

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL

FRANCIELI DE OLIVEIRA JANTSCH

**OTIMIZAÇÃO NO CORTE DE CHAPAS BIDIMENSIONAIS: ESTUDO DE CASO
EM EMPRESA DO RAMO DE EMBALAGENS**

CAXIAS DO SUL

2015

FRANCIELI DE OLIVEIRA JANTSCH

**OTIMIZAÇÃO NO CORTE DE CHAPAS BIDIMENSIONAIS: ESTUDO DE CASO
EM EMPRESA DO RAMO DE EMBALAGENS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial para a conclusão do
curso de Engenharia de Controle e Automação
na Universidade de Caxias do Sul.

Orientador: Prof. Dr. Odacir Deonísio
Gracioli

CAXIAS DO SUL

2015

FRANCIELI DE OLIVEIRA JANTSCH

**OTIMIZAÇÃO NO CORTE DE CHAPAS BIDIMENSIONAIS: ESTUDO DE CASO
EM EMPRESA DO RAMO DE EMBALAGENS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial para a conclusão do
curso de Engenharia de Controle e Automação
na Universidade de Caxias do Sul.

Orientador: Prof. Dr. Odacir Deonísio
Graciolli

Aprovada em 1º de dezembro de 2015

Banca Examinadora

Prof. Dr. Odacir Deonísio Graciolli (Orientador)
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. Dr. Leandro Luís Corso
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. Dr. Stanislav Tairov
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Eng. Mauro César Pellizzari (Supervisor de Estágio na Empresa)
JP Embalagens

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus por ter me guiado e me ajudado a perseverar até a conclusão desta trajetória.

A minha mãe, Olinda, pelo amor incondicional e pela confiança depositada em mim.

Ao Orientador de Trabalho de Conclusão de Curso, Prof. Dr. Odacir Deonísio Gracioli, pela paciência, dedicação, exemplo e apoio em toda trajetória deste trabalho.

Aos professores da Universidade de Caxias do Sul, pelos conhecimentos transmitidos.

A empresa JP Embalagens, por oportunizar a realização deste trabalho.

Aos colegas e amigos, pelo incentivo e apoio nos momentos difíceis.

A minha estimada Pink, pelo companheirismo ao longo de toda a graduação.

*“O errado é errado, mesmo que todo mundo
esteja fazendo.
O certo é certo, mesmo que ninguém esteja
fazendo.”*

Autor desconhecido

RESUMO

O presente trabalho de conclusão do curso de Engenharia de Controle e Automação desenvolvido na Universidade de Caxias do Sul apresentou a metodologia de implantação de programação de corte bidimensional para minimizar perdas de aparas em uma empresa fabricante de embalagens em papelão corrugado situada na cidade de Caxias do Sul, Rio Grande do Sul. O diagnóstico foi desenvolvido por meio de estudos e adaptações do método de programação linear proposto por Andrade (2002), no sentido de estabelecer combinações de corte e minimizar a perda de matéria prima no processo de corte de chapas de papelão. Os principais resultados obtidos foram o estabelecimento de padrões de corte de produtos conforme demanda diária e matéria prima disponível, demonstrando que ao programar o corte conjugando os itens produzidos o aproveitamento das chapas se torna maior do que conjugar somente produtos iguais. Adicionalmente, foram simulados outros cenários com a possibilidade de demanda flexível, obtendo-se um aproveitamento menor que o caso anterior, porém com lucro maior devido a análise hipotética de lucratividade por produto. Para o futuro, compreende-se a adoção de novo sistema de corte via *software* corporativo.

Palavras-chave: Programação Linear. Corte Bidimensional. Padrões de Corte. Embalagens papelão corrugado.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Produtos fabricados pela JP Embalagens.....	15
Figura 2 – Estrutura onde será executado o trabalho.....	16
Figura 4 – Forma regular e irregular de itens	19
Figura 5 – Corte guilhotinado e não-guilhotinado	20
Figura 6 – Estágios de corte.....	20
Figura 7 – Padrão de corte tabuleiro	21
Figura 8 – Fluxo para atendimento.....	31
Figura 9 – Ordem de Fabricação (OF)	32
Figura 10 – Ordem de Compra (OC).....	34
Figura 11 – <i>Kanban</i> de tintas.....	34
Figura 12 – Etiqueta <i>Kanban</i> caixas prontas	36
Figura 13 – Foto geral da produção.....	36
Figura 14 – Caixa normal	40
Figura 15 – Caixa envoltório	40
Figura 16 – Produto acessório	40
Figura 17 – Produto corte e vinco	41
Figura 18 – Melhor Combinação	44
Figura 19 – Padrões de Corte Demanda Flexível	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Evolução no volume de vendas (em metros quadrados de papel)	13
Tabela 2 – Relação de pedidos de chapas	29
Tabela 3 – Possibilidades de corte das chapas	30
Tabela 4 – Relatório de produção consolidada (julho / 2015)	39
Tabela 5 – Padrões de corte	42
Tabela 6 – Perdas por padrões	42
Tabela 7 – Resultados Computacionais	43
Tabela 8 – Demanda Flexível.....	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i> / Sistema Integrado de Gestão
OC	Ordem de Compra
OF	Ordem de Fabricação
ORS	<i>Operational Research Society</i> / Sociedade de Pesquisa Operacional
ORSA	<i>Operations Research Society of America</i> / Sociedade Americana de Pesquisa Operacional
PCP	Programação e Controle da Produção
PO	Pesquisa Operacional

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO E ESTRUTURA DO TRABALHO.....	11
1.2	JUSTIFICATIVA	12
1.3	OBJETIVOS	14
1.3.1	Objetivo Geral.....	14
1.3.2	Objetivos Específicos	14
1.4	PERFIL DA EMPRESA E AMBIENTE DE TRABALHO.....	14
1.5	ABORDAGEM E DELIMITAÇÕES DO TRABALHO	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E APLICAÇÃO	17
2.1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1.1	Problema de corte e empacotamento	18
2.1.2	Programação Linear	24
2.1.3	MÉTODO SIMPLEX.....	27
2.1.4	PROGRAMAÇÃO LINEAR INTEIRA.....	28
2.2	MODELO PROPOSTO	28
2.2.1	Formulação do problema	29
2.2.2	Modelagem do modelo.....	29
2.2.3	Definição das variáveis	30
2.2.4	Modelo completo	30
2.3	APLICAÇÃO E SIMULAÇÕES	31
2.3.1	Processo de atendimento de um pedido	31
2.3.2	Processo de comercialização	32
2.3.3	Processo de aquisição	33
2.3.4	Processo de programação.....	35
2.3.5	Processo de produção	36

2.3.6	Aplicação do modelo em corte e vinco	38
2.3.7	Definição das variáveis	41
2.3.8	Montagem do modelo	42
2.3.9	Resultados computacionais	43
2.3.10	Cenário com demanda flexível	44
3	CONCLUSÃO.....	47
	REFERÊNCIAS.....	48
	ANEXOS.....	50
	ANEXOS A – LAYOUT DA EMPRESA.....	51
	ANEXOS B – PADRÃO DE CORTE 1.....	52
	ANEXOS C – PADRÃO DE CORTE 2.....	53
	ANEXOS D – PADRÃO DE CORTE 3.....	54
	ANEXOS E – PADRÃO DE CORTE 4.....	55
	ANEXOS F – PADRÃO DE CORTE 5.....	56
	ANEXOS G – PADRÃO DE CORTE 6.....	57
	ANEXOS H – PADRÃO DE CORTE 7.....	58
	ANEXOS I – PADRÃO DE CORTE 8.....	59
	ANEXOS J – PADRÃO DE CORTE 9.....	60
	ANEXOS K – PADRÃO DE CORTE 10.....	61
	ANEXOS L – PADRÃO DE CORTE 11.....	62
	ANEXOS M – PADRÃO DE CORTE 12.....	63
	ANEXOS N – PADRÃO DE CORTE 13.....	64
	ANEXOS O – PADRÃO DE CORTE 14.....	65
	ANEXOS P – PADRÃO DE CORTE 15.....	66

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta a contextualização, a estrutura, a justificativa, os objetivos, o perfil da empresa estudada, a abordagem e as delimitações do trabalho realizado na JP Embalagens e apresentado à Universidade de Caxias do Sul.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E ESTRUTURA DO TRABALHO

Segundo levantamento realizado pelo Departamento de Economia do Bradesco (ESTADÃO, 2010), a indústria brasileira está preocupada para a concorrência. Essa pesquisa é realizada pelo Bradesco desde outubro de 2005, consultando mensalmente 2.500 indústrias de todos os setores e portes. Em 2010, 25,3% delas informaram que têm percebido a presença da concorrência e conseqüentemente a redistribuição de parcelas do mercado. Para se ter ideia, na primeira pesquisa, apenas 13,1% tinham tal percepção. Essa competição advém da entrada de empresas multinacionais no país, dos produtos importados e da facilidade de crédito para abrir novos negócios no Brasil (ESTADÃO, 2010).

Conforme o Estadão (2010), a pesquisa revela que o setor que mais se ressentiu da concorrência é o farmacêutico, com 54,5% das respostas positivas. A seguir, vêm as indústrias de bebidas (45,6%), de couro (43,8%), de móveis (36,4%) e química (33,3%), as indústrias de material elétrico, informática e madeira (todas com 20%), de embalagens (20,9%) e de máquinas e equipamentos (22,2%).

Para a revista Exame (2005), a indústria de embalagem reúne empresas nacionais e multinacionais, com operações globais capazes de atender aos diferentes mercados, contribuindo para harmonizar, entre estes, os parâmetros de qualidade, tecnologias, funcionalidade e tendências. O Brasil vem se tornando um importante polo de produção, consumo e exportação de embalagens. Em 2005, 19 das 20 maiores fabricantes mundiais de embalagens já estavam presentes no país.

Entre 2000 e 2010, segundo dados BNDES, o papel ondulado, insumo básico para produção de embalagens, foi o papel mais consumido entre os tipos de papéis, passando à frente dos de imprimir e escrever. Esse tipo de matéria-prima foi beneficiado pelo aumento da renda, da produção industrial e do comércio internacional. Grandes países produtores, localizados no hemisfério norte, como Estados Unidos, Canadá, Finlândia e Suécia, reduziram sua produção no período, em função da menor competitividade diante dos países do hemisfério sul.

O presente trabalho foi realizado na empresa JP Embalagens, fabricante de embalagens de papel ondulado e teve como objetivo aplicar o método de Alocação de Recursos - Programação Linear no processo de corte de chapas da empresa, visando a permitir visibilidade no gerenciamento da produção.

Para atingir os objetivos propostos, o trabalho foi estruturado em três capítulos. Inicialmente foi abordada a introdução ao tema proposto, a justificativa para a escolha bem como os objetivos e o perfil da empresa em estudo. Na segunda parte, descreveu-se o embasamento teórico necessário para dar sustentação ao assunto, por meio da consulta a obras e publicações, após a apresentação o modelo proposto para solução do problema demonstrou-se a aplicação da proposta. No terceiro capítulo são citadas as conclusões obtidas.

1.2 JUSTIFICATIVA

A empresa JP Embalagens atua no ramo de embalagens em papel ondulado e está inserida em um mercado onde o preço de venda é fator decisivo na concretização de negócios.

É uma empresa familiar que, em função da expansão que vem ocorrendo, está passando por processo de profissionalização. Os custos na operação sempre foram calculados de forma que o seu fundador, conhecedor dos preços praticados no mercado, do processo de manufatura e de aquisição da concorrência, do processo próprio de produção e dos custos nele existentes, do custo das matérias-primas e das despesas da empresa, determinava o preço de venda do produto, com a visão do resultado geral, não fazendo uso de estudos detalhados dos custos diretamente alocados a cada produto e a cada atividade da empresa. Contudo, os tempos estão mudando e faz-se necessário reavaliar o assunto, principalmente o que a empresa não aproveita de sua matéria prima.

Atualmente, a JP produz quatro tipos de embalagens, quais sejam, caixas¹, envoltórios², acessórios³ e corte e vinco com forma⁴. A empresa construiu os pilares onde está assentada, produzindo embalagens que requerem maior grau de dificuldade no processo de manufatura, lotes pequenos e customizados, de 1 a 200 peças, e que outros fabricantes não tinham interesse em produzir. Contudo, com o crescimento do negócio, pedidos desse tipo de embalagem causam reclamações da área de produção para serem atendidos, visto que requerem *setup* e ajustes de equipamentos que prejudicam a eficiência da produção.

¹ Caixas: Embalagem pré montada com cola, facilitando seu preenchimento.

² Envoltórios: Embalagem que envolve o produto, geralmente embala peças grandes.

³ Acessórios: Consiste em artefatos em papel ondulado, como por exemplo, cantoneiras, divisórias e forros.

⁴ Corte e vincos com forma: Este tipo de embalagem tem cortes e dobras complexas

Na tentativa de compensar os prejuízos da produção, no ano de 2011, os preços de todas as embalagens foram reajustados e, como resultado, houve redução, nos anos de 2012 e 2013, no volume de vendas, medido em metros quadrados de papel, conforme mostrado na Tabela 1⁵.

Tabela 1 – Evolução no volume de vendas (em metros quadrados de papel)

Produto	2011	2012	2013	2014
Caixa normal	1,00	0,84	0,49	0,63
Caixa envoltório	0,68	0,59	0,62	0,75
Produto acessório	0,10	0,08	0,07	0,17
Produto corte e vinco	0,08	0,07	0,07	0,07
Total:	1,86	1,58	1,25	1,62

Fonte: O autor (2015)

Ainda, no ano de 2011, a empresa investiu em equipamentos de processo de manufatura para produção de embalagens do tipo caixa normal, que possui mercado para volumes maiores de produção em lotes de 200 a 5.000 peças.

A JP Embalagens não possui estabelecido um sistema de produção conforme demanda diária para seus produtos, sendo este realizado através das ordens de fabricação, onde cada ordem é produzida de forma individual, ou seja, não existe a conjugação de produtos no processo de corte, mesmo que os produtos utilizem a mesma matéria prima. Acredita-se que, se um sistema de corte estivesse implementado, ter-se-ia menor desperdício de papel e conseqüentemente, maior seria o lucro final da empresa.

Conforme Belfiore e Fávero (2012), a Programação Linear é uma das ferramentas mais utilizadas da Pesquisa Operacional. Suas aplicações estão cada vez mais difundidas no mundo acadêmico e gerencial, com aplicações em recursos humanos, estratégia, marketing, finanças, operações e logística, entre outras, e em diversos setores como no transporte, automobilístico, aviação, naval, comércio, serviços, bancário, alimentício, bebidas, agropecuária, saúde, imobiliário, siderurgia, metalurgia, papel e celulose, energia elétrica, petróleo, gás e combustíveis, computadores, telefonia, mineração, entre outros. A principal vantagem é a economia gerada para as empresas que a utilizam, na faixa de milhões até bilhões de dólares.

⁵ Por questões de manter a confidencialidade das informações, os valores indicados na Tabela 1 são apenas referenciais, sendo mantida a proporcionalidade dos dados informados.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem por objetivo propor uma programação de corte de chapas otimizada, que permita diminuir a perda de matéria prima em uma empresa fabricante de embalagens.

1.3.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral proposto, sugere-se como objetivos específicos para o trabalho:

- a) avaliar o processo produtivo da empresa;
- b) propor a conjugação de produtos por demanda (turno, dia ou semana);
- c) propor um modelo de programação de corte;
- d) visualizar outros cenários ao aplicar o mesmo método.

1.4 PERFIL DA EMPRESA E AMBIENTE DE TRABALHO

A JP Embalagens foi fundada em 1988, por Jair e Terezinha Pellizzari. Atua no ramo de embalagens, dedicando-se à fabricação caixas sob medida, produzidas a partir de papelão corrugado, aplicadas principalmente para o setor moveleiro e metal mecânico.

A Figura 1 mostra um modelo de cada família de produtos produzidos, sendo os produtos da imagem uma caixa normal, uma caixa do tipo envoltório, um produto acessório e um produto corte e vinco, estando posicionados na imagem no canto superior esquerdo, superior direito, inferior esquerdo e inferior direito, respectivamente.

A empresa está instalada em parque industrial próprio de 10.000 m² e área construída de 4.000 m². O quadro de funcionários é composto por 35 profissionais. A capacidade produtiva é de 350 mil metros quadrados de embalagens de papelão por mês, o que equivale, em aproximadamente 63.000 embalagens de 900 x 430 x 1600 mm, suficiente para armazenar um armário de 2 portas.

