

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR - MG
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
GUILHERME MATHEUS MESQUITA

**ANÁLISE DE DIFERENTES METODOLOGIAS PARA REDUÇÃO DO
DESPERDÍCIO NO PROCESSO DE CORTE DE CHAPAS DE VIDRO**

FORMIGA-MG
2015

GUILHERME MATHEUS MESQUITA

ANÁLISE DE DIFERENTES METODOLOGIAS PARA REDUÇÃO DO
DESPERDÍCIO NO PROCESSO DE CORTE DE CHAPAS DE VIDRO

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao curso de Engenharia de Produção do
Centro Universitário de Formiga – MG, como
requisito parcial para obtenção do título de
bacharel em Engenharia de Produção.
Orientador: Prof. Dr. Ronan Souza Sales

FORMIGA-MG

2015

Guilherme Matheus Mesquita

ANÁLISE DE DIFERENTES METODOLOGIAS PARA REDUÇÃO DO
DESPERDÍCIO NO PROCESSO DE CORTE DE CHAPAS DE VIDRO

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao curso de Engenharia de Produção do
Centro Universitário de Formiga – MG, como
requisito parcial para obtenção do título de
bacharel em Engenharia de Produção.
Orientador: Prof. Dr. Ronan Souza Sales.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ronan Souza Sales

Orientador

Prof. Me. Daniel Gonçalves Ebias

UNIFOR-MG

Formiga, 12 de novembro de 2015.

Dedico esse trabalho aos melhores pais do mundo,
Eugênio e Eliana, pelo grande amor e incentivo aos
estudos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por ter me dado força e conhecimento para superar todas as dificuldades encontradas nessa jornada.

Aos meus pais, pela educação, apoio e confiança depositados em mim.

A minha irmã e namorada, pela paciência e compreensão nos momentos mais difíceis.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Ronan Souza Sales pelas orientações e conhecimentos repassados durante esse trabalho.

Ao Centro Universitário de Formiga, juntamente a seus professores, pelo grande conhecimento compartilhado.

Aos colegas de sala, pela grande convivência em toda essa caminhada.

A empresa que me prestou várias informações, pela disposição.

"O nosso maior erro é fazer sempre as mesmas coisas e esperar resultados diferentes."

(Albert Einstein)

RESUMO

O presente estudo visa comparar diferentes metodologias para corte de chapas de vidros em um município de estado de Minas Gerais, onde atualmente a empresa não se utiliza de nenhum tipo de planejamento na execução destes cortes, ocasionando perdas de matéria prima. Foram analisados três métodos para a minimização do desperdício, sendo eles: o método proposto por Nascimento (2012), e os *softwares* Corte Certo e *Otimizar Nesting*. Feito a análise, a ferramenta que mais se adaptou ao processo de produção da empresa foi o uso do *software* Corte Certo e que mesmo efetuando o pagamento de mensalidades para a aquisição do programa, houve uma economia de 49% em seus custos em relação ao não planejamento.

Palavras-Chave: Metodologias para corte de chapas. Perdas de matéria prima. Métodos para a minimização do desperdício.

ABSTRACT

The present study aims to compare different methodologies to cut glass sheets in a city in the state of Minas Gerais, where made cuts pane without technique, causing a huge waste of feedstock. Three methods were analyzed to minimize the waste, they are: The proposed method by Nascimento (2012), and the softwares Corte Certo and Otimizar Nesting. Made the analysis, the tool which most fit to the process of production of the company was the use of Corte Certo software that even paying monthly for software support, there was saving 49% in costs in relation to the not planning.

Keywords: methodologies to cut glass sheets. Huge waste of feedstock. Methods to minimize the waste

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - A trajetória da pesquisa operacional ao longo do tempo.	18
Figura 2 - Fases de um estudo de Pesquisa Operacional.....	20
Figura 3 - Cortes por encomendas individuais e em conjuntos.....	28
Figura 4 - Cortes realizados para a encomenda A.	36
Figura 5 – Cortes realizados para as encomendas A e C.	37
Figura 6 – Cortes realizados para as encomendas B e C.	37
Figura 7 – Cortes realizados para as encomendas B e C.	38
Figura 8 – Cortes realizados para as encomendas C e E.	38
Figura 9 – Cortes realizados para as encomendas D.	39
Figura 10 – Cortes realizados para as encomendas D e E.	39
Figura 11 – Cortes realizados para as encomendas E.....	40
Figura 12 – Parâmetros do Solver configurado para a planilha eletrônica.	46
Figura 13 – Alguns possíveis modos de corte com seus desperdícios e restrições. .	47
Figura 14 – Resposta do problema de PLI do suplemento solver em planilhas eletrônicas.....	48

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Tipos de vidros encontrados com sua espessura na vidraçaria.	33
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Nutrientes, alimentos, quantidades mínimas e seus custos.....	24
Tabela 2 - Elaboração dos modos possíveis de corte.....	28
Tabela 3 - Medidas e quantidades de encomendas requisitadas no mês de julho...34	
Tabela 4 - Demandas com suas medidas e quantidades necessárias.....	36
Tabela 5 - Quantidade de placas e seus respectivos custos e desperdícios.....	40
Tabela 6 - Alguns cortes possíveis com suas demandas e seus respectivos desperdícios	87
Tabela 7 - Placas necessárias, bem como suas áreas, custos e desperdícios.....	49
Tabela 8 - Quantidade de placas necessárias, seus custos, desperdícios e sobras para o <i>software</i> Corte Certo.....	51
Tabela 9 - Quantidade de placas necessárias, seus custos, desperdícios e sobras para o <i>software</i> <i>Otimize Nesting</i>	53
Tabela 10 - Custos de desperdício e manutenção para os métodos analisados em 2 anos e 2 meses.....	54

LISTA DE ABREVIATURAS

PO Pesquisa Operacional

PL Programação Linear

PLI Programação Linear Inteira

MG Minas Gerais

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	OBJETIVOS.....	16
2.1	Objetivo Geral	16
2.2	Objetivos Específicos.....	16
3	REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1	Pesquisa Operacional.....	17
3.2	Programação Linear	20
3.3	Forma básica de um modelo de Programação Linear	23
3.4	Modelagem de problemas em programação linear para a minimização.....	24
3.5	Simplex	25
3.6	Programação Linear Inteira	26
3.7	Modelagem de um problema de corte em Programação Linear Inteira.....	27
3.8	Ferramentas computacionais para resolução de problemas de corte	29
4	MATERIAL E MÉTODOS	33
4.1	Caracterização e descrição da empresa em estudo.....	33
4.2	Coleta e organização dos dados	33
4.3	Introdução dos dados	35
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
6	CONCLUSÃO.....	56
	REFERÊNCIAS.....	57
	APÊNDICE A - ALGUNS POSSÍVEIS MODOS DE CORTES INDIVIDUAIS E CORTES EM CONJUNTOS	59
	APÊNDICE B – LISTA DE ALGUNS POSSÍVEIS MODOS DE CORTE.....	82
	APÊNDICE C – TAB. 6 COM ALGUNS CORTES POSSÍVEIS COM SUAS DEMANDAS E SEUS RESPECTIVOS DESPERDÍCIOS	87
	ANEXO A - CORTES REALIZADOS PELO SOFTWARE CORTE CERTO.....	89

ANEXO B - CORTES REALIZADOS PELO SOFTWARE OTIMIZE NESTING.....	92
---	-----------

1 INTRODUÇÃO

A Pesquisa Operacional vem sempre com o objetivo de auxiliar na tomada de decisões e seu procedimento básico constitui-se de uma análise prévia do cenário para que, então, sejam obtidos modelos matemáticos e, com o auxílio de ferramentas computacionais, possa encontrar a melhor solução para o problema, com o objetivo primeiro de minimizar os custos e maximizar os lucros.

Um tipo de cenário propício para a aplicação de pesquisa operacional é em problemas conhecidos como problemas de corte, que são encontrados, por exemplo, na indústria têxtil, na siderurgia, na indústria de papel e celulose, na indústria moveleira e em vidraçarias. Seu objetivo é definir a maneira de como serão cortadas às matérias primas de tal forma que se reduza ao máximo o desperdício e, ao mesmo tempo, atenda a todas as demandas contratadas.

Outro ponto importante é que a otimização no planejamento de corte de vidros também ocasiona em um produto de melhor qualidade e uma maior satisfação dos clientes, evitando os imprevistos em função da falta de material.

Sob este aspecto, os problemas de corte podem ser divididos em três categorias. No corte unidimensional em relação à largura, no corte unidimensional, no que diz respeito ao comprimento e no que concerne ao corte bidimensional (largura e comprimento), encaixam-se as empresas que cortam chapas e tecidos, que podem ser citadas como exemplo, chapas de vidros e de metais e em confecções respectivamente.

Muitas empresas tomam decisões por meio da intuição, pois, devido ao longo tempo de trabalho sendo realizado da mesma maneira, não inovam em seu modo de gestão. Pelo desconhecimento em relação a modelos matemáticos que podem ser resolvidos com o auxílio de ferramentas computacionais, diversas empresas não estão utilizando-se da melhor técnica para o corte dos vidros, ocasionando em um maior desperdício de material, gerando um alto custo para a empresa para a obtenção destas matérias primas. Esse desperdício poderia ser minimizado?

Com a correta utilização desses métodos, o desperdício no processo de corte de vidros ocorrido pode ser diminuído, a fim de satisfazer toda a sua demanda e reduzir o número de chapas a serem utilizadas.

Esse trabalho pode contribuir para a empresa, no âmbito de diminuir seus custos e também ser uma fonte de pesquisa para novos ingressantes na área da Pesquisa Operacional.

Neste sentido, o presente trabalho tem como objetivo analisar o processo de corte realizado manualmente em uma vidraçaria.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Desenvolver um modelo de programação linear inteira a fim de determinar um plano de corte para a redução de desperdício de matéria prima.

2.2 Objetivos Específicos

- Apresentar os planos de corte realizados pela empresa, bem como estimar o desperdício gerado;
- Aplicar o método de corte proposto por Nascimento (2012) e apresentar o desperdício;
- Fazer uma comparação entre dois tipos diferentes de ferramentas de corte automatizados;
- Confrontar os resultados obtidos a fim de avaliar a viabilidade da implementação;
- Identificar a ferramenta que mais se adequa ao processo produtivo da empresa analisada.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Pesquisa Operacional

Segundo Hillier e Lieberman (2010) a origem da Pesquisa Operacional (P.O.) teve o início na segunda guerra mundial em que deveriam ser alocados os recursos escassos de uma forma mais eficiente para cada diferente operação militar. Vários cientistas foram contratados pelos britânicos e americanos a fim de se resolver, através de pesquisas, os problemas táticos e operacionais enfrentados pelas duas nações.

De acordo com Marins (2011, p.12):

“Pode-se considerar que o nome pesquisa operacional é de origem militar, tendo sido usado pela primeira vez na Grã-Bretanha durante a Segunda Guerra Mundial. Em termos científicos, a pesquisa operacional é caracterizada por um campo de aplicações bastante amplo o que justifica a existência de várias definições, algumas tão gerais que podem se aplicar a qualquer ciência, e outras tão particulares que só são válidas em determinadas áreas de aplicação.”

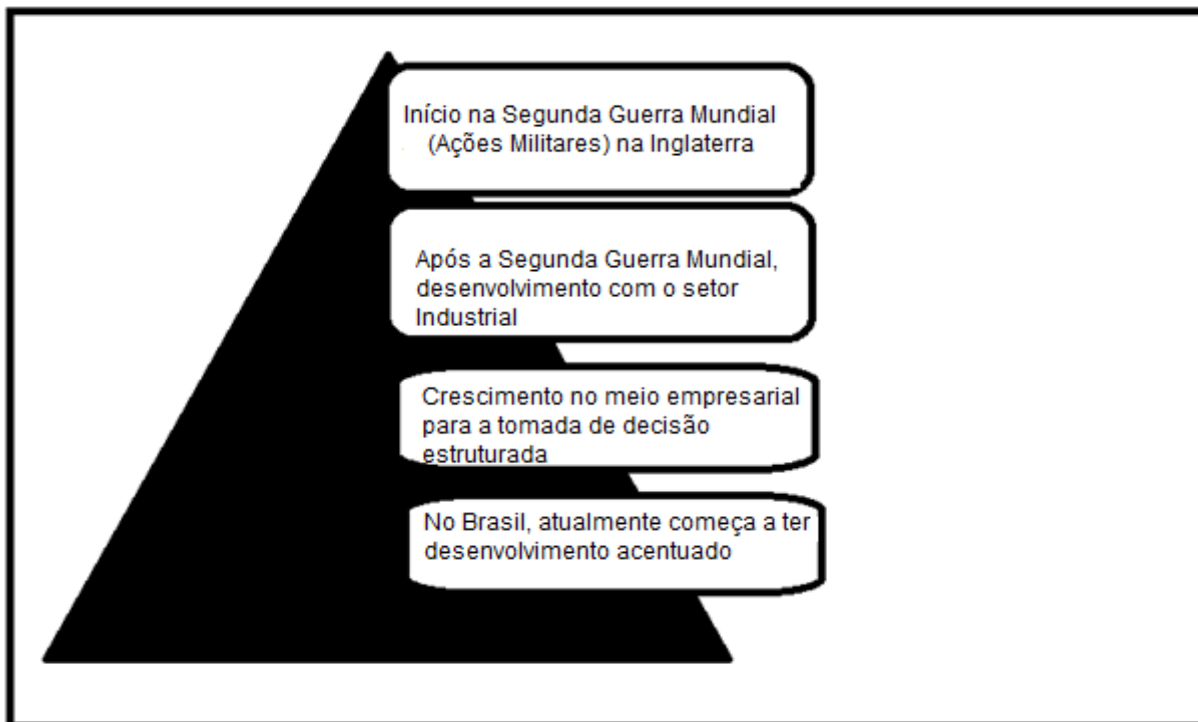
O início da P.O. vem da criação do radar na Inglaterra no século XX. Após dois anos, o ministério da aviação da Inglaterra cria a estação *Manor Bawdsey*, na cidade de Suffolk, para instruir-se de como esta tecnologia poderia ajudar a deter aviões inimigos (ARENALES et al, 2007).

Taha (2008, p.1) diz que "Após a guerra, as ideias propostas para operações militares foram adaptadas para melhorar a eficiência e a produtividade no setor civil."

Para Arenales et al (2007), em meados da década de 50 até o final da década de 1960, a P.O. foi aplicada a vários setores públicos e privados, sendo direcionada a gestão de empresas mineradoras, metalúrgicas, civil, têxtil, farmacêutica e transportes. Desde então, tem sido aplicada nas indústrias de alimentação, automóveis, aviação, eletrônica, além de bancos, hospitais, turismo, esportes e trânsito. No Brasil, a P.O. teve seu início na década de 1960. O primeiro simpósio de P.O. foi em 1968 no Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) e logo após foi fundada a Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional (SOBRAPO) há mais de 25 anos e desde então reúne muitos profissionais da área em universidades, empresas e em órgãos públicos, podendo ser federais, estaduais ou até municipais.

A FIG. 1 apresentada a seguir, mostra de uma forma resumida, a trajetória da P.O.

Figura 1 - A trajetória da pesquisa operacional ao longo do tempo.



Fonte: Adaptado de Alves, 2009.

Para Colin (2007), pesquisa operacional pode ser definida de várias formas, mas três características devem pertencer a todas elas. Devem ser usados métodos matemáticos para que se resolvam os problemas; a constante otimização e orientação a aplicações.

De acordo com Arenales et al (2007, p. 14) "pesquisa operacional é a aplicação de métodos científicos a problemas complexos para auxiliar no processo de tomada de decisões, tais como projetar, planejar e operar sistemas em situações que requerem alocações eficientes de recursos escassos."

Segundo Silva et al (2010, p.1) "pesquisa operacional é um método científico de decisões. 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."

Para Ehrlich (1991), a pesquisa operacional é vista de uma maneira que possa ser utilizada com o objetivo de organizar processos que não estão corretos,

através da elaboração de modelos matemáticos a fim de se resolver determinadas situações.

Segundo Andrade (2012) um estudo de pesquisa operacional deve seguir seis fases, a saber:

1. Definição do problema: Um problema de P.O. apoia-se em três aspectos que devem ser mencionados.

- Descrição exata dos objetivos do estudo: sendo uma das mais cruciais no processo de estudo, pois é a partir deste princípio que o modelo é criado.
- Identificação das alternativas de decisões existentes e;
- O reconhecimento das limitações, restrições e das exigências do sistema: são muito importantes que as alternativas de decisão e as limitações existentes estejam todas expostas, para que assim, as soluções do processo final sejam aceitas e válidas.

2. Construção do modelo: Um bom modelo que represente o sistema deve ser eleito com base na definição do problema. Muitos modelos podem ser elaborados para a solução de problemas, desde simples modelos que representam a inter-relação entre as informações até modelos mais difíceis que demandam muito trabalho para sua criação e operação.

3. Solução do modelo: Com a utilização de modelos matemáticos, pode ser encontrada a solução ótima através de algoritmos mais adequados, que são rápidos e precisos em suas respostas.

4. Validação do modelo: Nesta fase, é preciso investigar a validade do modelo. O modelo é aceito, caso ele for capaz de oferecer uma previsão que seja aceitável e uma resposta que possa ajudar na qualidade da decisão que será tomada.

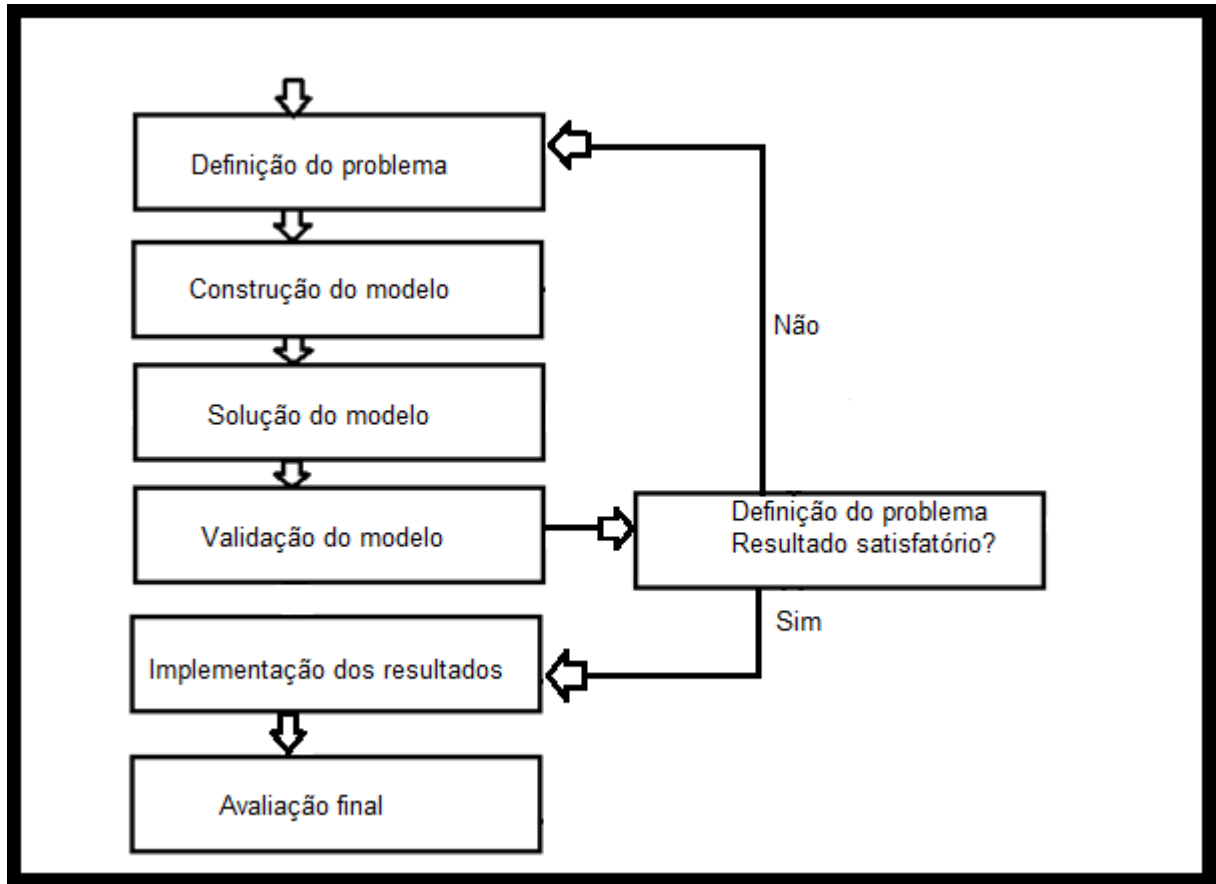
5. Implementação da solução: Assim que obtidas as vantagens da solução obtida e validada, ela deve ser implementada, sendo uma das etapas mais críticas do processo. A implantação deve ser controlada, pois os valores da nova solução podem necessitar de correções, exigindo a reconstrução do modelo em algumas partes.

6. Avaliação final: Na última fase do estudo tem-se a avaliação dos resultados que foram conseguidos e com isto, garante-se uma melhor adequação e aceitação por todos os setores envolvidos. É de suma importância, a experiência do pessoal envolvido no estudo. O modelo é simplesmente uma representação simples, que

não aproveita todas as características da realidade. Com experiência e uma visão crítica é que se pode determinar à aplicação da decisão.

A FIG. 2 mostra de uma forma clara, as seis fases para o estudo da P.O.

Figura 2 - Fases de um estudo de Pesquisa Operacional.



Fonte: Adaptado de Andrade, 2012.

3.2 Programação Linear

Segundo Moreira (2007, p.11), é muito comum utilizar-se da Programação Linear (P.L.), visto que:

A programação linear é, se não o mais popular, um dos modelos matemáticos mais populares, estruturado para resolver problemas que apresentem variáveis que possam ser medidas e cujos relacionamentos possam ser expressos por meio de equações e/ou inequações lineares. Há muitos problemas que podem ser formulados dessa maneira, em muitas áreas científicas e sociais, pelo menos de forma aproximada, vindo daí o uso intenso do modelo.

Para Luna e Goldberg (2005), o modelo da P.L., acompanhado de algoritmos hoje existentes, pode ser implementado de uma maneira fácil em planilhas através de computadores.

Segundo Ermes (2010), como o modelo é bastante simples, juntamente com o uso de programas computacionais, fazem com que a programação linear seja uma das técnicas mais utilizadas na pesquisa operacional, tendo-se muitas aplicações em controles de estoque, produção, finanças, etc.

De acordo com Caixeta Filho¹ (2001 apud COUTINHO e SILVA, 2013, p. 28), a P.L. é o “Aprimoramento de uma técnica de resolução de sistema de equações lineares via inversões sucessivas de matrizes, com a vantagem de incorporar uma equação linear adicional representativa de um dado comportamento que deva ser otimizado”.

Já para Ehrlich (1991), a P.L. pode ser descrita como uma ferramenta que ajuda a planejar as atividades (variáveis de decisão), sendo que estas atividades (diversas alternativas) estão competindo entre si pelo uso dos recursos escassos (restrições) e que necessitam atender a certos requisitos mínimos.

Para Chiavenato² (2003 apud SANTOS, 2014, p. 450):

“Programação Linear é uma técnica matemática que permite analisar os recursos de produção no sentido de maximizar o lucro e minimizar o custo. É uma técnica de solução de problemas que requer a definição dos valores das variáveis envolvidas na decisão para otimizar um objetivo a ser alcançado dentro de um conjunto de limitações ou restrições, que constituem as regras do jogo”.

Moreira (2007) cita que um problema típico de P.L. apresenta duas grandes partes, a saber:

- Função objetivo: é a expressão em que se quer maximizar ou minimizar um arranjo de variáveis. Na expressão, constam as variáveis que são essenciais cuja sua quantidade será a solução do problema. A essas variáveis, atribui-se o nome de variáveis de decisão.

¹ CAIXETA FILHO, J. V., **Pesquisa operacional: técnicas de otimização aplicadas a sistemas agroindustriais**. São Paulo: Atlas, 2001.

² CHIAVENATO, I. **Introdução à teoria geral da administração**: uma visão abrangente da moderna administração das organizações. 7. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003.

- Restrições: é escrita na forma de equações ou inequações matemáticas e simbolizam as restrições da situação, como escassez de recursos, demanda e capacidade em kg, etc.

A melhor alternativa seria a de maximizar ou minimizar a função objetivo e simultaneamente obedecer todas as restrições.

Para Lisboa (2002), para a formulação de um problema dentro da P.L., devem ser feitos três passos simples:

- Delimitar o objetivo básico do problema: se escolhe a melhor alternativa para a solução ótima, ou seja, a maximização para casos de lucros, receitas ou a minimização nos casos de custos e perdas.
- Especificar as variáveis de decisão: Devem ficar explícito quais as decisões que serão tomadas para que se atinja o resultado na função objetivo. Exemplo: Se o problema é de programação para transporte de cargas, as quantidades de cargas transportadas para cada região são as variáveis de decisão.
- Declarar as restrições que irão limitar as variáveis de decisão: mão de obra disponível, recursos disponíveis, quantidade X de itens a serem produzidos.

Belfiore e Fávero (2013) especifica que em um problema de P.L., a função objetivo e as limitações do modelo devem ser lineares, já as variáveis de decisão devem ser contínuas (podendo ser valores fracionados), não podem ser negativas e o modelo deve atender a algumas hipóteses:

- Proporcionalidade: solicita que o valor da função objetivo e as restrições do modelo sejam proporcionais ao valor de cada variável de decisão.
- Aditividade: Nesta hipótese, afirma-se que o valor da função objetivo em sua totalidade ou de cada restrição de um modelo de programação linear é definido pela soma das contribuições de cada variável de decisão, ou seja, não há existência de termos cruzados, nem na função objetivo quanto nas limitações do modelo.
- Divisibilidade e não negatividade: As variáveis de decisão podem adotar quaisquer valores, podendo inclusive ser fracionários, desde que não seja negativo e satisfaçam as restrições do modelo. Quando são assumidos

apenas valores inteiros, o modelo é denominado de programação linear inteira ou também simplesmente de programação inteira.

- Certeza: Nesta hipótese afirma-se que os coeficientes da função objetivo, das limitações e termos independentes de um modelo de programação linear são determinísticos, ou seja, são constantes e conhecidos.

3.3 Forma básica de um modelo de Programação Linear

Conforme Chiang (1982), um modelo matemático de um problema de P.L. pode ser formulado da seguinte maneira:

$$\text{Maximizar ou Minimizar} \quad z = C_1X_1 + C_2X_2 + \dots + C_nX_n \quad (1)$$

$$\text{Sujeito a:} \quad \begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n &\leq r_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n &\leq r_2 \end{aligned} \quad (2)$$

.....

$$\begin{aligned} a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n &\leq r_m \\ x_i &\geq 0 \quad (i = 1, 2, \dots, n) \end{aligned} \quad (3)$$

onde:

- (1) Função objetivo;
- (2) restrições identificadas do problema.
- (3) é a condição de não negatividade.

“z” é a função a ser maximizada ou minimizada, respeitando o conjunto de restrições.

“xi” são as variáveis decisórias que representam as quantidades ou recursos que se quer determinar para otimizar o resultado global.

“ C_i ” são os coeficientes de ganho ou custo que cada variável é capaz de gerar.

