

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE BOTUCATU  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM LOGÍSTICA E TRANSPORTES**

**LUIZ ENÉIAS ZANETTI CARDOSO**

**APLICAÇÃO DE PESQUISA OPERACIONAL NO PLANEJAMENTO DE  
PRODUÇÃO DE BENS DE CAPITAL SOB ENCOMENDA: UM ESTUDO DE CASO**

Botucatu-SP  
Junho – 2011

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA DE BOTUCATU**  
**CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM LOGÍSTICA E TRANSPORTES**

**LUIZ ENÉIAS ZANETTI CARDOSO**

**APLICAÇÃO DE PESQUISA OPERACIONAL NO PLANEJAMENTO DE  
PRODUÇÃO DE BENS DE CAPITAL SOB ENCOMENDA: UM ESTUDO DE CASO**

Orientador: Prof. Dr. Celso Fernandes Joaquim Junior

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
FATEC - Faculdade de Tecnologia de  
Botucatu, para obtenção do título de  
Tecnólogo no Curso Superior de Logística e  
Transportes.

Botucatu-SP  
Junho – 2011

*Ao meu grande Pai e  
ao meu orientador e amigo Celso, por tudo,  
em todos esses anos.*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, em primeiro lugar, pois devo tudo a ele!

Ao meu orientador e grande amigo Prof. Dr. Celso Fernandes Joaquim Júnior pelos inúmeros conselhos, pela motivação, pela paciência, pela grande amizade e por me ajudar a trilhar novos caminhos!

Sou muito grato aos Coordenadores e Professores da FATEC-Botucatu, pela grande amizade em todos esses anos, além da enorme presteza, prontidão, paciência e pelos imensuráveis conhecimentos transmitidos.

Aos Diretores e funcionários da FATEC-Botucatu.

Ao meu amigo Sr. Lourival, pela compreensão e apoio no serviço.

A um grande professor e grande amigo, ex-militar, pela grande ajuda e conselhos.

*“Estar decidido, acima de qualquer coisa, é o segredo do êxito.”*

***Henry Ford***

## RESUMO

O presente trabalho baseou-se em dados da carteira de encomendas de uma empresa fabricante de bens de capital do interior do estado de São Paulo. Técnicas de programação linear e ferramentas de otimização de recursos foram aplicadas com uso do suplemento *Solver*, integrante do programa Microsoft Excel®, com o objetivo de permitir a visualização e a análise da melhor condição de planejamento produtivo da carteira de encomendas da empresa estudada, visando, não somente maximizar a receita obtida com seu faturamento, como também, permitir a distribuição do fluxo de caixa de forma favorável. Como resultado, obteve-se uma ferramenta de gestão que permite, mesmo a um usuário com poucos conhecimentos em técnicas de programação linear, o planejamento produtivo em cada período de entrega da carteira de encomendas, de acordo com a melhor correlação de necessidade e disponibilidade de recursos, visando a maximização da receita. A ferramenta obtida, de fácil aplicação e interpretação e de baixo custo, preenche uma importante lacuna no processo de gerenciamento produtivo de empresas fabricantes de bens de capital sob encomenda, sobretudo naquelas de pequeno e médio porte. A opção de utilização de eventuais horas ociosas de determinados setores ou períodos produtivos naqueles subseqüentes permite ao usuário a tomada de decisões no tocante à alocação de mão-de-obra. A utilização das horas ociosas e sua aplicação no modelo matemático solucionado com uso de Programação Linear Inteira (PLI) mostrou o melhor resultado de receita gerada com ganho de 6,5%, quando comparado com a solução obtida com a Programação Linear sem contabilização de horas ociosa. O fluxo de caixa resultante do modelo com Programação Linear Inteira também mostrou-se o mais favorável.

**Palavras - chave:** Otimização. Pesquisa Operacional. Planejamento de Produção. Programação Linear.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>1.1 Objetivo</b> .....	11
<b>1.2 Justificativa</b> .....	11
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	12
<b>2.1 Bens de Capital</b> .....	12
<b>2.2 Produção sob encomenda</b> .....	13
<b>2.3 Pesquisa Operacional</b> .....	14
<b>2.3.1 Programação Linear</b> .....	15
<b>2.3.2 Programação Linear através do Solver</b> .....	17
<b>2.4 Management Sciences</b> .....	17
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	20
<b>3.1 Materiais</b> .....	20
<b>3.2 Metodologia</b> .....	20
<b>3.3 Estudo de Caso</b> .....	21
<b>4 RESULTADOS</b> .....	29
<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	40
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	41
<b>APÊNDICES</b> .....	43
<b>APÊNDICE A - Saída do L.I.N.D.O. – 2º grupo PL</b> .....	44
<b>APÊNDICE B - Saída do L.I.N.D.O. – 1º grupo PL</b> .....	45
<b>APÊNDICE C - Saída do L.I.N.D.O. – 2º grupo PLI</b> .....	46
<b>APÊNDICE D - Saída do L.I.N.D.O. – 1º grupo PLI</b> .....	47

## LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1 – Resolução de um problema.....	19
2 – Setores envolvidos na produção dos equipamentos.....	22
3 – Planilha de dados de entrada.....	23
4 – Tela de entrada do suplemento Solver.....	25
5 – Cenário de produção – 1º grupo PLI.....	29
6 – Cenário de produção – 1º grupo PL.....	31
7 – Cenário de produção – 2º grupo PLI.....	32
8 – Cenário de produção – 2º grupo PL.....	33
9 – Desempenho final.....	35
10 – Percentual de faturamento por entrega para os cenários simulados.....	36
11 – Quantidades produzidas de cada tipo de equipamento – 1º grupo PLI.....	37
12 – Quantidades produzidas de cada tipo de equipamento – 2º grupo PLI.....	37
13 – Quantidades produzidas de cada tipo de equipamento – 1º grupo PL.....	38
14 – Quantidades produzidas de cada tipo de equipamento – 2º grupo PL.....	38



## LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
1 – Horas necessárias para produção dos equipamentos.....	24
2 – Comparação de horas vendidas e disponíveis (TOTAL) .....	25
3 – Demonstrativo de resultado - 1º grupo PLI .....	30
4 – Demonstrativo de resultado - 1º grupo PL .....	31
5 – Demonstrativo de resultado - 2º grupo PLI .....	33
6 – Demonstrativo de resultado - 2º grupo PL .....	34
7 – Comparativo geral.....	34

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CALD. – CALDEIRARIA  
GB – *GIGABYTE*  
GHZ – *GIGAHERTZ*  
HD – *HARD DISK*  
IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA  
INC. – *INCORPORATION*  
MS – *MANAGEMENT SCIENCE*  
PDP – POLÍTICA DE DESENVOLVIMENTO PRODUTIVO  
PL – PROGRAMAÇÃO LINEAR  
PLI – PROGRAMAÇÃO LINEAR INTEIRA  
PO – PESQUISA OPERACIONAL  
POL. – POLIMENTO  
PROD. – PRODUTO  
QTD. – QUANTIDADE  
SOLD. – SOLDA  
USIN. – USINAGEM

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\Sigma$  – SOMATÓRIO  
® – REGISTRADO

## 1 INTRODUÇÃO

Com a globalização e as constantes transformações tecnológicas, a busca pela eficiência e eficácia em todos os setores empresariais e industriais tornou-se fundamental para a sobrevivência e permanência nos mercados. Esta realidade não é diferente para uma empresa de bens de capital sob encomenda.

Via de regra, a produção em empresas de bens de capital é feita sob encomendas; cada item a ser produzido tem de ser orçado de acordo com sua demanda específica tanto de matérias-primas, quanto de recursos.

O gerenciamento da produção em uma empresa de bens de capital torna-se ainda mais dificultoso, pois a produção sob encomenda dificulta o planejamento do processo produtivo, assim como a plena utilização dos recursos envolvidos na fabricação. Em muitos casos, cada encomenda é um projeto próprio, senão exclusivo, demandando levantamento de custos específicos de matérias-primas, mão de obra a ser empregada, normalmente baseada em índices históricos ou estatísticos de cada empresa. Portanto, a carga produtiva demandada de cada setor da empresa depende da composição dos pedidos em carteira no período, exigindo planejamentos e alocações de recursos específicos, analisados caso à caso.

O presente trabalho tem como base a carteira de encomendas de uma empresa fabricante de bens de capital do interior do estado de São Paulo.

A partir de técnicas e ferramentas de otimização numérica objetiva-se permitir a visualização e a análise da melhor condição de planejamento produtivo para a empresa em questão, visando, não somente maximizar a receita, como também, permitir a distribuição do fluxo de caixa de maneira favorável.

Além do desenvolvimento de uma ferramenta gerencial, este estudo visa comparar os modelos matemáticos existentes.

O sistema proposto pode ser definido como uma ferramenta de apoio à gestão empresarial para indústrias de bens de capital sob encomenda, o qual é desenvolvido a partir da utilização do software *Microsoft Excel*® e seu respectivo suplemento *Solver*® e tem sua estrutura formulada por ações hierárquicas e seqüenciais.

## **1.1 Objetivo**

Objetivou-se obter uma ferramenta de suporte à gestão da produção, a qual permitirá o planejamento produtivo de bens de capital sob encomenda em cada período de carteira, de acordo com a melhor correlação de necessidades e disponibilidades de recursos, com a máxima receita.

Visou-se também a obtenção de fluxo de caixa favorável para a empresa, preenchendo uma importante lacuna no processo de gerenciamento produtivo de empresas fabricantes de bens de capital sob encomenda, sobretudo naquelas de pequeno e médio porte. Como objetivo secundário, propõe-se comparar os modelos de programação linear (PL) e programação linear inteira (PLI), em relação a melhor proposta de otimização de produção.

## **1.2 Justificativa**

A relevância deste estudo reside em por dois fatores:

- Pela dificuldade gerencial do processo produtivo, sobretudo de bens sob encomenda, pois consiste em determinar-se qual a melhor apropriação de recursos produtivos, de forma que eles sejam empregados de maneira a majorar o faturamento total da empresa, dentro dos prazos de entregas acordados. Algumas ferramentas comerciais são disponíveis no mercado e visam o planejamento produtivo em sua forma global, entretanto são caras e complexas;

- Pretende-se obter uma ferramenta simples e objetiva, de fácil implementação em empresas de pequeno e médio porte.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Bens de Capital

Empresas de bens de capital podem ser definidas como empresas “bases” da produção em geral, segundo Lago et al. (1979, p.1), bens de capital podem ser definidos como: “o conjunto de máquinas e equipamentos que servem para a produção de outros bens ou para prestação de serviços produtivos.”. Essas empresas são responsáveis pelo desenvolvimento industrial em geral, impulsionando o crescimento econômico nacional.

A indústria de bens de capital é uma das principais forças motoras do desenvolvimento econômico de um país. Por ampliar a capacidade de produção, manter vínculos com praticamente todos os setores da atividade produtiva e, por isso mesmo, incorporar, estimular e disseminar progresso técnico para o restante da economia, a indústria de máquinas e equipamentos exerce efeito predominante na sustentação do ritmo de crescimento da produtividade no longo prazo. (NASSIF, A.; FERREIRA, T. T. [20--] p. 244)

Segundo Chiavenato (2008, p.7), é possível caracterizar os bens de acordo com seu destino, sendo que, quando o bem produzido é destinado a produção de outro bens ou serviços, são denominados de bens de produção, os quais são destinados ao mercado empresarial, porém só recebem a denominação de bens de capital quando agregados ao patrimônio da empresa.

Além disso, segundo Davies e Hobday (2005), empresas voltadas a área de produção de bens de capital possuem diferenciais em relação a gestão do projeto e também desenvolvimento do produto, pois são complexos e depreendem grande foco da engenharia, tendo o risco intrínseco alto em comparação à diversas áreas industriais.

Atualmente, empresas de bens de capital têm boa participação no PIB brasileiro, demonstrando forte tendência econômica de crescimento em âmbito nacional. Porém,

segundo a Política de Desenvolvimento Produtivo (PDP) nacional de 2010, o mercado brasileiro mesmo com grande capacidade de produção e constantes investimentos, sofreu grandes impactos nos últimos anos, devido à predominância das importações, gerando assim grande déficit na balança comercial nacional de indústrias de bens de capital.

Estudos e pesquisas que auxiliem no desenvolvimento podem ser o diferencial na competitividade e ascensão industrial de qualquer empresa; ainda mais no ramo de produção sob encomenda, o qual requer conhecimentos, técnicas e gerenciamentos específicos e efetivos.

## **2.2 Produção sob encomenda**

A produção sob encomenda é um sistema de produção onde o produto ou serviço é ofertado ao mercado, porém tem seu início de produção somente após a efetivação do pedido ou encomenda, diferentemente das produções mais habituais, como a produção em lotes e contínua, nos quais são inicialmente produzidos e somente depois, disponibilizados ao mercado.