Figura 1 – Produtos fabricados pela JP Embalagens

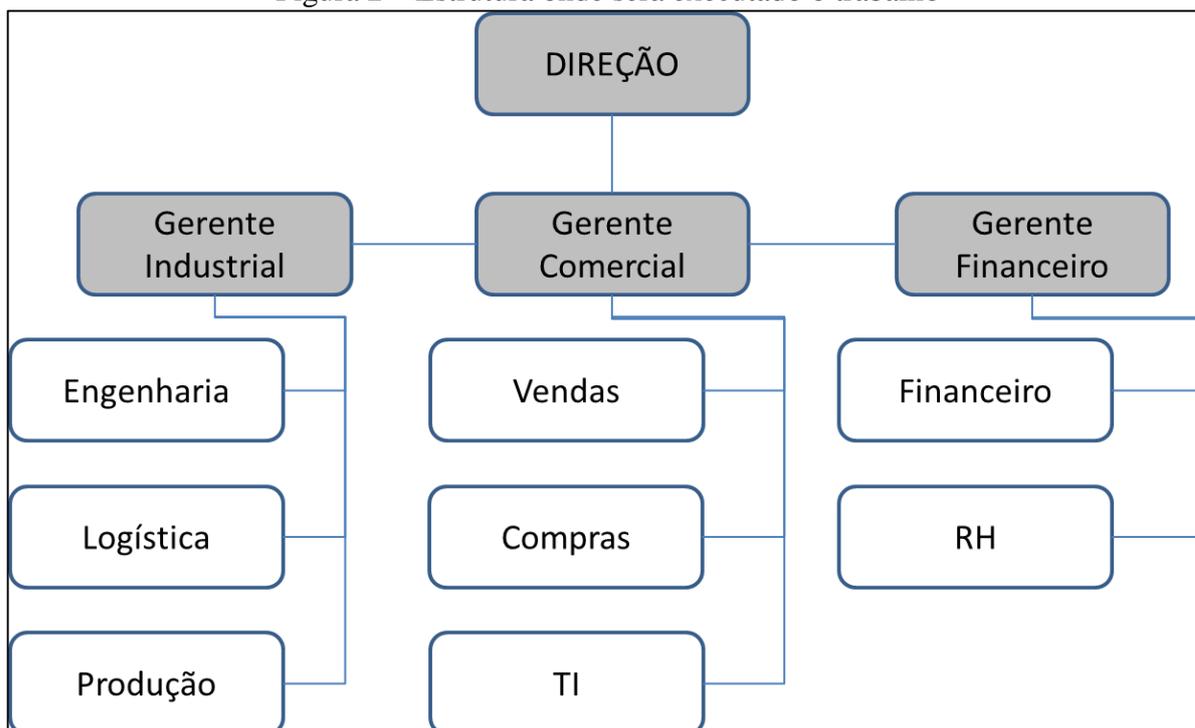


Fonte: O autor (2015)

Como visão estratégica de sua direção, busca capacitar seu sistema de produção para atender clientes que demandem, em um mesmo pedido, pequenas e grandes quantidades de embalagens, que é uma das principais características dos clientes da área de atuação da empresa.

Organizacionalmente, é composta por três gestores, um para a área industrial, que compreende a produção, qualidade, logística, engenharia de produto e processos. O segundo gestor atua nas áreas comercial e compras. O terceiro gerencia a área financeira. A estrutura organizacional é mostrada na Figura 2, destacando-se em sombreado as áreas da gerência financeira, comercial e industrial, o presente trabalho será executado na área industrial, onde será proposto um novo método para o corte da matéria prima

Figura 2 – Estrutura onde será executado o trabalho



Fonte: O autor (2015)

1.5 ABORDAGEM E DELIMITAÇÕES DO TRABALHO

O estudo de caso foi a ferramenta de pesquisa utilizada. Segundo Yin (2005), o estudo de caso é a estratégia indicada ao se examinar acontecimentos recentes, quando não se pode manipular os comportamentos importantes. O método de pesquisa será o qualitativo, o que dará maior interesse ao processo e à compreensão dos fenômenos.

Enquanto procedimento, esse trabalho realizar-se-á por meio de revisão bibliográfica para embasamento teórico, serão mapeados os processos da empresa estudada e adquiridos os dados necessários para o estudo do problema. Após será apresentado um modelo para a solução do caso, o modelo será adaptado as restrições pertinentes e então serão realizados testes para validação do mesmo.

A proposta do trabalho limita-se em utilizar combinações de corte que foram encontradas de forma empírica, por se tratar de um caso de corte bidimensional com demanda a quantidade de variáveis seria na casa dos milhares, o que geraria elevado processamento computacional, portanto não é objetivo do trabalho desenvolver ou implementar métodos que gerem padrões de corte ótimos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E APLICAÇÃO

Neste capítulo serão abordados os principais conceitos e métodos de corte, oferecendo fundamentação teórica para o problema estudado, também será apresentada a aplicação da solução encontrada.

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

De acordo com Arenales, Armentano, Morabito e Yanasse (2007), a pesquisa operacional consiste na aplicação de métodos científicos a problemas complexos para auxiliar no processo de tomada de decisões, por exemplo em projetos, planejamento e operações de sistemas em situações que requerem alocações eficientes de recursos escassos. O termo *pesquisa operacional* é uma tradução direta do termo em inglês *operational researchs*, o surgimento desse termo está ligado à invenção do radar na Inglaterra, em 1934. A pesquisa operacional iniciou na Segunda Guerra Mundial para resolver problemas de operações de guerra, como manutenção e inspeção de aviões, escolha do tipo de avião para uma missão e melhoria na probabilidade de destruição de submarinos, além do controle de artilharia antiaérea e o dimensionamento dos comboios de frota.

Ainda segundo Arenales, Armentano, Morabito e Yanasse (2007), após o final da guerra, a pesquisa operacional evoluiu na Inglaterra e também nos Estados Unidos, onde em 1947 apoiou as decisões de operações na força aérea americana. Em 1952, foi fundada a sociedade científica americana de pesquisa operacional (ORSA) e, em 1953, a sociedade inglesa de pesquisa operacional (ORS). Atualmente, existem várias sociedades em diversos países que reúnem pessoas e entidades interessadas na teoria e prática de pesquisa operacional, é o caso da Inglaterra, dos Estados Unidos, Alemanha, Canadá, Brasil, Portugal, entre outros países da Europa, Ásia e do Pacífico.

Para Belfiore e Fávero (2012), o avanço da pesquisa operacional tornou-se possível graças ao aumento da velocidade de processamento computacional, o que possibilitou a solução de problemas com alta complexidade. Dessa forma, a PO atua cada vez mais em um ramo multidisciplinar, envolvendo áreas de engenharia, matemática aplicada, ciência da computação e gestão de negócios.

2.1.1 Problema de corte e empacotamento

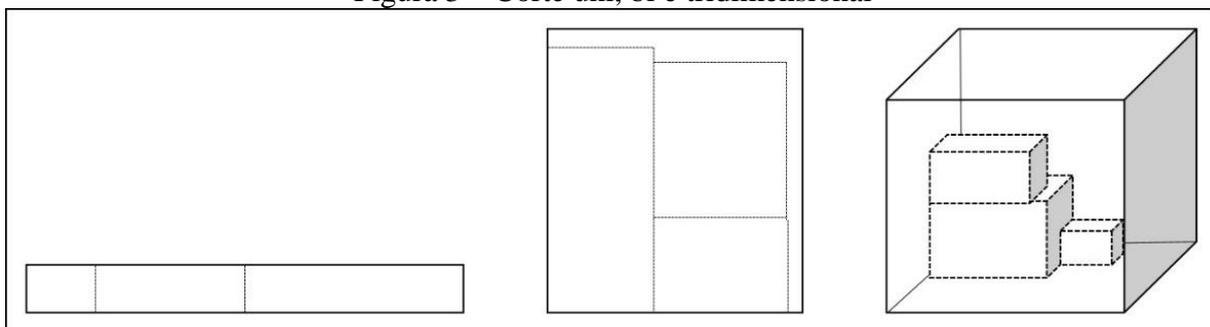
De acordo com Araujo e Arenales (2000), quando a proposta é cortar itens de um determinado material, como papel, madeira, vidro, alumínio, isopor, etc., para atingir um objetivo de menor desperdício ou menor quantidade de material utilizado, entre outros, existe um problema de corte. Ao definir configurações para posicionar itens dentro de uma determinada área de forma otimizada, trata-se de um problema de empacotamento.

2.1.1.1 Classificação dos problemas de corte e empacotamento

Ainda conforme Araujo e Arenales (2000), para classificar os problemas de corte e empacotamento é necessário analisar certas características que são determinantes para a escolha da técnica que irá resolver o problema. As principais características são:

- a) dimensionalidade: qual o número de dimensões que envolve o problema. Como por exemplo o caso unidimensional do corte de bobinas de papel, onde somente uma dimensão é tratada, o caso bidimensional do corte de chapas de papel, onde largura e comprimento são considerados e o caso tridimensional onde a altura dos itens também é importante. Existe ainda o exemplo n-dimensional, onde existem mais de três variáveis no processo, ou seja, além das dimensões dos itens ainda são consideradas outras características, como o tempo disponível para realizar o corte. A Figura 3 demonstra cortes de objetos com uma, duas e três dimensões, respectivamente;

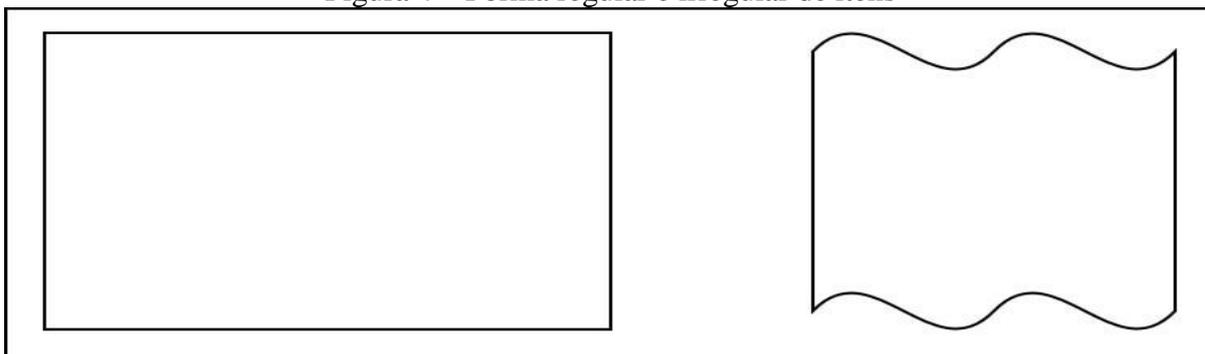
Figura 3 – Corte uni, bi e tridimensional



Fonte: O autor (2015)

- b) formato: os modelos a serem cortados podem ter forma geométrica regular ou irregular, a Figura 4 exemplifica a diferença entre elas, objetos regulares possuem os lados ou os ângulos iguais, enquanto os irregulares podem assumir qualquer formato;

Figura 4 – Forma regular e irregular de itens



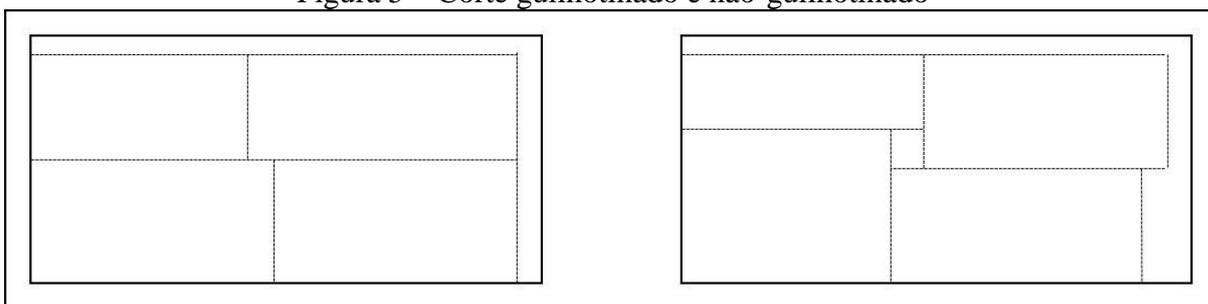
Fonte: O autor (2015)

- c) demanda: quantidade de itens extraídos da matéria prima que serão necessários, o problema pode ser do tipo restrito, quando a demanda precisa ser respeitada, ou do tipo flexível, quando existe a possibilidade de variar a quantidade de itens para melhorar o aproveitamento;
- d) orientação e rotação: determina se os itens podem ser girados no processo de corte, o caso do corte de papel corrugado é um exemplo onde a orientação é uma restrição do processo, pois deve-se respeitar a ondulação do material;
- e) objetivo: define qual a prioridade da solução, por exemplo, é mais importante encontrar a solução exata, priorizando a qualidade, ou a solução aproximada, que considera o tempo um fator determinante, existe ainda a opção de minimizar perdas, gerar padrões de corte ou minimizar a quantidade de objetos da matéria prima, alguns trabalhos combinam um ou mais objetivos.

2.1.1.2 Corte Guilhotinado

Segundo Arenales (2004), quando um corte é feito de uma extremidade a outra de um retângulo, dividindo o objeto em retângulos menores, ele é denominado corte guilhotinado ortogonal, ou simplesmente corte guilhotinado. Essa limitação pode ser imposta pelo equipamento utilizado para o corte ou pode ser uma escolha de método de produção. A Figura 5 exemplifica a diferença entre corte guilhotinado e um corte não-guilhotinado, cortes não-guilhotinados ocorrem quando a máquina pode mudar de direção durante o corte, geralmente são realizados por máquinas de corte a *laser* ou similares.

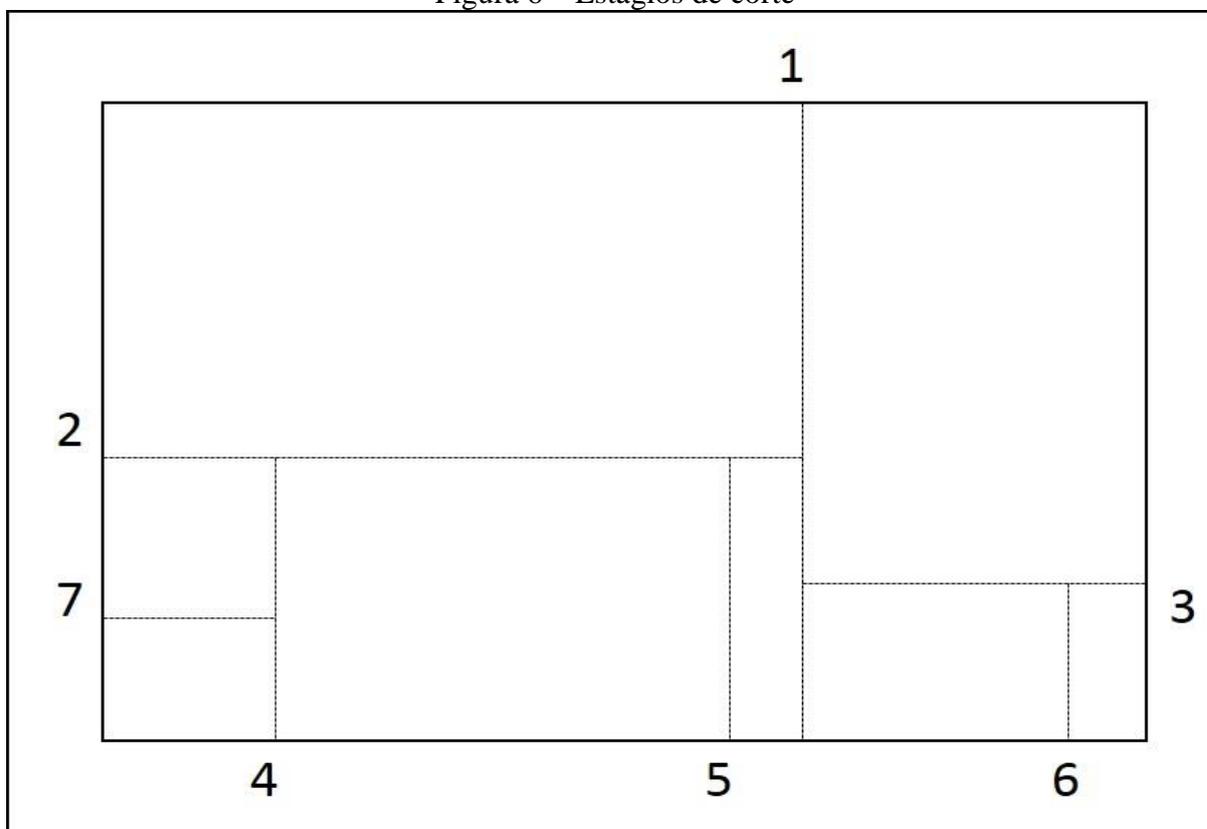
Figura 5 – Corte guilhotinado e não-guilhotinado



Fonte: O autor (2015)

Ainda segundo Arenales (2004), um padrão é guilhotinável se pode ser obtido com uma sequência de cortes de guilhotina aplicados à placa original e às demais placas que são obtidas após cada corte. Dado um padrão guilhotinável, define-se os chamados estágios de corte, ou seja, sequências máximas de cortes consecutivos, sendo todos os cortes realizados na mesma direção. Em muitos processos de corte a quantidade de estágios necessários para se produzir um padrão é limitada, por exemplo na Figura 6, no primeiro estágio é realizado o corte 1, no segundo estágio são feitos os cortes 2 e 3, no estágio seguinte os cortes 4, 5 e 6, e no último estágio é feito o corte 7.