“ r_j ” representa a quantidade disponível de cada recurso.

“ a_{ij} ” representa a quantidade de recursos que cada variável decisória consome.

3.4 Modelagem de problemas em programação linear para a minimização

Para Moreira (2007), a sequência dos passos da maximização para a minimização é a mesma, como segue no exemplo do próprio autor a seguir:

Uma granja deseja misturar dois tipos de alimentos a fim de se criar uma ração especial para suas galinhas. O primeiro objetivo a ser alcançado é de se ter o menor preço possível por unidade de peso. Cada alimento possui os nutrientes necessários para sua ração final, (chamados de X, Y e Z), porém em proporções diferentes. A cada 100g do alimento 1, possui 10g do nutriente X, 50 g do nutriente Y e 40 gramas do nutriente Z. Já o alimento 2, para cada 100g, existem 20g do nutriente X, 60g do nutriente Y e também 20g do nutriente Z. O custo para 100g do alimento 1 custa R\$ 0,60 e a cada 100g do alimento 2 custa para a granja o valor de R\$ 0,60. A ração final deve ter no mínimo, 2g do nutriente X, 64g do nutriente Y e 34 g do nutriente Z. Esta composição deve ser obedecida, minimizando ao mesmo tempo o custo por peso desta nova ração. Portanto, segundo o autor, X e Y são as variáveis de decisão.

A TAB. 1 a seguir ajuda a mostrar claramente as relações entre os três nutrientes, os dois alimentos e a nova ração.

Tabela 1 – Nutrientes, alimentos, quantidades mínimas e seus custos.

Alimentos	Nutrientes			Custo por 100g
	X	Y	Z	
Alimento 1	10	50	40	R\$ 0,60
Alimento 2	20	60	20	R\$ 0,60
Alimento 3	2	64	34	

Fonte: Adaptado de Moreira (2007).

Deseja-se encontrar o modelo de P.L., de forma que se minimize o custo e, ao mesmo tempo, obedeça a todas as restrições.

As variáveis de decisão são as quantidades em gramas dos alimentos 1 (x) e 2 (y). O Objetivo é minimizar o custo de produção da ração e as restrições são as quantidades mínimas necessárias de cada nutriente. Portanto, segundo Moreira (2007), a modelagem para o problema de minimização, é:

$$\text{Minimizar: } f(x, y) = \frac{0,60}{100}x + \frac{0,60}{100}y \quad (1)$$

$$\text{Sujeito a: } 0,1x + 0,2y \geq 2 \quad (2)$$

$$0,5x + 0,6y \geq 64 \quad (3)$$

$$0,4x + 0,2y \geq 34 \quad (4)$$

$$(x, y) \geq 0 \quad (5)$$

- (1) Função objetivo;
- (2) Quantidade total do Nutriente x;
- (3) Quantidade total do Nutriente y;
- (4) Quantidade total do Nutriente Z;
- (5) Condições de não negatividade.

Segundo Moreira (2007, p. 21) “Se um problema de programação linear tiver apenas duas variáveis de decisão, ele poderá ser em princípio, resolvido graficamente, não obstante alguma poluição visual que se possa formar”.

3.5 Simplex

De acordo com Belfiori e Fávero (2013, p.81) “A origem do método simplex para resolução de programas de P.L. deu-se em 1947, com a disseminação da P.O. nos Estados Unidos depois da Segunda Guerra Mundial, por uma equipe liderada por George B. Dantzig.”

Para Izmailov e Solodov (2012, p.400):

O método do simplex é historicamente o primeiro método computacional para otimização com restrições. Foi ele que permitiu a resolução de primeiros problemas de otimização de "vida real", dando início ao desenvolvimento de métodos computacionais de otimização. Mesmo sendo o método mais "velho", implementações sofisticadas da ideia básica são bem eficientes e são utilizadas até agora.

Ainda segundo os autores, para problemas que possuem várias equações e variáveis, o algoritmo simplex pode ser utilizado para qualquer modelo de P.L.

Conforme Moreira (2007, p. 61):

O simplex é uma metodologia que envolve uma sequência de cálculos repetitivos por meio dos quais é possível chegar à solução de um problema de programação linear. Essa sequência de cálculos recebe o nome de algoritmo. Embora simples, os cálculos são tediosos, e para problemas com três ou mais variáveis de decisão, pode-se facilmente errar em alguma das etapas, invalidando assim todos os esforços. Rapidamente foram elaborados programas de computador para trabalhar com o algoritmo.

Para Luna e GoldBarg (2005), o método mais utilizado para resolver problemas de PL é utilizando-se do algoritmo Simplex.

Com o intuito de tornar mais eficaz e padronizar os cálculos do método Simplex, foram criados dois requisitos para as restrições dos problemas: (TAHA, 2008).

- Todas as restrições (com exceção da não-negatividade das variáveis) são equações cujos lados direitos são não negativos.
- Todas as variáveis são não negativas.

3.6 Programação Linear Inteira

Taha (2008, p.156) afirma que "Programação linear inteira (P.L.I.) são programações lineares nas quais algumas ou todas as variáveis estão restritas a valores inteiros (ou discretos)." Os tipos existentes programação linear Inteira são classificados, segundo Colin (2007), como:

- Problema de programação inteira pura: todas as variáveis são constituídas de valores inteiros;

- Problema de programação inteira mista: existem variáveis de valores inteiros e também variáveis de valores contínuos.
- Problemas de programação inteira com variáveis 0-1 ou binárias: As variáveis, na sua totalidade, estão com valores de 0 ou 1.

O primeiro algoritmo *Branch-and-Bound* (*branch* significa ramo e *bound* significa limite) para resolver problemas inteiros e binários da PLI, foi desenvolvido em 1960 por A. Land e G. Doig. (BELFIORE; FÁVERO, 2013).

Segundo Belfiore e Fávero (2013, p. 359) o algoritmo *Branch-and-Bound*:

É um método de divisão e conquista em que o problema original é dividido ou ramificado em subproblemas menores. Resolve-se o problema para estas instâncias menores; cada subproblema gera um limite superior (problema de maximização) ou inferior (problema de minimização) sobre o valor da função objetivo. As soluções dos subproblemas são combinadas até que se obtenha a solução ótima do problema original.

3.7 Modelagem de um problema de corte em Programação Linear Inteira (P.L.I.)

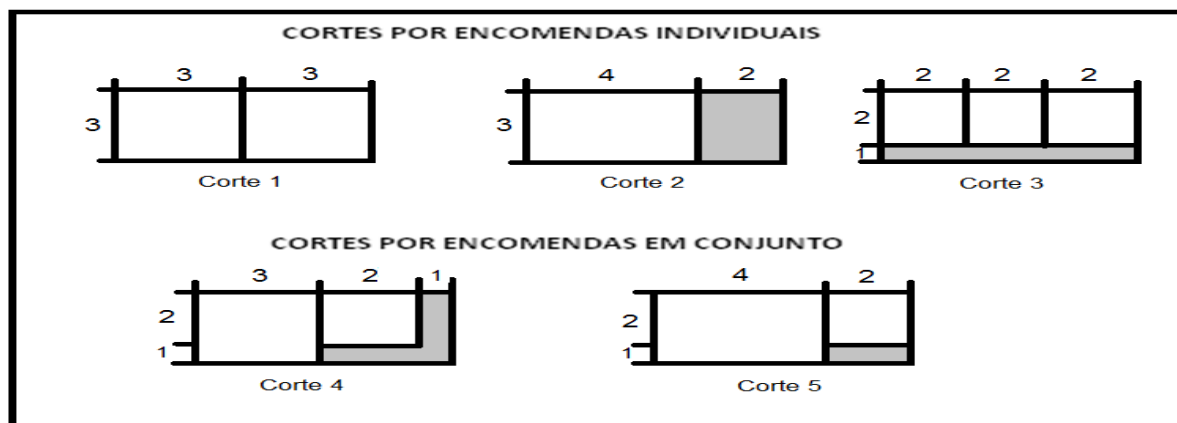
Para compreender um modelo de P.L.I., é utilizado o exemplo de Nascimento (2012), em que uma empresa fabrica chapas na dimensão de 6m x 3m e possui para sua semana, a solicitação (demanda) de algumas encomendas, similar ao problema do corte, proposto neste trabalho de conclusão de curso, descritas a seguir.

- ✓ Encomenda A: Produzir 70 chapas de dimensão 3m x 3m.
- ✓ Encomenda B: Produzir 60 chapas de dimensão 4m x 3m.
- ✓ Encomenda C: Produzir 80 chapas de dimensão 2m x 2m.

Segundo Nascimento, (2012) a questão é de como se dever programar o corte para estas chapas, satisfazendo todas as encomendas e ainda minimizando ao máximo o seu desperdício?

Na FIG. 3 a seguir, encontra-se a seguinte programação de cortes, individuais e em conjuntos do corte das chapas proposto por Nascimento (2012).

Figura 3 - Cortes por encomendas individuais e em conjuntos.



Fonte: Adaptado de Nascimento, 2012.

Após a elaboração dos cortes das encomendas individuais e dos cortes por encomendas em conjuntos, Nascimento (2012) diz que deve ser feita a relação de todos os modos possíveis para o corte, com cautela nas encomendas, podendo ser observado a seguir (TAB 2).

Tabela 2 - Elaboração dos modos possíveis de corte.

Cortes	Corte 1	Corte 2	Corte 3	Corte 4	Corte 5
Encomendas					
A (3mx3m)	2	-	-	1	-
B (4mx3m)	-	1	-	-	1
C (2mx2m)	-	-	3	1	1
Desperdício	0m ²	6m ²	6m ²	5m ²	2m ²

Fonte: Adaptado de Nascimento, 2012.

Assim, as variáveis de decisão são cinco e que são o número de chapas que irão sofrer o corte.

- ✓ x_1 – Número de chapas a serem cortados segundo o corte número 1;
- ✓ x_2 – Número de chapas a serem cortados segundo o corte número 2;
- ✓ x_3 – Número de chapas a serem cortados segundo o corte número 3;
- ✓ x_4 – Número de chapas a serem cortados segundo o corte número 4;
- ✓ x_5 – Número de chapas a serem cortados segundo o corte número 5.

Neste problema de Nascimento (2012) para P.L.I., o objetivo é de diminuir ao máximo o desperdício e ainda obedecer a um conjunto de restrições, sendo de produzir, no mínimo, 70 chapas para a encomenda A (3m x 3m), 60 chapas para a encomenda B (4m x 3m) e 80 chapas para a encomenda C (2m x 2m).

Sendo assim, neste exemplo de PLI, a função objetivo e as restrições podem ser escritos da seguinte maneira:

Minimizar o desperdício total: $z = 0x_1 + 6x_2 + 6x_3 + 5x_4 + 2x_5$

Sujeito às restrições das encomendas:

$$\text{Encomenda A: } 2x_1 + x_4 \geq 70$$

$$\text{Encomenda B: } x_2 + x_5 \geq 60$$

$$\text{Encomenda C: } 3x_3 + x_4 + x_5 \geq 80$$

$$x_i \geq 0, 1 \leq i \leq 5 \text{ e inteiros}$$

Os valores 70, 60 e 80 representam a quantidade de chapas que deverão ser feitas, sendo as restrições do exemplo.

Após a introdução dos dados no suplemento Solver em planilhas eletrônicas, este nos fornece o melhor resultado para o problema. De acordo com Taha (2008) com o algoritmo *Branch and Bound*, o solver faz um ajuste nos valores das células variáveis de decisão satisfazendo os limites sobre as células que estão às restrições e fornece o resultado na célula objetivo. Como resposta a esse exemplo, o solver fornece os seguintes resultados:

- O valor do desperdício mínimo é de 160m², pois, é o valor da função objetivo.
- Foram cortadas 35 chapas segundo o corte 1 (3m x 3m) e 80 chapas segundo o corte 5 (4m x 3m e 2m x 2m).
- Não houve cortes de chapas segundo os cortes 2, 3 e 4.
- O valor do desperdício em termos percentuais das chapas vale 7%, visto que, cada chapa possui área no valor de $6 \times 3 = 18\text{m}^2$. O total de chapas cortadas foram de 115 chapas, então, a área total das chapas é de $115 \times 18 = 2070\text{m}^2$.
Com o desperdício no valor de 160m², então $\left(\frac{160}{2070}\right) \times 100 = 7\%$.

3.8 Ferramentas computacionais para resolução de problemas de corte

Para Sacoman (2012), o método Gradiente Reduzido Generalizado (GRG), foi apresentado por Carpentier e Abadie em 1966. Em seguida, a empresa *Frontline*

System Inc. obteve os direitos para a utilização do método G.R.G., criando-se o solver em várias versões. A empresa inicia um acordo com a *Microsoft*, sendo desenvolvida uma versão especialmente do solver para sua utilização em planilhas eletrônicas.

Para Júnior e Souza (2004, p.4) "O solver ajusta os valores nas células variáveis que você especificar – chamadas de células ajustáveis – para produzir o resultado especificado por você na fórmula da célula de destino."

Segundo Belfiore e Fávero (2013), o solver pode resolver problemas com no máximo 200 variáveis de decisão e 100 restrições e para que ele possa ser utilizado, deve-se iniciar o suplemento solver da planilha eletrônica.

Para Jacobes e Chase (2012) existem duas opções que devem ser selecionadas para problemas de P.L., sendo a primeira opção de presumir modelo linear a fim de dizer ao solver que não estão presentes na planilha cálculos não lineares e a segunda opção de presumir não negativos para determinar que a solução do problema deva ser maior ou igual à zero. Após as marcações, clica-se em ok para voltar à caixa principal do solver e logo em seguida em resolver para que seja solucionado o problema. Caso o solver encontre uma resposta, ele dará a notificação.

Para McFredies³ (2009 apud SANTOS, 2014, p. 25), o solver é um programa bastante aprimorado, permitindo encontrar as soluções de problemas complexos, possibilitando as seguintes vantagens:

- ✓ Especificar múltiplas células ajustáveis;
- ✓ Configurar restrições nas células ajustáveis;
- ✓ Procurar não apenas o resultado desejado, mas também o resultado ótimo;
- ✓ Capacidade de gerar múltiplas soluções (para problemas complexos).

Para as três versões do *Software Corte Certo*, *Mini*, *Standard* e *Plus* oferecem a correta solução na busca da divisão de uma ou mais chapas em peças menores, na busca do melhor aproveitamento do material utilizado com a maior rapidez possível e que as respostas são apresentadas em forma de diagramas e relatórios,

³ MCFEDRIES, P. **Fórmulas e funções com Microsoft® Office Excel 2007**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

que podem ser visualizados na tela ou impressos. O Corte Certo possui excelentes resultados devido ao seu uso de sofisticados algoritmos, com técnicas de buscas heurísticas com a programação linear. (CORTE CERTO - SOFTWARE PARA OTIMIZAÇÃO DE PLANOS DE CORTE).

Chapa é qualquer material plano que será cortado, com a obtenção de pedaços menores, chamados de peças. Já a peça, é o pedaço a ser cortado da chapa, podendo ser uma janela, tampo de mesa, etc. Um projeto pode ser definido como uma lista das peças que serão cortadas das chapas e pode ser que as mesmas tenham diferentes medidas e materiais. No que se diz ao plano de corte, este pode ser definido como um desenho que contém a posição das peças para o corte. Retalho é toda aquela sobra da chapa que é adquirida no processo do corte, que dependendo de seu tamanho, as torna reaproveitável e que no *software* é representado pela cor amarela. Já a sobra é toda aquela parte que contém dimensões tão pequenas que não podem mais sofrer cortes, fazendo com que seja inutilizada representada na cor azul.

São citadas algumas características do *software*, como:

- ✓ Realiza em poucos segundos cálculos que poderiam durar horas se feitos manualmente;
- ✓ Minimiza o desperdício de material;
- ✓ Não precisa da conexão com a internet;
- ✓ Verifica com rapidez a quantidade de chapas necessárias para atender pedidos;
- ✓ Reduz custos com estoque, já que a melhor administração e aproveitamento das chapas/retalhos disponíveis permitem mantê-las em número menor;
- ✓ Reduz índice de erros com o corte (exemplo: cortes em duplicidade).
- ✓ Torna a empresa mais competitiva (ou evita que seja “engolida” pela concorrência).
- ✓ O preço de R\$ 831,36 para a versão *Mini* para pequenas empresas em um primeiro momento pode parecer caro;
- ✓ A licença só é válida para um único computador.

Já o *software Otimize Nesting*, é um programa online em que realiza o planejamento de cortes e encontra a melhor aproveitamento para as chapas.

Pegando-se uma base nas peças em que serão cortadas e os tipos de chapas que estão disponíveis, o *software* faz o cálculo automaticamente para o corte de cada peça, de tal forma em que as sobras serão mínimas. Com o *Optimize Nesting*, não é necessário fazer nenhum tipo de *download*, pois o mesmo funciona diretamente pelo navegador da internet como se fosse uma página, podendo assim ser acessado de qualquer computador que esteja conectado a rede. (OTIMIZE NESTING - SOFTWARE PARA PLANOS DE CORTE).

Em relação às características do *software*, há:

- ✓ Eliminação de desperdício;
- ✓ Realiza de forma rápida os cálculos que manualmente levaria horas;
- ✓ O custo com estoques é menor;
- ✓ Relatórios;
- ✓ Pode ser utilizado com a conta em diferentes computadores;
- ✓ Há um melhor controle da produção;
- ✓ Faz o cálculo do material gasto;
- ✓ O valor da licença é baixo R\$ 60,00/mês;
- ✓ Precisa da conexão com a internet.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização e descrição da empresa em estudo.

O estudo foi realizado em uma empresa vidraceira situada na cidade de Lagoa da Prata, região Centro Oeste do estado de Minas Gerais, que atua no mercado há 15 anos, no comércio e instalação de vidros comuns, espelhos e também vidros temperados, possuindo atualmente 7 funcionários.

A empresa trabalha com as seguintes chapas de vidros: chapas cristal incolor, chapa espelho cristal incolor e chapa de vidro canelado cuja dimensão é de 1,6 metros de largura por 2,2 metros de comprimento e também chapas do tipo pontilhada e mini boreal com dimensões de 1,7 metros de largura e 2,2 metros de comprimento.

As chapas são enviadas por fornecedores de Divinópolis - MG e os vidros temperados da marca Blindex®, são comprados da cidade de Belo Horizonte - MG, já prontos para a instalação, pois, os mesmos não podem ser cortados, uma vez que se alterados correm o risco de serem danificados devido aos tratamentos térmicos.

Durante o processo de corte dos vidros, os mesmos são colocados em uma mesa forrada com carpete para se evitar algum risco na chapa de vidro que irá ser cortada com a utilização de uma ferramenta de corte com rolete de vídeo.

4.2 Coleta e organização dos dados

Os dados foram coletados durante o mês de julho do ano de 2015 e foram adquiridos por meio de documentos fornecidos pela empresa nos quais constavam o número do pedido, a data, o tipo de vidro, a espessura, sua dimensão e a quantidade necessária.

No QUADRO 1, encontram-se os tipos de vidros comercializados na empresa.

Quadro 1: Tipos de vidros encontrados com sua espessura na vidraçaria.

Vidro Pontilhado de 3 mm
Vidro Canelado de 3 a 4 mm
Vidro Mini Boreal de 3 mm
Espelho Cristal Incolor de 3, 4, 5, 6 mm
Vidro Cristal Incolor de 3, 4, 5, 6, 10, 12, 15 e 19 mm

Fonte: Dados da empresa pesquisada, 2015.

Dentre os dados coletados consta o tipo e dimensões dos vidros que devem ser cortados, cortes estes, que até o presente momento, são realizados de maneira subjetiva sem o auxílio de nenhuma técnica ou ferramenta para auxiliar no correto processo de corte, pois esses cortes são realizados utilizando-se apenas de calculadora para a realização de alguns cálculos e uma régua de madeira.

A TAB. 3 mostra as medidas solicitadas, bem como seu tipo, espessura e quantidade de encomenda no mês de julho do ano de 2015.

Tabela 3 - Medidas e quantidades de encomendas requisitadas no mês de julho.

Medida	Tipo	Espessura	Quantidade
70 cm x 75 cm	Espelho cristal incolor	3mm	16
75 cm x 72 cm	Espelho cristal incolor	4mm	1
11 cm x 13 cm	Espelho cristal incolor	5mm	1
80 cm x 2,2 m	Espelho cristal incolor	3mm	11
40 cm x 1,5 m	Espelho cristal incolor	3mm	6
23 cm x 92 cm	Espelho cristal incolor	5mm	1
50 cm x 70 cm	Espelho cristal incolor	3mm	16
25 cm x 55 cm	Espelho cristal incolor	3mm	1
35 cm x 1,05 m	Espelho cristal incolor	3mm	14
24 cm x 17 cm	Vidro pontilhado	3mm	8
33 cm x 20 cm	Vidro pontilhado	3mm	12
23 cm x 23 cm	Vidro pontilhado	3mm	22
24 cm x 19 cm	Vidro Cristal	3mm	1
70 cm x 47 cm	Vidro Cristal	3mm	1
17 cm x 23 cm	Vidro Cristal	3mm	2
20 cm x 25 cm	Vidro Cristal	3mm	1
70 cm x 20 cm	Vidro Cristal	10mm	2
44 cm x 23 cm	Vidro Cristal	3mm	2
55 cm x 18 cm	Vidro Canelado	3 a 4mm	3
24 cm x 72 cm	Vidro Canelado	3 a 4mm	4
80 cm x 35 cm	Vidro Canelado	3 a 4mm	2
86 cm x 23 cm	Vidro Canelado	3 a 4mm	6
56 cm x 24 cm	Vidro Canelado	3 a 4mm	8
45 cm x 16 cm	Vidro Canelado	3 a 4mm	2
26 cm x 86 cm	Vidro Canelado	3 a 4mm	16

Fonte: Dados da empresa pesquisada, 2015.

Não houve pedidos do tipo Mini Boreal nesse período.

4.3 Introdução dos dados

Os dados serão tratados no suplemento Solver de planilhas eletrônicas e também em softwares automatizados para a geração de planos de corte, tais como *Otimizar Nesting* e Corte Certo 2D Mini.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Devido a grande quantidade de demanda de pedidos gerada pela empresa no período em estudo, e para tornar possível a realização do método proposto por Nascimento (2012), na TAB. 4 foram listadas para a realização da análise, as seguintes demandas com suas medidas e quantidades respectivamente:

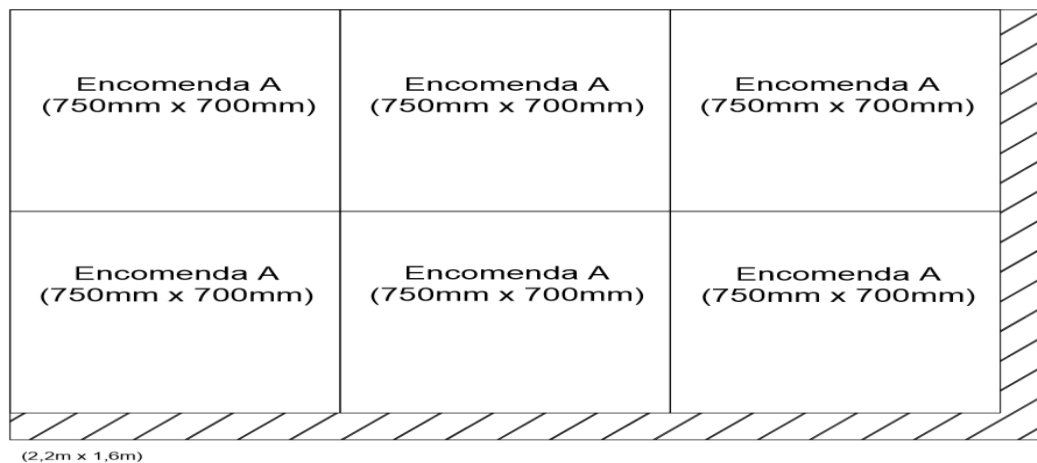
Tabela 4 – Demandas com suas medidas e quantidades necessárias.

Medida	Tipo	Espessura	Quantidades
0,75m x 0,70m	Espelho cristal incolor	3 mm	16
1,50m x 0,40m	Espelho cristal incolor	3 mm	6
1,05m x 0,35m	Espelho cristal incolor	3 mm	14
2,20m x 0,80m	Espelho cristal incolor	3 mm	11
0,70m x 0,50m	Espelho cristal incolor	3 mm	16

Fonte: Dados da empresa pesquisada, 2015.

Para o atendimento ao cliente em relação às demandas contratadas, a empresa adotou os cortes sem nenhum planejamento adequado, utilizando-se apenas de uma mesa com carpete de 2,5 m de comprimento x 2,5 m de largura em que as placas foram colocadas sobre a mesma, uma régua de madeira, uma caneta cortadora de vidros e uma calculadora. O desperdício origina-se em refugo para a empresa, que, posteriormente, é enviado para o lixo da mesma. A esquematização de como esses cortes foram realizados, estão apresentados nas FIG. 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 e 11 seguintes:

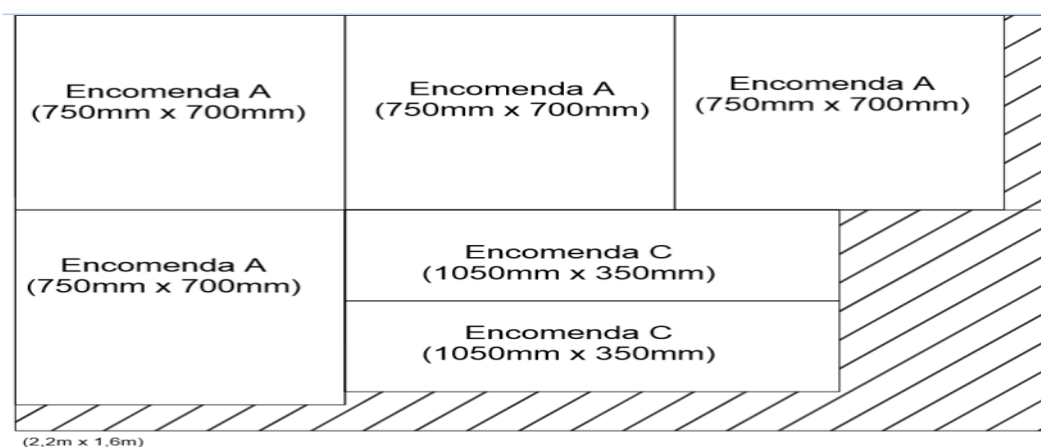
Figura 4 - Cortes realizados para a encomenda A.



Fonte: Dados da empresa pesquisada, 2015.

Foram utilizadas duas placas de vidro para o corte de 12 unidades da encomenda A com um desperdício de 0,37 m² em cada placa. Como foram utilizadas duas placas, o total do desperdício foi de 0,74 m².

