeio, fluxo de caixa, faturamento e análise econômica, cuja simulação resulte na geração dos planos agregados de produção, vendas, estoque, e suprimentos para empresas com característica de produção para estoque (*Make to Stock* - MTS).
- Definir indicadores de desempenho integrados ao modelo que avaliem os resultados financeiros e econômicos dos planos agregados gerados na simulação.

- Utilização de projeto de experimento estatístico com variáveis probabilísticas incluídas no modelo de simulação.
- Avaliação da aplicação do modelo de simulação em casos ilustrativos em empresas *MTS* que praticam o processo de S&OP.

## 1.4 Justificativa

Grande parte das decisões tomadas no processo de S&OP tem um grande potencial de risco, em que um número razoável de decisões ineficazes ou ineficientes pode conduzir as organizações a condições financeiras delicadas. Neste ambiente complexo e dinâmico que permeiam o processo de S&OP, os gestores devem buscar recursos, técnicas ou ferramentas que possam lhes apoiar, com o objetivo de minimizar as consequências indesejadas.

Jay W. Forrester, professor da *Sloan School* no MIT (*Massachusetts Institute of Technology*), desenvolveu, na década de 1960, uma metodologia de modelagem e simulação do comportamento ao longo do tempo de sistemas complexos, como meio de avaliar negócios e outros contextos organizacionais e sociais, que denominou Dinâmica de Sistemas. Essa metodologia foi aplicada para avaliar como mudanças em partes do sistema afetam o comportamento do todo e, desta forma, examinar a inter-relação das forças do sistema, vendo-as num contexto amplo, entendendo-as como parte de um processo comum (ANDRADE, 1997). Procura avaliar como as coisas evoluem no tempo, como o passado conduz ao presente e como as ações de hoje irão definir o futuro. É orientada para mapear as estruturas destes sistemas e, por meio da simulação, permitir ao pesquisador testar diferentes políticas e soluções para operação do sistema, verificando o impacto de suas decisões. (FERNANDES, 2001).

Em seguida, as pesquisas de Forrester serviram de base para os trabalhos de Aprendizagem Organizacional, cujo pesquisador mais conhecido é Peter Senge, também do MIT. Peter Senge é engenheiro formado por Stanford, foi orientado por Forrester e introduziu a prática do pensamento sistêmico em grandes organizações. Seu trabalho vem se consolidando como uma metodologia de gestão de empresas, e baseia-se na Dinâmica de Sistemas, sendo conhecido como Organizações que Aprendem.

O presente trabalho justifica-se pela importância de suprir os decisores com um recurso competente capaz de lhes proporcionarem uma visão holística do processo de S&OP

para enfrentar a necessidade de planejamento e análise com que lidam nos ambientes organizacionais dinâmicos e complexos. Um recurso apropriado às suas necessidades e limitações que lhes favoreçam um potencial maior de obter decisões eficazes.

Deve ser um recurso adequado para a tomada de decisão, de rápido e fácil entendimento para todos os agentes envolvidos no processo de S&OP, e de modo a orientar atitudes convergentes para o futuro desejado. Adicionalmente, a pesquisa se justifica por não encontrar nenhuma literatura existente sobre o uso da Dinâmica de Sistemas para apoiar o processo de análise e decisão que envolve o S&OP.

A principal contribuição da pesquisa é explorar a visão holística do processo S&OP por meio de um modelo de Dinâmica de Sistemas que gere cenários de planos de produção agregado, planos de vendas agregado e planos de suprimentos, com análise econômica e financeira integradas ao processo e que apresente características de aleatoriedade em suas variáveis.

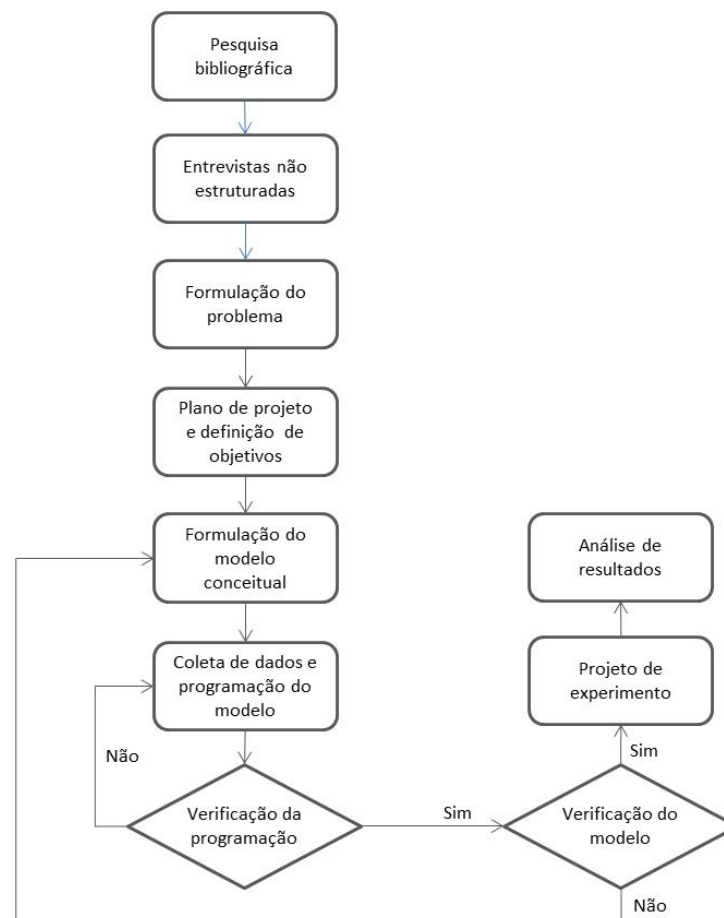
Considera-se como características importantes do modelo de simulação proposto:

- Visão sistêmica dos processos que representam as áreas funcionais do S&OP, representada no modelo com regras de negócios modeladas por elementos de estoque e fluxo e variáveis endógenas e exógenas com características determinísticas e probabilísticas.
- Geração de múltiplos cenários, podendo-se simular inúmeros cenários, além do tradicional cenário otimista, pessimista e provável, utilizado na prática empresarial;
- Análise estatística da simulação, pois o uso de variáveis probabilísticas permite o tratamento das incertezas no ambiente empresarial;
- Tempo de execução da simulação realizado em segundos para períodos maiores do que doze meses, o que permite fazer análises no momento da reunião do S&OP;
- Aprendizado organizacional, pois a metodologia de dinâmica de sistemas possui características de aprendizado com o seu uso;
- Possibilidade de adaptação e ampliação do modelo, na medida em que se aprende mais sobre o processo ou se cria novas regras de negócios;
- Documentar o conhecimento do processo de S&OP, além de possibilitar o armazenamento dos processos anteriores para analisar a sua evolução.

## 1.5 Método Científico

Segundo Lakatos e Marconi (2000), na ciência os métodos constituem os instrumentos básicos que ordenam de início o pensamento em sistemas, traçando de modo ordenado à forma de proceder do cientista ao longo de um percurso para alcançar um objetivo.

Para elucidar o método científico e o processo utilizado para atingir o objetivo desta tese, apresentado na figura 1.1, este capítulo apresenta a classificação da pesquisa de acordo com a abordagem de pesquisa e os métodos de procedimentos. Além de explicar quais os instrumentos de pesquisa empregados e como será realizada a análise dos dados.



**Figura 1.1 - Processo do método científico empregado.**

Para escolher o método científico a ser utilizado é necessário entender algumas características da pesquisa. O desenvolvimento da pesquisa iniciou com a observação do processo de planejamento de vendas e operações (S&OP) realizado nas empresas e nas

consultas aos artigos acadêmicos sobre este processo. Neste estudo inicial identificou-se a importância de trazer uma visão holística para o processo S&OP e verificou-se que a teoria da Dinâmica de Sistemas possui elementos que possibilitam a representação da visão holística de sistemas.

Segundo Lakatos e Marconi (2000), a abordagem de pesquisa é a conduta que orienta o processo de pesquisa, é uma forma de aproximação e de focalização do problema ou fenômeno que se pretende estudar. Para Creswell (2003) a abordagem de pesquisa pode ser: quantitativa, qualitativa ou a combinação das duas.

Para Bryan (1989), a pesquisa qualitativa tem como característica a proximidade do pesquisador ao fenômeno organizacional, a investigação utilizando a observação participante, entrevistas/conversação transcrita e documentos, e tende a utilizar múltiplas fontes de dados, enquanto na quantitativa o pesquisador estabelece os parâmetros do que é interessante e importante para ele ao invés do todo. Para Creswell (2003), a abordagem quantitativa envolve experimentos complexos com variáveis que podem incluir também a elaboração de modelos com equações que analisam as estruturas causais assim identificando a força coletiva de múltiplas variáveis.

Essa tese utiliza tanto a abordagem qualitativa quanto a quantitativa, assim consentindo quando Creswell (2003) diz que um pesquisador que utiliza as duas abordagens trabalha para fornecer a melhor compreensão de um problema de pesquisa.

A abordagem qualitativa é utilizada quando o desenvolvimento do modelo é realizado a partir da revisão bibliográfica conjuntamente com a análise por meio de observação do funcionamento do processo S&OP em empresas. A revisão bibliográfica se concentrou em pesquisa a artigos nas bases Science Direct, Periódicos Capes, Emerald Insight, Google Scholar, Scielo e Elsevier, utilizando combinações com as palavras chave em inglês e português: “system dynamics”, “production planning”, “S&OP”, “sales and operation planning”, “SD”, “capacity planning”, “demand planning” e “dynamics system”.

A abordagem qualitativa contribuiu para reunir as informações e definições de variáveis para o entendimento do processo de S&OP do ponto de vista acadêmico e das práticas empresariais. Com relação às práticas empresariais, ela foi realizada através de entrevistas não estruturadas e reuniões com diversos gestores responsáveis pelo processo S&OP em algumas empresas com características *MTS* e consultorias classificadas abaixo:

- Duas empresas multinacionais fabricantes de componentes e equipamentos da linha branca.
- Uma empresa de grande porte fabricante de refrigerantes

- Duas empresas de consultoria, sendo que uma é especializada em implantações de S&OP e outra especializada em estratégia empresarial.
- Duas empresas de médio porte fabricantes do setor agrícolas.
- Uma empresa multinacional produtora de material de escritório.

Na abordagem quantitativa foi construído um primeiro esboço do modelo de simulação de dinâmica de sistemas para o S&OP. Neste modelo foram incluídas as variáveis e regras de negócio identificadas na abordagem qualitativa, as quais são utilizadas nas equações matemáticas e regras de produção na dinâmica de sistemas. Esse modelo de dinâmica de sistema representa as interações das variáveis envolvidas no processo S&OP, que é responsável pela construção dos planos agregados.

Para construção do modelo foram consideradas as variáveis do processo S&OP que realizam as funções de: produção, suprimentos, previsão de vendas, capacidade, custeio, fluxo de caixa, faturamento e análise econômica, modelando em uma forma estruturada, no software Stella, que é uma ferramenta de simulação de dinâmica de sistemas.

De posse do primeiro modelo, novas reuniões foram realizadas nas empresas relacionadas anteriormente para apresentação e discussão sobre as variáveis e regras de negócios do modelo. Em função dessas reuniões o modelo foi incrementado até o momento onde as principais funções do processo S&OP estivessem representadas. Obteve-se um modelo referencial de simulação que representa o processo de S&OP de empresas com características *MTS*.

Após o modelo referencial estar construído, iniciou-se a etapa de avaliação do modelo que foi realizada nas duas empresas da linha branca por serem as que disponibilizaram horas de seus gestores para participar deste processo.

Para a etapa de avaliação do modelo foram realizadas reuniões com os gestores das duas empresas de grande porte para apresentação do modelo de simulação desenvolvido. Após as reuniões, foi encaminhado aos gestores um texto explicando as variáveis que compõem o modelo juntamente com uma planilha para coleta dos dados para as variáveis de entrada, apresentada no apêndice II. Estas empresas não puderam disponibilizar os seus dados por questão de confidencialidade. Por esse motivo foi construído uma base de dados hipotética para testes, considerando as características produtivas das empresas consultadas. De posse da base de teste, novas reuniões foram realizadas nas duas empresas para avaliação do modelo por meio das simulações. Assim, os gestores puderam analisar se o comportamento das variáveis de saídas ou indicadores de desempenho era semelhante ao processo real de



S&OP da empresa, quando determinadas variáveis de entrada eram alteradas no modelo simulação.

Ao observar as características da presente pesquisa e de acordo com alguns autores como Bryan (1989), Lakatos e Marconi (2000), Yin (2001) e Martins (2010) foram utilizados como métodos de procedimento a modelagem/simulação.

Para Berends e Romme (1999), simulação é definida como a construção de um modelo de processo e a experimentação com a replicação deste processo pela manipulação das variáveis e suas inter-relações dentro do modelo. Abordagem de geração de conhecimento racional com modelos objetivos que explicam o comportamento dos processos operacionais da vida real.

Segundo Kelton et al. (1998) um modelo é a representação da realidade expressa em termos de formalismo, com a finalidade de representar os fluxos de dados, equipamentos e outros componentes de um sistema para servir como base para montagem de um modelo de simulação.

Nesta pesquisa foi utilizado um modelo matemático que segundo Kelton et al (1998) é um conjunto de aproximações e hipóteses sobre a forma de como o sistema funciona ou como funcionará e as relações de um sistema são expressas em fórmulas matemáticas. O modelo matemático foi desenvolvido de maneira numérica para dar suporte ao comportamento do processo S&OP, sendo que os dados utilizados foram determinísticos e probabilísticos.

O modelo computacional construído nesta pesquisa baseou-se em um ambiente de Gestão Operacional. De acordo com Bertran e Frasoo (2002), Gestão Operacional é definida como o processo de projeto, planejamento e controle da execução das operações nas indústrias de manufatura e de serviços. Pode-se classificar a pesquisa baseada no modelo de Gestão de Operações em duas classes distintas.

Axiomática – dirigida pelo próprio modelo, ou seja, idealizada. Nesta classe, o interesse primário do pesquisador é obter soluções dentro do modelo definido e ter certeza que estas soluções fornecem percepções da estrutura do problema como definido dentro do modelo.

Empírica – dirigida por conclusões e medidas empíricas. Nesta classe, o interesse do pesquisador é assegurar que existe um modelo adequado entre observações e ações na realidade e o modelo feito desta realidade.

Como o modelo foi construído baseado na realidade, a pesquisa é classificada empírica. Esse tipo de pesquisa pode ser:

Descritiva – interessada em criar um modelo que descreva adequadamente as relações causais que podem existir na realidade, as quais conduzem ao entendimento dos processos. Este trabalho se concentra nesse tipo de pesquisa.

Normativa – interessada em desenvolver políticas, estratégias e ações para melhorar a situação atual.

Em resumo, essa pesquisa utiliza tanto a abordagem de pesquisa qualitativa quanto a quantitativa e utiliza como método de procedimento a modelagem/simulação, sendo classificada como empírica do tipo normativa.

## **1.6 Estrutura da Tese**

A tese está estruturada em seis capítulos. A seguir, é apresentada a descrição sucinta de cada capítulo:

Capítulo 1 – Introdução: o primeiro capítulo apresenta a contextualização do tema de pesquisa, o estado da arte e a lacuna a ser explorada, o problema e objetivo de pesquisa, a justificativa e relevância da pesquisa, bem como os procedimentos de pesquisa e a estrutura do trabalho;

Capítulo 2 – Planejamento de Vendas e Operações – S&OP: este capítulo apresenta a revisão conceitual do processo de S&OP para o entendimento das atividades realizadas nas áreas funcionais das empresas e seu impacto no nível tático de planejamento, bem como apontando carências e oportunidades de pesquisas no uso de ferramentas computacionais no S&OP.

Capítulo 3 – Dinâmica de Sistemas: este capítulo de revisão conceitual apresenta os tópicos relacionados à teoria utilizada para construção de modelos de simulação de Dinâmica de Sistemas.

Capítulo 4 – Proposta de Modelo de Dinâmica de Sistemas para a Simulação do Processo de S&OP: este capítulo apresenta a descrição detalhada do modelo de simulação proposto.

Capítulo 5 – Simulação do Modelo: este capítulo apresenta as simulações realizadas com o modelo de Dinâmica de Sistemas, considerando inicialmente a especificação da simulação e a análise e avaliação dos casos ilustrativos realizados com as empresas.

Capítulo 6 – Considerações Finais: o capítulo final apresenta as conclusões obtidas com o desenvolvimento da pesquisa e suas limitações. Uma lista de questões para serem pesquisadas também é proposta no final do capítulo.

## **2 PLANEJAMENTO DE VENDAS E OPERAÇÕES – S&OP**

Como resultado da revisão bibliográfica este presente capítulo apresenta a revisão conceitual dos principais conceitos envolvidos na aplicação do processo de S&OP, tais como objetivos do uso do S&OP, a descrição dos seus processos e suas características de implantação, e os trabalhos recentes sobre a aplicação de S&OP.

### **2.1 Visão Geral e Objetivos do S&OP**

Segundo Vollmann et al. (2008), o planejamento de vendas e operações (S&OP) relaciona objetivos estratégicos à produção e coordena os vários esforços de um planejamento em um negócio, incluindo planejamento de marketing, planejamento financeiro, planejamento de operações, planejamento de recursos humanos, entre outros. O planejamento de vendas e operações fornece os elos-chave de comunicação para a alta gerência coordenar várias atividades na empresa.

Segundo Corrêa et al. (2007), o processo de S&OP, de uma forma geral, pode ser definido como um processo de planejamento cíclico que busca, de forma consensual e em coerência com a estratégia da empresa, a tomada de decisões sobre capacidade, as quais focam o equilíbrio entre a demanda e a oferta de produtos dentro de um horizonte de tempo considerado. Isto é realizado por meio de reuniões periódicas multidisciplinares, o que facilita a integração entre as áreas funcionais da empresa na tomada de decisões.

O processo de S&OP também tem um papel muito importante no processo de gestão das organizações (CORRÊA et al., 2007). Uma parte desta função é estabelecer uma integração vertical entre os níveis hierárquicos do planejamento, operando como um “tradutor” da estratégia organizacional para a estratégia operacional, de mais fácil compreensão para os níveis de decisão mais próximos ao nível operacional. Outra parte se refere à integração horizontal, onde, dentro de um mesmo nível hierárquico, o processo trabalha para que os diversos departamentos trabalhem juntos e direcionem seus esforços para que a estratégia organizacional seja alcançada.

Vollmann et al. (2008) consideram que o retorno do S&OP é fornecer uma visibilidade das interações críticas entre as áreas de vendas, marketing, produção e finanças, equilibrando as demandas de cada área e possibilitando o monitoramento e controle dos planos. Uma melhor integração entre as áreas funcionais do negócio é um dos principais

retornos do S&OP. Uma vez desenvolvido um plano consistente de operações e vendas entre os altos níveis das áreas funcionais, isso pode ser traduzido em planos detalhados que estejam de acordo com as diretrizes de alto nível. Isso resulta num conjunto de objetivos comuns, melhoria de comunicação e sistemas transparentes.

O processo de S&OP possui objetivos específicos que se forem cumpridos indica que o processo está sendo realizado de forma eficaz (CORRÊA et al., 2007). Os objetivos a serem alcançados são descritos a seguir:

- Suportar o planejamento estratégico do negócio: nas reuniões periódicas, o processo de S&OP deve traduzir decisões estratégicas em decisões operacionais, garantindo que os planos operacionais estejam em sincronia com os planos do negócio. Geralmente, o planejamento estratégico é expresso em moeda, o que dificulta a sua tradução para as áreas funcionais. Então, o S&OP deve ser o elo entre o plano estratégico e os planos operacionais de cada departamento, garantindo que os planos operacionais estejam em sincronia com o plano estratégico da empresa;
- Garantir que os planos sejam realísticos: como os planos departamentais são dependentes uns dos outros, o processo de S&OP deve, através da participação de todas as áreas na tomada de decisão, garantir a viabilidade desses planos de forma que as decisões sejam tomadas considerando todos os critérios envolvidos e os impactos que podem ocorrer em cada área da empresa;
- Gerenciar as mudanças de forma eficaz: Em função de eventos não previstos, como alterações de volume de produção ou a introdução de novos produtos, as decisões devem ser tomadas dentro do processo de S&OP, analisando os impactos em todas as áreas para garantir que seus efeitos ocorram dentro do prazo esperado;
- Garantir um bom nível de serviço aos clientes: a gestão dos níveis de estoques de produtos acabados e da carteira de pedidos deve ser realizada buscando garantir um bom desempenho de entrega ao cliente com um nível de estoque adequado as metas de custo de estoque da empresa;
- Avaliar desempenho: Para que não ocorram desvios nos planos desenvolvidos nas reuniões de S&OP, é necessário a elaboração e acompanhamento de indicadores de desempenho que possam representar os planos de vendas e produção, níveis de estoques de produtos acabados, de material em processo e

de matéria prima, níveis de produtividade em setores críticos, pontualidade de entregas, entre outras;

- Desenvolver o trabalho em equipe: o processo de S&OP envolve o trabalho colaborativo dos representantes das diversas áreas da empresa em todas as suas fases para a tomada de decisão coletiva.

Segundo Correia et al. (2007), a cada ciclo de execução do S&OP, os resultados esperados são:

- Estabelecimento de metas mensais de faturamento;
- Projeções financeiras relativas a lucros, estoques e fluxo de caixa;
- Definição das quantidades mensais de produção para serem firmadas dentro do período de congelamento;
- Estabelecimento de planos de suprimentos
- Determinação de limites de tolerância para variações do plano mestre de produção.

## 2.2 O processo de S&OP

O processo de S&OP consiste de cinco etapas sucessivas (CORREIA et al. 2007), mostradas na figura 2.1. Estas etapas são as mesmas definidas por Wallace (2001) e Vollmann et al. (2008):

**Levantamento de Dados:** Definidas as famílias de produtos, é necessário criar procedimentos sistemáticos de levantamento e preparação de dados. Esses dados podem se encontrar espalhados por planilhas, em sistemas legados, sistemas ERPs, e, portanto, não estarem centralizados em uma base única. Os dados de estoque, vendas, compras, produção, custo, entre outros, se encontram desagregados e devem se agregados por famílias de produtos por algum critério. Os parâmetros de tempos e utilização de recursos precisam ser representados em famílias. Esses dados precisam ser revistos periodicamente, devido a alterações na composição das famílias e as variações de produção e vendas.

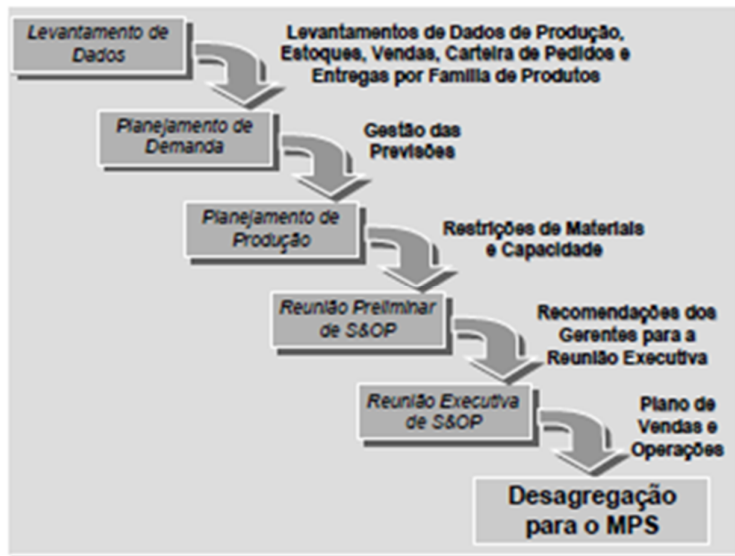


Figura 2.1 – Etapas do processo de S&OP. (CORRÊA et al., 2007)

**Planejamento de Demanda:** O planejamento da demanda é realizado pelas áreas de vendas e marketing, que busca elaborar um plano de vendas para cada família de produto mês a mês ao longo de um horizonte de planejamento. Esse plano é depois confrontado com as limitações de capacidade de produção, de modo que se verifique a viabilidade real de execução do plano. Através de dados históricos por família de produto é realizado uma previsão quantitativa, por meio da aplicação de modelos matemáticos, e qualitativa, por de julgamentos pessoais em função de fatores do mercado, resultando em um plano previsto de vendas;

**Planejamento da Produção:** o planejamento de capacidade e materiais, ou planejamento da produção, é de responsabilidade da área de manufatura, executado pelo planejamento e apoiado pela produção e suprimentos. O objetivo nesta fase é a elaboração de cenários alternativos de planos de produção, suprimentos e financeiros por meio da análise de suas restrições de capacidade e de materiais para cada família de produtos, que atendam o plano de vendas e gerem o nível de estoque desejado.

**Reunião Preliminar:** Nessa etapa são reunidos os representantes (gerência) das áreas envolvidas para resolver conflitos e chegar ao consenso sobre os planos gerados na etapa anterior. Da avaliação dos principais cenários desenvolvidos na etapa anterior, pode ser escolhido um ou mais planos de modo que serão expressos, pela área financeira, em unidades financeiras ou físicas de modo que possam ser comparados com o orçamento e com o plano estratégico do negócio.

**Reunião Executiva:** os diretores e gerentes sêniores são os participantes da última etapa do processo. Nesta reunião é realizada a análise dos vários cenários, e um cenário é escolhido em relação ao planejamento estratégico da organização e viabilizado financeiramente, sendo as decisões comunicadas aos níveis operacionais da organização.

Em relação ao tempo necessário para a execução do processo de S&OP na organização, não é possível que sejam executadas instantaneamente e simultaneamente, sendo necessário um período de tempo para a sua execução de acordo com as características da organização (CORRÊA et al., 2007). Além disso, o processo de S&OP, por ser cíclico, deve ser repetido dentro de um período pré-determinado (normalmente mensal) e possuir o mesmo horizonte de planejamento em cada ciclo de execução (normalmente de doze a dezoito meses), como mostrado na Figura 2.2.

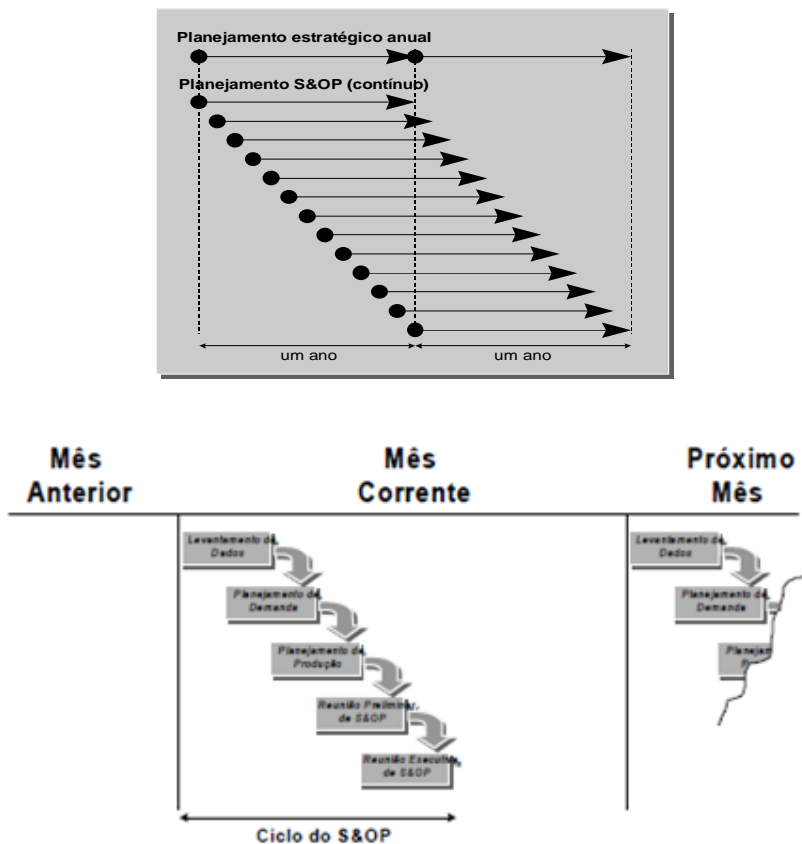


Figura 2.2 – Ciclos Periódicos e Horizonte de Planejamento. (CORRÊA et al., 2007)

Para o sucesso da execução do processo de S&OP, é necessária uma equipe multidisciplinar para desempenhar as atividades das áreas relacionadas à gestão da empresa. Vollmann et al. (2008) define seis perfis para o gerenciamento do processo:



- Executivo patrocinador: geralmente um executivo de mais alto nível que tenha autonomia para resolver os conflitos e liberação de recursos;
- Coordenador do processo de S&OP: um diretor que tenha liderança e conheça bem o processo;
- Time de planejamento de demanda: gerentes e vendedores da área de vendas e produto e coordenador do processo de S&OP;
- Time de planejamento de suprimentos: gerentes de fábrica, compras, PCP e distribuição e coordenador do processo de S&OP;
- Time de preparação do S&OP: grupo precisa ter bom relacionamento entre as áreas da empresa, composto por gerentes de venda, materiais, produto, produção, financeiro, pcp e coordenador do processo de S&OP;
- Time executivo de S&OP: deve incluir o presidente.

O suporte TI é necessário para assessorar a equipe de S&OP porque o processo é normalmente executado com o auxílio de planilhas eletrônicas. Esse papel pode ser preenchido por um desenvolvedor de planilhas da TI ou por alguém do grupo que tenha conhecimento do uso da planilha.

No final de cada ciclo de execução do S&OP, são esperados os seguintes resultados:

- Estabelecimento de metas mensais de faturamento;
- Projeções financeiras relativas a lucros, estoques e fluxo de caixa;
- Definição das quantidades mensais de produção para serem firmadas dentro do período de congelamento;
- Estabelecimento de planos de suprimentos
- Determinação de limites de tolerância para variações do plano mestre de produção.

Bremer et al. (2008) abordam o processo de S&OP como elemento integrador de uma cadeia de suprimentos, de modo que os planos gerados possam ser compartilhados entre os integrantes da cadeia. A utilização de ferramentas APS para a geração dos planos é considerada nesta abordagem. O horizonte de planejamento nesta abordagem, normalmente varia entre três meses e três anos, já o ciclo de execução do processo de S&OP é

habitualmente mensal com uma rígida agenda de atividades ao longo do mês. Durante seu ciclo de execução, o processo é constituído de cinco principais fases: prever vendas, planejar vendas, planejar operações, selecionar cenário e comunicar decisões:

- **Prever vendas:** realizado no início de todo ciclo de planejamento, essa fase utiliza softwares para estatisticamente prever a demanda futura. Com o fechamento dos números do mês anterior (volume de vendas e faturamento), esses são então atualizados aos dados históricos, fato que permite a utilização de modelos matemáticos para rever a tendência das demandas futuras. A seleção do modelo matemático mais adequado para cada unidade de previsão (produto, família de produto, cliente, mercado etc.) é suportada pela análise da acurácia das previsões anteriores assim como as suas possíveis causas-raízes de desvio. O principal resultado dessa fase é a previsão estatística da demanda futura que servirá de base para a equipe comercial planejar as vendas para os próximos períodos.
- **Planejar vendas:** Tomando como base as previsões realizadas na fase anterior, a equipe comercial da empresa é responsável por prever a demanda de produtos e serviços, ajustando a previsão obtida pelo modelo matemático de acordo com a experiência. Com informações advindas do mercado (ajustes de preços, ações de concorrentes etc.). Nessa fase, também é discutido o planejamento de ações e eventos de incentivos a demanda (promoções) assim como entrada e retirada de produtos e serviços da empresa. O resultado final dessa fase é um plano de vendas em consenso entre a equipe comercial, que ainda não foi avaliada por parte da cadeia de suprimentos.
- **Planejar operações:** o plano de vendas gerado é analisado nessa fase em termos de viabilidade operacional. Análises das capacidades restritivas de produção, suprimentos, armazenagem e entregas fazem com que eventuais desbalanceamentos entre demanda e operações sejam identificados. Devido aos eventuais desbalanceamentos, é necessário construir vários cenários considerando, por exemplo, caso a demanda prevista calculada supere ou não a capacidade produtiva atualmente. Os cenários de planejamento são posteriormente valorizados em termos de faturamento e resultado financeiro operacional, como, por exemplo, lucro líquido sobre faturamento, EVA (Economic Value Added), EBITDA (Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization), entre outros. Tais cenários, com suas visões

integradas de demanda, operações e resultados financeiros, constituem o principal resultado dessa fase do processo.

- **Selecionar cenário de planejamento:** em posse de possíveis cenários de atendimento da demanda, dois níveis de tomada de decisão são aplicados em sequência: primeiro, na reunião de pré-S&OP reúne os principais gerentes e pessoas responsáveis das áreas, como vendas, manufatura, suprimentos, logística e finanças, para analisar e avaliar os cenários construídos, de modo a escolher alguns deles. Segundo, na reunião executiva de S&OP, a diretoria e a alta gerência da empresa de posse de alguns cenários, discutem as restrições e alternativas de atendimento apresentadas com relação às atuais estratégias da empresa, escolhem um cenário e viabilizam a execução do cenário de planejamento escolhido. Assim, o cenário de planejamento integrado e as decisões tomadas na reunião executiva de S&OP constituem os principais resultados desta etapa.
- **Comunicar decisões:** As decisões tomadas na reunião de S&OP, como as alternativas de utilização das capacidades e de fornecimentos críticos, os volumes de vendas e produção, são comunicadas por meio da ata da reunião e do desdobramento das informações dentro de cada uma das áreas da empresa por seus respectivos gerentes. O principal resultado esperado desta etapa é o cumprimento do pessoal do nível operacional da empresa com relação às decisões e ações a serem tomadas na operação para os próximos meses, de acordo com o cenário de planejamento definido na etapa anterior.

### 2.3 Considerações sobre a Implantação e Operação do Processo de S&OP

A implantação do processo de S&OP para ser realizado com sucesso depende de dois pré-requisitos: o entendimento do processo por parte dos participantes e o comprometimento dos envolvidos (Corrêa et al, 2007). Esses pré-requisitos fundamentais estão relacionados ao fator humano, essenciais para a implantação e condução do processo.

Dificuldades na implantação do processo do S&OP são descritas na literatura. Para Matheus et al.(2005), elas estão relacionadas em sete dimensões que precisam ser mudadas para a realização de uma implantação com sucesso: processos, tecnologia, organização, pessoas, indicadores, estratégia, visão. Corrêa et al. (2007) e Wallace (2001)

citam a entrada de dados para o processo como um problema importante, devido ao uso de grande quantidade de dados e planilhas eletrônicas com erros, resultando em tempos longos de preparação.

Segundo Santos apud Pandim (2010), o processo de S&OP necessita de um conjunto de fatores para que possa ser executado com sucesso:

- **Comprometimento da Empresa:** muitas das decisões tomadas nas reuniões de S&OP normalmente são decisões de tempo de resposta média e alta e envolvem recursos financeiros necessários para que estas decisões sejam efetivadas. Se as pessoas responsáveis pela aprovação destes planos não estiverem presentes, decisões não podem ser tomadas. Outro fator importante é que muitas decisões acabam afetando, direta ou indiretamente outras áreas da empresa. Por isso a participação de todos é fundamental;
- **Planejamento das Reuniões:** Justamente pelo envolvimento de diversas áreas funcionais da empresa, as reuniões de S&OP podem perder o foco das discussões necessárias ao processo. Desta maneira, é muito importante o planejamento das reuniões com comunicação prévia a todos os envolvidos das pautas a serem discutidas;
- **Definição das Responsabilidades:** Além de deixar clara a responsabilidade dos participantes das áreas envolvidas, é aconselhável a definição de um mediador (sponsor) de reuniões e de um responsável pelo processo de S&OP como um todo. É de responsabilidade do mediador a manutenção da atenção de toda empresa ao processo, a remoção de possíveis restrições e a incorporação de recursos adicionais necessários. Devido a estas funções, é recomendado que este mediador pertença a um dos principais níveis hierárquicos da organização. Já o responsável pelo processo precisa gerenciar a execução de cada etapa do processo, o cumprimento dos prazos e a condução das reuniões de planejamento;
- **Horizonte de Planejamento:** É necessária a definição de um horizonte de planejamento para o processo como um todo, de modo que todas as áreas envolvidas tenham as suas necessidades de planejamento específicas atendidas. Principalmente dos períodos de congelamentos, onde não se pode alterar mais o que foi planejado, devido à principalmente compromissos externos;
- **Ferramentas de Apoio:** No caso do S&OP, existe demanda para a utilização de

ferramentas de apoio em diversas etapas: plano de vendas, de produção, de suprimentos, financeiros, bem como nas reuniões executivas. A utilização destas ferramentas pode melhorar os resultados do processo em todas as suas etapas;

- **Grau de Agregação:** A definição do grau de agregação das famílias de produtos é importante para que não se tenha que se trabalhar com muitas informações, no caso de um baixo grau de agregação, e também para que não se desenvolva um plano de produção com um grau de agregação muito alto. O processo de S&OP deve trabalhar com o mais alto grau de agregação possível, de modo que este também atenda às necessidades de planejamento do negócio;
- **Acompanhamento Financeiro:** Todas as alternativas de planejamento discutidas nas reuniões devem ter o seu impacto financeiro avaliado em tempo real, para que se possa viabilizar ou não as suas implementações. Isto confere uma maior flexibilidade e dinâmica ao processo, mas depende muito de ferramentas de apoio para disponibilizar as informações em tempo real;
- **Documentação do Processo:** É necessária a documentação dos resultados das reuniões, decisões que foram tomadas, responsabilidades, políticas de planejamento, prazos e objetivos. Desta forma, todos saem das reuniões com tarefas a cumprir;
- **Dinâmica das Reuniões:** É esperada a participação ativa de todos os envolvidos, principalmente com discussões sobre impactos que as decisões tenham nas diversas áreas funcionais envolvidas e sobre as alternativas de planejamento.
- **Monitoramento de Desempenho:** A definição e acompanhamento de KPI's (Key Process Indicators – Indicadores Chaves do Processo) para o processo de S&OP é importante tanto para o processo como um todo como para as atividades das áreas funcionais envolvidas;
- **Fluxo de Informações (Comunicação):** O acompanhamento e controle do fluxo de informações do processo são importantes para que as atividades do processo sejam cumpridas a tempo das reuniões e para que os resultados das mesmas sejam comunicados a todos os responsáveis e envolvidos nas decisões tomadas. A comunicação dos planos é essencial para que o mesmo seja compreendido por todos na empresa.

Corrêa et al. (2007) destacam algumas características que podem ser consideradas de essencial importância para o processo de S&OP:

- Desempenho passado: informações sobre o desempenho do ciclo de planejamento passado do processo de S&OP devem estar disponíveis e visíveis durante as reuniões, para que seja possível identificar as causas de desvios como, por exemplo, uma produção prevista diferente de uma produção realizada e acompanhamento da implementação de medidas corretivas;
- Estado Atual: pode ser uma informação básica, mas o levantamento das informações sobre o estado atual em relação à produção, vendas, estoques ou carteira de pedidos pode ser difícil para empresas pouco estruturadas ou sem sistemas de informação integrados;
- Parâmetros: deve-se dar atenção especial aos parâmetros básicos como informações sobre tempos de execução, roteiros de fabricação, estruturas de produtos e composição de famílias de produtos, pois são dados essenciais para definição de informações agregadas de produção como, por exemplo: preço médio de uma família de produtos, tempo médio de utilização de um recurso por unidade produzida de uma família de produtos ou o roteiro mais aproximado para uma família de produtos;
- Previsões: As previsões são essenciais para qualquer processo de planejamento e, embora as previsões do processo de S&OP sejam realizadas a médio e longo prazo e com informações agregadas, o que aumenta a confiabilidade no processo, poucos se sentem a vontade em se responsabilizar por uma previsão, já que os erros são inevitáveis. O que se deve ter em mente é que, e melhor se basear em previsões para tomar decisões do que tomá-las sem informação alguma;
- Restrições Externas: são informações referentes a restrições importantes relacionadas à obtenção de matéria prima, volume de terceirização de serviços, capacidade de distribuição de produtos, etc. O objetivo é antecipar problemas que podem aparecer com estes recursos quando pretendemos impor aumento de capacidade produtiva;
- Entendimento do processo: As pessoas precisam compreender todos os

benefícios do processo de S&OP, bem como o seu funcionamento;

- **Comprometimento dos Participantes:** Principalmente das pessoas necessárias à aprovação das decisões, de modo que as decisões necessárias possam efetivamente ser tomadas, tendo todos os recursos necessários para isso disponíveis no momento das reuniões.

Modelos de avaliação do processo de S&OP são descritos na literatura (GRIMSON; PIKE, 2007) (LAPIDE, 2005) (PANDIM, 2010), com o objetivo de diagnosticar o estado atual do processo, classificando-o dentro da escala do modelo e fornecendo meios para a melhora do processo.

Com o uso dos modelos de avaliação, o processo de S&OP pode ir se ajustando dentro das características de cada empresa e realizar ao final de cada ciclo, uma revisão do processo, estabelecendo o que poderia ser melhorado de acordo com o grau de maturidade que se encontra e propor ações, sempre buscando atingir um nível superior de maturidade, a cada ciclo do processo realizado.

## **2.4 Avanços no Processo de S&OP**

Com os avanços do processamento computacional e do estudo da prática e teoria do PCP, os modelos matemáticos tornaram-se uma alternativa para o uso de planilhas eletrônicas, que ainda são encontradas como uma ferramenta de auxílio ao processo de S&OP na maioria das empresas.

Vollmann (2008) descreve vários modelos matemáticos baseados em formulações de programação linear e programação inteira mista para o problema do planejamento agregado da produção, otimizando o plano de menor custo, considerando quando contratar e demitir, decidir quanto de estoque manter, quando usar horas extras e turnos parciais, entre outros, para atender a previsão de vendas para famílias de produtos. Apesar de esses métodos matemáticos serem conhecidos e estudados no meio acadêmico, são pouco empregados no meio empresarial. Geralmente, as empresas preferem o uso de métodos gráficos e tabulares.

Assim como Vollmann, Hann e Kuhn (2011), Genin et al. (2007), Chen-Ritzo (2010) descrevem técnicas de modelagem matemática baseadas em programação linear, programação linear mista, programação estocástica, entre outros, que são utilizadas para gerar

os planos de produção agregado e plano de vendas agregadas, considerando restrições de recursos e utilizando funções objetivo para minimizar os custos ou maximizar os lucros.

Com o objetivo de apoiar os processos de decisão estratégico, tático e operacional, sistemas avançados de planejamento (APS - Advanced Planning Systems) vêm sendo desenvolvidos e oferecidos às empresas como módulos integrados aos sistemas de gestão empresarial conhecido como ERP (SHAPIRO, 2010). Os sistemas APS são ferramentas computacionais que incorporam técnicas da pesquisa operacional que podem simular vários cenários das funções empresariais e que podem gerar planos segundo critérios otimizantes (STADTLER, 2005; IVERT; JONSSON, 2010; JONSSON et al, 2007). Sistemas APS também vêm sendo desenvolvidos por pesquisadores e centros de pesquisas, buscando apresentar novas propostas em termos de novos algoritmos e processos (VAN NIEUWENHUYSE et al., 2011).

Apesar das funcionalidades inseridas nos APS que visam atender as necessidades das cadeias de suprimentos, a maioria das suas implementações se restringe a uma única organização ou em um único chão de fábrica, visto que são grandes as dificuldades técnicas e organizacionais em gerar planos para todos os parceiros da cadeia (HVOLBY; STEGER, 2010; IVERT; JONSSON, 2011; RUDBERG; CEDERBORG, 2011).

Alguns autores afirmam que o futuro do S&OP (LANDEGHEM; VANMAELE, 2002; SCHLEGEL; MURRAY, 2010) será baseado no planejamento probabilístico, para modelar alta variabilidade que o mercado apresenta, usando modelos de simulação que utilizam o projeto de experimentos para fornecer valores mais apropriados para as variáveis de decisão do processo e possibilitar o gerenciamento dos riscos.