Figura 6 – Estágios de corte



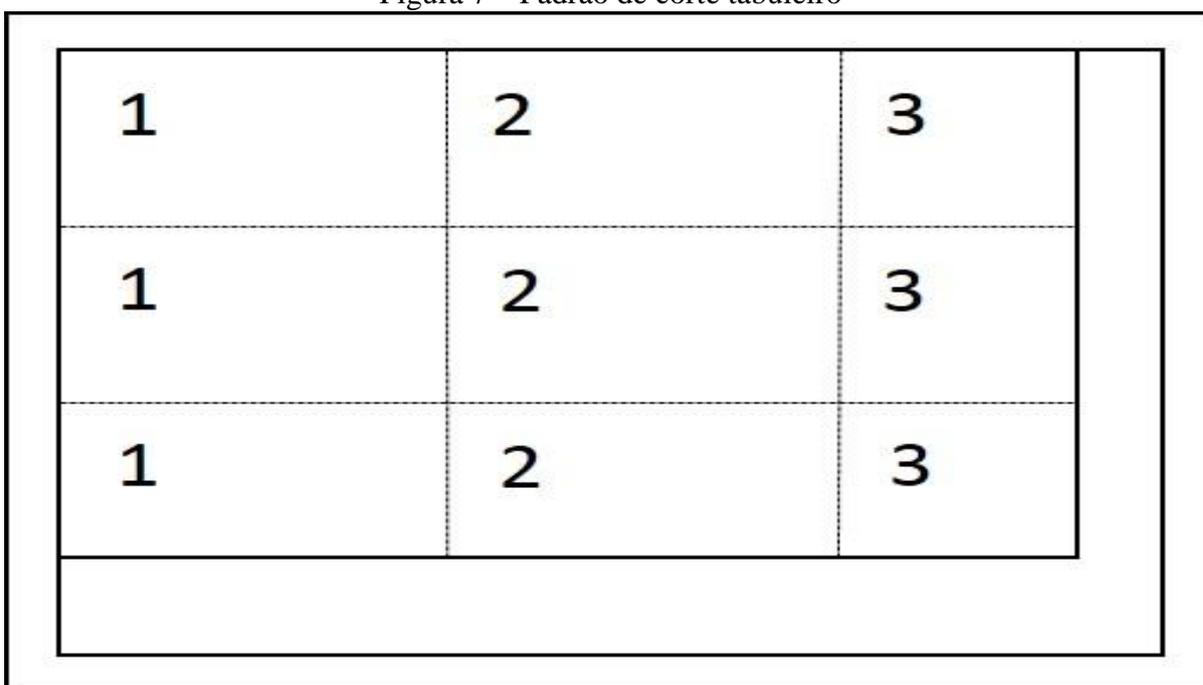
Fonte: O autor (2015)

2.1.1.3 Padrão de corte

Segundo Gilmore e Gomory (1965), um método para gerar padrões de corte guilhotinados em dois estágios consiste em dividir um objeto em faixas, cada faixa é então dividida novamente ao longo do comprimento, o que gera os itens procurados.

Ainda segundo Gilmore e Gomory (1965), alguns problemas de padrões de corte são do tipo tabuleiro, consiste em um padrão de corte guilhotinado em dois estágios no qual as faixas resultantes do primeiro estágio são divididas em grupos de forma que cada grupo de faixas é cortado simultaneamente no segundo estágio. A principal característica desse padrão é que todos os itens apresentam-se distribuídos em linhas e colunas, num formato que lembra um tabuleiro de xadrez, conforme mostra a Figura 7. Geralmente os padrões tabuleiro possuem baixo custo operacional, pois é necessário pouco manuseio da chapa a ser cortada, porém podem apresentar alto índice de perda de material.

Figura 7 – Padrão de corte tabuleiro



Fonte: O autor (2015)

Morabito e Arenales (2000) apresentam um modelo de otimização não linear para a geração de padrões tabuleiros e um procedimento heurístico adaptado do procedimento em dois estágios de Gilmore e Gomory (1965) para a resolução do problema. Katsurayama e Yanasse (2005) indicam procedimentos baseados na enumeração implícita de itens a serem incluídos no padrão para a geração de tabuleiros exatos e restritos, já Yanasse e Morabito

(2006) avaliaram computacionalmente alguns modelos de otimização linear e não-linear para a geração de padrões tabuleiros.

Devido a alta complexidade para a geração de padrões de corte no caso bidimensional, as soluções são direcionadas ao estudo de heurísticas e algoritmos aproximados, por exemplo os algoritmos *Next Fit*, *First Fit*, *First Fit Decreasing*, *Next Fit Decreasing Height*, *First Fit Decreasing Height*, *Hybrid First Fit*, entre outros. Existem ainda na literatura outras formas de gerar padrões de corte, por exemplo Gilmore e Gomory (1965) propõem o método de geração de colunas, Morabito (1989) propôs uma solução baseada numa busca em grafo, Herz (1972) propôs um algoritmo batizado com o seu nome, Morabito e Arenales (1996) demonstram o algoritmo BT-HC, outros autores sugerem a utilização de heurísticas, como o caso de Silveira e Morabito (2002) e Belluzzo (2002).

Segundo Arenales, Armentano, Morabito e Yanasse (2007), os métodos de resolução de problemas de otimização discreta que não garantem encontrar uma solução factível ou ótima são definidas como heurísticas. Ainda, podendo ser definido como um procedimento para resolver problemas por meio de um enfoque intuitivo, no qual a estrutura do problema possa ser interpretada e explorada racionalmente para se obter uma solução razoável. O crescimento da utilização deste método ocorreu com o advento da teoria da complexidade computacional, que mostra que um grande número de problemas combinatórios é intratável. A solução desses problemas complexos com número médio ou grande de variações e restrições por métodos ótimos é, na maioria das vezes, inviável computacionalmente.

Para os autores, estas são algumas das situações que podem ser interessantes usar métodos heurísticos na resolução de um problema:

- a) problemas em que um método de resolução exato não está disponível, ou está disponível mas exige um processamento computacional além do disponível. Como exemplo, os problemas de programação de produção, em que é necessário encontrar uma solução razoável em um curto período de tempo;
- b) problemas em que pode não valer a pena o esforço e o custo envolvidos na geração de uma solução ótima, sendo que este quando resolvido não representará um ganho técnico ou econômico relevante em relação a uma solução heurística.
- c) problemas em que uma heurística é utilizada em conjunto com um método exato. Como exemplo usar heurísticas na solução inicial para o método *branch-and-cut* e também para gerar soluções nos nós da árvore.

Arenales, Armentano, Morabito e Yanasse (2007), citam como vantagem de heurísticas em relação aos métodos exatos uma maior flexibilidade no tratamento das

características de um problema, além disto, este procedimento pode oferecer mais de uma solução, permitindo ampliar as possibilidades de decisão, ainda mais quando existem fatores intangíveis. Uma desvantagem das heurísticas é que não é possível conhecer a qualidade da solução obtida, ou seja, o quão próxima essa solução está da solução ótima.

2.1.1.3.1 *Heurísticas construtivas*

Conforme Arenales, Armentano, Morabito e Yanasse (2007) as heurísticas construtivas são aquelas que adicionam um elemento a cada passo da construção da solução, tal como um valor de uma variável ou um aro ou nó em um grafo. Um exemplo deste tipo de heurística é a heurística gulosa, que constrói a solução visando, a cada passo, o máximo benefício.

2.1.1.3.2 *Heurísticas de busca local*

As heurísticas de busca local são definidas por Arenales, Armentano, Morabito e Yanasse (2007) como aquelas que a partir de uma solução inicial s associa-se uma vizinhança N de s . Cada solução s' desta vizinhança é atingida a partir de s por uma operação chamada *movimento*, e a solução s' é chamada de solução *vizinha*. Procura-se uma solução vizinha que seja melhor que a solução corrente, e a busca prossegue até que a vizinhança não contenha nenhuma solução melhor que a solução atual, denominada *ótimo local* em relação a vizinhança.

2.1.1.3.3 *Meta-heurísticas*

A técnica meta-heurísticas são aquelas que guiam e modificam heurísticas de forma a produzir soluções além daquelas geradas por heurísticas de busca local. As técnicas meta heurísticas que destacam-se são: algoritmo genético, busca tabu, *simulated annealing*, *scatter search*, colônia de formigas e *greedy randomized adaptive search procedure* segundo Arenales, Armentano, Morabito e Yanasse (2007).

Silva (1999) implementou o algoritmo de Herz e encontrou soluções exatas para o problema de determinação do melhor padrão possível de corte guilhotinado. De forma simplificada os passos a serem seguidos para a determinação do padrão de corte, de acordo com o algoritmo de Herz, são a inclusão do maior número de apenas um tipo de item no

objeto, realização de um corte vertical dado um certo critério da posição exata do corte, realização de um corte horizontal e assim sucessivamente, de forma a encontrar uma área maior de preenchimento, repetindo-se o processo para todas as posições possíveis dos itens.

2.1.2 Programação Linear

Programação Linear é uma área de conhecimento utilizada extensivamente em setores industriais, militares, governamentais, entre outros, como uma ferramenta de planejamento para a utilização dos recursos disponíveis com a melhor eficiência possível. A sua importância se deve a capacidade de modelar e resolver problemas grandes e complexos em tempo razoável.

Para Loesch (1999), a programação linear é utilizada para resolver problemas de maximização ou minimização de algum objetivo, atendendo a um conjunto de restrições. A programação inicia na modelagem matemática do problema e culmina com a obtenção da solução ótima, onde as variáveis são números reais.

Para Arenales, Armentano, Morabito e Yanasse (2007), os modelos de programação linear são um tipo especial de modelos de otimização, pois são admitidas algumas hipóteses as quais as grandezas envolvidas precisam obedecer:

- a) hipótese de aditividade: pressupõe que o todo é igual a soma das partes;
- b) hipótese de proporcionalidade: pressupõe que se a_{ij} é a quantidade do componente i em uma unidade do ingrediente j , então $a_{ij}x_j$ será a quantidade do componente i em x unidades, se uma unidade do ingrediente j custa c_j , então x_j unidades custam c_jx_j , ou seja, a quantidade de recurso consumido por uma atividade deve ser proporcional ao nível dessa atividade na solução final, assim como o custo de cada atividade é proporcional ao nível de operação da atividade;
- c) hipótese de fracionamento: pressupõe que valores fracionários para as variáveis são aceitáveis, isso ocorre pois dependendo do tipo de problema o arredondamento de valores pode gerar uma conotação muito distorcida da prática, o que invalida o resultado.

Ainda segundo Arenales, Armentano, Morabito e Yanasse (2007), embora as hipóteses possam sugerir que modelos de programação linear possuem aplicação limitada, a utilização nas mais diversas áreas do conhecimento prova o contrário.

2.1.2.1 Conceitos Básicos

Para Arenales, Armentano, Morabito e Yanasse (2007), a seguinte forma do problema de programação linear é chamada de *forma padrão*:

$$\text{Minimizar } f(x_1, x_2, \dots, x_n) = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \quad (1)$$

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n = b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n = b_2$$

$$\vdots \quad (2)$$

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n = b_m$$

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \dots, x_n \geq 0. \quad (3)$$

A função linear f em (1), a ser minimizada, é chamada de *função objetivo*, o sistema de equações lineares em (2) define as *restrições do problema*, juntamente com as *condições de não negatividade* das variáveis em (3). O problema (1) e (3) pode ser escrito equivalentemente em notação matricial como:

$$\text{Minimizar } f(\mathbf{x}) = \mathbf{c}^T \mathbf{x}$$

$$\mathbf{A}\mathbf{x} = \mathbf{b}$$

$$\mathbf{x} \geq \mathbf{0}.$$

Onde \mathbf{A} (4) é uma matriz $m \times n$, chamada de matriz dos coeficientes, \mathbf{c}^T (5) é o vetor de custos, \mathbf{x}^T (6) é o vetor das variáveis ou incógnitas, \mathbf{b}^T (7) é o vetor dos termos independentes ou de recursos e $\mathbf{0}^T$ (8) é o vetor cujos elementos são todos iguais a zero.

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\mathbf{c}^T = (c_1 \quad c_2 \quad \dots \quad c_n) \quad (5)$$

$$\mathbf{x}^T = (x_1 \quad x_2 \quad \dots \quad x_n) \quad (6)$$

$$\mathbf{b}^T = (b_1 \quad b_2 \quad \dots \quad b_m) \quad (7)$$

$$\mathbf{0}^T = (0 \quad 0 \quad \dots \quad 0) \quad (8)$$

Na forma padrão, o problema de otimização linear tem as seguintes características:

- a função objetivo deve ser minimizada;
- as restrições do problema são definidas por um sistema de equações lineares;
- as condições de não-negatividade de todas as variáveis de decisão complementam as restrições do problema.

Para Arenales, Armentano, Morabito e Yanasse (2007), qualquer problema de otimização linear pode ser escrito na forma padrão. Com isso desenvolvimentos teóricos,

métodos e propriedades de problemas de programação linear podem ser apresentados considerando o problema dessa forma.

Ainda conforme Arenales, Armentano, Morabito e Yanasse (2007), uma solução é dita *factível* se essa satisfaz todas as restrições e condições de não-negatividade. O conjunto de todas as soluções factíveis é chamado região factível.

2.1.2.2 Definição de solução ótima

Solução ótima segundo Arenales, Armentano, Morabito e Yanasse (2007), é uma solução factível que fornece o menor valor à função objetivo f é chamada solução ótima, denotada por $(x'_1, x'_2, \dots, x'_n)$. Uma solução factível é ótima se: $f(x'_1, x'_2, \dots, x'_n) \leq f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, para qualquer solução factível (x_1, x_2, \dots, x_n) .

2.1.2.3 Transformação de problemas na forma padrão

Segundo Arenales, Armentano, Morabito e Yanasse (2007), várias formas de problemas de otimização linear surgem em problemas reais, por exemplo, quando se deseja maximizar a função objetivo, ou existem restrições de desigualdade, ou ainda, quando algumas ou todas as variáveis não tem a condição de não-negatividade. A seguir, veremos como transformar na forma padrão alguns tipos de problemas.

2.1.2.3.1 Problemas de maximização

Para Arenales, Armentano, Morabito e Yanasse (2007) achar uma solução ótima que maximize a função objetivo, corresponde a encontrar uma solução factível $x^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ sendo que $f(x^*) \geq f(x)$ para toda solução x factível. Essa desigualdade multiplicada por -1 , tem-se de forma equivalente $-f(x^*) \leq -f(x)$, para todo solução x factível, ou seja, encontrar uma solução factível x^* que maximize $f(x)$ é equivalente a encontrar uma solução factível x^* que minimize $-f(x)$. Portanto, caso o problema seja de maximizar $f(x)$, é equivalente a minimizar $-f(x)$.

2.1.2.3.2 Restrições de desigualdade

Arenales, Armentano, Morabito e Yanasse (2007) afirmam que as restrições do problema poderiam ser dadas por inequações, em vez de equações. Nesse caso, convertemos o

problema na forma padrão com o auxílio de novas variáveis. Sendo que a restrição i seja dada por $a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{in}x_n \leq b_i$. A quantidade que falta para a igualdade é dada pela diferença entre o lado direito e o esquerdo da desigualdade e é desconhecida, isto é, uma incógnita, então $x_k = b_i - (a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{in}x_n) \geq 0$. Podemos escrever uma igualdade, com a inclusão de uma nova variável não-negativa, conforme segue: $b_i = a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{in}x_n + x_k$ sendo $x_k \geq 0$. Essas variáveis adicionais, chamadas de *variáveis de folga*, são úteis, pois deixam todas as restrições em forma de igualdade, mantendo-se as condições de não-negatividade.

2.1.2.3.3 Variáveis livres

Para Arenales, Armentano, Morabito e Yanasse (2007), no caso de haver alguma variável x irrestrita de sinal no problema, chamada *variável livre*, podemos substituir esta variável por outras duas e obter um problema equivalente na forma padrão. Sendo que qualquer número pode ser escrito como uma diferença de dois outros não-negativos, isto é, podemos escrever uma variável livre x como: $x_i = x_i^+ - x_i^-$, com $x_i^+ \geq 0, x_i^- \geq 0$. Substituindo essa redefinição da variável livre, o problema resultante tem todas as variáveis não-negativas, conforme desejado.

2.1.3 MÉTODO SIMPLEX

Conforme Andrade (2002) o método Simplex foi criado por George B. Dantzig em 1947 para resolver problemas de programação linear, fornecendo em um número finito de iterações a solução ótima ou a inexistência de uma solução ótima para o problema. O algoritmo simplex pode ser explicado de forma simplificada conforme segue:

- a) colocar o problema na forma padrão;
- b) procurar uma solução básica viável inicial;
- c) se não for encontrada indicar que o problema é inviável;
- d) se não enquanto conseguir melhorar a função objetivo encontre a próxima solução básica viável;
- e) retornar a solução ótima ou indicação de solução ilimitada.

Segundo Arenales, Armentano, Morabito e Yanasse (2007) o simplex é o método mais importante da otimização linear. Este método é desenvolvido para o problema na forma padrão: $\text{minimizar } f(x) = c^T x$ sendo $Ax = b$ e $x \geq 0$.