A produção sob encomenda é o sistema utilizado pela empresa que produz somente após ter recebido um pedido ou encomenda de seus produtos. Após o contrato ou encomenda de um determinado produto é que a empresa vai produzi-lo. Em primeiro lugar, o produto ou serviço é oferecido para a cotação do cliente – como o orçamento preliminar ou a cotação para a concorrência pública ou particular - é então utilizado para se fazer uma análise mais detalhada do trabalho a ser realizado. Essa análise do trabalho envolve: uma lista ou relação de todos os materiais necessários para fazer o trabalho encomendado, uma relação completa do trabalho a ser realizado, dividida em número de horas para cada tipo de trabalho especializado, um plano detalhado de sequência cronológica, [...] (CHIAVENATO, 2008, p. 13)

A produção sob encomenda necessita de melhor gerenciamento, pois é necessário que seja feito um projeto inicial do bem a ser produzido, delimitação das necessidades e disponibilidades, para assim estimar o faturamento desejado, além de um efetivo planejamento das etapas.

Na produção sob encomenda, segundo Chiavenato (2008, p.32) “cada produto é único e de grande tamanho e complexidade, exigindo muito tempo para sua produção.”, além de necessitar de mão de obra altamente especializada e de um grupo de administradores especialistas e altamente competentes, para assim melhor gerir as tomadas de decisões.

Segundo Moreira (2011, p.23) “tomar decisões é provavelmente a maior tarefa de qualquer gerente”.

Uma ferramenta de auxílio na tomada de decisões em uma produção sob encomenda pode ser encontrada através da pesquisa operacional, a qual complementa a realidade técnica com dados e informações hipotéticas a cada situação.

### **2.3 Pesquisa Operacional**

A pesquisa operacional é uma área muito abrangente dentro da área de exatas, porém pode ser considerada como uma ferramenta de apoio ao ramo da ciência administrativa, pois efetivamente possibilita amparo nas tomadas de decisões, através do equacionamento de problemas e formulação de soluções através de seus artifícios matemáticos e estatísticos; segundo Andrade (2009, p.1) pesquisas voltadas a área em questão tiveram sua aparição durante a Segunda Guerra Mundial, onde foram utilizadas para solucionar problemas reais apresentados naquela época, devido ao grande êxito nas resoluções operacionais propostas através da pesquisa operacional. Esse tema tornou-se foco do mundo acadêmico e empresarial, caracterizado pelo uso de técnicas e métodos científicos.

Pesquisa Operacional é um método científico de tomada de decisões, que, em linhas gerais, consiste na descrição de um sistema organizado com o auxílio de um modelo e, através da experimentação com o modelo, na descoberta da melhor maneira de operar o sistema (SILVA et al., 1998, p. 11).

Ainda segundo Andrade (2009, p.8) a pesquisa operacional pode ser direcionada a dois enfoques gerenciais, os quais são diferentes em sua abordagem, mas coerentes e complementares na aplicação, sendo eles: enfoque clássico, também conhecido como enfoque tradicional, deriva-se do conceito quantitativo da pesquisa operacional, onde busca-se a solução ótima, “definido como a arte de aplicar técnicas de modelagem a problemas de tomadas de decisões, e resolver os modelos identificados por meio de métodos matemáticos e estatísticos[...]”(ANDRADE, 2009, p.8), porém como os modelos são representações simplificadas de naturezas diversas, pode –se ter dificuldades na implantação e aplicabilidade da solução; enfoque atual: deriva-se do conceito qualitativo da pesquisa operacional, “O esforço despendido para uma modelagem de um problema leva a uma compreensão mais profunda do próprio problema, identificando melhor seus elementos internos, suas interações com o ambiente externo, as informações necessárias e os resultados possíveis de obter.” (ANDRADE, 2009, p.8), possibilitando uma visão sistêmica dos processos, e assim, uma adequação quando necessária do modelo.

Devido a constantes atualizações mercadológicas, onde a competitividade torna-se cada dia mais acirrada, tanto para a ascensão quanto para a permanência no mercado, a

melhor utilização dos recursos disponíveis demonstra ser uma vertente perspicaz à otimização da produção, pois dessa forma é possível produzir mais, melhor e com menos recursos.

Segundo Lachtermacher (2009, p.16), esse processo de otimização de recursos pode ser aplicado em diversas áreas, entre elas o escalonamento de produção, na qual objetiva-se determinar a quantidade a ser produzida em seu respectivo tempo, através da melhor alocação dos recursos. Nesse processo, a função objetivo caracteriza-se pela necessidade imposta ao modelo, podendo ser maximização ou minimização de recursos (variáveis de decisão), sendo esta área denominada de programação matemática; porém devido a sua extensão, a programação matemática é subdividida em duas áreas, de acordo com o tipo das funções utilizadas na função objetivo e restrições, sendo: programação não-linear, onde pelo menos uma das funções objetivo ou restrições, são representadas por funções não-lineares, e programação linear, onde todas as funções objetivo e restrições são lineares.

### ***2.3.1 Programação Linear***

A programação linear (PL) consiste na solução de um sistema de equações lineares de 1º grau representados por uma reta e busca a solução do problema, pode ser uma grande ferramenta de auxílio à administradores na tomada de decisões.

O objetivo basicamente da programação linear é encontrar o lucro máximo ou custo mínimo na função objetivo, segundo Prado (2007, p.21) estudos realizados em empresas adeptas da PL em seu gerenciamento de produção, evidenciaram reduções de custos na margem de 1 a 5%, chegando em alguns casos à margens superiores; podendo ainda citar outros vantagens, entre elas a identificação de gargalos numa linha de produção e a possibilidade de determinar diretrizes para expansão industrial.

Além das vantagens apresentadas, é possível evidenciar segundo Prado (1999), que a PL está cada dia mais presente na realidade empresarial.

[...] estudos estatísticos tem mostrado que a PL é hoje uma das técnicas mais utilizadas da pesquisa operacional. É comum encontrar aplicações de PL fazerem parte de rotinas diárias de planejamento das mais variadas empresas, tanto nas que possuam em uma sofisticada equipe de planejamento como nas que simplesmente adquiriram um software para algumas funções de planejamento. (PRADO, 1999, p.15)

Porém, pode ser dividida, segundo Prado (2007), em alguns tópicos: “Programação Contínua: Quando o resultado para as variáveis do modelo são valores reais e contínuos; Programação Estruturada: O modelo unitário [...] se replica; Programação Inteira (PI): As



variáveis somente admitem soluções inteiras; Programação Inteira Mista (PIM): Podemos ter tanto variáveis de solução inteira como contínua.” (PRADO, 2007, p.24).

A programação inteira (PI), também conhecida como programação inteira pura, é uma variação da programação linear, onde sua utilização dá-se pela necessidade presente em alguns modelos da imposição de apenas números inteiros à otimização, pois torna-se dificultoso ou até mesmo inviável a utilização de números contínuos na aplicabilidade real; diferentemente da Programação Contínua, ou até mesmo da Programação Inteira Mista (PIM), onde objetiva-se a otimização matemática, sem imposição de restrições à frações.

Segundo Caixeta-Filho (2009) a utilização da PI é de grande valia, pois,

Se não houvesse um algoritmo específico para a resolução de problemas que demandassem a utilização da programação inteira, poderia ser tentado como alternativa o arredondamento (para cima ou para baixo) da solução obtida por programação linear. O riscos envolvidos diriam respeito a possibilidade da solução arredondada, mesmo que viável, não corresponder à solução ótima; ou ainda ao fato de se violarem as restrições originalmente impostas ao problema. (CAIXETA-FILHO, 2009, p.75).

A programação linear pode ser considerada como uma ferramenta de apoio ao planejamento gerencial, pois visa a obtenção de um resultado ótimo, de acordo com as variáveis de decisões; porém há casos onde há mais de uma solução viável, entretanto ambas possibilitando a mesma otimização final.

Problemas de PL são resolvidos por algoritmos, os quais interagem, focando na resolução do problema; por sua maior disseminação e conhecimento, o algoritmo simplex, também conhecido como método simplex, tornou-se o mais citado e comentado em literaturas especializadas, porém há outros.

Independentemente do algoritmo, segundo Caixeta-Filho (2009, p.11), a formulação do problema na programação linear, segue alguns passos básicos, sendo o inicial a definição da função objetivo, na qual é determinado o foco da otimização a ser perseguida, secundariamente a determinação das variáveis de decisões, onde são impostas restrições, necessidades e disponibilidades de recursos ao sistema.

As resoluções de PL podem ser efetuadas através de softwares específicos, os quais além de complexos podem ser onerosos a uma empresa de pequeno e médio porte. Uma forma acessível e prática, pode ser encontrada no Microsoft Excel em seu suplemento *Solver*; o qual faz parte de um conjunto de programas chamados de ferramentas de análises hipotéticas.

### 2.3.2 Programação Linear através do Solver

O software em questão permite que seja possível maximizar, minimizar ou, até mesmo, determinar um valor fixo para a célula destino; célula esta denominada neste caso de função objetivo; encontrado como suplemento ao *software* Microsoft Excel.

Sua utilização só é possível após serem impostas as restrições necessárias ao sistema montado. Pode-se trabalhar com um grupo de células relacionadas direta ou indiretamente com a fórmula na célula destino; esta ferramenta pode ser utilizada para determinar soluções de problemas envolvendo múltiplas variáveis de decisões e restrições, determinado a melhor solução; além de possibilitar economia de capital, recursos e economizar o tempo que se levaria buscando soluções por tentativas e erro, devido à facilidade de utilização e por estar disponível a todos os usuários do Excel.

Conforme Montini (2004) o Excel pode ser utilizado como uma poderosa ferramenta de apoio gerencial, pois além de realizar cálculos e sistematizar dados, possibilita construir planilhas de controle ou relatórios, viabiliza a integração e automação de sistemas inteiros de gerenciamento empresarial e industrial.

Além de técnicas e conhecimentos gerenciais, “muitas das maiores empresas do mundo usam o Excel para criar aplicações personalizadas”. (CHESTER, 1996, p. 12).

Planilhas engendradas no Excel interligadas ao suplemento *Solver*, podem ser caracterizadas como formas de *management science*.

## 2.4 Management Sciences

Segundo Lachtermacher (2009, p. 2), *Management Science* (MS) pode ser definido com uma subárea da pesquisa operacional, área esta que foca solucionar problemas matemáticos gerenciais através da modelagem matemática aplicada à área de negócios; sua formulação se dá através do desenvolvimento computacional, estatístico e matemático, juntamente à análises hipotéticas. A área em questão possibilita e viabiliza soluções de decisões para problemas em diversos focos, tais como: otimização de recursos, localização, roteirização, carteiras de investimento, alocação de pessoas, previsão e planejamento gerencial. Pode utilizar-se desta área como uma ferramenta de apoio à decisões, tornando-se uma ferramenta abrangente e perspicaz no âmbito empresarial, uma vez que objetiva-se utilizar e otimizar os recursos disponíveis na empresa.

Ainda segundo Lachtermacher (2009) a elaboração de MS leva-se a três objetivos inter-relacionados:

- 1º Converter dados em informações significativas: transformar dados brutos em dados de forma organizada [...];
  - 2º Apoiar o processo de tomadas de decisões de formas transferíveis e independentes, por meio dos sistemas de apoio à decisão [...];
  - 3º Criar sistemas computacionais úteis para os usuários não técnicos [...].
- (LACHTERMACHER, 2009, p.2-3)

As etapas descritas tornam-se fundamentais para uma formulação, elaboração e implementação de soluções para problemas que possam haver numa empresa, pois para ter-se o conhecimento real da situação, e uma futura solução, é necessário ter-se as informações necessárias e pertinentes à questão em foco.

Os problemas de desenvolvimento de uma ferramenta de MS podem ser relacionados à falta de integração à informatização, uma vez que o desenvolvimento de tal ferramenta é atualmente questão de informação e atualização empresarial.

Segundo Lachtermacher (2009, p. 3) em uma empresa, a intuição gerencial sobrepunha-se ao processo de modelagem da situação, ao invés de compreendê-lo profundamente, durante muito tempo utilizou-se principalmente o *feeling* gerencial. Atualmente tais métodos e processos de simulação e análise estão em ascensão, em conjunto ao *feeling* gerencial, devido a sua praticidade, acessibilidade e ao aprimoramento da tecnologia.

Em relação a disseminação da informatização, é possível evidenciar segundo Lachtermacher (2009) que esta cada vez mais acessível aos gestores a tecnologia da informação.

Com as facilidades dos microcomputadores, cada vez mais rápidos, um grande número de sistemas de apoio à decisão tem sido implementado pelos próprios tomadores de decisão, sem o auxílio de nenhum especialista da área de informática, em planilhas eletrônicas, que, na última década, têm se constituído em um importante fator na melhoria do processo de tomada de decisões por meio de recursos crescentes para a implementação de modelos computacionais efetivos e por sua facilidade de utilização. (LACHTERMACHER, 2009, p. 3)

Segundo Lachtermacher (2009), “podemos entender a tomada de decisão como o processo de identificação de um problema ou de uma oportunidade e a seleção de uma linha de ação para resolvê-lo.” (LACHTERMACHER, 2009, p. 4).