Thomé et al (2012) apresentou uma extensa revisão da literatura de S&OP com o estudo e classificação de 271 artigos. Nesse trabalho foi realizada uma revisão sistemática sobre o processo de S&OP a fim de identificar e analisar o S&OP como um processo de negócio e apresentar evidências do seu impacto sobre o desempenho da empresa. O principal resultado apresentado na maioria dos artigos revistos apontou que existe uma variedade de trabalhos que estudam a integração funcional de planos de S&OP, embora poucos estudos relatassem sobre a integração de planos financeiros em S&OP. Apesar da existência de descrição de processos comuns e definições de S&OP, há falta de uma arquitetura que possa conter modelos de maturidade, sistema de medição de S&OP e os processos que se relacionam com o desempenho da empresa. A necessidade de integrar ainda mais a função financeira e seus proprietários no processo de S&OP foi destacada por vários autores e carece de mais pesquisas.



### 3 DINÂMICA DE SISTEMAS

Como resultado da revisão bibliográfica este presente capítulo está estruturado da seguinte forma: histórico e características do pensamento sistêmico; histórico, metodologia, conceitos básicos e ferramentas da dinâmica de sistemas.

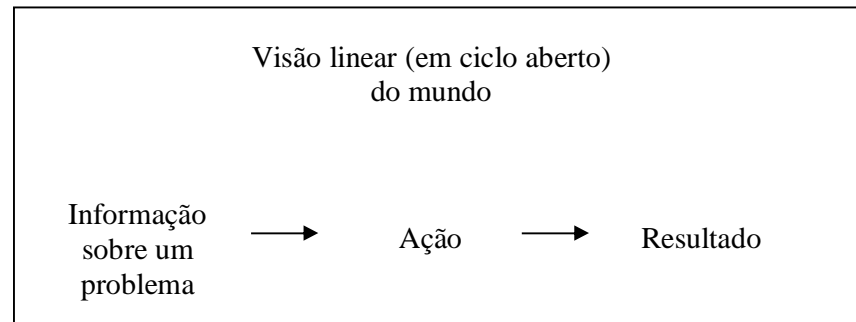
#### 3.1 Pensamento Sistêmico

Segundo Andrade et al (2006) um paradigma, chamado mecanicista ou linear, foi estipulado a partir das visões filosóficas de Rene Descartes e Francis Bacon, e da transformação dessas em “ciência *hard*” por Newton. Acreditava-se que o mundo era uma grande máquina e que através de um método sistemático, poderia “desmontar a máquina” para conhecê-la. A noção do mundo nesse contexto implicava em um tipo de investigação que envolvia a descrição matemática da natureza e o método analítico de raciocínio. Apesar do grande sucesso adquirido por essa forma de investigação, que penetrou as ciências naturais, as ciências sociais e a própria cultura, esse paradigma começa a apresentar seus primeiros sinais de deficiência com as descobertas nos campos da eletrodinâmica e principalmente com os avanços da física moderna.

O problema do pensamento mecanicista é a sua restrição em relação a alguns parâmetros, como: razoável grau de estruturação dos problemas, razoável estabilidade do ambiente, baixo grau de complexidade dinâmica e baixo grau de influência das percepções de diferentes atores a partir de distintos interesses (ANDRADE et al, 2006).

Segundo Forrester (1961), a maioria das pessoas pensa de forma linear como ilustrado na figura 3.1, e não considera a realimentação do resultado obtido após a ação tomada, pois se concentram em relações lineares de causa e efeito. Assim, do ponto de vista do pensamento mecanicista, quando uma pessoa tem um problema, ela decide uma ação que deseja tomar e aguarda que a ação obtenha o resultado esperado sem a possibilidade de corrigir a ação caso o resultado desvie do esperado.

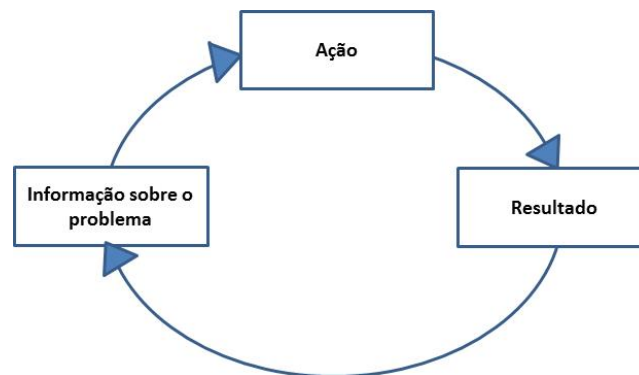
A dificuldade básica do pensamento mecanicista vem do uso do método analítico que pressupõem que para conhecer basta desmontar. No entanto, a maioria dos problemas que enfrentamos no mundo, nas cidades, comunidades e organizações está intimamente interconectada, não há como resolvê-las de forma fragmentada.



**Figura 3.1 – Visão linear de um problema**

**Fonte:** Adaptado de Forrester (1961).

No entanto, o que se encontra na maior parte dos problemas do mundo real se comporta de uma maneira mais complexa. O resultado produzido criará novos problemas e ações, se formando assim um ciclo fechado onde não existe início nem fim. Esta forma de pensamento fica mais clara conforme mostrado na figura 3.2:



**Figura 3.2 – Estrutura de loop fechado**

Surge a necessidade de buscar uma forma alternativa de abordar os problemas, de maneira que se procure visualizar o sistema como um todo, visualizar os relacionamentos, que não seja reducionista, que veja o contexto, e que reconheça a história, ultrapassando a percepção oriunda da forma cartesiana de pensar. Nesse sentido, segundo Al-Qirem (2012), o pensamento mecanicista encontra seus limites no início do século XX, e uma nova forma de pensar se fez necessária, que não fosse somente linear, o qual as pessoas estão acostumadas, e que apresentasse características especiais para entender os fenômenos complexos, surge então, o paradigma do pensamento sistêmico.

De acordo com Senge (2008), o pensamento sistêmico é um conjunto de princípios, disseminados no século 20, que tem como referência a verificação do todo e não

apenas de uma parte individual padrão. Sendo que, ter uma visão sistêmica, auxilia a verificar os padrões de maneira mais profunda, subjacente aos eventos e aos detalhes.

Segundo Andrade et al (2006) o pensamento sistêmico tem a função de promover resultados sustentáveis no processo de gestão de mudança. Sendo que o processo de mudança é composto pelas seguintes fases: compreender a realidade atual, visualizar o futuro, construir uma estratégia robusta, promover mudança, repensar a organização e sustentar a mudança e aprender continuamente.

### **3.2 Histórico da Dinâmica de Sistemas**

De acordo com Umpleby e Dent (1999), que apresentam um resumo histórico sobre a origem e o propósito das várias tradições em teoria de sistemas e cibernética, foi no Instituto de Tecnologia do Massachusetts (MIT) que se deu origem a Dinâmica de Sistemas, como consequência do trabalho do engenheiro Jay Forrester para desenvolver computadores e linguagens relacionadas à informática e simulação matemática. Nesse trabalho, Forrester focalizou em como as perturbações aleatórias são capazes de ativar ciclos de realimentação, provocando oscilações no sistema e desencadeando outras reações complexas. As situações modeladas incluíram ciclos de comércio, dinâmica urbana, e previsões de esgotamento dos recursos ambientais mundiais.

De acordo com Santa Eulalia (2009), em 1956, Forrester assumiu a função de Professor de Administração no Instituto de Tecnologia do Massachusetts (MIT) criando então o System Dynamics Group, dando início às pesquisas da Dinâmica de Sistemas no campo das ciências administrativas, assim auxiliando a administração de sistemas industriais complexos.

Segundo Forrester (1989), vários eventos o conduziram à Dinâmica de Sistemas. Durante a II Guerra Mundial, ele trabalhava em um laboratório do MIT onde eram realizados trabalhos para as forças armadas americanas. Este trabalho era comandado por Gordon Brown, um dos pioneiros da tecnologia de sistemas de controle de realimentação. Após a guerra e influenciado por Gordon, Forrester vai trabalhar em um projeto de construção de um simulador de aviões e em 1956, decidido a migrar da engenharia para a administração, Forrester vai para a Sloan School of Management, escola de administração vinculada ao MIT. Nesta época, Forrester entra em contato com profissionais da empresa General Eletrics que estavam enfrentando um problema de oscilação na demanda, cujas causas não conseguiam entender completamente. Fazendo uso apenas de lápis e papel, Forrester simula o problema,

mostrando como as variáveis de estoques, empregados e pedidos, e as políticas de decisão se inter-relacionavam. Surgia assim, a partir desta simulação de estoques, a Dinâmica de Sistemas.

Na sequência, conforme Andrade (1997), na busca de utilizar o computador para facilitar o trabalho de modelagem, Forrester contata Richard Bennett, especialista em computação, e solicita seu auxílio para a modelagem computacional. Bennett desenvolveu um compilador que criaria automaticamente o código necessário de uma forma genérica, gerando o embrião do software para modelagem de dinâmica de sistemas conhecido como DYNAMO (*DYNAmics MOdels*).

Segundo Andrade (2006), os fundamentos básicos e o detalhamento do primeiro modelo foram publicados no livro *Industrial Dynamics*, em 1961. Nesse trabalho, de acordo com Forrester (1961), a dinâmica industrial foi definida como sendo o estudo de *feedbacks* das informações da atividade industrial para mostrar que a influência entre a estrutura organizacional, amplificações políticas e atrasos no tempo entre decisões e ações influenciam no sucesso da empresa.

Segundo Umpleby e Dent (1999) outro grupo do Instituto de Tecnologia de Massachusetts associou-se com a Universidade Harvard em trabalhos de consultoria junto a empresas e órgãos do governo. Esse grupo trabalhou na aplicação do pensamento sistêmico e as práticas desenvolvidas por eles chamou-se Aprendizagem Organizacional. Os estudos concentraram-se na interação entre conjuntos de valores da sociedade e teorias comumente usadas por pessoas para explicar o cotidiano. Chris Argyris e Donald Schon foram os principais líderes desse grupo.

Participando destes empreendimentos, Peter M. Senge, que foi aluno tanto de Argyris como de Forrester, trabalhou durante a década de 70 na realização de seminários com executivos, introduzindo as práticas de dinâmica de sistemas nos processos gerenciais. (ANDRADE, 1997).

De acordo com Radzicki e Taylor (1997), o esforço de transformação é incentivado pela introdução da dinâmica de sistemas no ensino na década de 80, sendo disseminada entre professores, onde diversos assuntos como economia e física são ensinados por meio de dinâmica de sistema, além de servir como ferramenta de aprendizagem organizacional.

Apostando na possibilidade de alavancar o auto aprimoramento contínuo dos indivíduos dentro das organizações, Senge lança em 1990 o livro "The Fifth Discipline" (A Quinta Disciplina) que popularizou o pensamento sistêmico no mundo inteiro. Nesta mesma

década, o modelo passou a ser aplicado na modelagem de sistemas complexos num vasto leque de campos de estudo incluindo, por exemplo, sistemas urbanos, econômicos e ecológicos (ANDRADE, 1997).

O surgimento de outros softwares, tais como Stella, Powersim, Vensim, Goldsim, difundiu ainda mais os conceitos e pesquisas relacionados à Dinâmica de Sistemas. (SANTA EULALIA, 2009).

### 3.3 Modelagem e Simulação de Dinâmica de Sistemas

Esta pesquisa trabalha com dinâmica de sistemas utilizando a ferramenta simulação, por esse motivo o próximo item aborda de forma mais ampla alguns conceitos que são necessários para o entendimento desse tema.

#### 3.3.1 Sistemas

Forrester (1961) define sistema como um agrupamento de partes que operam em conjunto, visando a um objetivo em comum. Como exemplo o autor cita desde um automóvel que é um sistema de componentes que trabalham em conjunto para prover transporte até a gerência de uma empresa que é um sistema de pessoas para alocar recursos e regular a atividade de um negócio.

Segundo Forrester (1961), os sistemas dinâmicos podem ser classificados em: naturais ou artificiais, abertos ou fechados, discretos ou contínuos. Segundo as seguintes definições:

- **naturais:** não têm finalidade por si mesma, e suas características são aceitas como consequência da providência divina, estando além da compreensão e controle humanos.
- **artificiais:** são provenientes das sociedades industriais e começam a dominar a vida humana na medida em que se manifestam através de ciclos econômicos, problemas políticos, pânico financeiros recorrentes, emprego flutuante e preços instáveis, lucro ou servir aos clientes.
- **abertos:** a cada entrada corresponde uma saída, sendo que as saídas são isoladas das entradas e não as influenciam.
- **realimentados ou fechados:** acontecem quando entradas e saídas influenciam-se mutuamente. As saídas são afetadas de forma importante pelo seu

desempenho passado. Têm uma estrutura fechada em laço (“*loop*”), o qual traz resultados de uma ação passada do sistema de volta para controlar uma ação futura.

- **discretos:** o estado do sistema sofre alterações somente em tempos pré-determinados. No intervalo de tempo entre dois tempos subsequentes o estado permanece imutável. O estado do sistema discreto é determinado conforme a equação de evolução, a seguir:
  - $Y_{n+1} = F(Y_n)$  Onde  $Y_{n+1}$  é o estado do sistema no instante  $n+1$ , e  $F(Y_n)$  é uma função de perturbação do sistema.
- **contínuos:** o estado do sistema sofre alterações continuamente durante todo o intervalo de tempo especificado. O estado do sistema contínuo é determinado pelas equações diferenciais de evolução.

Para Senge (2008), as empresas são sistemas, os quais estão conectados por ações inter-relacionadas, que durante anos as pessoas envolvidas nesse sistema não conseguem verificar os efeitos de uma ação sobre outra.

Segundo Al-Qirem (2012), o pensamento sistêmico permite entender as relações complexas, que influenciam o comportamento de um sistema. Segundo Senge (2008) existem dois tipos de complexidade: de detalhes e dinâmica. A dinâmica aparece quando uma ação provoca um conjunto de consequências em outra parte do sistema. Infelizmente, a maioria das “análises de sistemas” focaliza a complexidade de detalhes, e não a complexidade dinâmica.

### 3.3.2 Modelos

Modelo é uma representação externa e explícita de elementos da realidade vista por todos que desejam usar aquele modelo para entender, mudar, gerenciar e controlar parte daquela realidade (PIDD, 1996).

Qualquer tentativa de concepção de um sistema começa pela predição de seu comportamento. Tal predição é baseada na descrição matemática das características dinâmicas do sistema. Esta descrição é chamada modelo matemático do sistema, onde geralmente os modelos matemáticos usuais de sistemas contínuos no tempo são descritos por equações diferenciais (OGATA, 1998).

De acordo com Andrade et al (2006), os modelos são instrumentos de apoio para que os gestores aprendam as implicações da maneira como enxergam a realidade da organização.

Para Sterman (2000), os passos para o processo de modelagem de um sistema dinâmico são:

1. Articulação do problema. Definição clara de qual é o problema e por que é um problema. Quais as variáveis e horizonte de tempo? Qual é o comportamento histórico, qual deverá ser o comportamento no futuro?
2. Formulação da hipótese dinâmica. a) Geração da hipótese inicial – qual é o comportamento do problema no sistema. b) Foco endógeno - formulação da hipótese dinâmica que explica a dinâmica interna de comportamento da estrutura. c) Mapeamento - desenvolvimento de mapas baseados na hipótese inicial, variáveis chaves, e modos de referência e algum outro dado disponível usando ferramenta adequada.
3. Formulação do modelo de simulação: a) especificação da estrutura e regras de decisão. b) estimar os parâmetros, relacionamentos e condições iniciais. c) testar a consistência com o propósito e abrangência.
4. Teste do modelo: a) comparação com modelos de referência, b) testar a robustez sob condições extremas.
5. Formulação e avaliação de políticas e estruturas alternativas: a) especificar os cenários, b) projetos das novas regras de decisão, estratégias e estruturas, c) análise dos efeitos das políticas, d) análise da sensibilidade em cenários diferentes, e) interação das regras propostas no sistema.

De acordo com Andrade et al (2006), no foco da abordagem sistêmica, o modelo é desenvolvido sob a perspectiva de ambientes, onde as pessoas aprendem continuamente a partir do que realizam e do que pensam acerca do ambiente que estão inseridas, assim, melhorando o desempenho da organização.

Segundo Maani e Cavana (2000), em dinâmica de sistemas existem duas formas de modelagem, não excludentes, para caracterizar um sistema que são as abordagens, *soft* e *hard*. Os conceitos *soft* e *hard*, são também relacionados, respectivamente, aos problemas de abordagem: qualitativa e quantitativa. Sendo que, o formato qualitativo é beneficiado pela utilização de diagramas causais, enquanto no quantitativo é utilizado o diagrama de estoque e fluxo, que é adequado ao uso de simulação.

Os modelos podem ser classificados em: mentais e formais. O modelo mental é um conjunto de suposição na mente de uma única pessoa, podendo ser visto como sendo o primeiro passo para uma aprendizagem significativa, enquanto o formal é escrito em palavras ou equações matemáticas ou linguagem computacional (FORD, 1999).

De acordo com Sterman (2000), muitas vezes, para que um modelo seja real e tenha utilidade, faz-se necessário uma complexidade e muitas relações não lineares, onde a utilização de soluções analíticas não é possível. Com nossa capacidade cognitiva também não conseguimos lidar com tanta complexidade. Então, as simulações são utilizadas para melhor testarmos esses modelos.

Os modelos de simulação para análise através da dinâmica de sistemas apresentam uma variedade imensa de comportamentos dinâmicos. Segundo Sterman (2000), esse comportamento pode ser expresso pela combinação de alguns modos fundamentais:

- **crescimento exponencial:** é gerado por uma estrutura de laço de realimentação positiva, onde a variável em questão cresce a uma taxa percentual fixa;
- **busca do objetivo** (“goal seeking”): é gerada por uma estrutura de laço de realimentação negativa, onde a variável é corrigida até que alcance um objetivo pré-determinado;
- **oscilação:** é gerada por uma estrutura de laço de realimentação negativa com atrasos (“delays”), onde a variável é corrigida com atrasos até que alcance um objetivo pré-determinado; assim o sistema procurará se ajustar ao objetivo pré-estabelecido ao longo do tempo, mas como há o atraso nunca chegará ao equilíbrio.

### 3.3.3 Simulação

Segundo Bazzo (2002) a simulação é uma técnica utilizada para estudar o comportamento e reações de um determinado sistema por meio de modelos, que imitam na totalidade ou em parte as propriedades e comportamentos deste sistema em uma escala menor, permitindo assim sua manipulação e estudo detalhado.

Segundo Dangerfield et al. (2010) simulação computacional é utilizada para rodar os modelos matemáticos baseados nas relações entre as variáveis do sistema e para esclarecer quais as principais técnicas utilizadas para modelagem e simulação. Santa-Eulalia et al (2009) exploraram várias pesquisas e desenvolveram um trabalho onde dividiram a revisão em três classificações:



- Simulação: são técnicas de modelagem descritiva, onde o principal objetivo é criar um modelo que descreve o sistema para entendê-lo e/ou compará-lo com o desempenho de outros sistemas. São elas: Dinâmica de Sistemas, Método de Monte Carlo, Simulação de Evento Discreto, Combinação de Eventos Discretos e Contínuos e Jogos de Cadeia de Suprimentos.
- Otimização: são modelos desenvolvidos que sugerem como o sistema deve ou deveria ser, com a intenção de descobrir o comportamento ideal, ou seja, ótimo do sistema modelo. São elas: Sistemas de Estoques em *Multi-Echelon* (baseado em dinâmica de sistemas e análise multicritéria), Otimização Clássica, Análise Baseada em Estatística (Combinação de Otimização com Monte Carlo, *Business Games*, Baseada em Programação Estocástica e Técnicas baseadas em Lógica Fuzzy) e Otimização Não-Paramétrica.
- Inteligência Artificial: são modelos, utilizados para descrever e/ou otimizar o sistema, que tentam imitar os sistemas, incluindo o comportamento humano para a gestão da cadeia de suprimentos.

Além das técnicas citadas acima, Santa-Eulalia et al (2009) ressaltam uma técnica de abordagem híbrida com características da simulação e da otimização, além de outras pouco utilizadas até o momento: teoria tradicional de filas, simulação mental, simulação em planilhas e raciocínio baseado em casos.

### 3.4 Elementos da Dinâmica de Sistemas

A dinâmica de sistemas é uma técnica baseada na modelagem matemática e no pensamento sistêmico, que tem como objetivo analisar as respostas de um sistema dinâmico para compreender e interpretar sua natureza e melhorar seu desempenho (SASAKI, 2008).

De acordo com Andrade et al (2006), a dinâmica de sistemas integra três campos de conhecimento: engenharia de controle e os conceitos de realimentação; a cibernética e o papel da informação em sistemas de controle; e a teoria da decisão em organizações humanas.

Para Andrade et al (2006), a dinâmica de sistemas contempla a suposição de que o comportamento dinâmico em sistemas complexos decorre de estruturas causais constituídas de múltiplos laços de realimentação negativos e positivos, que se constituem por

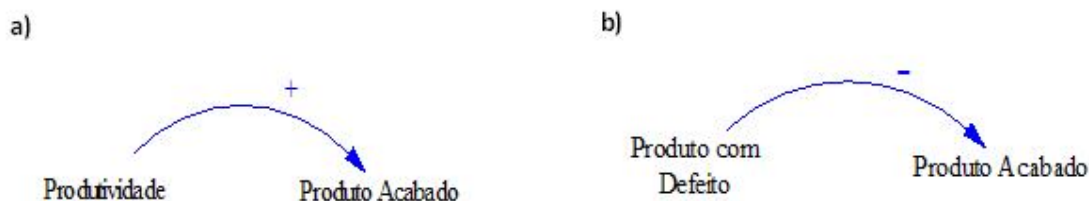
meio de fluxos de recursos e informações, formando um padrão fechado de interações circulares endógenas ao sistema. Tais variáveis influenciam o sistema, mas não são influenciadas por ele.

Segundo Dangerfield et al. (2010) *system dynamics* (dinâmica de sistemas) foi desenvolvido por Forrester para refletir a visão de que a dinâmica de sistemas industriais é consequência da estrutura de fluxo, atrasos, informações e *feedback*.

### 3.4.1 Feedbacks

Segundo Forrester (1990) todo sistema possui *feedbacks*, que são as relações que acontecem entre as partes dos sistemas, sendo estes um conceito importante para dinâmica de sistema. Prasertrunguang (2008) reforça a sua importância quando cita que as estruturas de *feedbacks* são essenciais pelo suporte à construção do modelo quantitativo e também por descrever e facilitar a compreensão da dinâmica do sistema. Para Sterman (2000) quando uma informação chega ao sistema provoca uma decisão que tem como objetivo provocar uma mudança no sistema, cada nova informação pode gerar uma ou mais mudanças no sistema, gerando uma sequência circular de causa e efeitos denominados malha de realimentação. Para Love (2010) existem dois tipos de loops de *feedback*: negativo e positivo. O *feedback* negativo está em equilíbrio ou em busca da estabilidade e percebe as discrepâncias entre os estados desejado e real e toma medidas para manter o mundo real próximo ao desejado. Já o *feedback* positivo gera uma amplificação do que está acontecendo no sistema.

As figuras 3.2 (a) e 3.2 (b) mostram exemplos de *feedback* positivo e *feedback* negativo, respectivamente. Onde na figura: 3.2 (a) se a produtividade aumenta (diminui) a quantidade de produto acabado aumenta (diminui) e 3.2 (b) se a quantidade de produtos fabricados com defeito aumenta a quantidade de produto acabado diminui e vice-versa.



**Figura 3.3** – Exemplos de Feedbacks: Positivo e Negativo

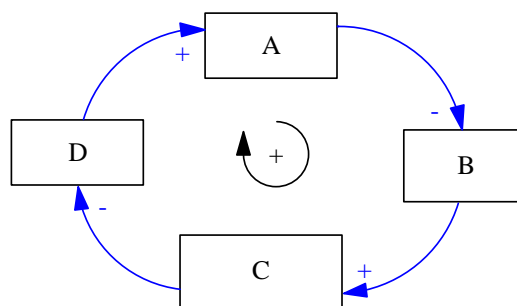
### 3.4.2 Diagramas Causais

Para Sterman (2000), os diagramas causais representam a interdependência dos processos, identificam a hipótese sobre a causa da dinâmica, representam os modelos mentais de indivíduos ou de equipes e comunicam importantes realimentações que podem ser responsáveis pelo problema em estudo. Eles consistem de variáveis conectadas por setas indicando a influência de uma variável sobre a outra.

Para Sterman (2000), os diagramas de *loops* causais são uma ferramenta importante para representar a estrutura de *feedback* dos sistemas. Sendo estes usados para:

- Capturar as hipóteses sobre as causas da dinâmica do sistema.
- Extrair o modelo mental de indivíduos ou grupos.
- Comunicar os possíveis feedbacks que são responsáveis pelo problema.

Radzicki e Taylor (1997) descrevem o diagrama de ciclos causais como sendo um mapa que descreve a relação de causa e efeito entre as variáveis individuais de um sistema que, quando ligadas, formam sistemas fechados, onde os *outputs* do sistema influenciam nos seus *inputs*. A figura 3.3 mostra o desenho de um diagrama geral de ciclo causal desenvolvido pelos autores.






**Figura 3.4 – Diagrama Geral de Ciclo Causal**

**Fonte:** Radzicki e Taylor (1997)

Os elementos da figura 3.4 são definidos a seguir no intuito de auxiliar no entendimento dos elementos que compõem um diagrama de ciclos causais.

- Variáveis (A, B, C e D): são as entidades do sistema.
- Setas (arcos): apontam para cada variável indicando os lugares nos quais uma

relação de causa e efeito existe, onde o início da seta é a causa e o final o efeito.

- Polaridades das setas (+ e -): descrevem o que aconteceria se uma mudança ocorresse. O sinal + indica que causa e efeito possuem uma relação diretamente proporcional, ou seja, quando o efeito aumenta (reduz) a causa aumenta (reduz), variando no mesmo sentido. Já quando o sinal é -, indica que o efeito varia em sentido oposto da causa, enquanto o efeito tem a tendência de reduzir (aumentar) a causa tem a tendência de aumentar (reduzir).
- Delays ( // ): também conhecido como atrasos e defasagens, indica que o efeito da variação somente é percebido certo tempo depois da causa. Existem dois tipos de delays: físicos (envolvidos no processamento de materiais físicos) e de informação (envolvidos na percepção e tomada de ação diante de uma informação).
- Ciclos de Feedbacks  : conjunto circular de causas onde uma perturbação em um variável causa uma variação nela própria como resposta;
- Ciclos de Feedbacks Positivos  : também conhecido como feedback de reforço, ele acontece quando as perturbações na variável forem ao mesmo sentido, sendo que estas tem a tendência de serem amplificadas.
- Ciclos de Feedbacks Negativo  : também conhecido como feedback de balanço, ele acontece quando as perturbações na variável forem a sentido contrário, sendo que estas tendem a entrar em equilíbrio.

O uso efetivo, prático e funcional das análises causais pressupõe o uso de modelagem computacional e simulação (FORRESTER, 1961). Isso permitirá a avaliação dos efeitos, muitas vezes complexo, das alterações nas variáveis externas e internas que afetam a situação estratégica de uma empresa. Esses efeitos aparecerão na forma de oscilações, amplificação e atrasos nas variáveis endógenas e exógenas do sistema modelado.

Porém, os diagramas causais não são apropriados para modelar o sistema com o objetivo de estudar o seu comportamento ao longo do tempo. Assim, é necessário o uso dos diagramas de fluxos, que são apropriados para modelar e simular um modelo baseado na dinâmica de sistema.

### 3.4.3 Diagramas de Estoque e Fluxos

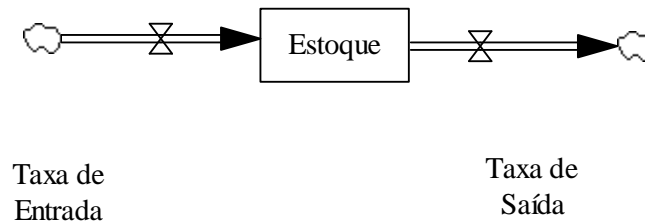
Segundo Andrade et al (2006), o objetivo principal dos modelos utilizados em dinâmica de sistemas é ajudar o processo mental dos tomadores de decisão a lidar com o comportamento de sistemas complexos ao longo do tempo, representando os modelos mentais em formulações explícitas na forma de diagramas de fluxo e equações matemáticas de simulação. A representação gráfica dos modelos é feita com os diagramas de estoques e fluxos, que inter-relacionam as decisões e os estados dos sistemas por meio dos enlaces de realimentação negativos e positivos.

Segundo Radzicki e Taylor (1997) a dinâmica de sistema acredita que todo comportamento dinâmico de um sistema está baseado no Princípio de Acumulação. Este princípio afirma que todo comportamento dinâmico no mundo ocorre quando fluxos se acumulam em estoque. Ou seja, o comportamento dinâmico surge quando algo flui por algum meio, se acumulando (ou esgotando) de alguma forma. Na modelagem com diagramas de estoques e fluxo, variáveis físicas ou não podem fluir pelos fluxos se acumulando nos estoques.

Com o objetivo de capturar o comportamento dinâmico do sistema devem-se descobrir quais variáveis determinam o estado, a situação do sistema (seus estoques), e quais são as variáveis, os elementos que estabelecem as mudanças (seus fluxos). A habilidade de distinguir estoques de fluxo é essencial para o desenvolvimento do modelo, sendo esta tarefa não muito simples, Radzicki e Taylor (1997) sugerem as seguintes instruções para auxiliar a identificação:

- Estoques geralmente representam substantivos enquanto os fluxos os verbos.
- Estoques não desaparecem se o tempo é parado enquanto os fluxos desaparecem.
- Estoques enviam informações sobre o estado do sistema para o resto do sistema.

Para Sterman (2000) estoques são as quantidades de materiais ou outras acumulações, sendo que eles representam o estado do sistema. Enquanto os fluxos são as taxas em que o estado do sistema muda. A estrutura de um diagrama de estoque e fluxo é mostrada na figura 3.5.



**Figura 3.5 – Diagrama de Estoque e Fluxo**

**Fonte:** Adaptado de Sterman (2000)

Os elementos da figura 3.5 são definidos no intuito de auxiliar no entendimento dos elementos gerais que compõem a estrutura do diagrama de estoque e fluxo: os estoques são representados por retângulos, os fluxos são representados pelas setas, as válvulas representam o controle de fluxo e as nuvens representam alguma fonte de recurso fora dos limites do modelo.

### 3.5 Uso da Dinâmica de Sistemas no Planejamento da Produção

Inicialmente realizou-se uma extensa pesquisa da literatura existente sobre aplicação da dinâmica de sistemas no processo de planejamento e vendas de operações S&OP. No entanto, como não foram encontrados artigos com esse tema, foi estendida a pesquisa bibliográfica para novos artigos que abordassem a dinâmica de sistemas no processo de planejamento da produção. Nessa nova pesquisa, foram selecionados artigos que apresentavam o uso de DS no planejamento da produção e foram desconsiderados artigos que abordavam o efeito chicote da cadeia de suprimento, pois o foco era estudar a integração de processos na logística interna das empresas. Portanto, foram selecionados artigos para analisar os modelos de dinâmica de sistemas que representassem os processos de planejamento da produção bem como a integração entre eles.

Na tabela 3.1 são apresentados os artigos onde foram analisados as variáveis e os processos relacionados às áreas envolvidas no S&OP. Os processos representados nos modelos analisados foram destacados da seguinte forma:

- Capacidade de produção
- Produção

- Gestão de Estoques
- Demanda / Vendas
- Compras
- Custeio
- Faturamento
- Contabilidade
- Financeiro

Na revisão bibliográfica realizada observou-se que nem todos os processos destacados foram modelados de forma a possibilitar uma visão mais completa dos processos de planejamento. A partir da revisão realizada, conclui-se que há necessidade de construir modelos detalhados de DS de forma a possibilitar uma visão holística de todos os principais processos de planejamento da produção e, em particular, o processo de S&OP.

A Dinâmica de Sistemas vem sendo considerada uma ferramenta de análise bem poderosa, principalmente quando se modela variáveis com dados agregados e decisões de natureza mais estratégicas, como é o caso no nível de planejamento. A Dinâmica de Sistema é aplicada não somente na cadeia, mas também em um ambiente interno de uma empresa, se for considerado que os setores de uma empresa formam componentes interligados como uma cadeia interna de suprimentos.

Tabela 3.1 – Síntese dos trabalhos que utilizam SD no planejamento da produção.

REFERÊNCIA	DESCRIÇÃO	Processos modelados na simulação de dinâmica de sistemas								
		Capacidade de produção	Produção	Gestão Estoques	Demanda / Vendas	Compras	Custeio	Faturamento	Contabilidade	Financeiro
(ORCUN; UZSOY; KEMPF, 2006)	Utilizou dinâmica de sistemas em um sistema produção de capacidade simples para analisar o desempenho de diferentes modelos de capacidade que produzem lead times dependentes da carga e relacionou esses modelos aos que utilizam em dinâmica de sistemas modelos de sistemas de produção. Neste trabalho também é relacionado vários modelos de capacidade em contrapartida com a literatura dinâmica do sistema, bem como algumas abordagens sugeridas na literatura dinâmica do sistema para modelar o comportamento dos recursos de produção.	X	X							
(VLACHOS; GEORGIADIS; IAKOVOU, 2007)	Este trabalho apresentou um estudo com o uso da dinâmica de sistemas sobre o comportamento de cadeias de suprimento reversa para remanufatura, propondo políticas de expansão da capacidade de coleta e remanufatura mais eficientes, além de incorporar fatores externos específicos que influenciam , direta ou indiretamente , lucros , custos e fluxos. Tais fatores incluem, entre outros, a consciência ambiental , obrigações e penalidades impostas pela legislação. O comportamento do sistema em estudo foi analisado através de um modelo de simulação de dinâmica de sistemas, fornecendo uma ferramenta experimental, que pode ser utilizado para avaliar as políticas de planejamento de capacidade alternativas a longo prazo usando o lucro total da cadeia de suprimentos como medida de efetividade.	X	X	X	X		X	X		
(SURYANI et al, 2010)	Este trabalho descreveu um estudo com dinâmica de sistemas desenvolvendo modelos para previsão de demanda e políticas de avaliação de cenários relacionadas com a expansão da capacidade planejada para atender projeções de demanda futura otimista e pessimista. O estudo foi realizado tomando como exemplo de produto a commodity de cimento e apresentou o relacionamento da previsão de demanda com índices de crescimento da economia caracterizada por índices do PIB, investimento e crescimento nas indústrias de construção civil.	X	X	X	X			X		
(HELAL et al, )	Helal et al. propuseram, em teoria, um método de simulação híbrida para sistemas de manufatura que é uma combinação de paradigmas de simulação SD e DES. A integração dos SD e DES, tal como proposto no trabalho oferece uma técnica de baixo custo que pode usar a experiência de simulação existentes na simulação de sistemas de manufatura. Para realizar as duas abordagens, é proposto um método de sincronização para sincronizar modelos de simulação de SD e Sistemas de Eventos discretos. O método proposto faz uso dos conceitos de sincronização da abordagem de "Time Bucked", que permite o avanço no tempo de simulação do modelo em SD e Sistemas de evento discretos baseados em janelas/segmentos de tempo, de modo iterativo, onde cada modelo avança uma janela de tempo e entrega os seus resultados para o outro modelo, alternativamente	X	X	X						



Tabela 3.1 – Continuação.

REFERÊNCIA	DESCRIÇÃO	Processos modelados na simulação de dinâmica de sistemas								
		Capacidade de produção	Produção	Gestão Estoques	Demanda / Vendas	Compras	Custeio	Faturamento	Contabilidade	Financeiro
(PASTRANA et al, 2010)	Em Pastrana et al (2010), o modelo teórico de simulação híbrida proposto por Helal é aplicado em uma empresa fabricante de lentes para aparelhos a laser. O modelo incluiu variáveis para os níveis de chão de fábrica e de planejamento, e mostrou que tanto o modelo de Dinâmica de Sistemas e de Simulação de evento discreto interagia de forma adequada e que o modelo global podia ser usado para explicar o comportamento no nível do chão de fábrica e planejamento. As gerências da empresa consideraram o modelo híbrido de simulação como uma ferramenta importante para experimentar e analisar o desempenho do sistema e o impacto das decisões de alocação de recursos. As relações causais modeladas no modelo economizaram tempo de análise e sintetizaram a coleta de dados da base central da empresa. Além disso, a ferramenta proporcionou uma melhora na comunicação entre os tomadores de decisão do nível de planejamento e os tomadores de decisão do nível de operação do chão de fábrica.	X	X	X		X				
(TAKO, A. A.; ROBINSON, S., 2012)	Neste trabalho foi apresentado uma revisão sobre a aplicação de simulação de eventos discretos (DES) e dinâmica de sistemas (SD) como sistema de apoio à decisão para o gerenciamento de logística e cadeia de suprimentos (LSCM) tendo como enfoque a natureza e nível dos problemas modelados. Os resultados dessa revisão sugerem que o DES tem sido usada com mais frequência para modelar cadeias de suprimentos , com exceção do efeito chicote , que é principalmente modelado usando SD. O estudo sugere ainda que , em termos de nível de tomada de decisão envolvidos, estratégica ou operacional/tático, não há diferença no uso de um ou outro, DES ou SD. O resultados deste estudo informa a literatura existente sobre o uso de DES e SD como ferramentas DSS em LSCM .	X	X	X	X	X				
(GEORGIADIS, P.; MICHALOUDIS, C., 2012)	Neste trabalho, foi utilizado a metodologia de dinâmica de sistemas como ferramenta para desenvolvimento de um modelo dinâmico para planejamento e controle da produção (PCP) em tempo real em um job-shop de capacidade arbitrária. A abordagem em tempo real proposta reflete o processo de monitoramento e ajuste contínuo do estado do sistema para alinhá-lo com um estado desejado. Segundo o autor, o elemento inovador neste trabalho é a integração de ordem de produção e mecanismos de controle de dimensionamento de lote em um sistema de PCP comum e a investigação de sua eficiência em termos de média ordens pendentes, WIP e trabalhos atrasados para um ambiente de manufatura estocástico com multi-máquinas e multi-produtos. O sistema de PCP em tempo real proposto foi implementado em uma manufatura real que tem suas operações na região central da Macedônia na Grécia. No entanto, o fabricante não pôde operar sempre com valores de lotes próximos do ideal proposto pelo sistema, isso, devido as mudanças no ambiente externo, como a necessidade de maior estoque de segurança e chegada de novos pedidos de clientes com maior prioridade.	X	X	X	X					

Tabela 3.1 – Continuação.

REFERÊNCIA	DESCRIÇÃO	Processos modelados na simulação de dinâmica de sistemas								
		Capacidade de produção	Produção	Gestão Estoques / Demanda / Vendas	Compras	Custeio	Faturamento	Contabilidade	Financeiro	
(CRESPO, A. M.; BIANCHI, C.; GUPTA, J. N. D., 2004)	Neste trabalho foi desenvolvido e avaliado um modelo de cadeia de suprimento abrangente que pode ser utilizado para determinar os benefícios operacionais e financeiros de vários níveis de integração da cadeia de suprimentos utilizando ferramentas de e-colaboração. Este trabalho considerou as questões envolvidas na integração da cadeia de suprimentos por meio do uso de ferramentas de e-colaboração. A simulação baseada em dinâmica do sistema foi utilizada para estudar o impacto de vários níveis de integração da cadeia de suprimentos. Os resultados computacionais do modelo de simulação dinâmica de sistemas validado com diferentes seqüências de implementação de ferramentas de e-colaboração e diferentes cenários financeiros mostram que os restrições financeiros locais também pode afetar seriamente o desempenho operacional e financeiro de toda a cadeia de suprimento.		X	X	X					X
(VENKATESWARA N, J.; SON, Y.; JONES, A., 2004)	Em Venkateswaran (2004) foi proposto uma arquitetura de simulação híbrida que utiliza componentes da dinâmica de sistemas (SD) e simulação de eventos discretos (DES) para o planejamento de produção hierárquico. Nesta arquitetura as decisões de planejamento em nível agregado são avaliadas por meio de um modelo de DS em que as atividades de produção são agregadas como taxas de fluxo ao longo do tempo e é utilizado para gerar a atribuição ótima de capacidade de produção ao longo do tempo. A capacidade proposto pelo modelo DS são atribuídas como expectativas para um modelo detalhado que irá gerar um cronograma de produção diária. As decisões de programação em nível detalhado são analisadas pelo modelo DES que é responsável por tratar as incertezas de produção.	X	X	X	X					
(GUIMARÃES, A. A.; GODINHO F., M., 2009)	Neste trabalho foi apresentado uma revisão com foco na aplicação da dinâmica de sistemas (DS) na área da Gestão da Produção. O trabalho apresentou a evolução da aplicabilidade da DS no período de 1990 a 2007 e classificou os 48 trabalhos encontrados em quatro áreas da Gestão da Produção: sistemas de produção, gestão em desenvolvimento de produto/processo, logística/gestão da cadeia de suprimentos e gestão da qualidade. Observou-se a predominância da utilização da DS para auxiliar na tomada de decisão, avaliar a escolha de alternativas, capturar o relacionamento existente entre variáveis do chão de fábrica, e também no estudo da integração entre os elos da cadeia de suprimentos. O trabalho apontou que a técnica de dinâmica de sistemas ainda é pouco aplicada na área de Gestão da Produção principalmente quando comparada a simulação de eventos discretos.	X	X	X	X					
(GODINHO FILHO, M.; UZSOY, R., 2009)	Godinho Filho e Uzsoy apresenta um modelo quantitativo que utiliza de forma híbrida as abordagens de dinâmica de sistemas e Factory Physics com o objetivo de estudar o efeito conjunto de seis programas de Melhoria Contínua juntamente com a redução de tamanhos de lote de produção nos níveis médios de Estoque em Processo (WIP) e Utilização em um ambiente produtivo com uma única máquina que processa múltiplos produtos. O trabalho tem o objetivo de preencher a lacuna existente na literatura em relação a modelos que auxiliam no entendimento de como esforços para melhoria direcionados a diferentes aspectos da manufatura afetam indicadores de desempenho da manufatura, tais como Estoque em Processo (WIP) e Utilização.	X	X	X						

## 4 PROPOSTA DE MODELO DE DINÂMICA DE SISTEMAS PARA A SIMULAÇÃO DO PROCESSO DE S&OP

O objetivo deste capítulo é descrever a estrutura do modelo referencial de Dinâmica de Sistemas que proporcione uma visão holística do processo de planejamento de vendas e operações (*Sales and Operations Planning* - S&OP) aos gestores de empresas com características de produção para estoque (*Make to Stock* - MTS).

### 4.1 Considerações iniciais do modelo

O modelo referencial foi desenvolvido baseado na metodologia de dinâmica de sistemas de forma a representar os diversos processos existentes numa empresa que estão envolvidos no ciclo de S&OP, tais como, vendas, suprimentos, produção/capacidade, custeio, fluxo de caixa e análise econômica.

O uso da dinâmica de sistemas fornece a visão holística para o processo de S&OP permitindo a elaboração de planos agregados e inter-relacionados das diversas áreas envolvidas neste processo e apoia o processo de tomada de decisão compartilhado entre os participantes do processo de S&OP da empresa.

A execução do modelo fornece planos de vendas, planos de produção, planos de estoque e plano de compra de materiais, como também a análise econômica e financeira dos planos gerados. O modelo pode gerar múltiplos cenários de S&OP considerando a incorporação de variáveis probabilísticas na estrutura do modelo. Um recurso importante do modelo é a integração de variáveis econômicas e financeiras como elementos participantes do processo de simulação, permitindo a valorização dos planos de S&OP no tempo de execução e no acompanhamento de índices financeiros de cada cenário simulado. Outro recurso importante que o modelo fornece é a possibilidade de realizar análises estatísticas apoiadas no uso de projeto de experimentos.

O modelo foi construído tomando como base a teoria de Dinâmica de Sistemas, as bibliografias consultadas e as entrevistas não estruturadas realizadas nas empresas cujo autor e orientador tinham bom relacionamento. As entrevistas foram realizadas com especialistas das áreas relacionadas com o processo de S&OP cujas empresas possuem características de produção para estoque. Por esta razão, o modelo a ser descrito na próxima seção foi elaborado com características de empresas MTS.

