



## Optimização do Corte de Chapas

**CARLA CRISTINA RAMOS GUIMARÃES DE SOUSA**

Novembro de 2011



Dedico este trabalho aos meus pais, João e Alda



## *Agradecimentos*

Aos meus pais, por todas as horas de ausência suportadas. O apoio incondicional nos momentos mais difíceis e compreensão que sempre demonstraram. Por possibilitarem toda a minha formação académica.

Um especial agradecimento ao meu orientador, Professor Doutor Manuel Pereira Lopes por todo o tempo disponibilizado, motivação, empenho e apoio prestado no contributo deste trabalho, a quem guardo um considerável apreço fruto de um bom relacionamento e ambiente criado.

À minha irmã, pelas palavras de incentivo e força nos momentos cruciais.

Ao Tomás, meu sobrinho e afilhado, pelos momentos que não pude estar presente e acompanhar o seu desenvolvimento nos primeiros meses de vida.

À Dr<sup>a</sup> Isabel Macedo, representante da empresa referenciada no trabalho. Por toda a ajuda prestada, tempo disponibilizado e pela forma simpática com que sempre me atendeu.

A toda a equipa Motofil Cutting pelo apoio demonstrado e tempo dispensado, foi fundamental para o procedimento deste trabalho.

Aos amigos que me apoiaram e a todos os que directa ou indirectamente contribuíram para o desenvolvimento do meu trabalho.



## *Resumo*

O presente trabalho visa denotar a importância de ferramentas e técnicas utilizadas como apoio à tomada de decisão. Foi proposto um problema de corte cujo objectivo primordial procura minimizar o desperdício gerado resultante do processo de obtenção de um produto, utilizando um caso representativo de um produto em chapa, fabricado por uma empresa que conta três décadas de laboração contínua, propuseram-se e realizaram-se estudos no sentido de solucionar recursos causadores de desperdício.

Neste trabalho aplicou-se um problema de corte bi-dimensional a uma indústria que recorre ao fabrico de produtos em chapa, por forma a minimizar o desperdício relativo ao processo utilizado. Propôs-se quatro alternativas à solução actual realizada na empresa, que passa pela disposição e combinação de vários tipos de cortes-padrão que podem ser executados nas diferentes dimensões de matéria-prima disponibilizada. Estas alternativas têm como vantagem apresentar reduções que se traduzam significativas para os custos implícitos à realização do processo produtivo. Os estudos computacionais praticados mostraram que as soluções propostas como alternativa obtiveram melhores resultados que os obtidos pela empresa, excepto num caso.

### *Palavras-Chave*

Problemas de corte bidimensional, problemas de corte e empacotamento, programação inteira.



## *Abstract*

The present work aims to denote the importance of tools and techniques used to support the decision-making. We proposed a cutting stock problem with the primary objective seeks to minimize the waste generated resulting from the process of obtaining a product, using a representative case of a product sheet, manufactured by a company that has three decades of continuous working, have proposed realized up studies to address causes of wasted resources.

In this work we applied a cutting problem two-dimensional to an industry that refers to the manufacture of sheet metal in order to minimize waste on the procedure used. It was proposed four alternatives to the current solution practiced in the company that held the layout and combination of various types of pattern cuts that can run on different dimensions of raw material available. These alternatives have the advantage that results show significant reductions for the implicit costs to the completion of the production process. The computational studies performed showed that the solutions proposed as an alternative fared better than those obtained by the company, except in one case.

### ***Keywords***

Two-dimensional cutting problem, cutting stock problems, integer programming.



# Índice

|   |             |
|---|-------------|
| <b>AGRADECIMENTOS</b> .....   | <b>I</b>    |
| <b>RESUMO</b> .....   | <b>III</b>  |
| <b>ABSTRACT</b> .....   | <b>V</b>    |
| <b>ÍNDICE</b> .....   | <b>VII</b>  |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....                                      | <b>IX</b>   |
| <b>ÍNDICE DE TABELAS</b> .....                                      | <b>XI</b>   |
| <b>LISTA DE ABREVIATURAS</b> .....                                  | <b>XIII</b> |
| <b>1. INTRODUÇÃO</b> .....  | <b>1</b>    |
| 1.1. OBJECTIVOS.....  | 2           |
| 1.2. MOTIVAÇÃO .....  | 3           |
| 1.3. ESTRUTURA DO RELATÓRIO .....                                   | 3           |
| <b>2. DESCRIÇÃO DO PRODUTO E DO PROCESSO PRODUTIVO</b> .....        | <b>5</b>    |
| 2.1. INTRODUÇÃO .....   | 5           |
| 2.2. APRESENTAÇÃO DA FÁBRICA.....                                   | 6           |
| 2.3. ESPECIFICAÇÕES DO PRODUTO.....                                 | 6           |
| 2.4. DESCRIÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO .....                          | 9           |
| 2.5. DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE CORTE .....                           | 12          |
| 2.6. TIPOS DE CORTE.....  | 14          |
| <b>3. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA</b> .....                               | <b>16</b>   |
| 3.1. INTRODUÇÃO .....   | 16          |
| 3.2. PROBLEMAS DE CORTE.....  | 16          |
| 3.3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....                                     | 24          |
| <b>4. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA</b> .....                              | <b>27</b>   |
| <b>5. IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL E ANÁLISE DE RESULTADOS</b> ..... | <b>29</b>   |
| 5.1. INTRODUÇÃO .....   | 29          |
| 5.2. PROBLEMAS DE TESTE .....                                       | 30          |
| 5.3. TIPOS DE CORTES-PADRÃO PARA A CHAPA 2,5x1,25 .....             | 30          |
| 5.4. RESULTADOS PARA A CHAPA 2,5x1,25.....                          | 32          |
| 5.5. TIPOS DE CORTES-PADRÃO PARA OUTRAS DIMENSÕES .....             | 36          |

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| 5.6.      | RESULTADOS PARA OUTRAS DIMENSÕES DE CHAPA .....   | 38        |
| 5.7.      | OBJECTIVOS PONDERADOS.....  | 39        |
| 5.8.      | PRODUÇÃO ANUAL .....  | 41        |
| <b>6.</b> | <b>CONCLUSÕES .....</b>   | <b>43</b> |
|           | <b>REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS.....</b>   | <b>45</b> |
|           | <b>ANEXO A. CORTES-PADRÃO PARA COMPONENTE COSTAS DA CHAPA 2500X1250MM.....</b>                | <b>48</b> |
|           | <b>ANEXO B. CORTES-PADRÃO PARA COMPONENTE TELHADOS DA CHAPA 2500X1250MM ..</b>                | <b>49</b> |
|           | <b>ANEXO C. CORTES-PADRÃO PARA COMPONENTE FUNDOS DA CHAPA 2500X1250MM .....</b>               | <b>50</b> |
|           | <b>ANEXO D. CORTES-PADRÃO PARA COMPONENTE LATERAIS DA CHAPA 2500X1250MM ....</b>              | <b>51</b> |
|           | <b>ANEXO E. CORTES-PADRÃO PARA COMPONENTE DIVISÓRIAS DA CHAPA 2500X1250MM.</b>                | <b>52</b> |
|           | <b>ANEXO F. CORTES-PADRÃO PARA COMPONENTE TABULEIROS DA CHAPA 2500X1250MM</b><br><b>.....</b> | <b>53</b> |
|           | <b>ANEXO G. CÁLCULOS - CHAPA 2500X1250MM .....</b>  | <b>54</b> |
|           | <b>ANEXO H. CORTES-HOMOGÊNEOS: CHAPA 3000X1500MM.....</b>                                     | <b>56</b> |
|           | <b>ANEXO I. CORTES-PADRÃO PARA COMPONENTE COSTAS DA CHAPA 3000X1500MM.....</b>                | <b>57</b> |
|           | <b>ANEXO J. CORTES-PADRÃO PARA COMPONENTE TELHADOS DA CHAPA 3000X1500MM ..</b>                | <b>58</b> |
|           | <b>ANEXO K. CORTES-PADRÃO PARA COMPONENTE FUNDOS DA CHAPA 3000X1500MM .....</b>               | <b>59</b> |
|           | <b>ANEXO L. CORTES-PADRÃO PARA COMPONENTE LATERAIS DA CHAPA 3000X1500MM.....</b>              | <b>60</b> |
|           | <b>ANEXO M. CORTES-PADRÃO PARA COMPONENTE DIVISÓRIAS DA CHAPA 3000X1500MM</b>                 | <b>61</b> |
|           | <b>ANEXO N. CÁLCULOS - CHAPA 3000X1500MM.....</b>   | <b>62</b> |
|           | <b>ANEXO O. CORTES-HOMOGÊNEOS: CHAPA 2000X1000MM .....</b>                                    | <b>64</b> |
|           | <b>ANEXO P. CORTES-PADRÃO PARA COMPONENTE COSTAS DA CHAPA 2000X1000MM .....</b>               | <b>65</b> |
|           | <b>ANEXO Q. CORTES-PADRÃO PARA COMPONENTE TELHADOS DA CHAPA 2000X1000MM .</b>                 | <b>66</b> |
|           | <b>ANEXO R. CORTES-PADRÃO PARA COMPONENTE FUNDOS DA CHAPA 2000X1000MM .....</b>               | <b>67</b> |
|           | <b>ANEXO S. CORTES-PADRÃO PARA COMPONENTE LATERAIS DA CHAPA 2000X1000MM.....</b>              | <b>68</b> |
|           | <b>ANEXO T. CORTES-PADRÃO PARA COMPONENTE DIVISÓRIAS DA CHAPA 2000X1000MM .</b>               | <b>69</b> |
|           | <b>ANEXO U. CÁLCULOS - CHAPA 2000X1000MM.....</b>   | <b>70</b> |

## *Índice de Figuras*

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Figura 1  | Viveiro de Chapa 400x400x300mm .....                                   | 6  |
| Figura 2  | Viveiro de Chapa 1600x400x300mm .....                                  | 7  |
| Figura 3  | Viveiro de quatro andares .....  | 7  |
| Figura 4  | Expositor de pássaros .....  | 7  |
| Figura 5  | Viveiro de chapa.....  | 8  |
| Figura 6  | Estrutura base em chapa.....   | 8  |
| Figura 7  | Layout do processo de fabrico .....                                    | 11 |
| Figura 8  | Representação do corte guilhotinado .....                              | 12 |
| Figura 9  | Corte unidimensional .....   | 19 |
| Figura 10 | Corte bidimensional.....   | 19 |
| Figura 11 | Corte tridimensional .....   | 20 |
| Figura 12 | Tipos de problemas C&P, adaptado de Wascher (2007).....                | 21 |
| Figura 13 | Problemas do tipo “minimização de entrada”, adaptado de Wascher (2007) | 22 |
| Figura 14 | Corte guilhotinado .....   | 23 |
| Figura 15 | Corte não guilhotinado .....   | 23 |
| Figura 16 | Corte guilhotinado de 2 estágios .....                                 | 23 |
| Figura 17 | Tipos de cortes-padrão para a chapa 2500x1250mm .....                  | 31 |
| Figura 18 | Solução Óptima - Desperdício.....                                      | 35 |