Ainda segundo Lachtermacher (2009, p.4-6), existem vários fatores que afetam a tomada de decisão. Sem detalhar, podemos citar alguns como: tempo disponível para ação, qual a importância e impacto da decisão, aspectos culturais a serem considerados e quais são

suas complexidades intrínsecas. As etapas do processo de resolução de um problema basicamente podem ser definidas em cinco fases, desconsiderando as retroalimentações possíveis, pode-se evidenciá-las na Figura 1, porém “[...] vale ressaltar que a identificação do problema, que talvez pareça a mais simples de todas as etapas, pode apresentar-se complexa em diversas situações [...]” (LACHTERMACHER, 2009, p.6).

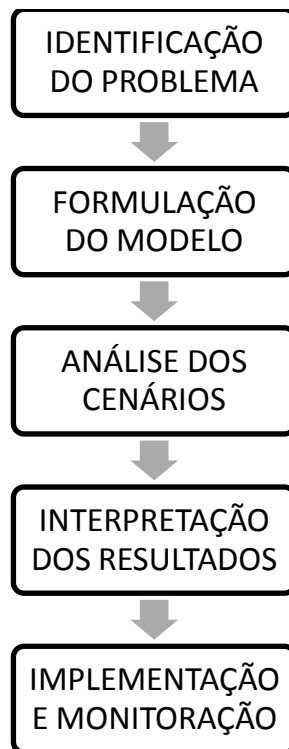


Figura 1 – Resolução de um problema  
Fonte: Adaptado de Lachtermacher (2009, p. 6)

Para uma formulação do modelo é necessário identificar o problema e seu objetivo, no qual a resolução irá focar-se. A formulação tem como base a identificação das restrições presentes e a determinação de metas, parciais ou não, passíveis de utilização de métodos ou softwares específicos para tal procedimento. A análise dos cenários e a interpretação possibilitam que seja feita uma visão gerencial antes da implantação e monitoração, pois em alguns casos a otimização deve ser vista como uma sugestão, à qual o gestor adere ou modifica, de acordo com sua necessidade posterior.

A tomada de decisão com apoio de um sistema consistente e confiável é de suma importância para atingir estabilidade econômica empresarial.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Materiais

Foram utilizados no estudo os seguintes materiais:

- Notebook Intelbras i533®, 2.6 Ghz, 3Gb RAM, 320 GB HD;
- Planilhas eletrônicas geradas pelo software Microsoft Excel®;
- Suplemento *Solver*®;
- Software L.I.N.D.O. *version Classic Demo*;
- Internet 1 Ghz;
- Livros sobre o assunto;
- Impressora HP *deskjet 610c*;
- Carteira de Pedido de uma Empresa de Bens de Capital;

#### 3.2 Metodologia

A fim de obter uma ferramenta simples e objetiva, de fácil implementação em empresas de pequeno e médio porte, com atuações no setor de produção de bens de capital sob encomenda, serão aplicadas técnicas e ferramentas de otimização de recursos em Programação Linear.

Objetiva-se permitir a visualização e análise da melhor condição de planejamento produtivo, visando, não somente maximizar a receita com faturamentos, como também, permitir a distribuição do fluxo de caixa de maneira favorável, outro obstáculo comum em

empresas do setor, devido à necessidade de garantir o equilíbrio financeiro de cada encomenda.

A metodologia utilizada baseou-se no emprego de modelo matemático em programação linear aplicado na otimização da produção de bens de capital. As restrições foram representadas pelas horas disponíveis em cada setor produtivo e pelo tempo de produção para cada entrega.

A função objetivo representa o faturamento gerado pela fabricação das encomendas, a qual se busca otimizar.

Foram considerados dois grupos para cálculos, sendo:

**Primeiro grupo:** equações normais, sem adição de recursos complementares para otimização;

**Segundo grupo:** utilizando-se da ociosidade resultante do período anterior como complemento à produções posteriores.

Ambos os modelos matemáticos foram resolvidos através do uso do suplemento *Solver*, das seguintes formas:

- Programação Linear (PL): através da qual o modelo matemático é solucionado visando a otimização da função objetivo (faturamento), podendo apresentar, entretanto, resultados (quantidades de equipamentos a serem produzidos em cada período) fracionados o que requer do usuário profundos conhecimentos da técnica e de sua análise de sensibilidade para sua correta interpretação;

Neste trabalho, adotou-se, o critério de aproximarem-se os valores das variáveis com frações para números inteiros imediatamente inferiores;

- Programação Linear Inteira (PLI): esta técnica, diferentemente da Programação Linear, soluciona o modelo matemático a ser otimizado impondo que os resultados apresentados sejam números inteiros, tornando mais fácil a interpretação dos mesmos e, conseqüentemente, a aplicação da ferramenta para o gerenciamento da produção.

Após a otimização de ambos os grupos, foram avaliados seus respectivos resultados, visando obter a melhor proposta de produção real possível.

### 3.3 Estudo de Caso

O presente trabalho tomou como base de dados a carteira de encomendas de uma empresa fabricante de bens de capital do interior do estado de São Paulo.

A partir da tabulação dos dados relativos à carteira de encomendas da empresa no Excel®, utilizou-se o seu respectivo suplemento *Solver*®, o qual permitirá visualização das análises de produção de acordo com as formas descritas anteriormente.

A produção dos equipamentos da carteira de pedidos da empresa em estudo tem sua produção segmentada em quatro setores produtivos, sendo demonstrados simplificada e na Figura 2.

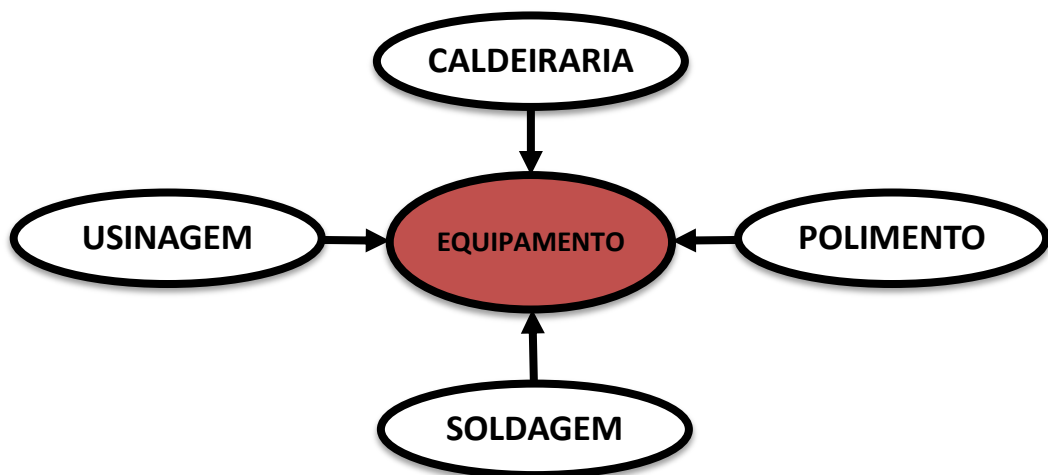


Figura 2 – Setores envolvidos na produção dos equipamentos.

A produção de um determinado equipamento, como demonstrado na figura 2, depende da ação conjunta e, em muitas operações, concomitante, dos setores de caldeiraria, soldagem, usinagem e polimento.

A carteira de pedidos analisada refere-se às encomendas cujo prazo contratual de entrega é de dois meses. Cada equipamento possui um determinado número de horas produtivas estimadas para ser fabricado, baseados em índices históricos de encomendas anteriores similares e em dados estatísticos da empresa.

Na Figura 3 é apresentada a planilha criada no programa Excel para inclusão dos dados relativos à produção, tanto quanto as necessidades de horas de produção em cada setor para cada equipamento quanto às restrições presentes (disponibilidade de horas mensais por setor, disponibilidade de trabalhador por setor, dias úteis para as entregas, jornada mensal dos trabalhadores, quantidade de equipamentos encomendados, valores de faturamentos e opção de utilização de ociosidade ou não para a simulação); sendo uma área de entrada de dados, no

qual a *management science* criada baseia-se. É possível visualizar 8 itens essenciais para o seu preenchimento:

I - As necessidades setoriais de horas a serem despendidas na produção individual dos equipamentos (células F13:J21);

II - Horas disponíveis para produção por setor por mês (células D4:G4), tais horas foram calculadas em função do quadro de funcionários de cada setor pela jornada mensal do trabalhador;

III - Jornada mensal do trabalhador, considerou-se um total de 180 horas úteis por funcionário/mês (célula L8);

IV - Quantidade de trabalhadores por setor (células D8:G8);

V - Descrição da carteira de pedidos de equipamentos analisados (células K13:K21);

VI - Os valores unitários e totais de faturamento de cada equipamento (respectivos conjuntos de células L13:L21, M13:M21);

VII - Quantidade de dias úteis disponíveis para a produção das entregas (células I5:K5). Considerou-se um mês com 30 dias totais, sendo apenas 20 úteis;

VIII - Célula de ociosidade, na qual é opcional a simulação com horas ociosas para produção da entrega seguinte, determinado pela opção “SIM” ou “NÃO” (célula L7).

Além do preenchimento das células descritas, é possível visualizar o valor máximo do contrato (célula M22), também denominado no decorrer do estudo como valor de contrato.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1													
2	<b>F A T E C - B T</b>	<b>DISPONIBILIDADE MENSAL DE HORAS/SETOR</b>				<b>ENTREGAS</b>							
3		CALD.	SOLD.	USIN.	POL.	1ª	2ª	3ª					
4		1980	1080	900	900	<b>DIAS ÚTEIS PARA PRODUÇÃO</b>							
5						20	10	10					
6		<b>QTD. TRABALHADORES POR SETOR</b>				<b>UTILIZAR OCIOSIDADE? (SIM/NÃO)</b>							
7		CALD.	SOLD.	USIN.	POL.								
8		11	6	5	5								
9						<b>HORAS MENSIS/TRABALHADOR</b>		180					
10													
11	<b>EQUIPAMENTOS</b>		<b>HORAS SETORIAIS NECESSÁRIAS PARA CONFEÇÃO UNITÁRIA</b>				<b>PEDIDOS</b>	<b>FATURAMENTO</b>	<b>FATURAMENTO</b>				
12			CALD.	SOLD.	USIN.	POL.	QTD. (q)	UNITÁRIO (u)	TOTAL (F=q.u)				
13	A	EQUIPAMENTO 1	183	92	82	64	9	R\$ 64,444.44	R\$ 580,000.00				
14	B	EQUIPAMENTO 2	600	300	250	300	2	R\$ 315,000.00	R\$ 630,000.00				
15	C	EQUIPAMENTO 3	360	144	120	174	1	R\$ 115,000.00	R\$ 115,000.00				
16	D	EQUIPAMENTO 4	120	80	8	64	5	R\$ 160,000.00	R\$ 800,000.00				
17	E	EQUIPAMENTO 5	108	72	36	54	1	R\$ 33,000.00	R\$ 33,000.00				
18	F	EQUIPAMENTO 6	40	20	6	45	1	R\$ 14,000.00	R\$ 14,000.00				
19	G	EQUIPAMENTO 7	260	192	80	170	1	R\$ 120,000.00	R\$ 120,000.00				
20	H	EQUIPAMENTO 8	300	80	40	120	2	R\$ 130,000.00	R\$ 260,000.00				
21	I	EQUIPAMENTO 9	8	8	8	8	1	R\$ 3,500.00	R\$ 3,500.00				
22								<b>VALOR MÁXIMO DO CONTRATO Σ(F)</b>		R\$ 2,555,500.00			
23	LECC												

Figura 3 – Planilha de dados de entrada.



Considerou-se que cada item fabricado e, portanto entregue, gera automaticamente faturamento. Os valores de faturamentos totais foram obtidos a partir da multiplicação da quantidade de equipamentos pedidos por seu faturamento unitário.

As previsões de entregas dos equipamentos produzidos consideradas foram de 20, 30 e 40 dias úteis, após a data do pedido.

A descrição da carteira de pedidos, juntamente com as respectivas horas setoriais de produção necessárias para cada equipamento pode ser observada na Tabela 1.