## 4.2 Descrição do modelo de simulação

O modelo foi elaborado utilizando-se a ferramenta de simulação de dinâmica de sistemas STELLA® (“Systems Thinking for Education and Research”), que consiste em um software de modelagem e simulação gráfica de sistemas naturais e complexos. Possui a vantagem de ter uma interface simples e visual e de, a partir do sistema em estudo, propor as equações matemáticas e solucioná-las automaticamente. Permite a importação e exportação de dados em planilhas Excel, além de possibilitar a criação de interfaces de comunicação com o usuário para interação com o modelo de maneira simples.

O modelo de simulação do S&OP construído é apresentado na figura 4.1 o qual foi agrupado em sete macroprocessos que representam a áreas funcionais participantes do ciclo de S&OP. Os seguintes macroprocessos construídos são listados a seguir:

- Suprimentos
- Produção
- Capacidade
- Previsão de vendas
- Custeio por absorção
- Faturamento e análise econômica.
- Fluxo de caixa

O modelo tem como característica utilizar, a princípio, n famílias de produtos, n famílias de matéria primas, e usar n variáveis probabilísticas ou determinísticas, para n períodos de tempo em um horizonte de planejamento. A entrada de dados pode ser feita através de interface com o usuário pela própria ferramenta Stella ou por meio de importação de dados de planilha Excel.

A execução da simulação do modelo de S&OP pode ser acompanhada pela animação gráfica dos diagramas de estoque e fluxo, bem como por meio de gráficos plotados das variáveis do modelo na interface da ferramenta. Os resultados da simulação são apresentados em tabelas, gráficos e exportados para planilhas.

A seguir são apresentados os modelos de cada macroprocesso que participam do ciclo de S&OP, mostrando também a relação existente entre eles. As variáveis que participam do modelo são descritas na seção 4.2.9 e no apêndice I é apresentado todas as equações utilizadas no modelo.

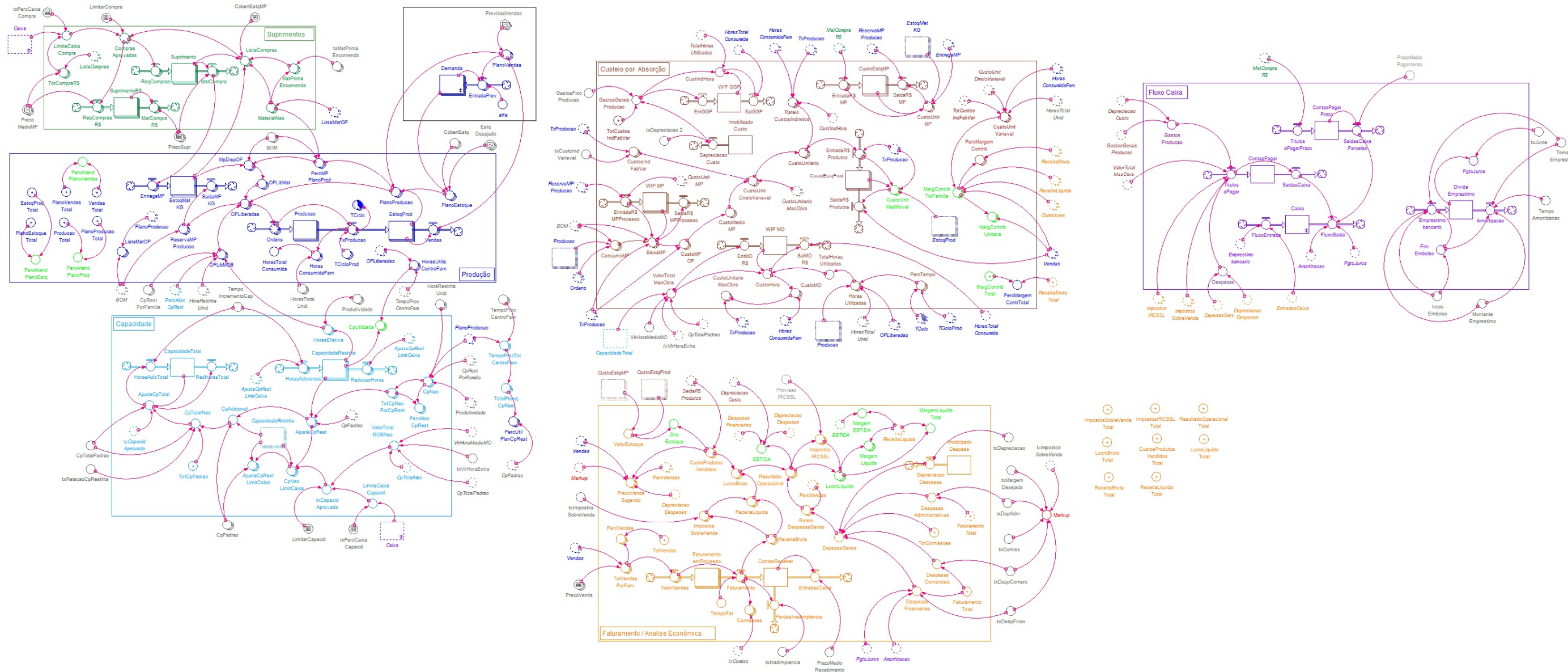


Figura 4.1 – Modelo referencial de dinâmica de sistemas para S&OP desenvolvido neste trabalho.

### 4.2.1 Suprimentos

No macroprocesso denominado “Suprimentos”, apresentado na figura 4.2, têm como dados de entrada a lista de famílias de matéria-prima necessária para atender o plano de produção de famílias de produto acabado. A partir dessa lista são avaliados os níveis de estoque de matéria-prima disponível, a quantidade de compra que se encontra atualmente em processo de aquisição, e a cobertura de estoque adotada como estratégia para reposição desses estoques. Após essa avaliação são definidas as quantidades necessárias para se comprar e estas são valorizadas pelo preço de compra estabelecido em cada período de planejamento por unidade de cada família de matéria-prima. Valorizado o plano de compras, esse é submetido a uma restrição de acordo com os limites de caixa disponível. Essa condição de restrição pode ser ativada ou desativada, sendo uma decisão do usuário planejador. Caso a restrição seja ativada, as quantidades e valores das requisições de compras serão corrigidos por um fator de correção que representa o limite de caixa. Definidas as requisições de compras, estas permanecerão na carteira de compras até o prazo de suprimento estabelecido para a família de matéria-prima, quando então ocorrem as entradas no estoque em valores de custos e quantidade.

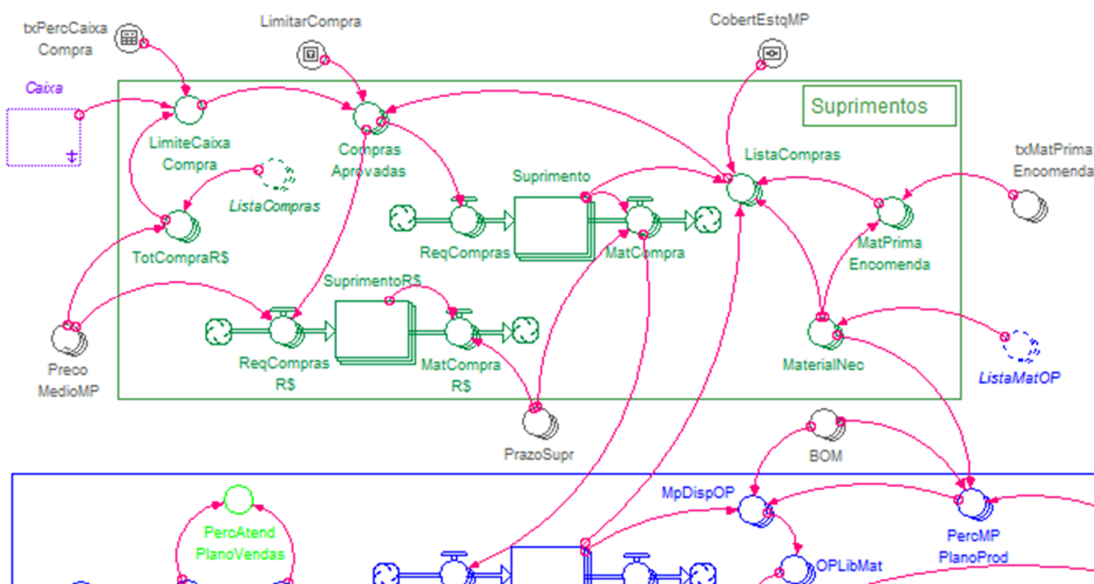


Figura 4.2 – Modelo de dinâmica de sistemas para S&OP: Macroprocesso Suprimentos.

#### 4.2.2 Produção

As principais entradas para o macroprocesso produção, apresentado na figura 4.3, são o plano de vendas e o plano de estoque definidos para o ciclo de S&OP. A partir da entrada destes planos é definido o plano de produção em função da diferença entre os níveis de estoque de família de produto acabado com as necessidades planejadas para vendas e estoque. Neste macroprocesso, é efetuada a explosão da lista de materiais para as famílias de produto acabado de acordo como os volumes definidos no plano de produção, sendo assim calculado o volume necessário de matéria-prima para atendimento do plano de produção. Definido o volume de matéria-prima, este é submetido à avaliação das restrições dos níveis de estoque de materiais, e encaminhados ao macroprocesso “suprimentos” para definição das quantidades a comprar. Na avaliação das restrições de material, serão definidas as quantidades possíveis de se produzir mediante os níveis de estoque de matéria-prima durante o período de planejamento. Outra avaliação do plano de produção é realizada em relação aos níveis de capacidade restrita disponíveis, o qual é avaliado no macroprocesso “capacidade”. Nesta avaliação, verificam-se as restrições existentes pela capacidade para se produzir as famílias de produtos acabado especificada no plano. Após essa etapa de avaliação de capacidade e avaliação dos estoques de matéria-prima disponíveis, são definidos os volumes das ordens de produção que serão liberadas para entrada na produção, efetivando a transferência da matéria-prima para o Work in Process (WIP) de produção, onde serão consumidas as horas de mão de obra e matéria-prima necessária. As ordens em processo de produção serão concluídas após os tempos de ciclo de produção definidos por uma distribuição probabilística para cada família de produto acabado. Finalizando o processo de produção ocorrerá a baixa dos estoques em processos (WIP) e será efetivada a entrada do produto acabado no estoque de produtos acabados, disponibilizando-os para vendas. Neste processo é também simulado o processo de atendimento das quantidades de vendas confirmadas para o período de planejamento considerando o saldo de estoque de produto acabado disponível para o momento da chegada do pedido de venda.





### 4.2.3 Capacidade

O macroprocesso denominado “Capacidade”, apresentado na figura 4.4, tem como dado de entrada principal os volumes definidos para as famílias de produto acabado no plano de produção. O processo inicia-se calculando o total de horas trabalhadas necessárias do centro de trabalho restrito definido para cada família de produto, considerando a taxa de produtividade especificada para cada centro e as horas padrão utilizadas para a produção de uma unidade de cada família de produto. Tem-se então o total de horas de capacidade planejada do centro restrito para o plano de produção, e o percentual de alocação da capacidade restrita para cada família de produto. As horas planejadas são comparadas às horas de capacidade padrão definida para o centro restrito, e em função da diferença é definido o volume de horas necessárias para ajustar a capacidade atual à capacidade planejada. Quando esse ajuste é negativo, a capacidade atual dos centros restritos é igualada às horas de capacidade padrão pré-definidas para o modelo. No caso em que o ajuste é positivo, ou seja, é necessário o incremento de capacidade para atender ao plano de produção, será avaliado pelas restrições do modelo o volume de horas extras necessárias a serem adicionados na capacidade dos centros restritos e na capacidade total da produção. Esta é uma estratégia adotada para que o modelo reaja às necessidades de capacidade planejada para atender o plano de produção. De forma geral, neste macroprocesso são avaliadas as restrições existentes para se realizar os ajustes de horas de capacidade necessária, considerando o custo adicional de horas extras e o tempo de atraso para realizar esse ajuste de maneira que os volumes de produção planejados para as famílias de produtos possam ser limitados ou não.

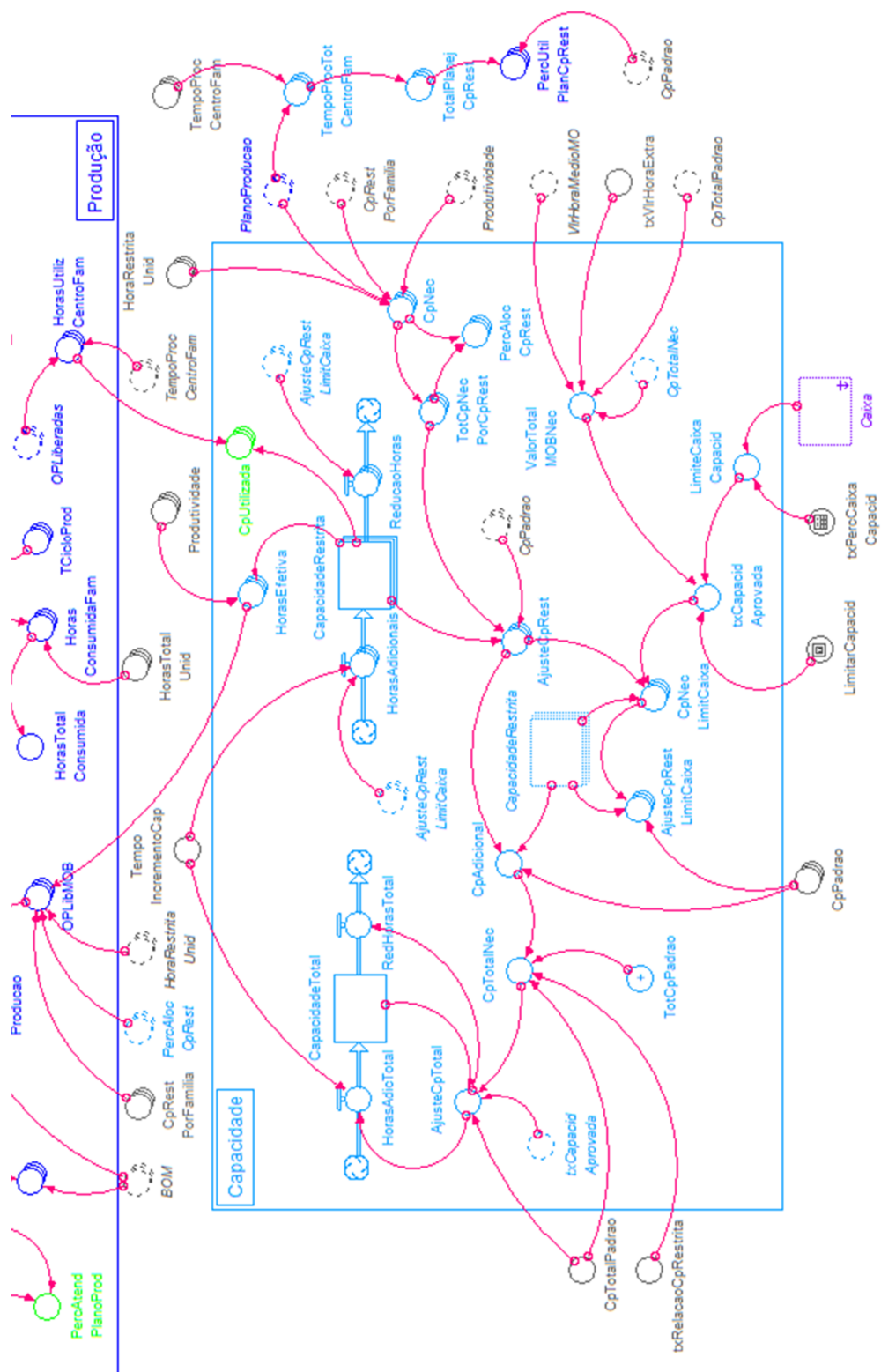


Figura 4.4 – Modelo de dinâmica de sistemas para S&OP: Macroprocesso capacidade.

#### 4.2.4 Custeio por absorção

A apuração dos custos de produção é realizada no modelo proposto pelo método de custeio por absorção (MARTINS, 2003), um método derivado da aplicação dos princípios de contabilidade geralmente aceitos e seu uso amplamente disseminado, principalmente, pela contabilidade financeira para preparar relatórios destinados ao público externo à empresa. Este método resume no critério de se apropriar todos os custos de produção quer sejam fixos, variáveis, diretos ou indiretos e tão somente os custos de produção aos produtos elaborados.

O macroprocesso responsável pela execução do método de custeio foi denominado no modelo como “custeio por absorção”, e é neste macroprocesso, apresentado na figura 4.5, que se concentram todos os dados pertinentes à apuração dos custos de produção incorridos nos demais macroprocessos do modelo. De maneira integrada aos outros macroprocessos, são controlados os custos de matéria-prima em estoque, bem como a atualização desses custos pelo preço médio móvel em face das entradas por aquisição de compras; são controlados os custos com mão de obra direta, considerando as horas de capacidade padrão e as horas extras disponibilizadas pelo macroprocesso “capacidade”; são controlados os custos fixos e indiretos ocorridos no período, como também os custos dos produtos em processo de produção. Esse controle é conduzido de maneira a permitir a realização da apuração dos custos dos produtos produzidos no mês e a atualização do custo do estoque de produtos acabados pelo custo médio móvel. A finalidade deste macroprocesso é de valorizar os planos de produção gerados pelo modelo proposto fornecendo métricas financeiras para análises e apuração dos resultados dos cenários de S&OP a serem simulados.

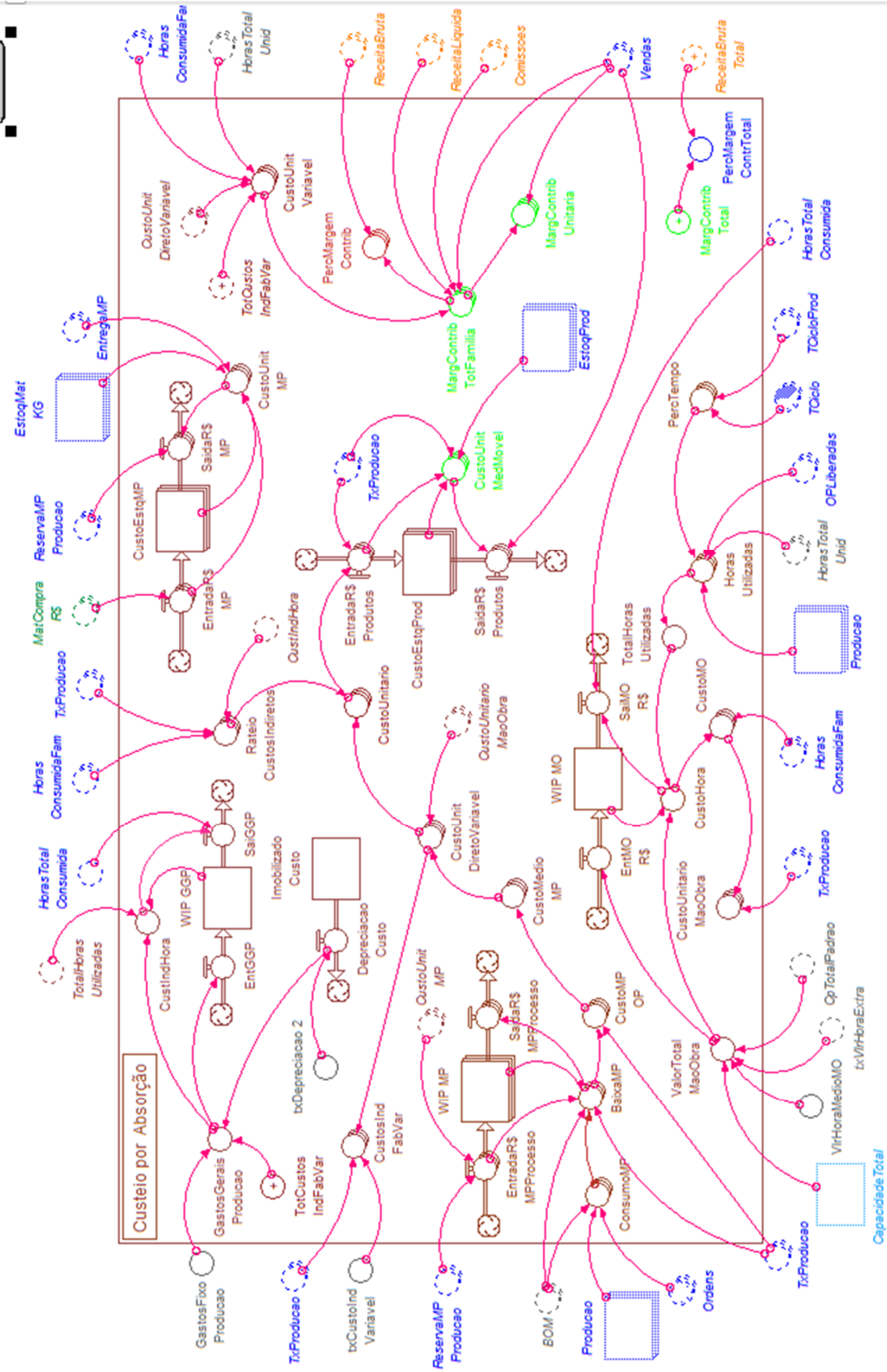


Figura 4.5 – Modelo de dinâmica de sistemas para S&OP: Macroprocesso custeio por absorção.

#### **4.2.5 Faturamento e análise econômica**

No macroprocesso denominado “faturamento e análise econômica”, apresentado na figura 4.6, foi agrupada a simulação do processo de faturamento das previsões de vendas planejadas e a análise econômica das operações simuladas durante o período de planejamento do S&OP. No processo de faturamento, são considerados os volumes de vendas atendidos pelas restrições de estoque e de capacidade de produção avaliadas no macroprocesso “produção”, simulando a concretização da venda e a geração de receita financeira auferida pelo plano de vendas do S&OP. A partir da receita financeira gerada pelo plano de vendas e em face dos custos dos produtos vendidos calculados por meio do macroprocesso “custeio por absorção” é disponibilizado pelo modelo proposto um conjunto de métricas financeiras e relatórios de demonstração de resultado (GITMAN, 2010) para realização de uma análise econômica do cenário simulado.

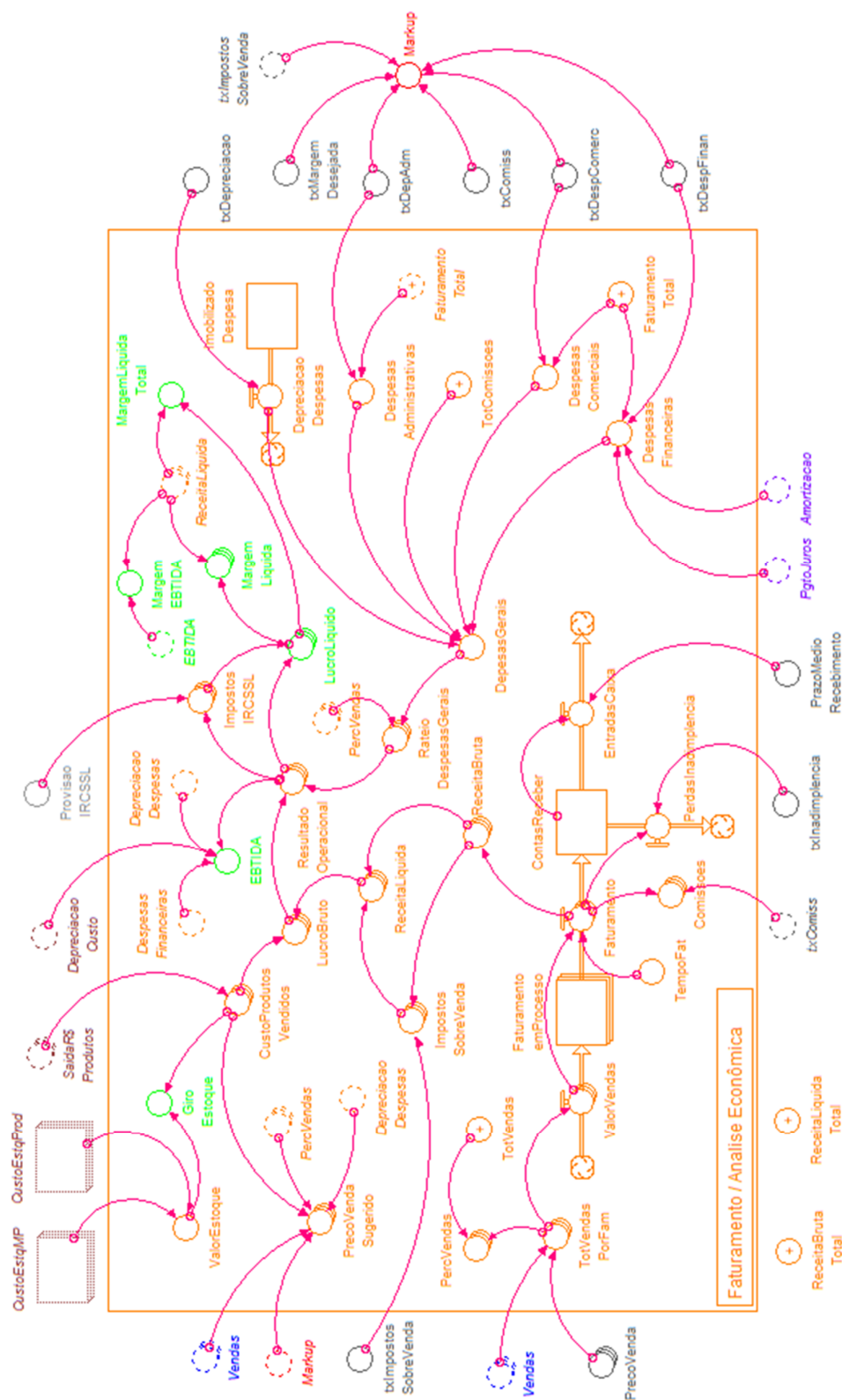


Figura 4.6 – Modelo de dinâmica de sistemas para S&OP: Macroprocesso faturamento e análise econômica

#### **4.2.6 Fluxo de caixa**

O macroprocesso “fluxo de caixa” construído no modelo proposto, que é apresentado na figura 4.7, tem a função de demonstrar uma projeção de todos os pagamentos e recebimentos esperados para o período de planejamento definido para o S&OP.

Neste macroprocesso são controlados os processos de contas a receber e contas a pagar, os quais são alimentados respectivamente pelo macroprocesso faturamento, por meio das receitas geradas pelo plano de vendas mês a mês, e pelos macroprocessos suprimentos e custos, que fornecem os pagamentos a serem realizados mediante a compra de matéria-prima, salários, despesas com comercialização, despesas administrativas, comissões, despesas financeiras, gastos gerais de produção e impostos. A simulação da operação do fluxo de caixa ocorre a partir dos saldos em contas a pagar e a receber, e mediante aos prazos médios de recebimento e pagamento são efetuadas as entradas e saídas do caixa. Dessa forma, é possível representar uma visão financeira da empresa mediante o cenário de S&OP simulado.

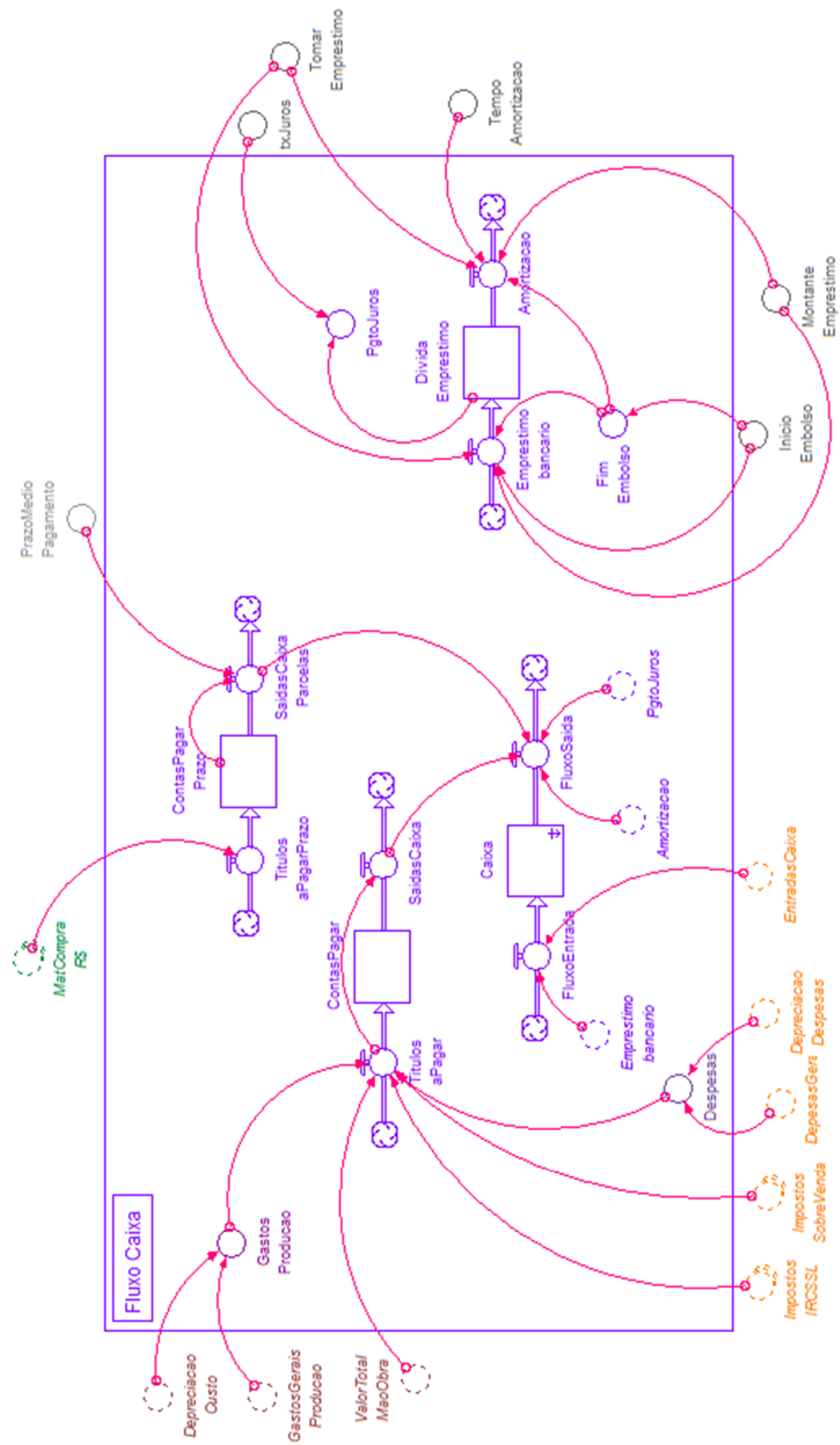


Figura 4.7 – Modelo de dinâmica de sistemas para S&OP: Macroprocesso fluxo de caixa.



#### 4.2.7 Previsão de vendas

A previsão de vendas é tratada no modelo como uma variável exógena ao sistema, pois atualmente o modelo não executa métodos de previsão e segue a premissa de que a previsão será fornecida já com os devidos tratamentos.

No modelo, foi definido um macroprocesso “previsão de vendas”, apresentado na figura 4.8, para realizar a inserção dos valores previstos na simulação como o valor médio de uma distribuição probabilística, que pode ser definida para cada cenário simulado. Neste macroprocesso é representado também um método de suavização exponencial simples para calcular a demanda média prevista para a utilização na definição do plano de estoque das famílias de produto acabado, quando a estratégia escolhida pelo planejador for à utilização de taxas de cobertura de estoque.

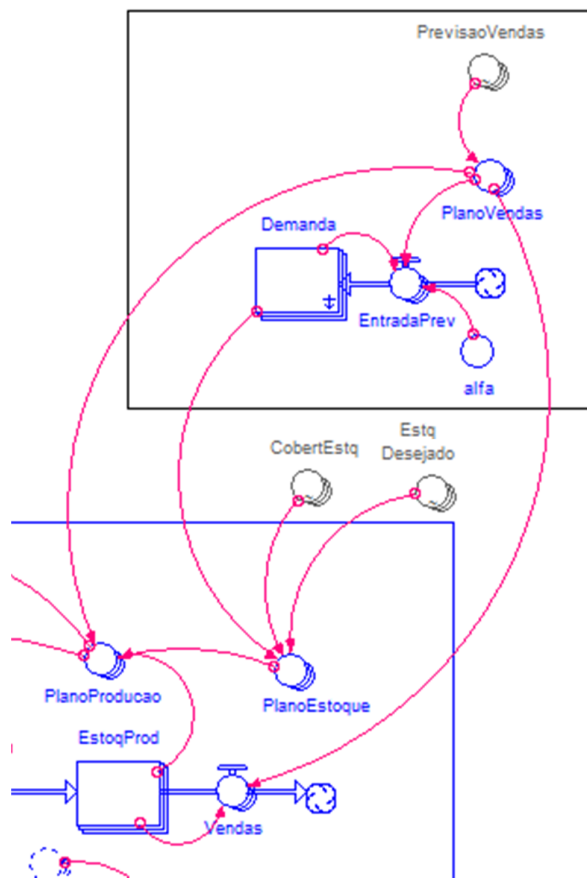


Figura 4.8 – Modelo de dinâmica de sistemas para S&OP: Macroprocesso previsão de vendas.

#### 4.2.8 Exemplo de interface de usuário para o modelo de DS para S&OP

Na figura 4.9 é apresentada um exemplo da interface de usuário desenvolvida para a entrada de dados de variáveis exógenas, como também a apresentação de alguns indicadores de desempenho representados pelas variáveis do modelo como margem líquida e demonstrativo de resultados do exercício, em forma de gráfico e tabela.

A interface gráfica do modelo pode ser facilmente reconfigurada de modo que possibilita ao usuário selecionar as variáveis de entrada e saída que deseja acompanhar, facilitando a alteração dos parâmetros da simulação e a análise do impactado dessas mudanças no comportamento das variáveis de saída, as quais serão os indicadores de desempenho escolhidos para análise dos planos gerados pelo processo S&OP.

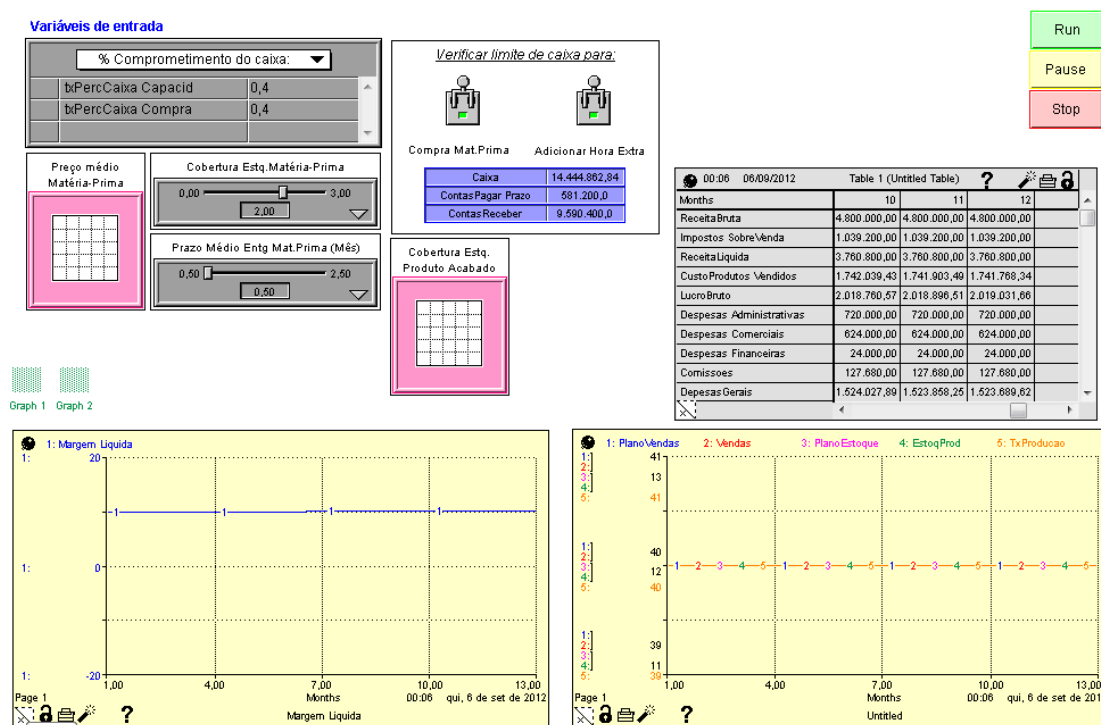


Figura 4.9 – Exemplo da interface desenvolvida para interação com o usuário.

#### 4.2.9 Relação das variáveis do modelo de DS para o S&OP

A descrição das variáveis presentes nos macroprocessos do modelo proposto é apresentada de forma agrupada segundo seus tipos. Na tabela 4.1 são listadas as variáveis do tipo estoque, na tabela 4.2 apresentam-se as variáveis do tipo fluxo e na tabela 4.3 estão descritas as variáveis auxiliares.

Tabela 4.1– Variáveis do modelo de dinâmica de sistemas para S&OP: Variáveis do tipo estoque.

VARIÁVEIS DO TIPO ESTOQUE	
Variável	Descrição
CapacidadeRestrita	Representa as horas de capacidade disponível para cada centro restritivo
CapacidadeTotal	Representa as horas totais de capacidade disponível de todos os centros produtivos
ContasPagar	Variável que acumula os valores de contas a pagar a vista
ContasPagar Prazo	Variável que acumula os valores de contas a pagar a prazo
ContasReceber	Variável que acumula os valores de contas a receber
CustoEstqMP	Representa os valores totais de custo em estoque das famílias de matéria-prima
CustoEstqProd	Representa os valores totais de custo em estoque das famílias de produto acabado
Demanda	Armazena o valor médio da previsão de demanda utilizada para definição do plano de estoque por taxa de cobertura
Divida Emprestimo	Acumula o montante de capital tomado como emprestimo
EstoqMat KG	Representa a quantidade em estoque das famílias de matéria-prima
EstoqProd	Representa a quantidade em estoque das famílias de produto acabado
Faturamento emProcesso	Acumula os valores de receita em processo de faturamento
Imobilizado Custo	Representa o valor total ativo imobilizado destino à produção
Imobilizado Despesa	Representa o valor total ativo imobilizado destinado a despesas
Producao	Acumula a quantidade de produto acabado que estão em processo de fabricação
Supnimento	Acumula a quantidade de itens de matéria-prima em processo de compras
SupnimentoR\$	Acumula os valores de custo dos itens de matéria-prima em processo de compras
WIP GGP	Acumula os valores de custo em processo de produção referente aos gastos gerais de produção
WIP MO	Acumula os valores de custo de mão de obra em processo de produção
WIP MP	Acumula os valores de custo de matéria-prima em processo de produção

Tabela 4.2 – Variáveis do modelo de dinâmica de sistemas para S&amp;OP: Variáveis do tipo fluxo.

VARIÁVEIS DO TIPO FLUXO	
Variável	Descrição
Amortizacao	Taxa de amortização da dívida referente ao empréstimo realizado
Depreciacao Custo	Taxa de depreciação que é apropriada para o custos de produção
Depreciacao Despesas	Taxa de depreciação que é apropriada como despesas
Emprestimo bancario	Taxa de entrada para o empréstimo tomado
EntGGP	Taxa de entrada dos gastos gerais de produção para WIP
EntMO R\$	Taxa de entrada dos custos de mão de obra para WIP
EntradaPrev	Taxa de entrada dos valores de previsão de venda
EntradaR\$ MP	Taxa de entrada dos valores de custos dos itens de matéria-prima adquirido para o estoque de famílias de matéria-prima
EntradaR\$ MPPProcesso	Taxa de entrada dos custos de matéria-prima para WIP
EntradaR\$ Produtos	Taxa de entrada dos custos dos produtos produzidos para o estoque de famílias de produto acabado
EntradasCaixa	Taxa de saída dos valores de receitas do saldo de contas a receber para entrada no caixa
EntregaMP	Taxa de entrada de itens de matéria-prima adquirida para o estoque de famílias de matéria-prima
Faturamento	Taxa de saída dos valores de receitas do saldo de faturamento em processo
FluxoEntrada	Taxa de entrada de valores de receitas para o caixa
FluxoSaida	Taxa de saída de valores do caixa para pagamento
Horas Adicionais	Taxa de horas adicionais para incremento de capacidade nos centros restritos
Horas AdicTotal	Taxa de horas adicionais para incremento da capacidade total
MatCompra	Taxa de recebimento de matéria-prima
MatCompra R\$	Taxa de recebimento de matéria-prima em valores de custo
Ordens	Taxa de entrada de ordens de produção para o processo de fabricação
PerdasInadimplencia	Taxa de saída do saldo de contas a receber por perdas por inadimplência
RedHoras Total	Taxa de saída de horas para redução da capacidade total
ReducaoHoras	Taxa de saída de horas para redução da capacidade dos centros restritos
ReqCompras	Taxa de entrada de requisições de compras de matéria-prima para processo de aquisição
ReqCompras R\$	Taxa de entrada de requisições de compras em valores de custo para o processo de aquisição
SaidaMP KG	Taxa de saída em quantidades de matéria-prima do estoque por transferência para produção
SaidaR\$ MP	Taxa de saída em valores de custo de matéria-prima do estoque por transferência para produção
SaidaR\$ MPPProcesso	Taxa de saída em valores de custo de matéria-prima em WIP
SaidaR\$ Produtos	Taxa de saída de produtos vendidos em valores de custos
SaidasCaixa	Taxa de saída de valores do saldo de contas a pagar a vista
SaidasCaixa Parcelas	Taxa de saída de valores do saldo de contas a pagar a prazo
SaiGGP	Taxa de saídas do gastos gerais da produção em WIP
SaiMO R\$	Taxa de saída dos custos de mão de obra em WIP
Titulos aPagar	Taxa de entrada dos valores de títulos a pagar a vista
Titulos aPagarPrazo	Taxa de entrada dos valores de títulos a pagar a prazo
TxProducao	Taxa de saída de produtos acabados do processo de fabricação
ValorVendas	Taxa de entrada dos valores de vendas para o processo de faturamento
Vendas	Taxa de saída das quantidades vendidas de produto acabado

Tabela 4.3 – Variáveis do modelo de dinâmica de sistemas para S&amp;OP: Variáveis do tipo auxiliar.

VARIÁVEIS DO TIPO AUXILIAR	
Variável	Descrição
AjusteCpRest	Efetua o cálculo de horas necessários para ajustar a capacidade do centro restrito à capacidade planejada
AjusteCpRest LimitCaixa	Efetua o cálculo que limita o ajuste de horas em função das restrições de caixa
AjusteCpTotal	Efetua o cálculo de horas necessárias para ajustar a capacidade total à capacidade planejada
alfa	Coefficiente de ajuste alfa para suavização de média de previsão de vendas
BaixaMP	Calcula os valores de custo de matéria-prima a serem baixados do WIP
BOM	Lista de materiais por família de produto
CobertEstq	Tempo de cobertura de estoque de produto acabado planejado para o horizonte de tempo definido para o S&OP
CobertEstqMP	Tempo de cobertura de estoque de matéria-prima planejado para o horizonte de tempo definido para o S&OP
Comissoes	Efetua o calculo de comissão
Compras Aprovadas	Calcula o volume de compras de matéria-prima aprovada pelas restrições de caixa
ConsumoMP	Calcula o consumo de matéria-prima para as ordens de produção em processo
CpAdicional	Calcula o total de horas de capacidade adicional para os centros restritos
CpNec	Variável que armazena qual o centro restrito da família e a quantidade total de horas necessária do centro para a produção das quantidades definidas no plano de produção
CpNec LimitCaixa	Calcula o total de horas de capacidade adicional que foram aprovadas pela restrição do caixa
CpPadrao	Horas de capacidade padrão para cada centro restrito
CpRest PorFamilia	Variável que relaciona o centro restrito com a família, ou seja, diz qual é o centro restritivo para a família
CpTotalNec	Calcula o total de horas planejadas para a capacidade total para atender plano de produção
CpTotalPadrao	Horas de capacidade total padrão
CpUtilizada	Indicador de desempenho que calcula o percentual de utilização da capacidade dos centro restrito
CustIndHora	Calcula os custos indiretos rateados por hora produzida
CustoHora	Calcula o custo de mão de obra em função das horas efetivamente consumidas no processo de produção
CustoMedio MP	Calcula o custo médio de matéria-prima consumida para produção de uma unidade de produto
CustoMO	Calcula o custo total de mão de obra consumida nas ordens de produção concluída
CustoMP OP	Calcula o custo médio de matéria-prima consumida nas ordens produção concluída
CustoProdutos Vendidos	Calcula custo dos produtos vendidos por família de produto acabado
CustosInd FabVar	Calcula o custo indireto variavel consumidas nas ordens de produção concluída
CustosProdutos Vendidos Total	Custo total de todos produtos vendidos
CustoUnit DiretoVariavel	Calcula o custo direto variável por unidade de família de produto
CustoUnit MedMovel	Calcula o custo unitário médio móvel do produto acabado
CustoUnit MP	Calcula o custo unitário médio móvel de cada item matéria-prima
CustoUnit Variavel	Calcula o custo unitário variável
CustoUnitario	Calcula o custo unitário do produto produzido no periodo
CustoUnitario MaoObra	Calcula o custo unitário de mão de obra apropriada no produto acabado
DepesasGerais	Realiza o somatório de todas as despesas
Despesas	Calcula as despesas a pagar
Despesas Administrativas	Calcula as despesas administrativas
Despesas Comerciais	Calcula as despesas com comercialização
Despesas Financeiras	Calcula as despesas financeiras
EBTIDA	Indicador de desempenho que calcula o índice EBTIDA

Tabela 4.3 – Continuação..