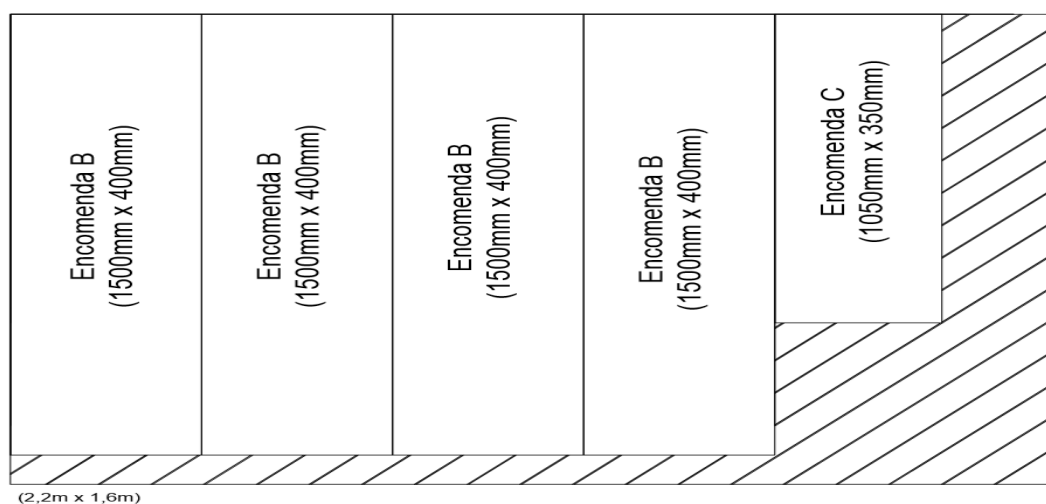
Figura 5 – Cortes realizados para as encomendas A e C.



Fonte: Dados da empresa pesquisada, 2015.

Foi utilizado uma placa de vidro para o corte de 4 unidades da encomenda A e 2 unidades da encomenda C com um desperdício total de 0,68 m².

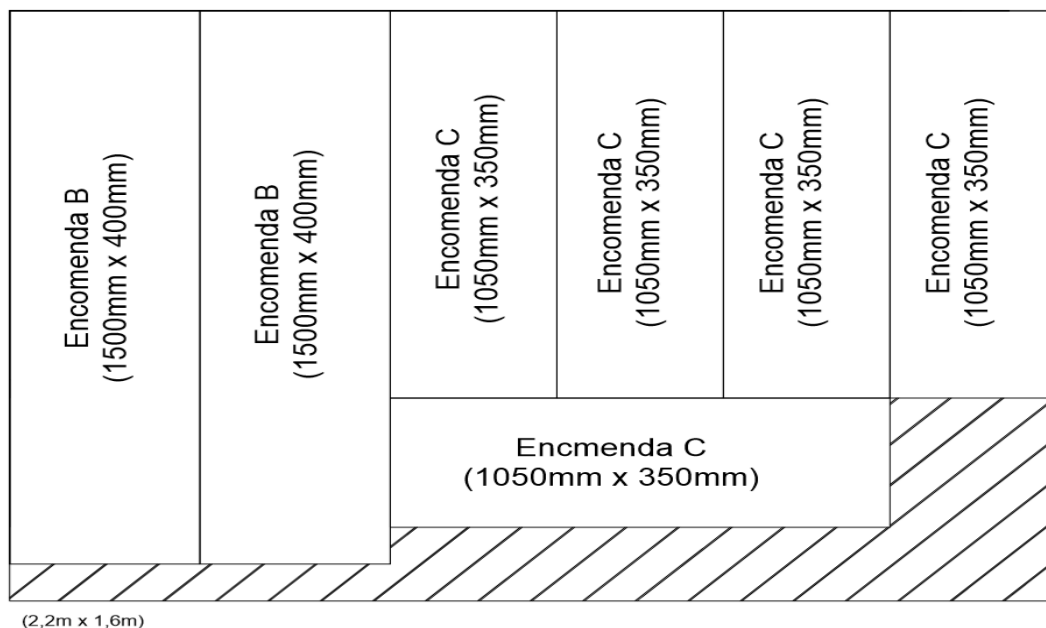
Figura 6 – Cortes realizados para as encomendas B e C.



Fonte: Dados da empresa pesquisada, 2015.

Foi utilizado uma placa de vidro para o corte de 4 unidades da encomenda B e uma unidade da encomenda C com um desperdício total de 0,75 m².

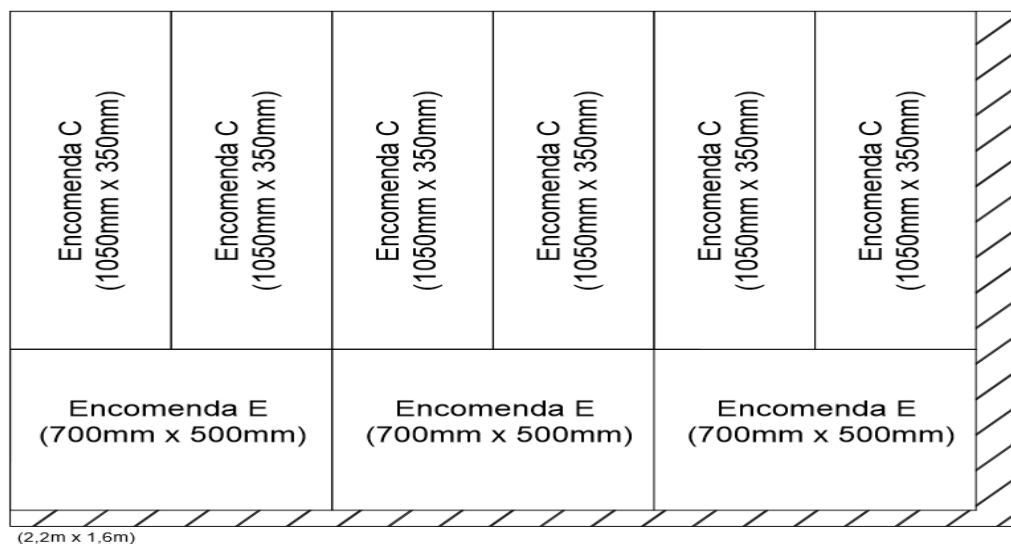
Figura 7 – Cortes realizados para as encomendas B e C.



Fonte: Dados da empresa pesquisada, 2015.

Foi utilizado uma placa de vidro para o corte de 2 unidades da encomenda B e 5 unidades da encomenda C com um desperdício total de 0,48 m².

Figura 8 – Cortes realizados para as encomendas C e E.



Fonte: Dados da empresa pesquisada, 2015.

Foi utilizado uma placa de vidro para o corte de 6 unidades da encomenda C e 3 unidades da encomenda E com um desperdício total de 0,26 m².

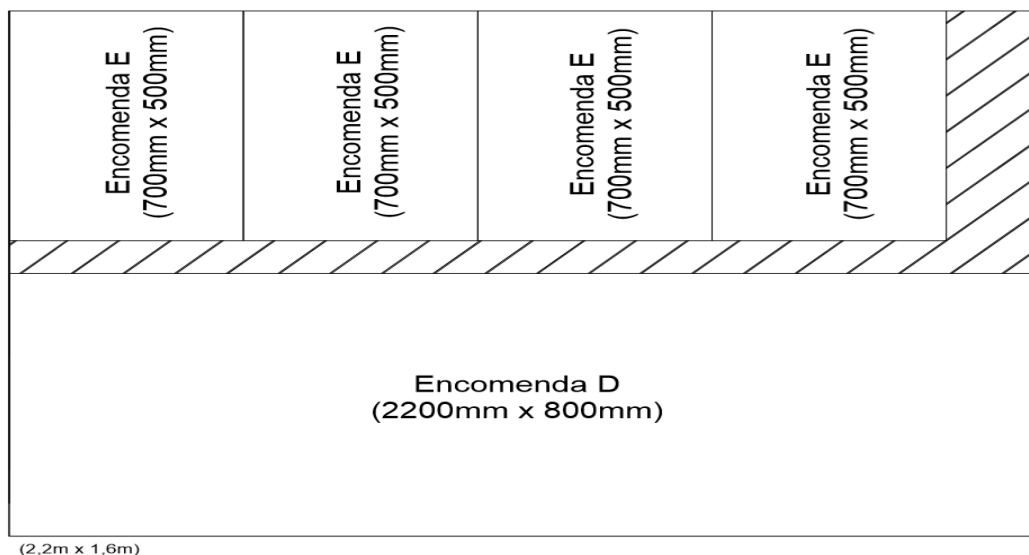
Figura 9 – Cortes realizados para as encomendas D.



Fonte: Dados da empresa pesquisada, 2015.

Foram utilizadas cinco placas de vidro para o corte de 10 unidades da encomenda D com um desperdício de 0 m².

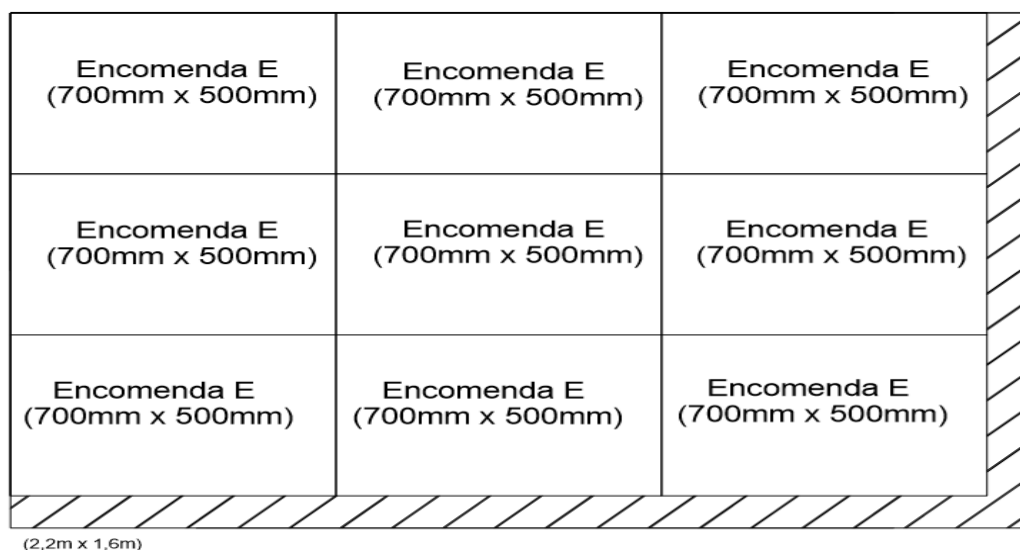
Figura 10 – Cortes realizados para as encomendas D e E.



Fonte: Dados da empresa pesquisada, 2015.

Foi utilizada uma placa de vidro para o corte de 1 unidade da encomenda D e 4 unidades da encomenda E com um desperdício de 0,36 m².

Figura 11 – Cortes realizados para as encomendas E.



Fonte: Dados da empresa pesquisada, 2015.

Foi utilizada uma placa de vidro para o corte de 9 unidades da encomenda E com um desperdício de 0,37 m².

Para atender todos pedidos foram necessárias à utilização de treze placas de vidro, cujo seu valor é de R\$ 60,00 por m². Cada placa possui 3,52 m², (1,6 m x 2,2 m) e custa à empresa o valor de R\$ 211,20.

Como foram utilizadas 13 placas, este valor equivale a R\$ 2.745,60 e com um desperdício de 3,64 m², em termos percentuais, equivale-se a 7,95% do total da área de todas as placas (45,76 m²) e já em termos financeiros, custou à empresa um valor de R\$ 218,40.

A TAB. 5 a seguir, mostra um resumo a respeito das placas necessárias, desperdícios e seus custos.

Tabela 5 – Quantidade de placas e seus respectivos custos e desperdícios.

Demanda	A, B, C, D e E
Quantidade de placas necessárias	13
Área da placa (m ²)	3,52
Área total das placas (m ²)	45,76
Desperdício geral (m ²)	3,64
% de desperdício	7,95
Custo da placa (unid.)	R\$211,20
Custo total das placas	R\$ 2.745,60
Sobras (m ²)	-
Desperdício (R\$)	R\$ 218,40

Fonte: Do próprio autor, 2015.

Foi realizada uma simulação para redução do desperdício.

O primeiro meio realizado para a redução de desperdício foi à aplicação do Método proposto por Nascimento (2012). As representações dos cortes feitos individuais e em conjuntos estão no Apêndice A. A listagem de alguns possíveis modos de corte está descrita no apêndice B.

Por exemplo, em um corte individual para o corte x_1 , obter-se-ia 6 unidades da encomenda A com um desperdício de $0,37\text{m}^2$. Já em um corte em conjunto como no caso do corte x_6 obter-se-ia em uma mesma placa 1 unidade da encomenda A, 1 unidade da encomenda B, 1 unidade da encomenda C, 1 unidade da encomenda D e 0 unidade da encomenda E com um desperdício de $0,27\text{ m}^2$ e assim sucessivamente.

A TAB. 6 que faz uma lista de alguns cortes possíveis e seus desperdícios para as encomendas individuais e em conjuntos estão no apêndice C. As representações dos cortes feitos individuais que são os cortes realizados com o mesmo tipo de encomenda em uma mesma chapa e em conjuntos que são os cortes que podem obter-se de diferentes tipos de encomendas na mesma chapa estão no Apêndice A.

Portanto, foram obtidas sessenta e nove variáveis de decisão e esse número é equivalente à quantidade de possibilidades de diferentes modos de corte que podem ser realizados.

- x_1 - É o número de chapas para serem cortadas conforme o corte número 1.
- x_2 - É o número de chapas para serem cortadas conforme o corte número 2.
- x_3 - É o número de chapas para serem cortadas conforme o corte número 3.
- x_4 - É o número de chapas para serem cortadas conforme o corte número 4.
- x_5 - É o número de chapas para serem cortadas conforme o corte número 5.
- x_6 - É o número de chapas para serem cortadas conforme o corte número 6.
- x_7 - É o número de chapas para serem cortadas conforme o corte número 7.
- x_8 - É o número de chapas para serem cortadas conforme o corte número 8.
- x_9 - É o número de chapas para serem cortadas conforme o corte número 9.
- x_{10} - É o número de chapas para serem cortadas conforme o corte número 10.
- x_{11} - É o número de chapas para serem cortadas conforme o corte número 11.
- x_{12} - É o número de chapas para serem cortadas conforme o corte número 12.

- x_{45} - É o número de chapas para serem cortadas conforme o corte número 45.
- x_{46} - É o número de chapas para serem cortadas conforme o corte número 46.
- x_{47} - É o número de chapas para serem cortadas conforme o corte número 47.
- x_{48} - É o número de chapas para serem cortadas conforme o corte número 48.
- x_{49} - É o número de chapas para serem cortadas conforme o corte número 49.
- x_{50} - É o número de chapas para serem cortadas conforme o corte número 50.
- x_{51} - É o número de chapas para serem cortadas conforme o corte número 51.
- x_{52} - É o número de chapas para serem cortadas conforme o corte número 52.
- x_{53} - É o número de chapas para serem cortadas conforme o corte número 53.
- x_{54} - É o número de chapas para serem cortadas conforme o corte número 54.
- x_{55} - É o número de chapas para serem cortadas conforme o corte número 55.
- x_{56} - É o número de chapas para serem cortadas conforme o corte número 56.
- x_{57} - É o número de chapas para serem cortadas conforme o corte número 57.
- x_{58} - É o número de chapas para serem cortadas conforme o corte número 58.
- x_{59} - É o número de chapas para serem cortadas conforme o corte número 59.
- x_{60} - É o número de chapas para serem cortadas conforme o corte número 60.
- x_{61} - É o número de chapas para serem cortadas conforme o corte número 61.
- x_{62} - É o número de chapas para serem cortadas conforme o corte número 62.
- x_{63} - É o número de chapas para serem cortadas conforme o corte número 63.
- x_{64} - É o número de chapas para serem cortadas conforme o corte número 64.
- x_{65} - É o número de chapas para serem cortadas conforme o corte número 65.
- x_{66} - É o número de chapas para serem cortadas conforme o corte número 66.
- x_{67} - É o número de chapas para serem cortadas conforme o corte número 67.
- x_{68} - É o número de chapas para serem cortadas conforme o corte número 68.
- x_{69} - É o número de chapas para serem cortadas conforme o corte número 69.

O desperdício total será a soma do valor do desperdício em cada possibilidade de corte das chapas de vidro.

Os coeficientes para cada restrição das encomendas foram obtidos pelo cruzamento da linha de cada encomenda com o seu número correspondente em cada corte.

No caso da restrição da encomenda A, o coeficiente 6 de x_1 , o coeficiente 1 de x_6 , o coeficiente 2 de x_7 e assim sucessivamente foram obtidos da seguinte

maneira: o coeficiente 6 de x_1 foi obtido do cruzamento da encomenda A com o corte de número 1; o coeficiente 1 de x_6 do cruzamento da encomenda A com o corte número 6 e o coeficiente 2 de x_7 do cruzamento da encomenda A com o corte número 7 e assim sucessivamente. O mesmo procedimento foi feito para as encomendas B, C, D e E.

Em todas as restrições a desigualdade deve ser \geq , pois assim o solver entenderá que devem ser cortados no mínimo 16 unidades para a encomenda A, 6 unidades para a encomenda B, 14 unidades para a encomenda C, 11 unidades da encomenda D e 16 unidades para a encomenda E. Se a desigualdade fosse \leq , o solver entenderia que poderiam ser cortados menos que 16 unidades para A, 6 unidades para a encomenda B, 14 unidades para a encomenda C, 11 unidades da encomenda D e 16 unidades da encomenda E, deixando de atender a todas as encomendas.

Para esse problema de P.L.I., a função objetivo e as restrições são descritas da seguinte maneira:

Minimizar o desperdício total:

$$z = 0,37x_1 + 0,52x_2 + 0,58x_3 + 0x_4 + 0,37x_5 + 0,27x_6 + 0,43x_7 + 0,44x_8 + 0,61x_9 + 0,91x_{10} + 0,32x_{11} + 0,77x_{12} + 0,4x_{13} + 0,04x_{14} + 0,74x_{15} + 0,4x_{16} + 0,82x_{17} + 0,3x_{18} + 0,4x_{19} + 1,04x_{20} + 0,16x_{21} + 0,35x_{22} + 0,68x_{23} + 0,34x_{24} + 0,54x_{25} + 0,18x_{26} + 0,36x_{27} + 0,21x_{28} + 0,67x_{29} + 0,32x_{30} + 0,07x_{31} + 0,67x_{32} + 0,82x_{33} + 0,22x_{34} + 0,79x_{35} + 0,63x_{36} + 0,84x_{37} + 0,68x_{38} + 0,48x_{39} + 0,71x_{40} + 0,19x_{41} + 1,07x_{42} + 0,37x_{43} + 1,24x_{44} + 0,54x_{45} + 0,72x_{46} + 0,9x_{47} + 0,72x_{48} + 0,85x_{49} + 0,38x_{50} + 0,98x_{51} + 0,98x_{52} + 1,22x_{53} + 0,56x_{54} + 0,47x_{55} + 0,57x_{56} + 0,67x_{57} + 0,07x_{58} + 0,82x_{59} + 0,22x_{60} + 0,42x_{61} + 0,29x_{62} + 0,65x_{63} + 0,3x_{64} + 0,69x_{65} + 0,62x_{66} + 0,67x_{67} + 0,71x_{68} + 0,36x_{69}.$$

Sujeito às restrições das encomendas:

$$\begin{aligned} \text{Encomenda A: } & 6x_1 + x_6 + 2x_7 + 3x_9 + 2x_{10} + x_{11} + 2x_{12} + 2x_{13} + x_{14} + x_{15} + \\ & 3x_{16} + 2x_{17} + 3x_{18} + 3x_{19} + 2x_{20} + 3x_{21} + 4x_{22} + 2x_{23} + 2x_{24} + x_{25} + x_{26} + 2x_{27} + \\ & 2x_{31} + 2x_{32} + 4x_{33} + 4x_{34} + x_{35} + 2x_{36} + 3x_{37} + 4x_{38} + 3x_{39} + 2x_{40} + 3x_{41} + 2x_{42} + \\ & 4x_{43} + 3x_{44} + 3x_{45} + 2x_{46} + 3x_{47} \geq 16. \end{aligned}$$

$$\text{Encomenda B } 5x_2 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 + 2x_{10} + 2x_{11} + x_{12} + x_{13} + 2x_{14} + 2x_{15} + 2x_{16} + x_{17} + x_{18} + 2x_{19} + 2x_{28} + 4x_{31} + 3x_{32} + x_{33} + 2x_{34} + x_{48} + 2x_{49} + 4x_{50} + x_{51} + 3x_{52} + 2x_{53} + 2x_{54} + x_{55} + 2x_{56} + 3x_{57} + 4x_{58} + x_{59} + 2x_{60} + 4x_{61} \geq 6.$$

$$\text{Encomenda C: } 8x_3 + x_6 + 2x_7 + x_8 + 2x_9 + x_{10} + 4x_{11} + 3x_{12} + 4x_{13} + 2x_{20} + 2x_{21} + x_{22} + 2x_{23} + 2x_{24} + 2x_{29} + 2x_{30} + 6x_{35} + 5x_{36} + 3x_{37} + 2x_{38} + 4x_{39} + 6x_{48} + 4x_{49} + 2x_{50} + 5x_{51} + 2x_{52} + 3x_{53} + 4x_{62} + 4x_{63} + 4x_{64} + 2x_{65} + 6x_{66} + 3x_{67} \geq 14.$$

$$\text{Encomenda D: } 2x_4 + x_6 + x_8 + x_{14} + x_{25} + x_{26} + x_{27} + x_{28} + x_{29} + x_{30} + x_{40} + x_{41} + x_{54} + x_{62} + x_{68} + x_{69} \geq 11.$$

$$\text{Encomenda E: } 9x_5 + 2x_7 + x_8 + 3x_{15} + x_{16} + 3x_{17} + 3x_{18} + x_{19} + 2x_{20} + 3x_{21} + 2x_{22} + 3x_{23} + 4x_{24} + 2x_{25} + 3x_{26} + x_{27} + x_{28} + x_{29} + 2x_{30} + 4x_{42} + 3x_{43} + 2x_{44} + 4x_{45} + 5x_{46} + 3x_{47} + 7x_{55} + 5x_{56} + 3x_{57} + 3x_{58} + 6x_{59} + 6x_{60} + 2x_{61} + 4x_{63} + 5x_{64} + 6x_{65} + 2x_{66} + 5x_{67} + x_{68} + 4x_{69} \geq 16.$$

$$x_i \geq 0, 1 \leq i \leq 69 \text{ e inteiros}$$

A utilização do suplemento Solver foi feito através de planilha eletrônica. Nos parâmetros do solver, em “definir célula destino”, foi colocado para obter-se o valor da função objetivo, que neste caso, será o valor do desperdício mínimo para a obtenção das unidades das encomendas, destinado a pertencer à célula “A1”.

Em “igual a” como se deseja que o valor mínimo de desperdício seja encontrado, a opção “Mín” foi selecionada.

Em “células variáveis”, foram atribuídas as variáveis de decisão que mostrarão a quantidade de chapas de vidro que devem ser cortadas em cada uma das possibilidades para a obtenção das unidades das encomendas.

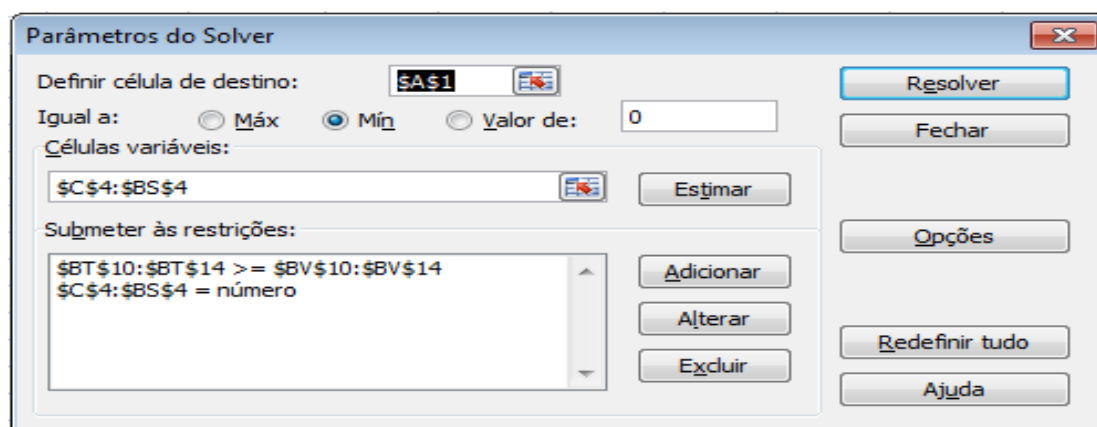
Já em “restrições”, como se trata de um modelo de P.L.I., todas as variáveis de decisão (células C4 a BS4) devem ser do tipo de inteiros, pois deve-se ser utilizado uma placa inteira para o corte e os valores fracionados não serão

interessantes. As restrições do lado esquerdo, (L.E.) (células BT10 a BT 14) que é a quantidade de unidades de cada encomenda que serão cortadas devem ser maiores ou iguais que as do lado direito, (L.D.) (células BV10 a BV 14) que é o número mínimo de unidades encomendadas.

Em opções, “presumir modelo linear” e “presumir não negativos” foram selecionadas, como foram descritas no item 3.8.

Na FIG. 12 encontram-se os parâmetros do solver, configurado para o problema.

Figura 12 – Parâmetros do Solver configurado para a planilha eletrônica.



Fonte: Do próprio autor, 2015.

Os dados foram inseridos conforme descritos na planilha eletrônica da FIG. 13 e para que fosse obtido o resultado, o suplemento solver foi utilizado. Se for utilizado a placa x1, serão cortados 6 unidades da encomenda A, e o desperdício será de 0,37 m²; se for utilizado a placa x2, serão cortados 5 unidades da encomenda B, com um desperdício de 0,52 m² e assim sucessivamente para todas as placas; se for utilizado a placa x10, será realizado um corte em conjunto e serão cortados 2 unidades da encomenda A, 2 unidades da encomenda B e 1 unidade da encomenda C com um desperdício de 0,91 m² e assim sucessivamente. As restrições são de 16 unidades para a encomenda A, 6 unidades para a encomenda B, 14 unidades para a encomenda C, 11 unidades para a encomenda D e 16 unidades para a encomenda E, ou seja, as unidades das encomendas devem ser esses valores ou além, valores abaixo dessas unidades a empresa não consegue atender sua demanda.