Tabela 1 – Horas necessárias para produção dos equipamentos

DESCRIÇÃO	PEDIDOS QTD.	HORAS NECESSÁRIAS	HORAS/SETORES PRODUTIVOS			
			CALD.	SOLD.	USIN.	POL.
EQUIP. 1	9	UNITÁRIA	189	92	82	64
		TOTAL	1701	828	738	576
EQUIP. 2	2	UNITÁRIA	600	300	250	300
		TOTAL	1200	600	500	600
EQUIP. 3	1	UNITÁRIA	360	144	120	174
		TOTAL	360	144	120	174
EQUIP. 4	5	UNITÁRIA	120	80	8	64
		TOTAL	600	400	40	320
EQUIP. 5	1	UNITÁRIA	108	72	36	54
		TOTAL	108	72	36	54
EQUIP. 6	1	UNITÁRIA	40	20	6	45
		TOTAL	40	20	6	45
EQUIP. 7	1	UNITÁRIA	260	192	80	170
		TOTAL	260	192	80	170
EQUIP. 8	2	UNITÁRIA	300	80	40	120
		TOTAL	600	160	80	240
EQUIP. 9	1	UNITÁRIA	8	8	8	8
		TOTAL	8	8	8	8
TOTAL DOS PEDIDOS			<b>4877</b>	<b>2424</b>	<b>1608</b>	<b>2187</b>

Fonte: Empresa de bens de capital

Observou-se que a disponibilidade de horas totais é inferior à quantidade de horas vendidas. Sendo assim, mesmo em uma produção direta, na qual é entregue toda a produção ao final do período, sem entregas segmentadas, não é possível a produção total da carteira de pedidos em horas normais. O único setor que demonstra ociosidade é o da usinagem, os demais tornam-se restrições de maior implicação, pois a disponibilidade é menor que a necessidade, conforme demonstrado na Tabela 2.

Tabela 2 – Comparação de horas vendidas e disponíveis (TOTAL)

HORAS	HORAS POR SETOR			
	CALDEIRARIA	SOLDA	USINAGEM	POLIMENTO
<b>VENDIDAS</b>	<b>4877</b>	<b>2424</b>	<b>1608</b>	<b>2187</b>
<b>DISPONÍVEIS</b>	1980*	1080*	900*	900*
	<b>3960**</b>	<b>2160**</b>	<b>1800**</b>	<b>1800**</b>
<b>TOTAL**</b>	<b>-917</b>	<b>-264</b>	<b>+192</b>	<b>-387</b>

\*= mensal;

\*\*= período de 40 dias úteis (2 meses).

Todas as simulações foram possibilitadas através das planilhas elaboradas no Excel e as resoluções feitas através do suplemento *Solver*. Em caráter de validação, todos os cenários apresentados foram confirmados pelo software L.I.N.D.O, versão *Classic Demo (LINGO SYSTEM, INC.)* o qual é uma ferramenta específica de simulação algorítmica. As validações encontram-se no apêndice deste trabalho.

A tela de entrada do suplemento *Solver* pode ser observada na Figura 4.

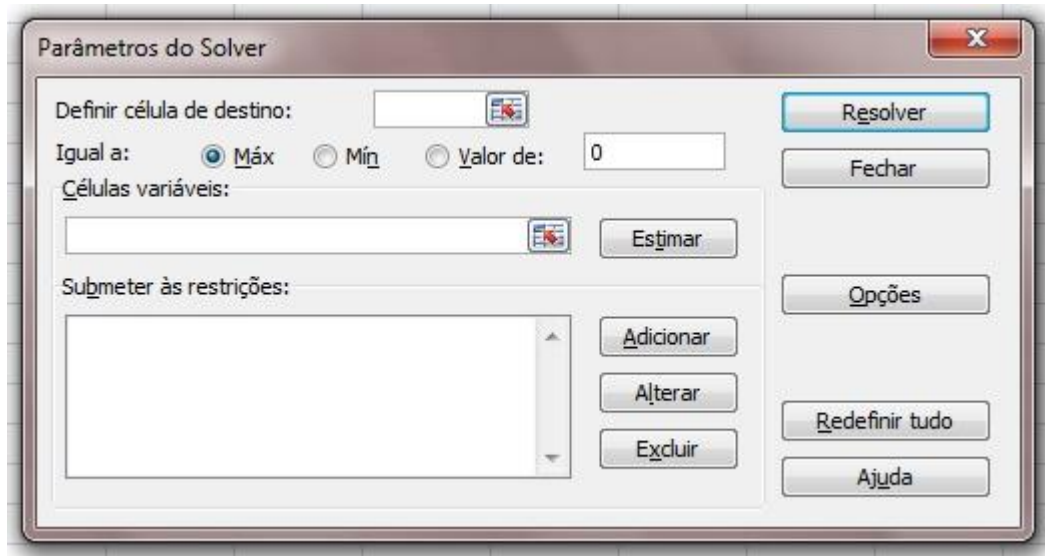


Figura 4 – Tela de entrada do suplemento Solver.

Onde:

- Célula de destino: é o foco da função objetivo, a qual pode ser maximizada, minimizada ou até mesmo imposta um determinado valor, dados esses que podem ser alterados na linha subsequente nos alvéolos onde é evidenciado MAX, MIN e VALOR;

- Células variáveis: nesta caixa é necessário que seja inserida uma referência para cada célula ajustável, separadas por vírgulas. As células ajustáveis devem estar relacionadas direta ou indiretamente à célula de destino;

- Submeter às restrições: nesta caixa é necessário impor as restrições apresentadas, através da determinação por células.

As simulações foram separadas em dois grupos, sendo eles:

**Primeiro grupo:** as disponibilidades de recursos foram específicas para a entrega, sem possibilidade de realocar recursos à produções subseqüentes, sendo calculados através da PL e PLI.

**Segundo grupo:** possibilitou o incremento de ociosidades anteriores nos períodos produtivos subseqüentes, sendo calculados através da PL e PLI.

A fim de permitir a análise dos dados apresentados na sequência deste trabalho, faz-se mister algumas observações e definições, descritas a seguir:

- Em virtude do suplemento *Solver* e do *Software* L.I.N.D.O. possuírem suas origens norte-americanas, os mesmos utilizam-se do padrão inglês de separadores de sistema, “vírgula” para separação de milhares e “ponto” para separação decimal. Todas as resoluções seguem os mesmos parâmetros;

A seguir define-se a nomenclatura adotada no item 4 deste trabalho;

- PROD. A = EQUIPAMENTO 1, PROD. B = EQUIPAMENTO 2, assim seqüencialmente;

- VALOR DO CONTRATO: é o valor máximo possível, determinado através do contrato e da produção total da carteira de pedidos;

- DIFERENÇA: é o valor determinado através da subtração do VALOR DO CONTRATO pelo TOTAL do MAXIMO FATURAMENTO POSSÍVEL, valor esse que determina o quanto “deixou-se” de faturar;

- NÃO ATENDIDOS: são os equipamentos e quantidade que não foi produzida.

O modelo matemático de programação linear aplicado à otimização da receita segue os seguintes parâmetros:

**Função objetivo:**

Esta função define o objetivo de maximizar a receita gerada (em milhares de reais) com o faturamento dos equipamentos entregues.

$$\text{MAX } 64,44E_1 + 315E_2 + 115E_3 + 160E_4 + 33E_5 + 14E_6 + 120E_7 + 130E_8 + 3,5E_9$$

Os coeficientes desta função representam os valores de faturamentos unitários (em milhares de reais) dos equipamentos a serem produzidos.

As variáveis são caracterizadas como “E<sub>i</sub>”, onde “i” caracteriza qual o equipamento em questão. Exemplo: E<sub>1</sub> = Quantidade a ser produzida do equipamento 1 = PROD. A.

### **Variáveis de decisão:**

São variáveis a serem equacionadas de forma a permitir-se maximizar a receita. Estão relacionadas às quantidades de cada equipamento a serem entregues em determinado momento, em função das restrições do modelo e do faturamento específico de cada um.

### **Restrições:**

As restrições ao modelo são divididas em dois grupos:

1º - Quantidades máximas a serem produzidas;

2º - Disponibilidades de horas por setores de fabricação.

Quantidades máximas a serem produzidas na 1ª entrega;

$$E_1 \leq 9; E_2 \leq 2; E_3 \leq 1; E_4 \leq 5; E_5 \leq 1; E_6 \leq 1; E_7 \leq 1; E_8 \leq 2 \text{ e } E_9 \leq 1$$

Para as demais entregas, deve-se considerar a diminuição da quantidade a ser produzida. Dessa maneira, para a 2ª e 3ª entregas têm-se:

Quantidades máximas a serem produzidas na 2ª entrega;

$$E_1 \leq (9 - E_{1 \text{ 1ª Entrega}}); E_2 \leq (2 - E_{2 \text{ 1ª Entrega}}); E_3 \leq (1 - E_{3 \text{ 1ª Entrega}}); E_4 \leq (5 - E_{4 \text{ 1ª Entrega}}); E_5 \leq (1 - E_{5 \text{ 1ª Entrega}}); E_6 \leq (1 - E_{6 \text{ 1ª Entrega}}); E_7 \leq (1 - E_{7 \text{ 1ª Entrega}}); E_8 \leq (2 - E_{8 \text{ 1ª Entrega}}); E_9 \leq (1 - E_{9 \text{ 1ª Entrega}})$$

Quantidades máximas a serem produzidas na 3ª entrega;

$$E_1 \leq (9 - E_{1 \text{ 1ª Entrega}} - E_{1 \text{ 2ª Entrega}}); E_2 \leq (2 - E_{2 \text{ 1ª Entrega}} - E_{2 \text{ 2ª Entrega}}); E_3 \leq (1 - E_{3 \text{ 1ª Entrega}} - E_{3 \text{ 2ª Entrega}}); E_4 \leq (5 - E_{4 \text{ 1ª Entrega}} - E_{4 \text{ 2ª Entrega}}); E_5 \leq (1 - E_{5 \text{ 1ª Entrega}} - E_{5 \text{ 2ª Entrega}}); E_6 \leq (1 - E_{6 \text{ 1ª Entrega}} - E_{6 \text{ 2ª Entrega}}); E_7 \leq (1 - E_{7 \text{ 1ª Entrega}} - E_{7 \text{ 2ª Entrega}}); E_8 \leq (2 - E_{8 \text{ 1ª Entrega}} - E_{8 \text{ 2ª Entrega}}); E_9 \leq (1 - E_{9 \text{ 1ª Entrega}} - E_{9 \text{ 2ª Entrega}})$$

Em simulação de primeiro grupo, o qual não utiliza ociosidade, as restrições relativas à disponibilidade de horas de fabricação para cada uma das três entregas são dadas pelo produto da disponibilidade de horas diárias de cada setor e a quantidade de dias úteis para realização da entrega. Nas simulações com acréscimo de ociosidade, foram consideradas as mesmas disponibilidades bases apresentadas a seguir, com acréscimo de respectivas horas ociosas apresentadas nos resultados parciais de cálculo.

Foram considerados três períodos para entrega, a partir da data do pedido:

1ª entrega em 30 dias (período de fabricação de 20 dias úteis);

2ª entrega em 45 dias (período de fabricação de 10 dias úteis);

3ª entrega em 60 dias (período de fabricação de 10 dias úteis).

As restrições relacionadas à disponibilidade de horas de fabricação para o período de entrega de 20 dias úteis são descritas a seguir:

Observações:

- Os coeficientes das restrições representam as horas necessárias para a obtenção de cada equipamento, por setor.

- Os limites das restrições representam as disponibilidades máximas de horas, por setor.