VARIÁVEIS DO TIPO AUXILIAR	
Variável	Descrição
EstoqProd Total	Realiza o somatório de todos os produtos em estoque
Estq Desejado	Plano de estoque desejado
Faturamento Total	Realiza o somatório das receitas de vendas
Fim Embolso	Periodo de término das parcelas de embolso
Gastos Producao	Gastos de produção a pagar
GastosFixo Producao	Valor mensal dos gastos fixos de produção
GastosGerais Producao	Calcula o total dos gastos gerais de produção, considerando custos fixo, depreciação e custos indiretos variáveis
Giro Estoque	Indicador de desempenho que calcula o giro de estoque de produtos
HoraRestrita Unid	Horas utilizadas da capacidade restrita para a produção de uma unidade da família de produto
Horas ConsumidaFam	Total de horas consumida da capacidade total por família para as ordens concluídas
Horas Utilizadas	Total de horas planejadas para ordens liberadas
HorasEfetiva	Calcula o total de horas capacidade restrita efetivamente disponível para a execução do plano de produção
HorasTotal Consumida	Calcula o total de horas de capacidade consumida na execução da produção
HorasTotal Unid	Total de horas utilizadas da capacidade total para a produção de uma unidade de cada família de produto
HorasUtiliz CentroFam	Total de horas utilizadas por família em cada centro produtivo
Impostos IRCSSL	Calcula o valor dos impostos I.R. e C.S.L.L. por família no periodo
Impostos SobreVenda	Calcula o valor dos impostos sobre a venda por família no periodo
ImpostosIRCSSL Total	Calcula do valor total dos impostos I.R. e C.S.L.L. do periodo
ImpostosSobreVenda Total	Calcula o valor total dos impostos sobre a venda no periodo
Inicio Embolso	Periodo de inicio das parcelas de embolso
LimitarCapacid	Variável lógica para ativar e desativar a restrição do caixa sobre o incremento de capacidade
LimitarCompra	Variável lógica para ativar e desativar a restrição do caixa sobre a compra de matéria-prima
LimiteCaixa Capacid	Valor limitante de caixa disponível para incremento de capacidade
LimiteCaixa Compra	Valor limitante de caixa disponível para aquisição de matéria-prima
ListaCompras	Calcula as necessidade de compras matéria-prima para reabastecimento do estoque
ListaMatOP	Calcula o volume de cada família de matéria-prima necessária para o plano de produção
LucroBruto	Calcula o lucro bruto por família de produto obtido sobre as receitas de vendas do periodo
LucroBruto Total	Calcula o lucro bruto total obtido sobre as receitas de vendas do periodo
LucroLiquido	Calcula o lucro liquido por família de produto obtido sobre as receitas de vendas do periodo
LucroLiquido Total	Calcula o lucro liquido total obtido sobre as receitas de vendas do periodo
MargContrib Total	Calcula o valor total de margem de contribuição obtida no periodo
MargContrib TotFamilia	Calcula o valor total de margem de contribuição por família de produto obtida no periodo
MargContrib Unitaria	Calcula o valor de margem de contribuição unitária por família de produto
Margem EBTIDA	Indicador de desempenho que calcula o índice EBTIDA obtido sobre a receitas de vendas do periodo
Margem Liquida	Indicador de desempenho que calcula a margem liquida por família obtido sobre a receitas de vendas do periodo
MargemLiquida Total	Indicador de desempenho que calcula a margem liquida total obtida sobre as receitas de vendas
Markup	Calcula o índice de mark up para cálculo do preço de venda sugerido
MaterialNec	Realiza o somatório das necessidades por família de matéria-prima

Tabela 4.3 – Continuação..

VARIÁVEIS DO TIPO AUXILIAR	
Variável	Descrição
MatPrima Encomenda	Calcula o volume de matéria-prima necessária que são adquiridas por encomenda
Montante Empréstimo	Montante adquirido como empréstimo
MpDispOP	Calcula a disponibilidade de matéria-prima a ser fornecida para produção
OPLiberadas	Calcula o volume de ordens a ser liberada para produção segundo as restrições de capacidade e de matéria-prima
OPLibMat	Variável que limita o quanto é possível produzir de uma família de produto pelo estoque de matéria-prima disponível
OPLibMOB	Variável que limita o quanto é possível produzir de uma família de produto com as horas de capacidade efetivamente disponíveis.
PercAloc CpRest	Calcula a porcentagem de horas planejadas de capacidade do centro restrito por família de produto
PercAtend PlanoEstq	Indicador de desempenho que calcula o percentual de atendimento de plano de estoque
PercAtend PlanoProd	Indicador de desempenho que calcula o percentual de atendimento de plano de produção
PercAtend PlanoVendas	Indicador de desempenho que calcula o percentual de atendimento de plano de vendas
PercMargem Contrib	Indicador de desempenho que calcula o percentual de margem de contribuição obtido sobre a receita bruta do período, por família de produto
PercMargem ContrTotal	Indicador de desempenho que calcula o percentual de margem de contribuição total obtido sobre a receita bruta do período
PercMP PlanoProd	Calcula a porcentagem de matéria-prima planejada para cada família de produto em relação ao total planejado de cada família de matéria-prima
PercTempo	Calcula o percentual de tempo de ciclo realizado para o produtos que estão processo de fabricação
PercUtil PlanCpRest	Calcula o percentual de utilização dos centros produtivos
PercVendas	Calcula o percentual de participação de cada família de produto sobre o total de vendas
PgtoJuros	Calcula o valor de juros a ser pago no período para os casos de utilização de empréstimo
PlanoEstoque	Plano de estoque do S&OP por família de produto
PlanoEstoque Total	Realiza o somatório do plano de estoque
PlanoProducao	Calcula o plano de produção de S&OP
PlanoProducao Total	Realiza o somatório do plano de produção
PlanoVendas	Calcula o plano de vendas conforme a distribuição probabilística
PlanoVendas Total	Realiza o somatório do plano de vendas
PrazoMedio Pagamento	Prazo médio de pagamento de títulos a pagar
PrazoMedio Recebimento	Prazo médio de recebimento de títulos a receber
PrazoSupr	Prazo médio de suprimento em dias
Preco MedioMP	Preço médio de compra deduzindo-se os impostos recuperados
PrecoVenda	Preço de venda praticado por unidade vendida de cada família de produto acabado
PrecoVenda Sugerido	Calcula o preço sugerido em função dos custos e do índice de mark up
PrevisaoVendas	Variável exógena representada graficamente os valores mensais propostos de previsão de vendas
Producao Total	Volume de produção total
Produtividade	Taxa de produtividade de cada centro de trabalho restrito
Provisao IRCSSL	Percentual p/ provisão I.R. e CSSL.
Rateio CustosIndiretos	Calcula o rateio dos custos indiretos
Rateio DespesasGerais	Calcula o rateio das despesas gerais por família de produto
ReceitaBruta	Calcula a receita bruta obtida no período por família de produto
ReceitaBruta Total	Calcula a receita bruta total obtida no período
ReceitaLiquida	Calcula a receita líquida obtida no período por família de produto
ReceitaLiquida Total	Calcula a receita líquida total obtida no período

Tabela 4.3 – Continuação

VARIÁVEIS DO TIPO AUXILIAR	
Variável	Descrição
ReservaMP Producao	Calcula o volume de matéria-prima a ser consumido para ordens liberadas
Resultado Operacional	Calcula o resulta operacional obtido no período por família de produto
ResultadoOperacional Total	Calcula o resulta operacional total obtido no período
TCiclo	Calcula o tempo de ciclo de produção realizado
TCicloProd	Tempo de ciclo de produção para cada família de produto acabado
Tempo Amortizacao	Tempo de amortização da dívida de empréstimo
Tempo IncrementoCap	Tempo de atraso para aumento de capacidade
TempoFat	Variavel para tempo de atraso para realização do faturamento
TempoProc CentroFam	Total de horas de capacidade utilizada de cada centro produtivo por família de produto
TempoProcTot CentroFam	Calcula o tempo total de horas planejadas para centro produtivo para realização do plano de produção
Tomar Empréstimo	Variável lógica que ativa ou desativa a aquisição de empréstimo
TotalHoras Utilizadas	Realiza o somatório do total de horas utilizadas da capacidade
TotalPlanej CpRest	Calcula o total de horas planejadas por centros produtivo
TotComissoes	Realiza o somatório das comissões de vendas do período
TotCompraR\$	Calcula o custo total dos materiais planejados para compra
TotCpNec PorCpRest	Calcula o total de capacidade necessária para cada centro produtivo
TotCpPadrao	Realiza o somatório da capacidade padrão de cada centro produtivo
TotCustos IndFabVar	Realiza o somatório dos custos indiretos variáveis
TotVendas	Realiza o somatório dos valores de vendas
TotVendas PorFam	Calcula o valor total das vendas por família de produto
txCapacid Aprovada	Calcula a taxa de capacidade aprovada mediante a restrição do caixa
txComiss	Percentual de comissão sobre vendas
txCustoInd Variavel	Percentual do custo indireto variável sobre o total dos custos diretos (mão de obra direta + matéria-prima)
txDepreciacao	Depreciação mensal do ativo destinado à despesa
txDepreciacao 2	Depreciação mensal do ativo destinado a apropriação dos custos de produção
txDespAdm	Despesas administrativas. Pode ser informada uma média percentual do total das despesas administrativa sobre o faturamento, ou, o valor planejado mensalmente conforme Budget
txDespComerc	Despesas com comercialização. Pode ser informada uma média percentual do total das despesas com comercialização sobre o faturamento, ou, o valor planejado mensalmente conforme Budget.
txDespFinan	Despesas financeiras. Pode ser informada uma média percentual do total das despesas financeira sobre o faturamento, ou, o valor planejado mensalmente conforme Budget.
txImpostos SobreVenda	Percentual de impostos sobre vendas
txInadimplencia	Percentual de inadimplência
txJuros	Taxa de juros para aquisição de empréstimo
txMargem Desejada	Margem de lucro desejada utilizada para calculo de preço de venda sugerido
txMatPrima Encomenda	A quantidade por item da lista de materiais que são comprados por encomenda
txPercCaixa Capacid	Percentual do valor em caixa definido para restrição de incremento de capacidade
txPercCaixa Compra	Percentual do valor em caixa definido para restrição de compra de matéria-prima
txRelacaoCpRestrita	Percentual de utilização da capacidade total em relação à utilização total da capacidade do centro restrito, ou seja, é o percentual de utilização da capacidade total quando o recurso critico estiver com 100% de utilização
txVlrHoraExtra	Percentual de acréscimo no valor da mão de obra para hora extra
ValorEstoque	Calcula o valor total do estoque, considerando produto acabado e matéria-prima
ValorTotal MaoObra	Calcula o valor total de mão de obra disponível no período
ValorTotal MOBNEC	Calcula o valor total de mão de obra planejado para atendimento do plano de produção
Vendas Total	Realiza o somatório das quantidades de vendas
VlrHoraMedioMO	Valor hora médio da mão de obra direta incluído encargos



## 5 SIMULAÇÃO DO MODELO

O objetivo deste capítulo é apresentar a especificação da simulação realizada com o modelo e os casos ilustrativos realizados em duas empresas com suas respectivas análises para responder a pergunta de pesquisa: *A visão holística proporcionada pelo uso da simulação de dinâmica de sistemas pode auxiliar na elaboração dos planos do processo de S&OP?*

### 5.1 Considerações sobre a realização das simulações

O modelo proposto foi apresentado e avaliado por especialistas de duas grandes empresas multinacionais com características MTS, cujos sistemas de produção geram uma grande variedade de produtos e em grandes volumes. Essas duas empresas realizam o processo de S&OP há vários anos.

O objetivo inicial do trabalho era simular os processos de S&OP com os dados reais destas empresas. No entanto, essas empresas não puderam disponibilizar os seus dados por questão de confidencialidade, sendo assim, foi construído uma base de dados hipotética para testes, considerando as características produtivas das empresas consultadas. Esses dados foram utilizados no modelo proposto durante as duas ilustrações de casos. Assim, tem-se um conjunto de dados para a análise e avaliação do modelo proposto.

Inicialmente foram realizadas simulações com a base de dados de teste para verificar a lógica e a sintaxe do modelo construído. Neste processo de verificação do modelo proposto foram também realizadas simulações adicionais conduzidas pela metodologia de projeto de experimentos com objetivo de avaliar a aplicabilidade desta metodologia no processo de S&OP. O uso do projeto de experimentos auxilia no planejamento das simulações com o modelo e combina métodos de análises estatísticas que ajudam na avaliação dos planos gerados pelo modelo, principalmente quando parte das variáveis utilizadas no modelo são probabilísticas.

Posteriormente realizou-se avaliação do modelo por meio das ilustrações de casos, onde foram realizadas simulações do modelo referencial juntamente dos gestores do processo S&OP de cada uma das empresas com o objetivo de avaliar a consistência dos resultados gerados e a adequação do modelo ao processo do S&OP realizado nessas empresas.

## 5.2 Especificação da simulação

Para realização dos testes e avaliação do modelo proposto foi agregado e inserido no modelo os dados da base de testes que representam uma empresa que possui características de produção MTS e manufatura discreta.

A base de dados hipotética de teste foi construída pelo autor com o auxílio de colaboradores responsáveis das áreas de Custos, PCP, Compras, Vendas e Financeiro de algumas das empresas consultadas. Após a elaboração dos dados hipotéticos, realizou-se um estudo juntamente com as áreas da empresa para a definição de como agregar as informações obtidas de modo a constituir as famílias de produtos acabado, as famílias de matéria-prima, a lista de materiais e os roteiros de fabricação para cada família utilizados no processo de S&OP. A agregação desses dados foi conduzida segundo as sugestões de Corrêa et al. (2007). Assim, para o estudo de simulação, foram definidas cinco famílias de produto acabado composta por dez famílias de matéria-prima e cinco centros de trabalho.

As informações inseridas foram organizadas em planilha Excel, apresentada no apêndice II, de forma a facilitar o input dos dados no modelo de simulação de dinâmica de sistema proposto para S&OP. Esta planilha reúne todos os dados utilizados para as variáveis de entrada do modelo, como também os valores iniciais utilizados para representar o estado atual das variáveis de níveis ou estoque.

Em seguida são detalhados os dados da base de teste que constituem os valores assumidos pelas variáveis do modelo no estudo de simulação:

- Dados relacionados a cada família de produto acabado são:
  - 1) Saldo inicial de estoque de cada família em quantidade – variável “EstoqProd”.
  - 2) Custo inicial do estoque de cada família – variável “CustoEstqProd”.
  - 3) Preço de venda unitário de cada família – variável “PrecoVenda”.
  - 4) Cobertura de estoque planejada para o horizonte de tempo definido para o S&OP. A cobertura de estoque pode ser definida como um valor padrão para todo período, ou valores distintos para cada mês, ou ainda podem-se definir diretamente as quantidades de estoque planejadas para os meses de planejamento – variáveis “CobertEstoq” e “Estq\_Desejado”.
  - 5) Previsão de vendas de cada família para o horizonte de planejamento do S&OP – variável “PrevisaoVendas”.

Na tabela 5.1 são apresentados os valores utilizados da base de teste na simulação para as variáveis relacionadas à família de produto, saldo inicial de estoque em quantidade e valor, custo médio unitário e preço de venda unitário. Os dados referentes às previsões de vendas e coberturas de estoque ou planos de estoque são apresentados na seção 5.3.1 quando se especifica o projeto de experimento.

**Tabela 5.1 – Dados de estoque e valores de custo e venda para as famílias de produto acabado.**

Família Produto	Estoque Inicial (qtde)	Unid. Medida	Valor do Estoque (custo)	Preço de Venda (Unit)	Cust Unit
Família Produto A	53	PC	2.227.057,70	101.500,00	42.019,96
Família Produto B	30	PC	10.778.045,72	849.000,00	359.268,19
Família Produto C	13	PC	440.137,78	80.200,00	33.856,75
Família Produto D	15	PC	262.372,60	43.960,00	17.491,51
Família Produto E	5	PC	77.500,15	38.900,00	15.500,03

- Os itens de matéria-prima utilizado na fabricação dos produtos acabados também são tratados no modelo de simulação de forma agregada e, portanto são agrupados em família como, por exemplo, família de inox, plástico, aço, etc. Os dados utilizados em cada família de matéria-prima são apresentados na tabela 5.2 e tabela 5.3:

- 1) Definição das famílias de matéria-prima.
- 2) Saldo de estoque por família em quantidade e valor – variáveis “EstoqMat\_KG” e “CustoEstqMP”.
- 3) Cobertura de estoque planejado para o horizonte de planejamento do S&OP – variável “CobertEstqMP”.
- 4) Prazo médio de suprimento em dias para cada família – variável “PrazoSupr”.
- 5) Preço médio de compra deduzindo-se os impostos recuperados – variável “Preco MedioMP”.
- 6) Saldo atual em processo de compras de cada família em quantidade e valor – variáveis “Suprimento” e “SuprimentoR\$”.
- 7) Composição da lista de materiais (BOM) de cada família de produto acabado. A lista de materiais é apresentada somente no nível de matéria prima, e considerando as famílias definidas para o S&OP – variável “BOM”.

Tabela 5.2 – Dados relacionados aos itens de matéria-prima, agregados em família.

Família Mat.Prima	Estoque Inicial (qtde)	Unid.Medida	Valor do estoque (custo)	Cobertura Estoque (dias)	Prazo Suprimento (dias)	Preço Médio Líquido p/ Compra	Saldo atual em processo de compra (Qtde)	Saldo atual em processo de compra (R\$)
Família M.P. 1	147.904,50	pc	267.707,15	60	7,00	1,81	4.815,00	8.715,15
Família M.P. 2	331.831,64	kg	5.004.021,18	60	20,00	15,08	115.179,00	1.736.899,32
Família M.P. 3	3.536,50	pc	64.541,13	60	15,00	18,25	1.625,00	29.656,25
Família M.P. 4	16.779,00	pc	452.026,26	60	15,00	26,94	6.428,00	173.170,32
Família M.P. 5	9.185,00	pc	414.151,65	60	15,00	45,09	9.740,00	439.176,60
Família M.P. 6	3.974,50	pc	297.213,11	60	15,00	74,78	3.797,00	283.939,66
Família M.P. 7	1.660,50	pc	200.090,25	60	15,00	120,50	1.582,00	190.631,00
Família M.P. 8	1.649,00	pc	478.391,39	60	15,00	290,11	951,00	275.894,61
Família M.P. 9	346,00	pc	312.988,14	60	7,00	904,59	364,00	329.270,76
Família M.P. 10	226,50	pc	1.549.056,15	60	7,00	6.839,10	338,00	2.311.615,80

Tabela 5.3 – Lista de materiais (BOM) para as famílias de produto acabado.

Fam. Produto acabado =>	Família Produto A	Família Produto B	Família Produto C	Família Produto D	Família Produto E
Família Mat.Prima	Quantidade	Quantidade	Quantidade	Quantidade	Quantidade
Família M.P. 1	470	2574	263	668	364
Família M.P. 2	1225	7673	776	394	238
Família M.P. 3	4	75	11	0	0
Família M.P. 4	14	90	12	87	86
Família M.P. 5	68	223	24	22	21
Família M.P. 6	17	57	2	16	8
Família M.P. 7	6	44	3	0	13
Família M.P. 8	6	21	2	0	0
Família M.P. 9	2	11	2	0	0
Família M.P. 10	0	15	1	0	0

- Os dados utilizados nas variáveis relacionadas à capacidade produtiva do modelo de simulação que estão apresentados nas tabelas 5.4, 5.5, 5.6 e 5.7, são:
  - 1) Tempo de atraso para aumento de capacidade. Este dado informa o tempo médio necessário para realizar o incremento de capacidade até que a mesma atinja o nível desejado. Por exemplo, qual o tempo necessário para que o recurso crítico passe a operar com uma capacidade adicional de 10% em horas extras – variável “Tempo IncrementoCap”.
  - 2) Capacidade total em horas disponíveis no mês para a produção – variáveis “CapacidadeTotal” e “CpTotalPadrao”.
  - 3) Centro de trabalho ou linha produtiva considerada como crítico (gargalo) para cada família de produto acabado – variável “CpRestPorFamilia”.
  - 4) Total de horas utilizadas do centro restritivo para produção de uma unidade de produto – variável “HoraRestrita\_Unid”.

- 5) Capacidade padrão em horas e a taxa de produtividade de cada centro de trabalho crítico – variável “CpPadrao” e “Produtividade”.
- 6) Percentual de utilização da capacidade total em relação à utilização total da capacidade do recurso gargalo, ou seja, qual o percentual de utilização da capacidade total quando o recurso crítico estiver com 100% de utilização – variável “txRelacaoCpRestrita”.
- 7) Total de horas utilizadas da capacidade total para a produção de uma unidade de cada família de produto – variável “HorasTotal\_Unid”.
- 8) Tempo de ciclo de produção para cada família de produto acabado – variável “TCicloProd”.

**Tabela 5.4 – Total de horas disponíveis da capacidade total do mês e tempo de atraso para incremento de horas extras.**

<b>Capacidade total</b>	
Capacidade total padrão (horas) =>	<b>16580</b>
Tempo de atraso p/ aumento de capacid.	<b>1 dia para incremento de horas extras</b>

**Tabela 5.5 – Capacidade padrão dos centros de trabalho para mês e taxa de produtividade por centro.**

<b>Centro de Trabalho</b>	<b>Capacidade padrão (hr)</b>	<b>Taxa de produtividade</b>
Centro 1	4186	0,8
Centro 2	6728	0,8
Centro 3	648	0,8
Centro 4	2316	0,8
Centro 5	2702	0,8

Tabela 5.6 – Dados relacionados aos centros restritos por família de produto.

Centro de Trabalho restrito (gargalo) por família de produto				
Família	Centro restrito	Taxa de relação com a capacid. Total	Horas (unit.) utilizadas do Centro Restrito	Total Horas utilizadas da Capacidade Total
Família Produto A	4	78	8	45,00
Família Produto B	4	61	65	284,00
Família Produto C	4	70	6	30,00
Família Produto D	4	79	3,5	20,00
Família Produto E	4	85	3,5	21,50

Tabela 5.7 – Tempos de ciclo de produção.

Tempo de ciclo de produção		
Família	Tempo	Unid.Medida
Família Produto A	0,50	MÊS
Família Produto B	0,66	MÊS
Família Produto C	0,50	MÊS
Família Produto D	0,23	MÊS
Família Produto E	0,23	MÊS

- Os dados utilizados para realização do calculo do custo do produto segundo o método de custeio por absorção apresentado na tabela 5.8, são:
  - 1) Valor total do ativo imobilizado destinado à produção, ou seja, o ativo cuja depreciação será apropriada ao custo do produto – variável “Imobilizado\_Custo”.
  - 2) Depreciação mensal do ativo destinado à produção – variável “txDepreciacao 2”.
  - 3) Valor total de Gastos Fixos de Produção, definido por média mensal baseado nos históricos contábeis do ano anterior – variável “GastosFixos\_Producao”.
  - 4) Valor Hora Médio da Mão de Obra Direta considerando todos os encargos – variável “VlrHoraMedioMO”.
  - 5) Percentual do custo indireto variável sobre o total dos custos diretos – variável “txCustoIndVariavel”.

Tabela 5.8 – Dados necessários para realização do cálculo de custos.

Valor ativo imobilizado (custo)	Depreciação mensal	Valor total de Gastos Fixos de Produção (média mensal)	Valor Hora Médio da Mão de Obra Direta	Percentual de Custo Indireto e Variável
R\$ 52.140.000,00	R\$ 434.500,00	R\$ 1.200.000,00	104,5	8%

- Os dados utilizados para as variáveis relacionados à avaliação dos resultados financeiros que estão apresentados nas tabelas 5.9, 5.10 e 5.11 são:

- Saldo atual de Contas a Pagar – variáveis “ContasPagar\_Prazo” e “ContasPagar”.
- Prazo médio de pagamento – variável “PrazoMedio\_Pagamento”.
- Saldo atual de Contas a Receber – variável “ContasReceber”.
- Prazo Médio de Recebimento – variável “PrazoMedio”.
- Percentual de inadimplência – variável “txInadimplencia”.
- Depreciação mensal do ativo destinado à despesa – variável “txDepreciacao”.
- Saldo atual do Caixa – variável “Caixa”.
- Percentual de impostos sobre vendas – variável “txImpostos\_SobreVenda”.
- Percentual de comissão sobre vendas – variável “txComiss”.
- Percentual p/ provisão I.R. e CSSL – variável “Provisao\_IRCSSL”.
- Margem de lucro desejada – variável “txMargemDesejada”.
- Despesas administrativas. Foi informado por uma média percentual em relação ao total das despesas administrativa sobre o faturamento – variável “txDepAdm”.
- Despesas com comercialização. Foi informada uma média percentual do total das despesas com comercialização sobre o faturamento – variável “txDespComerc”.
- Despesas financeiras. Foi informada uma média percentual do total das despesas financeira sobre o faturamento – variável “txDespFinan”.

Tabela 5.9 – Dados referentes a fluxo caixa e depreciação.

Contas a Pagar		Contas a Receber			Imobilizado	Caixa
Saldo atual Contas a Pagar	Prazo Médio de Pagamento	Saldo atual Contas a Receber	Prazo Médio de Recebimento	Percentual de inadimplência	Depreciação mensal	Saldo atual do Caixa
R\$ 28.975.968,78	30/60 dias	R\$ 34.494.437,34	30 dias	0,3%	R\$ 10.000,00	R\$ 6.176.500,00

Tabela 5.10 – Percentuais de impostos e margem de lucro desejada.

Percentual de impostos sobre vendas	Percentual de comissão sobre vendas	Percentual p/ provisão I.R. e CSSL	Margem de lucro desejada
27,25%	2,66%	24%	15%

Tabela 5.11 – Percentuais de despesas.

Despesas	Despesas Administrativas	Despesas com Comercialização	Despesas Financeiras
PERCENTUAL	7,0%	8,0%	0,3%

- Os dados referentes à aquisição de empréstimo não foram utilizados nesta simulação para avaliação do modelo.

### 5.3 Simulações

Para construção do modelo de simulação observou-se as recomendações de Freitas Filho (2001), que considera que é preciso assegurar de que o modelo não apresente erros de sintaxe e/ou de lógica e que seja representativo do sistema real que se deseja modelar. As seguintes recomendações ou procedimentos que foram utilizadas durante a construção do modelo são:

- Análise da variabilidade das respostas em função do comportamento de variáveis aleatórias.
- Variar os dados de entrada e verificar se as respostas são adequadas e consistentes.
- Uso de rotinas de rastreamento (trace) ou acompanhamento que a maioria das linguagens de simulação possui de forma a permitir uma visualização dos eventos ocorridos, ordenados pelo tempo de ocorrência.



- Aplicação de testes de continuidade, quando são promovidas pequenas variações incrementais nos parâmetros de entrada para investigar se ocorrem mudanças radicais nos resultados.
- Utilização de testes de degenerescência que consistem em verificar o funcionamento do modelo quando são introduzidos valores extremos em determinadas variáveis.
- Verificação da consistência para constatar se o modelo produz resultados similares em diferentes execuções utilizando os mesmos dados de entrada.
- Análise do comportamento do modelo utilizando diferentes “sementes” para as suas variáveis que geram números “pseudoaleatórios”.
- Uso de rotinas de verificação que consistem em elementos adicionais para alertar o modelador em relação à ocorrência de erros.

Essas recomendações foram executadas em cada experimentação, durante o desenvolvimento do modelo. Um exemplo de verificação realizado para avaliar o comportamento dinâmico do sistema e verificar se as repostas obtidas pela simulação eram as desejadas em função da variação dos dados de entrada é apresentado na figura 5.1. Neste exemplo mostra o comportamento da variável de resposta margem de contribuição unitária durante um período de tempo de simulação. Para cada variável de entrada foi aplicada simultaneamente a função degrau com amplitude do valor do dado de cada variável no início da simulação. Após um período de treze meses o comportamento da variável de resposta entrou em regime e ficou próxima do valor desejado. Considerando todas as variáveis de repostas do modelo, o sistema entrou em regime total após 52 meses de simulação, demonstrando que a lógica do modelo e a sintaxe do modelo construído esta correta.

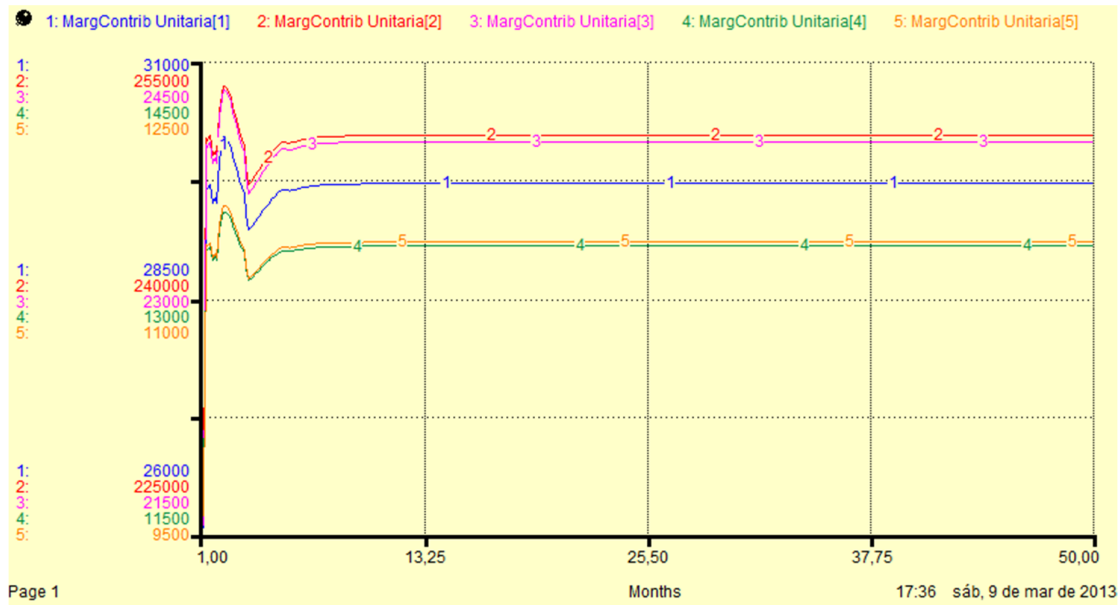


Figura 5.1 – Comportamento dinâmico da variável de resposta Margem de Contribuição Unitária.

Considerando ainda a verificação do modelo de dinâmica de sistema e a proposta de utilização de variáveis probabilísticas na estrutura do modelo referencial para S&OP, outro estudo foi conduzido neste trabalho fundamentado em uma parte da estatística probabilística que estuda o planejamento, execução, análise e interpretação de resultados provenientes de experimentos. A experimentação é uma ciência que oferece suporte probabilístico, ao pesquisador, permitindo fazer inferências sobre o comportamento de diferentes fenômenos da natureza, com grau de incerteza (margem de erro) conhecido.

Como parte da estatística probabilística, o projeto de experimentos é uma metodologia apoiada fortemente em conceitos estatísticos, destinada a otimizar o planejamento, execução e análise de um experimento. O uso de Projeto de Experimentos permite que se estruture a sequência de ensaios, ou no caso deste trabalho simulações, de forma a traduzir os objetivos preestabelecidos pelo pesquisador. A eficiência de experimentos projetos é superior em termos de informação a qualquer outra sequência não estruturada de ensaios (MONTGOMERY, 1976; HICKS, 1973; BOX et al, 1978).

O projeto de experimento denominado fatorial  $2^k$  (MONTGOMERY, 1976; JOHNSON; LEONE, 1977; BOX et al, 1978; VIEIRA, 1999; FREITAS, 2001) foi empregado neste trabalho para auxiliar no planejamento de novas simulações do modelo proposto com a utilização de variáveis probabilísticas e na análise estatística dos resultados obtidos. O projeto de experimento fatorial  $2^k$  foi escolhido por ser um dos procedimentos comumente utilizado em trabalhos com simulação.

As simulações planejadas pelo projeto de experimento foram realizadas utilizando os dados da base de teste especificados na seção anterior.

Para as simulações do projeto de experimento considerando todas as variáveis de entrada foram escolhidas três variáveis relevantes no processo de S&OP que apresentam comportamento probabilístico. Essas variáveis foram modeladas com característica de distribuição normal e são as seguintes: prazo médio de entrega de suprimento, tempo de ciclo de produção e previsão de vendas.

O projeto de experimento é analisado com base em seis indicadores de desempenho considerando os valores totais de um período de 12 meses de planejamento. Esses indicadores de desempenho foram levantados nas entrevistas realizadas nas empresas visitadas como sendo as medidas mais utilizadas. As medidas são as seguintes:

- Lucro líquido;
- Percentual de margem de liquida;
- Percentual de margem de contribuição;
- Percentual de utilização da capacidade do centro de trabalho restrito;
- Percentual de atendimento de plano de vendas;
- Volume de produção.

### **5.3.1 Projeto de experimento fatorial 2k**

Um projeto de experimento fatorial é uma estratégia de experimentação empregada para estudar os efeitos de diferentes fatores sobre uma variável de resposta e também avaliar as interações entre estes fatores (MONTGOMERY 1976; FREITAS F. 2001). Os fatores são as variáveis controladas pelo experimentador que podem afetar as variáveis de resposta. Cada fator apresenta ao menos dois níveis, onde cada nível do fator constitui uma alternativa para aquele fator. As variáveis de respostas são os valores apresentados por algumas variáveis previamente eleitas, tais como indicadores de desempenho, por meio das quais são observados os resultados de um experimento.

Um dos tipos de projetos de experimentos fatoriais existente é o projeto fatorial  $2^k$ , o qual consiste de uma estratégia de experimentação utilizada para determinar o efeito de  $k$  fatores, cada um dos quais com duas alternativas ou níveis. Este tipo de projeto fatorial foi empregado neste trabalho para analisar os efeitos de três variáveis que são preponderantes no

processo de S&OP, sobre os indicadores de desempenho (variáveis de resposta) que foram definidas anteriormente para avaliar os planos gerados pela simulação.

As três variáveis de entradas selecionadas como os fatores do projeto fatorial são: previsão de vendas, plano de estoque, e cobertura do estoque de matéria-prima. As variáveis selecionadas foram observadas como estratégicas para o S&OP pelos gestores das empresas.

Visto que cada fator necessita de duas alternativas no projeto fatorial  $2^k$ , conforme descrito anteriormente, foram proposto os seguintes planos para as variáveis do processo de S&OP eleitas como fatores para esse projeto de experimento:

- Dois planos de previsão de vendas foram elaborados por meio da utilização do método de previsão Winter e foram denominados de “previsão de vendas 0” e “previsão de vendas 1” conforme os valores apresentados mensalmente nas tabelas 5.12 e 5.13 para o período de planejamento definido de doze meses. Essa variável tem comportamento de distribuição normal tendo como valor médio os valores descritos mês a mês nas tabelas 5.12 e 5.13, e um desvio padrão de 10%.

**Tabela 5.12 – Previsão de vendas 0.**

<i>Previsão de vendas - 0</i>												
Família de produto	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4	Mês 5	Mês 6	Mês 7	Mês 8	Mês 9	Mês 10	Mês 11	Mês 12
Família Produto A	18	25	13	16	18	37	31	40	40	30	42	23
Família Produto B	29	12	12	15	9	11	16	28	28	44	36	19
Família Produto C	17	9	8	9	7	13	13	16	16	18	23	28
Família Produto D	4	3	2	6	6	22	23	27	20	14	8	4
Família Produto E	3	2	2	3	6	16	22	14	20	19	11	8

**Tabela 5.13 – Previsão de vendas 1**

<i>Previsão de vendas - 1</i>												
Família de produto	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4	Mês 5	Mês 6	Mês 7	Mês 8	Mês 9	Mês 10	Mês 11	Mês 12
Família Produto A	22	30	16	19	22	44	37	48	48	36	50	28
Família Produto B	35	14	14	18	11	13	19	34	34	53	43	23
Família Produto C	20	11	10	11	8	16	16	19	19	22	28	34
Família Produto D	5	4	2	7	7	26	28	32	24	17	10	5
Família Produto E	4	2	2	4	7	19	26	17	24	23	13	10

- Dois planos de estoque foram sugeridos para o segundo fator conforme apresentado nas tabelas 5.14 e 5.15, e analogamente esses planos foram denominados de “plano de estoque 0” e “plano de estoque 1”

Tabela 5.14 – Plano de estoque 0.

<i>Plano de Estoque - 0</i>												
Família de produto	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4	Mês 5	Mês 6	Mês 7	Mês 8	Mês 9	Mês 10	Mês 11	Mês 12
Família Produto A	60	61	75	84	92	84	81	66	50	44	23	26
Família Produto B	21	31	39	45	57	67	72	65	58	32	14	15
Família Produto C	11	17	25	31	40	42	44	45	45	43	35	20
Família Produto D	21	31	39	46	51	49	40	40	27	13	12	15
Família Produto E	11	20	34	47	58	54	42	38	22	6	3	4

Tabela 5.15 – Plano de estoque 1.

<i>Plano de Estoque - 1</i>												
Família de produto	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4	Mês 5	Mês 6	Mês 7	Mês 8	Mês 9	Mês 10	Mês 11	Mês 12
Família Produto A	22	22	19	28	34	43	44	44	45	38	33	26
Família Produto B	21	16	14	14	14	22	29	40	43	40	34	24
Família Produto C	14	10	10	12	13	17	18	20	23	28	27	22
Família Produto D	4	4	6	14	20	29	28	24	17	10	6	4
Família Produto E	3	3	4	10	18	21	22	21	20	15	9	5

- Para o terceiro fator, para o qual foi selecionado a variável de entrada cobertura do estoque de matéria-prima, foram propostos duas alternativas sendo a primeira um nível de cobertura de estoque desejado de 1 mês e o segundo um nível de 2 meses.

Assim temos duas alternativas ou dois níveis para cada um dos fatores, conforme se apresenta na tabela 5.16.

Tabela 5.16 – Fatores e níveis do projeto de experimento fatorial 2k

Fatores		Nível 1	Nível 2
<b>Fator A</b>	Previsão de vendas	(A <sub>0</sub> ) – Previsão de vendas 0	(A <sub>1</sub> ) – Previsão de vendas 1
<b>Fator B</b>	Plano de estoque	(B <sub>0</sub> ) – Plano de estoque 0	(B <sub>1</sub> ) – Plano de estoque 1
<b>Fator C</b>	Cobertura de estoque para matéria-prima	(C <sub>0</sub> ) – 1 Mês	(C <sub>1</sub> ) – 2 Meses

Como consequência do projeto de experimento de três fatores com dois níveis (2<sup>3</sup>), oito tratamentos (termo utilizado em estatística para indicar o que está em comparação), tal como máquinas, métodos, produtos ou materiais foram gerados para a análise pela combinação dos três fatores com os dois níveis apresentadas na tabela 5.16, os quais são sumarizados na tabela 5.17.

Tabela 5.17 – Tratamentos gerados para o projeto de experimento fatorial  $2^k$ 

Fator A = Previsão de Vendas	Fator B = Plano de estoque de produto acabado			
	B <sub>0</sub>		B <sub>1</sub>	
	Fator C = Cobertura do estoque de matéria-prima			
	C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>
A <sub>0</sub>	A <sub>0</sub> B <sub>0</sub> C <sub>0</sub>	A <sub>0</sub> B <sub>0</sub> C <sub>1</sub>	A <sub>0</sub> B <sub>1</sub> C <sub>0</sub>	A <sub>0</sub> B <sub>1</sub> C <sub>1</sub>
A <sub>1</sub>	A <sub>1</sub> B <sub>0</sub> C <sub>0</sub>	A <sub>1</sub> B <sub>0</sub> C <sub>1</sub>	A <sub>1</sub> B <sub>1</sub> C <sub>0</sub>	A <sub>1</sub> B <sub>1</sub> C <sub>1</sub>

Estes tratamentos consistem em oito cenários de S&OP que foram utilizados como dados de entrada para o modelo de simulação proposto. Por meio da simulação esses cenários serão submetidos a análise de suas restrições de capacidade e de materiais para cada família de produtos, onde serão gerados, pela simulação, planos de produção (considerando volume e capacidade), plano de suprimentos e propostas de ajustes nos planos de vendas e estoques inicialmente planejados. Os planos de vendas e estoque inseridos como dados de entrada são ajustados durante a execução da simulação em função das restrições inseridas no modelo. Com a simulação de cada cenário será obtido também os resultados de cada indicador de desempenho, necessários para a análise do experimento.

Num processo de análise de resultados obtidos por meio de simulação é fundamental a determinação de intervalos de confiança para as variáveis de interesse (indicadores de desempenho) que medem o desempenho do sistema (BOX et al, 1978; FREITAS F. 2001). Um intervalo de confiança compreende um intervalo numérico que possui uma probabilidade igual a  $(1-\alpha)$  de incluir o verdadeiro valor da variável ou indicador de desempenho sob análise, onde,  $(1-\alpha)$  é denominado o nível de confiança do intervalo (VIEIRA 1999; FREITAS F. 2001). Dessa forma,  $\alpha$  será o erro admitido ao se concluir sobre a presença do verdadeiro valor da variável no intervalo calculado, denominado nível de significância.

A largura de um intervalo de confiança é influenciada por três fatores (FREITAS F. 2001):

- O número de replicações realizadas nas simulações;
- O nível de confiança predefinido;
- A variação associada ao indicador de desempenho sob análise.

O relacionamento entre esses fatores ocorre da seguinte maneira:

- Na medida em que se aumenta o número de replicações, reduz-se a largura do intervalo de confiança;

- Na medida em que o nível de confiança aumenta, também aumenta a largura do intervalo de confiança;
- Na medida em que a variação aumenta, cresce a largura do intervalo de confiança.

A variância do indicador de desempenho de um modelo de simulação é dependente dos parâmetros deste modelo. Não sendo possível modificar os elementos do modelo que alterem sua natureza estocástica, a largura do intervalo de confiança fica em função de alterações do número de replicações e do nível de confiança desejado aos resultados. Desta maneira, se o nível de confiança for fixado, um maior número de replicações resultará num menor intervalo de confiança.

Visto que o número de replicações realizadas numa simulação é um fator relevante na determinação do intervalo de confiança, em sistema de natureza estocástica, foi escolhido um número de 10 replicações para o experimento realizado, sendo assim, para cada tratamento ou cenário do experimento fatorial foram realizadas 10 simulações, sendo que nestas simulações o estado inicial do sistema permanece sempre o mesmo, alterando-se apenas as sementes dos geradores de números aleatórios em cada simulação. Para os testes estatísticos realizados com o experimento foi fixado um nível de confiança de 95%.