O Simplex Revisado é a técnica utilizada na maioria dos *solvers* (sistemas especializados em resolver problemas de programação matemática), para resolver problemas como o tratado nesse trabalho, onde é inviável gerar todos os padrões de corte para posteriormente aplicar o método Simplex. Normalmente o número de variáveis envolvidas nos problemas de maximização e minimização é maior que a quantidade de restrições, então os *solvers* trabalham com uma solução básica viável inicial e não utiliza mais que uma matriz quadrada para realizar os cálculos segundo Braga (1987).

2.1.4 PROGRAMAÇÃO LINEAR INTEIRA

Para Andrade (2002), quando é formulado um problema de programação linear, a solução ótima desse problema pode utilizar somente parte dos recursos disponíveis, por exemplo, ao formular um problema de alocação de recursos, não é possível alocar uma pessoa e meia para executar uma tarefa, são necessárias duas pessoas para tal. Casos assim ocorrem com frequência em problemas reais e um problema de programação linear deve ser modelado de modo a prever situações desse tipo. Uma solução seria arredondar o resultado, mas em muitos casos isso poderia gerar um afastamento muito grande da solução ótima.

Ainda segundo Andrade (2002), para resolver essa situação acrescentam-se novas restrições ao modelo, forçando a solução a conter apenas variáveis inteiras, portanto o problema passa a ser de programação linear inteira. Apesar da formulação não sofrer grandes alterações, computacionalmente o problema de programação linear inteira é muito mais complexo, conforme o número de variáveis declaradas, a solução ótima com todas as variáveis inteiras só pode ser obtida com algoritmos de complexidade de tempo exponencial.

De acordo com Arenales, Armentano, Morabito e Yanasse (2007), um problema de programação linear inteira genérico possui o formato $\min z = cx$, sujeito a $Ax = b$, sendo $x \geq 0$ e inteiro. Cabe citar que existem ainda outros problemas de programação linear inteira que utilizam formulações particulares, como por exemplo problemas de programação binária. Caso a solução do problema possa ter variáveis inteiras e outras fracionárias, trata-se de um problema de programação linear mista.

2.2 MODELO PROPOSTO

O modelo utilizado para a solução do problema é o modelo de alocação de recursos proposto por Andrade (2002). Para ilustrar o processo de modelagem do problema de

alocação de recursos visando à utilização de técnicas de programação linear, será apresentado um exemplo simples, mas que mostra todos os aspectos envolvidos no processo.

2.2.1 Formulação do problema

Conforme Andrade (2002) um revendedor de chapas e perfis metálicos recebe da usina siderúrgica determinado tipo de chapa em rolos padronizados de 0,8 metro e 1,5 metro de largura. Os clientes compram na largura que necessitam, e o revendedor corta as chapas conforme pedido.

O revendedor recebeu três pedidos conforme as especificações da Tabela 2.

Tabela 2 – Relação de pedidos de chapas

PEDIDO	LARGURA (metro)	COMPRIMENTO (metro)
1	0,40	10
2	0,60	30
3	0,70	20

Fonte: Andrade (2002, p. 31)

O problema do revendedor é programar o corte das chapas originais de forma a atender os três pedidos, com o mínimo desperdício de aparas e sobras na largura das chapas. As dimensões do comprimento não criam grandes inconvenientes, porque no exemplo as chapas podem ser emendadas para outras aplicações.

2.2.2 Modelagem do modelo

A construção do modelo para esse tipo de problema não é direta, a primeira questão é analisar como as larguras encomendadas podem ser combinadas para formar os dois tipos padronizados. Por exemplo, a largura padrão 0,80 metros pode ser cortada ao meio, fornecendo duas chapas de 40 centímetros, enquanto a largura de 1,50 metros pode ser cortada em três chapas menores de 0,60 metros e 0,70 metros, com 0,20 metros de perda. Sendo assim, a programação de corte exige 5 metros de chapa com 0,80 metros de largura e 10 metros de chapa com 1,50 metros de largura para produzir a demanda solicitada. Com isso é possível calcular as perdas nos dois casos, para a chapa de 0,80 metro de largura a perda é nula, já para a chapa de 1,50 metros de largura a perda é de 13 metros quadrados. (ANDRADE, 2002)

2.2.3 Definição das variáveis

Segundo Andrade (2002), as variáveis devem ser definidas de forma a indicar o comprimento necessário de cada chapa padrão e cada possibilidade de corte, sendo assim x_{ij} é o comprimento do rolo padrão i original para corte conforme a combinação j . Nessa definição, o índice i refere-se a dimensão padrão, ou seja, $i = 1$ para largura de 0,80 metro e $i = 2$ para largura de 1,50 metros, o índice j refere-se a combinação possível, conforme mostra a Tabela 3, onde são apresentadas as possibilidades de corte das duas chapas.

Tabela 3 – Possibilidades de corte das chapas

LARGURA PRODUTO (j)	CHAPA 0,8M (i=1)			CHAPA 1,5M (i=2)						COMPRIMENTO NECESSÁRIO
	1	2	3	1	2	3	4	5	6	
0,4	2	0	0	3	2	2	1	0	0	10
0,6	0	1	0	0	1	0	1	1	0	30
0,7	0	0	1	0	0	1	0	1	2	20
VARIÁVEL	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{21}	x_{22}	x_{23}	x_{24}	x_{25}	x_{26}	
Perda de apara	0	0,4	0,3	0,3	0,1	0	0,5	0,2	0,1	

Fonte: Andrade (2002, p. 32)

Ainda segundo o autor, deve-se definir outra variável para indicar as sobras que poderão ocorrer no comprimento após feito o ajuste na largura, ou seja y_k , nesse caso $k = 1$ para largura de 0,40 metro, $k = 2$ para largura de 0,60 metro e $k = 3$ para largura de 0,70 metro.

2.2.4 Modelo completo

Para Andrade (2002) com base nas variáveis definidas e em função da análise das possibilidades de corte verificadas, o modelo final será o mostrado abaixo, onde existe a função objetivo de minimização, três funções como restrições, além das restrições de não negatividade das variáveis.

MINIMIZAR

$$P = 0,4x_{12} + 0,3x_{13} + 0,3x_{21} + 0,1x_{22} + 0,5x_{24} + 0,2x_{25} + 0,1x_{26} + 0,4y_1 + 0,6y_2 + 0,7y_3$$

Sujeito a:

$$2x_{11} + 3x_{21} + 2x_{22} + 2x_{23} + 1x_{24} - y_1 = 10$$

$$1x_{12} + 1x_{22} + 1x_{24} + 1x_{25} - y_2 = 30$$

$$1x_{13} + 1x_{23} + 1x_{25} - y_3 = 20$$

Com $x_{ij} \geq 0$ e $y_k \geq 0$, para todo i, j e k .

Onde a equação P representa a função objetivo que é definida pelas sobras de cada padrão. Por exemplo $0,4x_{12}$ representa a sobra de 0,4 no padrão de corte da chapa 1 na combinação 2 e assim sucessivamente. A parte y_1 representa a sobra que poderá ocorrer no comprimento após feito o ajuste na largura, bem como as demais variáveis y . As restrições representam a soma produto da quantidade que cada padrão é utilizado, subtraída a sobra do comprimento que poderá ocorrer. As restrições finais garantem que as variáveis não serão negativas.

2.3 APLICAÇÃO E SIMULAÇÕES

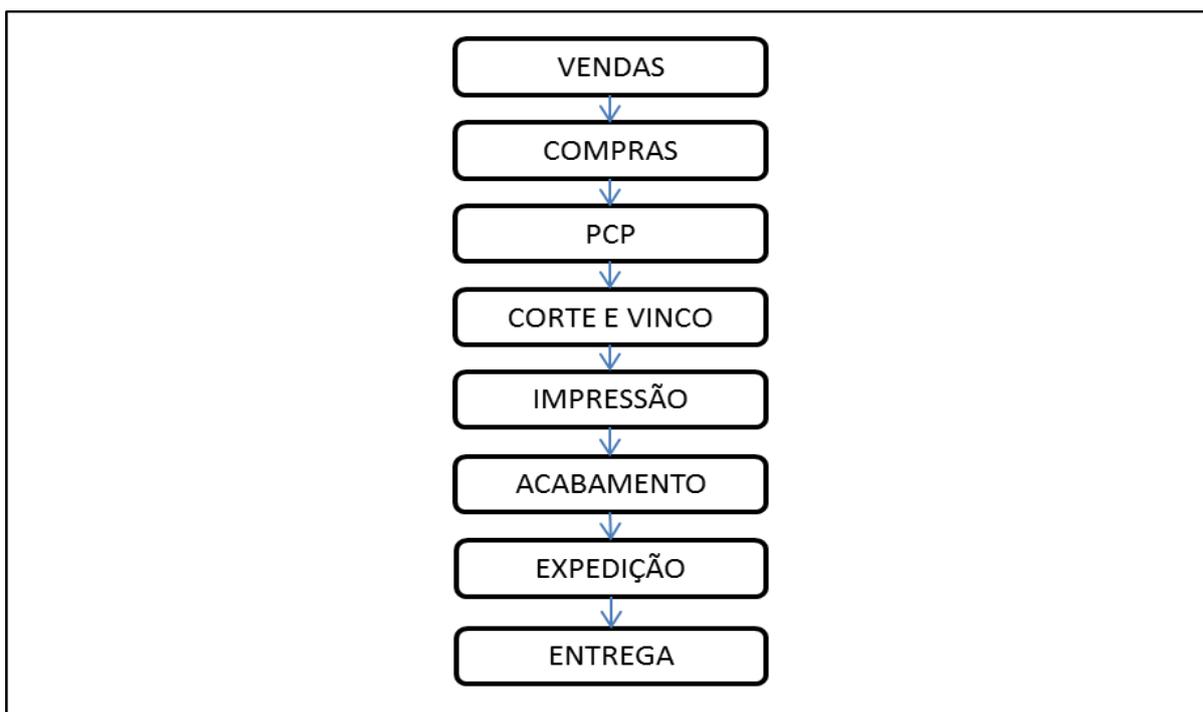
Para aplicar o modelo proposto foi realizado um mapeamento dos processos da empresa.

2.3.1 Processo de atendimento de um pedido

A JP Embalagens produz, em sua planta em Caxias do Sul, embalagens em papelão corrugado, personalizadas, seguindo as especificações de cada cliente. A empresa é constituída por gestão familiar, mas está investindo na descentralização das decisões, dando mais autonomia aos profissionais da empresa. O produto produzido é destinado principalmente ao mercado moveleiro e metal mecânico, sendo sua função principal a de proteção durante o transporte do produto embalado.

A Figura 8 ilustra o fluxograma de atendimento de um pedido, desde a concretização da venda até a entrega das embalagens ao cliente, estando descrito nas seções que seguem a sua forma de operacionalização.

Figura 8 – Fluxo para atendimento



Fonte: O autor (2015)

2.3.2 Processo de comercialização

A serra gaúcha, polo moveleiro e metal mecânico, é o principal mercado de atuação da empresa em estudo. A comercialização dos produtos é realizada através de representantes comerciais ou vendedor interno, estes desenvolvem embalagens para os produtos dos clientes ou simplesmente coletam as informações já preparadas pelo comprador ou pela engenharia do cliente, sendo o setor de vendas o responsável pelo lançamento do pedido de venda no sistema *Infobox* e geração das Ordens de Fabricação (OF) dos produtos constantes no pedido. A Figura 9 apresenta modelo do documento OF.

Figura 9 – Ordem de Fabricação (OF)

1.234	JP	Pedido: 287	OC: 51662	Conj:	Total OF's Pedido: 11																
Cliente CEMAR		CNPJ/CPF: 87102372000107			Entrega: DIST. INDUSTRIAL RS/Caxias do Sul			Referência 778 - 04.11.41													
Modelo caixa/acessorio 1 CAIXA NORMAL		Medidas internas 420 x 318 x 383			Conteúdo			Código produto do cliente													
Qualidade CMC-B	Gramatura 0,390	Junta COLA	Área 1,094	Peso 0,427	Larg X Comp unit da peça 714 x 1532	Larg X Comp total chapa 714 x 1532	FI - Ficha de	Forma/Matriz - Gaveta	Box	Peças forma 0											
Data Produção 31/01/2005	Quant caixas a fabricar 300	Cores PRETO/LARANJA			Faces 0	Clichê	Box/gaveta	Quant. chapas neces 300	Cxs p/chapa 0												
							Quant pedido: 300 Informações gerais IMP: VER DESENHO		Qt alocada est: 0												
Larg/Vinc: 162 x 388 x 162							0 x 0		Qt: 0	Quant produzida											
Comp/Impr: 423 x 323 x 425 x 321 x 40										Volumes											
Pcs amarrado: 20		Fitas amarrado:		Apontamento de produção			Tempo produção			Refugo		Horas paradas		F-900 (05/06/2010)							
Número do pallet:		Cx p/Pallet: 0		N.Fitas Pallet:		Máquina	Data	Turno	Início	Fim	Quantidade	Visto Op	Regut	Mater	Máqu	Ferram	Total	Código	Tempo	Cor tinta	Viscosidade

Fonte: JP Embalagens (2015)

A OF contém de todas as informações necessárias para a produção das embalagens, como por exemplo, nome do cliente, referência do produto, medidas, tipo de papel, quantidade, cor da impressão, *layout* de impressão a ser usado, data de entrega, entre outras informações específicas para cada setor da produção. O prazo de entrega médio é sete dias.

2.3.3 Processo de aquisição

A matéria-prima principal para a produção das embalagens são chapas de papel corrugado, adquirida de um único fornecedor localizado na cidade de Caxias do Sul, sendo utilizado o método de operação triangular⁶ de industrialização, onde a JP Embalagens adquire as bobinas de papel, cola e lenha, que são matérias-primas e insumos para a produção das chapas e os envia para o fornecedor de chapas para industrialização.

Diariamente é solicitada a produção de chapas de papel corrugado de duas formas, a primeira, e mais utilizada, são os pedidos de chapas especiais para os clientes, cujas matérias-primas são solicitadas com base nas informações contidas na OF, sendo o fornecedor encarregado de produzir o material no tamanho exato e com o processo de vinco já realizado.

⁶ Também conhecido por Industrialização de Mercadorias por Conta e Ordem de Terceiros, é a operação utilizada para pular uma etapa de movimentação de materiais. A empresa "A" manda beneficiar material no fornecedor "B", mas compra material da empresa "C", que entrega direto na empresa "B"

A segunda são pedidos de chapas para suprir os estoques de segurança, destinados a pequenos lotes e emergências. Como essas chapas não estão com o tamanho exato geralmente ocorrem perdas de materiais por mau aproveitamento. As Ordens de Compra (OC) são geradas e transferidas através de EDI para o fornecedor. A Figura 10 mostra exemplo do documento OC.

Figura 10 – Ordem de Compra (OC)