Setor de caldeiraria:

$$188.89E_1+600E_2+360E_3+120E_4+108E_5+40E_6+260E_7+300E_8+8E_9\leq 1980$$

Setor de solda:

$$91,11E_1+300E_2+144E_3+80E_4+72E_5+20E_6+192E_7+80E_8+8E_9\leq 1080$$

Setor de usinagem:

$$82.22E_1+250E_2+120E_3+8E_4+36E_5+6E_6+80E_7+40E_8+8E_9\leq 900$$

Setor de polimento:

$$64.44E_1+300E_2+174E_3+64E_4+54E_5+45E_6+170E_7+120E_8+8E_9\leq 900$$

As restrições para as demais entregas (2ª e 3ª), as quais ocorrerão em intervalos de 10 dias úteis, são:

Setor de caldeiraria:

$$188.89E_1+600E_2+360E_3+120E_4+108E_5+40E_6+260E_7+300E_8+8E_9\leq 990$$

Setor de solda:

$$91,11E_1+300E_2+144E_3+80E_4+72E_5+20E_6+192E_7+80E_8+8E_9\leq 540$$

Setor de usinagem:

$$82.22E_1+250E_2+120E_3+8E_4+36E_5+6E_6+80E_7+40E_8+8E_9\leq 450$$

Setor de polimento:

$$64.44E_1+300E_2+174E_3+64E_4+54E_5+45E_6+170E_7+120E_8+8E_9\leq 450$$

#### 4 RESULTADOS

A partir do primeiro grupo de simulações, foi possível obter-se o seguinte cenário, resultado de uma simulação com PLI, demonstrado na Figura 5, a qual é parte integrante do sistema de planilhas elaboradas para a resolução do estudo de caso.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
2	<b>MAXIMO FATURAMENTO POSSIVEL</b>										
3	1ª ENTREGA		2ª ENTREGA		3ª ENTREGA		TOTAL			<b>VALOR DO CONTRATO</b>	
4	PROD.	R\$ / ITEM	PROD.	R\$ / ITEM	PROD.	R\$ / ITEM	PROD.	R\$ / ITEM		R\$ 2,555,500.00	
5	A	R\$ 0.00	A	R\$ 128,888.89	A	R\$ 193,333.33	A	R\$ 322,222.22		<b>DIFERENÇA</b>	
6	B	R\$ 315,000.00	B	R\$ 315,000.00	B	R\$ 0.00	B	R\$ 630,000.00		R\$ 386,777.78	
7	C	R\$ 0.00	C	R\$ 0.00	C	R\$ 0.00	C	R\$ 0.00			
8	D	R\$ 800,000.00	D	R\$ 0.00	D	R\$ 0.00	D	R\$ 800,000.00			
9	E	R\$ 0.00	E	R\$ 0.00	E	R\$ 33,000.00	E	R\$ 33,000.00			
10	F	R\$ 0.00	F	R\$ 0.00	F	R\$ 0.00	F	R\$ 0.00			
11	G	R\$ 0.00	G	R\$ 0.00	G	R\$ 120,000.00	G	R\$ 120,000.00			
12	H	R\$ 260,000.00	H	R\$ 0.00	H	R\$ 0.00	H	R\$ 260,000.00			
13	I	R\$ 3,500.00	I	R\$ 0.00	I	R\$ 0.00	I	R\$ 3,500.00			
14	<b>R\$ 1,378,500.00</b>		<b>R\$ 443,888.89</b>		<b>R\$ 346,333.33</b>		<b>R\$ 2,168,722.22</b>				
15											
16	<b>ORDEM DE PRODUÇÃO REAL</b>									<b>NÃO ATENDIDOS</b>	
17	1ª ENTREGA		2ª ENTREGA		3ª ENTREGA		TOTAL				
18	PROD.	QTD.	PROD.	QTD.	PROD.	QTD.	PROD.	QTD.	PROD.	QTD.	
19	A	-	A	2.00	A	3.00	A	5.00	A	4.00	
20	B	1.00	B	1.00	B	-	B	2.00	B	0.00	
21	C	-	C	-	C	-	C	0.00	C	1.00	
22	D	5.00	D	-	D	-	D	5.00	D	0.00	
23	E	-	E	-	E	1.00	E	1.00	E	0.00	
24	F	-	F	-	F	-	F	0.00	F	1.00	
25	G	-	G	-	G	1.00	G	1.00	G	0.00	
26	H	2.00	H	-	H	-	H	2.00	H	0.00	
27	I	1.00	I	-	I	-	I	1.00	I	0.00	

Figura 5 – Cenário de produção – 1º grupo PLI.

A tabela 3, explica como foram obtidos os valores apresentados na figura 5.

Tabela 3 – Demonstrativo de resultado - 1º grupo PLI

1ª ENTREGA				FATURAMENTO TOTAL [R\$]	
QUANTIDADE A SER PRODUZIDO (a)	MODELO (b)	FATURAMENTO PARCIAL (a.b*=c) [R\$]	FATURAMENTO DA ENTREGA ( $\Sigma c=f1$ ) [R\$]	= $\Sigma(f1,f2,f3)$	
1 unid.	EQUIPAMENTO 2	315,000.00	1,378,500.00	2,168,722.22	
5 unid.	EQUIPAMENTO 4	800,000.00			
2 unid.	EQUIPAMENTO 8	260,000.00			
1 unid.	EQUIPAMENTO 9	3,500.00			
2ª ENTREGA					
QUANTIDADE A SER PRODUZIDO (d)	MODELO (e)	FATURAMENTO PARCIAL (d.e*=f) [R\$]	FATURAMENTO DA ENTREGA ( $\Sigma f=f2$ ) [R\$]		
2 unid.	EQUIPAMENTO 1	128,888.89	443,888.89		
1 unid.	EQUIPAMENTO 2	315,000.00			
3ª ENTREGA					
QUANTIDADE A SER PRODUZIDO (g)	MODELO (h)	FATURAMENTO PARCIAL (g.h*=i) [R\$]	FATURAMENTO DA ENTREGA ( $\Sigma i=f3$ ) [R\$]		
3 unid.	EQUIPAMENTO 1	193,333.33	346,333.33		
1 unid.	EQUIPAMENTO 5	33,000.00			
1 unid.	EQUIPAMENTO 7	120,000.00			

\*=valor de faturamento individual do respectivo equipamento.

Nota-se, neste caso, que 4 equipamentos do tipo 1 (PROD. A), 1 equipamento do tipo 3 (PROD. C) e 1 equipamento do tipo 6 (PROD. F) não foram produzidos,, gerando uma diferença a menos no faturamento de R\$ 386.777,78.

Os cenários de PL no primeiro e segundo grupos, determinam, em alguns momentos, ordens de produções de frações de equipamentos. Conforme já citado, este método visa a otimização matemática, sem imposição de restrições a números inteiros, porém como não é possível a entrega de equipamentos fracionados e, conseqüentemente, seus faturamentos, as ordens de produção descritas nestes cenários foram obtidas através da absorção apenas dos algarismos inteiros, desconsiderando as frações sugeridas. Tais valores são demonstrados nas figuras 6 e 8.

A simulação no primeiro grupo com PL, cujos valores das variáveis de decisão foram aproximados para números imediatamente inferiores, é demonstrado na figura 6.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
2	<b>MAXIMO FATURAMENTO POSSIVEL</b>										
3	1ª ENTREGA		2ª ENTREGA		3ª ENTREGA		TOTAL			<b>VALOR DO CONTRATO</b>	
4	PROD.	R\$ / ITEM	PROD.	R\$ / ITEM	PROD.	R\$ / ITEM	PROD.	R\$ / ITEM		<b>R\$ 2,555,500.00</b>	
5	A	R\$ 0.00	A	R\$ 64,444.44	A	R\$ 193,333.33	A	<b>R\$ 257,777.78</b>		<b>DIFERENÇA</b>	
6	B	R\$ 315,000.00	B	R\$ 315,000.00	B	R\$ 0.00	B	<b>R\$ 630,000.00</b>		<b>R\$ 487,722.22</b>	
7	C	R\$ 0.00	C	R\$ 0.00	C	R\$ 0.00	C	<b>R\$ 0.00</b>			
8	D	R\$ 800,000.00	D	R\$ 0.00	D	R\$ 0.00	D	<b>R\$ 800,000.00</b>			
9	E	R\$ 0.00	E	R\$ 0.00	E	R\$ 0.00	E	<b>R\$ 0.00</b>			
10	F	R\$ 0.00	F	R\$ 0.00	F	R\$ 0.00	F	<b>R\$ 0.00</b>			
11	G	R\$ 0.00	G	R\$ 0.00	G	R\$ 120,000.00	G	<b>R\$ 120,000.00</b>			
12	H	R\$ 260,000.00	H	R\$ 0.00	H	R\$ 0.00	H	<b>R\$ 260,000.00</b>			
13	I	R\$ 0.00	I	R\$ 0.00	I	R\$ 0.00	I	<b>R\$ 0.00</b>			
14	<b>R\$ 1,375,000.00</b>		<b>R\$ 379,444.44</b>		<b>R\$ 313,333.33</b>		<b>R\$ 2,067,777.78</b>				
15											
16	<b>ORDEM DE PRODUÇÃO REAL</b>										<b>NÃO ATENDIDOS</b>
17	1ª ENTREGA		2ª ENTREGA		3ª ENTREGA		TOTAL				
18	PROD.	QTD.	PROD.	QTD.	PROD.	QTD.	PROD.	QTD.	PROD.	QTD.	
19	A	-	A	1.00	A	3.00	A	4.00	A	<b>5.00</b>	
20	B	1.00	B	1.00	B	-	B	2.00	B	<b>0.00</b>	
21	C	-	C	-	C	-	C	0.00	C	<b>1.00</b>	
22	D	5.00	D	-	D	-	D	5.00	D	<b>0.00</b>	
23	E	-	E	-	E	-	E	0.00	E	<b>1.00</b>	
24	F	-	F	-	F	-	F	0.00	F	<b>1.00</b>	
25	G	-	G	-	G	1.00	G	1.00	G	<b>0.00</b>	
26	H	2.00	H	-	H	-	H	2.00	H	<b>0.00</b>	
27	I	-	I	-	I	-	I	0.00	I	<b>1.00</b>	

Figura 6 – Cenário de produção – 1º grupo PL

A tabela 4, explica como foram obtidos os valores apresentados na figura 6.

Tabela 4 – Demonstrativo de resultado – 1º grupo PL

1ª ENTREGA				FATURAMENTO TOTAL [R\$]	
QUANTIDADE A SER PRODUZIDO (a)	MODELO (b)	FATURAMENTO PARCIAL (a.b*=c) [R\$]	FATURAMENTO DA ENTREGA ( $\Sigma c=f_1$ ) [R\$]	= $\Sigma(f_1, f_2, f_3)$	
1 unid.	EQUIPAMENTO 2	315,000.00	1,375,000.00	2,067,777.78	
5 unid.	EQUIPAMENTO 4	800,000.00			
2 unid.	EQUIPAMENTO 8	260,000.00			
2ª ENTREGA					
QUANTIDADE A SER PRODUZIDO (d)	MODELO (e)	FATURAMENTO PARCIAL (d.e*=f) [R\$]	FATURAMENTO DA ENTREGA ( $\Sigma f=f_2$ )		
1 unid.	EQUIPAMENTO 1	64,444.44	379,444.44		
1 unid.	EQUIPAMENTO 2	315,000.00			
3ª ENTREGA					
QUANTIDADE A SER PRODUZIDO (g)	MODELO (h)	FATURAMENTO PARCIAL (g.h*=i) [R\$]	FATURAMENTO DA ENTREGA ( $\Sigma i=f_3$ )		
3 unid.	EQUIPAMENTO 1	193,333.33	313,333.33		
1 unid.	EQUIPAMENTO 7	120,000.00			

\*=valor de faturamento individual do respectivo equipamento.

Pode-se perceber que este cenário determinou o aumento da diferença não faturada, de R\$ 487.722,22 uma vez que equipamentos fracionados não podem ser faturados, visto não



estarem totalmente produzidos; os valores obtidos são a partir da absorção dos algarismos inteiros, desconsiderando as frações ocasionais.

Conforme já mencionado, as validações encontram-se no apêndice deste estudo, porém, são de acordo com as resoluções totais (algarismos inteiros e frações), sendo necessário a individualização e utilização apenas dos algarismos inteiros, assim, será em conformidade aos resultados apresentados nas Figuras 6 e 8.

A *management science* desenvolvida permite visualizar as resoluções totais, validadas, porém obstinasse a utilizar apenas as resoluções a partir de algarismos inteiros.

Já a partir do segundo grupo, os valores tornam-se distintos em relação ao primeiro; pois se utilizam horas ociosas dos períodos anteriores para implementar os respectivos setores da produção subsequente.

A simulação do PLI no segundo grupo é apresentada na Figura 7.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
2	<b>MAXIMO FATURAMENTO POSSIVEL</b>										
3	1ª ENTREGA		2ª ENTREGA		3ª ENTREGA		TOTAL			<b>VALOR DO CONTRATO</b>	
4	PROD.	R\$ / ITEM	PROD.	R\$ / ITEM	PROD.	R\$ / ITEM	PROD.	R\$ / ITEM		<b>R\$ 2,555,500.00</b>	
5	A	R\$ 0.00	A	R\$ 128,888.89	A	R\$ 257,777.78	A	R\$ 386,666.67		<b>DIFERENÇA</b>	
6	B	R\$ 315,000.00	B	R\$ 315,000.00	B	R\$ 0.00	B	R\$ 630,000.00		<b>R\$ 322,333.33</b>	
7	C	R\$ 0.00	C	R\$ 0.00	C	R\$ 0.00	C	R\$ 0.00			
8	D	R\$ 800,000.00	D	R\$ 0.00	D	R\$ 0.00	D	R\$ 800,000.00			
9	E	R\$ 0.00	E	R\$ 33,000.00	E	R\$ 0.00	E	R\$ 33,000.00			
10	F	R\$ 0.00	F	R\$ 0.00	F	R\$ 0.00	F	R\$ 0.00			
11	G	R\$ 0.00	G	R\$ 0.00	G	R\$ 120,000.00	G	R\$ 120,000.00			
12	H	R\$ 260,000.00	H	R\$ 0.00	H	R\$ 0.00	H	R\$ 260,000.00			
13	I	R\$ 3,500.00	I	R\$ 0.00	I	R\$ 0.00	I	R\$ 3,500.00			
14	<b>R\$ 1,378,500.00</b>		<b>R\$ 476,888.89</b>		<b>R\$ 377,777.78</b>		<b>R\$ 2,233,166.67</b>				
15											
16	<b>ORDEM DE PRODUÇÃO REAL</b>									<b>NÃO ATENDIDOS</b>	
17	1ª ENTREGA		2ª ENTREGA		3ª ENTREGA		TOTAL				
18	PROD.	QTD.	PROD.	QTD.	PROD.	QTD.	PROD.	QTD.	PROD.	QTD.	
19	A	-	A	2.00	A	4.00	A	6.00	A	3.00	
20	B	1.00	B	1.00	B	-	B	2.00	B	0.00	
21	C	-	C	-	C	-	C	0.00	C	1.00	
22	D	5.00	D	-	D	-	D	5.00	D	0.00	
23	E	-	E	1.00	E	-	E	1.00	E	0.00	
24	F	-	F	-	F	-	F	0.00	F	1.00	
25	G	-	G	-	G	1.00	G	1.00	G	0.00	
26	H	2.00	H	-	H	-	H	2.00	H	0.00	
27	I	1.00	I	-	I	-	I	1.00	I	0.00	

Figura 7 – Cenário de produção – 2º grupo PLI.