Figura 13 – Alguns possíveis modos de corte com seus desperdícios e restrições.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	
1	-	(=z)																	
2																			
3			x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	x14	x15	x16	
4	Variáveis de decisão	Quantidade de corte																	
5																			
6	Dados	Desperdício por corte [m ²]	0.37	0.52	0.58	0	0.37	0.27	0.43	0.44	0.61	0.91	0.32	0.77	0.4	0.04	0.74	0.4	
7																			
8																			
9																			
10	Restrições	Encomenda A (0,75m x 0,7m)	6	0	0	0	0	1	2	0	3	2	1	2	2	1	1	1	3
11		Encomenda B (1,5m x 0,4m)	0	5	0	0	0	1	1	1	1	2	2	1	1	2	2	2	2
12		Encomenda C (1,05m x 0,35m)	0	0	8	0	0	1	2	1	2	1	4	3	4	0	0	0	0
13		Encomenda D (2,2m x 0,8m)	0	0	0	2	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
14		Encomenda E (0,7m x 0,5m)	0	0	0	0	9	0	2	1	0	0	0	0	0	0	3	1	1
3	x17	x18	x19	x20	x21	x22	x23	x24	x25	x26	x27	x28	x29	x30	x31	x32	x33		
4																			
5																			
6	0.82	0.3	0.4	1.04	0.16	0.35	0.68	0.34	0.54	0.18	0.36	0.21	0.67	0.32	0.07	0.67	0.82		
7																			
8																			
9																			
10	2	3	3	2	3	4	2	2	1	1	2	0	0	0	2	2	4		
11	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	4	3	1		
12	0	0	0	2	2	1	2	2	0	0	0	2	2	2	0	0	0		
13	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0		
14	3	3	1	2	3	2	3	4	2	3	1	1	1	2	0	0	0		
	BD	BE	BF	BG	BH	BI	BJ	BK	BL	BM	BN	BO	BP	BQ	BR	BS	BT	BU	BV
	x54	x55	x56	x57	x58	x59	x60	x61	x62	x63	x64	x65	x66	x67	x68	x69			
	0.56	0.47	0.57	0.67	0.07	0.82	0.22	0.42	0.29	0.65	0.3	0.69	0.62	0.67	0.71	0.36			
																	LE	Sinal	LD
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	>=	16
	2	1	2	3	4	1	2	4	0	0	0	0	0	0	0	0	-	>=	6
	0	0	0	0	0	0	0	4	4	4	2	6	3	0	0	0	-	>=	14
	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	-	>=	11
	0	7	5	3	3	6	6	2	0	4	5	6	2	5	3	4	-	>=	16

Fonte: Do próprio autor, 2015.

Na célula A1 equivale a célula de destino: Nesta célula, foi atribuída para conter o valor da função objetivo que nesse caso, será o valor do desperdício.

Nas Células C4 até BS4 foram representadas pelas variáveis de decisão e mostrarão quantas chapas serão cortadas de acordo com o modo de corte.

As células BV 10 a BV 14 representam as restrições do modelo. Nelas, estão descritas as quantidades mínimas de encomendas que devem ser cortadas.

Como as células BT10 a BT14 representam o número de encomendas que serão cortadas, elas devem ser maiores ou iguais as células BV10 a BV 14.

Como resposta ao problema proposto, o solver nos forneceu o seguinte resultado, mostrado na FIG.14 seguinte:

Figura 14 – Resposta do problema de PLI do suplemento solver em planilhas eletrônicas.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1	1.19	(=z)																
2																		
3			x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	x14	x15	x16
4	Variáveis de decisão	Quantidade de corte	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
5																		
6	Dados	Desperdício por corte [m ²]	0.37	0.52	0.58	0	0.37	0.27	0.43	0.44	0.61	0.91	0.32	0.77	0.4	0.04	0.74	0.4
7																		
8																		
9																		
10	Restrições	Encomenda A (0,75m x 0,7m)	6	0	0	0	0	1	2	0	3	2	1	2	2	1	1	3
11		Encomenda B (1,5m x 0,4m)	0	5	0	0	0	1	1	1	1	2	2	1	1	2	2	2
12		Encomenda C (1,05m x 0,35m)	0	0	8	0	0	1	2	1	2	1	4	3	4	0	0	0
13		Encomenda D (2,2m x 0,8m)	0	0	0	2	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
14		Encomenda E (0,7m x 0,5m)	0	0	0	0	9	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	3

	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ
1																		
2																		
3	x17	x18	x19	x20	x21	x22	x23	x24	x25	x26	x27	x28	x29	x30	x31	x32	x33	x34
4	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5																		
6	0.82	0.3	0.4	1.04	0.16	0.35	0.68	0.34	0.54	0.18	0.36	0.21	0.67	0.32	0.07	0.67	0.82	0.22
7																		
8																		
9																		
10	2	3	3	2	3	4	2	2	1	1	2	0	0	0	2	2	4	4
11	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	4	3	1	2
12	0	0	0	2	2	1	2	2	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
14	3	3	1	2	3	2	3	4	2	3	1	1	1	2	0	0	0	0

	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW	AX	AY	AZ	BA	BB	BC
1																			
2																			
3	x35	x36	x37	x38	x39	x40	x41	x42	x43	x44	x45	x46	x47	x48	x49	x50	x51	x52	x53
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5																			
6	0.79	0.63	0.84	0.68	0.48	0.71	0.19	1.07	0.37	1.24	0.54	0.72	0.9	0.72	0.85	0.38	0.48	0.98	1.22
7																			
8																			
9																			
10	1	2	3	4	3	2	3	2	4	3	3	2	3	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	4	2	3	2
12	6	5	3	2	4	0	0	0	0	0	0	0	0	6	4	2	5	2	3
13	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	4	3	2	4	5	3	0	0	0	0	0	0

	BD	BE	BF	BG	BH	BI	BJ	BK	BL	BM	BN	BO	BP	BQ	BR	BS	BT	BU	BV
1																			
2																			
3	x54	x55	x56	x57	x58	x59	x60	x61	x62	x63	x64	x65	x66	x67	x68	x69			
4	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
5																			
6	0.56	0.47	0.57	0.67	0.07	0.82	0.22	0.42	0.29	0.65	0.3	0.69	0.62	0.67	0.71	0.36			
7																			
8																			
9																			
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	LE	Sinal	LD
11	2	1	2	3	4	1	2	4	0	0	0	0	0	0	0	0	16.0	>=	16
12	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	4	2	6	3	0	0	6.0	>=	6
13	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	4	2	6	3	0	0	14.0	>=	14
14	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	12.0	>=	11
15	0	7	5	3	3	6	6	2	0	4	5	6	2	5	3	4	18.0	>=	16

Fonte: Do próprio autor, 2015.

Pode-se entender o resultado proposto pelo Solver da seguinte maneira:

O valor do desperdício é de 1,19 m² e foram utilizadas treze placas de vidro distribuídas da seguinte maneira:

Devem ser cortadas 6 placas conforme o modelo x4, obtendo-se 12 unidades da encomenda D (0,8 m x 2,2 m) com um desperdício de 0 m²;

Uma placa conforme o modelo x11, obtendo-se 1 unidade da encomenda A (0,70 m x 0,75 m), 2 unidades da encomenda B (0,4 m x 1,5 m) e 4 unidades da encomenda C (0,35 m x 1,05 m) com um desperdício de 0,32 m²;

Cinco placas conforme o modelo x21, obtendo-se 15 unidades da encomenda A (0,70 m x 0,75 m), 10 unidades da encomenda C (0,35 m x 1,05 m) e 15 unidades da encomenda E (0,5 m x 0,7 m) com um desperdício de 0,8 m²; e

Uma placa conforme o modelo x58, obtendo-se 4 unidades da encomenda B (0,40 m x 1,05 m) e 3 unidades da encomenda E (0,5 m x 0,7 m) com um desperdício de 0,07 m².

Foram obtidas 16 unidades da encomenda A, 6 unidades da encomenda B, 14 unidades da encomenda C, 12 unidades da encomenda D e 18 unidades da encomenda E, satisfazendo toda a demanda e ainda com a sobra de 1 unidade da encomenda D (0,8 m x 2,2 m) e duas unidades da encomenda E (0,5 m x 0,7 m) no qual totaliza-se uma área de 2,46 m², o que pode ser equivalente ao valor de R\$ 147,60 para futuras vendas.

Nota-se que, com esse planejamento, o desperdício foi de 1,19 m² e em termos percentuais, desperdiçou-se apenas 2,60% do total da área de todas as placas (45,76 m²) o que, em termos financeiros, custou à empresa um valor de R\$ 71,40. Nota-se que com esse método, houve uma redução em termos percentuais de 67% de desperdício de matéria prima e já em termos financeiros corresponderia a uma redução de R\$ 147,00 em relação ao não planejamento.

Na TAB. 7 têm-se resumidamente as quantidades de placas necessárias, seus custos, desperdícios e ganhos das sobras.

Tabela 7 – Placas necessárias, bem como suas áreas, custos e desperdícios.

Demanda	A, B, C, D e E
Quantidade de placas necessárias	13
Área da placa (m ²)	3,52
Área total das placas (m ²)	45,76
Desperdício geral (m ²)	1,19
% de desperdício	2,60
Custo da placa (unid)	R\$211,20
Custo total das placas	R\$ 2.745,60
Sobras (m ²)	2,46
Desperdício (R\$)	R\$ 71,60
Futuras vendas	R\$ 147,60

Fonte: Do próprio autor, 2015.

Para a utilização do *software* Corte Certo, a aba “materiais” foi selecionada, sendo a opção “novo” escolhida e colocado o código para o novo material.

Em “propriedades do material”, as chapas para o material do código anterior foram adicionadas com a quantidade de chapas que estão no estoque, com sua largura e altura.

Na aba “projetos” e em editar projeto, foi colocado a quantidade de peças a serem cortadas, bem como sua largura e altura e o código do material cadastrado anteriormente. Em seguida foi clicado em na aba “cálculo” para a obtenção dos cortes gerados.

Com a utilização do *software* Corte Certo, foram obtidos os seguintes resultados:

Foram utilizadas treze placas de vidro. Doze placas em sua totalizada e uma placa fracionada. Os planos de corte gerados pelo *software* estão no Anexo A.

- Cinco placas para o corte de 10 unidades da encomenda D (0,8 m x 2,2 m), com um desperdício de 0 m²;
- Cinco placas para o corte de 15 unidades da encomenda A (0,7 m x 0,75 m), 10 unidades da encomenda C (0,35 m x 1,05 m) e 15 unidades da encomenda E (0,5 m x 0,7 m), com um desperdício de 0,80 m²;
- Uma placa para o corte de 1 unidade da encomenda A (0,7 m x 0,75 m), 4 unidades da encomenda B (0,4 m x 1,5 m), e 1 unidade da encomenda E (0,5 m x 0,7 m) com um desperdício de 0,24 m².
- Uma placa para o corte de 4 unidades da encomenda C (0,35 m x 1,05 m) e 1 unidade da encomenda D (0,8 m x 2,2 m) com um desperdício de 0,29 m².
- Uma placa para o corte de 2 unidades da encomenda B (0,4 m x 1,5 m) com uma sobra de 2,32 m².

O valor pago as doze placas de vidro equivale-se a R\$ 2.534,40 para uma área de 42,24 m².

A quantidade de desperdício em relação às doze placas de vidro foi de 1,33 m², o que representa 3,15% em termos percentuais de desperdício com um custo de R\$ 79,80 para a empresa.

Com a utilização desse método, houve uma redução em termos percentuais de 63% de desperdício de matéria prima e já em termos financeiros corresponderia a uma redução de R\$ 138,60 em relação ao não planejamento.

Já para a décima terceira placa de vidro, sobraram-se 2,32 m² em sua placa, o que resulta em um valor de R\$139,20 reais para futuros cortes.

A TAB. 8 a seguir, mostra em resumo a quantidade necessária de placas, bem como seus custos, desperdícios e sobras.

Tabela 8 – Quantidade de placas necessárias, seus custos, desperdícios e sobras para o *software* Corte Certo.

Demanda	A, B, C, D e E
Quantidade de placas inteiras	12
Necessárias	
Custo das placas inteiras necessárias	R\$ 2.534,40
Quantidade de placas fracionadas	1
Custo das placas fracionadas	R\$ 211,20
Área da placa (m ²)	3,52
Área total das 12 placas (m ²)	42,24
Desperdício das placas inteiras necessárias (m ²)	1,33
% de desperdício em 12 placas	3,15
Custo do desperdício em 12 placas	R\$ 79,80
Sobras de uma placa fracionada (m ²)	2,32
% de sobra da placa fracionada	65
Futuras vendas	R\$ 139,20

Fonte: Do próprio autor, 2015.

Para o *software* *Otimizar Nesting*, foi criado um novo projeto sendo inserido as características das chapas, sendo sua largura, comprimento e o tipo de material na aba “estoque”.

Na aba “projetos”, as chapas para o corte foram cadastradas, atribuindo a cada chapa sua descrição, largura, comprimento, quantidade a ser cortada, material a ser utilizado e visando um melhor aproveitamento nas peças, a opção “rotacionar” foi ativada para que assim as peças possam girar ao redor de seu eixo.

Já com o cadastro das chapas feito, foi clicado em *Nesting* para a visualização dos cortes gerados.

Com esse método, obteve-se o planejamento dos cortes que estão no Anexo B da seguinte maneira:

Ocorreu a utilização de treze placas de vidro. Doze placas em sua totalizada e uma placa fracionada. Os planos de corte gerados pelo *software Optimize Nesting* estão no Anexo B.

- Cinco placas para o corte de 10 unidades da encomenda D (0,8 m x 2,2 m), com um desperdício de 0 m².
- Uma placa para o corte de 4 unidades do corte B (0,4 m x 1,5 m), 2 unidades da encomenda C (0,35 m x 1,05 m) e 1 unidade da encomenda E (0,5 m x 0,7 m), com um desperdício de 0,035 m².
- Uma placa para o corte de 1 unidade da encomenda A (0,7 m x 0,75 m), 2 unidades da encomenda B (0,4 m x 1,5 m) e 1 unidade da encomenda D (0,8 m x 2,2 m), com um desperdício de 0,035 m².
- Cinco placas para o corte de 15 unidades da encomenda A (0,70 m x 0,75 m), 10 unidades da encomenda C (0,35 m x 1,05 m) e 15 unidades da encomenda E (0,5 m x 0,7 m), com um desperdício de 0,80 m².
- Uma placa fracionada para o corte de 2 unidades da encomenda C (0,35 m x 1,05 m) com uma sobra de 2,78 m².

O valor pago as doze placas de vidro equivale-se a R\$ 2.534,40 para uma área de 42,24 m².

A quantidade de desperdício em relação às doze placas de vidro foi de 0,87 m², o que representa 2,06% em termos percentuais de desperdício com um custo de R\$ 52,20 para a empresa.

Já para a décima terceira placa de vidro, sobraram-se 2,78 m² em sua placa, o que resulta em um valor de R\$166,80 reais para futuros cortes.

Utilizando-se desse método, houve uma redução em termos percentuais de 76% de desperdício de matéria prima e já em termos financeiros corresponderia a uma redução de R\$ 166,20 em relação ao não planejamento.

A TAB. 9 seguinte resume-se a quantidade necessária de placas, bem como seus custos, desperdícios e sobras das mesmas.

Tabela 9 - Quantidade de placas necessárias, seus custos, desperdícios e sobras para o *software Optimize Nesting*.

Demanda	A, B, C, D e E
Quantidade de placas inteiras necessárias	12
Quantidade de placas fracionadas	1
Custo das placas fracionadas	R\$ 211,20
Área da placa (m ²)	3,52
Área total das 12 placas (m ²)	42,24
Desperdício das placas inteiras necessárias (m ²)	0,87
% de desperdício em 12 placas	2,06
Custo do desperdício em 12 placas	R\$ 52,20
Sobras de uma placa fracionada (m ²)	2,78
% de sobra da placa fracionada	79
Futuras vendas	R\$ 166,80

Fonte: Do próprio autor, 2015.

O método proposto por Nascimento (2012) mostra-se eficaz utilizando-se de poucas encomendas como no caso de Santos (2014). Já para uma grande quantidade mencionada nesse trabalho, utilizando-se desse método, devido aos inúmeros modos de corte, geraria dias para o seu planejamento, sendo que, na atual concorrência, o tempo de entrega mais rápido e com a mesma qualidade, se torna cada dia crucial para a satisfação do cliente.

Portanto, para grandes quantidades de encomenda, mesmo com o planejamento de 69 modos possíveis de corte realizados durante uma semana e havendo uma redução de 67% de desperdício de matéria prima, ainda torna-se esse método ineficaz para a empresa.

Na busca pelo planejamento desses cortes automatizados para que o mesmo fosse realizado em poucos minutos, buscou-se analisar dois softwares comerciais que atendessem melhor a empresa em termos de menor desperdício e custos.

Custos sem e com um planejamento adequado:

- Sem planejamento o custo do desperdício seria de R\$218,40.
- Utilizando-se do método de Nascimento, o mesmo custo seria de R\$71,40.
- Com a utilização do *software Corte Certo* seriam gastos R\$ 79,80 + R\$ 69,28 para se adquirir o *software* totalizando o valor de R\$149,08.
- Já com a utilização do *software Optimize Nesting*, os custos para a empresa cairiam para R\$ 52,20 + R\$ 60,00 para pagamentos de manutenção do

software por mês, totalizando R\$ 112,20, economizando-se ainda o valor de R\$106,20 em relação ao não planejamento.

Levando-se em consideração essas mesmas encomendas todo mês durante um ano, os custos seriam de:

Sem planejamento o custo do desperdício seria de $12 \times \text{R\$ } 218,40 = \text{R\$ } 2.620,80$.

Utilizando-se do método de Nascimento, o custo seria orçado em $12 \times \text{R\$ } 71,40 = 856,8$.

Com a utilização do *software* Corte Certo, a empresa desembolsaria o valor de $12 \times \text{R\$ } 79,80 + \text{R\$ } 831,36 = 1.788,96$.

Com a utilização do *software* *Otimizar Nesting*, os custos para a empresa diminuiriam e cairiam para um total de $12 \times \text{R\$ } 52,20 + 12 \times \text{R\$ } 60,00 = \text{R\$ } 1.346,40$, porém, caso a utilização do *software* *Otimizar Nesting* fosse acima de 2 anos e 2 meses para essas mesmas encomendas, o mesmo passa a ser inviável para a empresa, pois seus custos ultrapassariam os custos com a utilização do *software* Corte Certo. A TAB. 10 mostra os custos em relação ao tempo dos métodos em análise.

Tabela 10 – Custos de desperdício e manutenção para os métodos analisados em 2 anos e 2 meses.

Período	Sem planejar	Método Nascimento	Corte Certo		Otimizar Nesting	
			Manutenção	Desperdício	Manutenção	Desperdício
1º Mês	R\$ 218,40	R\$ 71,40	R\$ 69,28	R\$ 79,80	R\$ 60,00	R\$ 52,20
2º Mês	R\$ 218,40	R\$ 71,40	R\$ 69,28	R\$ 79,80	R\$ 60,00	R\$ 52,20
3º Mês	R\$ 218,40	R\$ 71,40	R\$ 69,28	R\$ 79,80	R\$ 60,00	R\$ 52,20
4º Mês	R\$ 218,40	R\$ 71,40	R\$ 69,28	R\$ 79,80	R\$ 60,00	R\$ 52,20
5º Mês	R\$ 218,40	R\$ 71,40	R\$ 69,28	R\$ 79,80	R\$ 60,00	R\$ 52,20
6º Mês	R\$ 218,40	R\$ 71,40	R\$ 69,28	R\$ 79,80	R\$ 60,00	R\$ 52,20
7º Mês	R\$ 218,40	R\$ 71,40	R\$ 69,28	R\$ 79,80	R\$ 60,00	R\$ 52,20
8º Mês	R\$ 218,40	R\$ 71,40	R\$ 69,28	R\$ 79,80	R\$ 60,00	R\$ 52,20
9º Mês	R\$ 218,40	R\$ 71,40	R\$ 69,28	R\$ 79,80	R\$ 60,00	R\$ 52,20
10º Mês	R\$ 218,40	R\$ 71,40	R\$ 69,28	R\$ 79,80	R\$ 60,00	R\$ 52,20
11º Mês	R\$ 218,40	R\$ 71,40	R\$ 69,28	R\$ 79,80	R\$ 60,00	R\$ 52,20
12º Mês	R\$ 218,40	R\$ 71,40	R\$ 69,28	R\$ 79,80	R\$ 60,00	R\$ 52,20

(Continuação)

Período	Sem planejar	Método Nascimento	Corte Certo		Otimize Nesting	
			Manutenção	Desperdício	Manutenção	Desperdício
13° Mês	R\$ 218,40	R\$ 71,40	-	R\$ 79,80	R\$ 60,00	R\$ 52,20
14° Mês	R\$ 218,40	R\$ 71,40	-	R\$ 79,80	R\$ 60,00	R\$ 52,20
15° Mês	R\$ 218,40	R\$ 71,40	-	R\$ 79,80	R\$ 60,00	R\$ 52,20
16° Mês	R\$ 218,40	R\$ 71,40	-	R\$ 79,80	R\$ 60,00	R\$ 52,20
17° Mês	R\$ 218,40	R\$ 71,40	-	R\$ 79,80	R\$ 60,00	R\$ 52,20
18° Mês	R\$ 218,40	R\$ 71,40	-	R\$ 79,80	R\$ 60,00	R\$ 52,20
19° Mês	R\$ 218,40	R\$ 71,40	-	R\$ 79,80	R\$ 60,00	R\$ 52,20
20° Mês	R\$ 218,40	R\$ 71,40	-	R\$ 79,80	R\$ 60,00	R\$ 52,20
21° Mês	R\$ 218,40	R\$ 71,40	-	R\$ 79,80	R\$ 60,00	R\$ 52,20
22° Mês	R\$ 218,40	R\$ 71,40	-	R\$ 79,80	R\$ 60,00	R\$ 52,20
23° Mês	R\$ 218,40	R\$ 71,40	-	R\$ 79,80	R\$ 60,00	R\$ 52,20
24° Mês	R\$ 218,40	R\$ 71,40	-	R\$ 79,80	R\$ 60,00	R\$ 52,20
25° Mês	R\$ 218,40	R\$ 71,40	-	R\$ 79,80	R\$ 60,00	R\$ 52,20
26° Mês	R\$ 218,40	R\$ 71,40	-	R\$ 79,80	R\$ 60,00	R\$ 52,20
Total	R\$ 5.678,40	R\$ 1.856,40		R\$ 2.906,16		R\$ 2.917,20

Fonte: Do próprio autor, 2015.

Por fim, como a empresa já atua há 15 anos no mercado e pretende-se crescer mais, certamente a mesma gostaria que seu investimento fosse mais bem aproveitado por vários anos para seu processo de produção, tornando-se a aquisição do *software* Corte Certo uma melhor opção, pois, no 26º mês, os custos do *software* Otimize Nesting superariam os custos totais do *software* Corte Certo.

Com a aquisição do *software* Corte Certo teria economizado em dois anos e um mês com essas mesmas encomendas, o valor de R\$ 2.772,24, representando-se uma economia de 49% em relação a não utilização de um planejamento, sem contar ainda que com o *software*, teria a opção de fazer um controle no estoque das chapas de vidro, o que até o momento não é realizado pela empresa em questão.

6 CONCLUSÃO

Entre os três métodos analisados para uma grande quantidade de encomendas, o método manual proposto por Nascimento (2012) seria economicamente a melhor opção para a empresa, porém, devido a um fator relevante como às inúmeras possibilidades de corte, causaria a empresa um grande tempo perdido para a realização do planejamento desses cortes, ocorrendo muitos atrasos em suas entregas, o que torna esse método inviável.

A aquisição do *software* Corte Certo seria a melhor maneira de atender a empresa para uma melhor adequação em seu processo produtivo, pois o mesmo apresentou menores custos em um determinado período estabelecido para a análise, alcançando-se assim uma redução em termos financeiros de 49% comparado a não realização de qualquer planejamento.

REFERÊNCIAS

- ALVES, A. F. **Guia de estudo: Pesquisa Operacional**. Varginha: Gead-Unis. 2009.
- ANDRADE, E. L. **Introdução a pesquisa operacional: Métodos e modelos para análise de decisões**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.
- ARENALES, M. N. et al. **Pesquisa Operacional**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.
- BELFIORE, P.; FÁVERO, L. P. **Pesquisa operacional para cursos de Engenharia**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.
- CHIANG, A. **Matemática para economistas**. São Paulo: MacGraw-Hill, 1982.
- COLIN, E. C. **Pesquisa Operacional: 170 aplicações em estratégias, finanças, logística, produção, marketing e vendas**. Rio de Janeiro: LTC, 2007.
- CORTE CERTO. **Software para Otimização de Planos de Corte**. Disponível em: <<http://www.cortecerto.com>>. Acesso em: 07 jun. 2015.
- COUTINHO, J. D. V.; SILVA, M. I. M. T. **Aplicação de Programação Linear para o Cálculo da Compra de Insumos para Rações de Vacas Leiteiras**. 2013. 86p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção)- Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.
- EHRlich, P. J. **Pesquisa Operacional: Curso introdutório**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 1991.
- ERMES, M. S. et al. **Pesquisa Operacional para os cursos de administração e engenharia: programação linear: simulação**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução à Pesquisa Operacional**. 8. ed. Porto Alegre: AMGH, 2010.
- IZMAILOV, A.; SOLODOV, M. **Otimização volume 2: Métodos computacionais**. 2. ed. Rio de Janeiro: IMPA, 2012.
- JACOBES, F. R.; CHASE, R. B. **Administração de operações e da cadeia de suprimentos**. 13. ed. Porto Alegre: AMGH, 2012.
- JUNIOR, A. C. G.; SOUZA, M. J. F. **Solver - Excel : Manual de Referência**. Ouro Preto, MG. 2004.
- LISBOA, E.F.A. **Apostila do curso: pesquisa Operacional**. Rio de Janeiro. 2002.
- LUNA, H. P. L.; GOLDBARG, M. C. **Otimização combinatória e programação linear: modelos e algoritmos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.
- MARINS, F. A. S. **Introdução à Pesquisa Operacional**. São Paulo. 2011.
- MOREIRA, D. A. **Pesquisa Operacional: curso introdutório**. São Paulo: Thomson Learning, 2007.

NASCIMENTO, S.V do. **Pesquisa Operacional e análise de investimentos, suas aplicações na indústria e nos serviços**: com utilização do software Lindo. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2012.

OTIMIZE NESTING, **Software para Planos de Corte**. Disponível em: <<http://www.otimizenesting.com.br>>. Acesso em: 05 jun. 2015.

SACOMAN, M. A. H. In: XL CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 2012, Belém, PA. **Otimização de projetos utilizando GRG, Solver e excel**. Belém, 2012. 2-3.

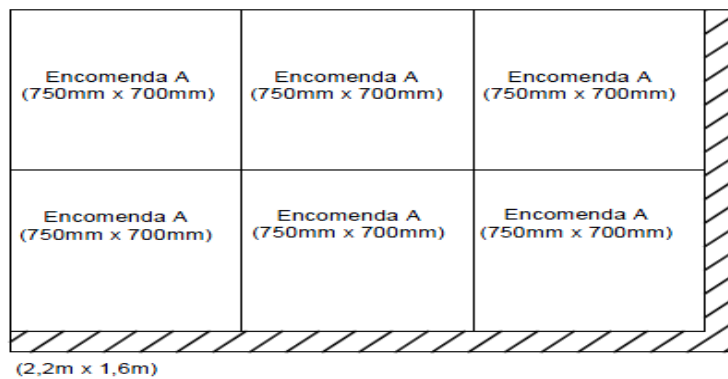
SANTOS, J. C. de O. **Redução de desperdício no processo de corte de vidros via programação linear inteira: um estudo de caso em uma empresa do Centro-Oeste de Minas Gerais**. 2014. 48 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção)-Centro Universitário de Formiga-UNIFOR-MG, Formiga, 2014.

SILVA, E. M. da et al. **Pesquisa Operacional para os cursos de Administração e Engenharia**. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2010.