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| Figura 19 | Tipos de cortes-padrão para a chapa 3000x1500mm ..... | 36 |
| Figura 20 | Tipos de cortes-padrão para a chapa 2000x1000mm ..... | 37 |

## *Índice de Tabelas*

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Tabela 1  | - ÁRVORE DO PRODUTO .....                        | 9  |
| Tabela 2  | DIMENSÕES DOS COMPONENTES .....                  | 9  |
| Tabela 3  | TIPOS DE CORTES-HOMOGÊNEOS.....                  | 13 |
| Tabela 4  | DESPERDÍCIO – TIPOS DE CORTES-HOMOGÊNEOS.....    | 15 |
| Tabela 5  | CÁLCULOS DA CHAPA 2500x1250mm .....              | 32 |
| Tabela 6  | DADOS COMPUTACIONAIS C-H - TCP – 12.....         | 33 |
| Tabela 7  | DADOS COMPUTACIONAIS C-H – TCP – 36.....         | 34 |
| Tabela 8  | DADOS COMPUTACIONAIS C-H – TCP – 80.....         | 34 |
| Tabela 9  | CÁLCULOS DA CHAPA 3000x1500mm .....              | 36 |
| Tabela 10 | CÁLCULOS DA CHAPA 2000x1000mm .....              | 37 |
| Tabela 11 | DADOS COMPUTACIONAIS 3x1,5 - 2x1 - Mix – 12..... | 38 |
| Tabela 12 | DADOS COMPUTACIONAIS 3x1,5 - 2x1 - Mix – 36..... | 38 |
| Tabela 13 | DADOS COMPUTACIONAIS 3x1,5 - 2x1 - Mix – 80..... | 39 |
| Tabela 14 | SOLUÇÃO ÓPTIMA – PONDERAÇÃO DE ATRIBUTOS.....    | 40 |
| Tabela 15 | DADOS COMPUTACIONAIS – PRODUÇÃO ANUAL.....       | 42 |



## *Lista de abreviaturas*

|                 |   |                          |
|-----------------|---|--------------------------|
| PI              | – | Programação Inteira      |
| IO              | – | Investigação Operacional |
| PL              | – | Programação Linear       |
| PNL             | – | Programação Não Linear   |
| C&P             | – | Corte e Empacotamento    |
| mm              | – | Milímetro                |
| mm <sup>2</sup> | – | Milímetro quadrado       |
| m               | – | Metro                    |
| m <sup>2</sup>  | – | Metro quadrado           |
| Kg              | – | Kilograma                |
| Comp.           | – | Comprimento              |
| Larg.           | – | Largura                  |
| Alt.            | – | Altura                   |



# 1. INTRODUÇÃO

Perante a realidade exigente, competitiva e em constante mutação, as empresas veêm-se obrigadas a desenvolver estratégias e metodologias que tornem progressivo o sistema de gestão. A procura pela conquista e posição de topo representa na maioria das vezes um verdadeiro desafio na garantia da sua sobrevivência, verificando-se que em termos de aspectos estratégicos, a política de formação de preços continua a pertencer à categoria mais elevada e atenta. O conhecimento dos custos e das despesas proporciona condições para a empresa poder posicionar-se de maneira estratégica no mercado impondo a adopção de novos modelos de negócio, mecanismos pró-activos e modelos de apoio à decisão, assentes em tecnologias avançadas e que permitam atingir níveis de produtividade superiores, podendo assim, acompanhar o preço da concorrência e se possível, superá-los.

O corte de matéria-prima é um processo fundamental em muitas indústrias tais como, as indústrias de folhas de metal, indústria de papel, indústria de vestuário e a indústria de vidro. Cortar o material na forma mais eficaz geralmente tem um incentivo financeiro. Se uma empresa é capaz de minimizar a quantidade de desperdício que produz, então há uma poupança significativa no custo da matéria-prima. Esta economia pode ser repassada para o cliente que, por sua vez, torna a empresa mais competitiva no mercado ou ainda, representar aumento de lucros para a empresa. Além disso, a empresa pode também ser capaz de reduzir a sua capacidade de armazenamento, o que se torna numa situação muito favorável a vários níveis.

Esta dissertação surgiu com o intuito de analisar o desperdício resultante do processo de corte em chapas metálicas, implementado numa indústria real, por forma a otimizar a área de corte, minimizando o desperdício da matéria-prima resultante, e desta forma, possibilitar alternativas no apoio à tomada de decisão, bem como, soluções viáveis que traduzam poupanças significativas nos custos decorrentes do processo produtivo.

A aplicação de um problema de corte, desenvolvido neste trabalho, recaiu na escolha de um produto fabricado em chapa. Com este efeito, foi escolhido especificamente um viveiro de chapa. Os viveiros de chapa, constituídos essencialmente por este material, são artigos cuja função primordial é servir de habitação para animais de companhia domésticos, nomeadamente, pássaros.

A possibilidade de acesso a este produto e colaboração por parte da empresa que o fabrica, permitiu o estudo e conhecimento pormenorizado em relação às dimensões reais dos componentes que o constituem, assim como, lidar com todo o processo inerente à obtenção do mesmo. Este estudo consistiu em apresentar soluções alternativas ao processo realizado actualmente pela empresa, analisar o desperdício que resulta do procedimento da obtenção de um produto desta natureza aliado à aplicação de um caso concreto e, caso se verifique oportunidade de melhoria, ser tornado mais eficiente.

Utilizar uma ferramenta que permita trabalhar toda a informação relevante, desde a recolha de dados até à obtenção de resultados que conduzam à solução óptima do estudo, foi condição fundamental para o desenvolvimento deste trabalho. Os objectivos propostos para análise, desperdício gerado, número de cortes a executar e número de chapas necessárias, são os factores que tornam viável a tomada de decisão, dado que, possibilitam a escolha do melhor procedimento a efectuar, de acordo com as necessidades do utilizador. O estudo apresentado teve suporte no programa *MICROSOFT OFFICE EXCEL 2010*, utilizando o comando *SOLVER*.

## **1.1. OBJECTIVOS**

Este trabalho foi realizado com o intuito de estudar o aproveitamento do corte de chapa em viveiros de chapa metálica, para viabilidade da produção e optimização do desperdício resultante do processo de produção.

O objectivo primordial visa encontrar a melhor combinação otimizada dos padrões de corte a aplicar na chapa, de forma a resultar no mínimo de desperdício gerado e com esta metodologia, proporcionar o máximo de lucro para a empresa. Com o método utilizado foi possível proporcionar condições para a tomada de decisão, assim como, explorar todas as potencialidades desta ferramenta.

O estudo envolve a aplicação de um problema de corte bidimensional direccionado para uma indústria que utiliza o corte de chapa como processo laboral e quotidiano. Através do uso de um modelo de Programação Inteira, foram reunidos um conjunto de premissas lógicas e conceitos estruturados, os quais permitem a adequação à realidade fisico-operacional da empresa envolvida.

Segundo Garcia (1997), “ geralmente uma decisão está ligada ao objectivo de minimizar custos ou maximizar lucros, sob condições restritivas de recursos, mercado, políticas, dentre outras “.

## **1.2. MOTIVAÇÃO**

A motivação para a realização deste trabalho surge na sequência de um contacto estabelecido com uma empresa nacional, situada a norte do país, que recorre a chapa metálica para fabricação de grande parte dos seus produtos. Com os custos cada vez mais elevados, desde a obtenção da matéria-prima até à entrega do produto, e a competitividade existente por parte das indústrias, exige que este factor esteja sempre presente na tomada de decisões. Deste modo, o desperdício é um dos objectivos apontado como forma de melhoria na redução dos custos associados. Proporcionar uma ou várias soluções de forma a minimizar este factor, aliado ao recurso de uma técnica de apoio à tomada de decisão e implementação num ambiente real, foi a forte motivação para o desenvolvimento deste trabalho.

## **1.3. ESTRUTURA DO RELATÓRIO**

Este trabalho está dividido em seis capítulos. No primeiro capítulo é feita uma breve introdução ao problema proposto para estudo, onde se faz referência as necessidades das empresas, apontando a minimização do desperdício como forma de reduzir os custos inerentes ao processo de fabrico. Apresenta-se um método que possibilita obter soluções

óptimas para o caso de estudo, com o intuito tornar viável o processo de tomada de decisão. Ainda neste capítulo são apresentados os objectivos propostos para este trabalho.

No capítulo 2 é apresentado o produto escolhido para estudo, onde se descreve todo o processo produtivo do método actual, decorrente do ambiente industrial em que se encontra implementado, com particular interesse na descrição do processo de corte. Aqui, é feita uma primeira abordagem ao desperdício gerado pelo produto em análise.

No capítulo 3 procede-se à descrição dos problemas de corte e codificação do problema de corte em estudo. Através da classificação dos problemas de corte e empacotamento adaptada por Wascher, o problema em estudo recebe a codificação de SSSCSP para a primeira solução proposta e, MSSCSP para a segunda solução proposta para estudo. Ainda neste capítulo, apresenta-se uma revisão bibliográfica dos trabalhos de investigação desenvolvidos neste âmbito.

No capítulo 4 apresenta-se a formulação matemática do problema proposto, apontando as vantagens do método utilizado.

No capítulo 5 são apresentadas os estudos propostos como alternativas ao método utilizado pela empresa, onde são fornecidos os dados e respectivos procedimentos adoptados na simulação do problema. São indicadas três quantidades de encomenda para análise, e compara-se as soluções obtidas entre o método utilizado pela empresa e as alternativas propostas. Os dados analisados envolveram as soluções propostas para estudo, a ponderação de atributos e a produção anual do produto, onde se verifica que as alternativas propostas para estudo, apresentam melhorias a vários níveis.

Por fim, no último capítulo, são apresentadas as conclusões, assim como, indicadas algumas considerações que possam ser tomadas como referência futura.

# 2. DESCRIÇÃO DO PRODUTO E DO PROCESSO PRODUTIVO

Neste capítulo faz-se a apresentação do produto e descreve-se o respectivo processo produtivo. Procede-se à descrição do processo de corte e o tipo de cortes utilizados.