### **5.3.2 Análise do projeto de experimento fatorial**

A análise do experimento fatorial, como já descrito, foi feita com base nos indicadores de desempenho “lucro líquido”, “percentual de margem de liquida”, “percentual de margem de contribuição”, “percentual de utilização da capacidade do centro de trabalho restrito”, “percentual de atendimento do plano de vendas”, e “volume de produção”. Os resultados destas medidas foram obtidos por meio das simulações executadas com os tratamentos gerados no experimento fatorial. Os resultados obtidos em cada simulação são apresentados no apêndice III e os valores médios das medidas são apresentados na tabela 5.18, para cada tratamento da tabela 5.17.

**Tabela 5.18 – Resultados dos indicadores de desempenho obtidos nas simulações realizadas com cada cenário do experimento fatorial.**

Planos	Lucro Líquido	% Margem	% Margem	% Utiliz.	% Atend. Plano	Volume Produção
	Total	Líquida	Contribuição	Cap.Restrita	Vendas	
A <sub>0</sub> B <sub>0</sub> C <sub>0</sub>	13.739.395,99	6,79	28,30	95,21	100,00	1.006,80
A <sub>0</sub> B <sub>0</sub> C <sub>1</sub>	14.691.322,71	7,25	28,70	75,92	100,00	1.012,10
A <sub>0</sub> B <sub>1</sub> C <sub>0</sub>	10.816.290,99	5,35	27,68	108,82	99,95	1.028,00
A <sub>0</sub> B <sub>1</sub> C <sub>1</sub>	12.645.545,27	6,23	28,71	84,27	100,00	1.029,30
A <sub>1</sub> B <sub>0</sub> C <sub>0</sub>	21.843.267,22	8,95	29,53	119,95	100,00	1.217,70
A <sub>1</sub> B <sub>0</sub> C <sub>1</sub>	23.259.964,66	9,50	30,03	94,58	100,00	1.228,30
A <sub>1</sub> B <sub>1</sub> C <sub>0</sub>	19.901.326,49	8,27	28,77	131,65	99,23	1.227,50
A <sub>1</sub> B <sub>1</sub> C <sub>1</sub>	21.923.018,96	8,95	29,89	102,49	100,00	1.239,30

A análise destes dados foi realizada com ajuda de um método estatístico denominado análise de variância, que visa fundamentalmente, verificar se existe uma diferença significativa entre as médias, e se os fatores exercem influência em alguma variável dependente (SCHEFFÉ 1959; VIEIRA 1999). Em outras palavras, a análise de variância é utilizada quando se quer decidir se as diferenças dos resultados observadas são reais (causadas por diferenças significativas) ou casuais (decorrentes da mera variabilidade amostral). Deste modo, essa análise parte do hipótese que o acaso só produz pequenos desvios, sendo as grandes diferenças provocadas por causas reais.

Neste experimento fatorial, oito cenários de S&OP estão em comparação com o objetivo de se avaliar os efeitos das variáveis de entrada escolhidas do modelo proposto (fatores) sobre os indicadores de desempenho e comparar quais dos cenários planejados possui o melhor desempenho.

Esta avaliação é realizada aplicando-se, primeiramente, a análise de variância sobre cada indicador de desempenho, para verificar se os resultados obtidos nestas medidas com os diferentes tratamentos não são iguais entre si. Assim, a análise de variância realizada sobre cada medida é apresentada na tabela 5.19, 5.20, 5.21, 5.22, 5.23 e 5.24.

**Tabela 5.19 – Análise de variância dos dados do indicador de desempenho “lucro líquido”.**

Causas de variação	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	7	1.518.683.485.487.000,00	216.954.783.641.001,00	634,57
Resíduo	72	24.616.153.639.308,00	341.891.022.768,17	
Total	79	1.543.299.639.126.310,00		



**Tabela 5.20 – Análise de variância dos dados do indicador de desempenho “percentual de margem líquida”.**

<b>Causas de variação</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>
Tratamentos	7	153,65	21,95	345,59
Resíduo	72	4,57	0,06	
Total	79	158,22		

**Tabela 5.21 – Análise de variância dos dados do indicador de desempenho “Percentual de margem de contribuição”.**

<b>Causas de variação</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>
Tratamentos	7	45,55	6,51	108,98
Resíduo	72	4,30	0,06	
Total	79	49,85		

**Tabela 5.22 – Análise de variância dos dados do indicador de desempenho “Percentual de utilização da capacidade do centro de trabalho restrito”.**

<b>Causas de variação</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>
Tratamentos	7	23.430,71	3.347,24	1.746,78
Resíduo	72	137,97	1,92	
Total	79	23.568,67		

**Tabela 5.23 – Análise de variância dos dados do indicador de desempenho “Percentual de atendimento do plano de vendas”.**

<b>Causas de variação</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>
Tratamentos	7	5,08	0,73	141,95
Resíduo	72	0,37	0,01	
Total	79	5,44		

**Tabela 5.24 – Análise de variância dos dados do indicador de desempenho “Volume de produção”.**

<b>Causas de variação</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>
Tratamentos	7	900.328,40	128.618,34	2.380,72
Resíduo	72	3.889,80	54,02	
Total	79	904.218,20		

A interpretação destas tabelas de análise de variância é realizada comparando-se o valor de “F” obtido em cada análise com o valor crítico de “F” correspondente. Este valor crítico de “F” é adquirido em uma “Tabela de F” relacionada com o nível de significância desejado (SCHEFFÉ 1959), cujos valores de “F” estão associados ao número de graus de liberdade de tratamentos (numerador) e ao número de graus de liberdade do resíduo (denominador).

Consultando-se o valor crítico de “F” ao nível de significância de 5 % na “Tabela F”, com 7 (tratamentos) e 72 (resíduo) graus de liberdade, encontra-se o valor 2,09. Como o valor de “F” calculado em cada análise apresentada anteriormente é maior que 2,09 rejeita-se, com nível de significância de 5 % ou 95 % de confiança, a hipótese de que os valores médios dos indicadores de desempenho são iguais para os diferentes cenários. Em termos mais práticos conclui-se usando o valor de “F” que, ao nível de significância de 5 %, as estratégias de programação empregada não têm, em média, o mesmo desempenho.

Depois de verificado que os tratamentos têm desempenhos diferentes, pode-se desdobrar a análise de variância para avaliar os efeitos de cada fator (A, B e C) e da interação entre eles (A x B, A x C, B x C e A x B x C) (VIEIRA 1999). Esta análise foi realizada novamente para cada indicador de desempenho, e os resultados são apresentados nas tabelas 5.25, 5.26, 5.27, 5.28, 5.29 e 5.30.

**Tabela 5.25 – Análise de variância dos dados do indicador de desempenho “Lucro líquido”.**

<b>Causas de variação</b>	<b>Graus Liberdade</b>	<b>Soma dos Quadrados</b>	<b>Quadrado Médio</b>	<b>F</b>
A	1	1360362850654620,00	1360362850654620,00	3978,94
B	1	48080872091232,00	48080872091232,00	140,63
C	1	85394979348872,00	85394979348872,00	249,77
A x B	1	158225525304,00	158225525304,00	0,46
A x C	1	2410153251736,00	2410153251736,00	7,05
B x C	1	15559362312384,00	15559362312384,00	45,51
A x B x C	1	6717042302852,00	6717042302852,00	19,65
Tratamentos	7	1518683485487000,00	216954783641001,00	634,57
Resíduo	72	24616153639308,00	341891022768,17	
Total	79	1543299639126310,00		

**Tabela 5.26 – Análise de variância dos dados do indicador de desempenho “Percentual de margem líquida”.**

<b>Causas de variação</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>
A	1	126,16	126,16	1.986,28
B	1	16,85	16,85	265,36
C	1	8,27	8,27	130,13
A x B	1	1,88	1,88	29,64
A x C	1	0,02	0,02	0,26
B x C	1	0,37	0,37	5,85
A x B x C	1	0,10	0,10	1,60
Tratamentos	7	153,65	21,95	345,59
Resíduo	72	4,57	0,06	
Total	79	158,22		

**Tabela 5.27 – Análise de variância dos dados do indicador de desempenho “Percentual de margem de contribuição”.**

Causas de variação	GL	SQ	QM	F
A	1	28,94	28,94	484,58
B	1	2,88	2,88	48,24
C	1	11,60	11,60	194,25
A x B	1	0,11	0,11	1,86
A x C	1	0,04	0,04	0,74
B x C	1	1,98	1,98	33,20
A x B x C	1	0,00	0,00	0,00
Tratamentos	7	45,55	6,51	108,98
Resíduo	72	4,30	0,06	
Total	79	49,85		

**Tabela 5.28 – Análise de variância dos dados do indicador de desempenho “Percentual de utilização da capacidade do centro de trabalho restrito”.**

Causas de variação	GL	SQ	QM	F
A	1	8.917,11	8.917,11	4.653,44
B	1	2.160,79	2.160,79	1.127,62
C	1	12.097,62	12.097,62	6.313,20
A x B	1	6,90	6,90	3,60
A x C	1	143,07	143,07	74,66
B x C	1	102,48	102,48	53,48
A x B x C	1	2,73	2,73	1,42
Tratamentos	7	23.430,71	3.347,24	1.746,78
Resíduo	72	137,97	1,92	
Total	79	23.568,67		

**Tabela 5.29 – Análise de variância dos dados do indicador de desempenho “Percentual de atendimento do plano de vendas”.**

Causas de variação	GL	SQ	QM	F
A	1	0,65	0,65	126,64
B	1	0,83	0,83	162,36
C	1	0,65	0,65	126,64
A x B	1	0,65	0,65	126,64
A x C	1	0,83	0,83	162,36
B x C	1	0,65	0,65	126,64
A x B x C	1	0,83	0,83	162,36
Tratamentos	7	5,08	0,73	141,95
Resíduo	72	0,37	0,01	
Total	79	5,44		

**Tabela 5.30 – Análise de variância dos dados do indicador de desempenho “Volume de produção”.**

Causas de variação	GL	SQ	QM	F
A	1	895.491,20	895.491,20	16.575,50
B	1	3.050,45	3.050,45	56,46
C	1	460,80	460,80	8,53
A x B	1	938,45	938,45	17,37
A x C	1	45,00	45,00	0,83
B x C	1	61,25	61,25	1,13
A x B x C	1	281,25	281,25	5,21
Tratamentos	7	900.328,40	128.618,34	2.380,72
Resíduo	72	3.889,80	54,02	
Total	79	904.218,20		

Comparando-se os valores de “F” de cada tabela com o valor crítico de “F”, verifica-se que, para todos os indicadores de desempenho os fatores A, B e C influenciam os resultados obtidos a um nível de significância de 5%. Com relação às interações entre esses fatores, nota-se pela comparação do valor de F que essas interações têm influências diferentes em cada indicador de desempenho, como por exemplo, a interação dos fatores A e B contribuem significativamente com os resultados obtidos no indicador de desempenho “percentual de margem líquida”, mas não tem influência significativa no indicador de desempenho “lucro líquido”. Assim, pode-se concluir de uma maneira geral que as variações sofridas pelos indicadores de desempenho são devidas às variáveis de entrada previsão de vendas, plano de estoque e cobertura de estoque de matéria-prima, o que demonstra estar em consenso com as práticas empresariais.

Sabendo-se que os fatores A, B e C são responsáveis pelos resultados obtidos nos indicadores de desempenho, pode-se verificar qual dos níveis destes fatores proporciona o melhor desempenho, ou seja, entre os cenários de S&OP analisados nas simulações, qual obteve melhor resultado nos indicadores de desempenho.

Esta análise é realizada comparando-se o valor médio dos indicadores de desempenho de cada tratamento por meio de um teste estatístico. Este teste é um método que fornece a *diferença mínima significativa* (d.m.s.) entre duas médias. Essa diferença é utilizada como um instrumento de medida. Toda vez que o valor absoluto da diferença entre duas médias é igual ou maior do que a diferença mínima significativa, as médias são consideradas estatisticamente diferentes, ao nível de significância estabelecida.

O teste estatístico utilizado neste trabalho foi o teste de Tukey (VIEIRA 1999), que fornece o valor de d.m.s. pela fórmula:

$$d.m.s. = q\sqrt{\frac{QMR}{n}}$$

onde  $q$  é o valor dado na “Tabela Q” ao nível de significância estabelecido,  $QMR$  é o quadrado médio do resíduo da análise de variância e  $n$  é o número de repetições de cada um dos tratamentos. O teste de Tukey, baseado na amplitude total estudentizada (“studentized range”, em inglês) pode ser utilizado para comparar todo e qualquer contraste entre duas médias de tratamentos. O teste é exato e de uso muito simples quando o número de repetições é o mesmo para todos os tratamentos.

A análise realizada em cada indicador de desempenho com auxílio deste teste estatístico é apresentada a seguir.

- **Indicador de desempenho “Lucro líquido”**

As diferenças existentes entre cada média do lucro líquido obtido nos tratamentos simulados foram comparadas com a d.m.s. de 793.233,67 calculada pelo teste de Tukey considerando um nível de significância de 5 %.

Lembrando que o nível zero significa a utilização dos planos denominados de “previsão de vendas 0”, “plano de estoque 0” e 1 mês de cobertura de estoque de matéria-prima, e o nível um significa a utilização dos planos “previsão de vendas 1”, “plano de estoque 1” e cobertura de 2 meses, pode-se concluir, comparando as médias deste indicador de desempenho apresentada graficamente na figura 5.2 pelo teste de Tukey, que o lucro líquido é significativamente maior no cenário que utiliza o plano de vendas 1, com o plano de estoque 0 e com cobertura de estoque de matéria-prima de 2 meses.

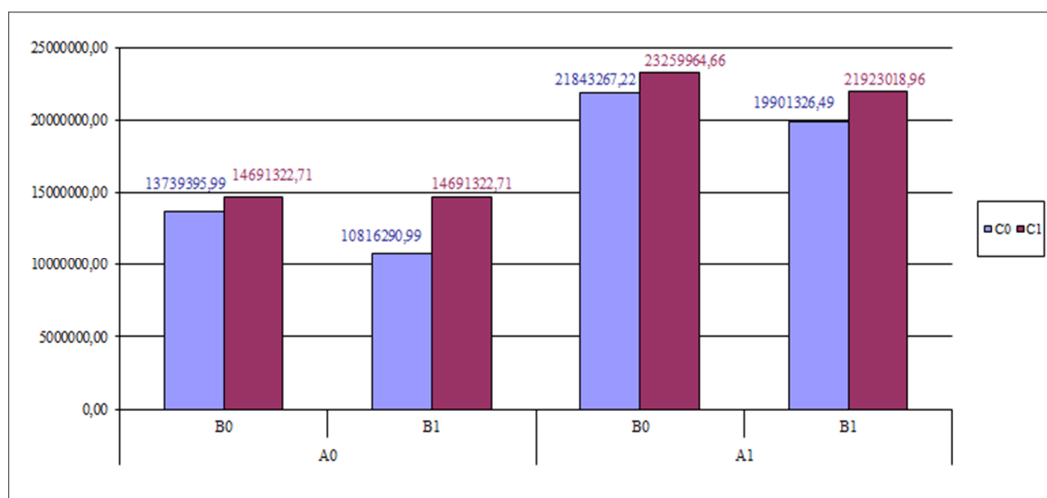


Figura 5.2 – Gráfico das médias do indicador de desempenho “lucro líquido”.

- **Indicador de desempenho “Percentual de margem líquida”**

As diferenças existentes entre cada média do percentual de margem líquida obtido nos tratamentos simulados foram comparadas com a d.m.s. de 0,34 calculada pelo teste de Tukey.

Comparando-se as médias deste indicador de desempenho apresentada graficamente na figura 5.3 pelo teste de Tukey, pode-se concluir que o percentual de margem líquida é significativamente maior no cenário que utiliza o plano de vendas 1 com o plano de estoque 0 e com cobertura de estoque de matéria-prima de 2 meses.

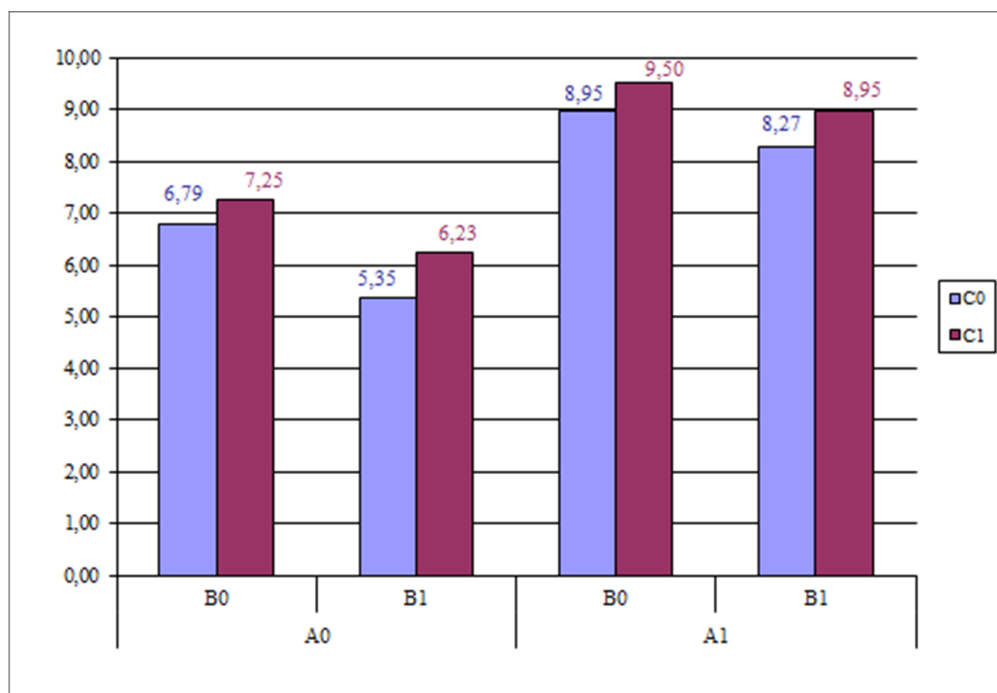


Figura 5.3 – Gráfico das médias do indicador de desempenho “percentual de margem líquida”.

- **Indicador de desempenho “Percentual da margem de contribuição”**

As diferenças existentes entre cada média do percentual da margem de contribuição obtido nos cenários simulados foram comparadas com a d.m.s. de 0,33 calculada pelo teste de Tukey.

Comparando-se as médias deste indicador de desempenho apresentada graficamente na figura 5.4 pelo teste de Tukey, pode-se concluir que o percentual da margem de contribuição é significativamente maior no cenário que utiliza o plano de vendas 1, com o plano de estoque 0 e com cobertura de estoque de matéria-prima de 2 meses.

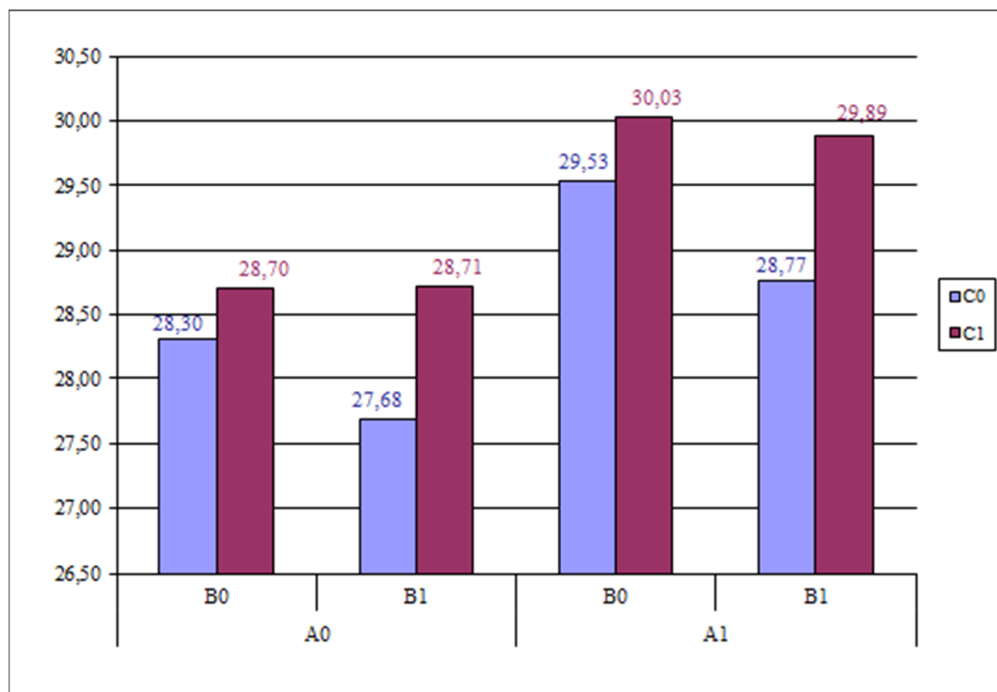


Figura 5.4 – Gráfico das médias do indicador de desempenho “percentual da margem de contribuição”.

- **Indicador de desempenho “Percentual de utilização da capacidade do centro de trabalho restrito”**

As diferenças existentes entre cada média do percentual de utilização da capacidade do centro de trabalho restrito obtido nos cenários simulados foram comparadas com a d.m.s. de 1,88 calculada pelo teste de Tukey.

Comparando-se as médias deste indicador de desempenho apresentada graficamente na figura 5.5 pelo teste de Tukey, pode-se concluir que os percentuais de utilização da capacidade são significativamente diferentes e apresenta a melhor utilização da capacidade, considerando com um percentual mais próximo de 100, o cenário que utiliza o plano de vendas 1, com o plano de estoque 1 e com cobertura de estoque de matéria-prima de 2 meses.

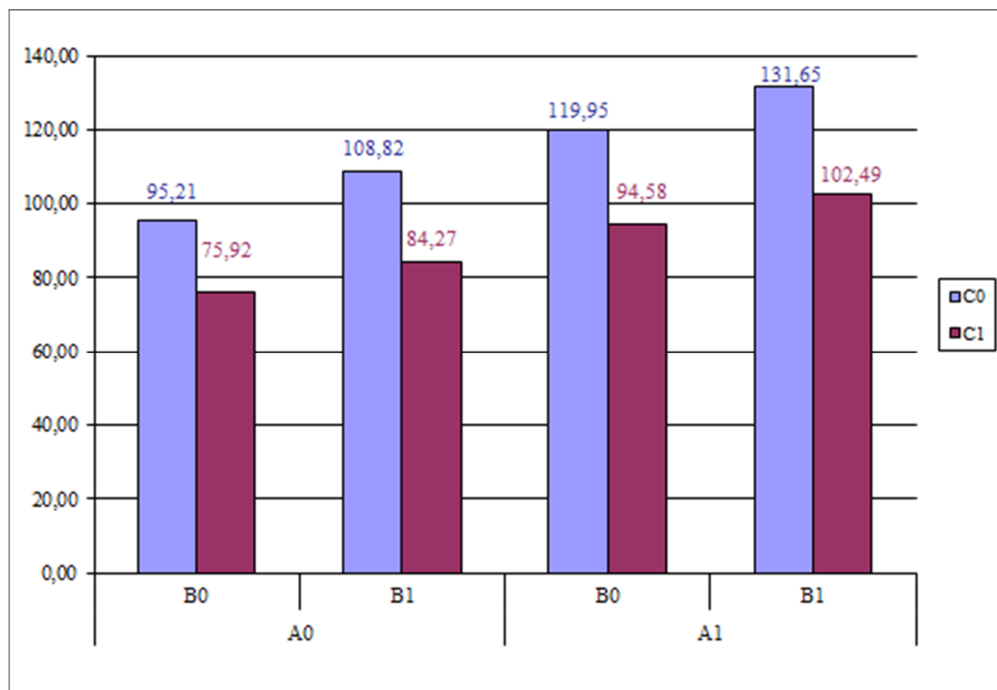


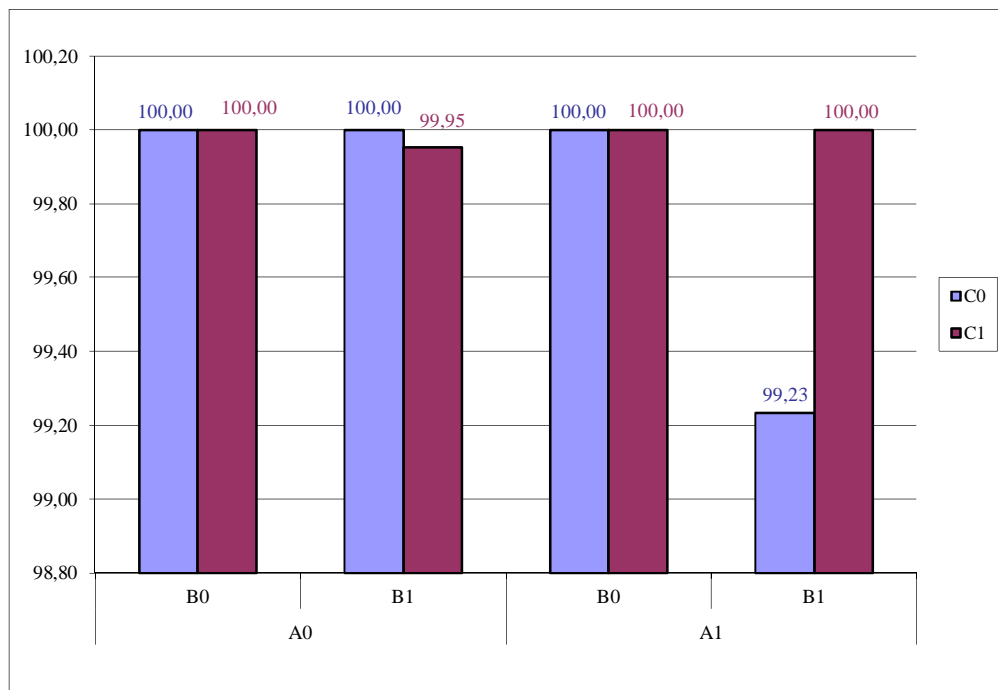
Figura 5.5 – Gráfico das médias do indicador de desempenho “Percentual de utilização da capacidade do centro de trabalho restrito”.

- **Indicador de desempenho “Percentual de atendimento do plano de vendas”**

As diferenças existentes entre cada média do percentual de margem da margem de contribuição obtido nos cenários simulados foram comparadas com a d.m.s. de 0,10 calculada pelo teste de Tukey.

Comparando-se as médias deste indicador de desempenho apresentada graficamente na figura 5.6 pelo teste de Tukey, pode-se verificar que em apenas dois cenários existem diferença nos resultados obtidos, e que nos demais nota-se que os planos de vendas foram cumpridos em sua totalidade.





**Figura 5.6 – Gráfico das médias do indicador de desempenho “percentual de atendimento do plano de vendas”.**

- **Indicador de desempenho “Volume de produção”**

As diferenças existentes entre cada média do volume de produção obtido nos cenários simulados foram comparadas com a d.m.s. de 9,97 calculada pelo teste de Tukey.

Comparando-se as médias deste indicador de desempenho apresentada graficamente na figura 5.7 pelo teste de Tukey, pode-se concluir que o volume de produção é significativamente maior no cenário que utiliza o plano de vendas 1, com o plano de estoque 1 e com cobertura de estoque de matéria-prima de 2 meses.

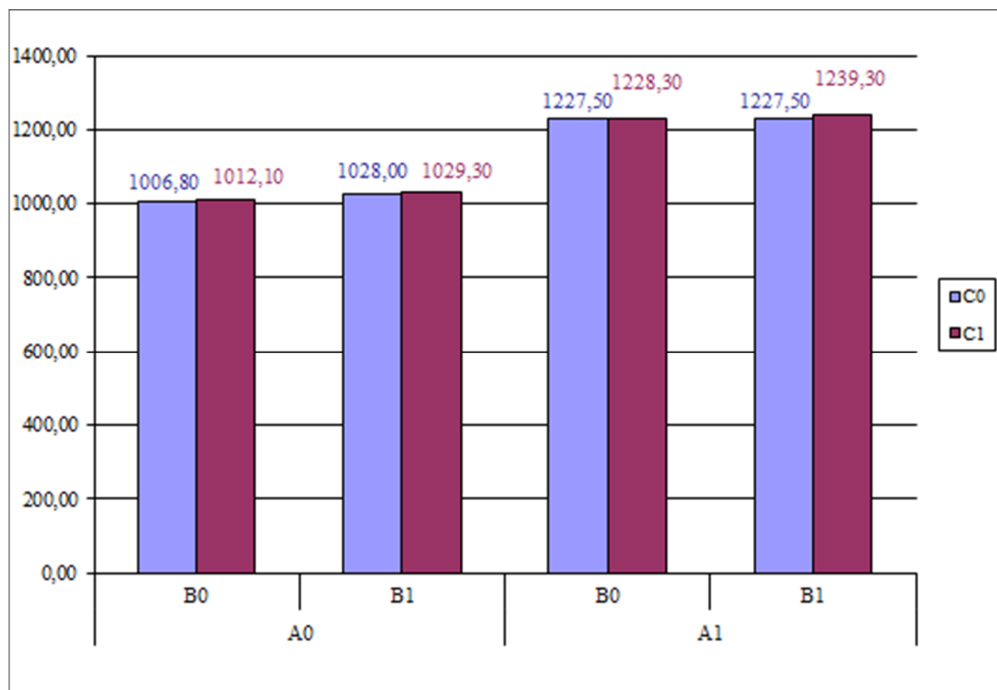


Figura 5.7 – Gráfico das médias do indicador de desempenho “volume de produção”.

Tomando como base as práticas empresárias, nota-se que a escolha do melhor cenário do S&OP é influenciada fortemente pelos indicadores de desempenho relacionados aos resultados financeiros, considerada no experimento como margem líquida e margem de contribuição. Neste critério, o melhor cenário do experimento realizado foi o que considerou a combinação da variável previsão de vendas como o “previsão de vendas 1”, a variável plano de estoque como o “plano de estoque 0” e para variável cobertura de estoque de matéria-prima a cobertura de 2 meses.

Além dos indicadores de desempenho utilizados no experimento, outras análises podem ser realizadas como mais detalhes utilizando o modelo proposto. Considerando o cenário escolhido no projeto de experimento, por exemplo, pode-se avaliar um demonstrativo de resultado (DRE) gerado mês a mês pela simulação, apresentado na tabela 5.31, como também outros índices como EBTIDA, margem de contribuição por família de produto acabado, e margem líquida por famílias. Para ilustrar os resultados da simulação, são apresentados nas figuras 5.8 e 5.9, o percentual de margem de contribuição e margem líquida para as famílias de produto 1 e 2.

Tabela 5.31 – Demonstrativo de Resultado do Exercício (DRE) obtido por 1 simulação do cenário escolhido.

Months	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ReceitaBruta Total	33.315.988,43	16.227.529,12	15.155.548,05	18.534.221,07	12.663.855,64	19.288.501,60	23.220.389,34	37.053.086,27	38.673.703,86	51.562.677,81	45.938.788,60	25.639.629,03
ImpostosSobreVenda Total	9.078.606,85	4.422.001,69	4.129.886,84	5.050.575,24	3.450.900,66	5.256.116,69	6.327.556,10	10.096.966,01	10.538.584,30	14.050.829,70	12.518.319,89	6.986.798,91
ReceitaLiquida Total	24.237.381,58	11.805.527,44	11.025.661,21	13.483.645,83	9.212.954,98	14.032.384,91	16.892.833,25	26.956.120,26	28.135.119,56	37.511.848,11	33.420.468,71	18.652.830,12
CustosProdutos Vendidos Total	14.442.719,69	7.267.871,54	7.067.909,15	8.569.322,85	5.922.028,42	8.922.824,11	10.648.865,41	16.650.352,37	17.269.757,97	22.967.241,19	21.028.452,76	12.802.397,69
LucroBruto Total	9.794.661,89	4.537.655,89	3.957.752,06	4.914.322,97	3.290.926,56	5.109.560,81	6.243.967,83	10.305.767,89	10.865.361,59	14.544.606,92	12.392.015,95	5.850.432,43
Despesas Administrativas	2.332.119,19	1.135.927,04	1.060.888,36	1.297.395,47	886.469,90	1.350.195,11	1.625.427,25	2.593.716,04	2.707.159,27	3.609.387,45	3.215.715,20	1.794.774,03
Despesas Comerciais	2.665.279,07	1.298.202,33	1.212.443,84	1.482.737,69	1.013.108,45	1.543.080,13	1.857.631,15	2.964.246,90	3.093.896,31	4.125.014,22	3.675.103,09	2.051.170,32
Despesas Financeiras	99.947,97	48.682,59	45.466,64	55.602,66	37.991,57	57.865,50	69.661,17	111.159,26	116.021,11	154.688,03	137.816,37	76.918,89
Depreciacao Despesas	10.000,00	10.000,00	10.000,00	10.000,00	10.000,00	10.000,00	10.000,00	10.000,00	10.000,00	10.000,00	10.000,00	10.000,00
TotComissoes	886.205,29	431.652,27	403.137,58	493.010,28	336.858,56	513.074,14	617.662,36	985.612,09	1.028.720,52	1.371.567,23	1.221.971,78	682.014,13
DepesasGerais	5.993.551,52	2.924.464,23	2.731.936,43	3.338.746,10	2.284.428,47	3.474.214,89	4.180.381,93	6.664.734,29	6.955.797,21	9.270.656,93	8.260.606,43	4.614.877,37
ResultadoOperacional Total	3.801.110,37	1.613.191,66	1.225.815,63	1.575.576,87	1.006.498,09	1.635.345,92	2.063.585,91	3.641.033,60	3.909.564,37	5.273.949,99	4.131.409,52	1.235.555,06
ImpostosIRCCSSL Total	912.266,49	387.166,00	294.195,75	378.138,45	241.559,54	392.483,02	495.260,62	873.848,06	938.295,45	1.265.748,00	991.538,28	298.928,49
LucroLiquido Total	2.888.843,88	1.226.025,66	931.619,88	1.197.438,42	764.938,55	1.242.862,90	1.568.325,29	2.767.185,53	2.971.268,92	4.008.201,99	3.139.871,23	936.626,56
MargemLiquida Total	11,96	10,37	8,41	8,87	8,28	8,85	9,28	10,27	10,55	10,66	9,38	4,99
EBTIDA	4.345.558,33	2.106.374,25	1.715.782,28	2.075.679,53	1.488.989,65	2.137.711,42	2.577.747,08	4.196.692,86	4.470.085,49	5.873.138,02	4.713.725,88	1.756.973,95
Margem EBTIDA	18,00	17,83	15,53	15,40	16,15	15,23	15,25	15,57	15,88	15,64	14,09	9,38

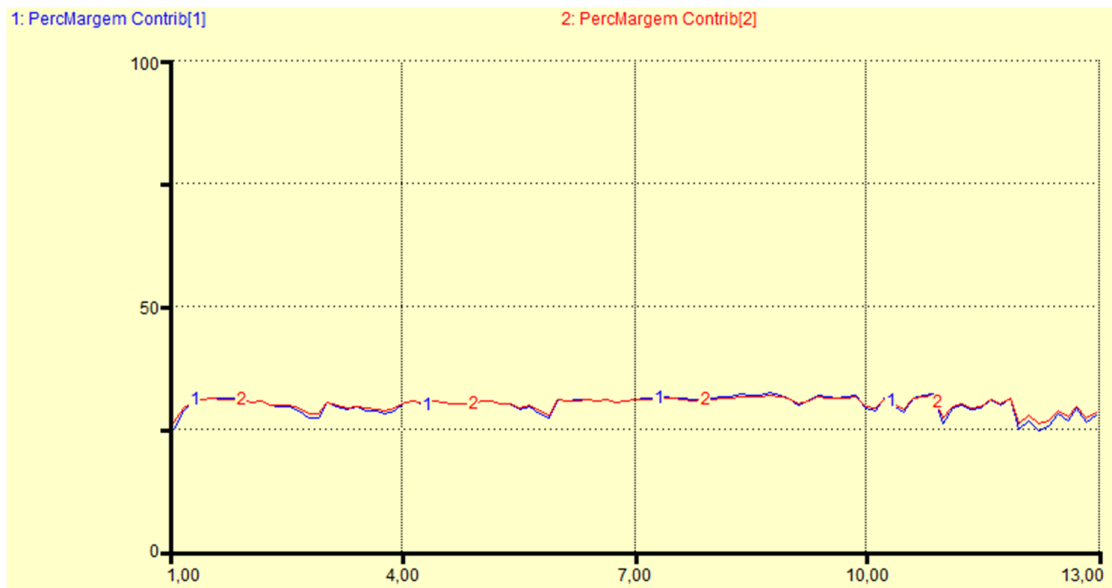


Figura 5.8 – Percentual de margem de contribuição obtidas na simulação para a família de produto 1 e 2.

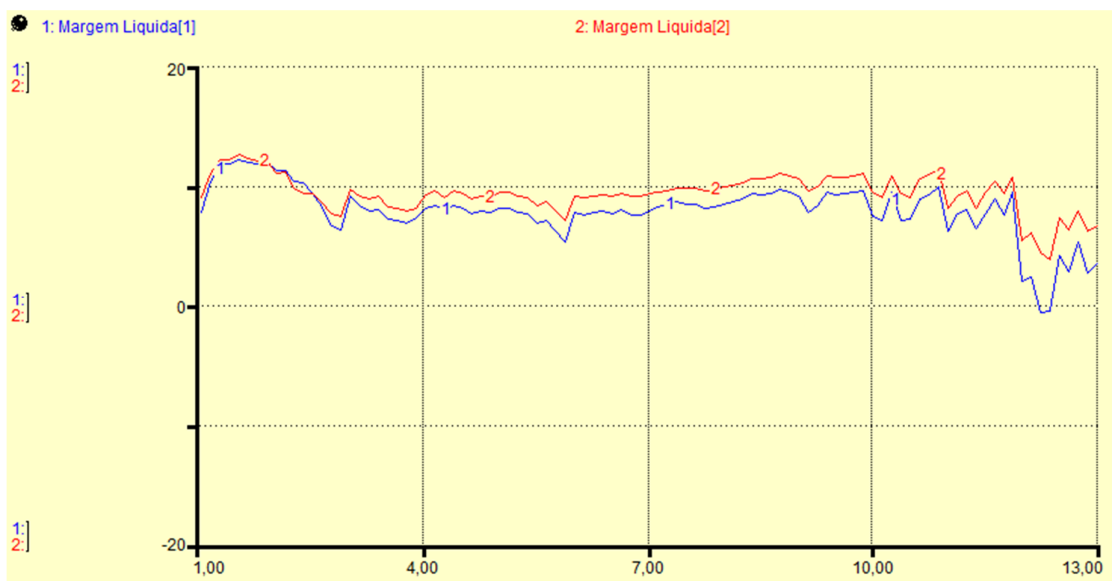


Figura 5.9 – Percentual de margem de liquida obtidas na simulação para a família de produto 1 e 2.

## 5.4 Avaliação do modelo referencial pelas empresas

Nesta seção são apresentados os casos ilustrativos realizados em duas empresas com suas respectivas análises, com o objetivo de responder a pergunta de pesquisa definida neste trabalho como sendo “*A visão holística proporcionada pelo uso da simulação de dinâmica de sistemas pode auxiliar na elaboração dos planos do processo de S&OP?*”

### 5.4.1 Empresa A

A empresa A é uma multinacional de grande porte, fabricante de eletrodomésticos com característica MTS. Seu sistema produtivo trabalha com uma grande variedade de produtos e altos volumes de produção. É uma das líderes no segmento de mercado em que atua.

A empresa pratica o processo de S&OP há 10 anos, e segue a maioria das premissas para a execução do processo apresentadas na revisão conceitual e bibliográfica deste trabalho.

Atualmente a empresa aloca dezenas de pessoas para coleta e preparação de dados para o processo S&OP. Os dados são extraídos principalmente do seu sistema ERP (*Enterprise Resource Planning*) e a principal ferramenta usada para preparação dos dados para S&OP e para elaboração dos planos são as planilhas eletrônicas.

O processo atual do S&OP é realizado inicialmente em áreas separadas, como a elaboração do plano de vendas e na sequência o plano de produção/estoque e plano de compras considerando que os planos são construídos de forma desagregada, ou seja, em nível de SKU (*Stock Keeping Unit*). Após a elaboração dos planos são realizados ajustes de modo alinhar as necessidades de vendas à capacidade de produção por meio da interação dos gestores responsáveis pelas áreas. Após os ajustes são definidos um ou dois cenários de planejamento, os quais são encaminhados à área financeira para valorização monetária de cada cenário e então são encaminhados para reunião executiva para aprovação. Este processo atualmente é realizado num período de 20 a 25 dias e a empresa busca por novas soluções para a redução do tempo e do número de pessoas envolvidas.

Para a análise e avaliação do modelo de Dinâmica de Sistemas pela empresa, foi realizado uma reunião com o coordenador do processo de S&OP, um representante da área financeira e um representante da área de TI.

Antes do dia da reunião para a demonstração do modelo foi solicitado, pelo coordenador do S&OP, as planilhas com os dados da base de teste que são usadas na simulação. O objetivo desta solicitação era comparar as variáveis e valores utilizados no modelo com as variáveis usadas no processo de S&OP da empresa para verificar se eram compatíveis com a prática da empresa.

No dia da reunião, foi apresentado o modelo considerando a elaboração de planos agregados e inter-relacionados das diversas áreas envolvidas no processo S&OP, e o detalhamento das variáveis e os valores a serem utilizados na simulação. Em seguida, foram realizadas várias simulações como demonstração com o objetivo de apresentar o comportamento e os resultados dos indicadores de desempenho nas interfaces do modelo durante e após a execução da simulação.

Após a demonstração, foram escolhidas pelos participantes da empresa, algumas variáveis de entrada para serem alteradas, e em cada mudança do valor da variável verificava-se o comportamento do indicador de desempenho para um horizonte de planejamento de 12 meses.

As alterações solicitadas para simulação se concentraram em uma única família de produto acabado, permanecendo as outras sem modificação durante as simulações. As variáveis de entrada escolhidas pelos participantes foram:

- Previsão de vendas;
- Preços de vendas;
- Custo fixo de produção;
- Cobertura de estoque de produto acabado.

As alterações nas variáveis de entrada foram realizadas de forma sequencial de modo que cada variável modificada permanecia com seu novo valor nas próximas simulações e a cada alteração se executava a simulação e avaliavam-se os resultados. Para avaliação dos resultados obtidos com o modelo de simulação em relação às alterações realizadas nas variáveis de entrada, os participantes da reunião optaram por escolher o indicador de desempenho “margem líquida por família de produto”. Esse indicador mede a eficiência e viabilidade da empresa, expressando o percentual de Lucro Líquido em relação às Vendas ou Receitas Líquidas.

As alterações solicitadas pela empresa foram tratadas cada uma como um caso de simulação e foram realizadas nas variáveis descritas antes relacionadas à família de produto acabado denominada como “família 1”, sendo estes os casos simulados:

- **Primeiro caso** – simulação inicial com os dados da base de teste.
- **Segundo caso** – aumento de 100% nas quantidades de venda planejadas para os próximos 12 meses da família 1.
- **Terceiro caso** – aumento de 10% no preço de venda da família 1.
- **Quarto caso** – aumento de 25% nos custos fixos de produção, alterando-se o valor planejado de R\$ 1.200.000,00 para R\$ 1.500.000,00.
- **Quinto caso** – aumento do volume de produção por meio de um ajuste de 15% no plano de estoque de produto acabado.