A tabela 5, explica como foram obtidos os valores apresentados na figura 7.

**Tabela 5 – Demonstrativo de resultado – 2º grupo PLI**

1ª ENTREGA				FATURAMENTO TOTAL [R\$]	
QUANTIDADE A SER PRODUZIDO (a)	MODELO (b)	FATURAMENTO PARCIAL (a.b*=c) [R\$]	FATURAMENTO DA ENTREGA ( $\Sigma c=f1$ ) [R\$]	= $\Sigma(f1,f2,f3)$	
1 unid.	EQUIPAMENTO 2	315,000.00	1,378,500.00	2,233,166.67	
5 unid.	EQUIPAMENTO 4	800,000.00			
2 unid.	EQUIPAMENTO 8	260,000.00			
1 unid.	EQUIPAMENTO 9	3,500.00			
2ª ENTREGA					
QUANTIDADE A SER PRODUZIDO (d)	MODELO (e)	FATURAMENTO PARCIAL (d.e*=f) [R\$]	FATURAMENTO DA ENTREGA ( $\Sigma f=f2$ )		
2 unid.	EQUIPAMENTO 1	128,888.89	476,888.89		
1 unid.	EQUIPAMENTO 2	315,000.00			
1 unid.	EQUIPAMENTO 5	33,000.00			
3ª ENTREGA					
QUANTIDADE A SER PRODUZIDO (g)	MODELO (h)	FATURAMENTO PARCIAL (g.h*=i) [R\$]	FATURAMENTO DA ENTREGA ( $\Sigma i=f3$ )		
4 unid.	EQUIPAMENTO 1	257,777.78	377,777.78		
1 unid.	EQUIPAMENTO 7	120,000.00			

\*=valor de faturamento individual do respectivo equipamento.

A simulação no segundo grupo através da PL, conforme já comentado, absorve em sua resolução, apresentada na figura 8, apenas as aproximações para algarismos inteiros; sendo possível visualizar o segundo menor valor de diferença de contrato.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
<b>MAXIMO FATURAMENTO POSSIVEL</b>										<b>VALOR DO CONTRATO</b>
1ª ENTREGA		2ª ENTREGA		3ª ENTREGA		TOTAL				R\$ 2,555,500.00
PROD.	RS / ITEM	PROD.	RS / ITEM	PROD.	RS / ITEM	PROD.	RS / ITEM			
A	R\$ 0.00	A	R\$ 128,888.89	A	R\$ 257,777.78	A	R\$ 386,666.67			<b>DIFERENÇA</b>
B	R\$ 315,000.00	B	R\$ 315,000.00	B	R\$ 0.00	B	R\$ 630,000.00			R\$ 355,333.33
C	R\$ 0.00	C	R\$ 0.00	C	R\$ 0.00	C	R\$ 0.00			
D	R\$ 800,000.00	D	R\$ 0.00	D	R\$ 0.00	D	R\$ 800,000.00			
E	R\$ 0.00	E	R\$ 0.00	E	R\$ 0.00	E	R\$ 0.00			
F	R\$ 0.00	F	R\$ 0.00	F	R\$ 0.00	F	R\$ 0.00			
G	R\$ 0.00	G	R\$ 0.00	G	R\$ 120,000.00	G	R\$ 120,000.00			
H	R\$ 260,000.00	H	R\$ 0.00	H	R\$ 0.00	H	R\$ 260,000.00			
I	R\$ 0.00	I	R\$ 0.00	I	R\$ 3,500.00	I	R\$ 3,500.00			
R\$ 1,375,000.00		R\$ 443,888.89		R\$ 381,277.78		R\$ 2,200,166.67				
<b>ORDEM DE PRODUÇÃO REAL</b>										<b>NÃO ATENDIDOS</b>
1ª ENTREGA		2ª ENTREGA		3ª ENTREGA		TOTAL				
PROD.	QTD.	PROD.	QTD.	PROD.	QTD.	PROD.	QTD.	PROD.	QTD.	
A	-	A	2.00	A	4.00	A	6.00	A	3.00	
B	1.00	B	1.00	B	-	B	2.00	B	0.00	
C	-	C	-	C	-	C	0.00	C	1.00	
D	5.00	D	-	D	-	D	5.00	D	0.00	
E	-	E	-	E	-	E	0.00	E	1.00	
F	-	F	-	F	-	F	0.00	F	1.00	
G	-	G	-	G	1.00	G	1.00	G	0.00	
H	2.00	H	-	H	-	H	2.00	H	0.00	
I	-	I	-	I	1.00	I	1.00	I	0.00	

Figura 8 – Cenário de produção – 2º grupo PL.

A tabela 6, explica como foram obtidos os valores apresentados na figura 8.

Tabela 6 – Demonstrativo de resultado – 2º grupo PL

1ª ENTREGA				FATURAMENTO TOTAL [R\$]	
QUANTIDADE A SER PRODUZIDO (a)	MODELO (b)	FATURAMENTO PARCIAL (a.b*=c) [R\$]	FATURAMENTO DA ENTREGA ( $\Sigma c=f1$ ) [R\$]	= $\Sigma(f1, f2, f3)$	
1 unid.	EQUIPAMENTO 2	315.000,00	1,375,000.00	2,200,166.67	
5 unid.	EQUIPAMENTO 4	800.000,00			
2 unid.	EQUIPAMENTO 8	260.000,00			
2ª ENTREGA					
QUANTIDADE A SER PRODUZIDO (d)	MODELO (e)	FATURAMENTO PARCIAL (d.e*=f) [R\$]	FATURAMENTO DA ENTREGA ( $\Sigma f=l2$ )		
2 unid.	EQUIPAMENTO 1	128,888.89	443,888.89		
1 unid.	EQUIPAMENTO 2	315,000.00			
3ª ENTREGA					
QUANTIDADE A SER PRODUZIDO (g)	MODELO (h)	FATURAMENTO PARCIAL (g.h*=i) [R\$]	FATURAMENTO DA ENTREGA ( $\Sigma i=f3$ )		
4 unid.	EQUIPAMENTO 1	257,777.78	381,277.78		
1 unid.	EQUIPAMENTO 7	120,000.00			
1 unid.	EQUIPAMENTO 9	3,500.00			

\*=valor de faturamento individual do respectivo equipamento.

A análise das figuras 7 e 8 permite verificar que, mesmo consideradas as utilizações das horas ociosas em períodos subsequentes, a programação linear inteira (PLI) gera melhores resultados, uma vez que baseia-se apenas em números inteiros de equipamentos, num enfoque mais prático e real.

Em caráter de comparação, foi feita a classificação dos métodos analisados de simulação em função dos resultados obtidos com a maximização final dos faturamentos, conforme demonstrado na tabela 7.

Tabela 7 – Comparativo geral

Classificação	Grupos de Simulação		1ª Entrega	2ª Entrega	3ª Entrega	Total	Não Faturado
1º	Segundo Grupo	PLI	R\$ 1,378,500.00	R\$ 476,888.90	R\$ 377,777.80	R\$ 2,233,166.70	R\$ 322,333.30
2º		PL	R\$ 1,375,000.00	R\$ 443,888.89	R\$ 381,277.78	R\$ 2,200,166.67	R\$ 355,333.33
3º	Primeiro Grupo	PLI	R\$ 1,378,500.00	R\$ 443,888.90	R\$ 346,333.30	R\$ 2,168,722.20	R\$ 386,777.80
4º		PL	R\$ 1,375,000.00	R\$ 379,444.44	R\$ 313,333.33	R\$ 2,067,777.78	R\$ 487,722.22

Os valores obtidos demonstraram que a simulação através do segundo grupo, na qual se utiliza da ociosidade para implementar a produção subsequente gera melhor resultado quando pretende-se obter o melhor faturamento e assim melhor utilização dos recursos disponíveis; possibilitando também melhor otimização dos períodos iniciais de entrega.

Nota-se também na tabela 7 que as simulações efetuadas com o uso das horas de ociosidade em períodos subseqüentes melhorou o resultado final de faturamento, como era de esperar-se.

Tendo como meta o maior faturamento, é possível visualizar na figura 9, qual método mais aproximou-se do valor do contrato.

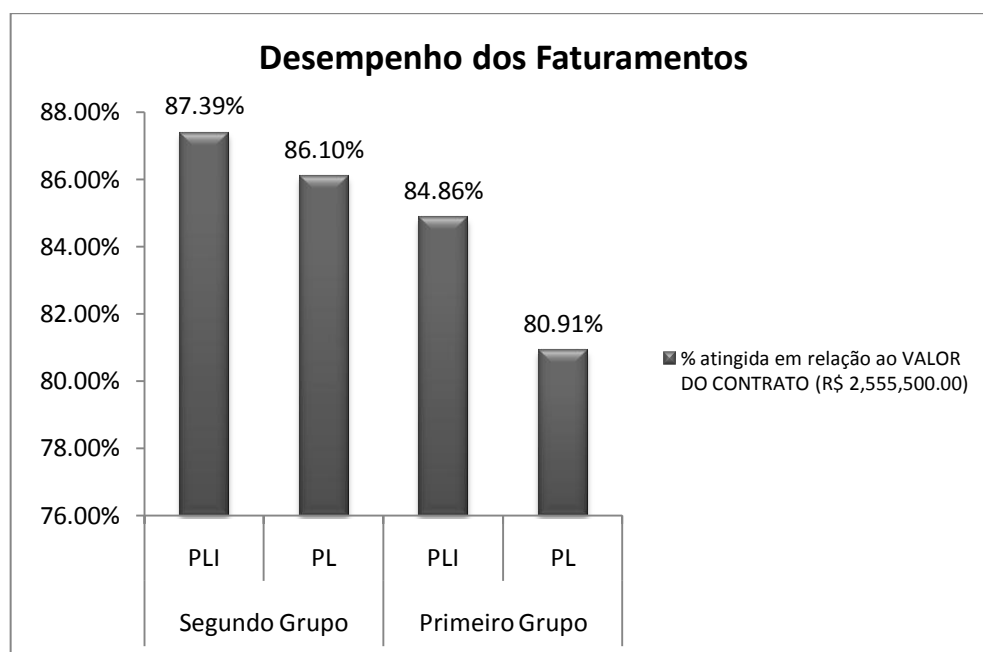


Figura 9 – Desempenho final

Como demonstrado na figura 9, o método de simulação a partir do segundo grupo, através da PLI, demonstrou uma eficiência superior aos demais cenários, atingindo o faturamento de R\$ 2.233.166,70 (Tabela 7), referente à 87,39% do máximo faturamento possível (VALOR DO CONTRATO) que é de R\$ 2.555.500,00.

Apenas uma produção total possibilitaria 100% do valor de contrato, porém, conforme demonstrado na Tabela 2, tal produção torna-se impossível, em horas normais, devido a indisponibilidade de horas de trabalho nos setores de caldeiraria, solda e polimento, no prazo de 40 dias úteis.

A figura 10 mostra em forma gráfica os percentuais de faturamentos obtidos nas três entregas para o primeiro e segundo grupo, com PL e PLI.