## 2.1. INTRODUÇÃO

Conhecer com rigor o produto fabricado permite a compreensão do estudo abordado bem como, contactar com proximidade a realidade envolvente. A representação específica das áreas de corte projectadas no material possibilitam uma noção realista dos tipos de cortes necessários à realização dos componentes envolvidos O processo produtivo é fundamental para o desenvolvimento deste trabalho permitindo enquadrar o problema de corte abordado e conhecer os aspectos que lhe estão associados.

## 2.2. APRESENTAÇÃO DA FÁBRICA

A fábrica Aqualux – Habitações para Animais Lda, considerada uma pequena empresa está sediada em Recarei, pertencente ao distrito do Porto. Produz e comercializa artigos para *pet shops*, jaulas de jardim, viveiros de criação e exposição, gaiolas para pássaros, hamsters, coelhos e pombos. Desenvolve equipamentos e técnicas para a fabricação de gaiolas e produtos recorrendo ao uso de arame, chapa e alumínio.

## 2.3. ESPECIFICAÇÕES DO PRODUTO

Os viveiros de chapa são habitáculos usados na reprodução e criação de pássaros domésticos, apreciados maioritariamente por criadores de pássaros que recorrem a este produto devido às suas características, Figura 1. A resistência e durabilidade que o material confere, a sua configuração que permite um maior encaixe de pássaros que as usuais gaiolas, e também o espaço envolvente que permite criar as condições necessárias para a reprodução de tais animais. Estes podem ainda pertencer à categoria de viveiros de exposição usados em montras de lojas de animais como forma de exhibir e apresentar o animal que se pretende comercializar, dado que existe uma enorme variedade de qualidade de pássaros. Não obstante, este produto pode servir apenas para manter o animal de estimação como forma de companhia para o/s dono/s.



**Figura 1 Viveiro de Chapa 400x400x300mm**

No que diz respeito às dimensões nominais, são fabricados obedecendo a medidas standard. No entanto, para maior satisfação das necessidades dos clientes podem ser fabricados por medida. Este produto é fabricado em unidades independentes, ou consoante a largura máxima estipulada pelo fabricante pode ser dividido até quatro módulos formando um conjunto unitário cujo espaço interior é dividido em quatro partes iguais,

Figura 2. As divisões são componentes amovíveis o que permite maior critério de escolha em relação à divisão do espaço interior.



**Figura 2 Viveiro de Chapa 1600x400x300mm**

A disposição na vertical também é abrangida como forma de combinação o que permite maior diversidade deste produto, Figura 3. Conjugado com diferentes dimensões, formas geométricas, disposição e função este tipo de artigo permite possibilidades tais como a representada na Figura 4.

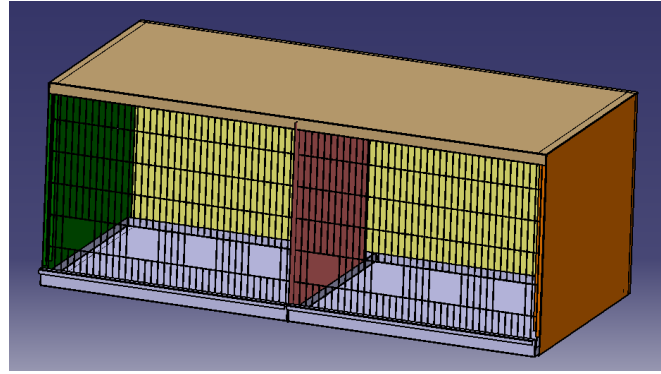


**Figura 3 Viveiro de quatro andares**



**Figura 4 Expositor de pássaros**

O viveiro proposto para estudo, Figura 5, foi sugerido pelos representantes da empresa por ser dos produtos mais procurados nesta categoria, representando uma venda anual próxima de 1500 unidades. Devido a pertencer à categoria de viveiro de reprodução, às suas características representativas baseadas na dimensão e divisão do espaço interior torna-se um factor atractivo na selecção e escolha deste produto, aquando do processo de acasalamento que pode ser acompanhado antes, durante e após nascimento das criaturas. A divisão possibilita o alojamento dos futuros pais num dos campos reservados para o efeito e após o nascimento prestar os devidos cuidados propícios ao desenvolvimento, acompanhamento e boa formação dos animais.

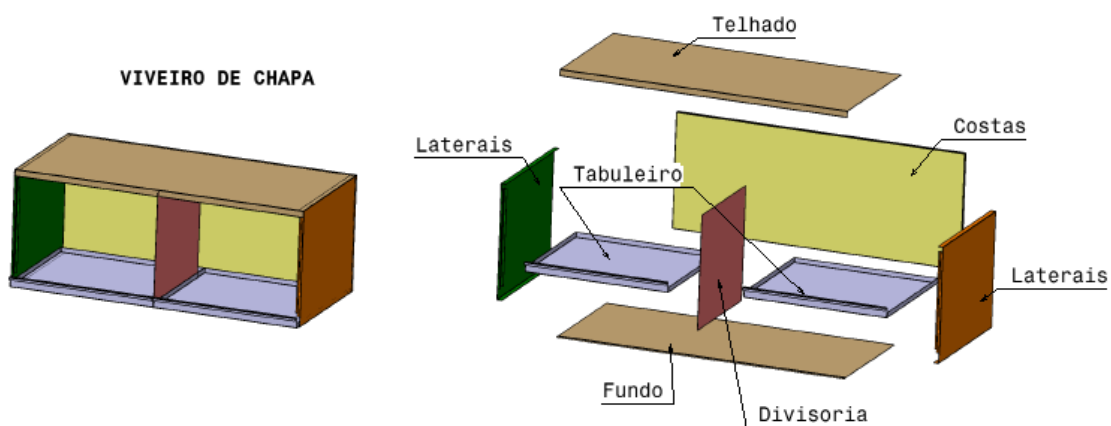


**Figura 5 Viveiro de chapa**

De uma forma genérica, a constituição deste produto define-se por:

- Estrutura base;
- Estrutura em arame;
- Acessórios.

A estrutura base representa o habitáculo e é integralmente feita em chapa, Figura 6. É esta estrutura que confere nome ao produto, por este motivo e futuramente sempre que for citado viveiro de chapa é a este elemento que se faz referência, à totalidade da sua constituição será citado apenas por viveiro.

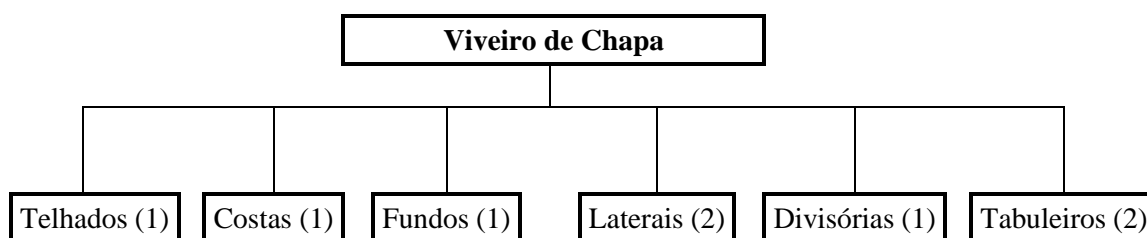


**Figura 6 Estrutura base em chapa**

A estrutura em arame é denominada por *Frentes*, pois constitui a parte frontal do viveiro. Os acessórios incluem os bebedouros e comedouros em plástico, poleiros em plástico ou madeira e ainda os ninhos de madeira e ovos de plástico.

Na Tabela 1 está apresentada a árvore do produto e as respectivas quantidades.

**Tabela 1 - ÁRVORE DO PRODUTO**



Quanto às dimensões nominais do viveiro de chapa temos, em milímetros (mm): 1160 de comprimento (comp.), 420 de largura (larg.) e 500 de altura (alt.). As dimensões de cada componente estão representadas na Tabela 2:

**Tabela 2 DIMENSÕES DOS COMPONENTES**

|            | <b>Comp.</b> | <b>Larg.</b> |      |
|------------|--------------|--------------|------|
| Costas     | 1170         | 518          | [mm] |
| Telhados   | 1160         | 555          |      |
| Fundos     | 1160         | 430          |      |
| Laterais   | 540          | 455          |      |
| Divisórias | 450          | 450          |      |
| Tabuleiros | 613          | 520          |      |

## **2.4. DESCRIÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO**

O fabrico deste artigo segue um processo produtivo convergente resultante de duas estruturas lineares. Na estrutura linear, a cada operação sucede de forma directa uma e só uma operação, onde a primeira resulta do processo de fabrico da estrutura em arame o qual não vai ser descrito pois advém de factores não relevantes para o estudo, e a segunda resulta do processo de fabrico da estrutura base, em chapa. De ambas as estruturas, não resultam sub-produtos mas resultam desperdícios.

Para o fabrico deste produto utiliza-se chapa de aço laminada a frio e chega à empresa sob a forma de placas rectangulares de espessura 0,5 mm. As dimensões que o fornecedor da matéria-prima disponibiliza para esta espessura são de:

- 3000x1500 mm
- 2500x1250 mm
- 2000x1000 mm

Embora haja esta disponibilidade de medidas para a chapa com estas características, a matéria-prima mais utilizada é a chapa 2500x1250x0,5 mm. O uso rotineiro e contínuo de produção efectuada ao longo dos anos, dita que seja esta a medida recorrente, evitando o stock em diversidade desta matéria. Após chegada à fábrica, a matéria-prima é alojada no armazém e colocada sobre paletes, até serem requisitadas para produção.

Quando uma ordem de produção (*job*) é executada, recorre-se ao empilhador para levantamento da matéria-prima e colocação junto do posto de trabalho em estruturas designadas por cavaletes. A operação inicial é o corte por guilhotina. A chapa é disposta sobre a área de trabalho e são ajustados os parâmetros necessários a cada produto/componente. O corte efectuado neste processo apenas envolve cortes transversais e longitudinais, posteriormente cada um dos componentes resultantes (peças rectangulares) sofre pequenos cortes nos cantos superiores e inferiores consoante a função que cada componente vai desempenhar de modo a facilitar a operação de quinagem, de onde irá resultar a forma final pretendida. A operação que se segue, é a soldadura. Efectua-se a união dos componentes do viveiro em chapa através de soldadura por pontos.

Para remoção de óleos e gorduras decorrentes tanto da matéria-prima como do desencadear das operações exige que se proceda ao desengorduramento das peças. As peças são mergulhadas numa tina durante cerca de dois minutos e o desengorduramento é feito através de líquidos preparados para este procedimento, com isto facilita-se e melhora-se a operação seguinte que é a da pintura.