Item		Entrega	Tipo	Quantidade	Larg x Comp	Papelão fornecedor	Preço unit.	Preço m2	Preço kg	M2 item	Kg item																																																																																																									
<p>JP EMBALAGENS LTDA RUA ALICE CESTARI MANTOVANI DISTR.IND. ROTA SOL CAXIAS DO SUL / RS Cep 95112290 Cnpj: 91.669.325/0001-17 I.E.: 029/0174112 Telefone: 5432271722 Fax: 5432271722 E-mail: jpembalagens@jpembalagens.com.br www.jpembalagens.com.br</p>																																																																																																																				
Ordem de compra			Número.: 4.841			Data de emissão.: 13 maio 2011																																																																																																														
Fornecedor																																																																																																																				
Fantasia/Nome/Razão social...: VICENCINO - VICENCINO RIOGRANDENSE PAPEIS E PAPELÃO																																																																																																																				
Endereço.....: RUA CRISTIANO RAMOS DE OLIVEIRA 4501						Bairro...: DESVIO RIZZO																																																																																																														
Cidade / UF.....: Caxias do Sul / RS						Cep.: 95110200																																																																																																														
CNPJ / CPF.....: 06.266.828/0001-72						I.E.: 0290422604																																																																																																														
Telefone.....: 54 32175060 Fax...: 54 E-mail...: pedidos@vicencino.com.br																																																																																																																				
Condição de pagamento: 14 DD																																																																																																																				
Transportador.: JP Vermelho																																																																																																																				
Frete.: CIF																																																																																																																				
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Item</th> <th>Entrega</th> <th>Tipo</th> <th>Quantidade</th> <th>Larg x Comp</th> <th>Papelão fornecedor</th> <th>Preço unit.</th> <th>Preço m2</th> <th>Preço kg</th> <th>M2 item</th> <th>Kg item</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>13/05/2011</td> <td>Chapa</td> <td>2.000</td> <td>1.200 x 500</td> <td>RS- MMM- B</td> <td>0,080</td> <td>0,000</td> <td>0,000</td> <td>1.200</td> <td>514</td> </tr> <tr> <td colspan="12">Gr.: 428 (variação +/- Ogr)</td> </tr> <tr> <td colspan="12">COMIOTTO / REF CANTONEIRA - 1 / PEDIDO N° 4841</td> </tr> <tr> <td></td> <td>13/05/2011</td> <td>Chapa</td> <td>350</td> <td>1.204 x 1.009</td> <td>RS- MMM- B</td> <td>0,080</td> <td>0,000</td> <td>0,000</td> <td>425</td> <td>182</td> </tr> <tr> <td colspan="12">Vincos: 238 x 127 x 474 x 127 x 238</td> </tr> <tr> <td colspan="12">Gr.: 428 (variação +/- Ogr)</td> </tr> <tr> <td colspan="12">TUTTO MOVEIS / REF 230 / PEDIDO N° 4841</td> </tr> <tr> <td colspan="12">Refilada.: S</td> </tr> </tbody> </table>												Item	Entrega	Tipo	Quantidade	Larg x Comp	Papelão fornecedor	Preço unit.	Preço m2	Preço kg	M2 item	Kg item		13/05/2011	Chapa	2.000	1.200 x 500	RS- MMM- B	0,080	0,000	0,000	1.200	514	Gr.: 428 (variação +/- Ogr)												COMIOTTO / REF CANTONEIRA - 1 / PEDIDO N° 4841													13/05/2011	Chapa	350	1.204 x 1.009	RS- MMM- B	0,080	0,000	0,000	425	182	Vincos: 238 x 127 x 474 x 127 x 238												Gr.: 428 (variação +/- Ogr)												TUTTO MOVEIS / REF 230 / PEDIDO N° 4841												Refilada.: S											
Item	Entrega	Tipo	Quantidade	Larg x Comp	Papelão fornecedor	Preço unit.	Preço m2	Preço kg	M2 item	Kg item																																																																																																										
	13/05/2011	Chapa	2.000	1.200 x 500	RS- MMM- B	0,080	0,000	0,000	1.200	514																																																																																																										
Gr.: 428 (variação +/- Ogr)																																																																																																																				
COMIOTTO / REF CANTONEIRA - 1 / PEDIDO N° 4841																																																																																																																				
	13/05/2011	Chapa	350	1.204 x 1.009	RS- MMM- B	0,080	0,000	0,000	425	182																																																																																																										
Vincos: 238 x 127 x 474 x 127 x 238																																																																																																																				
Gr.: 428 (variação +/- Ogr)																																																																																																																				
TUTTO MOVEIS / REF 230 / PEDIDO N° 4841																																																																																																																				
Refilada.: S																																																																																																																				
Valor produtos...:			188,00	Total de metros (m2)...:			1.625,25	M2 onda B...:			1.625,25																																																																																																									
Valor IPI.....:			9,40	Total de peso (kg).....:			695,61	M2 onda C...:			0,00																																																																																																									
Valor desconto...:			0,00					M2 onda BC...:			0,00																																																																																																									
Valor total OC...:			197,40					M2 onda E...:			0,00																																																																																																									
Observações:																																																																																																																				
As mercadorias estarão sujeitas a nossa aprovação quanto qualidade e quantidade. Reservamo-nos o direito de devolve-la, caso a mesma não esteja de acordo com as especificações da ORDEM DE COMPRA.																																																																																																																				
Favor nos comunicar com antecedência sobre qualquer alteração da Ordem de Compra.																																																																																																																				
Favor constar em sua nota fiscal o número desta ordem de compra.																																																																																																																				

Fonte: JP Embalagens (2015)

Os itens mais utilizados pela produção têm seu estoque controlado através de etiquetas *kanban*, a Figura 11 demonstra o *kanban* de tintas.

As chapas, tintas, grampos, colas e fitas adesivas são comprados através de etiqueta *kanban*, a qual indica o nome do produto e especificações, o local de armazenagem, estoque mínimo e o lote de reposição. Cada insumo tem local próprio para armazenagem, sendo este limitado ao lote de reposição.

Figura 11 – *Kanban* de tintas



Fonte: O autor (2015)

2.3.4 Processo de programação

As OFs, após haverem sido processadas pelo setor de compras, para análise de necessidade de material, são entregues ao setor de Programação e Controle da Produção (PCP) que controla, através de uma planilha atualizada diariamente, as OFs que estão aguardando chegada de matéria-prima, a data de produção, ou o melhor sequenciamento de máquina e o carregamento.

Devido a diferenciação dos produtos produzidos, o trabalho do PCP é importante para a empresa, uma vez que este é que executa o controle dos prazos de entrega prometidos aos clientes. A quantidade de *setup* e complexidade de realização destes, tornou o setor de impressão o gargalo da empresa, sendo a função do PCP decidir por antecipar produção ou renegociar datas de entregas, para manter o sequenciamento de produção nas impressoras de forma econômica. Especificações como cores, tipo de embalagens, tipo de papel e tamanho da embalagem são agrupadas as mais próximas possíveis, para reduzir os tempos de *setup* das máquinas impressoras.

O PCP libera as OFs que devem ser produzidas para o líder do setor de corte e vinco ou impressora e, nos casos de estoques *kanban*, as OFs são entregues para o setor de expedição separar os produtos para entrega imediata.

Devido ao gargalo no setor de impressão, foi negociada com clientes que possuem movimentação regular de pedidos, a manutenção de estoques *kanban* dentro da JP Embalagens, sendo o PCP responsável pela criação e acompanhamento dos cartões *kanban*. A Figura 12 mostra exemplo de etiqueta de *kanban* de caixas prontas.

Figura 12 – Etiqueta *Kanban* caixas prontas

		KANBAN	
CORREDOR:	11 4E		
CLIENTE			
TUMAR			
REFERÊNCIA			
M. CASAL			
PAPEL			
KRAFT DUPLO - KD			
QUANT. MIN.:	500	QUANT. TOTAL:	1000
DATA: 01 / 04 / 1999	RESP.: Patrick		

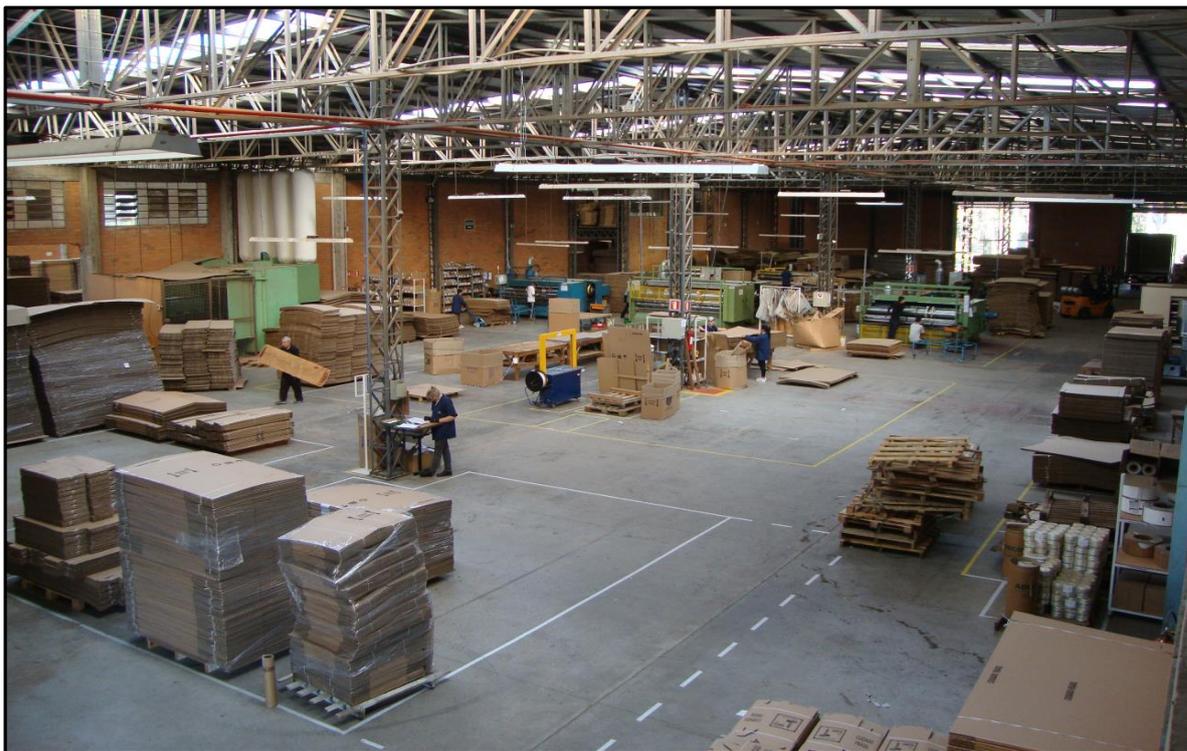
Fonte: JP Embalagens (2015)

2.3.5 Processo de produção

Nesta etapa serão descritos os três setores de produção da empresa em estudo: corte e vinco, impressão e acabamento. O Anexo A mostra o *layout* da empresa.

O *layout* representa a organização dos setores, máquinas e outros componentes da fábrica, o fluxo de produção padrão segue a sequência de uso das áreas: recebimento, corte e vinco, impressoras, acabamento e expedição. A Figura 13 mostra foto da área de produção da empresa, sendo possível observar a área de expedição, demarcada em branco na parte inferior da foto, o setor de acabamento, no centro da foto e, mais ao fundo, três máquinas impressoras podem ser vistas na imagem.

Figura 13 – Foto geral da produção



Fonte: O autor (2015)

2.3.5.1 Setor de Impressão

A empresa possui três impressoras, onde trabalham seis operadores de máquinas, sendo todas as máquinas coordenadas por um líder de impressão. Considerado o setor da empresa com maior tecnologia aplicada, as impressoras são os equipamentos de maior complexidade de uso e particularidades para a programação da produção na JP Embalagens. Este setor é responsável por fazer os entalhes, vincos finais e impressão. Por ter essas três funções, os equipamentos exigem tempo de setup médio de vinte minutos, tendo em vista que algumas dessas máquinas produzem mais de cem caixas por minuto, necessitando, em média, vinte trocas de ferramentas por dia. Seguindo o fluxo de produção, as chapas vincadas, sejam pelas máquinas corte e vinco ou pelo fornecedor, as impressoras dão forma e cor para as embalagens. Os operadores das máquinas realizam o setup de acordo com as necessidades da embalagem descritas na OF, os entalhes e vincos são posicionados nos lugares corretos, os clichês de impressão são fixados a máquina e a tinta solicitada é colocada.

2.3.5.2 Setor de Acabamento

Esse é o setor onde é finalizada a produção, ele é composto por sete profissionais, sendo um deles o líder. Devido à gama de produtos fornecidos pela a empresa, o acabamento exige multifuncionalidade e trabalho manual da equipe. São quatro equipes de trabalho para finalização das caixas: normais, envoltórios, envoltórios serrados e corte e vinco com forma.

Nas caixas normais, 45% são coladas em máquina coladeira automática, o restante, as que possuem a medida da chapa maior que dois metros de comprimento, são coladas a mão. Nos envoltórios, são removidas as abas que sobraram no processo de impressão e após são amarrados e paletizados em conjuntos de dez ou vinte caixas, dependendo do tamanho da embalagem. Após os envoltórios são finalizados os cortes através do uso de serra circular manual ou, nos casos em que os cortes são maiores que cinco centímetros, através de serra circular de bancada. Nas caixas corte e vinco que utilizam forma, possuem uma geometria complexa, onde uma máquina corte e vinco normal ou as impressoras da empresa não conseguem cortar.

2.3.5.3 Setor de Corte e Vinco

A empresa possui duas vincadeiras, onde trabalham dois funcionários e mais um líder de setor. Os *setups* duram em média sete minutos. O setor de corte e vinco processa os pedidos de embalagens que o fornecedor não vincou ou cortou no tamanho exato, de acordo com a necessidade do cliente. Pedidos que a soma total da área a ser fornecida em embalagens for menor que duzentos metros quadrados são processados nas máquinas vincadeiras. Primeiramente, os profissionais do setor separam a chapa conforme apontado pelo PCP, para ser cortada e vincada de acordo com as especificações da OF. Os processos posteriores são de impressão ou expedição.

2.3.6 Aplicação do modelo em corte e vinco

Para entender a demanda da empresa foi realizado um levantamento de dados, provenientes da área comercial e de produção, onde considerou-se o dia 02 de julho de 2015 como exemplo para implementação do modelo, esse dia foi escolhido de forma aleatória. Determinou-se o uso do *software Microsoft Excel* para armazenamento e controle dos dados, a Tabela 4 apresenta a produção do dia escolhido.

Tabela 4 – Relatório de produção consolidada (julho / 2015)

Código	Papelão	Data	Origem chapa	Quantidade total (unidades)	Chapa
803	KD-BC	02/07/2015	Corto Estoque	800	70 x 1360
889	KD-BC	02/07/2015	Corto Estoque	360	78 x 755
888	KD-BC	02/07/2015	Corto Estoque	480	80 x 750
802	KD-BC	02/07/2015	Corto Estoque	120	155 x 785
887	KD-BC	02/07/2015	Corto Estoque	240	160 x 580
426	KD-BC	02/07/2015	Corto Estoque	500	297 x 982
603	KD-BC	02/07/2015	Corto Estoque	50	428 x 1102
041	KD-BC	02/07/2015	Corto Estoque	200	440 x 410
604	KD-BC	02/07/2015	Corto Estoque	100	462 x 1271
606	KD-BC	02/07/2015	Corto Estoque	50	622 x 1971
982	KD-BC	02/07/2015	Corto Estoque	40	692 x 2012
608	KD-BC	02/07/2015	Corto Estoque	50	736 x 1542
005	KD-BC	02/07/2015	Corto Estoque	30	838 x 1492
042	KD-BC	02/07/2015	Corto Estoque	200	870 x 605
004	KD-BC	02/07/2015	Corto Estoque	10	1362 x 2222
978	KD-BC	02/07/2015	Corto Estoque	4	1382 x 2742

Fonte: O autor (2015)

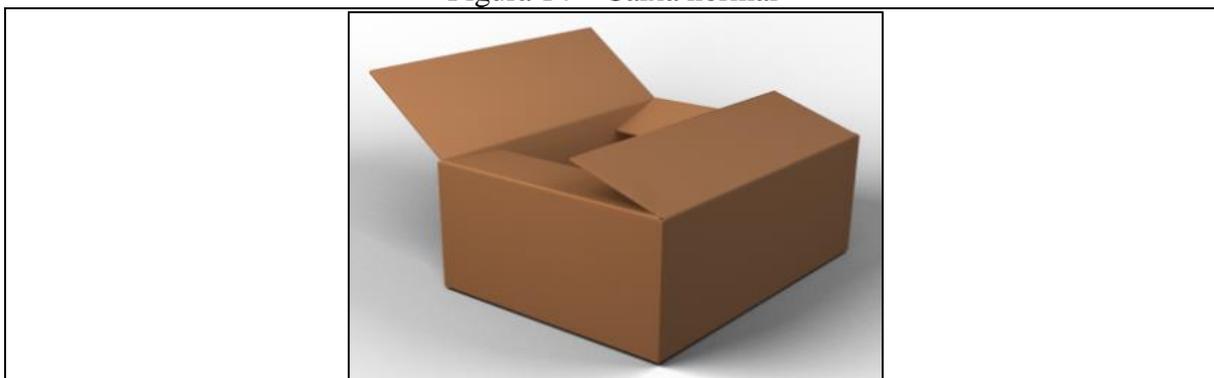
Analisa-se a Tabela 4 da seguinte forma:

- a) Código: Descreve o código do produto, sendo este sequencial e fornecido pelo *software* da empresa;
- b) Papelão: Tipo de matéria-prima utilizada na embalagem;
- c) Data: Data da ordem de fabricação;
- d) Origem chapa: Local da chapa utilizada, se estoque ou produto cortado diretamente pelo fornecedor;
- e) Quantidade total: Demanda do produto;
- f) Chapa: Dimensões do produto (largura x comprimento).