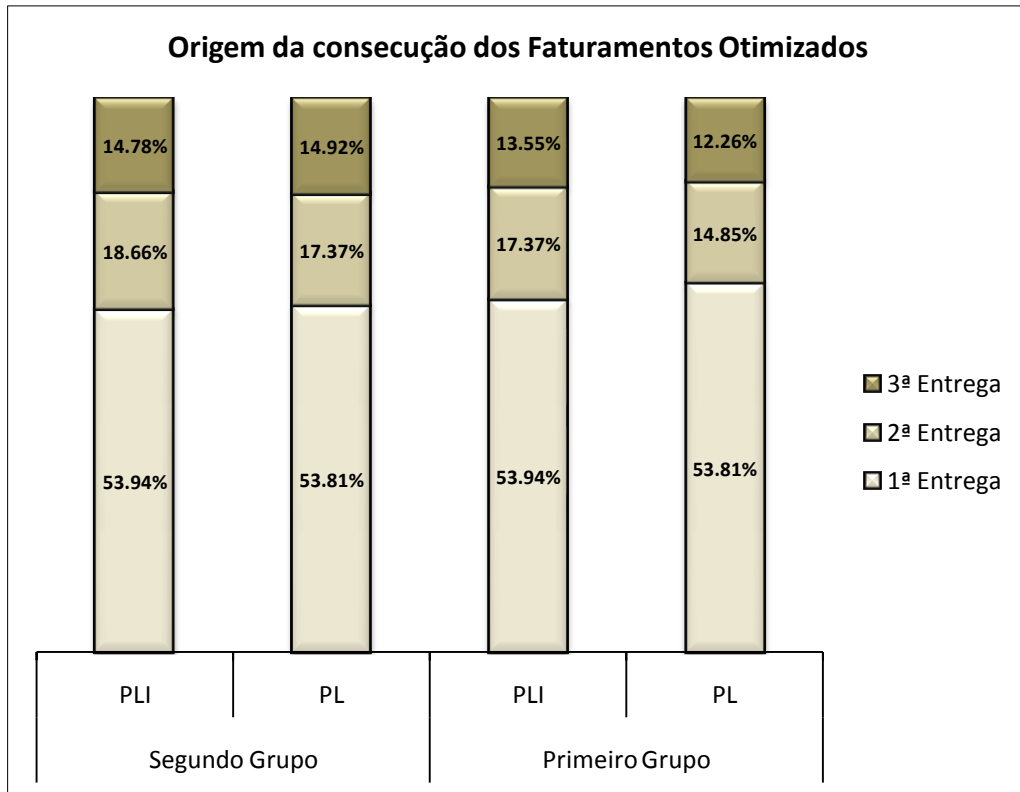


Figura 10 – Percentual de faturamento por entrega para os cenários simulados.

A análise da figura 10 permite observar que, embora a simulação com o segundo grupo com PLI seja a de maior faturamento total, os percentuais de faturamento nas entregas parciais podem variar em relação aos demais, portanto, geram diferentes fluxos de caixa para os cenários simulados.

As figuras 11, 12, 13 e 14 apresentam, em forma gráfica, as quantidades produzidas de cada tipo de equipamento em ambos os grupos, simulados com PL e PLI, juntamente ao respectivo período de entrega e as quantidades não atendidas (não produzidas).

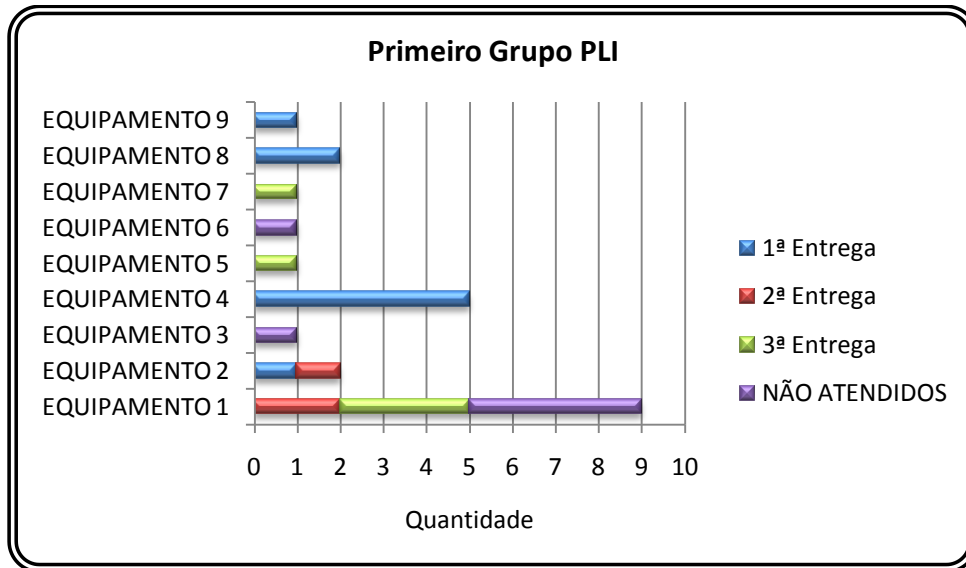


Figura 11 – Quantidades produzidas de cada tipo de equipamento – 1º grupo PLI.

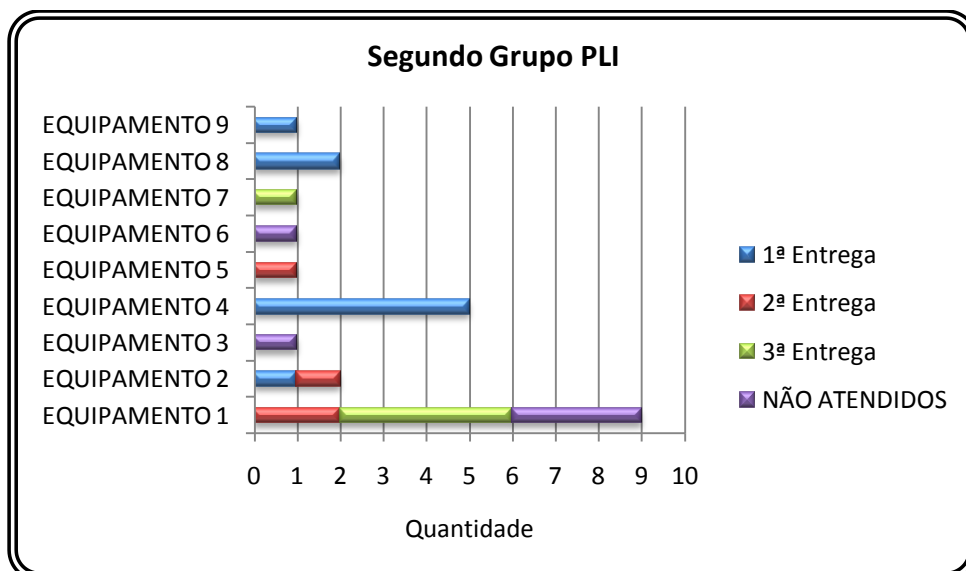


Figura 12 – Quantidades produzidas de cada tipo de equipamento – 2º grupo PLI.

A comparação das figuras 11 e 12 permite visualizar que há pequena disparidade entre cenários; em ambos, as ordens de produção e relação de equipamentos não atendidos são idênticas para os equipamentos 9, 8, 7, 6, 4, 3 e 2, porém em relação ao equipamento 5, visualiza-se que mesmo obtendo valor final de uma unidade de produção em ambos cenários, os mesmos apresentam diferente tempo de produção e assim, de entrega. Já em relação ao equipamento 1, essa comparação torna-se um pouco distinta, já que no cenário de 2º grupo PLI obtêm-se ordem de produção final e assim, entrega e faturamento de 6 unidades do equipamento 1, enquanto o cenário de 1º grupo com PLI proporciona apenas 5 unidades.

Os cenários apresentados nas figuras 13 e 14 baseiam-se em simulação com PL, porém cada figura demonstra o resultado no respectivo grupo de simulação. Visualiza-se que em ambos os cenários obtêm-se resultados com pequenas distinções, sendo evidentes na comparação de ordens de produção dos equipamentos 9 e 1 de ambos cenários.

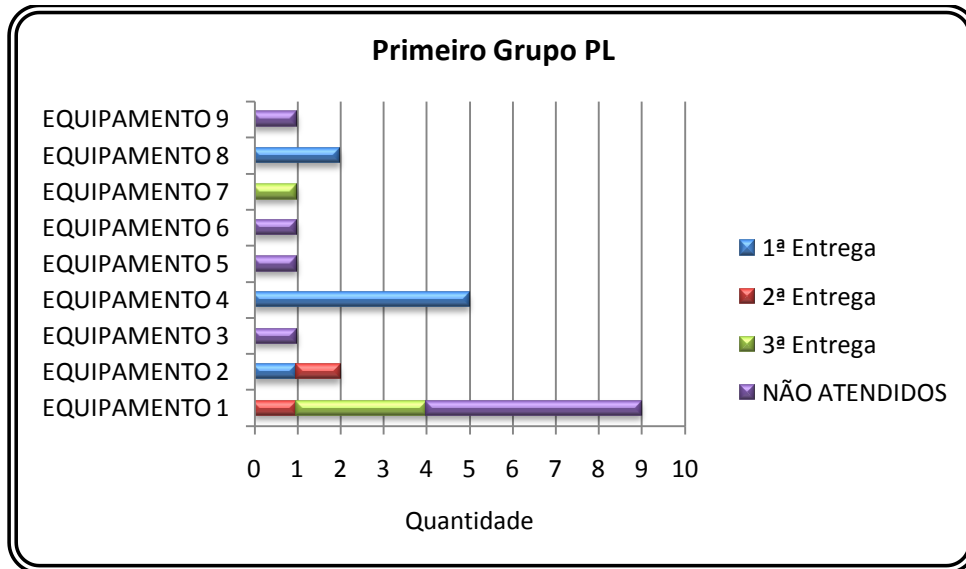


Figura 13 – Quantidades produzidas de cada tipo de equipamento – 1º grupo PL.

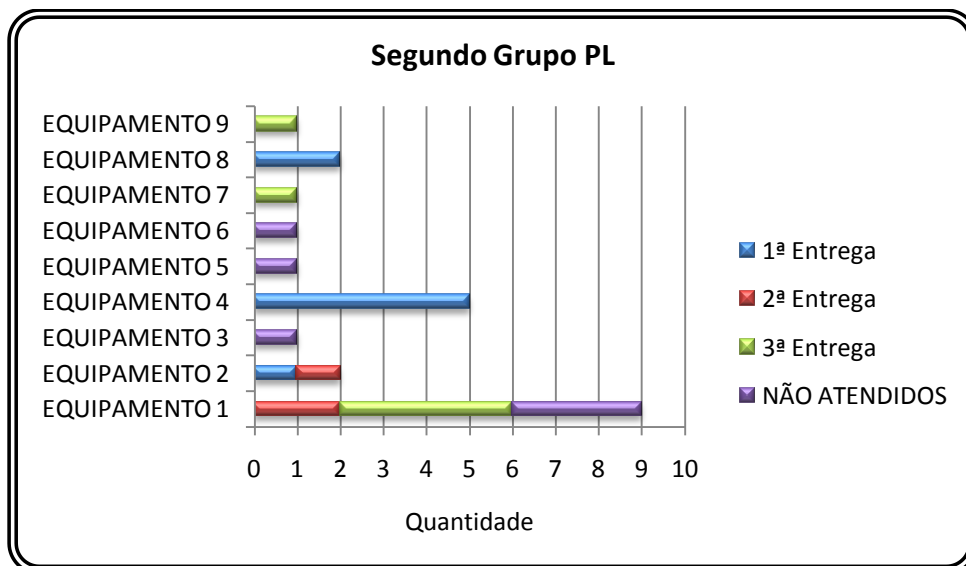


Figura 14 – Quantidades produzidas de cada tipo de equipamento – 2º grupo PL.

Em comparação aos grupos de simulação, observou-se que o segundo viabilizou uma média de aproximadamente 4% a mais de rentabilidade em comparação ao método do primeiro grupo, demonstrando uma otimização plausível e em conformidade com Prado (2007). Tal margem resulta em aproximadamente R\$ 100 mil. Se fizermos a mesma

comparação entre os modelos do segundo grupo PLI e primeiro grupo PL, respectivos 1º e 4º métodos classificados (tabela 4), esse montante torna-se ainda mais significativo, pois resulta em uma otimização total de 6,5%, a qual resulta num montante aproximado de R\$ 160 mil.



## 5 CONCLUSÕES

Obteve-se uma ferramenta de suporte à gestão da produção de fácil aplicação e baixo custo, aplicável a empresa de bens de capital de pequeno e médio porte. A ferramenta obtida permitiu a determinação do escalonamento produtivo de forma a obter-se a otimização dos recursos e conseqüentemente da receita.

A opção de utilização de eventuais horas ociosas de determinados setores ou períodos produtivos naqueles subseqüentes permite ao usuário a tomada de decisões no tocante à alocação de mão-de-obra.

A utilização das horas ociosas e sua aplicação no modelo matemático solucionado com uso de Programação Linear Inteira (PLI) mostrou o melhor resultado de receita gerada com ganho de 6,5%, quando comparado com a solução obtida com a Programação Linear sem contabilização de horas ociosa.

O fluxo de caixa resultante do modelo com Programação Linear Inteira também mostrou-se o mais favorável.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, E. L.. **Introdução à pesquisa operacional: métodos e modelos a análise de decisão**. 4 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

CAIXETA-FILHO, J. V.. **Pesquisa Operacional – Técnicas de otimização aplicadas a sistemas agroindustriais**. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2009.