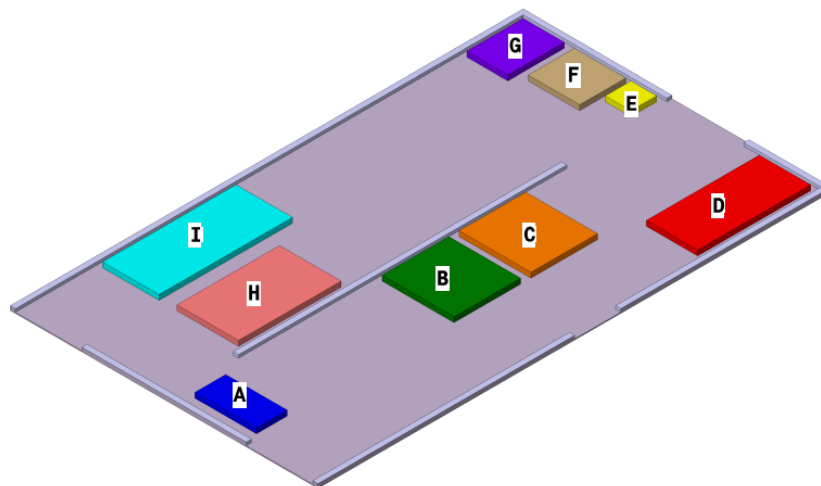
Todo o conjunto é pintado recorrendo à pintura electrostática, onde se utiliza uma pistola cuja função é direccionar o jacto de pó a toda a área envolvente. O material base constituinte deste pó, é a resina époxyda.

O viveiro é então colocado numa estrutura de suporte, denominado transportador, que o encaminha para o processo seguinte. A secagem do pó é feita numa estufa, com

temperaturas que atingem entre 200 e 220 graus célsius (°C), durante aproximadamente dez minutos. O produto é retirado e deixado a arrefecer.

O produto é encaminhado para o local de montagem, onde se efectua a união das frentes em arame ao conjunto, aparafusando-as. Colocam-se os acessórios que cada viveiro necessita e seguem para armazenamento. Caso se justifique, devido à disposição com que os viveiros ficam acondicionados e/ou espaço deixado para o efeito, faz-se passar um rolo de filme e coloca-se cartão entre cada um.

O layout da Figura 7 mostra a disposição física representativa da sequência de operações descritas, é de salientar que o espaço não seleccionado utiliza-se para a produção dos restantes artigos da empresa, e também é possível que sejam usados postos de trabalho acima referidos, como por exemplo a execução da parte constituinte da estrutura em arame.



**Figura 7** Layout do processo de fabrico

**LEGENDA:**

**A** - Armazém de matéria-prima

**F** - Pintura

**B** - Guilhotina

**G** - Estufa

**C** - Quinagem

**H** - Montagem

**D** - Soldadura

**I** - Armazém do produto final

**E** - Tina de Desengorduramento

## 2.5. DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE CORTE

O corte de matéria-prima que se processa na guilhotina é executado por fases. Consideremos um exemplo de aplicação, descrito para o corte do componente *Costas*. A placa rectangular de chapa que chega ao posto de trabalho é manobrada a partir das medidas do fabricante, 2500x1250mm. O procedimento de cortes efectua-se do seguinte modo. O primeiro corte é aplicado no sentido transversal e consiste em retirar da placa rectangular, a área de corte equivalente ao desperdício resultante neste sentido. O formato restante é equivalente à dimensão do comprimento em partes iguais da peça que se está a cortar. O segundo corte é projectado na divisão transversal da chapa que resultou do primeiro corte, ou seja, a meio da chapa. No terceiro corte, obtém-se as duas primeiras peças com as medidas finais estipuladas, para isso, efectua-se um corte longitudinal sobre as duas peças da fase anterior. Do quarto corte resulta a área desperdiçada e as outras duas peças finais, após novo corte no sentido longitudinal, completando as quatro unidades possíveis deste processo, Figura 8.

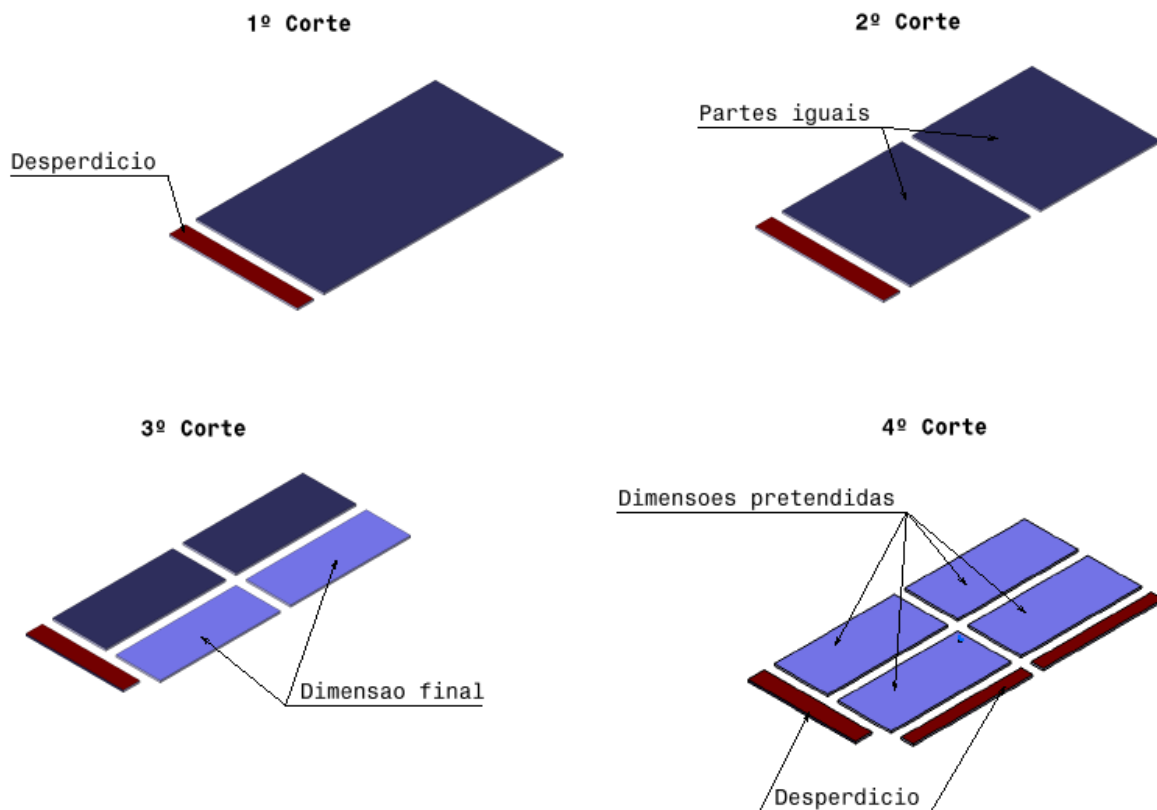
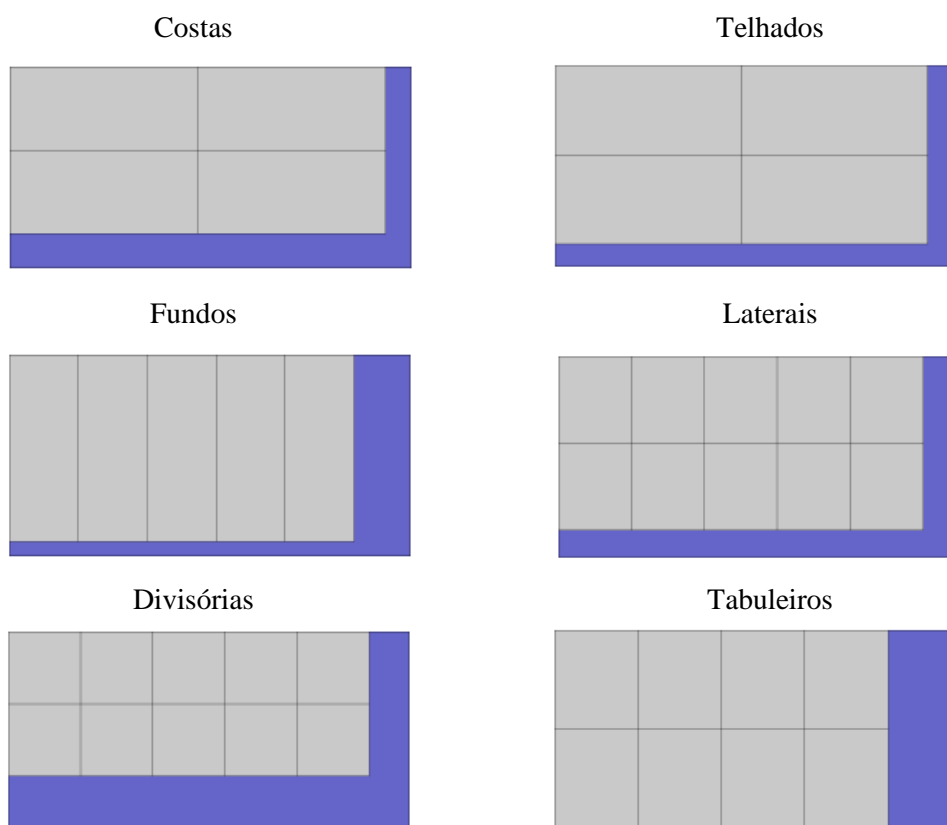


Figura 8 Representação do corte guilhotinado

Um padrão de corte que contém peças todas iguais é denominado padrão de corte homogéneo. A empresa utiliza um padrão de corte homogéneo para cada componente, sendo que este corte é efectuado sempre do mesmo modo. Na Tabela 3, pode ser visualizado os tipos de cortes homogéneos para os seis componentes constituintes do viveiro de chapa.

**Tabela 3 TIPOS DE CORTES-HOMOGÉNEOS**



Da descrição do processo de corte, reconhece-se mais facilmente o modo de actuação sobre os cortes a projectar em cada chapa. Com o conhecimento das quantidades requeridas de cada componente para a fabricação de um viveiro de chapa, exibida na árvore do produto e com a apresentação dos cortes homogéneos utilizados pela empresa, resulta à partida na obtenção de quatro viveiros de chapa completos, recorrendo a seis placas de matéria-prima, ou seja, dos padrões de corte utilizados para cada um dos seis componentes resulta quantidade suficiente para produzir quatro viveiros de chapa na totalidade.