Considerando que a produção de julho de 2015, para o papelão KD-BC consistiu de 16 diferentes códigos de produtos, foi executada avaliação visando a agrupar os mesmos por similaridades de processo de produção ou de aplicação. Desta forma, foram estabelecidas quatro famílias de produtos. São elas:

- a) família de produtos caixa normal, ou seja, aqueles produtos que, pelo seu projeto e construção, possuem vincos nas regiões de dobras e são pré-montados e colados, facilitando a montagem da embalagem pelo cliente. A Figura 14 exemplifica a família citada;

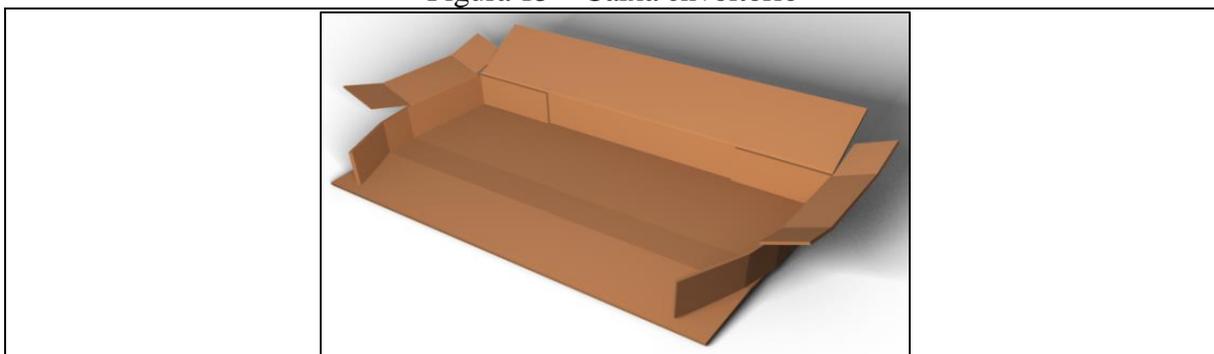
Figura 14 – Caixa normal



Fonte: O autor (2015)

- b) Família de produtos caixa envoltório, ou seja, o mesmo produto anterior, porém, sem a operação de pré-montagem e colagem, ficando estas a cargo do cliente. A Figura 15 exemplifica a família citada;

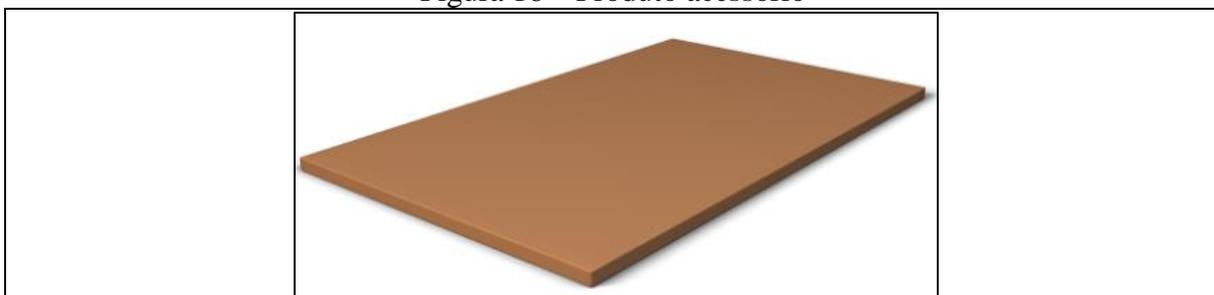
Figura 15 – Caixa envoltório



Fonte: O autor (2015)

- c) Família de produtos acessórios, ou seja, cintas de papel para serem utilizadas como divisórias, calços, tampas ou forros. A Figura 16 exemplifica a família citada;

Figura 16 – Produto acessório



Fonte: O autor (2015)

- d) Família de produtos corte e vinco, ou seja, embalagens com formatos especiais, tais como, cantos arredondados, existência de furos, rasgos e alças. A Figura 17 exemplifica a família citada.

Figura 17 – Produto corte e vinco



Fonte: O autor (2015)

Uma vez estabelecidos os agrupamentos foram escolhidos um produto de cada família para dar continuidade ao estudo, pois uma vez que o modelo estiver desenvolvido basta expandi-lo para os demais produtos. Foi também escolhida a chapa de maior dimensão existente no estoque da empresa, essa foi determinada por ser a chapa mais promissora e com histórico de maior utilização na produção, com dimensões de 1800 milímetros de largura e 2800 milímetros de comprimento. Sendo assim o modelo será detalhado nos produtos:

- a) Caixa normal: código 042, dimensões 870 x 605 mm;
- b) Caixa envoltório: código 887, dimensões 160 x 580 mm;
- c) Acessório: código 889, dimensões 78 x 755 mm;
- d) Corte e vinco: código 041, dimensões 440 x 410 mm.

2.3.7 Definição das variáveis

A principal ferramenta utilizada para definir os padrões de corte no problema investigado é baseada numa heurística gulosa, assim eles serão gerados ao colocar a maior peça na menor área disponível, o posicionamento começa no canto superior esquerdo e segue até o máximo preenchimento possível da chapa. A Tabela 5 mostra as primeiras quatro combinações geradas, onde o padrão é realizado somente com um produto, sendo esse o processo que a empresa utiliza para a produção. Na tabela é possível ver as combinações geradas, ou seja, no padrão de corte 1 serão dispostos na chapa 44 produtos de 160 x 580mm

e nenhum de outra dimensão, o que gera uma perda de material de 18,98%, no padrão de corte 2 serão dispostos na tabela 8 produtos de 870 x 605mm, com perda de 16,45%, no padrão 3 serão 69 produtos de 78 x 755mm, perda de 19,38% e no padrão 4 serão dispostos 24 produtos de 440 x 410mm, 14,10% de perda. Todos os padrões foram gerados considerando uma chapa de dimensões 1800 x 2800mm. Ver anexo para visualizar os padrões gerados.

Tabela 5 – Padrões de corte

PRODUTO	1	2	3	4
1 - (160 X 580)	44,00	0,00	0,00	0,00
2 - (870 x 605)	0,00	8,00	0,00	0,00
3 - (78 x 755)	0,00	0,00	69,00	0,00
4 - (440 x 410)	0,00	0,00	0,00	24,00
PERDA	18,98%	16,45%	19,38%	14,10%
VARIÁVEL	x_1	x_2	x_3	x_4

Fonte: O autor (2015)

Na Tabela 6 é possível observar os demais padrões de corte gerados e suas respectivas perdas, esses padrões foram gerados conforme a heurística gulosa citada acima. É sabido que não foram gerados todos os padrões de corte possíveis para as combinações, portanto a solução encontrada talvez não seja a solução ótima, mas foi realizada ao menos uma combinação entre todos os produtos selecionados de forma a encontrar o melhor aproveitamento, o número de combinações foi gerado de forma empírica. Visualizar os padrões nos anexos.

Tabela 6 – Perdas por padrões

PRODUTO	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1 - (160 X 580)	22,00	22,00	22,00	0,00	0,00	0,00	11,00	11,00	0,00	11,00	11,00
2 - (870 x 605)	0,00	0,00	4,00	4,00	4,00	0,00	4,00	4,00	4,00	0,00	2,00
3 - (78 x 755)	0,00	46,00	0,00	0,00	46,00	46,00	0,00	23,00	23,00	23,00	23,00
4 - (440 x 410)	16,00	0,00	0,00	12,00	0,00	12,00	8,00	0,00	8,00	12,00	8,00
PERDA	2,22%	5,74%	17,72%	15,27%	4,48%	3,30%	9,34%	11,10%	2,72%	9,92%	3,35%
VARIÁVEL	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}

Fonte: O autor (2015)

2.3.8 Montagem do modelo

Com base nas variáveis definidas, em função da análise das possibilidades de corte verificadas e das demandas do dia escolhido para estudo, a formulação do modelo é mostrada abaixo:

$$\text{Minimizar: } P = 18,98x_1 + 16,45x_2 + 19,38x_3 + 14,10x_4 + 2,22x_5 + 5,74x_6 + 17,72x_7 + 15,27x_8 + 4,48x_9 + 3,30x_{10} + 9,34x_{11} + 11,10x_{12} + 2,72x_{13} + 9,92x_{14} + 3,35x_{15}$$

- a) $44x_1 + 22x_5 + 22x_6 + 22x_7 + 11x_{11} + 11x_{12} + 11x_{14} + 11x_{15} \geq 240$;
 b) $8x_2 + 4x_7 + 4x_8 + 4x_9 + 4x_{11} + 4x_{12} + 4x_{13} + 2x_{15} \geq 200$;
 c) $69x_3 + 46x_6 + 46x_9 + 46x_{10} + 23x_{12} + 23x_{13} + 23x_{14} + 23x_{15} \geq 360$;
 d) $24x_4 + 16x_5 + 12x_8 + 12x_{10} + 8x_{11} + 8x_{13} + 12x_{14} + 8x_{15} \geq 200$;
 e) $x_i \geq 0$;
 f) x_i inteiro.

A equação P representa a função objetivo que minimiza as perdas de matéria prima através dos padrões de cortes relacionados nas tabelas 5 e 6. As restrições de a até d representam o atendimento mínimo das demandas relacionadas no dia. A restrição e garante a não negatividade das variáveis e a restrição **Digite a equação aqui.** garante que a solução encontrada será com números inteiros.

O conjunto de restrições garante que a demanda será atendida exatamente, quando ocorre a minimização do número de objetos cortados é equivalente a minimizar a perda total de matéria prima. Na resolução do problema de corte estudado, o critério de otimização será a minimização da perda de aparas de chapas.

2.3.9 Resultados computacionais

O problema de corte foi resolvido através do *solver*, essa ferramenta do Excel testa as hipóteses e encontra o valor ideal para a função objetivos de acordo com as restrições impostas. A Tabela 7 abaixo apresenta a solução encontrada de acordo com a modelagem realizada, ou seja, o resultado da melhor combinação entre padrões de cortes, portanto o modelo terá uma perda de 6,92 metros quadrados de material, o que representa apenas 3,47% do total de matéria prima utilizada.

Tabela 7 – Resultados Computacionais

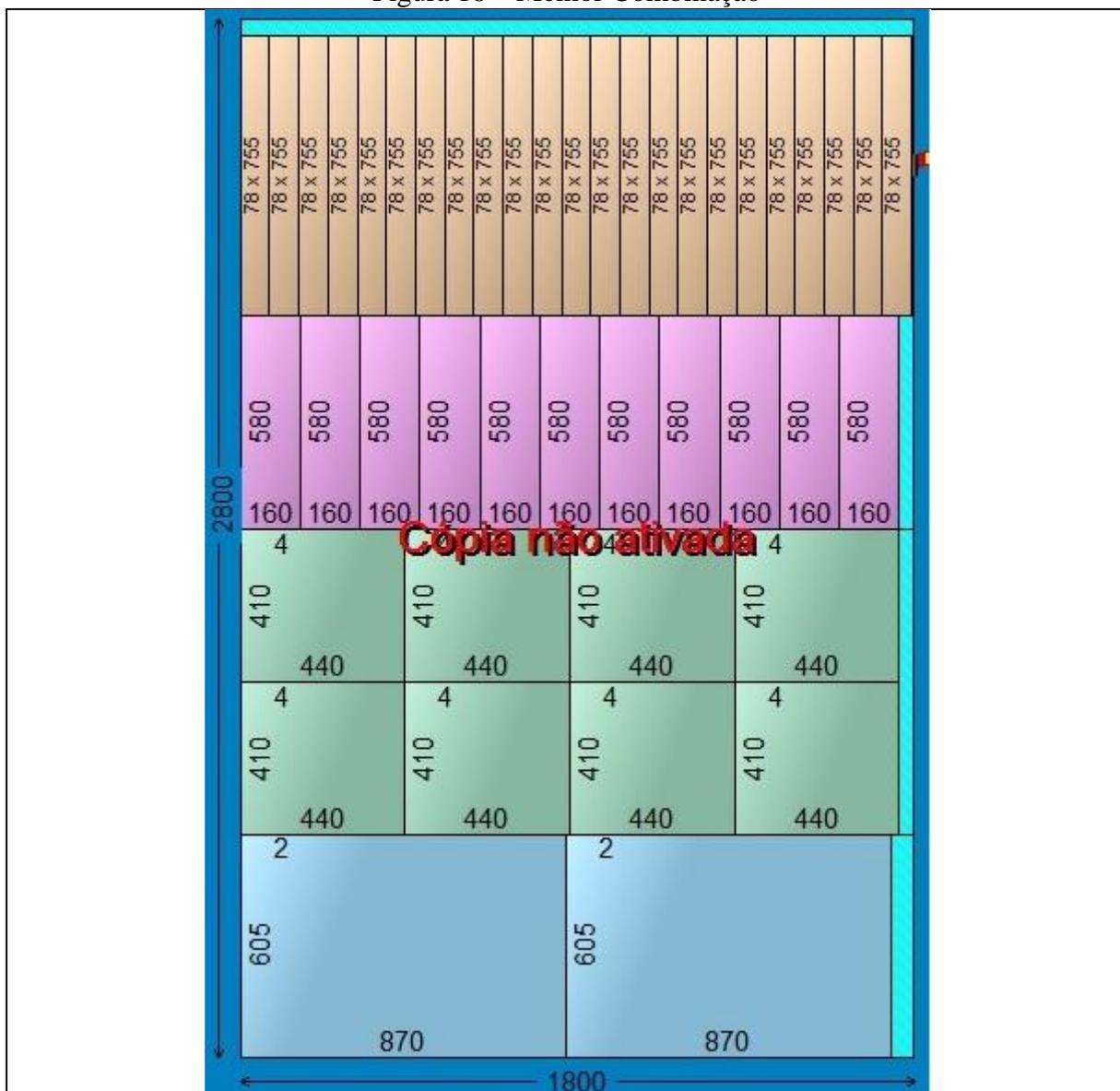
PRODUTO	15
1 - (160 X 580)	11,00
2 - (870 x 605)	2,00
4 - (78 x 755)	23,00
5 - (440 x 410)	8,00
VARIÁVEL	41
PERDA	3,35%

Fonte: O autor (2015)

O resultado computacional mostra que para o melhor aproveitamento da matéria prima, de acordo com a demanda do dia, são necessários 41 cortes de acordo com o padrão de

corte 15. A Figura 18 demonstra a combinação que foi realizada no padrão de corte encontrado como melhor opção para a produção.

Figura 18 – Melhor Combinação



Fonte: O autor (2015)

Com esse resultado é possível observar que a conjugação de itens para o corte apresenta menor desperdício de matéria prima que o corte individualizado de produtos, processo realizado atualmente na empresa.

2.3.10 Cenário com demanda flexível

Foi também estudado um cenário com demanda flexível, com limitação de $\pm 10\%$ nas demandas apresentadas nas restrições, além disso foi associado a cada produto um peso de

lucratividade que o mesmo gera para a empresa. Não é foco do trabalho avaliar o lucro real, apenas demonstrar que com ajustes o modelo pode incorporar outras restrições, tanto da área industrial como comercial.

A Tabela 8 apresenta a solução encontrada de acordo com a nova modelagem realizada, onde a função objetivo sofreu alterações para atender as novas restrições incluídas. Como melhor resultado da combinação entre os padrões de cortes, a perda encontrada foi de 17,37 metros quadrados de material, o que representa 9,69% do total de matéria prima utilizada. Para esse resultado foi realizada uma combinação entre 5 padrões de cortes, sendo necessários 17 cortes do padrão 2, 7 cortes do padrão 5, 2 cortes do padrão 9, 13 cortes do padrão 13 e 8 cortes do padrão 15.

Tabela 8 – Demanda Flexível

PRODUTO	2	5	9	13	15	ITENS PRODUZIDOS	LUCRATIVIDADE
1 - (160 X 580)	0,00	22,00	0,00	0,00	11,00	242,00	1,00
2 - (870 x 605)	8,00	0,00	4,00	4,00	2,00	180,00	1,20
3 - (78 x 755)	0,00	0,00	46,00	23,00	23,00	391,00	1,40
4 - (440 x 410)	0,00	16,00	0,00	8,00	8,00	216,00	1,05
VARIÁVEL	17	7	2	5	8		
PERDA	16,45%	2,22%	4,48%	2,72%	3,35%		

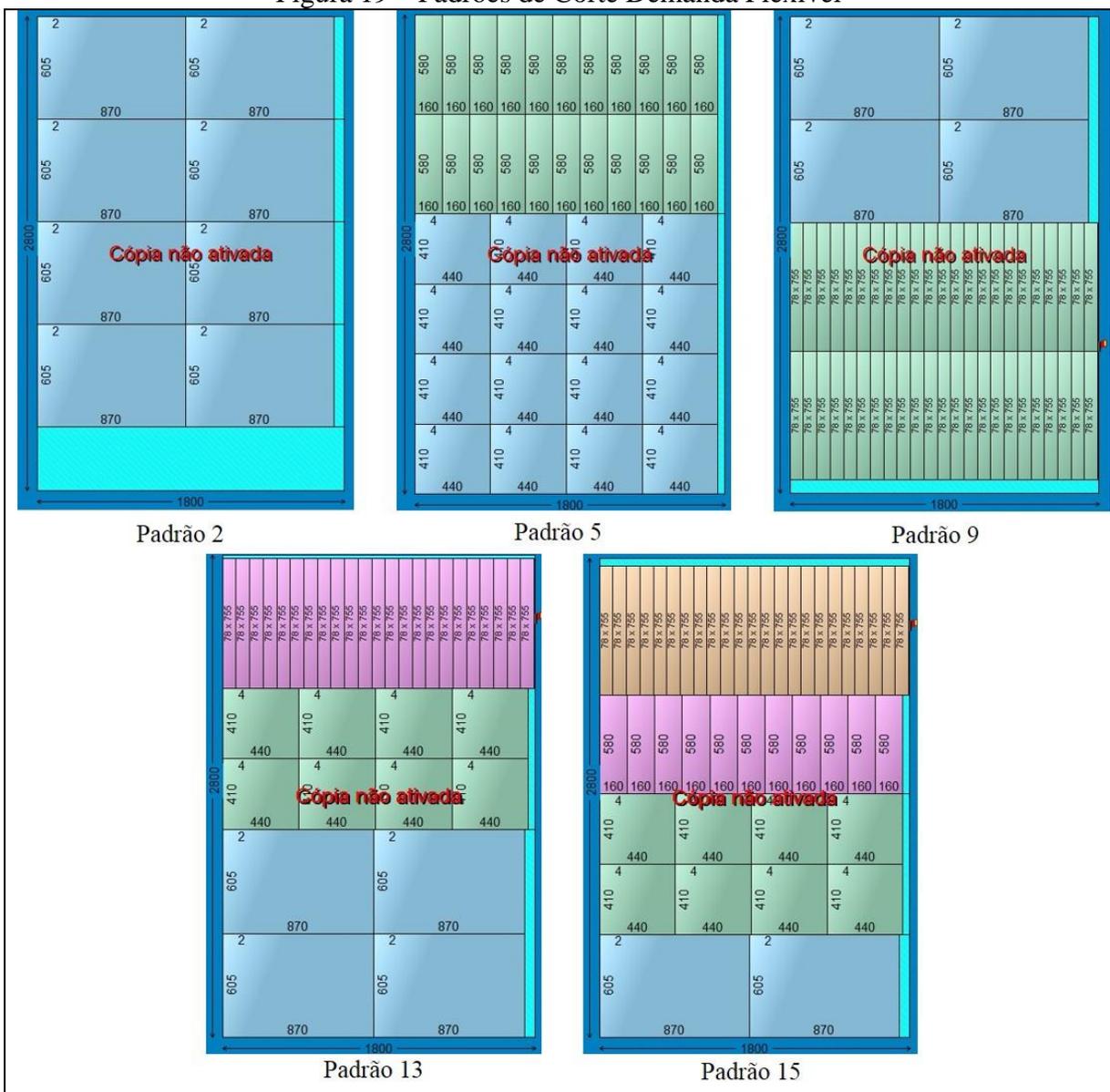
Fonte: O autor (2015)

O resultado computacional mostra que a demanda foi alterada, para os produtos 1 e 3 a quantidade de itens fabricados foi maior, enquanto para os produtos 2 e 4 a produção foi menor.