CHESTER, T.. **Dominando o Excel 5 For Windows**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 1996.

CHIAVENATO, I.. **Planejamento e controle da produção**. 2 ed. Barueri, SP: Manole, 2008.

DAVIES, A.; HOBDDAY, M.. **The business of projects: managing innovation in complex products and systems**. Cambridge: Cambridge University Press, 2005.

LACHTERMACHER, G.. **Pesquisa Operacional na tomada de decisões**. 4 ed. São Paulo: Pearson Education, 2009.

LAGO, L. C. A. et al. **A Indústria Brasileira de Bens de Capital: origens, Situação Recente e Perspectivas**. 1 ed. Rio de Janeiro: FGC/IBRE, 1979.

MICROSOFT EXCEL® Version 2007 (12.0.4518.1014). Parte do Microsoft Office Professional 2007: Microsoft Corporation, 2006.

MONTINI, D. Á.. **Universidade Excel**. São Paulo: Degerati, 2004.

MOREIRA, D. A.. **Introdução à Administração da Produção e Operações**. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

NASSIF, A.; FERREIRA, T. T.. **O Setor de bens de capital: diagnóstico e perspectivas**. Disponível em:

<[http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes\\_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/livro\\_brasil\\_em\\_transicao/Brasil\\_em\\_transicao\\_cap15.pdf](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/livro_brasil_em_transicao/Brasil_em_transicao_cap15.pdf)> .

PDP – Política de Desenvolvimento Produtivo. **Indicadores de Desempenho - Novembro/2010**. Disponível em:

<[http://www.pdp.gov.br/Relatorios%20de%20Programas/Bens%20de%20Capital\\_Desempenho.pdf](http://www.pdp.gov.br/Relatorios%20de%20Programas/Bens%20de%20Capital_Desempenho.pdf)>.

PRADO, D. S.. **Programação Linear**. Belo Horizonte: DG, 1999.

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. Nova Lima: INDG, 2007.

SILVA, E. M. da; SILVA, E. M. da; GONÇALVES, V.; MUROLO, A. C.. **Pesquisa Operacional: para os cursos de Economia, Administração e Ciências Contábeis**. 3 ed. São Paulo: Atlas, 1998.

**APÊNDICES**

### APÊNDICE A - Saída do L.I.N.D.O. – 2º grupo PL

OBJECTIVE FUNCTION VALUE			OBJECTIVE FUNCTION VALUE			OBJECTIVE FUNCTION VALUE		
1)	1417.000		1)	506.3194		1)	435.4331	
VARIABLE	VALUE	REDUCED COST	VARIABLE	VALUE	REDUCED COST	VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X1	0.000000	2.755557	X1	2.968750	0.000000	X1	4.671152	0.000000
X2	1.133333	0.000000	X2	1.000000	0.000000	X2	0.000000	0.000000
X3	0.000000	67.699997	X3	0.000000	60.208328	X3	0.000000	8.349142
X4	5.000000	0.000000	X4	0.000000	0.000000	X4	0.000000	0.000000
X5	0.000000	23.700001	X5	0.000000	21.374998	X5	0.000000	4.025399
X6	0.000000	33.250000	X6	0.000000	31.312498	X6	0.778806	0.000000
X7	0.000000	58.500000	X7	0.000000	51.180550	X7	1.000000	0.000000
X8	2.000000	0.000000	X8	0.000000	0.000000	X8	0.000000	0.000000
X9	0.000000	4.900000	X9	0.000000	4.555555	X9	1.000000	0.000000
ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES	ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES	ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
2)	100.000000	0.000000	2)	8.906250	0.000000	2)	0.000000	0.337090
3)	180.000000	0.000000	3)	186.875000	0.000000	3)	170.677887	0.000000
4)	496.666656	0.000000	4)	486.562500	0.000000	4)	540.292664	0.000000
5)	0.000000	1.050000	5)	0.000000	1.006944	5)	0.000000	0.011476
6)	9.000000	0.000000	6)	6.031250	0.000000	6)	2.328848	0.000000
7)	0.866667	0.000000	7)	0.000000	12.916675	7)	0.000000	109.303337
8)	1.000000	0.000000	8)	1.000000	0.000000	8)	1.000000	0.000000
9)	0.000000	92.800003	9)	0.000000	95.555557	9)	0.000000	118.814766
10)	1.000000	0.000000	10)	1.000000	0.000000	10)	1.000000	0.000000
11)	1.000000	0.000000	11)	1.000000	0.000000	11)	0.221194	0.000000
12)	1.000000	0.000000	12)	1.000000	0.000000	12)	0.000000	30.405758
13)	0.000000	4.000000	13)	0.000000	9.166670	13)	0.000000	27.495937
14)	1.000000	0.000000	14)	1.000000	0.000000	14)	0.000000	0.711476

### APÊNDICE B - Saída do L.I.N.D.O. – 1º grupo PL

OBJECTIVE FUNCTION VALUE			OBJECTIVE FUNCTION VALUE			OBJECTIVE FUNCTION VALUE		
1)	1417.000		1)	454.8408		1)	367.2361	
VARIABLE	VALUE	REDUCED COST	VARIABLE	VALUE	REDUCED COST	VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X1	0.000000	2.755557	X1	1.762427	0.000000	X1	3.259585	0.000000
X2	1.133333	0.000000	X2	1.000000	0.000000	X2	0.000000	0.000000
X3	0.000000	67.699997	X3	0.000000	27.676134	X3	0.245862	0.000000
X4	5.000000	0.000000	X4	0.000000	0.000000	X4	0.000000	0.000000
X5	0.000000	23.700001	X5	0.000000	10.491284	X5	0.000000	9.000249
X6	0.000000	33.250000	X6	0.000000	11.669608	X6	0.635701	0.000000
X7	0.000000	58.500000	X7	0.218851	0.000000	X7	1.000000	0.000000
X8	2.000000	0.000000	X8	0.000000	0.000000	X8	0.000000	0.000000
X9	0.000000	4.900000	X9	0.000000	1.251453	X9	0.000000	0.332823
ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES	ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES	ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
2)	100.000000	0.000000	2)	0.000000	0.211463	2)	0.000000	0.212019
3)	180.000000	0.000000	3)	35.837315	0.000000	3)	0.000000	0.259981
4)	496.666656	0.000000	4)	37.972885	0.000000	4)	69.396355	0.000000
5)	0.000000	1.050000	5)	0.000000	0.382469	5)	0.000000	0.007102
6)	9.000000	0.000000	6)	7.237573	0.000000	6)	4.740415	0.000000
7)	0.866667	0.000000	7)	0.000000	73.381752	7)	0.000000	107.663422
8)	1.000000	0.000000	8)	1.000000	0.000000	8)	0.754138	0.000000
9)	0.000000	92.800003	9)	0.000000	110.146477	9)	0.000000	113.304649
10)	1.000000	0.000000	10)	1.000000	0.000000	10)	1.000000	0.000000
11)	1.000000	0.000000	11)	1.000000	0.000000	11)	0.364299	0.000000
12)	1.000000	0.000000	12)	0.781149	0.000000	12)	0.000000	13.751204
13)	0.000000	4.000000	13)	0.000000	20.664948	13)	0.000000	44.743484
14)	1.000000	0.000000	14)	1.000000	0.000000	14)	1.000000	0.000000

### APÊNDICE C - Saída do L.I.N.D.O. – 2º grupo PLI

OBJECTIVE FUNCTION VALUE			OBJECTIVE FUNCTION VALUE			OBJECTIVE FUNCTION VALUE		
1)	1378.500		1)	476.8889		1)	377.7778	
VARIABLE	VALUE	REDUCED COST	VARIABLE	VALUE	REDUCED COST	VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X1	0.000000	-64.444443	X1	2.000000	-64.444443	X1	4.000000	-64.444443
X2	1.000000	-315.000000	X2	1.000000	-315.000000	X2	0.000000	-315.000000
X3	0.000000	-115.000000	X3	0.000000	-115.000000	X3	0.000000	-115.000000
X4	5.000000	-160.000000	X4	0.000000	-160.000000	X4	0.000000	-160.000000
X5	0.000000	-33.000000	X5	1.000000	-33.000000	X5	0.000000	-33.000000
X6	0.000000	-14.000000	X6	0.000000	-14.000000	X6	0.000000	-14.000000
X7	0.000000	-120.000000	X7	0.000000	-120.000000	X7	1.000000	-120.000000
X8	2.000000	-130.000000	X8	0.000000	-130.000000	X8	0.000000	-130.000000
X9	1.000000	-3.500000	X9	0.000000	-3.500000	X9	0.000000	-3.500000
ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES	ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES	ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
2)	172.000000	0.000000	2)	76.000000	0.000000	2)	50.000000	0.000000
3)	212.000000	0.000000	3)	196.000000	0.000000	3)	176.000000	0.000000
4)	522.000000	0.000000	4)	522.000000	0.000000	4)	564.000000	0.000000
5)	32.000000	0.000000	5)	0.000000	0.000000	5)	24.000000	0.000000
6)	9.000000	0.000000	6)	7.000000	0.000000	6)	3.000000	0.000000
7)	1.000000	0.000000	7)	0.000000	0.000000	7)	0.000000	0.000000
8)	1.000000	0.000000	8)	1.000000	0.000000	8)	1.000000	0.000000
9)	0.000000	0.000000	9)	0.000000	0.000000	9)	0.000000	0.000000
10)	1.000000	0.000000	10)	0.000000	0.000000	10)	0.000000	0.000000
11)	1.000000	0.000000	11)	1.000000	0.000000	11)	1.000000	0.000000
12)	1.000000	0.000000	12)	1.000000	0.000000	12)	0.000000	0.000000
13)	0.000000	0.000000	13)	0.000000	0.000000	13)	0.000000	0.000000
14)	0.000000	0.000000	14)	0.000000	0.000000	14)	0.000000	0.000000

### APÊNDICE D - Saída do L.I.N.D.O. – 1º grupo PLI

OBJECTIVE FUNCTION VALUE			OBJECTIVE FUNCTION VALUE			OBJECTIVE FUNCTION VALUE		
1)	1378.500		1)	443.8889		1)	346.3333	
VARIABLE	VALUE	REDUCED COST	VARIABLE	VALUE	REDUCED COST	VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X1	0.000000	-64.444443	X1	2.000000	-64.444443	X1	3.000000	-64.444443
X2	1.000000	-315.000000	X2	1.000000	-315.000000	X2	0.000000	-315.000000
X3	0.000000	-115.000000	X3	0.000000	-115.000000	X3	0.000000	-115.000000
X4	5.000000	-160.000000	X4	0.000000	-160.000000	X4	0.000000	-160.000000
X5	0.000000	-33.000000	X5	0.000000	-33.000000	X5	1.000000	-33.000000
X6	0.000000	-14.000000	X6	0.000000	-14.000000	X6	0.000000	-14.000000
X7	0.000000	-120.000000	X7	0.000000	-120.000000	X7	1.000000	-120.000000
X8	2.000000	-130.000000	X8	0.000000	-130.000000	X8	0.000000	-130.000000
X9	1.000000	-3.500000	X9	0.000000	-3.500000	X9	0.000000	-3.500000

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES	ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES	ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
2)	172.000000	0.000000	2)	12.000000	0.000000	2)	55.000000	0.000000
3)	212.000000	0.000000	3)	56.000000	0.000000	3)	0.000000	0.000000
4)	522.000000	0.000000	4)	36.000000	0.000000	4)	88.000000	0.000000
5)	32.000000	0.000000	5)	22.000000	0.000000	5)	34.000000	0.000000
6)	9.000000	0.000000	6)	7.000000	0.000000	6)	4.000000	0.000000
7)	1.000000	0.000000	7)	0.000000	0.000000	7)	0.000000	0.000000
8)	1.000000	0.000000	8)	1.000000	0.000000	8)	1.000000	0.000000
9)	0.000000	0.000000	9)	0.000000	0.000000	9)	0.000000	0.000000
10)	1.000000	0.000000	10)	1.000000	0.000000	10)	0.000000	0.000000
11)	1.000000	0.000000	11)	1.000000	0.000000	11)	1.000000	0.000000
12)	1.000000	0.000000	12)	1.000000	0.000000	12)	0.000000	0.000000
13)	0.000000	0.000000	13)	0.000000	0.000000	13)	0.000000	0.000000
14)	0.000000	0.000000	14)	0.000000	0.000000	14)	0.000000	0.000000



Botucatu, 15 de agosto de 2011.

---

Luiz Enéias Zanetti Cardoso

De Acordo:

---

Prof. Dr. Celso F. Joaquim Junior  
(orientador)

---

Profa. Ms. Bernadete Rossi Barbosa Fantin  
Coordenadora do Curso de Logística