Para estes quatro viveiros e do exemplo representativo da disposição do tipo de padrão de corte efectuado para o componente *Costas*, verifica-se que através de uma chapa é possível obter quatro unidades sem gerar stock, na produção dos quatro viveiros de chapa mas, como se pode verificar, gera desperdício. No tipo de cortes realizado para o componente

*Telhados*, também resulta em quatro partes que podem ser utilizadas para a produção da quantidade alegada e observando uma vez mais este padrão, verifica-se novo desperdício. Do componente *Fundos*, consegue-se obter cinco unidades, sendo que quatro unidades serão aproveitadas para produção e uma resultará em stock, continua a verificar-se desperdício. Como, para a execução de um viveiro são necessários dois componentes *Laterais* por produto, obtém-se do tipo de corte homogéneo, oito unidades para produção e restam duas para stock causando também na chapa, desperdício. Quanto ao componente *Divisórias*, para o fabrico deste produto, apenas é necessário utilizar um componente, sendo assim, ir-se-iam utilizar as quatro unidades pretendidas e resultaria para stock, seis unidades deste componente, continua a verificar-se desperdício resultante da área necessária à obtenção do viveiro de chapa. Na análise ao componente *Tabuleiros*, e dado que são necessários dois para integrar a constituição do produto, pode ser verificado, que a totalidade dos oito componentes são necessários, não resultando em stock mas continua a sobrar matéria-prima que não voltará a ser utilizada. Raciocínio idêntico é efectuado para qualquer quantidade necessária na produção deste produto. Nesta análise, a contabilização dos componentes para stock não está presente em todos os casos, mas o desperdício sim.

## **2.6. TIPOS DE CORTE**

Quando é dada uma ordem de produção (*job*), inicia-se o procedimento habitual de verificação na produção da existência de matéria-prima e possíveis componentes em stock, na zona de armazenamento reservada para o efeito. Caso exista, aproveitam-se esses recursos disponíveis e efectua-se o levantamento da restante matéria-prima em falta. A determinação da quantidade pretendida para realizar o *job*, é efectuada através de cálculos recorrendo às medidas padronizadas. Como a cada componente corresponde um tipo de padrão, é possível determinar em concreto as chapas a requisitar e deste modo poder ordenar a quantidade total para se proceder ao levantamento da matéria-prima necessária à execução do pedido.

Da descrição do processo de corte, evidenciou-se o desperdício como presente em todos os padrões de corte. É possível ter uma percepção mais notória da percentagem de desperdício que ocorre no processamento de um produto desta natureza. Na Tabela 4 estão apresentados os valores do desperdício gerado, cálculo efectuado através do conhecimento da área ocupada por cada componente e as unidades correspondentes à projecção

executada na chapa. O número de cortes proveniente das dimensões relativas a cada componente é importante ser referido, dado que, consoante o aumento deste número resulta em maior tempo requerido para o processo.

Pode ainda ser referido que, para esta quantidade de quatro viveiros proveniente dos tipos de cortes-homogéneos, seria necessário adquirir seis unidades da matéria-prima no armazém para preencher os requisitos na totalidade.

Os dados dos componentes apresentados nas colunas das tabelas são os seguintes:

- **Tipos de cortes** – corresponde à quantidade de cortes-padrão encontrados;
- **Costas; Telhados; Fundos; Laterais; Divisórias; Tabuleiros** – apresenta o componente analisado com as respectivas dimensões, em mm, e indica as quantidades combinadas para cada corte-padrão estudado.
- **Stock gerado** – apresenta as quantidades enviadas para stock, em unidades;
- **Desperdício** – representa o desperdício gerado por matéria-prima usada, em m<sup>2</sup> e em %, na primeira e segunda colunas, respectivamente;
- **Nº de cortes** – respresenta a quantidade unitária de cortes necessários à execução de cada componente.

**Tabela 4 DESPERDÍCIO – TIPOS DE CORTES-HOMOGÉNEOS**

| Tipos de corte | Costas<br>(518x1170) | Telhados<br>(555x1160) | Fundos<br>(430x1160) | Laterais<br>(455x540) | Divisórias<br>(450x450) | Tabuleiros<br>(520x613) | Stock gerado | Desperdício    |       | Nº de cortes |
|----------------|----------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|--------------|----------------|-------|--------------|
|                |                      |                        |                      |                       |                         |                         |              | m <sup>2</sup> | %     |              |
| 1              | 4                    | 0                      | 0                    | 0                     | 0                       | 0                       | 0            | 0,701          | 22,4% | 4            |
| 2              | 0                    | 4                      | 0                    | 0                     | 0                       | 0                       | 0            | 0,550          | 17,6% | 4            |
| 3              | 0                    | 0                      | 5                    | 0                     | 0                       | 0                       | 1            | 0,631          | 20,2% | 6            |
| 4              | 0                    | 0                      | 0                    | 10                    | 0                       | 0                       | 2            | 0,668          | 21,4% | 7            |
| 5              | 0                    | 0                      | 0                    | 0                     | 10                      | 0                       | 6            | 1,100          | 35,2% | 7            |
| 6              | 0                    | 0                      | 0                    | 0                     | 0                       | 8                       | 0            | 0,575          | 18,4% | 6            |

Tendo esta realidade presente, surgiu o interesse em perceber se havia outras formas de disposição dos elementos constituintes por forma a minimizar o desperdício do processo, ou até eliminá-lo.

# 3. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Neste capítulo procede-se à classificação dos problemas de corte propostos para estudo, segundo os critérios adoptados a nível internacional. De seguida é feito o enquadramento deste tipo de problemas através da revisão bibliográfica.

## 3.1. INTRODUÇÃO

Um problema de corte consiste em obter a melhor combinação de um conjunto de peças com variadas dimensões projectadas numa chapa de dimensões maiores de modo a obter a melhor combinação desta disposição.

## 3.2. PROBLEMAS DE CORTE

Existem várias formas e estudos de resolução destes problemas e de modo geral, baseia-se em duas técnicas: algorítmicas, onde se determina sempre a solução óptima do modelo

proposto, e as heurísticas que determinam uma solução e apesar de poder ser suficientemente boa para aplicar, não é garantia de solução óptima.

Este tipo de problemas torna-se, do ponto de vista computacional de difícil resolução, pois a solução deriva da procura de uma solução num espaço grande de possíveis soluções, sendo enquadrado na classe dos problemas NP-difíceis.

Na literatura, os Problemas de Corte e Empacotamento (C&P) surgem de contextos tão variados e formulados sob diversos modos, que se torna difícil apresentar uma definição simples e geral destes problemas. Sendo vários os nomes que derivam directamente do contexto industrial, é usual a aplicação de designações tais como:

- problema de cortes (*cutting stock problems*) de desperdício ou de aproveitamentos (*trim loss problems*), tanto para indústrias de aço, papel, vidro, entre outros idênticos;
- *bin packing*, empacotamento vectorial ou problema da mochila (*knapsack*), relacionado também com aplicações industriais e problemas específicos da indústria electrónica;
- carregamento de veículos, carregamento de paletes ou carregamento de contentores;
- problemas de encaixe (*assortment problems*) ou partição (*partitioning problems*), de formas irregulares (*nesting problems*), ou problemas de layout, associados maioritariamente a aplicações geométricas, e também;
- aplicações de capitais e balanceamento de linhas de produção.

No entanto, neste tipo de problemas existe uma estrutura base lógica que reúne quatro características comuns. Estas características permitem ser agrupadas por forma a poder serem classificadas mais facilmente. Segundo, Dyckhoff (Dyckhoff, 1990), os problemas de C&P podem ser classificados, segundo:

- Dimensionalidade

(1) unidimensional

(2) bidimensional

(3) tridimensional

(N)  $n$ -dimensões, com  $n > 3$

- Tipo de afectação

(B) alguns itens são atribuídos a todos os contentores

(V) todos os itens são atribuídos a alguns contentores

- Agrupamento de contentores

(O) um contentor

(I) mais do que um contentor, todos iguais

(D) mais do que um contentor, diferentes

- Agrupamento de pequenos itens

(F) poucos itens (de diferentes figuras)

(M) muitos itens, de muitas figuras diferentes

(R) muitos itens, de relativamente poucas figuras diferentes (congruentes)

(C) itens congruentes

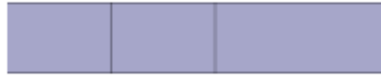
Dyckhoff foi o primeiro nesta área, a reunir as características principais que evidenciavam os aspectos comuns, tanto dos problemas de corte como de empacotamento, e a classificá-los. No entanto, esta classificação não foi completamente aceite a nível internacional, possivelmente devido à codificação não ser muito evidente e suficientemente auto-explicativa.

Baseado nas mesmas características definidas por Dyckhoff, surge com Wascher (Wascher, 2007) a apresentação de uma nova tipologia para os problemas de C&P, com a introdução de um critério de selecção baseado na forma dos itens pequenos, e resulta de um consenso que abrange os principais especialistas a nível europeu.

Assim, um problema de C&P pode ser classificado segundo:

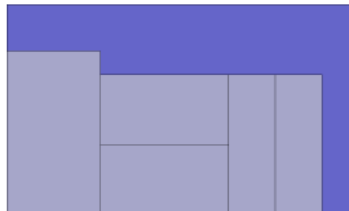
- Dimensão

1. *unidimensionais* (1D), podem ser vistos como o corte de peças em função do comprimento do material, Figura 9. Neste tipo de problemas, a largura é uma medida fixa e a preocupação resume-se ao comprimento das peças resultantes do processo de corte. Aplicações típicas para estes problemas envolve o corte de chapa em tiras.



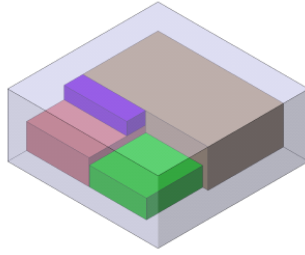
**Figura 9 Corte unidimensional**

2. *bidimensionais* (2D), tanto a largura como o comprimento do material podem variar, sendo que a espessura se mantém fixa, Figura 10. As formas usuais envolvidas no processo tanto podem ser rectangulares como formas irregulares e as aplicações típicas deste género de problemas incluem o corte em vidro, corte de folhas de chapa e corte de cartão. Convém referir que os problemas 2D são muitas vezes convertidos em problemas 1D. Para isto acontecer, a largura das peças a cortar é ignorada e centra-se o problema em função do comprimento.



**Figura 10 Corte bidimensional**

3. *tridimensionais* (3D) são casos mais difíceis de surgir pois são caracterizados por variarem segundo as três dimensões do problema, ou seja, variam segundo a largura, comprimento e ainda espessura, podendo destacar-se o empacotamento das formas tridimensionais, Figura 11 .



**Figura 11 Corte tridimensional**

Estas dimensões são as mais habitualmente tratadas, no entanto, podem existir outras características que sejam relevantes considerar além das dimensões dos objectos, como por exemplo o tempo disponível para realizar os cortes ou até a disponibilidade que o operário tem para executar os cortes, neste caso existem mais do que as três variáveis necessárias ao processo, considera-se que estamos perante um caso *multidimensional*.