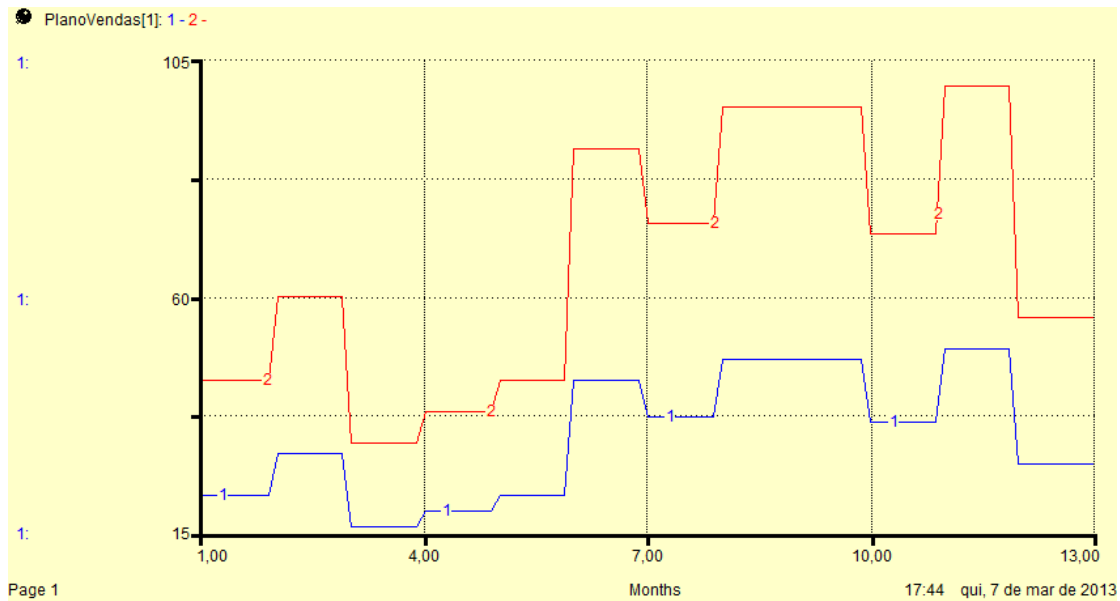
Um resumo dos resultados obtidos em cada um dos casos simulados para o indicador de desempenho escolhido, margem líquida, é apresentado na tabela 5.32.

**Tabela 5.32 – Casos simulados por solicitação dos participantes.**

Caso	Indicador	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4	Mês 5	Mês 6	Mês 7	Mês 8	Mês 9	Mês 10	Mês 11	Mês 12
1º	<b>Simulação inicial com os dados da base de teste:</b>												
	<i>Margem Líquida</i>	7,4	6,87	5,7	6,58	6,05	7,01	7,72	8,59	8,77	8,75	8,15	1,99
2º	<b>Simulação após o aumento de 100% nas quantidades de venda prevista para a família 1:</b>												
	<i>Margem Líquida</i>	8,19	8,29	6,89	7,97	7,53	9,53	10,39	11,53	11,53	10,96	10,7	3,61
3º	<b>Simulação após o aumento de 10% no preço de venda da família 1:</b>												
	<i>Margem líquida</i>	12,65	12,74	11,46	12,45	12,04	13,86	14,65	15,68	15,68	15,17	14,93	8,49
4º	<b>Aumento dos custos fixos de produção de 25% no valor R\$ 1.200.000,00 para R\$ 1.500.000,00:</b>												
	<i>Margem líquida</i>	11,99	11,88	10,32	11,32	10,84	12,75	13,59	14,7	14,73	14,17	13,91	7
5º	<b>Aumento do volume de produção por meio do plano de estoque de produto acabado em 15%:</b>												
	<i>Margem líquida</i>	12,13	12,07	10,64	11,54	11,03	12,72	13,48	14,48	14,63	14,11	13,8	7,26

O primeiro caso simulado consistiu na simulação do modelo com os dados da base de teste sem alteração, e os resultados obtidos formaram a base inicial para verificação dos efeitos ocasionados pelas modificações das variáveis de entrada no indicador de desempenho margem líquida.

No segundo caso foi realizada a simulação do modelo com a alteração da variável de entrada previsão de vendas. A alteração consistiu no aumento de 100% nas quantidades previstas mensalmente para a família 1, conforme apresentado no gráfico da figura 5.10. Neste gráfico são apresentadas as quantidades de vendas previstas no primeiro e segundo caso de simulação, os quais são destacados conforme legenda localizada na parte superior do gráfico com os índices 1 e 2 respectivamente.

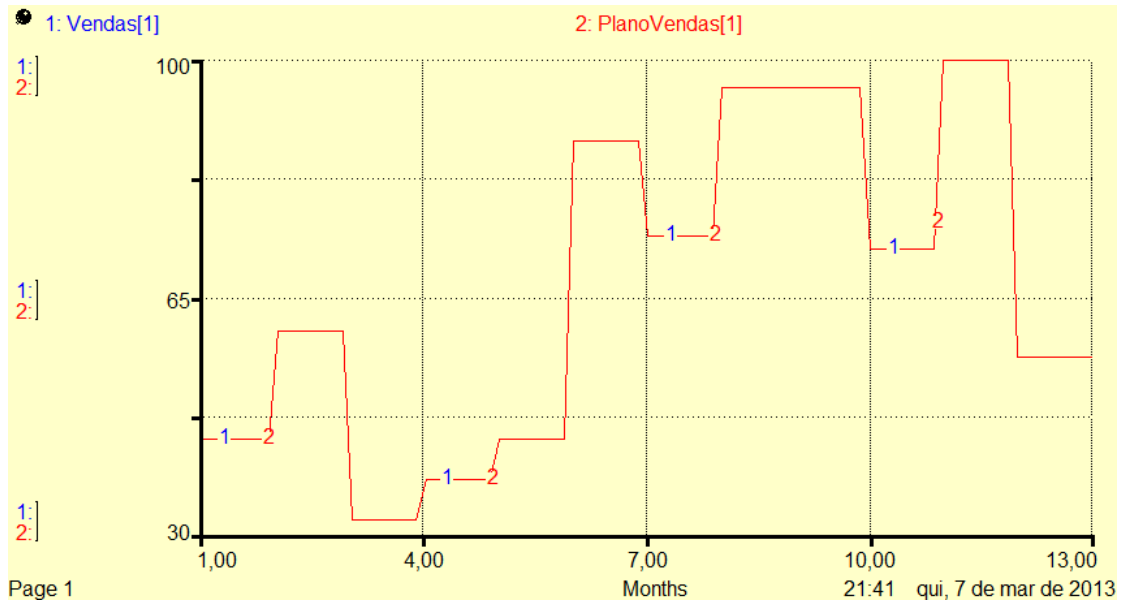


**Figura 5.10 – Quantidade prevista mensalmente para família 1 no primeiro e segundo caso de simulação.**

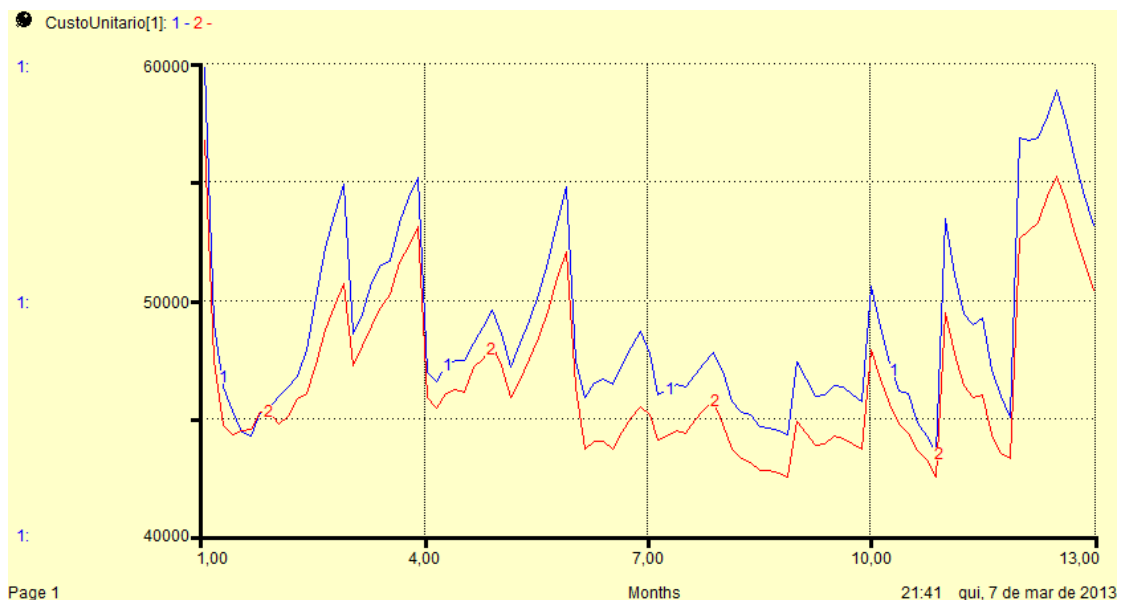
A simulação desta alteração na variável previsão de vendas mostra que o modelo reagiu a essa modificação realizando ajustes nos recursos produtivos de modo que não houve restrição que impedisse o cumprimento do plano de vendas pela produção. Assim, o volume de vendas planejado mensalmente foi atendido pela produção, conforme é apresentado na figura 5.11 pelo gráfico gerado na interface do modelo.

Alguns dos ajustes realizados pelo modelo nos recursos produtivos foram o aumento do volume de produção e o aumento da utilização da capacidade produtiva. Esses ajustes resultaram em uma redução do valor de custo apropriado a cada unidade produzida devido ao rateio dos custos fixos de produção e pela melhor alocação dos custos de mão de obra, conforme previsto pela prática do método de custeio por absorção. Assim, com a simulação do modelo de dinâmica de sistema pôde-se observar explicitamente que um dos efeitos ocasionados pela alteração da variável previsão de vendas foi à redução do custo médio unitário do produto acabado, conforme é apresentado na figura 5.12 pelo gráfico gerado na interface do modelo para comparar os valores de custo unitário da família 1 apurados no primeiro e segundo caso de simulação.





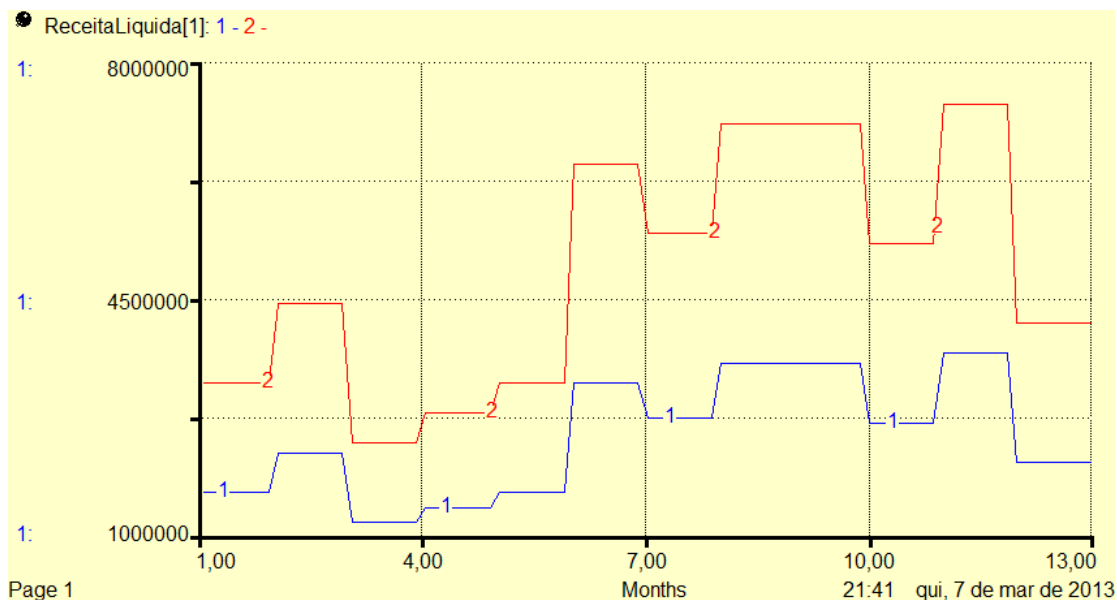
**Figura 5.11 – Gráfico gerado pelo modelo de simulação para comparação entre o plano de vendas e as vendas realizadas para a família 1.**



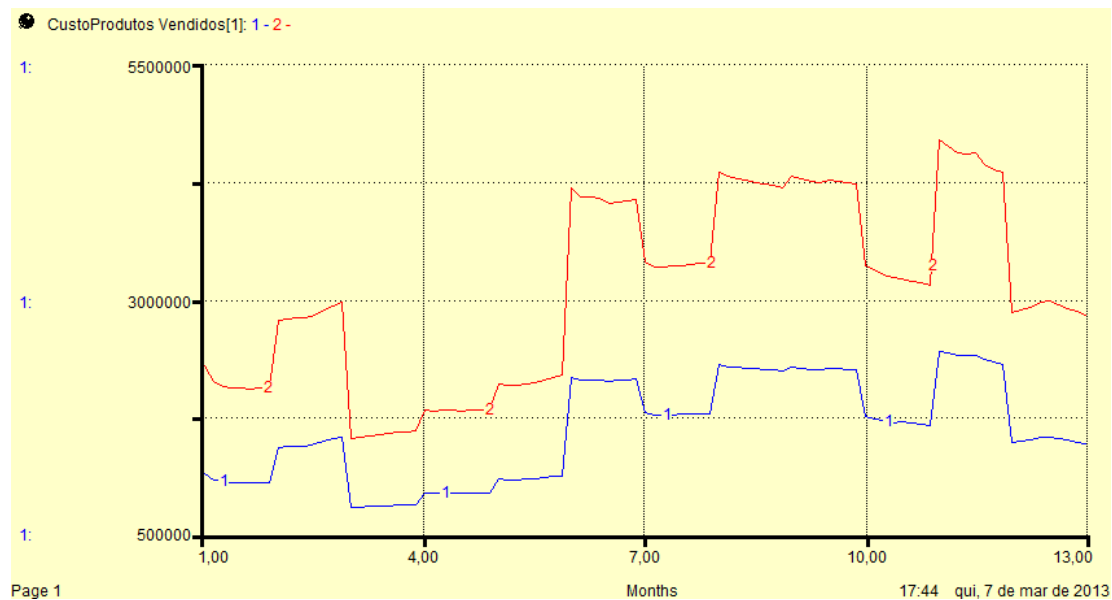
**Figura 5.12 – Gráfico gerado pelo modelo de simulação para comparação do custo unitário da família 1.**

Neste segundo caso de simulação observou-se também que, conforme previsto, os resultados da receita líquida da família 1, apresentado na figura 5.13, cresceram proporcionalmente ao aumento realizado na alteração da variável previsão de vendas, uma vez que não houve restrição nos recursos de produção. No entanto, com o efeito da redução do custo unitário da família 1, os custos dos produtos vendidos não aumentaram proporcionalmente ao 100% de aumento realizado na previsão de vendas, conforme é

apresentado na figura 5.14 pelo gráfico comparativo gerado durante a simulação com o modelo.



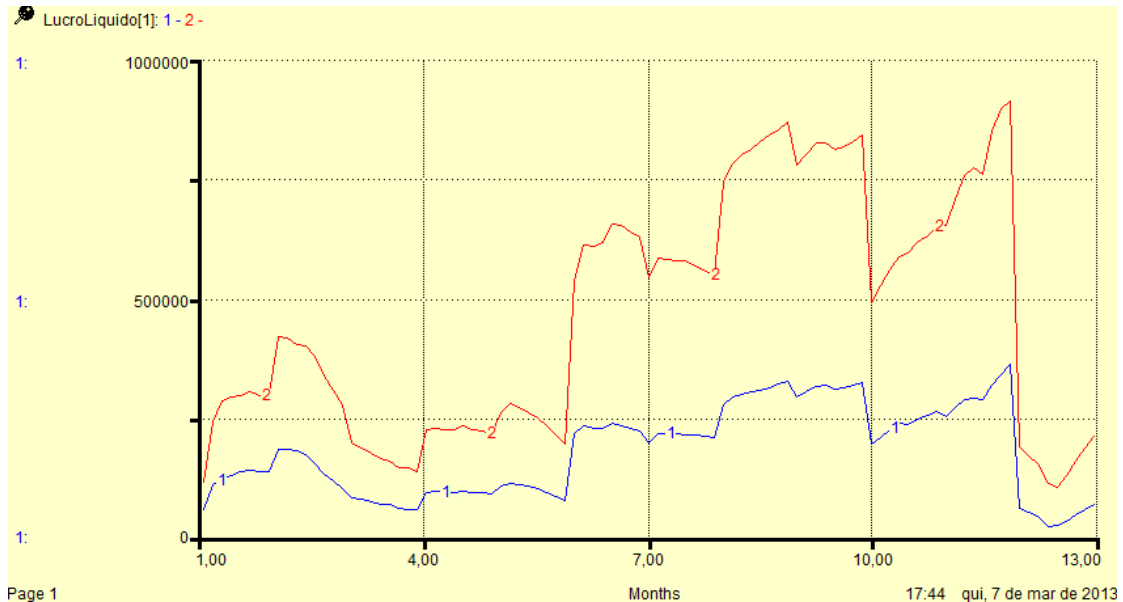
**Figura 5.13 – Gráfico gerado pelo modelo de simulação para comparação da receita líquida da família 1.**



**Figura 5.14 – Comparação do valor do custo total dos produtos vendidos da família 1 apurados nas simulações do primeiro e segundo caso.**

O efeito da redução dos custos resultou em um acréscimo do valor de lucro líquido acima do valor proporcional de 100%, o que justifica o aumento nos valores do indicador de desempenho margem líquida da família 1 no segundo caso de simulação

apresentado na tabela 5.32. Os valores comparativos entre o primeiro e segundo caso de simulação para o indicador de desempenho lucro líquido é exposto na figura 5.15.

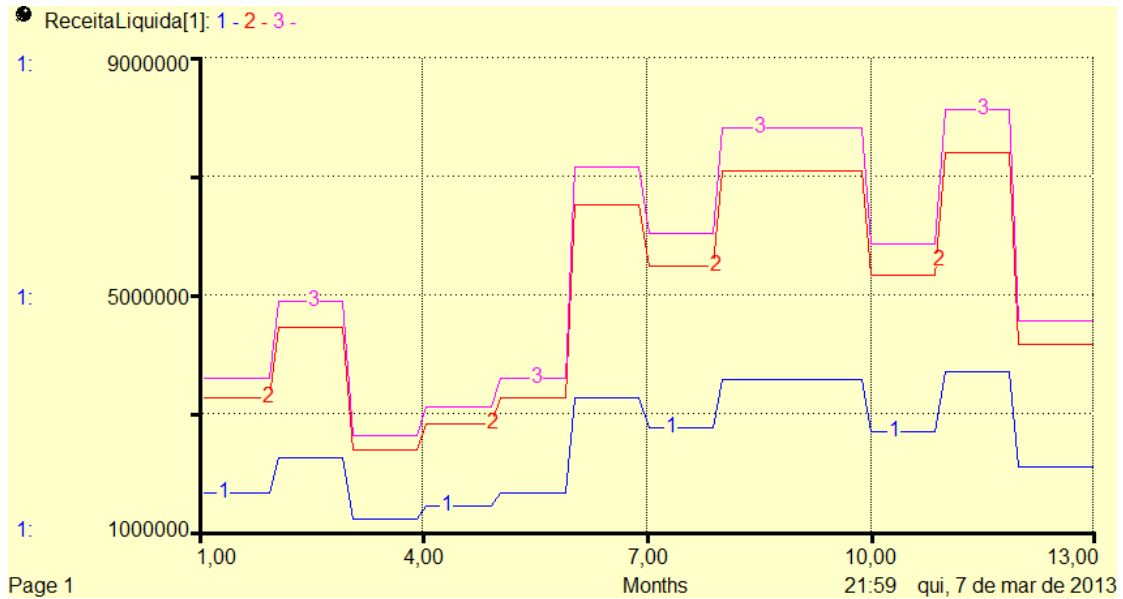


**Figura 5.15 – Comparação do valor do lucro líquido da família 1 apurados nas simulações do primeiro e segundo caso.**

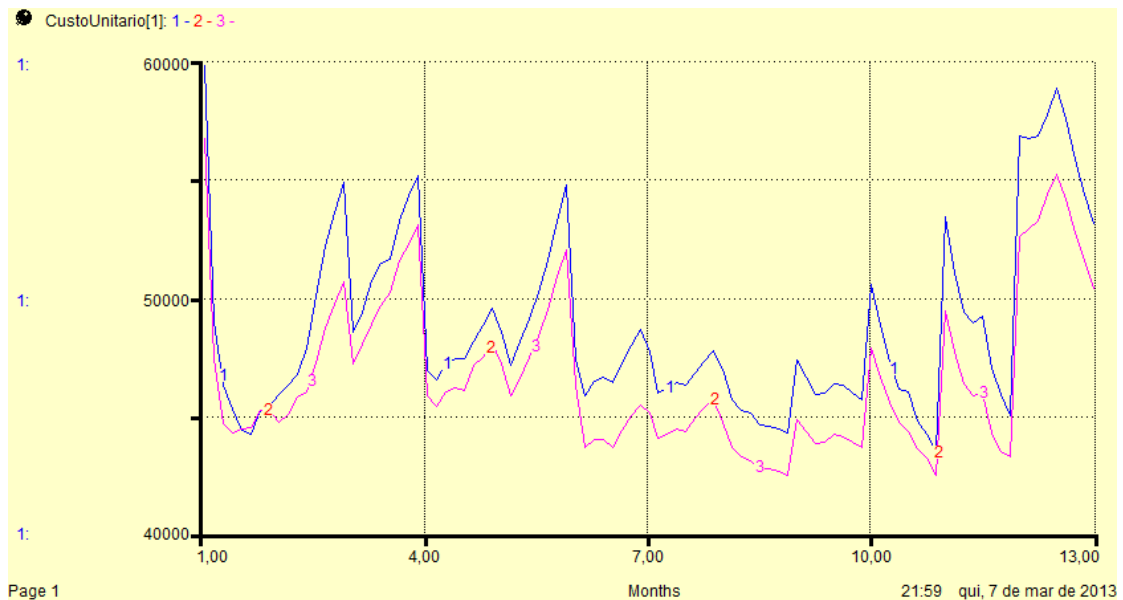
O terceiro caso solicitado pela empresa consistiu na modificação da variável de entrada preço de venda da família 1, que teve seu valor alterado de 101.500,00 para 111.650,00, perfazendo um reajuste de 10%. A simulação do modelo com este caso demonstrou os efeitos esperados pela alteração do preço de venda, os quais afetaram diretamente e proporcionalmente às variáveis relacionadas ao faturamento, tais como, receita bruta, impostos sobre venda, receita líquida, etc. Como exemplo deste comportamento é apresentado na figura 5.16 a variável receita líquida comparada nos três casos de simulação.

No modelo de dinâmica de sistemas desenvolvido neste trabalho não foi modelado a área funcional de Marketing de modo que se pudesse representar o comportamento do mercado em relação ao reajuste do preço venda, assim, no modelo atual essa modificação de preço não teve efeito sobre as variáveis relacionadas ao volume de vendas, volume de produção, alocação de capacidade e custo de mão de obra por exemplo. Sendo assim, o custo médio unitário da família 1 permaneceu sem alteração em relação ao segundo caso de simulação, como apresentado na figura 5.17. Como não há alteração no valor do custo unitário e também não há alteração no volume de vendas, o valor total dos custos dos produtos vendidos permaneceu o mesmo, e com o aumento da receita líquida proporcionada

pelo reajuste do preço de venda, obteve-se como efeito um aumento na taxa de lucratividade superior ao reajuste de 10%, como se observa no indicador de desempenho margem líquida, exposto anteriormente na tabela 5.32.

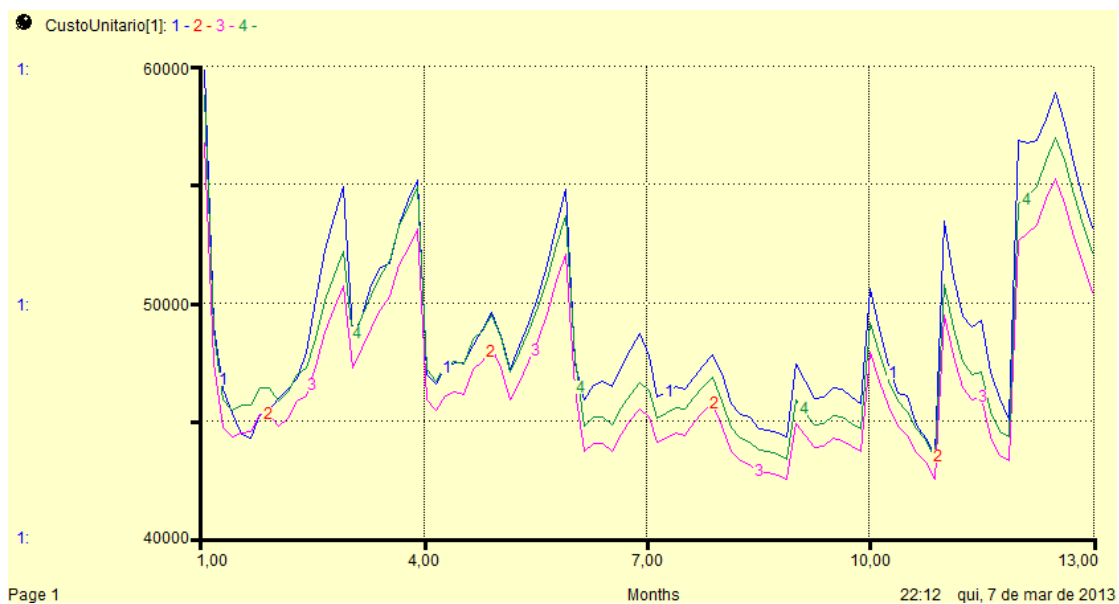


**Figura 5.16 – Comparação do valor da receita líquida da família 1 apurada nas simulações do primeiro, segundo e terceiro caso.**



**Figura 5.17 – Comparação do custo médio unitário da família 1 apurado nas simulações do primeiro, segundo e terceiro caso.**

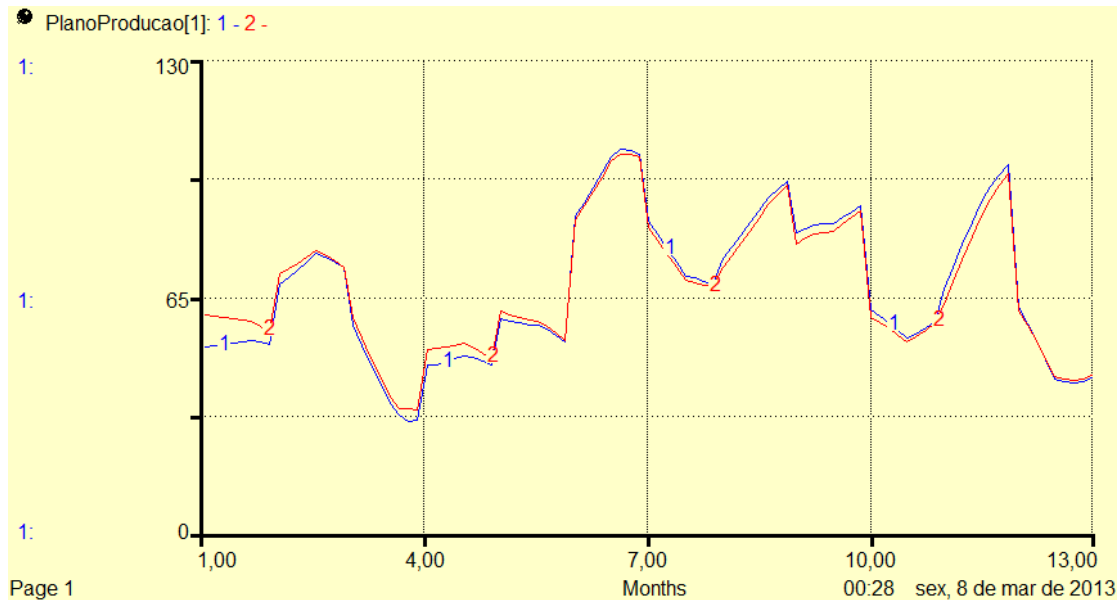
No quarto caso de simulação, apresentado na tabela 5.32, foi realizada a alteração da variável custo fixo de produção, elevando-se o seu valor em 25%. A simulação deste caso demonstrou que os resultados obtidos com o modelo foram exatamente como o esperado na prática empresarial, ou seja, uma redução no indicador de desempenho margem líquida, uma vez que o custo unitário da família 1 aumentou em relação ao terceiro caso, como previsto na sistemática de rateio do método de custeio por absorção. Na figura 5.18 é apresentado o gráfico gerado na interface do modelo para o acompanhamento do valor do custo unitário durante essa simulação e em comparação com os outros casos.



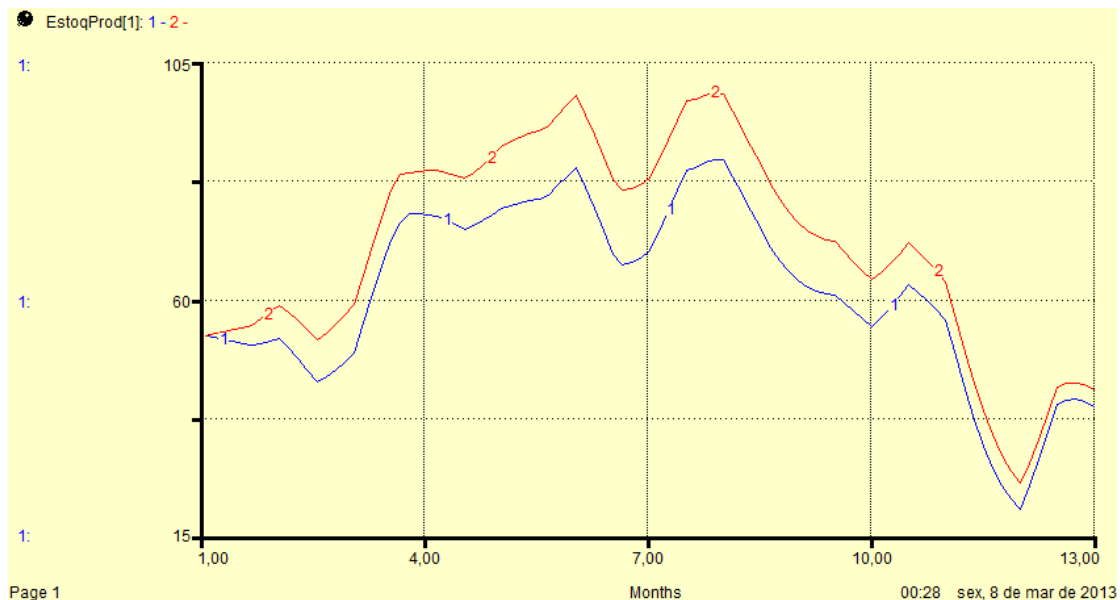
**Figura 5.18 – Comparação do custo médio unitário da família 1 apurado nas simulações do primeiro, segundo, terceiro e quarto caso.**

No quinto e último caso de simulação realizada por solicitação da empresa, foi efetuada a alteração da variável cobertura de estoque da família 1 com o objetivo de aumentar o volume de produção em 15%. No entanto, com a execução da simulação observou-se que o aumento do volume de produção ocorreu apenas nos cinco primeiros meses, isso porque como não houve alteração no volume de vendas, ocorreu um acúmulo de estoque nestes primeiros meses, conforme pode ser observado nos gráficos da figura 5.19 e 5.20, reduzindo-se a necessidade de aumentar o volume de produção para cumprir com o plano de estoque dos próximos meses. Essa variação do volume de produção trouxe pequenas variações no indicador de desempenho margem líquida, apresentando um acréscimo nos cinco primeiros meses e uma redução da margem nos demais meses, como exposto na tabela 5.32. Esta

variação da margem é devida a variação do custo unitário que sofre influência do volume de produção devido ao uso do método de custeio por absorção.



**Figura 5.19 – Comparativo entre o plano de produção gerado no quarto caso (1) e quinto caso (2) de simulação.**



**Figura 5.20 – Comparativo entre o plano de estoque gerado no quarto caso (1) e quinto caso (2) de simulação.**

A avaliação do modelo de dinâmica de sistemas pelos gestores que participaram desta ilustração de caso foi positiva, pois o comportamento esperado do

indicador de desempenho para as mudanças geradas nas variáveis de entrada foi confirmado para o processo de S&OP da empresa. Além disso, na opinião dos gestores o modelo mostra de forma explícita a integração dos processos relacionados ao S&OP, o que facilita a visualização e a análise dos resultados, bem como a rapidez de gerar múltiplos cenários. Outro comentário relevante foi relacionado à análise financeira integrada ao processo, pois se economiza o tempo na análise dos resultados financeiros comparado ao tempo gasto no processo de S&OP atual da empresa. No processo atual, após se gerar os planos de vendas, produção, suprimentos e distribuição, se houver uma reprovação desses planos na análise financeira, é necessária o recálculo dos planos.

Considerando que as variáveis e valores da base de dados do modelo eram compatíveis com as práticas empresariais pôde-se avaliar os resultados dos indicadores apresentados nas simulações, verificando que os mesmos apresentam um comportamento dinâmico semelhante à prática empresarial.

Após a apresentação, os participantes mostraram interesse em usar o modelo de Dinâmica de Sistemas para simular o processo de S&OP da empresa, continuar a pesquisa para a realização de trabalhos práticos com a base de dados da empresa e estudar a forma de representar novos processos no modelo.

#### **5.4.2 Empresa B**

A empresa B é uma multinacional de grande porte, fabricante de componentes mecânicos e elétricos com característica MTS. Seu sistema produtivo trabalha com uma grande variedade de produtos e altas taxas de produção.

A empresa pratica o processo de S&OP há 5 anos, e também segue a maioria das premissas para a execução do processo apresentadas na revisão conceitual e bibliográfica deste trabalho. O processo de S&OP envolve a construção de planos individuais de S&OP para matriz e filiais, cujas aprovações são realizadas pelo comitê executivo corporativo.

Atualmente a empresa extrai os dados principalmente do seu sistema ERP (*Enterprise Resource Planning*) e utiliza um módulo especializado do ERP com funções para apoiar o processo S&OP na preparação dos dados e na elaboração dos planos.

O processo atual do S&OP é realizado de forma sequencial com o apoio do módulo especializado do ERP para elaborar o plano de vendas, o plano de produção/estoque e plano de compras, considerando que os planos são construídos de forma agregada em famílias de produto. A elaboração dos planos, em cada filial, contempla ajustes de modo alinhar as

necessidades de vendas à capacidade de produção por meio da interação dos gestores responsáveis pelas áreas. Após os ajustes os planos são encaminhados à área financeira para valorização monetária e então são encaminhados para a reunião executiva com a matriz para aprovação. Este processo atualmente é realizado num período de três semanas.

Nessa empresa, não foi solicitado a planilha de dados das variáveis de entrada para uma pré-análise. Foi reunido um grupo de participantes do processo de S&OP para a apresentação do modelo de simulação, composto pelo coordenador do S&OP, e representantes das seguintes áreas: comunicação e marketing, produção, planejamento de materiais, compras e desenvolvimento de fornecedores, custos e manufatura.

Na reunião, foi apresentado e explicado o modelo detalhando as variáveis utilizadas do processo S&OP e suas interações para os participantes. Em seguida, foram realizadas várias execuções de simulação como demonstração, usando os dados da base de teste descritos na especificação da simulação, para mostrar o comportamento e resultados dos indicadores de desempenho durante e após a execução da simulação na interface do modelo.

O uso de variáveis probabilísticas no modelo referencial foi apresentado juntamente com as simulações realizadas com o uso do projeto de experimento descrito nas seções 5.3.1 e 5.3.2, demonstrando a importância de utilizar procedimentos estatísticos para auxiliar na seleção de melhores planos de S&OP.

Devido à restrição de tempo da empresa não foi possível que os participantes interagissem com o modelo de simulação do S&OP de modo a selecionar e alterar valores das variáveis de entrada para avaliar os resultados dos indicadores de desempenho. Sendo assim, na reunião foram realizadas as mesmas simulações usando as mesmas variáveis de entrada e indicadores de desempenho sugeridos na ilustração de caso da empresa A.

A avaliação do modelo de dinâmica de sistemas pelos participantes foi positiva, pois todo o processo de simulação e da análise estatística dos resultados pode contribuir para melhora do processo atual de S&OP da empresa, conforme os comentários observados e apresentadas a seguir:

- “O modelo proporciona visão compartilhada dos processos de S&OP”;
- “A análise financeira é realizada simultaneamente com a geração dos planos”;
- “Tem-se o conhecimento da decisão entre as várias áreas e a tomada de decisão é rápida”;
- “Agrega conhecimentos e possibilita poder de decisão”;
- “Une informações confiáveis”;



- “Agilidade do processo”;
- “Leva os cenários de todas as áreas envolvidas”;
- “Valoriza os planos no momento da geração dos mesmos”.

Os participantes do processo de S&OP da empresa manifestaram interesse em realizar mais testes com o modelo de Dinâmica de Sistemas para simular o processo de S&OP da empresa. O objetivo é continuar a pesquisa, inserindo dados reais da empresa, adaptar o processo de SOP da empresa no modelo proposto e avaliar o seu uso.

### 5.4.3 Considerações sobre o uso do modelo de dinâmica de sistemas e a prática das empresas no processo S&OP

Nesta seção apresenta-se uma síntese das características que diferenciam a prática do S&OP nas empresas em relação ao uso do modelo de dinâmica de sistemas no processo S&OP.

Tabela 5.33 – Comparativo das práticas das empresas no processo S&OP e o uso da dinâmica de sistemas.

Características	Práticas das empresas	Utilização da Dinâmica de Sistemas (DS)
1. Agilidade na execução do processo	Semanas	Dias
2. Visão sistêmica do processo	Segmentada	Holística
3. Tempo de resposta para ajustes nos planos de S&OP	Dias	Minutos
4. Conhecimento do processo	Implícito	Explícito
5. Quantidade de planos elaborados para reunião preliminar S&OP	Poucos	Múltiplos
6. Ferramentas para simulação dos planos de S&OP	Planilhas e módulos de APS / ERP	Modelo de DS
7. Utilização de métodos estatísticos para elaboração e avaliação dos planos de S&OP	Não se aplica	Se aplica
8. Utilização de variáveis probabilística	Não utiliza	Utiliza
9. Comportamento da variáveis que compõem os planos de S&OP	Estático	Dinâmico

Esta síntese é descrita a seguir com base nas características destacadas na tabela 5.33:

1. **Agilidade na execução do processo:** Com o uso da DS possibilita a execução simultânea das etapas de elaboração e avaliação dos planos.

2. **Visão sistêmica do processo:** Foi observado que gestores que participam do processo de S&OP nem sempre possuem uma visão global de todas as atividades e variáveis envolvidas neste processo. O S&OP por ser um processo que integra informações e atividades de diversas áreas funcionais necessita de uma ferramenta que forneça o compartilhamento de informações e o entendimento de como cada decisão a ser tomada afeta o desempenho global da empresa.
3. **Tempo de resposta para ajustes nos planos de S&OP:** Como a lógica (modelo mental) de todas as áreas envolvidas na construção dos planos de S&OP já está representada no modelo de DS e é compartilhada com todos os gestores, a realização de ajustes passa a ser efetuada somente na forma de alterações dos valores das variáveis de entrada para obter novos planos em minutos.
4. **Conhecimento do processo:** A dinâmica de sistema fornece elementos gráficos e relações matemáticas para representar formalmente o conhecimento envolvido nas atividades realizadas de cada área funcional e nas relações de interface dessas áreas. Este conhecimento pode ser explicitado por meio do modelo de DS de modo que ele possa ser compartilhado e compreendido por todos os gestores que participam do processo de S&OP.
5. **Quantidade de planos elaborados para reunião preliminar S&OP:** A utilização de uma ferramenta de simulação favorece a construção de diversos cenários com grande facilidade e rapidez. Essa característica também se aplica ao uso da simulação de DS no processo S&OP que permite, através de uma interface amigável, facilmente atualizar os dados de entrada para simulação como também a análise dos resultados por meio de gráficos e tabelas. Com a possibilidade de gerar múltiplos planos de S&OP aumenta o universo de opções para escolha do melhor plano de S&OP.
6. **Ferramentas para simulação dos planos de S&OP:** Ao contrário das planilhas e APS que utilizam o modelo de pensamento linear, a utilização do modelo de DS aplica a teoria do pensamento sistêmico no processo S&OP, pois permite a modelagem matemática das variáveis envolvidas utilizando os conceitos de realimentação, amplificação e atraso de informação, de modo a representar o comportamento dinâmico do processo.

7. **Utilização de métodos estatísticos para elaboração e avaliação dos planos de S&OP:** A utilização de métodos estatísticos auxilia no planejamento de cenários de S&OP e fornece suporte a tomada de decisão para avaliação e seleção do melhor cenário.
8. **Utilização de variáveis probabilística:** Com o uso da simulação de DS pode-se incorporar a incerteza provenientes do ambiente empresarial de modo a fornecer planos de S&OP mais realísticos
9. **Comportamento das variáveis que compõem os planos de S&OP:** Na prática das empresas, as variáveis utilizadas no plano S&OP são tratadas de forma estática, ou seja, são projeções baseadas em médias históricas que não sofrem interferência de outras variáveis ao longo do tempo de planejamento. Essa característica é devida principalmente às restrições das ferramentas utilizadas para composição dos planos. Com o uso da dinâmica de sistemas as variáveis envolvidas na elaboração dos planos de S&OP passam a ser tratadas de forma dinâmica, sofrendo alterações de seus valores ao longo do tempo de planejamento simulado devido as realimentações representadas pelas relações matemáticas entre as variáveis. A DS traz a possibilidade de simular os valores futuros para variáveis envolvidas no S&OP considerando sua natureza dinâmica de modo a favorecer a elaboração de planos de S&OP mais realísticos.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O processo de S&OP é fundamental para o posicionamento da empresa no mercado que ela atua. O processo serve como um direcionador de decisões no sentido de equilibrar a demanda e a oferta de produtos ao longo de um determinado horizonte de tempo, considerando o bom uso dos recursos restritivos de suas áreas funcionais para atender um nível de qualidade de serviço aos clientes e as metas estratégicas da empresa. Busca-se o equilíbrio, pois caso não ocorra, o resultado é uma operação não eficaz da empresa.

O planejamento de vendas e operações procura encontrar o equilíbrio entre a demanda e a oferta, gerando planos para famílias de produtos para um horizonte de planejamento que varia de 6 a 24 meses, dependendo do segmento de mercado da empresa.

Apesar de ser um processo praticado desde a década de 80, ainda é tema complexo para pesquisa acadêmica e prática empresarial, visto que é um processo que envolve fatores comportamentais, tecnológicos e organizacionais.

O processo de S&OP evoluiu do conceito de planejamento agregado, passando a ser apoiado por ferramentas computacionais da TI, tais como os sistemas ERPs. Com o desenvolvimento de melhores práticas e pesquisas na área de Planejamento e Controle da Produção, fornecedores de ERPs lançaram no mercado sistemas APS.

Os sistemas APS são ferramentas computacionais que incorporam técnicas da pesquisa operacional que podem simular vários cenários das funções empresariais e que se propõem a gerar planos otimizados ou perto do ótimo. Além dos sistemas APS de mercado, outros sistemas APS vêm sendo desenvolvidos por pesquisadores e centros de pesquisas, buscando apresentar novos algoritmos e técnicas de otimizações.

Apesar do uso de sistemas APS e planilhas eletrônicas, foi observado na literatura e na prática das empresas que os gestores que participam do processo de S&OP nem sempre possuem uma visão holística de todas as atividades e variáveis envolvidas neste processo. O S&OP por ser um processo que integra informações e atividades de diversas áreas funcionais necessita de uma ferramenta que forneça o compartilhamento de informações e o entendimento de como cada decisão a ser tomada afeta o desempenho global da empresa.

Uma alternativa de uso de ferramenta de apoio ao S&OP que não foi encontrada na literatura e que pudesse atender as características do processo e tratar suas variáveis foi o uso de modelos de dinâmica de sistemas.

A dinâmica de sistema fornece elementos gráficos e relações matemáticas para representar formalmente o conhecimento envolvido nas atividades realizadas de cada área

funcional e nas relações de interface dessas áreas. Este conhecimento pode ser explicitado por meio do modelo de dinâmica de sistemas de modo que ele possa ser compartilhado e compreendido por todos os gestores que participam do processo de S&OP.