TAHA, H. A. **Pesquisa Operacional: uma visão geral**. 8. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

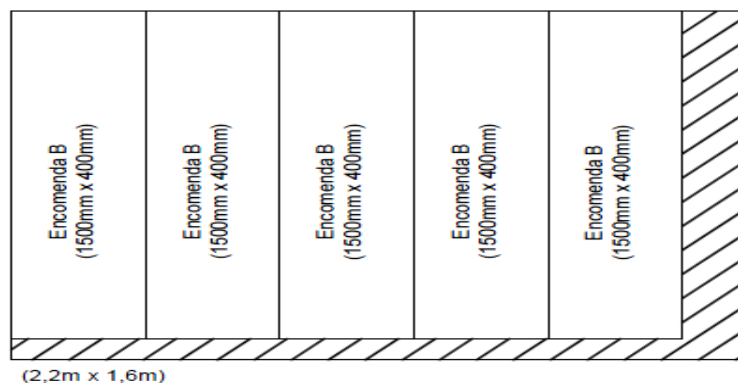
APÊNDICE A - ALGUNS POSSÍVEIS MODOS DE CORTES INDIVIDUAIS E CORTES EM CONJUNTOS

Figura A.1 – Corte 1.



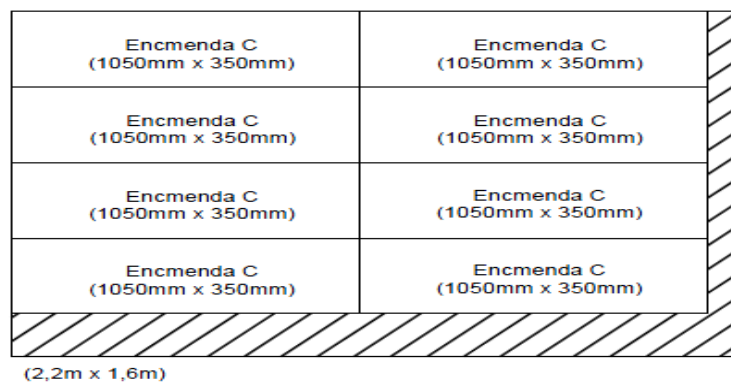
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.2 – Corte 2.



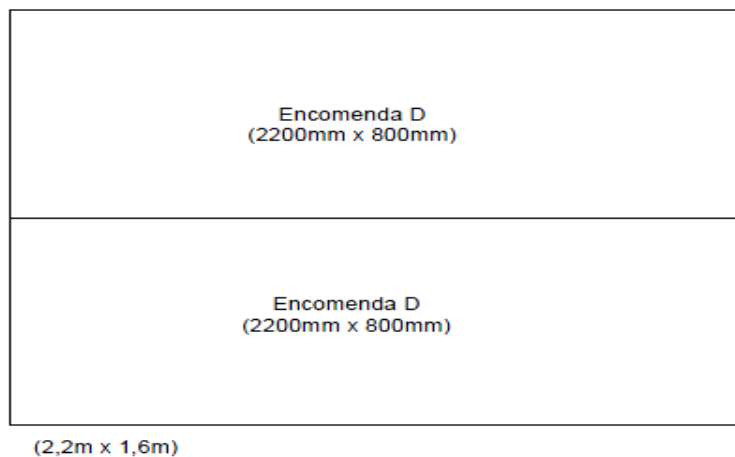
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.3 – Corte 3.



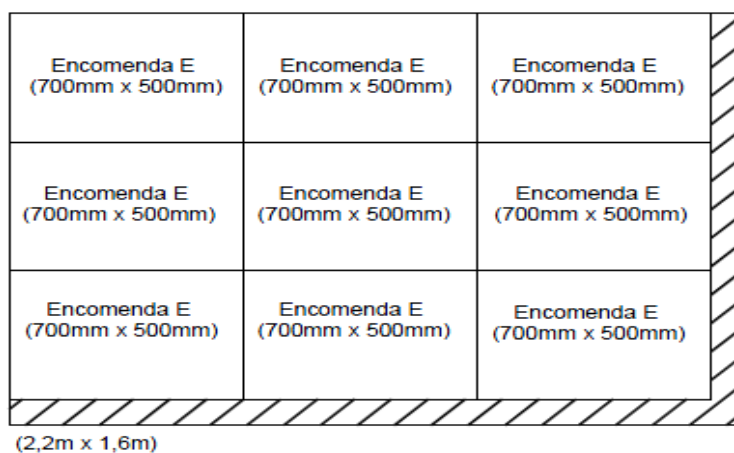
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.4 – Corte 4.



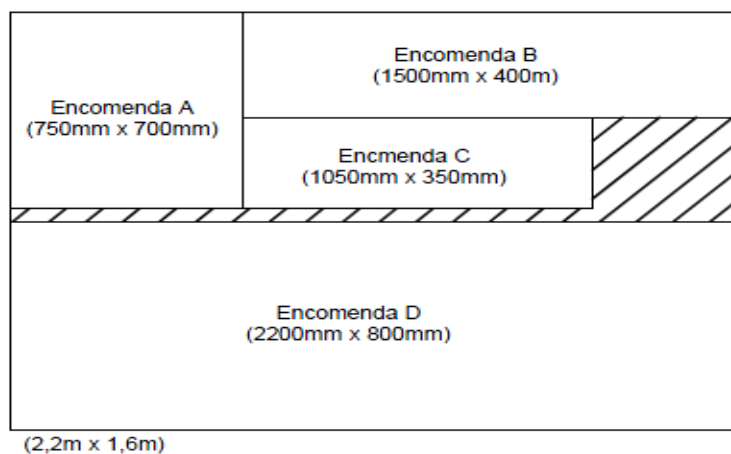
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.5 – Corte 5.



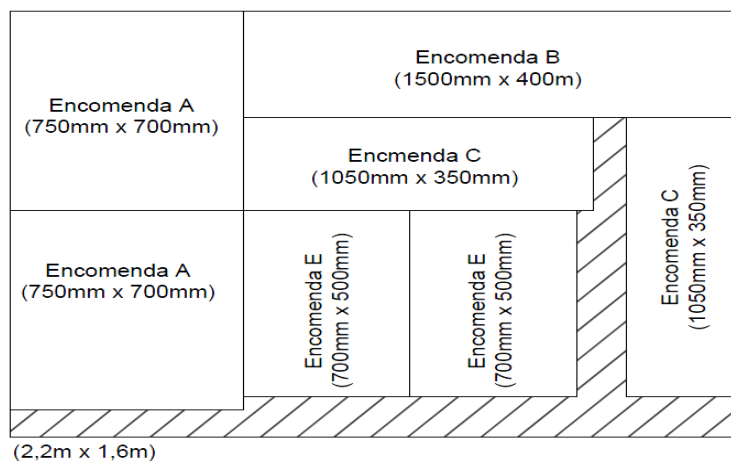
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.6 – Corte 6.



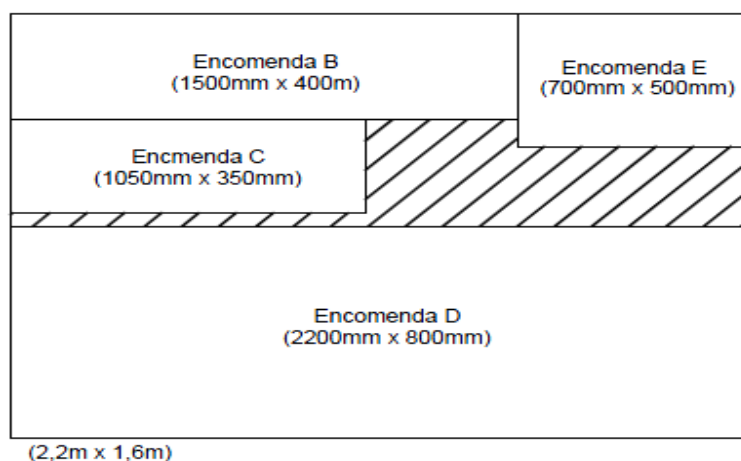
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.7 – Corte 7.



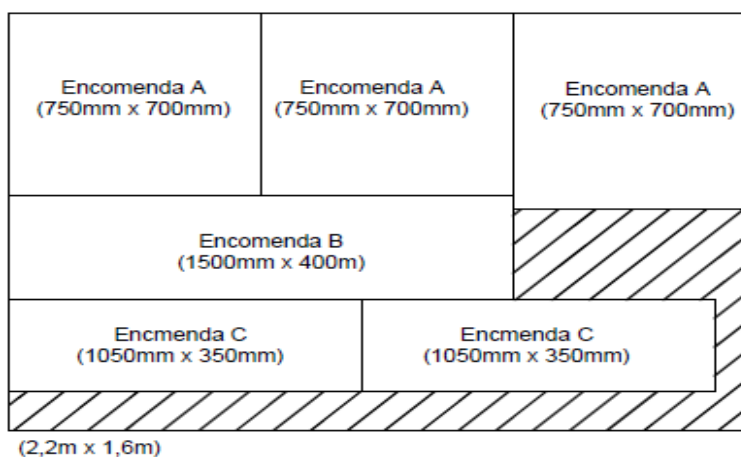
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.8 – Corte 8.



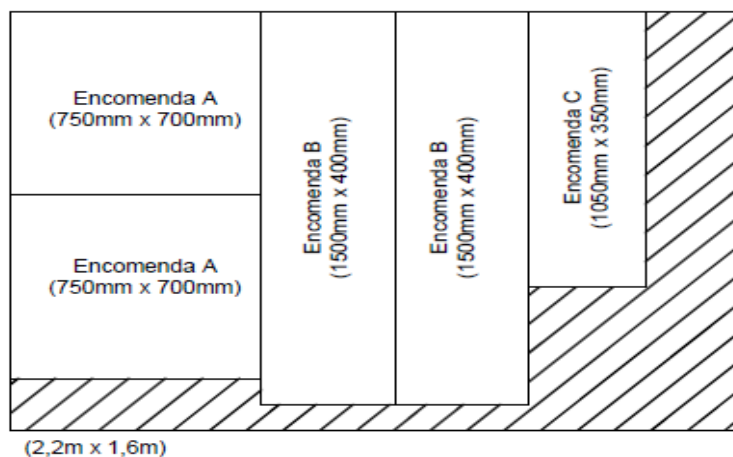
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.9 – Corte 9.



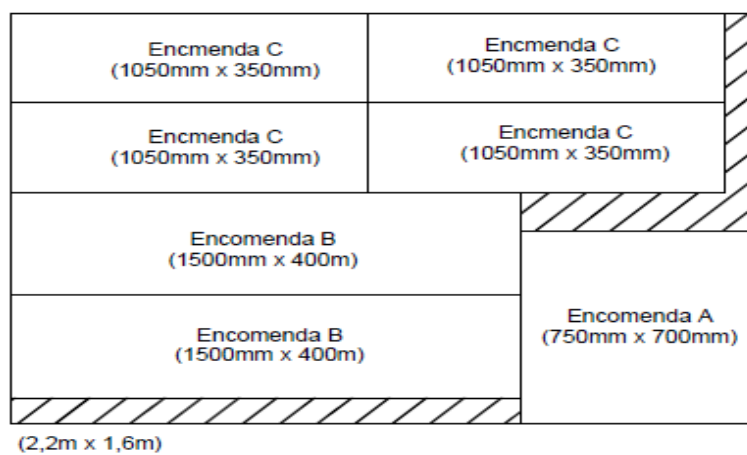
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.10 – Corte 10.



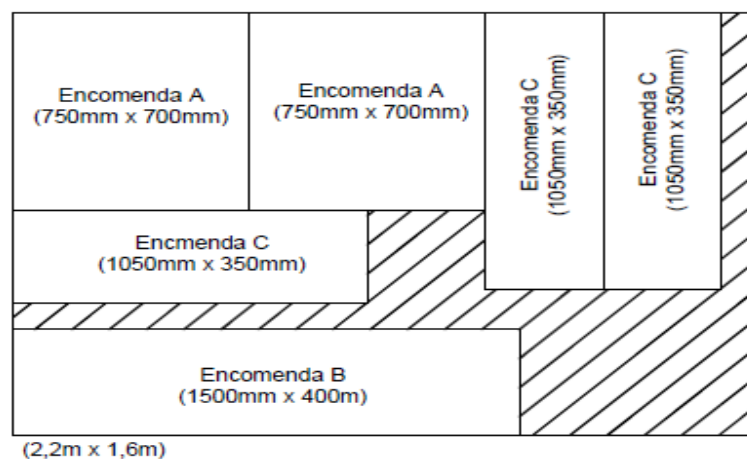
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.11 – Corte 11.



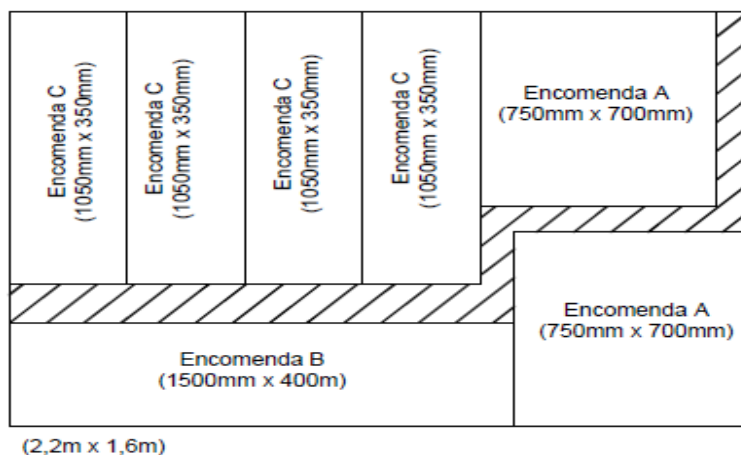
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.12 – Corte 12.



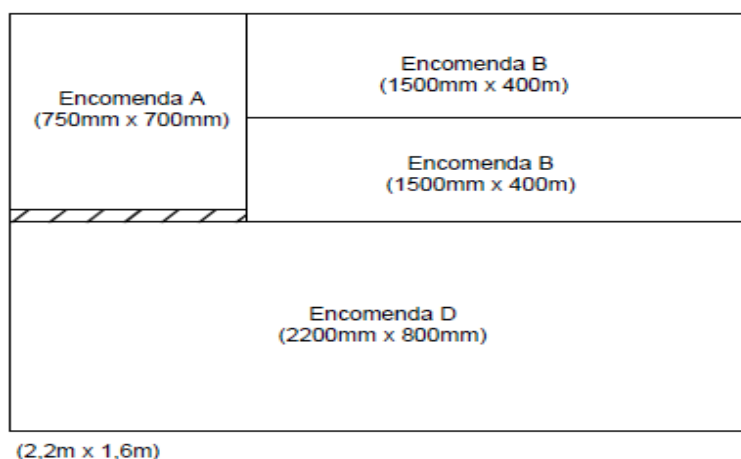
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.13 – Corte 13.



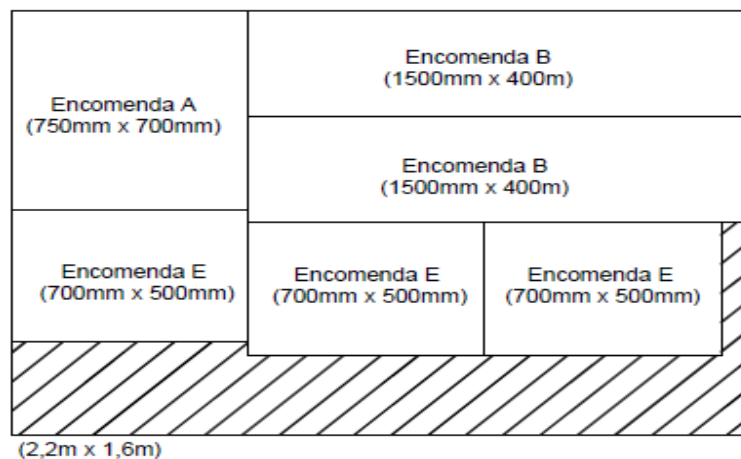
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.14 – Corte 14.



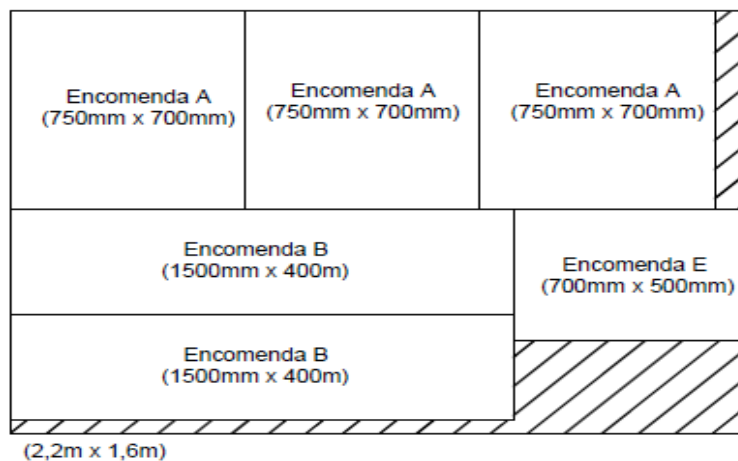
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.15 – Corte 15.



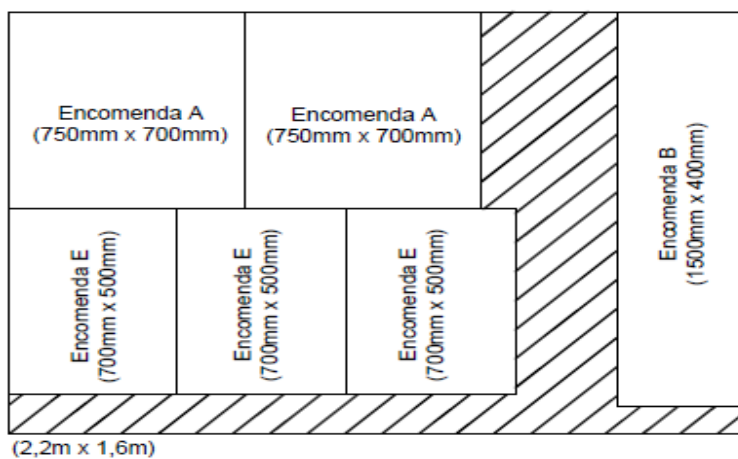
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.16 – Corte 16.



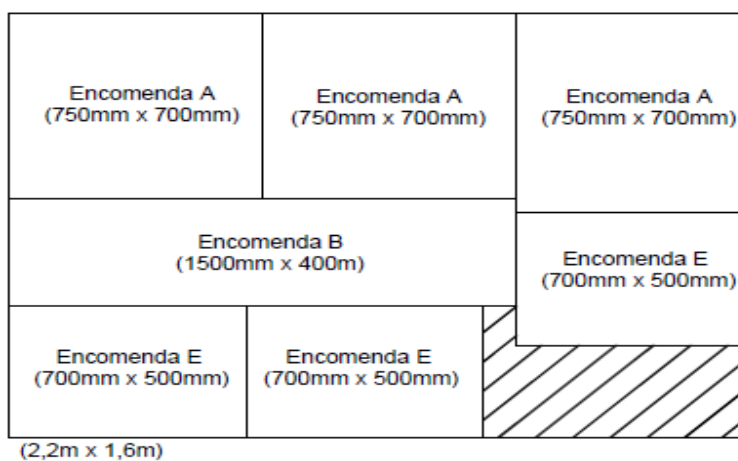
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.17 – Corte 17.



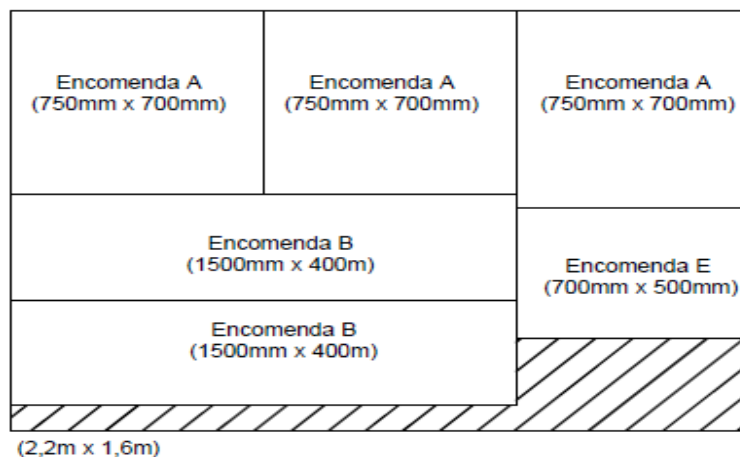
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.18 – Corte 18.



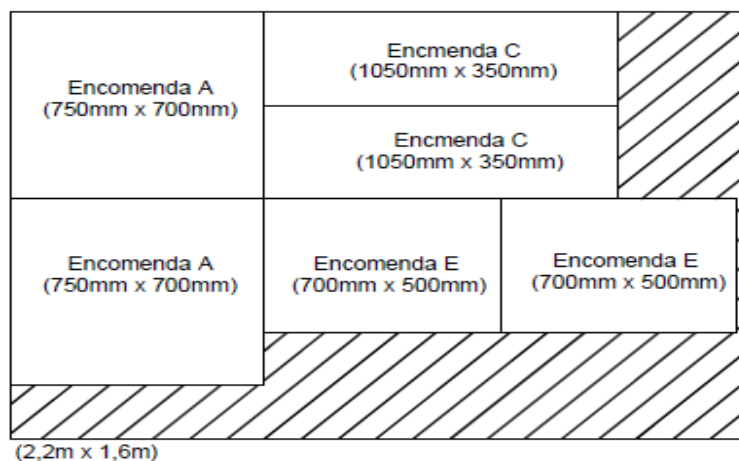
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.19 – Corte 19.



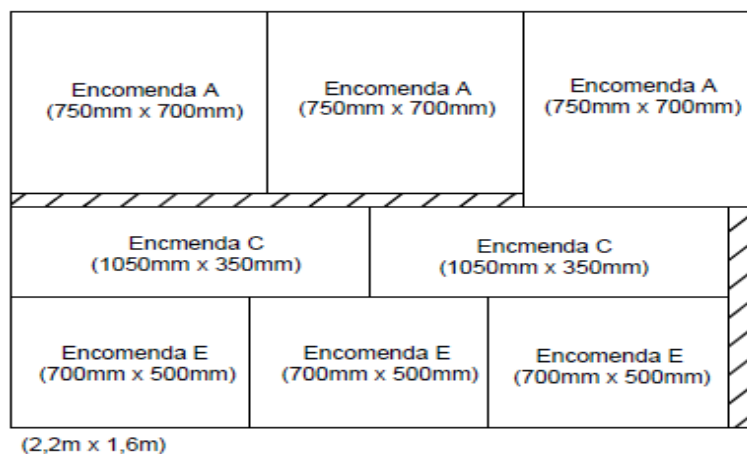
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.20 – Corte 20.



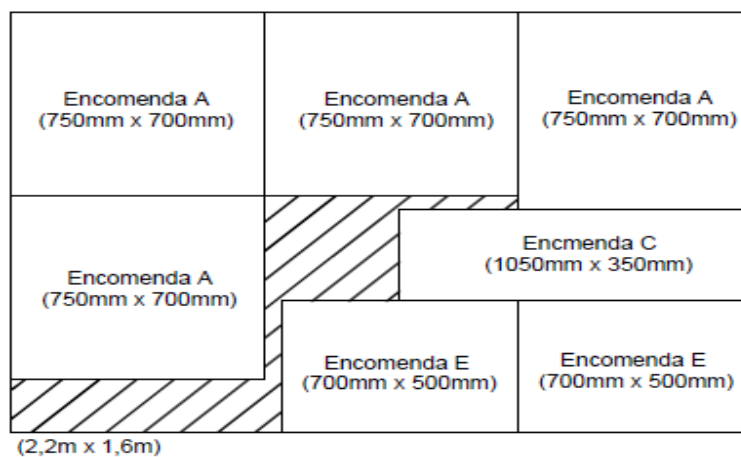
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.21 – Corte 21.



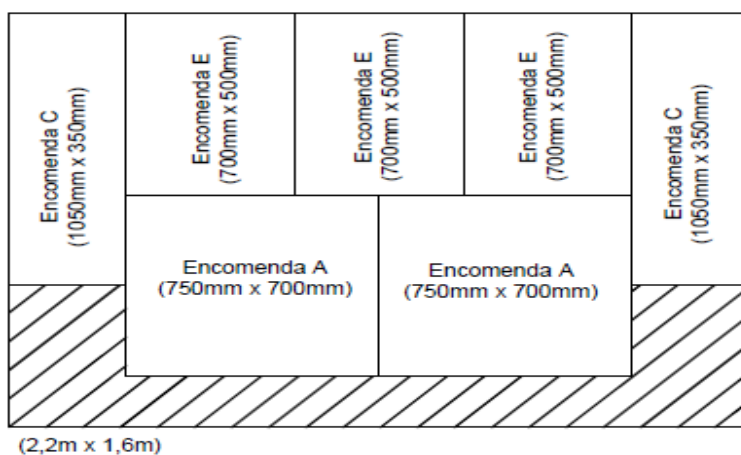
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.22 – Corte 22.



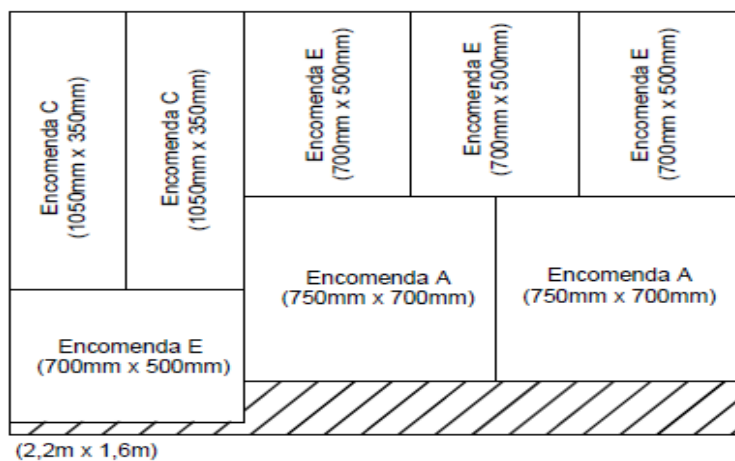
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.23 – Corte 23.



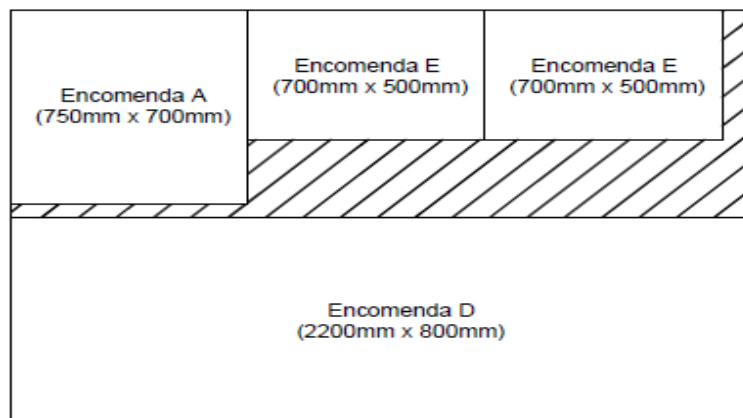
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.24 – Corte 24.