A maior perda de material apresentada nesse caso se deve aos índices de lucratividade que foram atribuídos aos produtos, assim a solução gerou um lucro maior combinado a uma perda de material menor, para isso foi considerado que o produto 1 apresenta lucratividade igual a 1, o produto 2 igual a 1,2, o produto 3 apresenta 1,4 e o produto 4 lucratividade igual a 1,05.

A Figura 19 apresenta os padrões de cortes que foram utilizados para o processo nesse cenário de simulação.

Figura 19 – Padrões de Corte Demanda Flexível



Fonte: O autor (2015)

3 CONCLUSÃO

O presente trabalho foi realizado com o objetivo de propor uma programação de corte de chapas de papelão que permitisse minimizar a perda de matéria prima em uma empresa fabricante de embalagens.

A aplicação do modelo de corte bidimensional permitiu visualizar que ao conjugar os produtos por demanda, turno ou dia, a sobra de aparas de material é menor do que no caso do corte dos produtos de forma individual. O modelo proposto atendeu de forma satisfatória a proposta, embora limitado pelos padrões de corte gerados através da heurística gulosa, demonstrou que é possível produzir a mesma demanda de itens com menor desperdício de matéria prima. Com o trabalho realizado também é possível programar com menos *setups* a produção das impressoras, que foram apontadas como gargalo da produção no levantamento do processo.

O estudo realizado viabilizou a análise de outro cenário, onde foi considerado o caso de demanda variável, com variação de 10% por produto, já que a empresa possui parceria de estoque com clientes e seria de fácil armazenamento. Nessa situação foi encontrada uma perda maior que na solução anterior, porém com lucro também maior, isso ocorreu pois foram dados pesos fictícios de lucratividade para cada produto, então a solução buscou além de minimizar a perda de matéria prima, aumentar o aumento do lucro conforme a combinação de cortes, o que demonstra que o modelo pode ser adaptado a novas restrições, conforme a necessidade da empresa.

Dessa forma, entende-se que os objetivos estabelecidos foram alcançados em sua totalidade. Para futuro, planeja-se a implementação de um algoritmo, citado na literatura, o qual gere todos os padrões de corte possíveis, para assim implementar novamente o modelo e encontrar a solução ótima. Também é possível estudar a otimização do processo de corte ao considerar que esse será realizado direto da bobina de matéria prima, dessa forma existirão outros formatos para geração de padrões, como por exemplo o método tabuleiro citado. Como futuro também é interessante avaliar a compra de um *software* de corte corporativo, assim a conjugação de padrões será avaliada em diferentes tamanhos de chapas de papelão que a empresa possua em estoque, o que poderá gerar outra solução com ainda menos perda de material.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, Eduardo Leopoldino. **Introdução à pesquisa operacional: métodos e modelos para a análise de decisão**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 2002.
- ARAÚJO, S. A.; ARENALES, M. N. **Problema de dimensionamento de lotes monoestágio com restrição de capacidade: modelagem, método de resolução e resultados computacionais**. Pesquisa Operacional, 2000.
- ARENALES, Marcos. **Mini curso: Problema de corte e empacotamento – Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**. Minas Gerais, 2004.
- ARENALES, Marcos; ARMENTANO, Vinícius A.; MORABITO, Reinaldo; YANASSE, Horacio H. **Pesquisa Operacional**. Rio de Janeiro: Campus / Elsevier, 2007.
- ARENALES, Marcos; MORABITO, Reinaldo. *Staged and constrained two-dimensional guillotine cutting problems: an and / or-graph approach*. European Journal of Operational Research, 1996.
- ARENALES, Marcos; MORABITO, Reinaldo. *Optimizing the cutting of stock plates in a furniture company*. International Journal of Production Research, 2000.
- BELFIORE, Patrícia; FÁVERO, Luiz Paulo. **Pesquisa Operacional**. Rio de Janeiro: Campus / Elsevier, 2012.
- BELLUZZO, L. **Otimização nos planos de corte de chapas de fibra de madeira reconstruída: um estudo de caso na programação da produção da serra Holzma**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção – Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos, 2002.
- BRAGA, B. P. F. **Técnicas de otimização e simulação aplicadas em sistemas de recursos hídricos**. São Paulo: Nobel, 1987.
- ESTADÃO. **Aumenta a concorrência entre empresas**. Seção Seu Bolso. Edição de 29 de ago. 2010. Disponível em: <<http://blogs.estadao.com.br/jt-seu-bolso/aumenta-a-concorrencia-entre-empresas/>>. Acesso em: 30 mar. 2013.
- EXAME, **A revolução das embalagens**. Disponível em <<http://exame.abril.com.br/revista-exame/edicoes/0841/noticias/a-revolucao-das-embalagens-m0055159>>. Acesso em 30 mar 2013.
- GILMORE, P.; GOMORY, R. *Multistage cutting stock problems of two and more dimensions*. Operations Research, 1965.
- GOLDBARG, Marco Cesar. **Otimização combinatória e programação linear: modelos e algoritmos**. Rio de Janeiro: Campus, 2000.
- HERZ, J. C. *A recursive computational procedure for two-dimensional stock-cutting*. IBM Journal of Research and Development, 1972.

KATSURAYAMA, D. M.; YANASSE, H. H. **Algoritmos para determinação de padrões tabuleiros exatos e restritos: testes computacionais comparativos**. Anais do XXXVII SBPO, 2005.

LOESCH, Cláudio, Nelson Hein. **Pesquisa Operacional: fundamentos e modelos**. Blumenau: Ed. da FURB, 1999.

MORABITO, Reinaldo. **Corte de estoque bidimensional**. Dissertação de Mestrado em Ciências da Computação e Matemática Computacional – Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, 1989.

MORABITO, Reinaldo; SILVEIRA, R. **Um método heurístico baseado em programação dinâmica para o problema do corte guilhotinado restrito**. Gestão & Produção, v. 9, 2002.

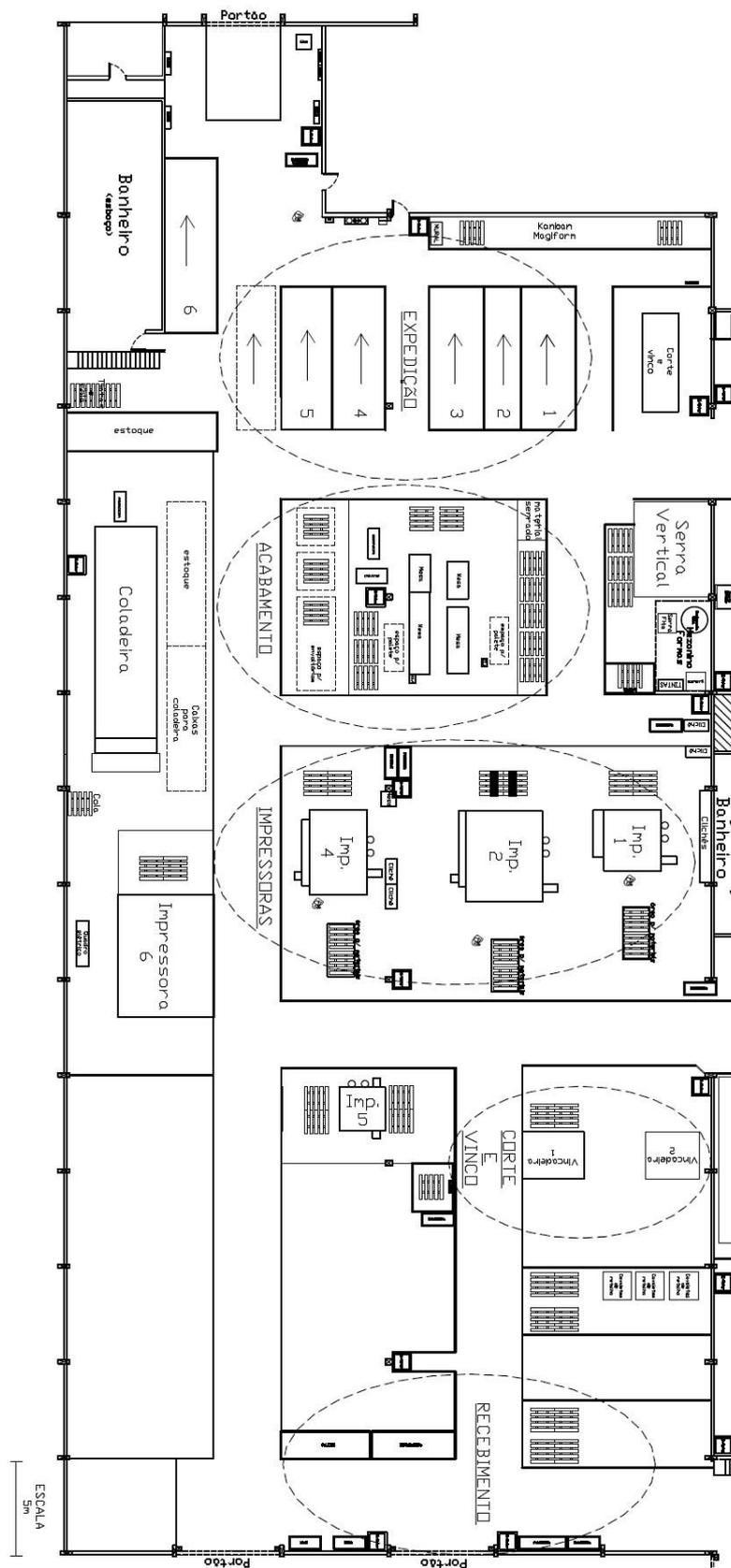
MORABITO, Reinaldo; YANASSE, Horacio H. *Linear models for one-group two-dimensional guillotine cutting problems*. International Journal of Production Research, 2006.

SILVA, Alexandre Gonçalves. **O problema do corte bidimensional**. Campinas, 1999. Disponível em: <http://www.dca.fee.unicamp.br/~alexgs/projetos/grad_ic_cortes2D>. Acesso em: 1º out. 2015.