A partir disso, foi levantada a seguinte questão:

*A visão holística proporcionada pelo uso da simulação de dinâmica de sistemas pode auxiliar na elaboração dos planos do processo de S&OP?*

A abordagem da pesquisa desse trabalho considerou que um modelo de simulação baseado em dinâmica de sistemas fosse uma alternativa de ferramenta computacional que possibilitasse um entendimento sistêmico e integrado das variáveis envolvidas no processo de S&OP, compartilhar o modelo com todos os tomadores de decisão, bem como o uso de análise estatística das simulações dos cenários para avaliação e seleção.

A análise financeira integrada ao processo de S&OP também é uma questão com carência de pesquisa acadêmica e uma dificuldade encontrada pelas empresas para valorizar os planos e obterem indicadores de desempenho financeiro, principalmente por não terem uma estrutura de custos de forma que facilite a integração ao processo de S&OP.

A questão levantada resultou no seguinte objetivo de pesquisa realizada:

*Construir e analisar um modelo de simulação baseado na metodologia da dinâmica de sistema para possibilitar a visão holística de todas as atividades envolvidas no S&OP, construído com variáveis de natureza probabilística e determinística, e com a vantagem de tratar a análise econômica e financeira simultaneamente e possibilitar a geração de inúmeros cenários de planos de S&OP.*

O modelo foi construído com as funcionalidades definidas pelo objetivo da pesquisa e apresenta as seguintes características:

- Visão sistêmica dos processos que representam as áreas funcionais do S&OP, representada no modelo com regras de negócios modeladas por elementos de estoque e fluxo e variáveis endógenas e exógenas com características determinísticas e probabilísticas;
- Geração de múltiplos cenários, podendo simular inúmeros cenários;
- Análise estatística da simulação, permitindo a seleção de cenários por projeto de experimento;

- Tempo de execução da simulação realizado em segundos para períodos maiores do que doze meses, o que permite fazer análises no momento da reunião do S&OP;
- Aprendizado organizacional, pois a metodologia de dinâmica de sistemas possui características de aprendizado com o seu uso;
- Possibilidade de adaptação e ampliação do modelo, na medida em que se aprende mais sobre o processo ou se introduz novas regras de negócios;
- Documentar o conhecimento do processo de S&OP, além de possibilitar o armazenamento dos processos anteriores para analisar a sua evolução.

Dificuldades em se obter dados para a inserção no modelo, devido a sua confidencialidade e sua disponibilidade, impediu que fossem realizadas simulações com os dados reais em cada uma das empresas participantes da pesquisa. Por esse motivo foi construído uma base de dados hipotética para testes, considerando as características produtivas das empresas consultadas.

Com o modelo construído e os dados de testes inseridos, foi simulado e analisado em casos ilustrativos em duas empresas de grande porte com característica de produção para estoque (MTS).

Cada empresa participante da pesquisa contou com colaboradores do processo de S&OP na apresentação do modelo com o objetivo de realizar uma análise e avaliação do modelo.

A visão sistêmica para o processo de S&OP com o uso do modelo de DS foi evidenciado em ambos os casos ilustrativos realizados nas empresas participantes. Pode-se citar como exemplo da característica da visão sistêmica do modelo, que o gestor da área financeira e em conjunto com todos os gestores visualizaram como suas decisões sobre as variáveis financeiras afetaram as variáveis de produção para um horizonte de planejamento de doze meses do S&OP.

Os gestores das empresas afirmaram que o modelo fornece uma visão global dos processos existentes em todas as áreas envolvidas no S&OP, de modo que possibilita o conhecimento da decisão entre as áreas e a tomada de decisão é rápida, ao contrário do processo atual praticado nas empresas.

Além dessa característica, foi evidenciado que o modelo fornece agilidade na execução do processo de S&OP, o que possibilita reduzir o tempo para se realizar o processo

de S&OP, uma vez que com o uso da dinâmica de sistemas as atividades envolvidas podem ser realizadas de forma interativa e simultânea.

Com a modelagem de todas as atividades envolvidas no processo S&OP estão representadas no modelo por meio de elementos da dinâmica de sistema, o conhecimento do processo fica explícito e pode ser compartilhado por todos os participantes. Dessa forma, conforme se utiliza o modelo e analisam-se os resultados das simulações, identificando causas e efeitos, mais se aprende sobre o processo de modo que se possam gerar melhores planos de S&OP buscando a redução da diferença entre o real e o planejado.

Apesar de o modelo possuir um grande número de variáveis, que representam as principais áreas funcionais de empresas MTS, a velocidade de processamento é muito rápida, em questões de segundos pode-se simular e gerar planos para um período de doze meses. No caso das simulações foram consideradas cinco famílias de produto acabado e dez famílias de matéria-prima que compõem a lista de materiais dos produtos, no entanto o modelo  $n$  famílias de produto,  $n$  famílias de matéria-prima com  $n$  recursos e restrições de produção. Foi utilizado o software de simulação de dinâmica de sistemas STELLA e um notebook com configurações básica com sistema operacional Windows Seven e processador Intel Core 2 Duo de 2 Ghz e 2 GB de memória.

O modelo desenvolvido é um modelo referencial e tem flexibilidade para simular o impacto da entrada de novos produtos no mercado, bem como mudanças bruscas nas demandas de mercado, atrasos na entrega de matéria-prima e mudanças nas taxas cambiais por exemplo, assim é possível gerar inúmeras simulações propiciando a geração de diversos cenários para tomada de decisão. O modelo também pode ser facilmente expandido de modo a adicionar novos elementos que represente novas regras de negócio que não estejam atualmente sendo contempladas, como por exemplo, agregar um processo de logística com centro de distribuição.

O modelo foi desenvolvido para empresas com característica de produção para estoque (MTS), no entanto pode-se adaptá-lo para empresas com características de produção para pedido (MTO – *Make to Order*). A modificação no modelo exigirá alterações nas regras de negócio relacionadas ao planejamento de estoque e inclusão de novas regras de negócio para representar a gestão da carteira de pedidos de vendas pendente das famílias de produto.

Considerando os métodos estatísticos e a utilização de variáveis probabilísticas tem-se uma estratégia ou guia para a construção de cenários de S&OP, e com o uso de variáveis probabilista podemos incluir ao modelo as incertezas existentes no processo como a previsão de vendas e prazos de entregas. Com abordagem probabilística aumenta-se o número

de cenários de S&OP gerados e uso de métodos estatísticos se faz necessário para avaliação dos resultados, garantido uma escolha ou decisão com um maior grau de assertividade. Nas empresas consultadas não foi evidenciado o uso de métodos estatísticos em todo o processo de S&OP, somente em algumas utilizam no processo de previsão de vendas. O uso adequado de métodos estatísticos pode melhorar a eficácia dos planos gerados pelo processo S&OP.

A prática evidenciada nas empresas consultadas na sua grande maioria se concentra no uso de planilhas eletrônicas como a principal ferramenta para auxiliar na elaboração de planos do S&OP geralmente para um horizonte de planejamento de doze meses. O processo de S&OP nessas empresas ocorre de forma sequencial como apresentada na teoria de planejamento e controle da produção. O S&OP realizado nas empresas demanda um ciclo mensal de três semanas e envolve uma quantidade razoável de recursos. Foi observado tanto na prática como na literatura acadêmica que o S&OP é processo de grande complexidade e que ainda está em evolução nas empresas. Uma das dificuldades encontradas nas empresas é em estabelecer qual a melhor método para agregação dos produtos e lista de materiais em família, visto que conforme o método empregado podem trazer dificuldades na geração dos planos.

Diferentemente das variáveis utilizadas nas planilhas, a utilização da dinâmica de sistemas trata o comportamento dinâmico das variáveis que compõem os planos de S&OP, visto que seus valores são computados durante a simulação segundo a lógica do processo modelado e considerando as realimentações existentes, assim as variáveis que são de natureza dinâmica são calculadas/obtidas no decorrer da simulação em função do tempo e do estado do sistema.

Nas empresas consultadas, por exemplo, utilizam os custos dos produtos com uma variável estática relacionada a uma projeção de uma média histórica e não sofrem influencia do estado do sistema de produção que pode variar a alocação dos custos de produção devido ao mix e ao volume de produtos planejados, por exemplo. No modelo de dinâmica de sistemas essa variável é calculada a todo incremento de tempo definido na simulação e de acordo com o método de custeio modelado. Assim, variando-se o mix ou unidades produzidas teremos valores de custos diferentes no decorrer do tempo, conforme ocorre na operação real das empresas com o uso do método de custeio por absorção.

O objetivo de demonstrar que a dinâmica de sistema fornece a visão holística do processo foi alcançado conforme visto nos casos ilustrativos. Além disso, apresentou-se uma abordagem baseada no pensamento sistêmico para a geração de planos de S&OP, que se espera ser uma alternativa de prática para as empresas.



Consideram-se como continuidade dessa pesquisa as seguintes questões que podem ser tratadas em trabalhos futuros:

- Pesquisar e desenvolver métodos de agregação de dados para famílias de produtos, de matérias primas e centros produtivos;
- Desenvolver um processo de transporte e distribuição no modelo construído;
- Realizar a Pesquisa-Ação na implementação do modelo de Dinâmica de Sistemas em empresas MTS;
- Desenvolver modelo de Dinâmica de Sistemas para MTO;
- Pesquisar os impactos do modelo de Dinâmica de Sistemas nas atividades realizadas nas etapas do processo de S&OP;
- Estudar e identificar a incorporação de variáveis utilizadas no nível estratégico no modelo construído;
- Pesquisar e incluir processo de investimento de capital.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL-QIREM, R. Enhancing Business Intelligence Tools: A systems Thinking Approach. **IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security**, VOL.12 No.12, December 2012.

ANDRADE, A.L., SELEME, A., RODRIGUES, L.H., SOUTO, R. **Pensamento Sistêmico – Caderno de Campo: O Desafio da Mudança Sustentada nas Organizações e na Sociedade**. Porto Alegre: Bookman, 2006.

ANDRADE, A. L. **Pensamento sistêmico: um roteiro básico para perceber as estruturas da realidade organizacional**. Read Adm UFRGS. Ed. 5, v. 3, n 1,1997.

BERENDS, P.; ROMME, G.. Simulation as a Research Tool in Management Studies. **European Management Journal**, v.17, n.6, p.576-583, 1999.

BERTRAND, J.W.M. ; FRANSOO, J.C. Modeling and simulation: operations management research methodology using quantitative modeling. **International Journal of Operations and Production Management**, v.22, n. 2, p. 241-264, 2002.

BOX, G., HUNTER, W.G., AND HUNTER, J.S., **Statistics for experimenters**, John Wiley and Sons, New York, 1978.

BREMER, C. F.; AZEVEDO, C. R.; MATHEUS L. F. - O Retrato do Processo de Sales & Operations Planning (S&OP) no Brasil – Parte 1. **Revista Mundo Logística**, no 5, jul./ago. 2008, pag. 68. Editora Mundo, 2008.

CAGLIANO, A. C.; DEMARCO, A.; RAFELE, C. Using system dynamics in warehouse management: a fast-fashion case study. **Journal of Manufacturing Technology Management**, Vol. 22, No. 2, p. 171-188, 2011.

CHEN-RITZO, C.;ERVOLINA, T.; HARRINSON, T.P., GUPTA, B. Sales and operations planning in systems with order configuration uncertain, **European Journal of Operational Research** 205 (2010) 604–614.

CORRÊA, H. L.; GIANESI, I. G. N.; CAON, M. - **Planejamento, Programação e Controle da Produção**. 5ed. Sao Paulo: Editora Atlas, 2007.

CRESPO, A. M.; BIANCHI, C.; GUPTA, J. N. D., Operational and financial effectiveness of e-collaboration tools in supply chain integration. **European Journal of Operational Research** 159, 2004. P. 348–363

CRESWELL, J.W. **Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches**. 2<sup>a</sup> ed. Sage Publications, 2003.

DANGERFIELD B.; GREEN S.; AUSTIN S.. **Understanding construction competitiveness: the contribution of system dynamics**. Construction Innovation, v. 10, n. 4, p. 408-420, 2010.

FENG, Y.; D'AMOURS; BEAUREGARD, R. The value of sales and operations planning in oriented strand board industry with make-to-order manufacturing system: Cross functional integration under deterministic demand and spot market recourse. **Int. J. Production Economics**, n. 115, 2008, p.189–209.

FERNANDES, A. C. Dinâmica de Sistemas e Business Dynamics: Tratando a Complexidade no Ambiente de Negócios. **In: XXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção, ENEGEP**. Salvador, 2001.

FORD, A. **Modeling the Environment: An Introduction to System Dynamics of Environmental Systems**. Washington DC: Island Press, 1999.

FORRESTER, J. W.; **Industrial Dynamics**. Cambridge, Massachusetts: M.I.T. Press, 1st edition, 1958-1961.

FORZA, C. Survey Research in Operations Management: a process-based perspective. **International Journal of Operational & Production Management**, 2002.

FREITAS, F., P. J. **Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas: com aplicações em arena**, Visual Books, 2001.

GENIN, P.; THOMAS, A., LAMOURI, S. How to manage robust tactical planning with an APS (Advanced Planning Systems). **J. Intell. Manuf.**, 2007, v.18, p.209–221.

GEORGIADIS, P.; MICHALOUDIS, C., Real-time production planning and control system for job-shop manufacturing: A system dynamics analysis. **European Journal of Operational Research** 216, 2012. P.94-104.

GITMAN, L.J. **Princípios de administração financeira**, 12 ed. São Paulo: Pearson Addison Wesley, 2010. 775 p.

GODINHO FILHO, M.; UZSOY, R. Efeito da redução do tamanho de lote e de programas de Melhoria Contínua no Estoque em Processo (WIP) e na Utilização: Estudo utilizando uma abordagem híbrida System Dynamics - Factory Physics. **Produção**, v. 19, n. 1, 2009. p. 214-229.

GRIMSON, J.A.; PIKE, D.F. Sales and operations planning: an exploratory study and framework. **The International Journal of Logistics Management** Vol. 18 No. 3, 2007, p. 322-346.

GUIMARÃES, A. A.; GODINHO F., M., A evolução da aplicação da abordagem System Dynamics (DS) na Gestão da Produção: análise por meio de uma revisão de literatura. **INGEPRO Inovação Gestão Produção**, 2009. P. 64-75.

HAHN, G.J; KUHN, K. Value-based performance and risk management in supply chains: A robust optimization approach. **Int. J. Production Economics**, 2011.

HELAL, M.; RABELO, L.; VEDA, J. S.; JONES, A.; A methodology for Integrating and Synchronizing the System Dynamics and Discrete Event Simulation Paradigms. **System Dynamics**, 2007.

HICKS, C.R. **Fundamental Concepts in the Design of Experiments**. John Wiley and Sons, New York, 1973.

HVOLBY, H.; STEGER, K. Technical and industrial issues of Advanced Planning and Scheduling (APS) Systems. **Computers in Industry**, n. 61, 2010, p.845–851.

IVERT, L.K.; JONSSON, P. The potential benefits of advanced planning and scheduling systems in sales and operations planning. **Industrial Management & Data Systems**, Vol. 110, No. 5, p. 659-681, 2010.

IVERT, L.K.; JONSSON, P. Problems in the onward and upward phase of APS system implementation Why do they occur? **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, Vol. 41, No. 4, 2011. pp. 343-363.

JOHNSON, N.L.; LEONE, F.C., **Statistics and Experimental Design**. John Wiley and Sons,

New York, 1977.

JONSSON, P.; KJELLSDOTTER, RUDBERG, M. Applying advanced planning systems for supply chain planning: three case studies. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**. Vol. 37, No. 10, 2007. p.816-833.

KAMATH, N.B.; ROY, R. Capacity augmentation of a supply chain for a short lifecycle product: A system dynamics framework, **European Journal of Operational Research**, n. 179, 2007. 334–351.

KELTON, W.D., SADOWSKI, R.P. & SADOWSKI, D. A. **Simulation with Arena**. New York: McGraw-Hill, 1998.

LAKATOS, E, M.; MARCONI, M.A. **Metodologia Científica**. 3 ed. São Paulo: Atlas, 2000.

LANDEGHEM, H. V.; VANMAELE, H.. Robust planning: a new paradigm for demand chain planning. **Journal of Operations Management** 20, 2002. p.769–783.

LOVE, P.E.D; DAVIS; P.R. ELLIS; M. J.; CHEUNG, S. O. A systemic view of dispute causation. **International Journal of Managing Projects in Business**, v. 3, n. 4, 2010.

MAANI, K. E.; CAVANA, R.Y. **System thinking and modeling**: understanding change and complexity. New Zealand: Pearson Education New Zealand limited, 2000.

MARTINEZ-OLVERA, C. Benefits of using hybrid business models within a supply chain. **Int. J. Production Economics** 120, 2009. p.501–511.

MARTINS, E. **Contabilidade de custos**, 9 ed. São Paulo: Atlas, 2003. 370 p.

MATHEUS, L. F.; HORTA, L. C.; SOARES, H. B. - Proposição de ações estratégicas para superação das barreiras e efetiva implantação do processo de planejamento integrado (S&OP). **In: XXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, ENEGEP**. Porto Alegre, 2005.

MONTGOMERY, D. C. **Design and analysis of experiments**, New York : Wiley,1976.

MORECROFT, J.; ROBINSON, S. Explaining Puzzling Dynamics: Comparing the Use of System Dynamics and Discrete-Event Simulation, **In: System Dynamics Society International Conference**, 23, Jul.17-21, 2005, Boston, USA. Proceedings..., Boston: System Dynamics Review, 2005.

OGATA, K. **System Dynamics**. Prentice Hall, 1998.

OLIVA, R.; WATSON, N. Cross-functional alignment in supply chain planning: A case study of sales and operations planning. **Journal of Operations Management**, v.29, 2011. p.434–448.

OLIVER WIGHT AMERICAS. Transitioning from Sales and Operations Planning to Integrated Business Planning, **Oliver Wight White Paper Series** - Informative guides on industry best practice by George Palmatier and Colleen Crum, 2010.

OLHAGER, J.; The role of the customer order decoupling point in production and supply chain management. **Computers in Industry** 61, 2010. p.863–868.

ORCUN, S.; UZSOY, R.; KEMPF, K., Using system dynamics simulations to compare capacity models for production planning, **IEEE Proceedings of the Winter Simulation Conference**, 2006.

PANDIM, F. J. **Proposta de um Modelo Quantitativo para Análise e Melhoria de Desempenho do Processo de S&OP Baseado no Diagnóstico e Redução de Falhas**, dissertação de mestrado apresentado no programa de pós-graduação do departamento de Engenharia de Produção – UFSCar, 2010.

PASTRANA, J.; MARIN, M.; HELAL, M.; MENDIZABAL, C. Enterprise Scheduling: Hybrid and Hierarchical Issues, Proceedings of the 2010 - **Winter Simulation Conference**, 2010.

PIDD, M. **Tools for thinking: modelling in management science**. Chichester: John Wiley & Sons, 1996.

PRASERTRUNGRUANG, T.; HADIKUSUMO, B.H.W. System dynamics modelling of machine downtime for small to medium highway contractors. **Engineering, Construction and Architectural Management** , v. 15, n. 6, p. 540-561, 2008.

RADZICKI, M. J.; TAYLOR R. A. **Introduction to System Dynamics: A Systems Approach to Understanding Complex Policy Issues**. U.S Department of Energy, 1997. Disponível em: <[systemdynamics.org/DL-IntroSysDyn/inside.htm](http://systemdynamics.org/DL-IntroSysDyn/inside.htm)>.

RABELO, L.; SON, Y.J.; HELAL, M.; JONES, A.; MIN, J.; DESHMUKH, A. A Hybrid

Approach to Manufacturing Enterprise Simulation; **Simulations Conference Proceedings**, 2003. Winter, 2003. P. 1125 - 1133 vol.2,

RUDBERG, M.; CEDERBORG, O. APS for tactical planning in a steel processing company. **Industrial Management & Data Systems**, Vol. 111, No. 4, 2011, p.608-628.

SAKURAMOTO, C. Y. **A Influência da Conectividade no Desempenho de uma Cadeia de Suprimentos Característica do Setor Automobilístico Brasileiro Utilizando a Dinâmica de Sistemas**, Tese apresentada a Escola de Administração de Empresas de SãoPaulo/FGV, 2008.

SANTA-EULALIA L.A., D'AMOURS S., FRAYRET J.-M., AZEVEDO R.C. On Supply Chain Modeling and Simulation Techniques: a Literature Review Taxonomy, **XI SIMPEP Simpósio de Engenharia de Produção** , Bauru, Brasil, 9-11, 2009.

SASAKI, F. A.; OLIVEIRA, G. H. C.; ARAUJO, H. X.; CARDOSO, P. A.; PACHECO, E. O. Gerenciando uma Cadeia de Suprimentos Utilizando a Dinâmica de Sistemas, **XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Rio de Janeiro, 2008.

SCHLEGEL, G. L.; MURRAY, P. Next Generation of S&OP: Scenario Planning with Predictive Analytics & Digital Modeling, **Journal of Business Forecasting**, p.20-30, Fall 2010.

SCHEFFÉ, H. **The analysis of variance**, New York : Wiley,1959.

SENGE, P. M. **A Quinta Disciplina: arte, teoria e prática da organização de aprendizagem**. Rio de Janeiro: BestSeller. 24ª ed, 2008.

SHAPIRO, J. E. Advanced Analytics for Sales & Operations Planning. **Institute for Operations Research and the Management Sciences** (<http://www.analytics-magazine.org>), maio/junho, 2010, p.20-26.

SILVA FILHO, O.S.; CESARINO, W.; RATTO, J. Planejamento agregado da produção: modelagem e solução via planilha Excel e Solver. **Revista Produção On Line**, vol. IX, n.3, 2009, p.572-599.

SIPPER, D.; BULFIN JR, R. L.. **Production: planning, control, and integration**. New York: McGraw-Hill, 1997.

STADTLER, H. Supply chain management and advanced planning—basics, overview and challenges. **European Journal of Operational Research** v.163, 575–588, 2005.

STERMAN, J.D.; **Business Dynamics: System:Thinking and Modeling a Complex World** – 1st edition – USA: McGraw Hill, 2000.

SURYANI, E.; CHOU, S.; HARTONO, R.; CHEN, C., Demand scenario analysis and planned capacity expansion: A system dynamics framework. **Simulation Modelling Practice and Theory** 18, 2010. p.732–751.

TAKO, A. A.; ROBINSON, S., The application of discrete event simulation and system dynamics in the logistics and supply chain context. **Journal Decision Support Systems**, 2012. p. 802-815.

THOMÉ, A.M.T.; SCAVARDA, L.F.; FERNANDEZ, N.S.;SCAVARDA, A.J. Sales and operations planning: A research synthesis. **Int. J. Production Economics**, 138 (2012) p.1–13.

TOWILL, D.R. Industrial dynamics modelling of supply chains, **Logistics Information Management**, Volume 9, Number 4, 1996, p.43–56.

UMPLEBY, S.A.; DENT, E, B. The origins and purposes of several traditions in systems theory and cybernetics. **Cybernetics and Systems: An International Journal**, v.30,p. 79-103, 1999.

VAN NIEUWENHUYSE, I.; DE BOECK, L.;LAMBRECHT, M.; VANDAELE, N.J. Advanced resource planning as a decision support module for ERP, **Computers in Industry** 62, 2011. p.1–8.

VENKATESWARAN, J.; SON, Y. Hybrid system dynamic-discrete event simulation-based architecture for hierarchical production planning, **International Journal of Production Research**, Vol. 43, No. 20, 15 October 2005, p.4397–4429 (2005).

VENKATESWARAN, J.; SON, Y.; JONES, A. hierarchical production planning using a hybrid system dynamic-discrete event simulation architecture. **Winter Simulation Conference**, 2004.

VIEIRA, S. **Estatística Experimental**, Editora Atlas S.A.,1999.



VLACHOS, D.; GEORGIADIS, P.; IAKOVOU, E., A system dynamics model for dynamic capacity planning of remanufacturing in closed-loop supply chains, **Computers & Operations Research** 34, 2007. p.367–394.

WALLACE, T. F. - **Planejamento de Vendas e Operações – S&OP – Guia Prático**. 2.ed., São Paulo: IMAN, (2008).

YIMER, A.D., DEMIRLI, K. A genetic approach to two-phase optimization of dynamic supply chain scheduling. **Computers & Industrial Engineering**, 58, 2010. p.411–422.

## APENDICE I

Relação das equações implementadas no modelo de simulação de dinâmica de sistemas para  
S&OP.

```

Caixa(t) = Caixa(t - dt) + (FluxoEntrada - FluxoSaida) * dt
INIT Caixa = 6176500
INFLOWS:
FluxoEntrada = EntradasCaixa+Emprestimo_bancario
OUTFLOWS:
FluxoSaida = SaidasCaixa+Amortizacao+PgtoJuros+SaidasCaixa_Parcels
CapacidadeRestrita[1](t) = CapacidadeRestrita[1](t - dt) + (HorasAdicionais[1] - ReducaoHoras[1]) * dt
INIT CapacidadeRestrita[1] = 4186
CapacidadeRestrita[2](t) = CapacidadeRestrita[2](t - dt) + (HorasAdicionais[2] - ReducaoHoras[2]) * dt
INIT CapacidadeRestrita[2] = 6728
CapacidadeRestrita[3](t) = CapacidadeRestrita[3](t - dt) + (HorasAdicionais[3] - ReducaoHoras[3]) * dt
INIT CapacidadeRestrita[3] = 648
CapacidadeRestrita[4](t) = CapacidadeRestrita[4](t - dt) + (HorasAdicionais[4] - ReducaoHoras[4]) * dt
INIT CapacidadeRestrita[4] = 2316
CapacidadeRestrita[5](t) = CapacidadeRestrita[5](t - dt) + (HorasAdicionais[5] - ReducaoHoras[5]) * dt
INIT CapacidadeRestrita[5] = 2702
INFLOWS:
HorasAdicionais[CpRest] = if (AjusteCpRest_LimitCaixa[CpRest]>0) then
AjusteCpRest_LimitCaixa[CpRest]/Tempo_IncrementoCap else 0
OUTFLOWS:
ReducaoHoras[CpRest] = if (AjusteCpRest_LimitCaixa[CpRest]) < 0 then
abs(AjusteCpRest_LimitCaixa[CpRest]) else 0
CapacidadeTotal(t) = CapacidadeTotal(t - dt) + (HorasAdicTotal - RedHorasTotal) * dt
INIT CapacidadeTotal = 16580
INFLOWS:
HorasAdicTotal = if (AjusteCpTotal>0) then AjusteCpTotal/Tempo_IncrementoCap else 0
OUTFLOWS:
RedHorasTotal = if (AjusteCpTotal) < 0 then abs(AjusteCpTotal) else 0
ContasPagar(t) = ContasPagar(t - dt) + (Titulos_aPagar - SaidasCaixa) * dt
INIT ContasPagar = 0
INFLOWS:
Titulos_aPagar =
Despesas+Gastos_Producao+arraysum(Impostos_IRCSSL[*])+arraysum(Impostos_SobreVenda[*])+
ValorTotal_MaoObra
OUTFLOWS:
SaidasCaixa = delay(Titulos_aPagar,1)
ContasPagar_Prazo(t) = ContasPagar_Prazo(t - dt) + (Titulos_aPagarPrazo - SaidasCaixa_Parcels)
* dt
INIT ContasPagar_Prazo = 28975968.78
INFLOWS:
Titulos_aPagarPrazo = arraysum(MatCompra_R$[*])
OUTFLOWS:
SaidasCaixa_Parcels = ContasPagar_Prazo/PrazoMedio_Pagamento
ContasReceber(t) = ContasReceber(t - dt) + (Faturamento[1] + Faturamento[2] + Faturamento[3] +
Faturamento[4] + Faturamento[5] + Faturamento[familia] - EntradasCaixa - PerdasInadimplencia) * dt
INIT ContasReceber = 34494437.34
INFLOWS:
Faturamento[familia] = delay(ValorVendas[familia],TempoFat)
OUTFLOWS:
EntradasCaixa = ContasReceber/PrazoMedio_Recebimento
PerdasInadimplencia = arraysum(Faturamento[*])*txInadimplencia
CustoEstqMP[1](t) = CustoEstqMP[1](t - dt) + (EntradaR$_MP[1] - SaidaR$_MP[1]) * dt
INIT CustoEstqMP[1] = 267707.15
CustoEstqMP[2](t) = CustoEstqMP[2](t - dt) + (EntradaR$_MP[2] - SaidaR$_MP[2]) * dt

```

$INIT\ CustoEstqMP[2] = 5004021.18$   
 $CustoEstqMP[3](t) = CustoEstqMP[3](t - dt) + (EntradaR\$\_MP[3] - SaidaR\$\_MP[3]) * dt$   
 $INIT\ CustoEstqMP[3] = 64541.13$   
 $CustoEstqMP[4](t) = CustoEstqMP[4](t - dt) + (EntradaR\$\_MP[4] - SaidaR\$\_MP[4]) * dt$   
 $INIT\ CustoEstqMP[4] = 452026.26$   
 $CustoEstqMP[5](t) = CustoEstqMP[5](t - dt) + (EntradaR\$\_MP[5] - SaidaR\$\_MP[5]) * dt$   
 $INIT\ CustoEstqMP[5] = 414151.65$   
 $CustoEstqMP[6](t) = CustoEstqMP[6](t - dt) + (EntradaR\$\_MP[6] - SaidaR\$\_MP[6]) * dt$   
 $INIT\ CustoEstqMP[6] = 297213.11$   
 $CustoEstqMP[7](t) = CustoEstqMP[7](t - dt) + (EntradaR\$\_MP[7] - SaidaR\$\_MP[7]) * dt$   
 $INIT\ CustoEstqMP[7] = 200090.25$   
 $CustoEstqMP[8](t) = CustoEstqMP[8](t - dt) + (EntradaR\$\_MP[8] - SaidaR\$\_MP[8]) * dt$   
 $INIT\ CustoEstqMP[8] = 478391.39$   
 $CustoEstqMP[9](t) = CustoEstqMP[9](t - dt) + (EntradaR\$\_MP[9] - SaidaR\$\_MP[9]) * dt$   
 $INIT\ CustoEstqMP[9] = 312988.14$   
 $CustoEstqMP[10](t) = CustoEstqMP[10](t - dt) + (EntradaR\$\_MP[10] - SaidaR\$\_MP[10]) * dt$   
 $INIT\ CustoEstqMP[10] = 1549056.15$   
**INFLOWS:**  
 $EntradaR\$\_MP[matprima] = MatCompra\_R\$[matprima]$   
**OUTFLOWS:**  
 $SaidaR\$\_MP[matprima] = ARRAYSUM(ReservaMP\_Producao[*],matprima) *$   
 $CustoUnit\_MP[matprima]$   
 $CustoEstqProd[1](t) = CustoEstqProd[1](t - dt) + (EntradaR\$\_Produtos[1] - SaidaR\$\_Produtos[1]) * dt$   
 $INIT\ CustoEstqProd[1] = 2227057.70$   
 $CustoEstqProd[2](t) = CustoEstqProd[2](t - dt) + (EntradaR\$\_Produtos[2] - SaidaR\$\_Produtos[2]) * dt$   
 $INIT\ CustoEstqProd[2] = 10778045.72$   
 $CustoEstqProd[3](t) = CustoEstqProd[3](t - dt) + (EntradaR\$\_Produtos[3] - SaidaR\$\_Produtos[3]) * dt$   
 $INIT\ CustoEstqProd[3] = 440137.78$   
 $CustoEstqProd[4](t) = CustoEstqProd[4](t - dt) + (EntradaR\$\_Produtos[4] - SaidaR\$\_Produtos[4]) * dt$   
 $INIT\ CustoEstqProd[4] = 262372.60$   
 $CustoEstqProd[5](t) = CustoEstqProd[5](t - dt) + (EntradaR\$\_Produtos[5] - SaidaR\$\_Produtos[5]) * dt$   
 $INIT\ CustoEstqProd[5] = 77500.15$   
**INFLOWS:**  
 $EntradaR\$\_Produtos[familia] = CustoUnitario[familia]*TxProducao[familia]$   
**OUTFLOWS:**  
 $SaidaR\$\_Produtos[familia] = Vendas[familia]*CustoUnit\_MedMovel[familia]$   
 $Demanda[1](t) = Demanda[1](t - dt) + (EntradaPrev[1]) * dt$   
 $INIT\ Demanda[1] = 28$   
 $Demanda[2](t) = Demanda[2](t - dt) + (EntradaPrev[2]) * dt$   
 $INIT\ Demanda[2] = 22$   
 $Demanda[3](t) = Demanda[3](t - dt) + (EntradaPrev[3]) * dt$   
 $INIT\ Demanda[3] = 15$   
 $Demanda[4](t) = Demanda[4](t - dt) + (EntradaPrev[4]) * dt$   
 $INIT\ Demanda[4] = 12$   
 $Demanda[5](t) = Demanda[5](t - dt) + (EntradaPrev[5]) * dt$   
 $INIT\ Demanda[5] = 11$   
**INFLOWS:**  
 $EntradaPrev[familia] = alfa*(PlanoVendas[familia]-Demanda[familia])$   
 $Divida\_Emprestimo(t) = Divida\_Emprestimo(t - dt) + (Emprestimo\_bancario - Amortizacao) * dt$   
 $INIT\ Divida\_Emprestimo = 0$   
**INFLOWS:**  
 $Emprestimo\_bancario = step(Montante\_Emprestimo*Tomar\_Emprestimo/(Fim\_Embolso-Inicio\_Embolso),Inicio\_Embolso)+$   
 $step(-Montante\_Emprestimo*Tomar\_Emprestimo/(Fim\_Embolso-Inicio\_Embolso),Fim\_Embolso)$   
**OUTFLOWS:**  
 $Amortizacao = step( Montante\_Emprestimo*Tomar\_Emprestimo/Tempo\_Amortizacao,Fim\_Embolso$   
 $)+$   
 $step( -$   
 $Montante\_Emprestimo*Tomar\_Emprestimo/Tempo\_Amortizacao,Fim\_Embolso+Tempo\_Amortizacao)$   
 $EstoqMat\_KG[1](t) = EstoqMat\_KG[1](t - dt) + (EntregaMP[1] - SaidaMP\_KG[1]) * dt$

INIT EstoqMat\_KG[1] = 147904.50  
 EstoqMat\_KG[2](t) = EstoqMat\_KG[2](t - dt) + (EntregaMP[2] - SaidaMP\_KG[2]) \* dt  
 INIT EstoqMat\_KG[2] = 331831.64  
 EstoqMat\_KG[3](t) = EstoqMat\_KG[3](t - dt) + (EntregaMP[3] - SaidaMP\_KG[3]) \* dt  
 INIT EstoqMat\_KG[3] = 3536.50  
 EstoqMat\_KG[4](t) = EstoqMat\_KG[4](t - dt) + (EntregaMP[4] - SaidaMP\_KG[4]) \* dt  
 INIT EstoqMat\_KG[4] = 16779  
 EstoqMat\_KG[5](t) = EstoqMat\_KG[5](t - dt) + (EntregaMP[5] - SaidaMP\_KG[5]) \* dt  
 INIT EstoqMat\_KG[5] = 9185  
 EstoqMat\_KG[6](t) = EstoqMat\_KG[6](t - dt) + (EntregaMP[6] - SaidaMP\_KG[6]) \* dt  
 INIT EstoqMat\_KG[6] = 3974.50  
 EstoqMat\_KG[7](t) = EstoqMat\_KG[7](t - dt) + (EntregaMP[7] - SaidaMP\_KG[7]) \* dt  
 INIT EstoqMat\_KG[7] = 1660.50  
 EstoqMat\_KG[8](t) = EstoqMat\_KG[8](t - dt) + (EntregaMP[8] - SaidaMP\_KG[8]) \* dt  
 INIT EstoqMat\_KG[8] = 1649  
 EstoqMat\_KG[9](t) = EstoqMat\_KG[9](t - dt) + (EntregaMP[9] - SaidaMP\_KG[9]) \* dt  
 INIT EstoqMat\_KG[9] = 346  
 EstoqMat\_KG[10](t) = EstoqMat\_KG[10](t - dt) + (EntregaMP[10] - SaidaMP\_KG[10]) \* dt  
 INIT EstoqMat\_KG[10] = 226.50  
 INFLOWS:  
 EntregaMP[matprima] = MatCompra[matprima]  
 OUTFLOWS:  
 SaidaMP\_KG[matprima] = ARRAYSUM(ReservaMP\_Producao[\*],matprima)  
 EstoqProd[1](t) = EstoqProd[1](t - dt) + (TxProducao[1] - Vendas[1]) \* dt  
 INIT EstoqProd[1] = 53  
 EstoqProd[2](t) = EstoqProd[2](t - dt) + (TxProducao[2] - Vendas[2]) \* dt  
 INIT EstoqProd[2] = 30  
 EstoqProd[3](t) = EstoqProd[3](t - dt) + (TxProducao[3] - Vendas[3]) \* dt  
 INIT EstoqProd[3] = 13  
 EstoqProd[4](t) = EstoqProd[4](t - dt) + (TxProducao[4] - Vendas[4]) \* dt  
 INIT EstoqProd[4] = 15  
 EstoqProd[5](t) = EstoqProd[5](t - dt) + (TxProducao[5] - Vendas[5]) \* dt  
 INIT EstoqProd[5] = 5  
 INFLOWS:  
 TxProducao[familia] = delay(Ordens[familia],TCicloProd[familia])  
 OUTFLOWS:  
 Vendas[1] = min(EstoqProd[1]/dt,PlanoVendas[1])  
 Vendas[2] = min(EstoqProd[2]/dt,PlanoVendas[2])  
 Vendas[3] = min(EstoqProd[3]/dt,PlanoVendas[3])  
 Vendas[4] = min(EstoqProd[4]/dt,PlanoVendas[4])  
 Vendas[5] = min(EstoqProd[5]/dt,PlanoVendas[5])  
 Faturamento\_emProcesso[familia](t) = Faturamento\_emProcesso[familia](t - dt) +  
 (ValorVendas[familia] - Faturamento[familia]) \* dt  
 INIT Faturamento\_emProcesso[familia] = 4800000  
 INFLOWS:  
 ValorVendas[familia] = TotVendas\_PorFam[familia]  
 OUTFLOWS:  
 Faturamento[familia] = delay(ValorVendas[familia],TempoFat)  
 Imobilizado\_Custo(t) = Imobilizado\_Custo(t - dt) + (- Depreciacao\_Custo) \* dt  
 INIT Imobilizado\_Custo = 52140000  
 OUTFLOWS:  
 Depreciacao\_Custo = txDepreciacao\_2  
 Imobilizado\_Despesa(t) = Imobilizado\_Despesa(t - dt) + (- Depreciacao\_Despesas) \* dt  
 INIT Imobilizado\_Despesa = 1200000  
 OUTFLOWS:  
 Depreciacao\_Despesas = txDepreciacao  
 Producao[1](t) = Producao[1](t - dt) + (Ordens[1] - TxProducao[1]) \* dt  
 INIT Producao[1] = 0.5  
 Producao[2](t) = Producao[2](t - dt) + (Ordens[2] - TxProducao[2]) \* dt  
 INIT Producao[2] = 4.72

$Producao[3](t) = Producao[3](t - dt) + (Ordens[3] - TxProducao[3]) * dt$

INIT  $Producao[3] = 2.58$

$Producao[4](t) = Producao[4](t - dt) + (Ordens[4] - TxProducao[4]) * dt$

INIT  $Producao[4] = 0.25$

$Producao[5](t) = Producao[5](t - dt) + (Ordens[5] - TxProducao[5]) * dt$

INIT  $Producao[5] = 0.25$

INFLOWS:

$Ordens[familia] = OPLiberadas[familia]$

TIMESTAMPED

OUTFLOWS:

$TxProducao[familia] = delay(Ordens[familia], TCicloProd[familia])$

$Suprimento[1](t) = Suprimento[1](t - dt) + (ReqCompras[1] - MatCompra[1]) * dt$

INIT  $Suprimento[1] = 4815$

$Suprimento[2](t) = Suprimento[2](t - dt) + (ReqCompras[2] - MatCompra[2]) * dt$

INIT  $Suprimento[2] = 115179$

$Suprimento[3](t) = Suprimento[3](t - dt) + (ReqCompras[3] - MatCompra[3]) * dt$

INIT  $Suprimento[3] = 1625$

$Suprimento[4](t) = Suprimento[4](t - dt) + (ReqCompras[4] - MatCompra[4]) * dt$

INIT  $Suprimento[4] = 6428$

$Suprimento[5](t) = Suprimento[5](t - dt) + (ReqCompras[5] - MatCompra[5]) * dt$

INIT  $Suprimento[5] = 9740$

$Suprimento[6](t) = Suprimento[6](t - dt) + (ReqCompras[6] - MatCompra[6]) * dt$

INIT  $Suprimento[6] = 3797$

$Suprimento[7](t) = Suprimento[7](t - dt) + (ReqCompras[7] - MatCompra[7]) * dt$

INIT  $Suprimento[7] = 1582$

$Suprimento[8](t) = Suprimento[8](t - dt) + (ReqCompras[8] - MatCompra[8]) * dt$

INIT  $Suprimento[8] = 951$

$Suprimento[9](t) = Suprimento[9](t - dt) + (ReqCompras[9] - MatCompra[9]) * dt$

INIT  $Suprimento[9] = 364$

$Suprimento[10](t) = Suprimento[10](t - dt) + (ReqCompras[10] - MatCompra[10]) * dt$

INIT  $Suprimento[10] = 338$

INFLOWS:

$ReqCompras[matprima] = Compras_Aprovadas[matprima]$

OUTFLOWS:

$MatCompra[matprima] = Suprimento[matprima]/PrazoSupr[matprima]$

$SuprimentoR\$\{1\}(t) = SuprimentoR\$\{1\}(t - dt) + (ReqCompras\_R\$\{1\} - MatCompra\_R\$\{1\}) * dt$

INIT  $SuprimentoR\$\{1\} = 8715.15$

$SuprimentoR\$\{2\}(t) = SuprimentoR\$\{2\}(t - dt) + (ReqCompras\_R\$\{2\} - MatCompra\_R\$\{2\}) * dt$

INIT  $SuprimentoR\$\{2\} = 1736899.32$

$SuprimentoR\$\{3\}(t) = SuprimentoR\$\{3\}(t - dt) + (ReqCompras\_R\$\{3\} - MatCompra\_R\$\{3\}) * dt$

INIT  $SuprimentoR\$\{3\} = 29656.25$

$SuprimentoR\$\{4\}(t) = SuprimentoR\$\{4\}(t - dt) + (ReqCompras\_R\$\{4\} - MatCompra\_R\$\{4\}) * dt$

INIT  $SuprimentoR\$\{4\} = 173170.32$

$SuprimentoR\$\{5\}(t) = SuprimentoR\$\{5\}(t - dt) + (ReqCompras\_R\$\{5\} - MatCompra\_R\$\{5\}) * dt$

INIT  $SuprimentoR\$\{5\} = 439176.60$

$SuprimentoR\$\{6\}(t) = SuprimentoR\$\{6\}(t - dt) + (ReqCompras\_R\$\{6\} - MatCompra\_R\$\{6\}) * dt$

INIT  $SuprimentoR\$\{6\} = 283939.66$

$SuprimentoR\$\{7\}(t) = SuprimentoR\$\{7\}(t - dt) + (ReqCompras\_R\$\{7\} - MatCompra\_R\$\{7\}) * dt$

INIT  $SuprimentoR\$\{7\} = 190631.00$

$SuprimentoR\$\{8\}(t) = SuprimentoR\$\{8\}(t - dt) + (ReqCompras\_R\$\{8\} - MatCompra\_R\$\{8\}) * dt$

INIT  $SuprimentoR\$\{8\} = 275894.61$

$SuprimentoR\$\{9\}(t) = SuprimentoR\$\{9\}(t - dt) + (ReqCompras\_R\$\{9\} - MatCompra\_R\$\{9\}) * dt$

INIT  $SuprimentoR\$\{9\} = 329270.76$

$SuprimentoR\$\{10\}(t) = SuprimentoR\$\{10\}(t - dt) + (ReqCompras\_R\$\{10\} - MatCompra\_R\$\{10\}) * dt$