Fonte: Do próprio autor (2015)

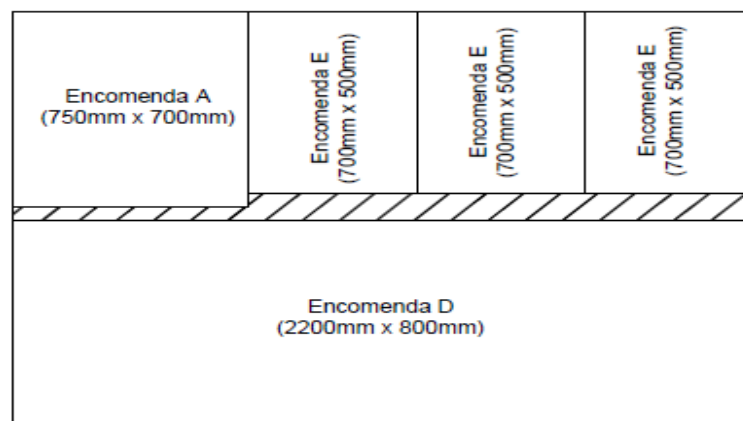
Figura A.25 – Corte 25.



(2,2m x 1,6m)

Fonte: Do próprio autor (2015)

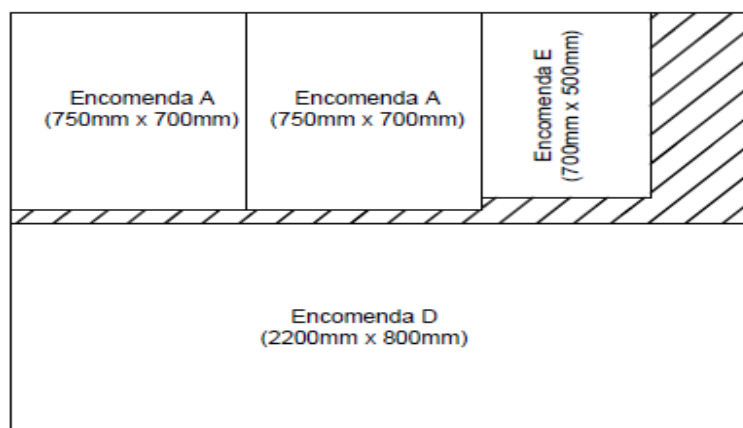
Figura A.26 – Corte 26.



(2,2m x 1,6m)

Fonte: Do próprio autor (2015)

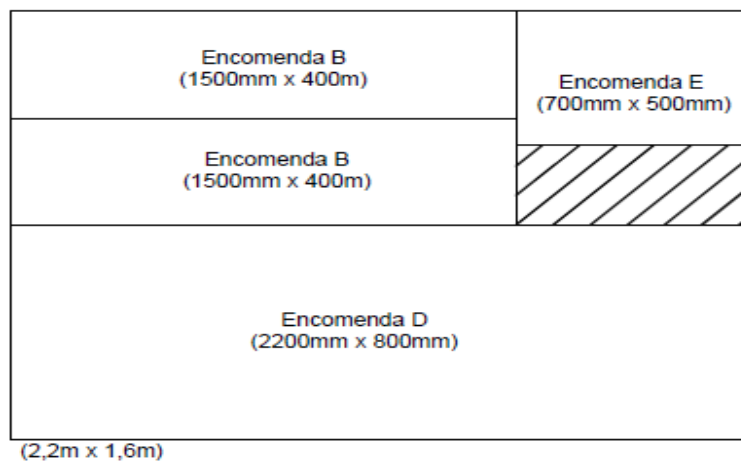
Figura A.27 – Corte 27.



(2,2m x 1,6m)

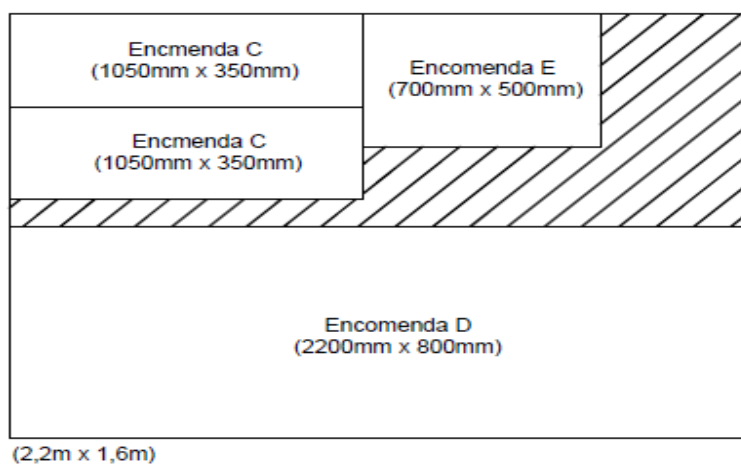
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.28 – Corte 28.



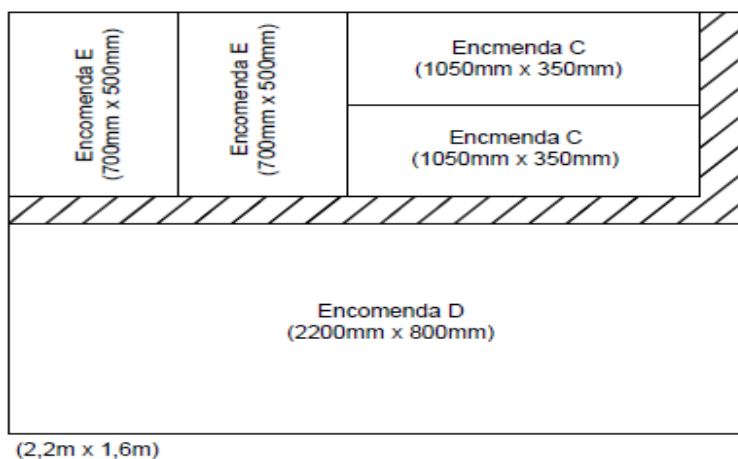
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.29 – Corte 29.



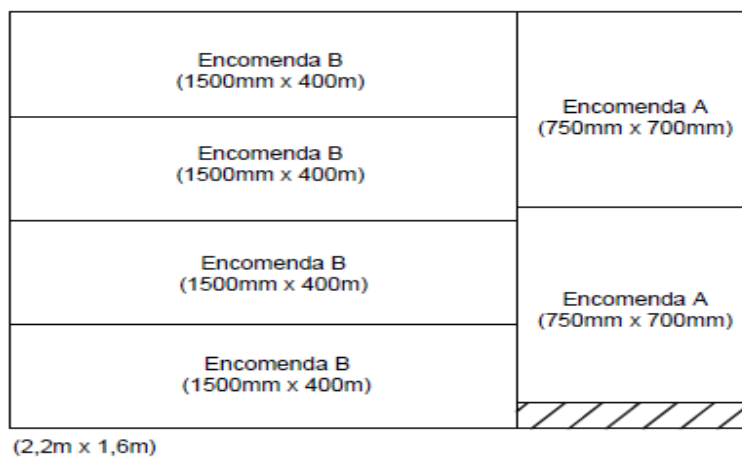
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.30 – Corte 30.



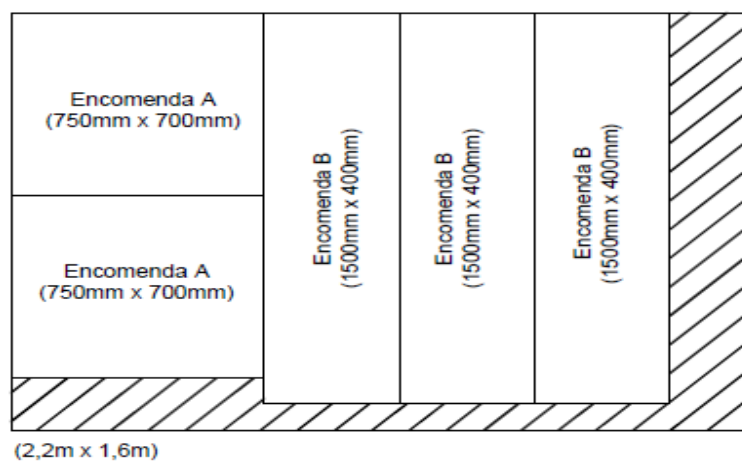
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.31 – Corte 31.



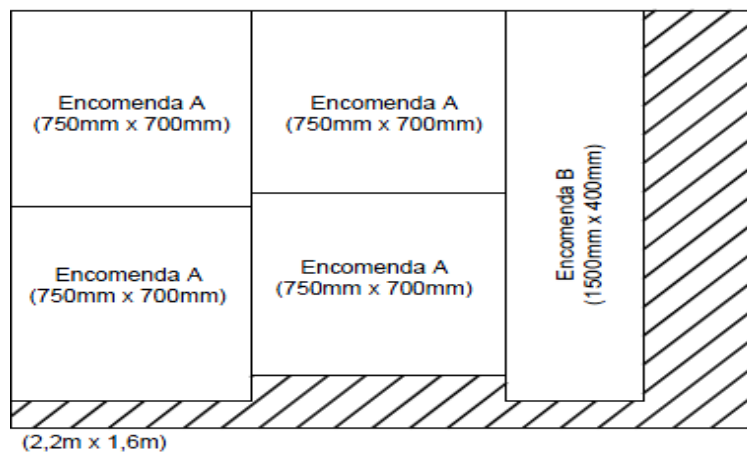
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.32 – Corte 32.



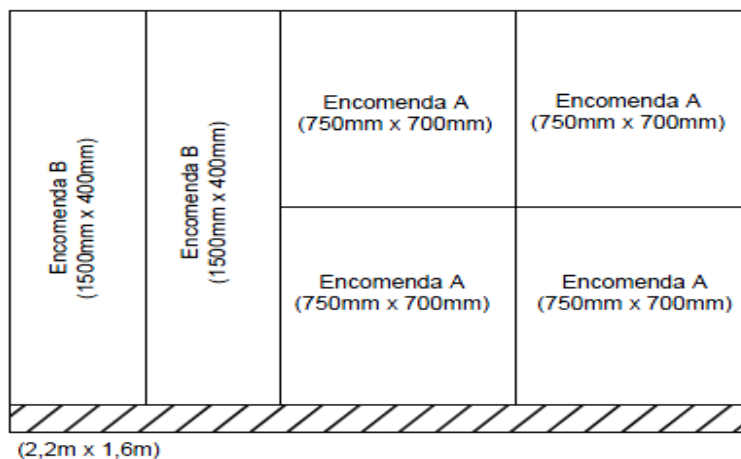
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.33 – Corte 33.



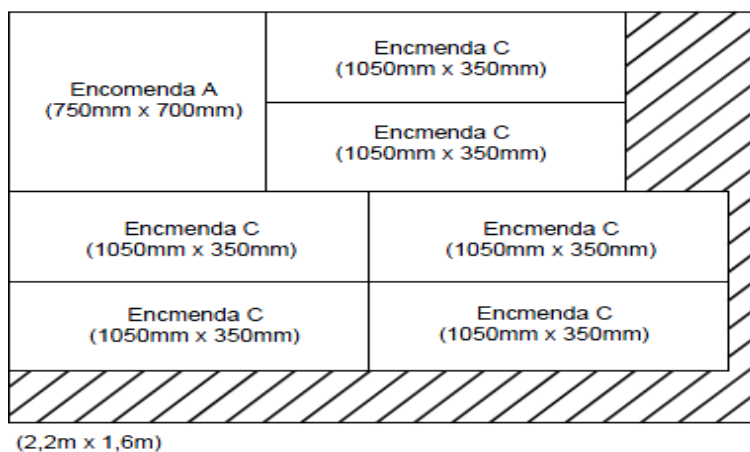
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.34 – Corte 34.



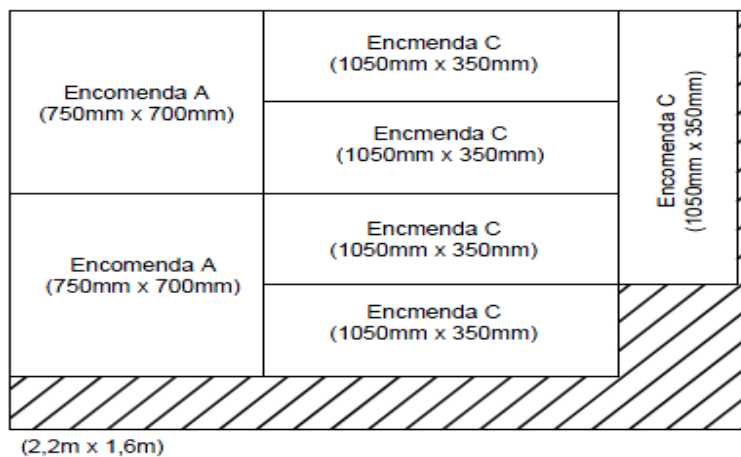
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.35 – Corte 35.



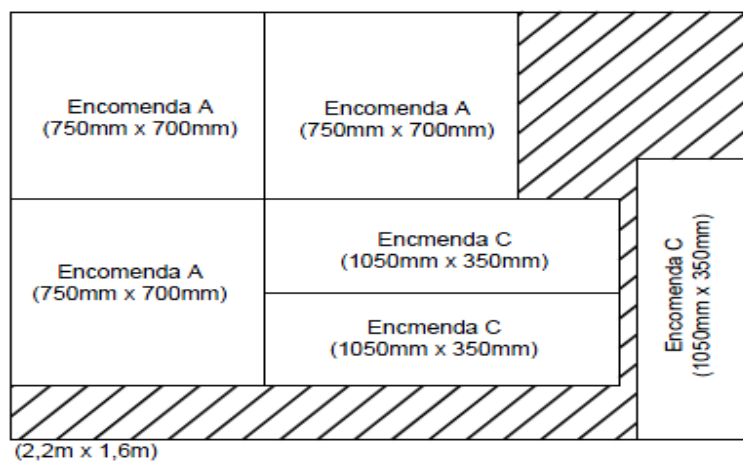
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.36 – Corte 36.



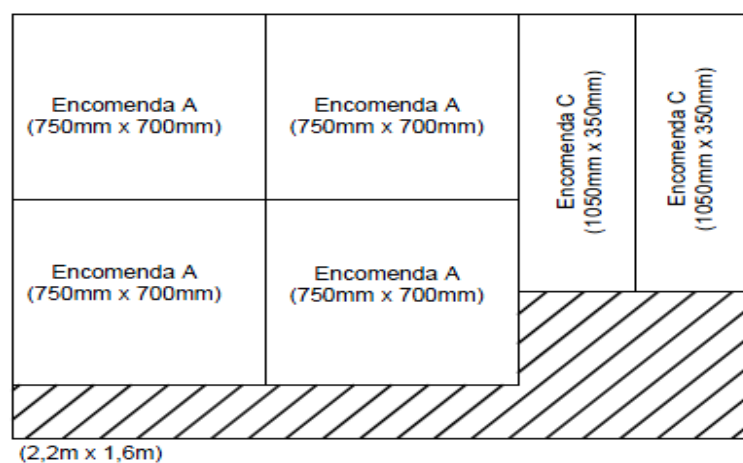
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.37 – Corte 37.



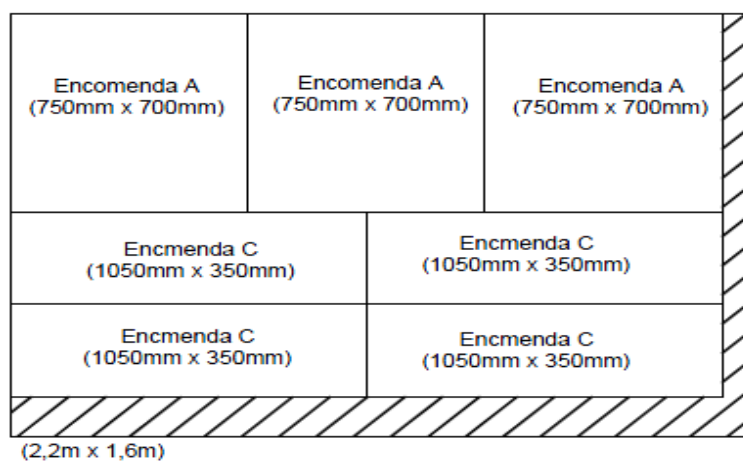
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.38 – Corte 38.



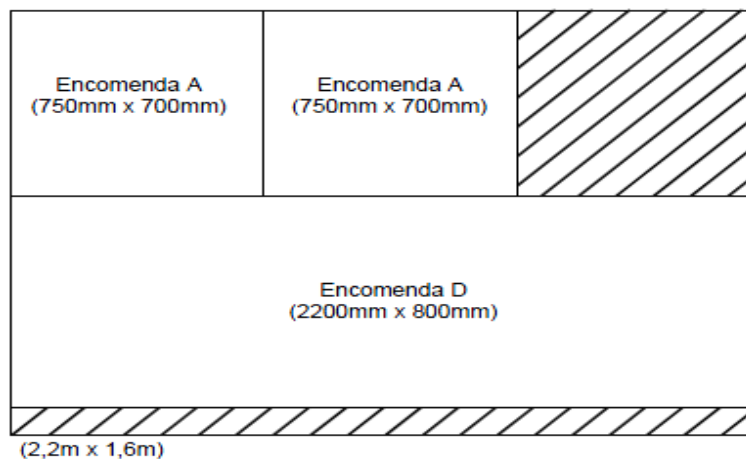
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.39 – Corte 39.



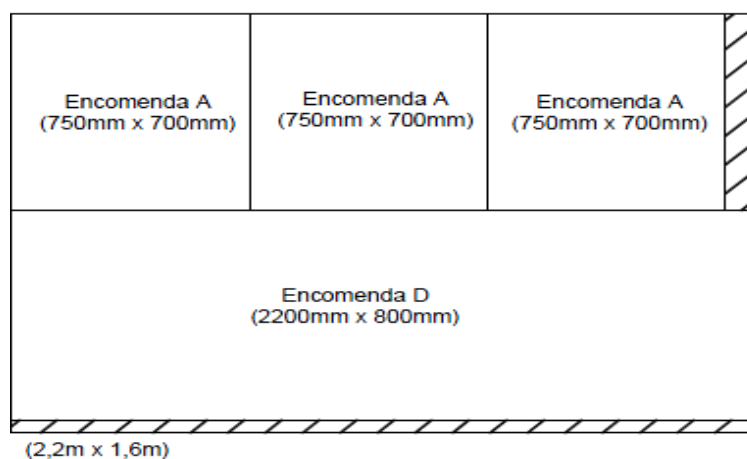
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.40 – Corte 40.



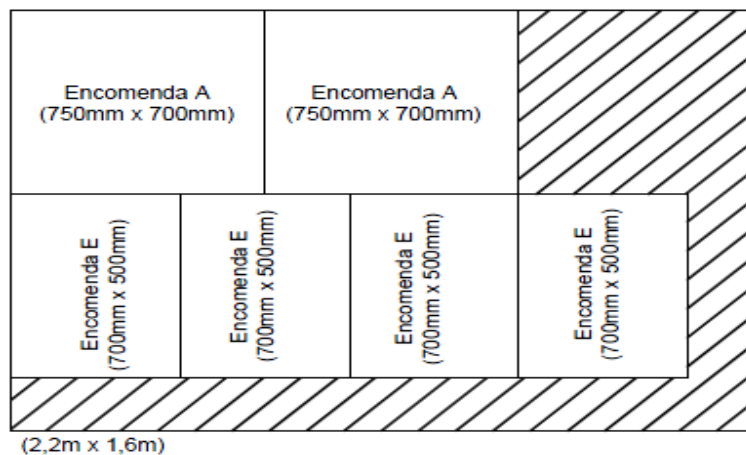
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.41 – Corte 41.



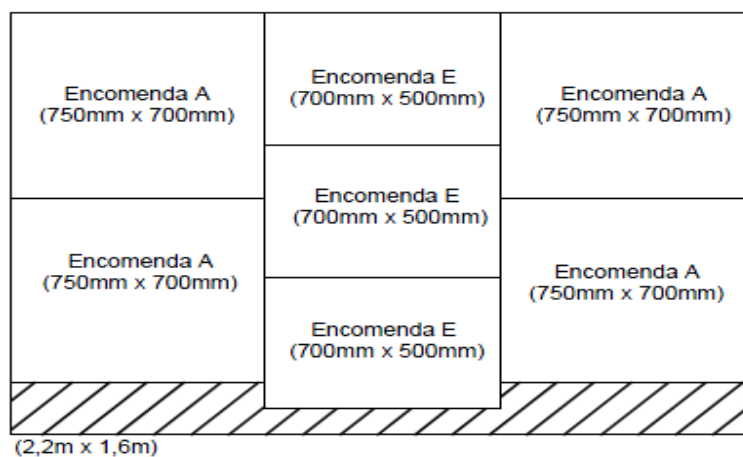
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.42– Corte 42.



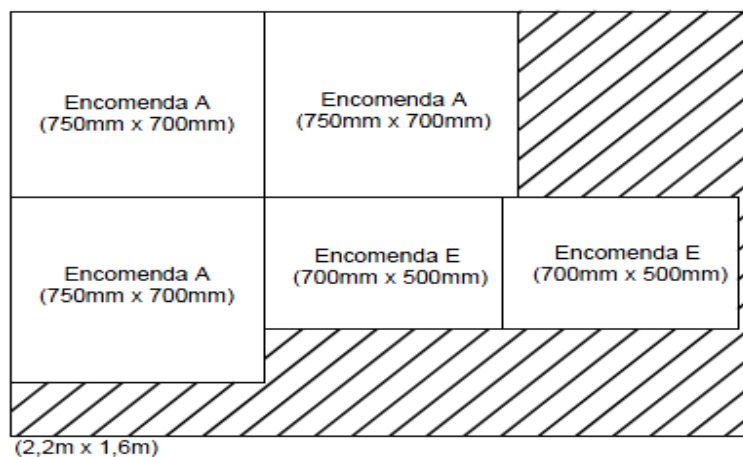
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.43 – Corte 43.



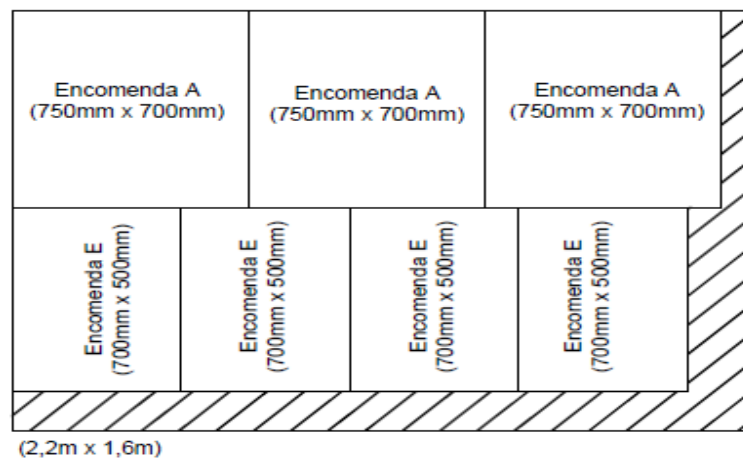
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.44 – Corte 44.



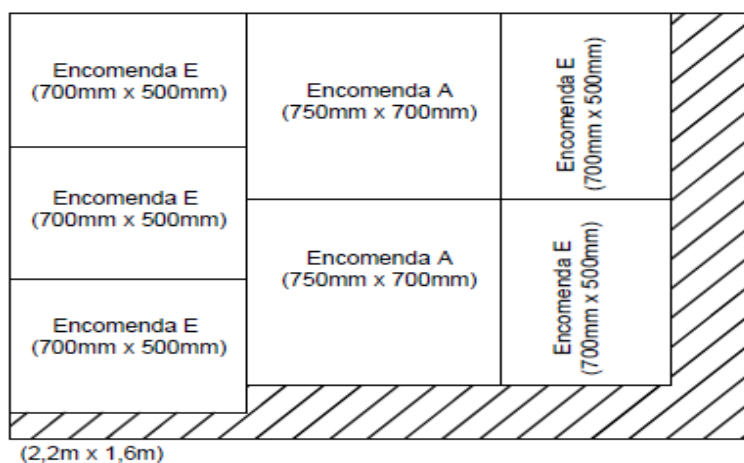
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.45 – Corte 45.



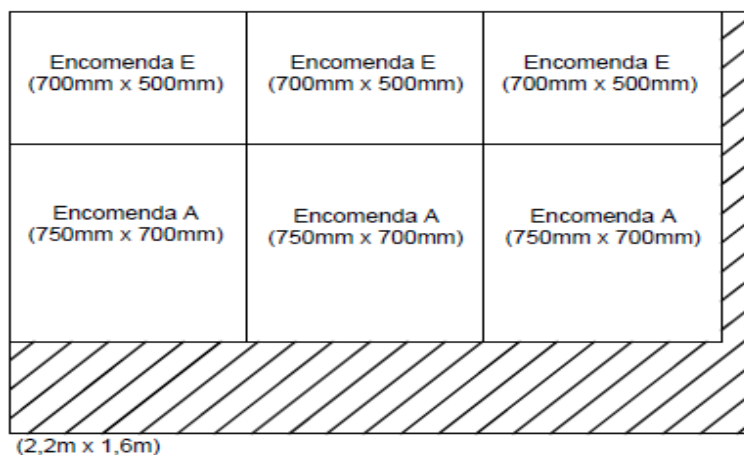
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.46 – Corte 46.



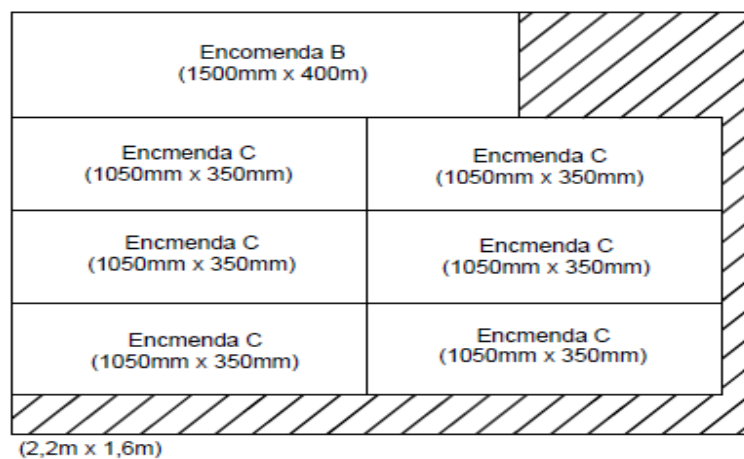
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.47 – Corte 47.



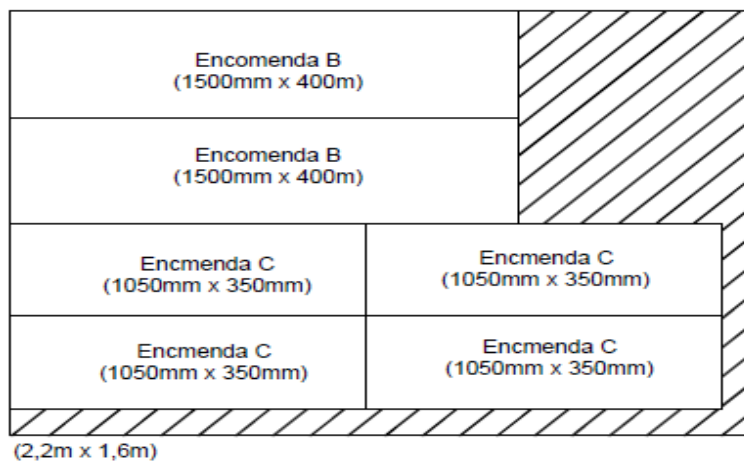
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.48 – Corte 48.