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

ANEXOS

ANEXO A – LAYOUT DA EMPRESA



ANEXO C – PADRÃO DE CORTE 2



ANEXO D – PADRÃO DE CORTE 3



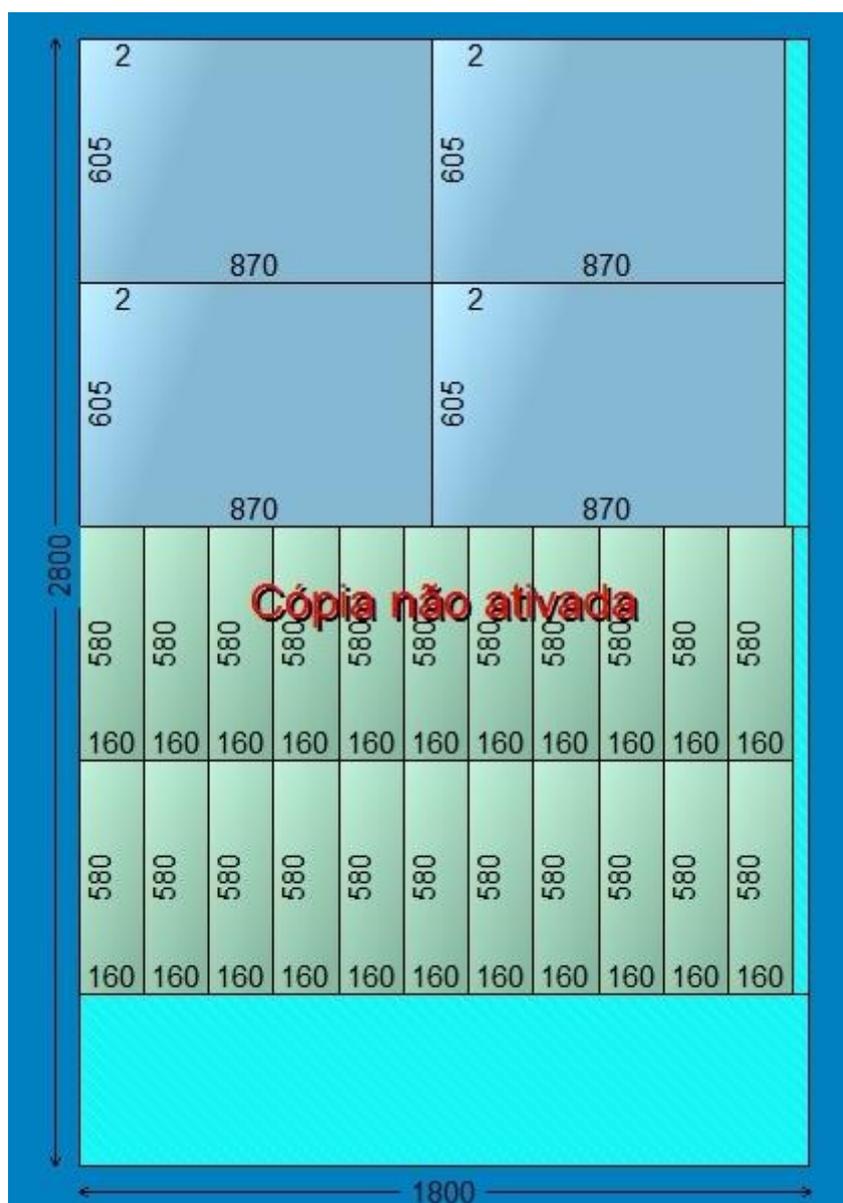
ANEXO E – PADRÃO DE CORTE 4



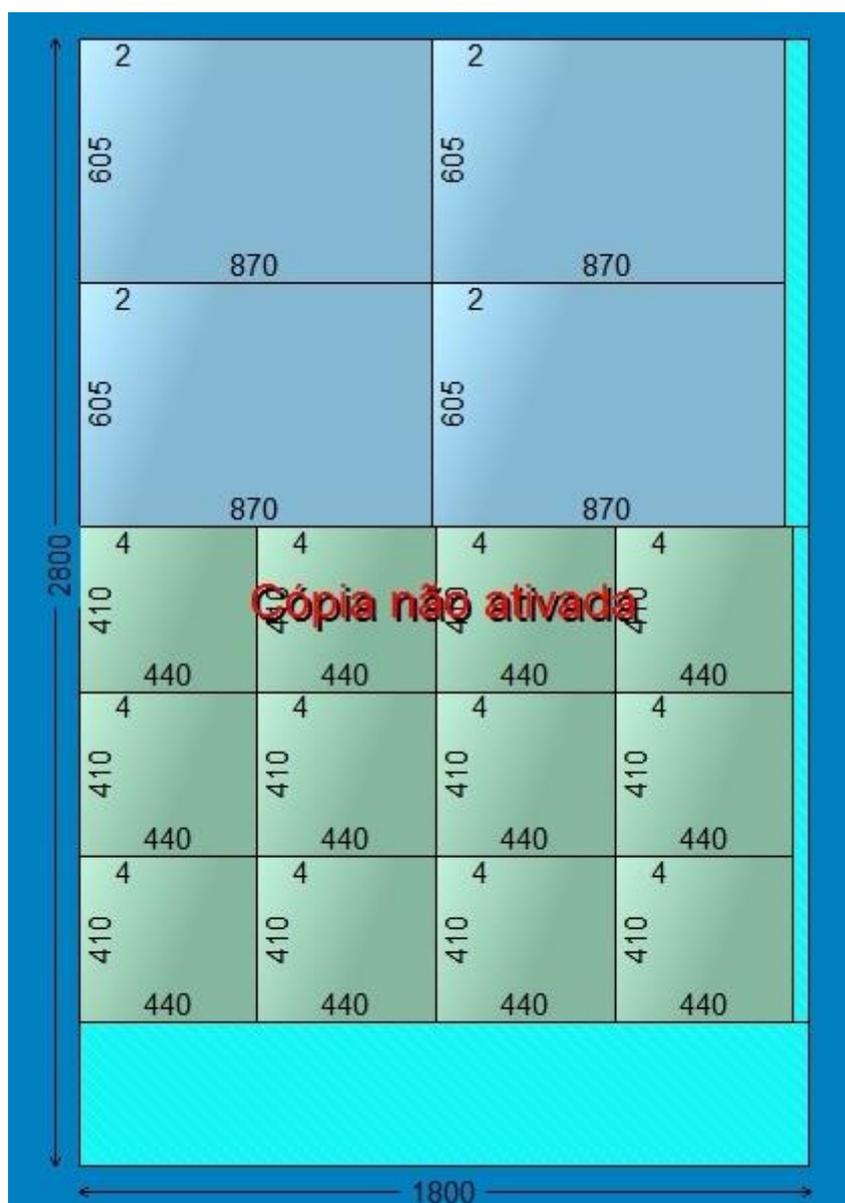
ANEXO F – PADRÃO DE CORTE 5



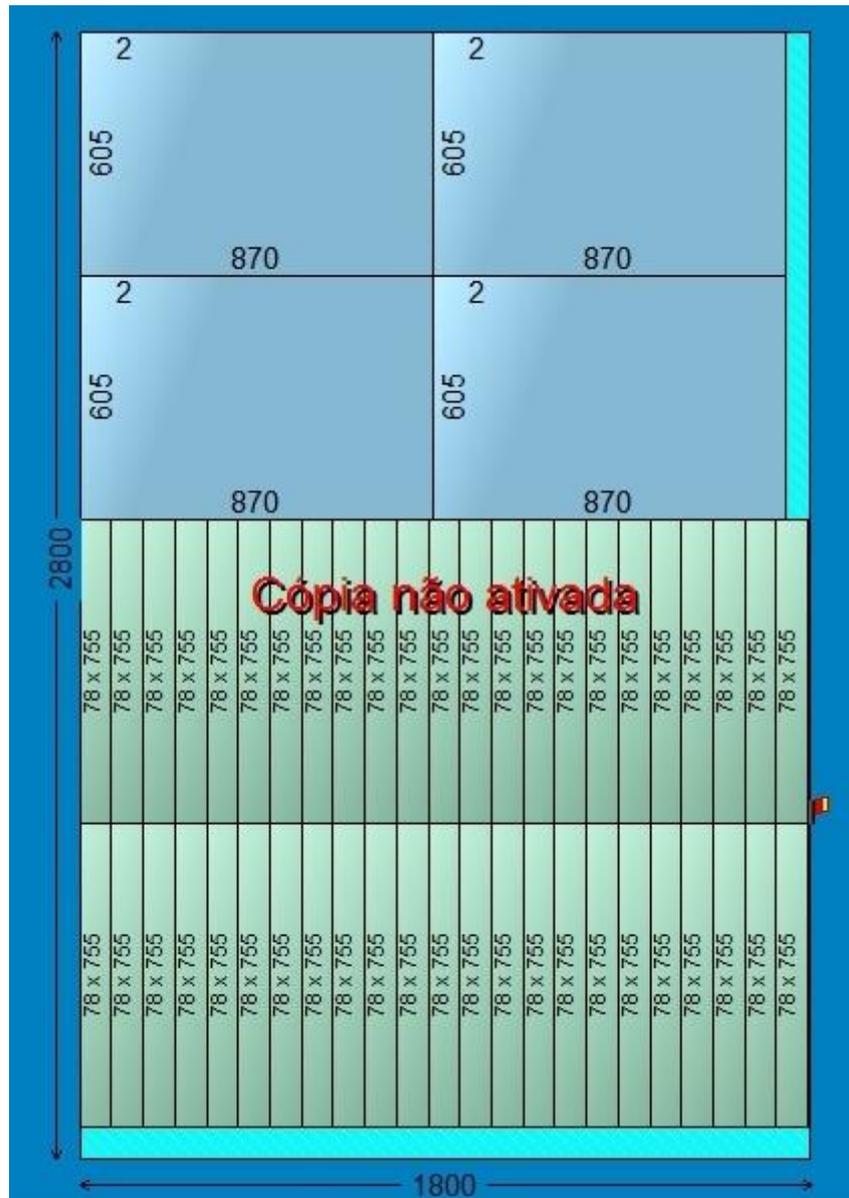
ANEXO H – PADRÃO DE CORTE 7



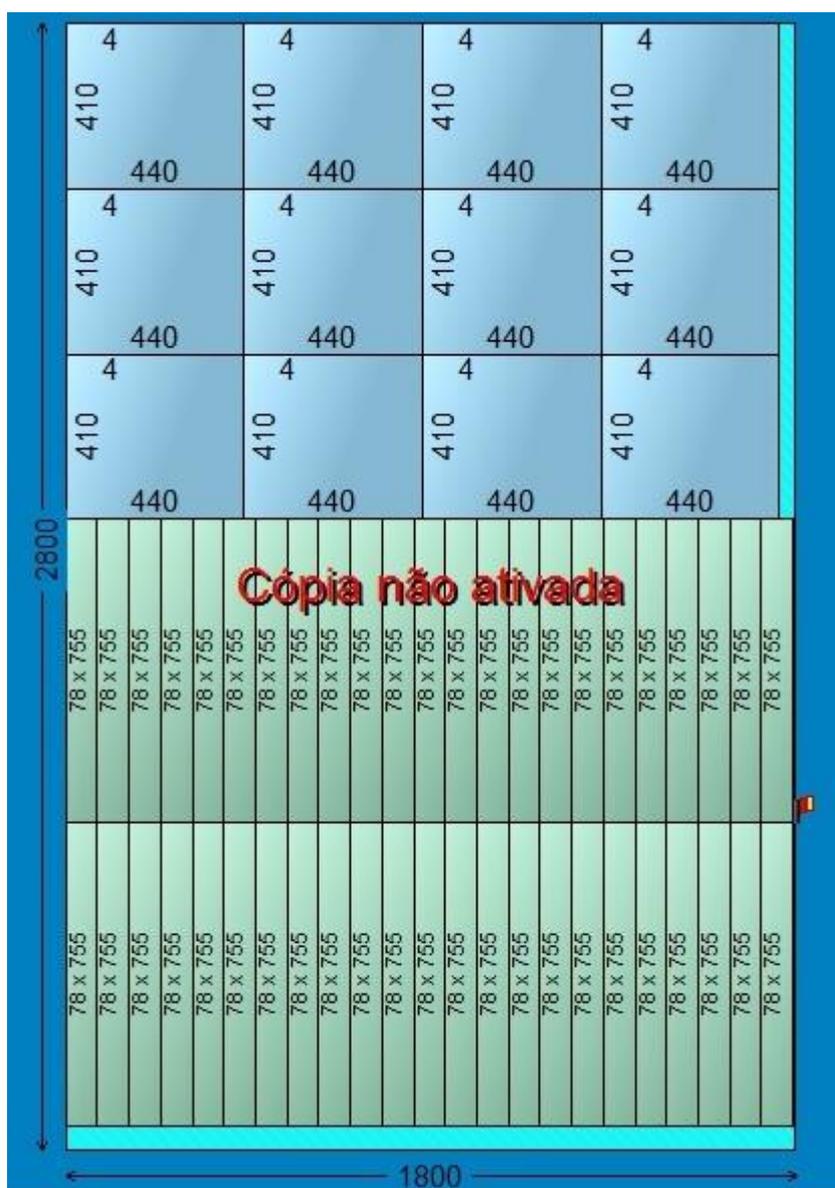
ANEXO I – PADRÃO DE CORTE 8



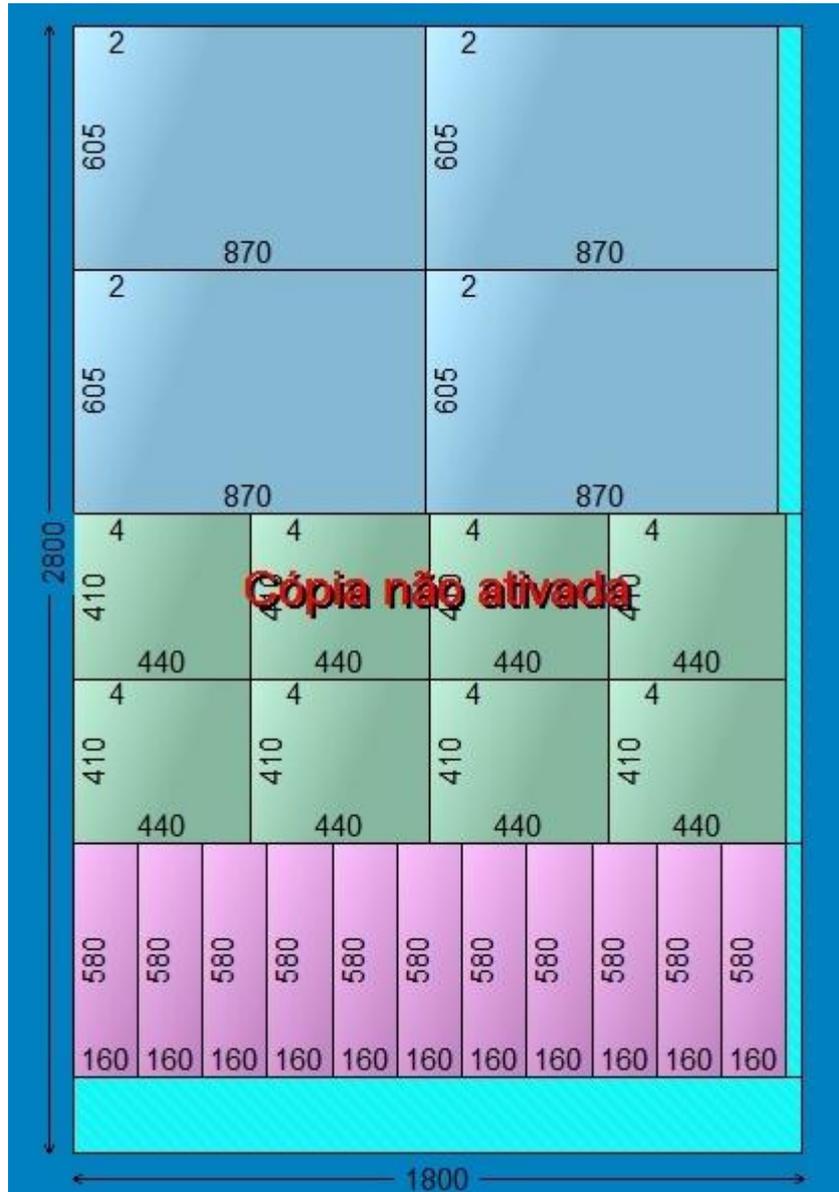
ANEXO J – PADRÃO DE CORTE 9



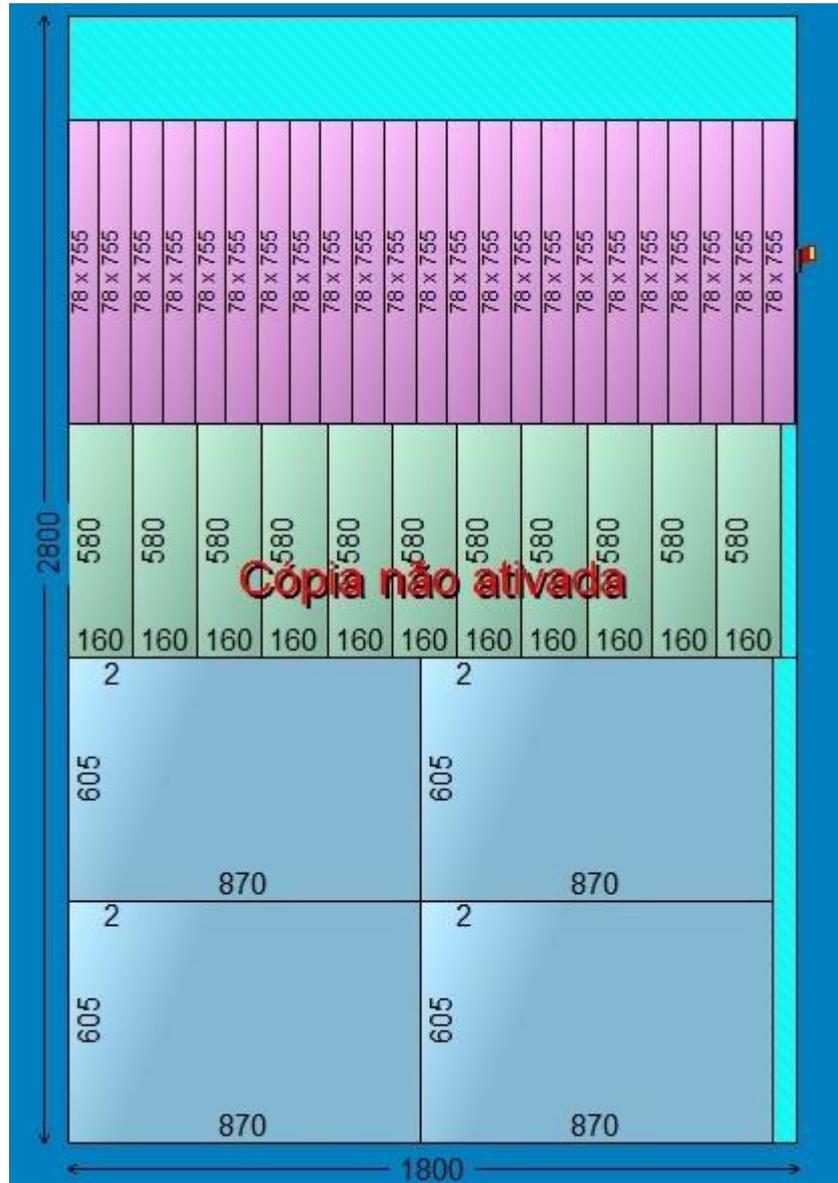
ANEXO K – PADRÃO DE CORTE 10



ANEXO L – PADRÃO DE CORTE 11



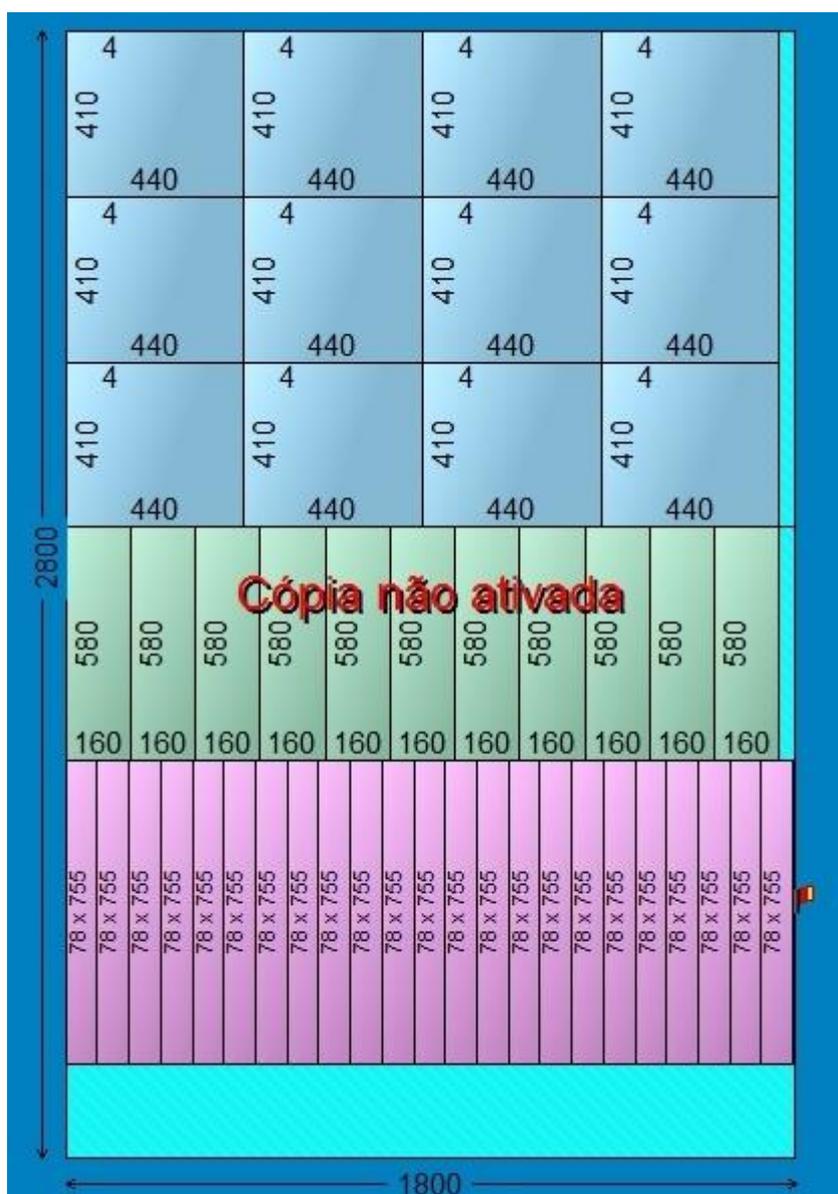
ANEXO M – PADRÃO DE CORTE 12



ANEXO N – PADRÃO DE CORTE 13



ANEXO O – PADRÃO DE CORTE 14



ANEXO P – PADRÃO DE CORTE 15