- Tipo de afectação

Sobre este ponto, Wascher defende duas situações:

1. maximização do resultado, onde alguns itens são afectados a todos os contentores, de forma a que estes sejam utilizados com um máximo de valor.
2. Minimização da entrada, onde todos os itens são afectados a alguns contentores, de forma a usar o menor número de contentores possível.

- Agrupamento de contentores

1. um só contentor, onde podem ser definidos dois tipos de problemas, um em que todas as suas dimensões são fixas e outro onde uma ou mais dimensões podem variar.
2. vários contentores, onde todas as dimensões são fixas. Neste aspecto podem ser incluídos três casos os contentores: são todos iguais, são pouco heterogéneos e são muito heterogéneos.

- Agrupamento de pequenos itens

1. itens idênticos, todos os itens têm as mesmas dimensões e formas geométricas (itens congruentes).

2. itens pouco heterogéneos, muitos itens de um conjunto reduzido de classes de objectos com as mesmas dimensões e formas geométricas (não congruentes).

3. itens muito heterogéneos: poucos itens muito heterogéneos e muitos itens muito heterogéneos.

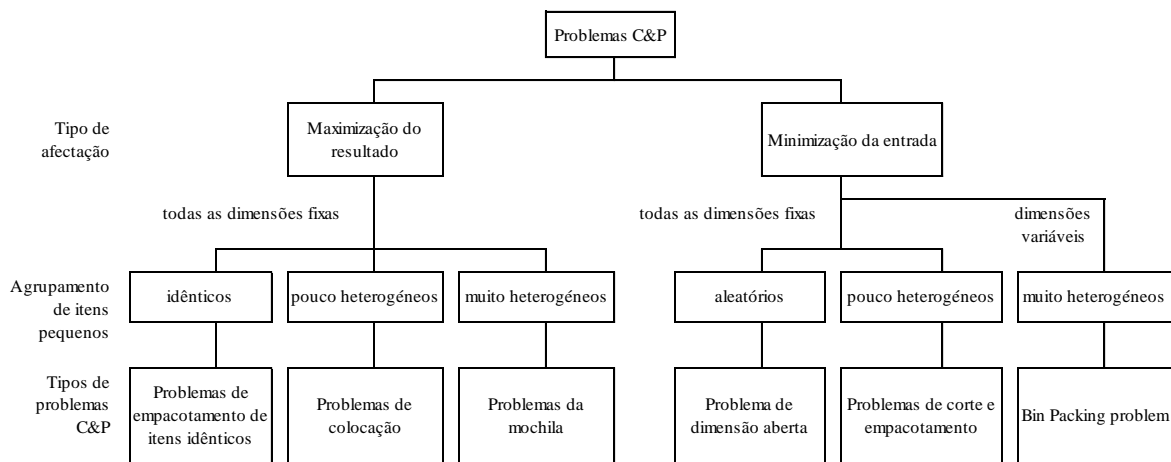
O critério de selecção proposto por Wascher surge com o aparecimento do seguinte aspecto:

- Forma geométrica de itens pequenos

1. itens pequenos regulares

2. itens pequenos irregulares

Na Figura 12, apresenta-se a codificação segundo Wascher para os C&P, e na Figura 13, a codificação para “minimização de entrada” deste tipo de problemas.



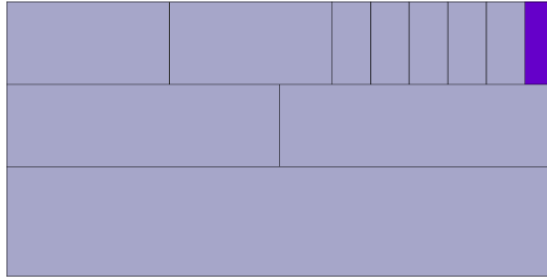
**Figura 12 Tipos de problemas C&P, adaptado de Wascher (2007)**

|   |  |                                  |  |  |  |
|---|--|----------------------------------|--|--|--|
| características dos<br>objectos grandes     |  | agrupamento de itens<br>pequenos |  | pouco heterogéneos                                   | muito heterogéneos                               |
|   |  | todas as<br>dimensões<br>fixas   | idênticos  | Single Stock Size<br>Cutting Stock Problem<br>SSSCSP | Single Bin Size Bin<br>Packing Problem<br>SBSBPP |
| pouco heterogéneos                          | Multiple Stock Size<br>Cutting Stock Problem<br>MSSCSP |                                  | Multiple Bin Size Bin<br>Packing Problem<br>MBSBPP |  |  |
| muito heterogéneos                          | Residual Cutting Stock<br>Problem RCSP                 |                                  | Residual Bin Packing<br>Problem RBPP               |  |  |
| um objecto grande de dimensões<br>variáveis |  | Open Dimension Problem ODP       |  |  |  |

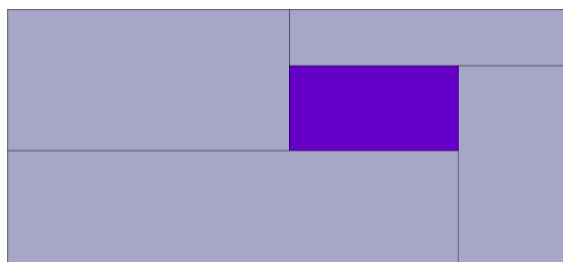
**Figura 13** Problemas do tipo “minimização de entrada”, adaptado de Wascher (2007)

Através desta codificação, verifica-se que este trabalho quanto ao primeiro estudo, pertence à categoria dos problemas bidimensionais, em que os objectos grandes têm todas as dimensões fixas e são idênticos, e os itens pequenos são pouco heterogéneos, o que recai nos problemas de corte SSSCSP. Quanto ao segundo estudo, com recurso a vários tipos de chapa, os objectos grandes têm todas as dimensões fixas mas são pouco heterogéneos, assim como os itens pequenos, o que define os problemas de corte como MSSCSP.

Para além das características atrás apresentadas, os cortes podem ainda ser classificados como ortogonais, quando são efectuados paralelamente ao objecto cortado, e não-ortogonais quando o objecto cortado pode variar de orientação. Os cortes ortogonais, podem ainda ser classificados de guilhotinados ou não-guilhotinados. No corte guilhotinado, Figura 14, os cortes que o objecto sofre são sempre efectuados de um lado ao outro. Se existir descontinuidade no corte então trata-se de corte não-guilhotinado, Figura 15. Os rectângulos com tamanho menor são considerados desperdício (nas figuras, representado a cor mais escura). Existem cortes que são efectuados por forma a retirar o excedente de matéria-prima, nesses casos, trata-se de cortes com remoção de aparas.

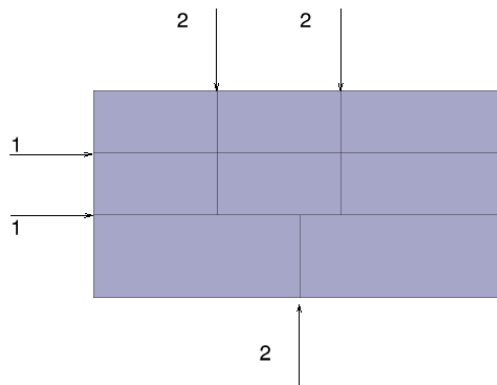


**Figura 14 Corte guilhotinado**



**Figura 15 Corte não guilhotinado**

Os cortes guilhotinados podem ser definidos por estágios. Os estágios traduzem o número de vezes que o objecto sofre rotação ao ser cortado, podendo classificar-se até  $n$ -estágios. A título de exemplo, se um objecto ao ser cortado necessita ser rodado duas vezes para serem executados os cortes, então classifica-se o corte guilhotinado de 2-estágios. Se, não existirem restrições quanto ao número máximo de estágios a efectuar sobre os cortes, designa-se por problema não-estagiado. A Figura 16 mostra o exemplo de um corte guilhotinado de 2 estágios.



**Figura 16 Corte guilhotinado de 2 estágios**

### 3.3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O aparecimento e utilização de métodos quantitativos no processo de gestão surge no século XX, com o intuito de minimizar a complexidade das áreas ligadas à administração, economia e contabilidade relacionadas com a administração de empresas.

Alguns estudiosos e pesquisadores afirmam que os métodos quantitativos não são muito antigos. Segundo McCloskey & Trefethen (1956) a análise quantitativa foi iniciada com Taylor. Frederick W Taylor, apresentou os princípios da Administração Científica e o estudo da Administração como Ciência, recorrendo a métodos um pouco mais elementares. Cresce desta forma, a necessidade de estudar e desenvolver modelos de optimização que tenham por base o apoio à tomada de decisão, a compactuar com estes estudos surge a Investigação Operacional (IO). Os modelos de gestão permitem determinar em que condições se pode maximizar ou minimizar um certo objectivo através da reunião de um conjunto de restrições, dentro destes modelos especifica-se os modelos de Programação Matemática que incluem a Programação Linear (PL) e a Programação Não Linear (PNL).

Shamblin (1979) defende que a IO é um método científico de tomada de decisão descrito como um sistema que recorre a um modelo manipulado de forma a solucionar como operar o sistema da maneira mais conveniente. Shamblin e Stevens (1979) defendem que no estudo da IO as fases básicas constituintes são caracterizadas do seguinte modo:

- Formulação do problema
- Construção do modelo representativo do sistema em estudo
- Obtenção da solução gerada pelo modelo
- Teste do modelo e da solução
- Procedimento de controlo sobre a solução
- Implantação da solução.

Wagner (1986) define IO como uma aproximação científica na resolução de problemas nomeadamente voltados para a administração executiva e que recorrem às seguintes características:

- Construção de modelos matemáticos de decisão e controlo cujas soluções são de elevada complexidade ou incerteza;
- Análise de consequências futuras muito prováveis e projecção de medidas apropriadas no sentido de as melhorar.

Devido à simplicidade deste modelo e também ao uso de uma técnica cuja solução é programável em computador, a PL surge como uma das técnicas mais utilizadas em problemas de IO. Consiste em aplicar a álgebra matricial para resolver equações onde recorre a algumas regras especiais que procuram encontrar a melhor solução de um problema, mostrando ainda, os melhores resultados em relação ao objectivo. Por esta razão, foi submetida a inúmeras aplicações e com isso o seu desenvolvimento deu-se muito rapidamente. Uma das áreas em que incidiu foi nos problemas de corte, em 1940 Brooks et.al. (Brooks, 1940) publicou um artigo onde se discutia como cortar um rectângulo em quadrados. Dantzig (Dantzig 1951) e Kantorovich e Zalgaller (Kantorovick, 1951) referiram a relação entre os problemas de corte e a teoria da PL.