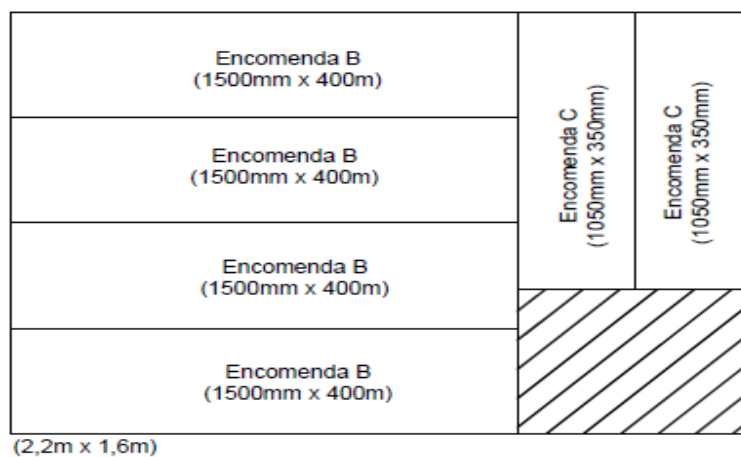
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.49 – Corte 49.



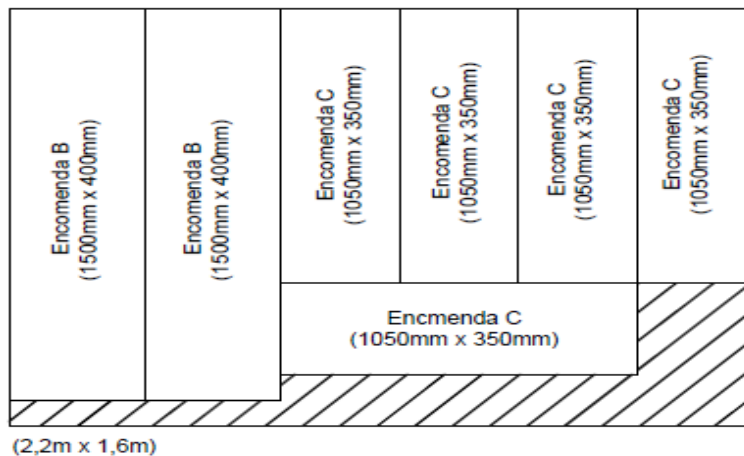
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.50 – Corte 50.



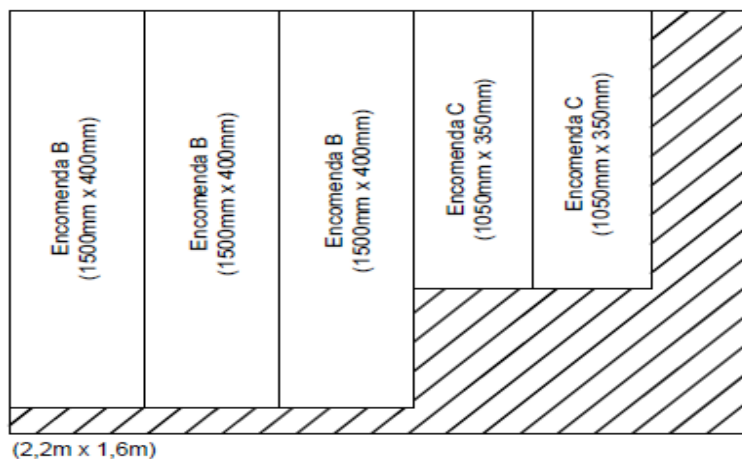
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.51 – Corte 51.



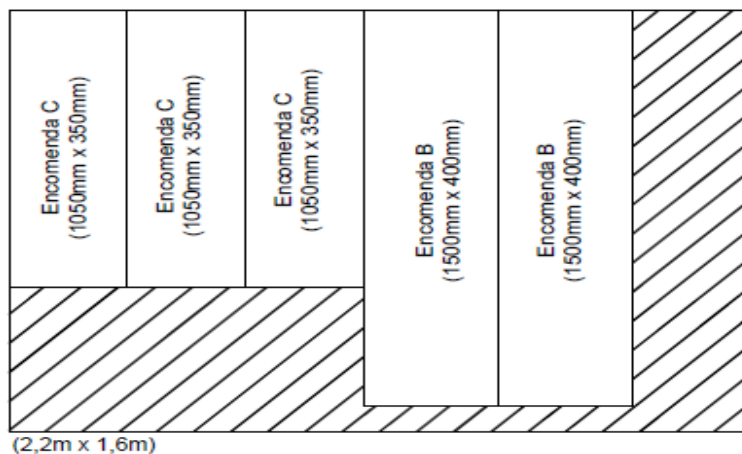
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.52 – Corte 52.



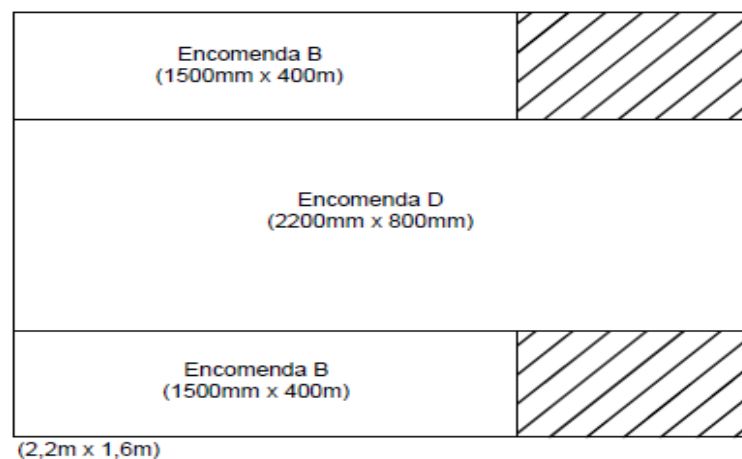
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.53 – Corte 53.



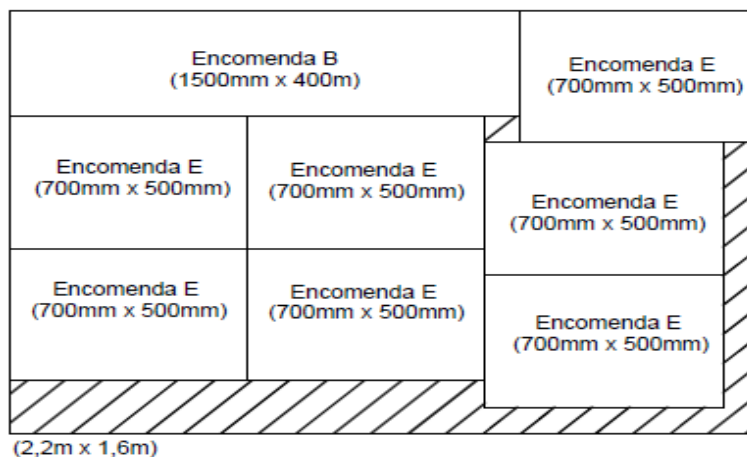
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.54 – Corte 54.



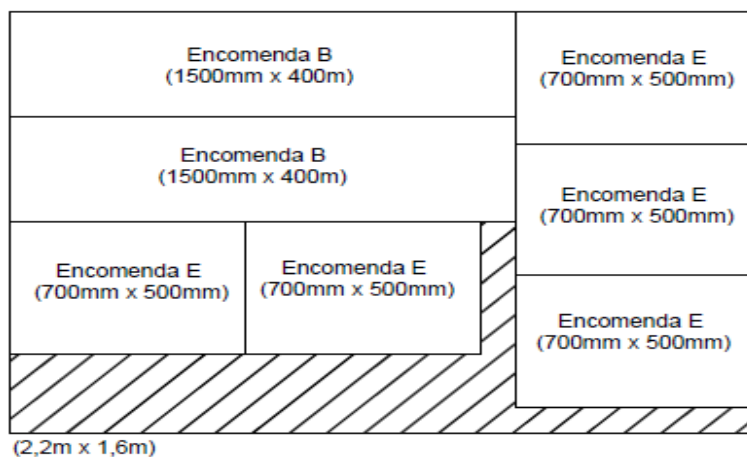
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.55 – Corte 55.



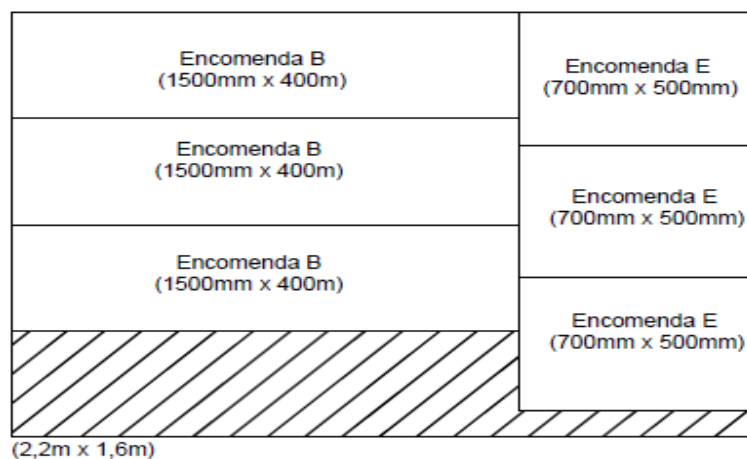
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.56 – Corte 56.



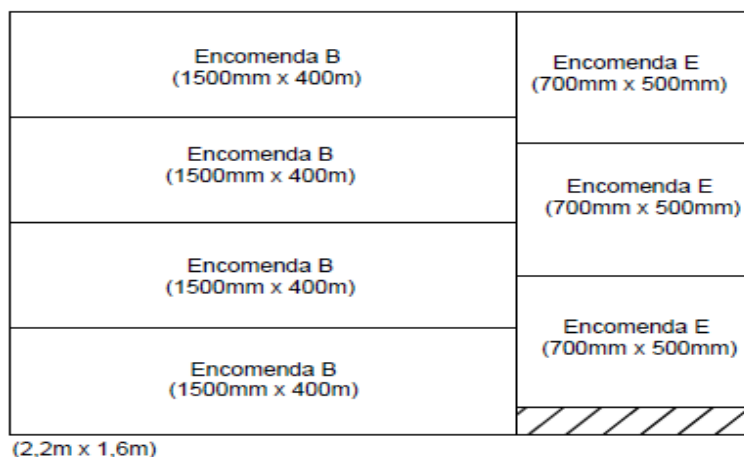
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.57 – Corte 57.



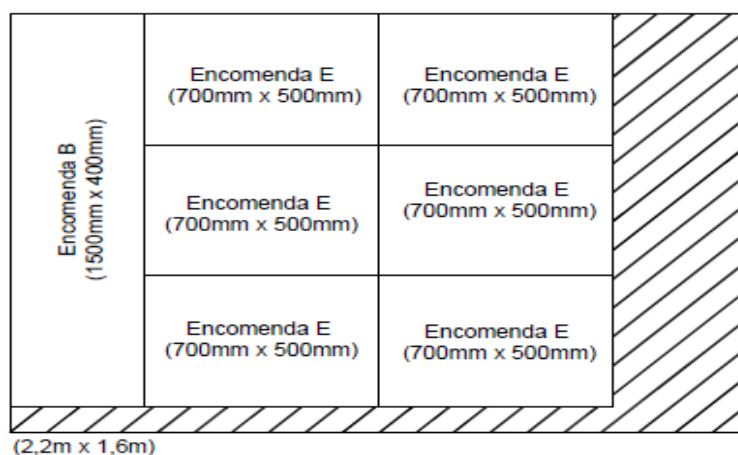
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.58 – Corte 58.



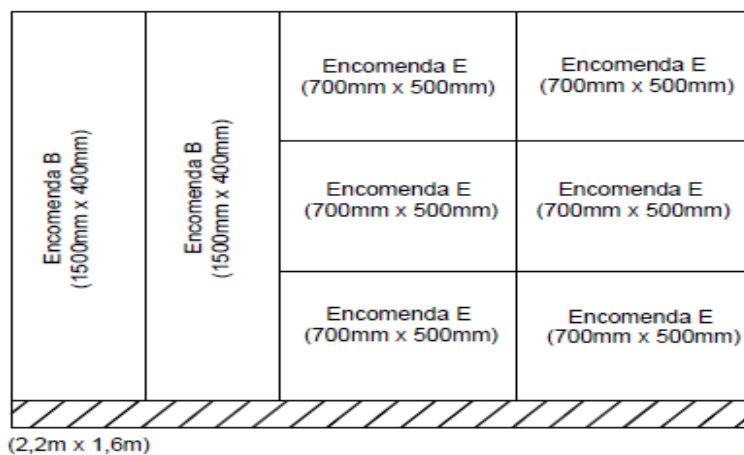
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.59 – Corte 59.



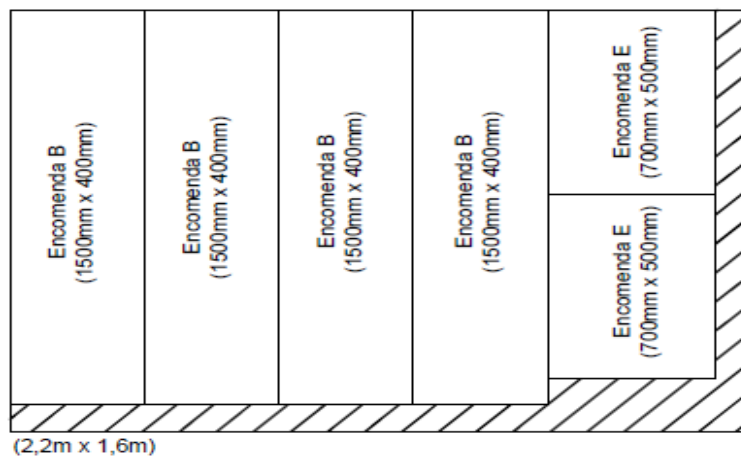
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.60 – Corte 60.



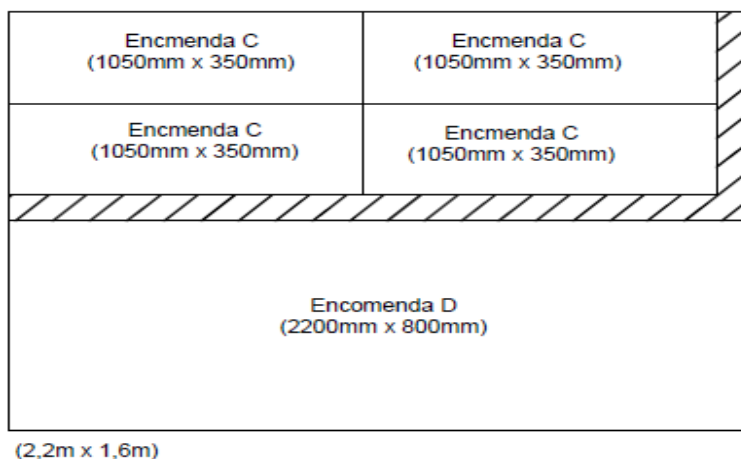
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.61 – Corte 61.



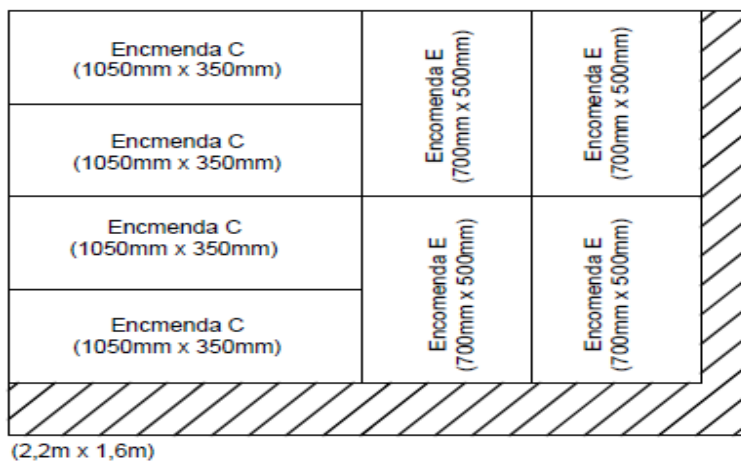
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.62 – Corte 62.



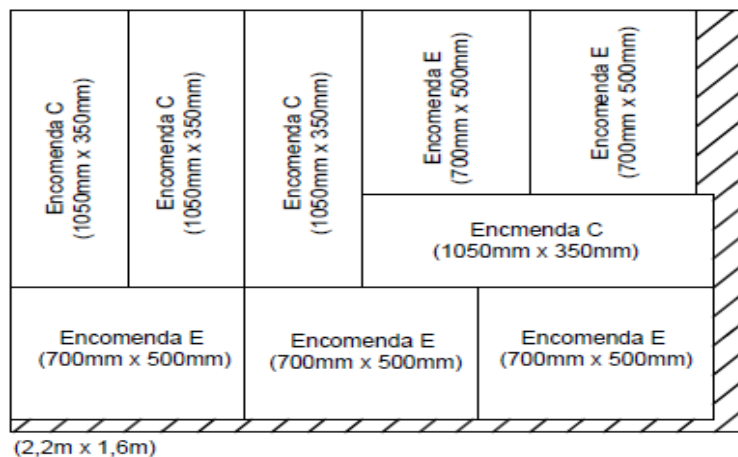
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.63 – Corte 63.



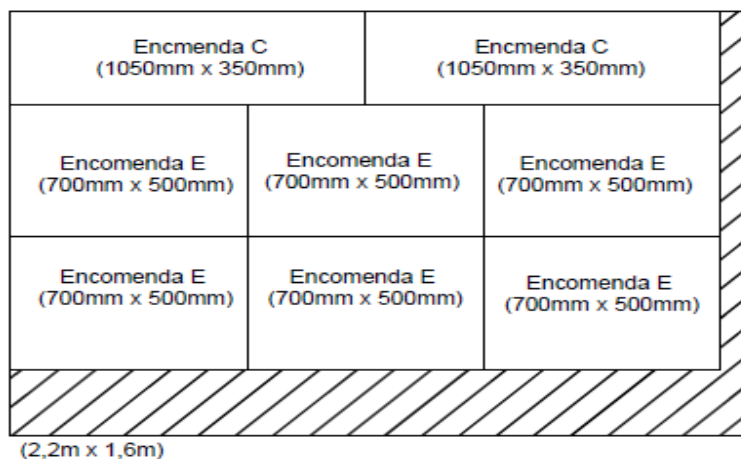
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.64 – Corte 64.



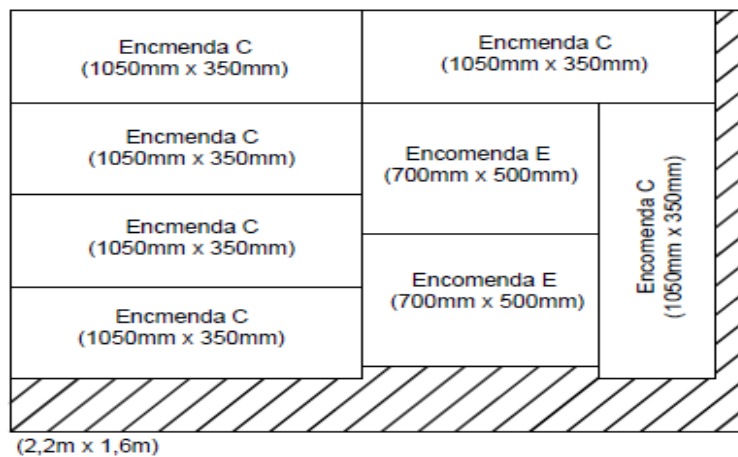
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.65 – Corte 65.



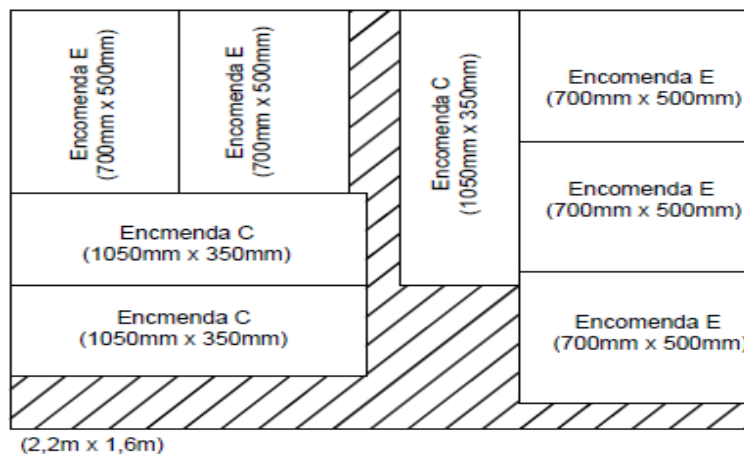
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.66 – Corte 66.



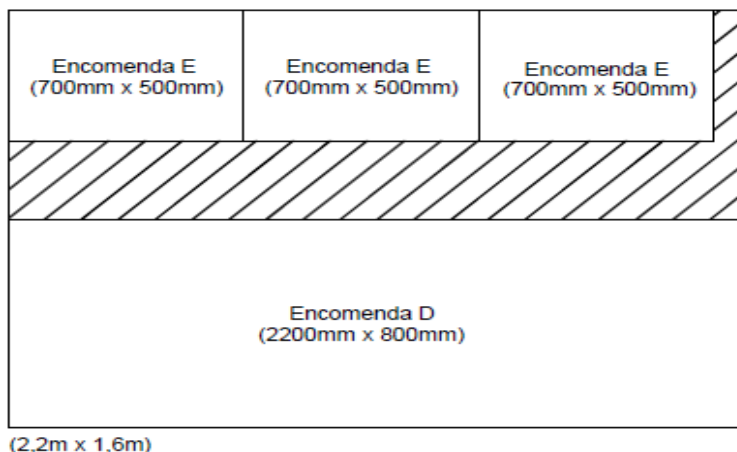
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.67 – Corte 67.



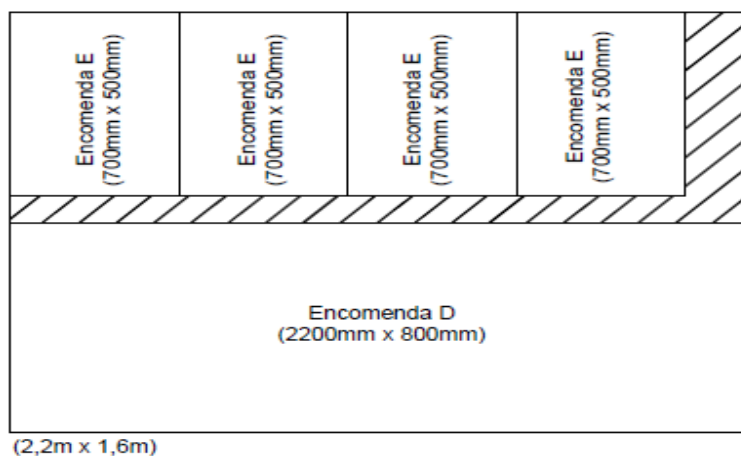
Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.68 – Corte 68.



Fonte: Do próprio autor (2015)

Figura A.69 – Corte 69.



Fonte: Do próprio autor (2015)

APÊNDICE B – LISTA DE ALGUNS POSSÍVEIS MODOS DE CORTE

- Utilizando-se do corte x1, adquire-se 6 unidades da encomenda A, desperdiçando-se 0,37 m².
- Utilizando-se do corte x2, adquire-se 5 unidades da encomenda B, desperdiçando-se 0,52 m².
- Utilizando-se do corte x3, adquire-se 8 unidades da encomenda C, desperdiçando-se 0,58 m².
- Utilizando-se do corte x4, adquire-se 2 unidades da encomenda D, desperdiçando-se 0 m².
- Utilizando-se do corte x5, adquire-se 9 unidades da encomenda E, desperdiçando-se 0,37 m².
- Utilizando-se do corte x6, adquire-se 1 unidade da encomenda A, 1 unidade da encomenda B, 1 unidade da encomenda C e 1 unidade da encomenda D, desperdiçando-se 0,27 m².
- Utilizando-se do corte x7, adquire-se 2 unidades da encomenda A, 1 unidade da encomenda B, 2 unidades da encomenda C e 2 unidades da encomenda E, desperdiçando-se 0,43 m².
- Utilizando-se do corte x8, adquire-se 1 unidade da encomenda B, 1 unidade da encomenda C, 1 unidade da encomenda D e 1 unidade da encomenda E, desperdiçando-se 0,44 m².
- Utilizando-se do corte x9, adquire-se 3 unidades da encomenda A, 1 unidade da encomenda B e 2 unidades da encomenda C, desperdiçando-se 0,61 m².
- Utilizando-se do corte x10, adquire-se 2 unidades da encomenda A, 2 unidades da encomenda B e 1 unidade da encomenda C, desperdiçando-se 0,91 m².
- Utilizando-se do corte x11, adquire-se 1 unidade da encomenda A, 2 unidades da encomenda B e 4 unidades da encomenda C, desperdiçando-se 0,32 m².
- Utilizando-se do corte x12, adquire-se 2 unidades da encomenda A, 1 unidade da encomenda B e 3 unidades da encomenda C, desperdiçando-se 0,77 m².

- Utilizando-se do corte x13, adquire-se 2 unidades da encomenda A, 1 unidade da encomenda B e 4 unidades da encomenda C, desperdiçando-se 0,40 m².
- Utilizando-se do corte x14, adquire-se 1 unidade da encomenda A, 2 unidades da encomenda B e 1 unidade da encomenda D, desperdiçando-se 0,04 m².
- Utilizando-se do corte x15, adquire-se 1 unidade da encomenda A, 2 unidades da encomenda B e 3 unidades da encomenda E, desperdiçando-se 0,74 m².
- Utilizando-se do corte x16, adquire-se 3 unidades da encomenda A, 2 unidades da encomenda B e 1 unidade da encomenda E, desperdiçando-se 0,40 m².
- Utilizando-se do corte x17, adquire-se 2 unidades da encomenda A, 1 unidade da encomenda B e 3 unidades da encomenda E, desperdiçando-se 0,82 m².
- Utilizando-se do corte x18, adquire-se 3 unidades da encomenda A, 1 unidade da encomenda B e 3 unidades da encomenda E, desperdiçando-se 0,30 m².
- Utilizando-se do corte x19, adquire-se 3 unidades da encomenda A, 2 unidades da encomenda B e 1 unidade da encomenda E, desperdiçando-se 0,40 m².
- Utilizando-se do corte x20, adquire-se 2 unidades da encomenda A, 2 unidades da encomenda C e 2 unidades da encomenda E, desperdiçando-se 1,04 m².
- Utilizando-se do corte x21, adquire-se 3 unidades da encomenda A, 2 unidades da encomenda C e 3 unidades da encomenda E, desperdiçando-se 0,16 m².
- Utilizando-se do corte x22, adquire-se 4 unidades da encomenda A, 1 unidade da encomenda C e 2 unidades da encomenda E, desperdiçando-se 0,35 m².
- Utilizando-se do corte x23, adquire-se 2 unidades da encomenda A, 2 unidades da encomenda C e 3 unidades da encomenda E, desperdiçando-se 0,68 m².