INIT  $SuprimentoR\$\{10\} = 2311615.80$

INFLOWS:

$ReqCompras\_R\$\{matprima\} = Compras\_Aprovadas[matprima]*Preco\_MedioMP[matprima]$

OUTFLOWS:

$MatCompra\_R\$\{matprima\} = SuprimentoR\$\{matprima\}/PrazoSupr[matprima]$

$WIP\_GGP(t) = WIP\_GGP(t - dt) + (EntGGP - SaiGGP) * dt$

```

INIT WIP_GGP = 115636.92
INFLOWS:
EntGGP = GastosGerais_Producao
OUTFLOWS:
SaiGGP = CustIndHora*HorasTotal_Consumida
WIP_MO(t) = WIP_MO(t - dt) + (EntMO_R$ - SaiMO_R$) * dt
INIT WIP_MO = 85483.42
INFLOWS:
EntMO_R$ = ValorTotal_MaoObra
OUTFLOWS:
SaiMO_R$ = HorasTotal_Consumida*CustoHora
WIP_MP[1](t) = WIP_MP[1](t - dt) + (EntradaR$_MPPProcesso[1] - SaidaR$_MPPProcesso[1]) * dt
INIT WIP_MP[1] = 24121.99
WIP_MP[2](t) = WIP_MP[2](t - dt) + (EntradaR$_MPPProcesso[2] - SaidaR$_MPPProcesso[2]) * dt
INIT WIP_MP[2] = 588237.44
WIP_MP[3](t) = WIP_MP[3](t - dt) + (EntradaR$_MPPProcesso[3] - SaidaR$_MPPProcesso[3]) * dt
INIT WIP_MP[3] = 7018.02
WIP_MP[4](t) = WIP_MP[4](t - dt) + (EntradaR$_MPPProcesso[4] - SaidaR$_MPPProcesso[4]) * dt
INIT WIP_MP[4] = 13637.50
WIP_MP[5](t) = WIP_MP[5](t - dt) + (EntradaR$_MPPProcesso[5] - SaidaR$_MPPProcesso[5]) * dt
INIT WIP_MP[5] = 52293.86
WIP_MP[6](t) = WIP_MP[6](t - dt) + (EntradaR$_MPPProcesso[6] - SaidaR$_MPPProcesso[6]) * dt
INIT WIP_MP[6] = 21600.45
WIP_MP[7](t) = WIP_MP[7](t - dt) + (EntradaR$_MPPProcesso[7] - SaidaR$_MPPProcesso[7]) * dt
INIT WIP_MP[7] = 26724.80
WIP_MP[8](t) = WIP_MP[8](t - dt) + (EntradaR$_MPPProcesso[8] - SaidaR$_MPPProcesso[8]) * dt
INIT WIP_MP[8] = 31137.95
WIP_MP[9](t) = WIP_MP[9](t - dt) + (EntradaR$_MPPProcesso[9] - SaidaR$_MPPProcesso[9]) * dt
INIT WIP_MP[9] = 52559.63
WIP_MP[10](t) = WIP_MP[10](t - dt) + (EntradaR$_MPPProcesso[10] - SaidaR$_MPPProcesso[10]) * dt
INIT WIP_MP[10] = 502116.31
INFLOWS:
EntradaR$_MPPProcesso[matprima] = ARRAYSUM(ReservaMP_Producao[*],matprima) *
CustoUnit_MP[matprima]
OUTFLOWS:
SaidaR$_MPPProcesso[matprima] = ARRAYSUM(BaixaMP[*],matprima)
AjusteCpRest[CpRest] = if (CpPadrao[CpRest] >= TotCpNec_PorCpRest[CpRest]) then
(CpPadrao[CpRest]-CapacidadeRestrita[CpRest])
else (TotCpNec_PorCpRest[CpRest]-CapacidadeRestrita[CpRest])
AjusteCpRest_LimitCaixa[CpRest] = if (CpPadrao[CpRest] >= CpNec_LimitCaixa[CpRest]) then
(CpPadrao[CpRest]-CapacidadeRestrita[CpRest])
else (CpNec_LimitCaixa[CpRest]-CapacidadeRestrita[CpRest])
AjusteCpTotal = if (CpTotalPadrao >= (CpTotalNec*txCapacid_Aprovada) ) then (CpTotalPadrao-
CapacidadeTotal)
else ((CpTotalNec*txCapacid_Aprovada)-CapacidadeTotal)
alfa = 0.2
BaixaMP[familia,matprima] = if ARRAYSUM(ConsumoMP[*],matprima) > 0 then
( (WIP_MP[matprima] + EntradaR$_MPPProcesso[matprima])/ ARRAYSUM(ConsumoMP[*],matprima)
) * ( TxProducao[familia]*BOM[familia,matprima]
)
else 0
BOM[1,1] = 470
BOM[1,2] = 1225
BOM[1,3] = 4
BOM[1,4] = 14
BOM[1,5] = 68
BOM[1,6] = 17
BOM[1,7] = 6
BOM[1,8] = 6
BOM[1,9] = 2
BOM[1,10] = 0

```

BOM[2,1] = 2574  
 BOM[2,2] = 7673  
 BOM[2,3] = 75  
 BOM[2,4] = 90  
 BOM[2,5] = 223  
 BOM[2,6] = 57  
 BOM[2,7] = 44  
 BOM[2,8] = 21  
 BOM[2,9] = 11  
 BOM[2,10] = 15  
 BOM[3,1] = 263  
 BOM[3,2] = 776  
 BOM[3,3] = 11  
 BOM[3,4] = 12  
 BOM[3,5] = 24  
 BOM[3,6] = 2  
 BOM[3,7] = 3  
 BOM[3,8] = 2  
 BOM[3,9] = 2  
 BOM[3,10] = 1  
 BOM[4,1] = 668  
 BOM[4,2] = 394  
 BOM[4,3] = 0  
 BOM[4,4] = 87  
 BOM[4,5] = 22  
 BOM[4,6] = 16  
 BOM[4,7] = 0  
 BOM[4,8] = 0  
 BOM[4,9] = 0  
 BOM[4,10] = 0  
 BOM[5,1] = 364  
 BOM[5,2] = 238  
 BOM[5,3] = 0  
 BOM[5,4] = 86  
 BOM[5,5] = 21  
 BOM[5,6] = 8  
 BOM[5,7] = 13  
 BOM[5,8] = 0  
 BOM[5,9] = 0  
 BOM[5,10] = 0  
 CobertEstqMP = 2  
 Comissoes[familia] = Faturamento[familia]\*txComiss  
 Compras\_Aprovadas[matprima] = if (LimitarCompra=0) then ListaCompras[matprima] else  
 if LimiteCaixa\_Compra >= 1 then ListaCompras[matprima] else  
 ListaCompras[matprima]\*LimiteCaixa\_Compra  
 ConsumoMP[familia,matprima] = (Producao[familia]+Ordens[familia])\*BOM[familia,matprima]  
 CpAdicional = ARRAYSUM(CapacidadeRestrita[\*]) - ARRAYSUM(CpPadrao[\*]) +  
 ARRAYSUM(AjusteCpRest[\*])  
 CpNec[familia,percapacid] = if ARRAYIDX(CpRest\_PorFamilia[familia,percapacid],2)=1 then  
 CpRest\_PorFamilia[familia,1]  
 else  
 ( HoraRestrita\_Unid[familia]\*PlanoProducao[familia] ) / ARRAYVALUE(Produtividade[\*],  
 CpRest\_PorFamilia[familia,1])  
 CpNec\_LimitCaixa[CpRest] = (CapacidadeRestrita[CpRest]+AjusteCpRest[CpRest]) \*  
 txCapacid\_Aprovada  
 CpPadrao[1] = 4186  
 CpPadrao[2] = 6728  
 CpPadrao[3] = 648  
 CpPadrao[4] = 2316  
 CpPadrao[5] = 2702

```

CpRest_PorFamilia[1,1] = 4
CpRest_PorFamilia[1,2] = 1
CpRest_PorFamilia[2,1] = 4
CpRest_PorFamilia[2,2] = 1
CpRest_PorFamilia[3,1] = 4
CpRest_PorFamilia[3,2] = 1
CpRest_PorFamilia[4,1] = 4
CpRest_PorFamilia[4,2] = 1
CpRest_PorFamilia[5,1] = 4
CpRest_PorFamilia[5,2] = 1
CpTotalNec = if ((1+ (CpAdicional/TotCpPadrao) ) > (1/txRelacaoCpRestrita)) then (1+
(CpAdicional/TotCpPadrao) ) * (txRelacaoCpRestrita * CpTotalPadrao) else
CpTotalPadrao+CpAdicional
CpTotalPadrao = 16580
CpUtilizada[CpRest] = arraysum(HorasUtiliz_CentroFam[*],CpRest]) / CapacidadeRestrita[CpRest]
CustIndHora = if TotalHoras_Utilizadas > 0 then (WIP_GGP + GastosGerais_Producao) /
TotalHoras_Utilizadas else 0
CustoHora = if TotalHoras_Utilizadas > 0 then (WIP_MO + ValorTotal_MaoObra) /
TotalHoras_Utilizadas else 0
CustoMedio_MP[familia] = arraysum( CustoMP_OP[familia,*] )
CustoMO[familia] = CustoHora*Horas_ConsumidaFam[familia]
CustoMP_OP[familia,matprima] = if TxProducao[familia]>0 then BaixaMP[familia,matprima] /
TxProducao[familia] else 0
CustoProdutos_Vendidos[familia] = SaidaR$_Produtos[familia]
CustosInd_FabVar[familia] =
(TxProducao[familia]*CustoUnit_DiretoVariavel[familia])*txCustoInd_Variavel
CustosProdutos_Vendidos_Total = ARRAYSUM(CustoProdutos_Vendidos[*])
CustoUnitario[familia] = CustoUnit_DiretoVariavel[familia]+Rateio_CustosIndiretos[familia]
CustoUnitario_MaoObra[familia] = if(TxProducao[familia]>0) then
(CustoMO[familia]/TxProducao[familia]) else 0
CustoUnit_DiretoVariavel[familia] = CustoUnitario_MaoObra[familia]+CustoMedio_MP[familia]
CustoUnit_MedMovell[familia] = if(EstoqProd[familia]>0) then
(CustoEstqProd[familia]+EntradaR$_Produtos[familia])/(EstoqProd[familia]+TxProducao[familia]) else
if (TxProducao[familia]>0) then EntradaR$_Produtos[familia]/TxProducao[familia]
else 0
CustoUnit_MP[matprima] = if ( EstoqMat_KG[matprima]>0 ) then
(CustoEstqMP[matprima]+EntradaR$_MP[matprima])/(EstoqMat_KG[matprima]+EntregaMP[matprima
]) else
(EntradaR$_MP[matprima]/EntregaMP[matprima])
CustoUnit_Variavel[familia] = if arraysum(Horas_ConsumidaFam[*]) >0 then
CustoUnit_DiretoVariavel[familia] + ( ( TotCustos_IndFabVar / arraysum(Horas_ConsumidaFam[*]) ) *
HorasTotal_Unid[familia] )
else
CustoUnit_DiretoVariavel[familia]
DespesasGerais =
TotComissoes+Despesas_Administrativas+Despesas_Comerciais+Despesas_Financeiras+Depreciac
ao_Despesas
Despesas = DespesasGerais-Depreciacao_Despesas
Despesas_Administrativas = txDepAdm*Faturamento_Total
Despesas_Comerciais = txDespComerc*Faturamento_Total
Despesas_Financeiras = (txDespFinan*Faturamento_Total)+PgtoJuros+Amortizacao
EBTIDA =
arraysum(Resultado_Operacional[*])+Despesas_Financeiras+Depreciacao_Custo+Depreciacao_Des
pesas
EstoqProd_Total = ARRAYSUM(EstoqProd[*])
Faturamento_Total = ARRAYSUM(Faturamento[*])
Fim_Embolso = Inicio_Embolso+1
GastosFixo_Producao = 1200000
GastosGerais_Producao = GastosFixo_Producao+Depreciacao_Custo+TotCustos_IndFabVar
Gastos_Producao = GastosGerais_Producao-Depreciacao_Custo

```



```

Giro_Estoque = if(arraysum(CustoProdutos_Vendidos[*])>0) then
ValorEstoque/ARRAYSUM(CustoProdutos_Vendidos[*]) else 0
HoraRestrita_Unid[1] = 8
HoraRestrita_Unid[2] = 65
HoraRestrita_Unid[3] = 6
HoraRestrita_Unid[4] = 3.5
HoraRestrita_Unid[5] = 3.5
HorasEfetiva[CpRest] = CapacidadeRestrita[CpRest]*Produtividade[CpRest]
HorasTotal_Consumida = ARRAYSUM(Horas_ConsumidaFam[*])
HorasTotal_Unid[1] = 45
HorasTotal_Unid[2] = 284
HorasTotal_Unid[3] = 30
HorasTotal_Unid[4] = 20
HorasTotal_Unid[5] = 21.5
HorasUtiliz_CentroFam[familia,CpRest] =
TempoProc_CentroFam[familia,CpRest]*OPLiberadas[familia]
Horas_ConsumidaFam[familia] = (TxProducao[familia]*HorasTotal_Unid[familia])
Horas_Utilizadas[familia] = ( OPLiberadas[familia]*HorasTotal_Unid[familia] ) + (
Producao[familia]*HorasTotal_Unid[familia]*PercTempo[familia] )
Impostos_IRCSSL_Total = ARRAYSUM(Impostos_IRCSSL[*])
ImpostosSobreVenda_Total = ARRAYSUM(Impostos_SobreVenda[*])
Impostos_IRCSSL[familia] = if (Resultado_Operacional[familia]>0) then
Resultado_Operacional[familia]*Provisao_IRCSSL else 0
Impostos_SobreVenda[familia] = ReceitaBruta[familia]*txImpostos_SobreVenda
Inicio_Embolso = 4
LimitarCapacid = 0
LimitarCompra = 0
LimiteCaixa_Capacid = Caixa*txPercCaixa_Capacid
LimiteCaixa_Compra = if ( arraysum(TotCompraR$[*]) )>0 then (Caixa*txPercCaixa_Compra) / (
arraysum(TotCompraR$[*]) ) else 1
ListaCompras[matprima] = if ( ( (MaterialNec[matprima]-MatPrima_Encomenda[matprima]) *
CobertEstqMP) + (MaterialNec[matprima]-MatPrima_Encomenda[matprima]) -
(EstoqMat_KG[matprima]+Suprimento[matprima]) ) >0
then ( ( (MaterialNec[matprima]-MatPrima_Encomenda[matprima]) * CobertEstqMP) +
(MaterialNec[matprima]-MatPrima_Encomenda[matprima]) ) -
(EstoqMat_KG[matprima]+Suprimento[matprima]) + MatPrima_Encomenda[matprima]
else MatPrima_Encomenda[matprima]
ListaMatOP[familia,matprima] = BOM[familia,matprima]*PlanoProducao[familia]
LucroBruto[familia] = ReceitaLiquida[familia]-CustoProdutos_Vendidos[familia]
LucroBruto_Total = ARRAYSUM(LucroBruto[*])
LucroLiquido[familia] = Resultado_Operacional[familia]-Impostos_IRCSSL[familia]
LucroLiquido_Total = ARRAYSUM(LucroLiquido[*])
MargContrib_Total = ARRAYSUM(MargContrib_TotFamilia[*])
MargContrib_TotFamilia[familia] = ReceitaLiquida[familia] - Comissoes[familia] -
(CustoUnit_Variavel[familia]*Vendas[familia])
MargContrib_Unitaria[familia] = if Vendas[familia] > 0 then
MargContrib_TotFamilia[familia]/Vendas[familia]
else 0
MargemLiquida_Total = if arraysum(ReceitaLiquida[*])>0 then
(arraysum(LucroLiquido[*])/arraysum(ReceitaLiquida[*]) ) *100 else 0
Margem_EBTIDA = if (arraysum(ReceitaLiquida[*])>0 ) then (EBTIDA/arraysum(ReceitaLiquida[*])
)*100 else 0
Margem_Liquida[familia] = if ReceitaLiquida[familia]>0 then
(LucroLiquido[familia]/ReceitaLiquida[familia])*100 else 0
Markup =
txComiss+txDepAdm+txDespComerc+txDespFinan+txMargem_Desejada+txImpostos_SobreVenda
MaterialNec[matprima] = ARRAYSUM(ListaMatOP[*],matprima)
MatPrima_Encomenda[matprima] = MaterialNec[matprima]*txMatPrima_Encomenda[matprima]
Montante_Emprestimo = 500000
MpDispOP[familia,matprima] = if BOM[familia,matprima] > 0 then

```

```

(EstoqMat_KG[matprima]*PercMP_PlanoProd[familia,matprima] ) / BOM[familia,matprima]
else 999999999
OPLiberadas[familia] = min(OPLibMat[familia],OPLibMOB[familia],PlanoProducao[familia])
OPLibMat[familia] = ARRAYMIN(MpDispOP[familia,*])
OPLibMOB[1] = if (CpRest_PorFamilia[1,2] =1) then
int( ( ARRAYVALUE(HorasEfetiva[*],CpRest_PorFamilia[1,1]) * PercAloc_CpRest[1,2] ) /
HoraRestrita_Unid[1] )
else
int( ( ARRAYVALUE(HorasEfetiva[*],CpRest_PorFamilia[1,1]) * CpRest_PorFamilia[1,2] ) /
HoraRestrita_Unid[1] )
OPLibMOB[2] = if (CpRest_PorFamilia[2,2] =1) then
int( ( ARRAYVALUE(HorasEfetiva[*],CpRest_PorFamilia[2,1]) * PercAloc_CpRest[2,2] ) /
HoraRestrita_Unid[2] )
else
int( ( ARRAYVALUE(HorasEfetiva[*],CpRest_PorFamilia[2,1]) * CpRest_PorFamilia[2,2] ) /
HoraRestrita_Unid[2] )
OPLibMOB[3] = if (CpRest_PorFamilia[3,2] =1) then
int( ( ARRAYVALUE(HorasEfetiva[*],CpRest_PorFamilia[3,1]) * PercAloc_CpRest[3,2] ) /
HoraRestrita_Unid[3] )
else
int( ( ARRAYVALUE(HorasEfetiva[*],CpRest_PorFamilia[3,1]) * CpRest_PorFamilia[3,2] ) /
HoraRestrita_Unid[3] )
OPLibMOB[4] = if (CpRest_PorFamilia[4,2] =1) then
int( ( ARRAYVALUE(HorasEfetiva[*],CpRest_PorFamilia[4,1]) * PercAloc_CpRest[4,2] ) /
HoraRestrita_Unid[4] )
else
int( ( ARRAYVALUE(HorasEfetiva[*],CpRest_PorFamilia[4,1]) * CpRest_PorFamilia[4,2] ) /
HoraRestrita_Unid[4] )
OPLibMOB[5] = if (CpRest_PorFamilia[5,2] =1) then
int( ( ARRAYVALUE(HorasEfetiva[*],CpRest_PorFamilia[5,1]) * PercAloc_CpRest[5,2] ) /
HoraRestrita_Unid[5] )
else
int( ( ARRAYVALUE(HorasEfetiva[*],CpRest_PorFamilia[5,1]) * CpRest_PorFamilia[5,2] ) /
HoraRestrita_Unid[5] )
PercAloc_CpRest[familia,percapacid] = if ARRAYIDX(CpNec[familia,percapacid],2)=1 then
CpNec[familia,1]
else
if ARRAYVALUE(TotCpNec_PorCpRest[*], CpNec[familia,1]) > 0 then
CpNec[familia,2] / ARRAYVALUE(TotCpNec_PorCpRest[*], CpNec[familia,1])
else 0
PercAtend_PlanoEstq = if PlanoEstoque_Total > 0 then
(EstoqProd_Total/PlanoEstoque_Total)*100
else 0
PercAtend_PlanoProd = if PlanoProducao_Total>0 then (Producao_Total/PlanoProducao_Total)*100
else 0
PercAtend_PlanoVendas = if PlanoVendas_Total > 0 then
(Vendas_Total/PlanoVendas_Total)*100
else 0
PercMargem_Contrib[familia] = if ReceitaBruta[familia]>0 then
(MargContrib_TotFamilia[familia]/ReceitaBruta[familia])*100
else 0
PercMargem_ContrTotal = if ReceitaBruta_Total>0 then (MargContrib_Total/ReceitaBruta_Total)*100
else -100
PercMP_PlanoProd[familia,matprima] = if MaterialNec[matprima]>0 then
(PlanoProducao[familia]*BOM[familia,matprima]) / MaterialNec[matprima]
else 0
PercTempo[familia] = TCiclo[familia]/TCicloProd[familia]
PercUtil_PlanCpRest[CpRest] = (TotalPlanej_CpRest[CpRest]/CpPadrao[CpRest])*100
PercVendas[familia] = if(TotVendas>0) then TotVendas_PorFam[familia]/TotVendas else 0
PgtoJuros = txJuros*Divida_Emprestimo

```

```

PlanoEstoque[familia] = if Estq_Desejado[familia] > 0 then Estq_Desejado[familia]
else
int(CobertEstq[familia]*Demanda[familia])
PlanoEstoque_Total = ARRAYSUM(PlanoEstoque[*])
PlanoProducao[1] = Max(0,PlanoEstoque[1]-EstoqProd[1]+PlanoVendas[1])
PlanoProducao[2] = Max(0,PlanoEstoque[2]-EstoqProd[2]+PlanoVendas[2])
PlanoProducao[3] = Max(0,PlanoEstoque[3]-EstoqProd[3]+PlanoVendas[3])
PlanoProducao[4] = Max(0,PlanoEstoque[4]-EstoqProd[4]+PlanoVendas[4])
PlanoProducao[5] = int(Max(0,(PlanoEstoque[5]-(EstoqProd[5]-PlanoVendas[5])))
PlanoProducao_Total = ARRAYSUM(PlanoProducao[*])
PlanoVendas[familia] = max( 0, NORMAL(PrevisaoVendas[familia], (0.10*PrevisaoVendas[familia])) )
PlanoVendas_Total = ARRAYSUM(PlanoVendas[*])
PrazoMedio_Pagamento = 3
PrazoMedio_Recebimento = 1
PrazoSupr[1] = NORMAL(0.23,0.06)
PrazoSupr[2] = NORMAL(0.67,0.06)
PrazoSupr[3] = NORMAL(0.5,0.06)
PrazoSupr[4] = NORMAL(0.5,0.06)
PrazoSupr[5] = NORMAL(0.5,0.06)
PrazoSupr[6] = NORMAL(0.5,0.06)
PrazoSupr[7] = NORMAL(0.5,0.06)
PrazoSupr[8] = NORMAL(0.5,0.06)
PrazoSupr[9] = NORMAL(0.23,0.06)
PrazoSupr[10] = NORMAL(0.23,0.06)
PrecoVenda[1] = 101500
PrecoVenda[2] = 849000
PrecoVenda[3] = 80200
PrecoVenda[4] = 43960
PrecoVenda[5] = 38900
PrecoVenda_Sugerido[familia] = if ( Vendas[familia]>0 ) then
((CustoProdutos_Vendidos[familia]+(Depreciacao_Despesas*PercVendas[familia]))/(1-
Markup))/Vendas[familia]
else
0
Producao_Total = ARRAYSUM(TxProducao[*])
Produtividade[CpRest] = 0.8
Provisao_IRCSSL = 0.24
Rateio_CustosIndiretos[familia] = if TxProducao[familia] > 0 then
(CustlndHora*Horas_ConsumidaFam[familia])/TxProducao[familia]
else 0
Rateio_DespesasGerais[familia] = DepesasGerais*PercVendas[familia]
ReceitaBruta[familia] = Faturamento[familia]
ReceitaBruta_Total = ARRAYSUM(ReceitaBruta[*])
ReceitaLiquida[familia] = ReceitaBruta[familia]-Impostos_SobreVenda[familia]
ReceitaLiquida_Total = ARRAYSUM(ReceitaLiquida[*])
ReservaMP_Producao[familia,matprima] = OPLiberadas[familia]*BOM[familia,matprima]
ResultadoOperacional_Total = ARRAYSUM(Resultado_Operacional[*])
Resultado_Operacional[familia] = LucroBruto[familia]-Rateio_DespesasGerais[familia]
TCiclo[familia] = CYCLETIME(TxProducao[familia])
TCicloProd[1] = normal(0.5,0.06)
TCicloProd[2] = normal(0.66,0.06)
TCicloProd[3] = normal(0.5,0.06)
TCicloProd[4] = normal(0.23,0.03)
TCicloProd[5] = normal(0.23,0.03)
TempoFat = 0
TempoProcTot_CentroFam[familia,CpRest] =
TempoProc_CentroFam[familia,CpRest]*PlanoProducao[familia]
TempoProc_CentroFam[1,1] = 5
TempoProc_CentroFam[1,2] = 23
TempoProc_CentroFam[1,3] = 2

```

```

TempoProc_CentroFam[1,4] = 8
TempoProc_CentroFam[1,5] = 7
TempoProc_CentroFam[2,1] = 51
TempoProc_CentroFam[2,2] = 122
TempoProc_CentroFam[2,3] = 2
TempoProc_CentroFam[2,4] = 65
TempoProc_CentroFam[2,5] = 44
TempoProc_CentroFam[3,1] = 3
TempoProc_CentroFam[3,2] = 15
TempoProc_CentroFam[3,3] = 1
TempoProc_CentroFam[3,4] = 6
TempoProc_CentroFam[3,5] = 5
TempoProc_CentroFam[4,1] = 3
TempoProc_CentroFam[4,2] = 10
TempoProc_CentroFam[4,3] = 0.5
TempoProc_CentroFam[4,4] = 3.5
TempoProc_CentroFam[4,5] = 3
TempoProc_CentroFam[5,1] = 3.5
TempoProc_CentroFam[5,2] = 10
TempoProc_CentroFam[5,3] = 0.5
TempoProc_CentroFam[5,4] = 3.5
TempoProc_CentroFam[5,5] = 4
Tempo_Amortizacao = 6
Tempo_IncrementoCap = 0.125
Tomar_Emprestimo = 0
TotalHoras_Utilizadas = arraysum(Horas_Utilizadas[*])
TotalPlanej_CpRest[CpRest] = arraysum(TempoProcTot_CentroFam[*],CpRest])
TotComissoes = ARRAYSUM(Comissoes[*])
TotCompraR$[matprima] = Preco_MedioMP[matprima]*ListaCompras[matprima]
TotCpNec_PorCpRest[1] = (if (CpNec[1,1]=1) then CpNec[1,2] else 0) +
(if (CpNec[2,1]=1) then CpNec[2,2] else 0) +
(if (CpNec[3,1]=1) then CpNec[3,2] else 0) +
(if (CpNec[4,1]=1) then CpNec[4,2] else 0) +
(if (CpNec[5,1]=1) then CpNec[5,2] else 0)
TotCpNec_PorCpRest[2] = (if (CpNec[1,1]=2) then CpNec[1,2] else 0) +
(if (CpNec[2,1]=2) then CpNec[2,2] else 0) +
(if (CpNec[3,1]=2) then CpNec[3,2] else 0) +
(if (CpNec[4,1]=2) then CpNec[4,2] else 0) +
(if (CpNec[5,1]=2) then CpNec[5,2] else 0)
TotCpNec_PorCpRest[3] = (if (CpNec[1,1]=3) then CpNec[1,2] else 0) +
(if (CpNec[2,1]=3) then CpNec[2,2] else 0) +
(if (CpNec[3,1]=3) then CpNec[3,2] else 0) +
(if (CpNec[4,1]=3) then CpNec[4,2] else 0) +
(if (CpNec[5,1]=3) then CpNec[5,2] else 0)
TotCpNec_PorCpRest[4] = (if (CpNec[1,1]=4) then CpNec[1,2] else 0) +
(if (CpNec[2,1]=4) then CpNec[2,2] else 0) +
(if (CpNec[3,1]=4) then CpNec[3,2] else 0) +
(if (CpNec[4,1]=4) then CpNec[4,2] else 0) +
(if (CpNec[5,1]=4) then CpNec[5,2] else 0)
TotCpNec_PorCpRest[5] = (if (CpNec[1,1]=5) then CpNec[1,2] else 0) +
(if (CpNec[2,1]=5) then CpNec[2,2] else 0) +
(if (CpNec[3,1]=5) then CpNec[3,2] else 0) +
(if (CpNec[4,1]=5) then CpNec[4,2] else 0) +
(if (CpNec[5,1]=5) then CpNec[5,2] else 0)
TotCpPadrao = ARRAYSUM(CpPadrao[*])
TotCustos_IndFabVar = ARRAYSUM(CustosInd_FabVar[*])
TotVendas = ARRAYSUM(TotVendas_PorFam[*])
TotVendas_PorFam[familia] = Vendas[familia]*PrecoVenda[familia]
txCapacid_Aprovada = if (LimitarCapacid=0) then 1 else
if (LimiteCaixa_Capacid >= ValorTotal_MOBNec) then 1 else

```

(LimiteCaixa\_Capacid/ValorTotal\_MOBNec)  
 txComiss = 0.0266  
 txCustoInd\_Variavel = 0.08  
 txDepAdm = 0.07  
 txDepreciacao = 10000  
 txDepreciacao\_2 = 434500  
 txDespComerc = 0.08  
 txDespFinan = 0.003  
 txImpostos\_SobreVenda = 0.2725  
 txInadimplencia = 0.003  
 txJuros = 1.5/100  
 txMargem\_Desejada = 0.15  
 txMatPrima\_Encomenda[1] = 0  
 txMatPrima\_Encomenda[2] = 0  
 txMatPrima\_Encomenda[3] = 0  
 txMatPrima\_Encomenda[4] = 0  
 txMatPrima\_Encomenda[5] = 0  
 txMatPrima\_Encomenda[6] = 0  
 txMatPrima\_Encomenda[7] = 0  
 txMatPrima\_Encomenda[8] = 0  
 txMatPrima\_Encomenda[9] = 0  
 txMatPrima\_Encomenda[10] = 0  
 txPercCaixa\_Capacid = 0.40  
 txPercCaixa\_Compra = 0.40  
 txRelacaoCpRestrita = 0.74  
 txVlrHoraExtra = 0.75  
 ValorEstoque = ARRAYSUM(CustoEstqProd[\*])+ARRAYSUM(CustoEstqMP[\*])  
 ValorTotal\_MaoObra = (CapacidadeTotal\*VlrHoraMedioMO)+( (CapacidadeTotal-CpTotalPadrao) \*  
 VlrHoraMedioMO)\*txVlrHoraExtra  
 ValorTotal\_MOBNec = (CpTotalNec\*VlrHoraMedioMO) + ((CpTotalNec-  
 CpTotalPadrao)\*VlrHoraMedioMO)\* txVlrHoraExtra  
 Vendas\_Total = ARRAYSUM(Vendas[\*])  
 VlrHoraMedioMO = 104.50  
 CobertEstq[1] = GRAPH(TIME)  
 (1.00, 2.16), (2.00, 2.16), (3.00, 2.59), (4.00, 2.91), (5.00, 3.16), (6.00, 2.73), (7.00, 2.51), (8.00, 1.97),  
 (9.00, 1.43), (10.0, 1.25), (11.0, 0.64), (12.0, 0.71), (13.0, 0.71)  
 CobertEstq[2] = GRAPH(TIME)  
 (1.00, 0.97), (2.00, 1.34), (3.00, 1.71), (4.00, 1.94), (5.00, 2.45), (6.00, 2.87), (7.00, 3.06), (8.00, 2.69),  
 (9.00, 2.32), (10.0, 1.21), (11.0, 0.47), (12.0, 0.52), (13.0, 0.52)  
 CobertEstq[3] = GRAPH(TIME)  
 (1.00, 0.73), (2.00, 1.13), (3.00, 1.60), (4.00, 2.00), (5.00, 2.53), (6.00, 2.66), (7.00, 2.79), (8.00, 2.72),  
 (9.00, 2.65), (10.0, 2.45), (11.0, 1.92), (12.0, 1.05), (13.0, 1.05)  
 CobertEstq[4] = GRAPH(TIME)  
 (1.00, 1.83), (2.00, 2.50), (3.00, 3.17), (4.00, 3.75), (5.00, 4.08), (6.00, 3.58), (7.00, 2.58), (8.00, 2.25),  
 (9.00, 1.42), (10.0, 0.67), (11.0, 0.59), (12.0, 0.76), (13.0, 0.76)  
 CobertEstq[5] = GRAPH(TIME)  
 (1.00, 1.05), (2.00, 1.81), (3.00, 3.05), (4.00, 4.19), (5.00, 5.05), (6.00, 4.38), (7.00, 3.14), (8.00, 2.57),  
 (9.00, 1.43), (10.0, 0.38), (11.0, 0.19), (12.0, 0.29), (13.0, 0.29)  
 Estq\_Desejado[1] = GRAPH(TIME)  
 (1.00, 22.0), (2.00, 22.0), (3.00, 19.0), (4.00, 28.0), (5.00, 34.0), (6.00, 43.0), (7.00, 44.0), (8.00, 44.0),  
 (9.00, 45.0), (10.0, 38.0), (11.0, 33.0), (12.0, 26.0), (13.0, 26.0)  
 Estq\_Desejado[2] = GRAPH(TIME)  
 (1.00, 21.0), (2.00, 16.0), (3.00, 14.0), (4.00, 14.0), (5.00, 14.0), (6.00, 22.0), (7.00, 29.0), (8.00, 40.0),  
 (9.00, 43.0), (10.0, 40.0), (11.0, 34.0), (12.0, 24.0), (13.0, 24.0)  
 Estq\_Desejado[3] = GRAPH(TIME)  
 (1.00, 14.0), (2.00, 10.0), (3.00, 10.0), (4.00, 12.0), (5.00, 13.0), (6.00, 17.0), (7.00, 18.0), (8.00, 20.0),  
 (9.00, 23.0), (10.0, 28.0), (11.0, 27.0), (12.0, 22.0), (13.0, 22.0)  
 Estq\_Desejado[4] = GRAPH(TIME)  
 (1.00, 4.00), (2.00, 4.00), (3.00, 6.00), (4.00, 14.0), (5.00, 20.0), (6.00, 29.0), (7.00, 28.0), (8.00, 24.0),  
 (9.00, 17.0), (10.0, 10.0), (11.0, 6.00), (12.0, 4.00), (13.0, 4.00)

Estq\_Desejado[5] = GRAPH(TIME)  
 (1.00, 3.00), (2.00, 3.00), (3.00, 4.00), (4.00, 10.0), (5.00, 18.0), (6.00, 21.0), (7.00, 22.0), (8.00, 21.0),  
 (9.00, 20.0), (10.0, 15.0), (11.0, 9.00), (12.0, 5.00), (13.0, 5.00)  
 Preco\_MedioMP[1] = GRAPH(TIME)  
 (1.00, 1.81), (2.00, 1.81), (3.00, 1.81), (4.00, 1.81), (5.00, 1.81), (6.00, 1.81), (7.00, 1.81), (8.00, 1.81),  
 (9.00, 1.81), (10.0, 1.81), (11.0, 1.81), (12.0, 1.81), (13.0, 1.81)  
 Preco\_MedioMP[2] = GRAPH(TIME)  
 (1.00, 15.1), (2.00, 15.1), (3.00, 15.1), (4.00, 15.1), (5.00, 15.1), (6.00, 15.1), (7.00, 15.1), (8.00, 15.1),  
 (9.00, 15.1), (10.0, 15.1), (11.0, 15.1), (12.0, 15.1), (13.0, 15.1)  
 Preco\_MedioMP[3] = GRAPH(TIME)  
 (1.00, 18.3), (2.00, 18.3), (3.00, 18.3), (4.00, 18.3), (5.00, 18.3), (6.00, 18.3), (7.00, 18.3), (8.00, 18.3),  
 (9.00, 18.3), (10.0, 18.3), (11.0, 18.3), (12.0, 18.3), (13.0, 18.3)  
 Preco\_MedioMP[4] = GRAPH(TIME)  
 (1.00, 26.9), (2.00, 26.9), (3.00, 26.9), (4.00, 26.9), (5.00, 26.9), (6.00, 26.9), (7.00, 26.9), (8.00, 26.9),  
 (9.00, 26.9), (10.0, 26.9), (11.0, 26.9), (12.0, 26.9), (13.0, 26.9)  
 Preco\_MedioMP[5] = GRAPH(TIME)  
 (1.00, 45.1), (2.00, 45.1), (3.00, 45.1), (4.00, 45.1), (5.00, 45.1), (6.00, 45.1), (7.00, 45.1), (8.00, 45.1),  
 (9.00, 45.1), (10.0, 45.1), (11.0, 45.1), (12.0, 45.1), (13.0, 45.1)  
 Preco\_MedioMP[6] = GRAPH(TIME)  
 (1.00, 74.8), (2.00, 74.8), (3.00, 74.8), (4.00, 74.8), (5.00, 74.8), (6.00, 74.8), (7.00, 74.8), (8.00, 74.8),  
 (9.00, 74.8), (10.0, 74.8), (11.0, 74.8), (12.0, 74.8), (13.0, 74.8)  
 Preco\_MedioMP[7] = GRAPH(TIME)  
 (1.00, 121), (2.00, 121), (3.00, 121), (4.00, 121), (5.00, 121), (6.00, 121), (7.00, 121), (8.00, 121),  
 (9.00, 121), (10.0, 121), (11.0, 121), (12.0, 121), (13.0, 121)  
 Preco\_MedioMP[8] = GRAPH(TIME)  
 (1.00, 290), (2.00, 290), (3.00, 290), (4.00, 290), (5.00, 290), (6.00, 290), (7.00, 290), (8.00, 290),  
 (9.00, 290), (10.0, 290), (11.0, 290), (12.0, 290), (13.0, 290)  
 Preco\_MedioMP[9] = GRAPH(TIME)  
 (1.00, 905), (2.00, 905), (3.00, 905), (4.00, 905), (5.00, 905), (6.00, 905), (7.00, 905), (8.00, 905),  
 (9.00, 905), (10.0, 905), (11.0, 905), (12.0, 905), (13.0, 905)  
 Preco\_MedioMP[10] = GRAPH(TIME)  
 (1.00, 6839), (2.00, 6839), (3.00, 6839), (4.00, 6839), (5.00, 6839), (6.00, 6839), (7.00, 6839), (8.00,  
 6839), (9.00, 6839), (10.0, 6839), (11.0, 6839), (12.0, 6839), (13.0, 6839)  
 PrevisaoVendas[1] = GRAPH(TIME)  
 (1.00, 22.0), (2.00, 30.0), (3.00, 16.0), (4.00, 19.0), (5.00, 22.0), (6.00, 44.0), (7.00, 37.0), (8.00, 48.0),  
 (9.00, 48.0), (10.0, 36.0), (11.0, 50.0), (12.0, 28.0), (13.0, 28.0)  
 PrevisaoVendas[2] = GRAPH(TIME)  
 (1.00, 35.0), (2.00, 14.0), (3.00, 14.0), (4.00, 18.0), (5.00, 11.0), (6.00, 13.0), (7.00, 19.0), (8.00, 34.0),  
 (9.00, 34.0), (10.0, 53.0), (11.0, 43.0), (12.0, 23.0), (13.0, 23.0)  
 PrevisaoVendas[3] = GRAPH(TIME)  
 (1.00, 20.0), (2.00, 11.0), (3.00, 10.0), (4.00, 11.0), (5.00, 8.00), (6.00, 16.0), (7.00, 16.0), (8.00, 19.0),  
 (9.00, 19.0), (10.0, 22.0), (11.0, 28.0), (12.0, 34.0), (13.0, 34.0)  
 PrevisaoVendas[4] = GRAPH(TIME)  
 (1.00, 5.00), (2.00, 4.00), (3.00, 2.00), (4.00, 7.00), (5.00, 7.00), (6.00, 26.0), (7.00, 28.0), (8.00, 32.0),  
 (9.00, 24.0), (10.0, 17.0), (11.0, 10.0), (12.0, 5.00), (13.0, 5.00)  
 PrevisaoVendas[5] = GRAPH(TIME)  
 (1.00, 3.00), (2.00, 2.00), (3.00, 2.00), (4.00, 4.00), (5.00, 7.00), (6.00, 19.0), (7.00, 26.0), (8.00, 17.0),  
 (9.00, 24.0), (10.0, 23.0), (11.0, 13.0), (12.0, 10.0), (13.0, 10.0)

## APENDICE II

### Planilha para coleta dos dados de entrada para a simulação do modelo proposto

Dados referentes às famílias de produtos acabados utilizadas no modelo												
Relacionar na tabela abaixo os valores referente ao estoque atual, custo do estoque e preço de venda médio das famílias de produtos acabados que serão tratadas pelo modelo de simulação. O estoque atual informado aqui será considerado como saldo inicial para o primeiro mês do plano de S&OP.												
<b>Estoque atual de produtos acabados</b>												
Família Produto	Estoque Inicial (qtde)	Unid. Medida	Valor do Estoque (custo)	Preço de Venda (Unit)								
Família Produto A												
Família Produto B												
Família Produto C												
Família Produto D												
Família Produto E												
<b>Cobertura de estoque planejada</b>												
Família de produto	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4	Mês 5	Mês 6	Mês 7	Mês 8	Mês 9	Mês 10	Mês 11	Mês 12
Família Produto A												
Família Produto B												
Família Produto C												
Família Produto D												
Família Produto E												
<b>Previsão de vendas</b>												
Família de produto	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4	Mês 5	Mês 6	Mês 7	Mês 8	Mês 9	Mês 10	Mês 11	Mês 12
Família Produto A												
Família Produto B												
Família Produto C												
Família Produto D												
Família Produto E												
<i>* Na tabela de previsão pode ser informado o valor médio previsto mensalmente e qual a distribuição estatística.</i>												

Dados referentes às famílias de Matéria-Prima utilizadas no modelo							
Relacionar na tabela abaixo os itens de matéria-prima, agregados em família, que são utilizados na composição dos produtos acabados.							
Família Mat.Prima	Estoque Inicial (qtde)	Unid.Medida	Valor do estoque (custo)	Cobertura Estoque (dias)	Prazo Suprimento (dias)	Preço Médio Líquido p/ Compra	Saldo atual em processo de compra (Qtde)
Família M.P. 1							
Família M.P. 2							
Família M.P. 3							
Família M.P. 4							
Família M.P. 5							
Família M.P. 6							
Família M.P. 7							
Família M.P. 8							
Família M.P. 9							
Família M.P. 10							
...							
Família M.P. N							

Lista de materiais (BOM)					
* Os valores abaixo estão preenchidos como demonstração					
Fam. Produto acabado =>	Família Produto A	Família Produto B	Família Produto C	Família Produto D	Família Produto E
Família Mat.Prima	Quantidade	Quantidade	Quantidade	Quantidade	Quantidade
Família M.P. 1	-	12000	-	12000	100
Família M.P. 2	100	5000	100	5000	980
Família M.P. 3	100	1000	100	1000	1200
Família M.P. 4	1000	-	1000	-	100
Família M.P. 5	-	-	-	890	170
Família M.P. 6	-	3550	-	3550	-
Família M.P. 7	1000	980	1000	980	-
Família M.P. 8	-	1340	-	1340	100
Família M.P. 9	-	90	-	90	1300
Família M.P. 10	50	-	50	-	-
<b>Relação de matéria-prima comprada por encomenda.</b>					
Alguns itens de matéria-prima podem não ser estocados e comprados somente de acordo com a necessidade. Para esses casos informar qual a quantidade por item da lista de materiais que são comprados por encomenda.					
Fam. Produto acabado =>	Família Produto A	Família Produto B	Família Produto C	Família Produto D	Família Produto E
Família Mat.Prima	Quantidade	Quantidade	Quantidade	Quantidade	Quantidade
Família M.P. 1	-	10	-	5	5
Família M.P. 2	5	10	5	5	5
Família M.P. 3	12	10	5	5	5
Família M.P. 4	120	-	5	-	5
Família M.P. 5	-	-	-	5	5
Família M.P. 6	-	35	-	5	-
Família M.P. 7	30	9	5	5	-
Família M.P. 8	-	12	-	5	5
Família M.P. 9	-	10	-	5	5
Família M.P. 10	1	-	5	-	-