A relevância deste problema tem sido destacada pela frequência com que é tratado na literatura de IO e na gestão da produção. Aparece nos mais diversos processos industriais, tais como: produção de papel, móveis, vidro, calçado, roupa, plástico, chapas metálicas, etc. E por isso, diversos autores têm apresentado modelos teóricos e métodos práticos de solução. (Paull, 1956), (Eisemann, 1957) e (Vajda, 1958) usaram as técnicas de PL para resolver uma versão restrita do problema de layout rectangular ao cortar rolos de papel, sendo que a maior parte das pesquisas efectuadas até 1960 rondou a indústria de fabrico de papel. Verificaram-se estudos ainda na área de corte onde Gilmore e Gomory [Gilmore, 1963] apresentou um algoritmo para a resolução de problemas de corte de  $n$ -dimensões e mais tarde, [Gilmore, 1995] envolvendo problemas de corte por estágios.

O desenvolvimento destes estudos prosseguiram, tanto na prática como na literatura. Para os padrões de corte guilhotinados, surge com Herz [Herz, 1972] a apresentação de uma solução exacta que recorre ao uso de uma técnica de pesquisa em árvore e (Arbel, 1993) usou um procedimento de geração de colunas para empacotar formas irregulares.

A associação do algoritmo a um Grafo do tipo “E/OU”, foi proposto por Daza, Alvarenga e Diego [Daza, 1995] como solução para problemas de corte bidimensionais restritos e que representa os tipos de padrões possíveis de corte projectados sobre uma chapa. Esta teoria

consiste em dividir um problema ( $P_0$ ) em sub-problemas ( $P_1, P_2, P_3, \dots$ ) formando uma árvore onde se resolve primeiro os sub-problemas, esta árvore é denominada por Grafo. O método “Branch-and-Bound” surge no mesmo ano e utiliza o mesmo conceito de Grafo “E/OU” para representar problemas de corte guilhotinados bidimensionais restritos e irrestritos, estagiados e não estagiados, Morabito e Arenales [Morabito, 1995].

Os vários procedimentos e técnicas que propõem soluções ou modelos destacando o problema de corte guilhotinado bidimensional, surge com maior alcance com Pileggi [2007], o qual propõe um estudo que consiste em cortar objectos de vários tamanhos e também quantidades conhecidas com intuito de corresponder a objectos de tamanhos e quantidades especificadas por clientes cujo objectivo consiste em minimizar o material cortado proveniente dos padrões de corte.

A percepção que deve ser tomada como identificação do modelo de Programação Inteira (PI) é associar uma variável de decisão com o tipo de corte que se pretende executar de onde se reúne uma combinação de restrições devidas às dimensões inerentes do material utilizado. Partindo deste pressuposto, a importância de um algoritmo aplicado na geração de todos os cortes e placas de dimensões conhecidas, assim como os limites superiores para o número de placas residuais e cortes, é mostrada por Silva et al. [2010].

# 4. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Seja  $M = (1, 2, \dots, m)$  o conjunto de itens de uma lista de pedidos. Cada item  $i$ ,  $i \in M$ , corresponde a uma quantidade de encomenda  $b_i$  de tamanho  $(L_i$  e  $W_i)$ , onde  $L_i$  e  $W_i$  são o comprimento e a largura, respectivamente. Assume-se que temos uma quantidade suficientemente grande de objectos em stock para produzir todo o conjunto de itens da lista de pedidos (isto é,  $\sum_{i \in M} b_i$  itens). Cada objecto tem por dimensões  $(L, W)$  onde  $L$  e  $W$  são o comprimento e largura, respectivamente.

O problema de corte consiste em determinar como cortar os objectos (de acordo com os padrões de corte) de forma a produzir todos os itens pedidos e minimizar o desperdício resultante do material. O problema é classificado como 2/V/I/R, onde 2 refere-se a problema bidimensional, V significa que todos os itens têm de ser produzidos, I significa que todos os objectos são idênticos e R indica que  $b_i$  pode ser uma quantidade grande mas  $m$  é um número relativamente menor.

Considere-se que inicialmente, todos os padrões de corte possíveis são conhecidos. A cada padrão de corte  $j$ , associamos o vector de  $(a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{mj})$ , onde  $a_{ij}$  corresponde ao número de vezes que o item do tipo  $i$  aparece no padrão de corte  $j$ . Considere  $c_j$  o desperdício de material causado no padrão  $j$  (isto é,  $c_j = LW - \sum_{i \in M} l_i w_i a_{ij}$ ). O problema de corte pode ser definido como o seguinte problema de programação linear inteira:

$$(P) \min \sum_j c_j \cdot x_j \quad (1)$$

$$\text{s.a.: } \sum_j a_{ij} \cdot x_j \geq b_i, i \in M \quad (2)$$

$$\text{com: } x_i \geq 0, \text{ inteiro} \quad (3)$$

onde a cada variável  $x_i$  corresponde ao número de vezes que o padrão  $j$  é cortado. Quando o número de padrões de corte possíveis é muito grande, o problema (P) é geralmente difícil de resolver pela optimalidade.

No nosso caso, os padrões de corte utilizados foram gerados manualmente. Se bem que o estudo tenha sido exaustivo, não existe garantia de terem sido geradas todas as combinações de padrões de corte possíveis. No entanto, este método tem algumas vantagens, tais como:

- a utilização de guilhotina para realizar os cortes implica que os cortes sejam guilhotináveis e ortogonais;
- gerar padrões de corte que não impliquem processos de corte complexos. Parte dos padrões de corte gerados têm 2 estágios, para um máximo de 3 estágios;
- permitir determinar parâmetros importantes como o número de cortes a efectuar, e
- gerar soluções óptimas em tempo computacional razoável.

# 5. IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL E ANÁLISE DE RESULTADOS

Neste capítulo apresenta-se o estudo proposto como solução para o problema onde são exploradas várias etapas. Procede-se à implementação dos casos propostos e obtenção de dados computacionais recorrendo ao modelo aplicado. Analisa-se as soluções obtidas, propostas como alternativas ao método usado actualmente pela empresa e relaciona-se a sua viabilidade.

## 5.1. INTRODUÇÃO

O programa que corresponde à implementação do método apresentado neste trabalho foi obtido a partir do uso do comando *SOLVER* implementado num ambiente de desenvolvimento da ferramenta do *EXCEL* para *WINDOWS 7 Ultimate*.

Com a aplicação deste método procedeu-se à obtenção dos resultados computacionais de modo que, adicionando as restrições necessárias ao problema e executando a função que era desejada, o desperdício resultante da geração dos tipos de cortes-padrão seja minimizado.

O conjunto de testes computacionais efectuados conduziu a 51 resultados, realizados num computador portátil com um processador AMD Athlon (tm) X2 Dual-Core QL-62 (2,00 GHz) com 3,00 GB de RAM.

Os estudos para os tipos de cortes-padrão provenientes de cada componente foram efectuados no programa de modelação multi-plataforma CATIA V5 R16, considerado um software paramétrico utilizado para desenvolver projectos em 3D.

## **5.2. PROBLEMAS DE TESTE**

Foi submetido para apreciação um estudo que abrangesse os tipos de cortes-homogéneos a todos os tipos de cortes padrão possíveis. Com este efeito, procedeu-se a um estudo extensivo relativamente a cada componente constituinte do viveiro, aplicados às dimensões da chapa usual 2500x1250mm, seguindo o método de corte guilhotinado de 2-estágios com possibilidade de perda por apara.

Como o seguimento deste estudo e objectivo primordial da dissertação proposta centra-se na optimização do processo de corte, os parâmetros escolhidos para análise são: *desperdício* - factor fundamental de análise; *número de cortes* - tempo dispensado na execução do processo de corte e o *número de chapas* – manuseamento e stock de matéria-prima.

A combinação destes objectivos também se traduz numa abordagem importante, devido às grandezas imputadas a cada um, por isso, e para essa análise, será necessário realizar estudos onde sejam atribuídos pesos aos objectivos.

## **5.3. TIPOS DE CORTES-PADRÃO PARA A CHAPA 2,5X1,25**

A combinação máxima encontrada para esta dimensão foi de oitenta e seis tipos de cortes-padrão. Um exemplo representativo dos estudos efectuados está apresentado na Figura 17

relativamente ao componente *Fundos*, os restantes estudos estão apresentados no Anexo A, B, C, D, E e F

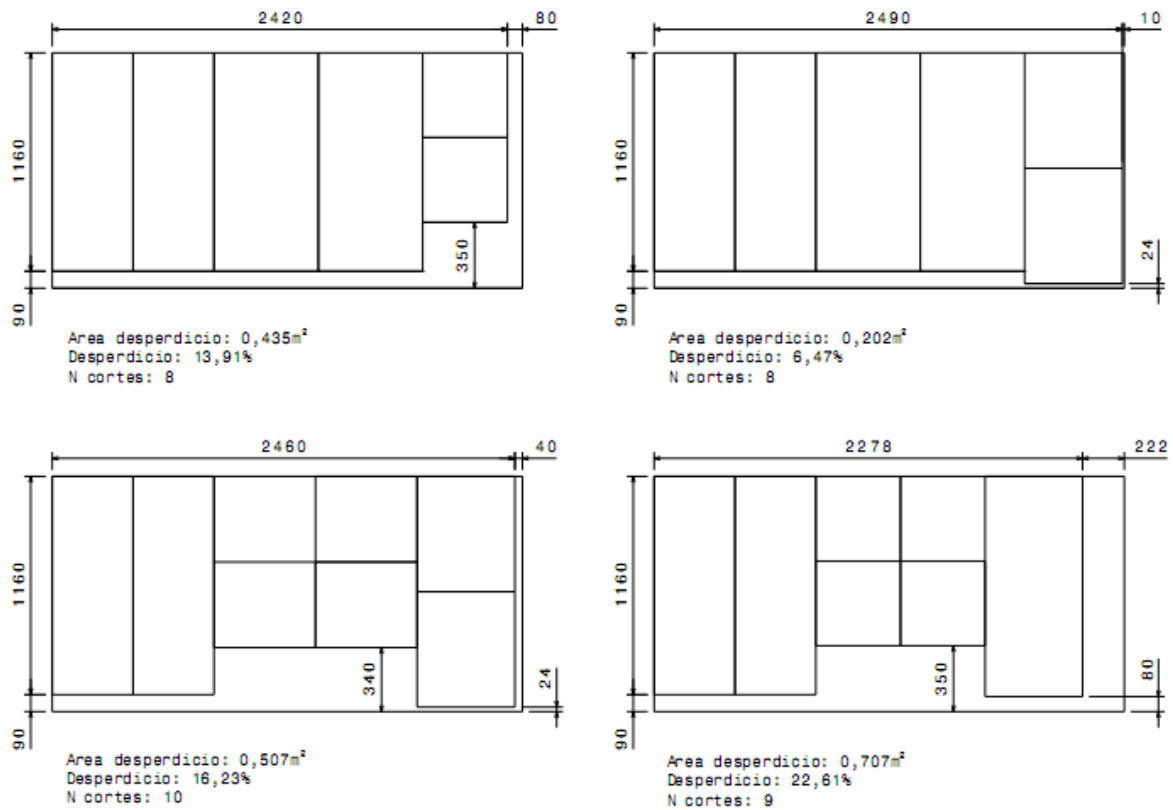


Figura 17 Tipos de cortes-padrão para a chapa 2500x1250mm

O procedimento de estudo implica que se realizassem cálculos e se procedesse a contagens. Os cálculos são relativos à área desperdiçada do corte-padrão aplicado, em m<sup>2</sup> e em percentagem, a contagem é relativa ao número de cortes ortogonais resultante do processo. Na Tabela 5 estão apresentados os estudos realizados para o componente *Costas*, o restante encontra-se no anexo G.