- Utilizando-se do corte x24, adquire-se 2 unidades da encomenda A, 2 unidades da encomenda C e 4 unidades da encomenda E, desperdiçando-se 0,34 m².
- Utilizando-se do corte x25, adquire-se 1 unidade da encomenda A, 1 unidade da encomenda D e 2 unidades da encomenda E, desperdiçando-se 0,54 m².
- Utilizando-se do corte x26, adquire-se 1 unidade da encomenda A, 1 unidade da encomenda D e 3 unidades da encomenda E, desperdiçando-se 0,18 m².
- Utilizando-se do corte x27, adquire-se 2 unidades da encomenda A, 1 unidade da encomenda D e 1 unidade da encomenda E, desperdiçando-se 0,36 m².
- Utilizando-se do corte x28, adquire-se 2 unidades da encomenda B, 1 unidade da encomenda D e 1 unidade da encomenda E, desperdiçando-se 0,21 m².
- Utilizando-se do corte x29, adquire-se 2 unidades da encomenda C, 1 unidade da encomenda D e 1 unidade da encomenda E, desperdiçando-se 0,67 m².
- Utilizando-se do corte x30, adquire-se 1 unidade da encomenda C, 1 unidade da encomenda D e 2 unidades da encomenda E, desperdiçando-se 0,32 m².
- Utilizando-se do corte x31, adquire-se 2 unidades da encomenda A e 4 unidades da encomenda B, desperdiçando-se 0,07 m².
- Utilizando-se do corte x32, adquire-se 2 unidades da encomenda A e 3 unidades da encomenda B, desperdiçando-se 0,67 m².
- Utilizando-se do corte x33, adquire-se 4 unidades da encomenda A e 1 unidade da encomenda B, desperdiçando-se 0,82 m².
- Utilizando-se do corte x34, adquire-se 4 unidades da encomenda A e 2 unidades da encomenda B, desperdiçando-se 0,22 m².
- Utilizando-se do corte x35, adquire-se 1 unidade da encomenda A e 6 unidades da encomenda C, desperdiçando-se 0,79 m².
- Utilizando-se do corte x36, adquire-se 2 unidades da encomenda A e 5 unidades da encomenda C, desperdiçando-se 0,63 m².
- Utilizando-se do corte x37, adquire-se 3 unidades da encomenda A e 3 unidades da encomenda C, desperdiçando-se 0,84 m².

- Utilizando-se do corte x38, adquire-se 4 unidades da encomenda A e 2 unidades da encomenda C, desperdiçando-se 0,68 m².
- Utilizando-se do corte x39, adquire-se 3 unidades da encomenda A e 4 unidades da encomenda C, desperdiçando-se 0,48 m².
- Utilizando-se do corte x40, adquire-se 2 unidades da encomenda A e 1 unidade da encomenda D, desperdiçando-se 0,71 m².
- Utilizando-se do corte x41, adquire-se 3 unidades da encomenda A e 1 unidade da encomenda D, desperdiçando-se 0,19 m².
- Utilizando-se do corte x42, adquire-se 2 unidades da encomenda A e 4 unidades da encomenda E, desperdiçando-se 1,07 m².
- Utilizando-se do corte x43, adquire-se 4 unidades da encomenda A e 3 unidades da encomenda E, desperdiçando-se 0,37 m².
- Utilizando-se do corte x44, adquire-se 3 unidades da encomenda A e 2 unidades da encomenda E, desperdiçando-se 1,24 m².
- Utilizando-se do corte x45, adquire-se 3 unidades da encomenda A e 4 unidades da encomenda E, desperdiçando-se 0,54 m².
- Utilizando-se do corte x46, adquire-se 2 unidades da encomenda A e 5 unidades da encomenda E, desperdiçando-se 0,72 m².
- Utilizando-se do corte x47, adquire-se 3 unidades da encomenda A e 3 unidades da encomenda E desperdiçando-se 0,90 m².
- Utilizando-se do corte x48, adquire-se 1 unidade da encomenda B e 6 unidades da encomenda C, desperdiçando-se 0,72 m².
- Utilizando-se do corte x49, adquire-se 2 unidades da encomenda B e 4 unidades da encomenda C, desperdiçando-se 0,85 m².
- Utilizando-se do corte x50, adquire-se 4 unidades da encomenda B e 2 unidades da encomenda C, desperdiçando-se 0,38 m².
- No corte x51, adquire-se 1 unidade da encomenda B e 5 unidades da encomenda C, desperdiçando-se 0,98 m².
- Utilizando-se do corte x52, adquire-se 3 unidades da encomenda B e 2 unidades da encomenda C, desperdiçando-se 0,98 m².
- Utilizando-se do corte x53, adquire-se 2 unidades da encomenda B e 3 unidades da encomenda C, desperdiçando-se 1,22 m².

- Utilizando-se do corte x54, adquire-se 2 unidades da encomenda B e 1 unidade da encomenda D, desperdiçando-se 0,56 m².
- Utilizando-se do corte x55, adquire-se 1 unidade da encomenda B e 7 unidades da encomenda E, desperdiçando-se 0,47 m².
- Utilizando-se do corte x56, adquire-se 2 unidades da encomenda B e 5 unidades da encomenda E, desperdiçando-se 0,57 m².
- Utilizando-se do corte x57, adquire-se 3 unidades da encomenda B e 3 unidades da encomenda E, desperdiçando-se 0,67 m².
- Utilizando-se do corte x58, adquire-se 4 unidades da encomenda B e 3 unidades da encomenda E, desperdiçando-se 0,07 m².
- Utilizando-se do corte x59, adquire-se 1 unidade da encomenda B e 6 unidades da encomenda E, desperdiçando-se 0,82 m².
- Utilizando-se do corte x60, adquire-se 2 unidades da encomenda B e 6 unidades da encomenda E, desperdiçando-se 0,22 m².
- Utilizando-se do corte x61, adquire-se 4 unidades da encomenda B e 2 unidades da encomenda E, desperdiçando-se 0,42 m².
- Utilizando-se do corte x62, adquire-se 4 unidades da encomenda C e 1 unidade da encomenda D, desperdiçando-se 0,29 m².
- Utilizando-se do corte x63, adquire-se 4 unidades da encomenda C e 4 unidades da encomenda E, desperdiçando-se 0,65 m².
- Utilizando-se do corte x64, adquire-se 4 unidades da encomenda C e 5 unidades da encomenda E, desperdiçando-se 0,30 m².
- Utilizando-se do corte x65, adquire-se 2 unidades da encomenda C e 6 unidades da encomenda E, desperdiçando-se 0,69 m².
- Utilizando-se do corte x66, adquire-se 6 unidades da encomenda C e 2 unidades da encomenda E, desperdiçando-se 0,62 m².
- Utilizando-se do corte x67, adquire-se 3 unidades da encomenda C e 5 unidades da encomenda E, desperdiçando-se 0,67 m².
- Utilizando-se do corte x68, adquire-se 1 unidade da encomenda D e 3 unidades da encomenda E, desperdiçando-se 0,71 m².
- Utilizando-se do corte x69, adquire-se 1 unidade da encomenda D e 4 unidades da encomenda E, desperdiçando-se 0,36 m².

APÊNDICE C – TAB.6 COM ALGUNS CORTES POSSÍVEIS COM SUAS DEMANDAS E SEUS RESPECTIVOS DESPERDÍCIOS

Corte	Demanda A	Demanda B	Demanda C	Demanda D	Demanda E	Desp. (m ²)
x1	6	0	0	0	0	0,37
x2	0	5	0	0	0	0,52
x3	0	0	8	0	0	0,58
x4	0	0	0	2	0	0
x5	0	0	0	0	9	0,37
x6	1	1	1	1	0	0,27
x7	2	1	2	0	2	0,43
x8	0	1	1	1	1	0,44
x9	3	1	2	0	0	0,61
x10	2	2	1	0	0	0,91
x11	1	2	4	0	0	0,32
x12	2	1	3	0	0	0,77
x13	2	1	4	0	0	0,4
x14	1	2	0	1	0	0,04
x15	1	2	0	0	3	0,74
x16	3	2	0	0	1	0,4
x17	2	1	0	0	3	0,82
x18	3	1	0	0	3	0,3
x19	3	2	0	0	1	0,4
x20	2	0	2	0	2	1,04
x21	3	0	2	0	3	0,16
x22	4	0	1	0	2	0,35
x23	2	0	2	0	3	0,68
x24	2	0	2	0	4	0,34
x25	1	0	0	1	2	0,54
x26	1	0	0	1	3	0,18
x27	2	0	0	1	1	0,36
x28	0	2	0	1	1	0,21
x29	0	0	2	1	1	0,67
x30	0	0	2	1	2	0,32
x31	2	4	0	0	0	0,07
x32	2	3	0	0	0	0,67
x33	4	1	0	0	0	0,82
x34	4	2	0	0	0	0,22
x35	1	0	6	0	0	0,79
x36	2	0	5	0	0	0,63

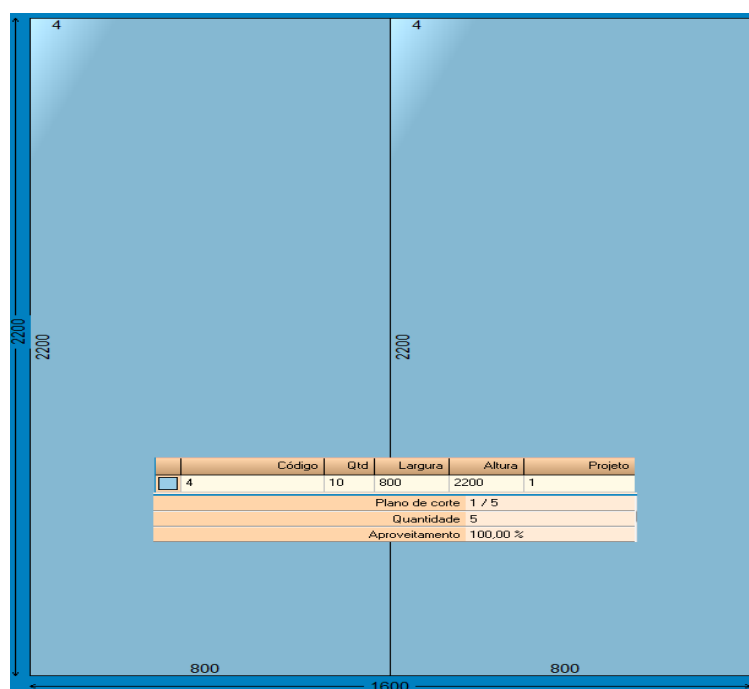
(CONTINUAÇÃO)

Corte	Demanda A	Demanda B	Demanda C	Demanda D	Demanda E	Desp. (m ²)
X37	3	0	3	0	0	0,84
x38	4	0	2	0	0	0,68
x39	3	0	4	0	0	0,48
x40	2	0	0	1	0	0,71
x41	3	0	0	1	0	0,19
x42	2	0	0	0	4	1,07
x43	4	0	0	0	3	0,37
x44	3	0	0	0	2	1,24
x45	3	0	0	0	4	0,54
x46	2	0	0	0	5	0,72
x47	3	0	0	0	3	0,9
x48	0	1	6	0	0	0,72
x49	0	2	4	0	0	0,85
x50	0	4	2	0	0	0,38
x51	0	1	5	0	0	0,98
x52	0	3	2	0	0	0,98
x53	0	2	3	0	0	1,22
x54	0	2	0	1	0	0,56
x55	0	1	0	0	7	0,47
x56	0	2	0	0	5	0,57
x57	0	3	0	0	3	0,67
x58	0	4	0	0	3	0,07
x59	0	1	0	0	6	0,82
x60	0	2	0	0	6	0,22
x61	0	4	0	0	2	0,42
x62	0	0	4	1	0	0,29
x63	0	0	4	0	4	0,65
x64	0	0	4	0	5	0,3
x65	0	0	2	0	6	0,69
x66	0	0	6	0	2	0,62
x67	0	0	3	0	5	0,67
x68	0	0	0	1	3	0,71
x69	0	0	0	1	4	0,36

Fonte: Do próprio autor, 2015.

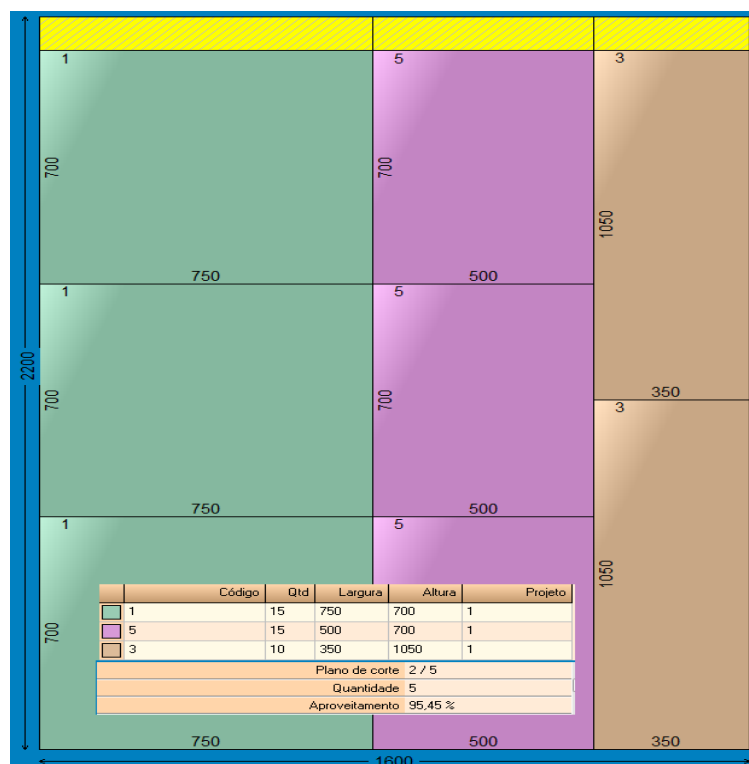
ANEXO A - CORTES REALIZADOS PELO SOFTWARE CORTE CERTO

Figura B.1 – Corte 1.



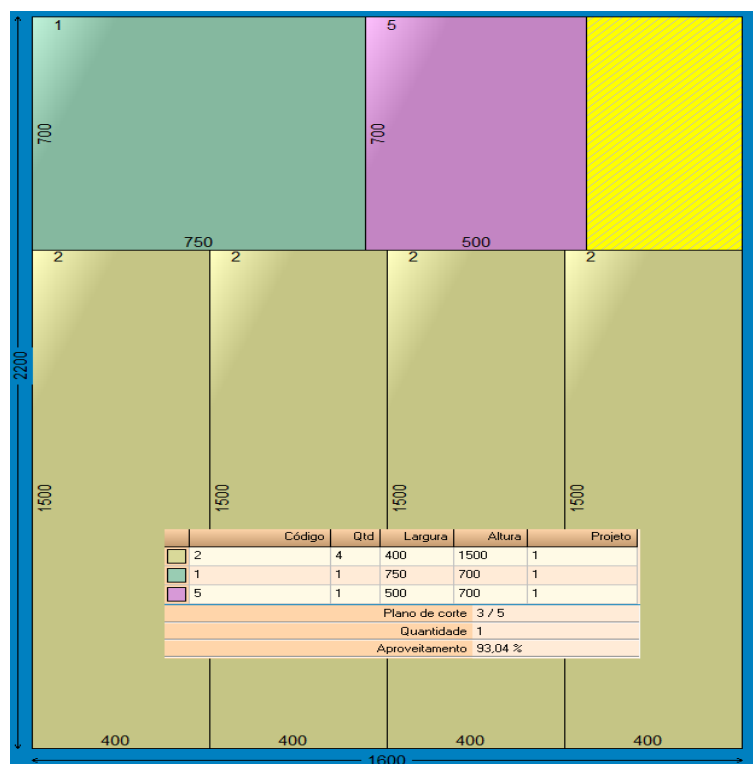
Fonte: Corte Certo, 2015.

Figura B.2 – Corte 2.



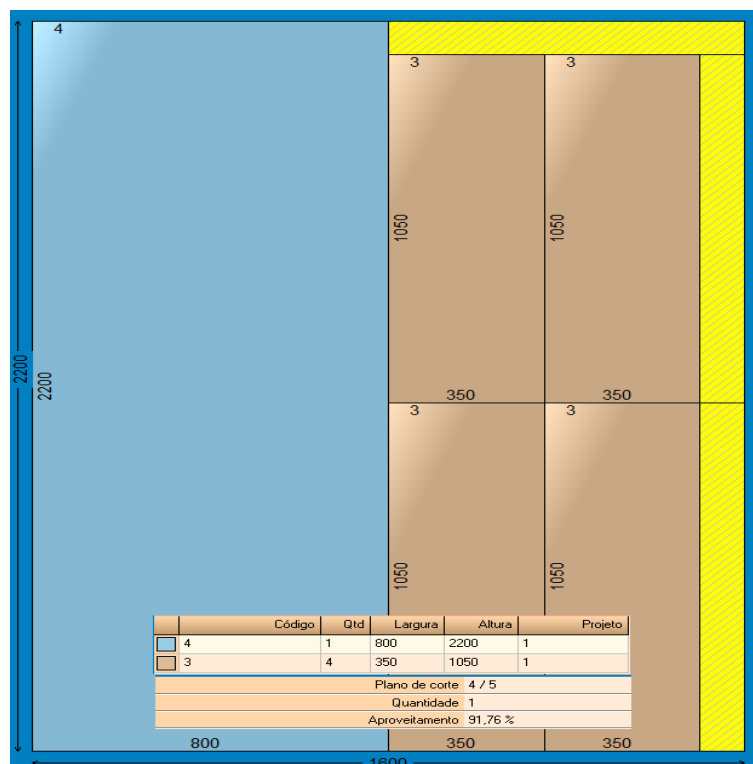
Fonte: Corte Certo, 2015.

Figura B.3 – Corte 3.



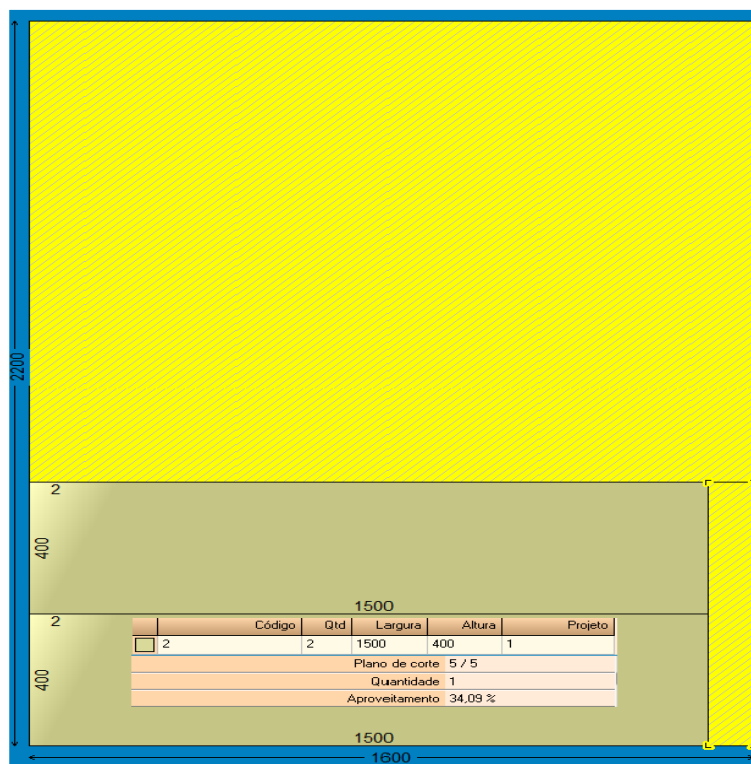
Fonte: Corte Certo, 2015.

Figura B.4 – Corte 4.



Fonte: Corte Certo, 2015.

Figura B.5 – Corte 5.



Fonte: Corte Certo, 2015.

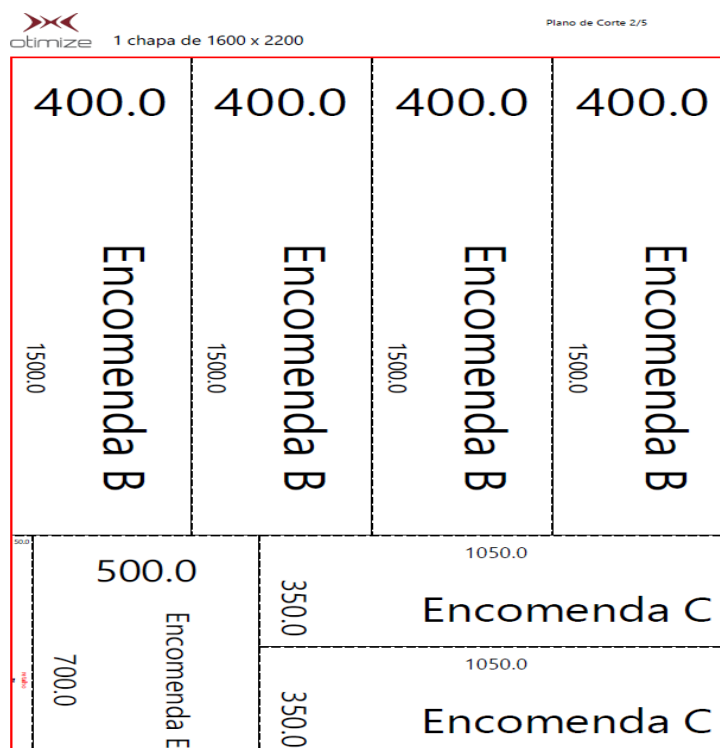
ANEXO B - CORTES REALIZADOS PELO SOFTWARE OTIMIZE NESTING

Figura C.1 – Corte 1.



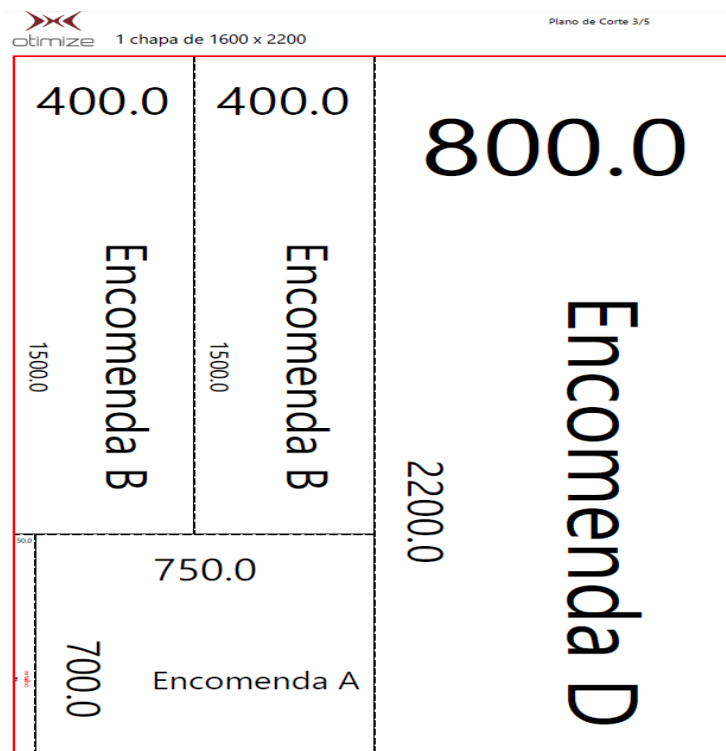
Fonte: Otimize Nesting, 2015.

Figura C.2 – Corte 2.



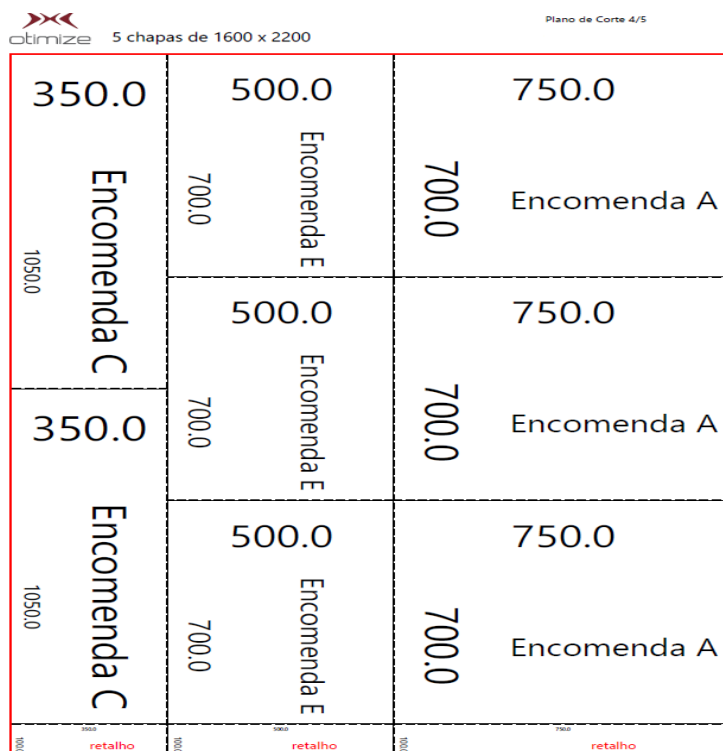
Fonte: Otimize Nesting, 2015.

Figura C.3 – Corte 3.



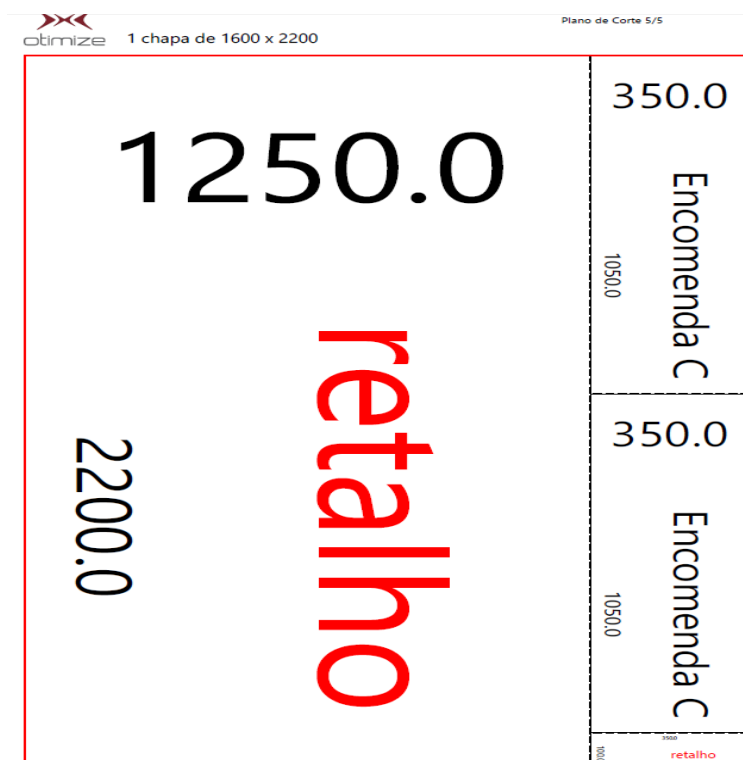
Fonte: Otimize Nesting, 2015.

Figura C.4 – Corte 4.



Fonte: Otimize Nesting, 2015.

Figura C.5 – Corte 5.



Fonte: Otimize Nesting, 2015.