Os dados dos componentes apresentados nas colunas das tabelas são os seguintes:

- **Tipos de cortes** – corresponde à quantidade de cortes-padrão encontrados;
- **Costas; Telhados; Fundos; Laterais; Divisórias; Tabuleiros** – apresenta o componente analisado com as respectivas dimensões, em mm, e indica as quantidades combinadas para cada corte-padrão estudado.

- *Desperdício* – representa o desperdício gerado por matéria-prima usada, em m<sup>2</sup> e em % na primeira e segunda colunas, respectivamente;

- *Nº de cortes* – representa a quantidade unitária de cortes necessários à execução de cada componente.

**Tabela 5 CÁLCULOS DA CHAPA 2500x1250mm**

| Tipos de corte | Costas<br>(518x1170) | Telhados<br>(555x1160) | Fundos<br>(430x1160) | Laterais<br>(455x540) | Divisórias<br>(450x450) | Tabuleiros<br>(520x613) | Desperdício    |              | Nº de cortes |
|----------------|----------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|----------------|--------------|--------------|
|                |                      |                        |                      |                       |                         |                         | m <sup>2</sup> | %            |              |
| <b>1</b>       | 4                    | 0                      | 0                    | 0                     | 0                       | 0                       | 0,701          | <b>22,42</b> | 4            |
| <b>2</b>       | 3                    | 0                      | 2                    | 0                     | 0                       | 0                       | 0,309          | <b>9,90</b>  | 7            |
| <b>3</b>       | 3                    | 0                      | 0                    | 4                     | 0                       | 0                       | 0,324          | <b>10,37</b> | 8            |
| <b>4</b>       | 3                    | 0                      | 0                    | 0                     | 4                       | 0                       | 0,497          | <b>15,90</b> | 8            |
| <b>5</b>       | 3                    | 1                      | 0                    | 0                     | 0                       | 0                       | 0,663          | <b>21,22</b> | 6            |
| <b>6</b>       | 3                    | 0                      | 0                    | 0                     | 0                       | 2                       | 0,669          | <b>21,42</b> | 7            |
| <b>7</b>       | 2                    | 2                      | 0                    | 0                     | 0                       | 0                       | 0,625          | <b>20,01</b> | 6            |
| <b>8</b>       | 2                    | 0                      | 3                    | 0                     | 0                       | 0                       | 0,416          | <b>13,33</b> | 7            |
| <b>9</b>       | 2                    | 0                      | 0                    | 6                     | 0                       | 0                       | 0,439          | <b>14,04</b> | 8            |
| <b>10</b>      | 2                    | 0                      | 0                    | 0                     | 6                       | 0                       | 0,698          | <b>22,33</b> | 8            |
| <b>11</b>      | 2                    | 0                      | 0                    | 0                     | 0                       | 4                       | 0,638          | <b>20,41</b> | 7            |
| <b>12</b>      | 1                    | 3                      | 0                    | 0                     | 0                       | 0                       | 0,588          | <b>18,80</b> | 6            |
| <b>13</b>      | 1                    | 0                      | 4                    | 0                     | 0                       | 0                       | 0,524          | <b>16,76</b> | 7            |
| <b>14</b>      | 1                    | 0                      | 0                    | 8                     | 0                       | 0                       | 0,553          | <b>17,71</b> | 8            |
| <b>15</b>      | 1                    | 0                      | 0                    | 0                     | 8                       | 0                       | 0,899          | <b>28,77</b> | 8            |
| <b>16</b>      | 1                    | 0                      | 0                    | 0                     | 0                       | 6                       | 0,606          | <b>19,40</b> | 7            |

A sequência dos problemas de teste teve por base a sugestão proposta pelos representantes da empresa, foram indicadas as quantidades de 12, 36 e 80 unidades representativas de encomendas típicas.

Reunidas estas condições, através do comando *SOLVER* efectuaram-se testes aplicando à célula de destino os parâmetros referidos para análise, individualmente, e as devidas restrições consoante as variáveis atribuídas aos tipos de cortes-padrão.

#### **5.4. RESULTADOS PARA A CHAPA 2,5X1,25**

Os resultados dos testes computacionais efectuados estão apresentados em tabelas, sendo que a cada tabela corresponde a quantidade de cada encomenda (da árvore de produto sabemos as quantidades necessárias para cada componente). Em cada tabela estão aplicados os três objectivos de estudo, sendo que o primeiro é em relação ao *desperdício*, o

segundo é em relação ao *número de cortes* que apresenta como vantagem a possibilidade de reduzir o tempo de execução do processo de fabrico e o terceiro, o *número de chapas* de onde se obtém a melhor combinação dos cortes-padrão efectuados para que no final, decorrente da encomenda pretendida, a utilização do número de chapas seja o mínimo possível. Foram realizados 18 testes.

Os dados apresentados nas colunas das tabelas são os seguintes:

- **C-H** – solução apresentada para os cortes homogêneos;
- **TCP** – solução apresentada para todos os casos possíveis;
- **Solução** – solução apresentada pela aplicação do método
- **Stock gerado** – quantidade de componentes que resulta para stock.
- **Desp. (m<sup>2</sup>)** – desperdício apresentado em m<sup>2</sup>;
- **Desp. (%)** – desperdício apresentado em percentagem;
- **N\_cortes** – número de cortes efectuados;
- **N\_chapas** – número de chapas resultante;
- **N\_padrões** – quantidade de padrões de corte encontrados;

As soluções computacionais para os testes efectuados relativos a cada encomenda estão apresentados nas Tabelas 6, 7 e 8, respectivamente.

**Tabela 6 DADOS COMPUTACIONAIS C-H - TCP – 12**

| Componente | Encomenda                    | DESPERDÍCIO   |              |              |              | NÚMERO DE CORTES |              |              |              | NÚMERO DE CHAPAS |              |              |              |
|------------|------------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|------------------|--------------|--------------|--------------|------------------|--------------|--------------|--------------|
|            |                              | C-H           |              | TCP          |              | C-H              |              | TCP          |              | C-H              |              | TCP          |              |
|            |                              | Solução       | Stock gerado | Solução      | Stock gerado | Solução          | Stock gerado | Solução      | Stock gerado | Solução          | Stock gerado | Solução      | Stock gerado |
| Costas     | 12                           | 12            | 0            | 12           | 0            | 12               | 0            | 12           | 0            | 12               | 0            | 12           | 0            |
| Telhados   | 12                           | 12            | 0            | 16           | 4            | 12               | 0            | 13           | 1            | 12               | 0            | 12           | 0            |
| Fundos     | 12                           | 15            | 3            | 12           | 0            | 15               | 3            | 12           | 0            | 15               | 3            | 12           | 0            |
| Laterais   | 24                           | 30            | 6            | 24           | 0            | 30               | 6            | 24           | 0            | 30               | 6            | 24           | 0            |
| Divisórias | 12                           | 20            | 8            | 12           | 0            | 20               | 8            | 12           | 0            | 20               | 8            | 20           | 8            |
| Tabuleiros | 24                           | 24            | 0            | 54           | 30           | 24               | 0            | 24           | 0            | 24               | 0            | 24           | 0            |
|            | <b>Desp. (m<sup>2</sup>)</b> | <b>11,573</b> |              | <b>4,026</b> |              | <b>11,573</b>    |              | <b>9,270</b> |              | <b>11,573</b>    |              | <b>5,169</b> |              |
|            | <b>Desp. (%)</b>             | 21,8%         |              | 7,6%         |              | 21,8%            |              | 19,8%        |              | 21,8%            |              | 11,8%        |              |
|            | <b>N_cortes</b>              | 95            |              | 147          |              | <b>95</b>        |              | <b>84</b>    |              | 95               |              | 128          |              |
|            | <b>N_chapas</b>              | 17            |              | 17           |              | 17               |              | 15           |              | <b>17</b>        |              | <b>14</b>    |              |
|            | <b>N_padrões</b>             | 6             |              | 4            |              | 6                |              | 7            |              | 6                |              | 7            |              |

**Tabela 7 DADOS COMPUTACIONAIS C-H – TCP – 36**

| Componente | Encomenda                    | DESPERDÍCIO   |              |               |              | NÚMERO DE CORTES |              |               |              | NÚMERO DE CHAPAS |              |               |              |
|------------|------------------------------|---------------|--------------|---------------|--------------|------------------|--------------|---------------|--------------|------------------|--------------|---------------|--------------|
|            |                              | C-H           |              | TCP           |              | C-H              |              | TCP           |              | C-H              |              | TCP           |              |
|            |                              | Solução       | Stock gerado | Solução       | Stock gerado | Solução          | Stock gerado | Solução       | Stock gerado | Solução          | Stock gerado | Solução       | Stock gerado |
| Costas     | 36                           | 36            | 0            | 36            | 0            | 36               | 0            | 36            | 0            | 36               | 0            | 36            | 0            |
| Telhados   | 36                           | 36            | 0            | 48            | 12           | 36               | 0            | 36            | 0            | 36               | 0            | 36            | 0            |
| Fundos     | 36                           | 40            | 4            | 36            | 0            | 40               | 4            | 36            | 0            | 40               | 4            | 36            | 0            |
| Laterais   | 72                           | 80            | 8            | 72            | 0            | 80               | 8            | 72            | 0            | 80               | 8            | 72            | 0            |
| Divisórias | 36                           | 40            | 4            | 36            | 0            | 40               | 4            | 36            | 0            | 40               | 4            | 38            | 2            |
| Tabuleiros | 72                           | 72            | 0            | 162           | 90           | 72               | 0            | 72            | 0            | 72               | 0            | 72            | 0            |
|            | <i>Desp. (m<sup>2</sup>)</i> | <b>31,221</b> |              | <b>12,078</b> |              | <b>31,221</b>    |              | <b>26,617</b> |              | <b>31,221</b>    |              | <b>13,712</b> |              |
|            | <i>Desp. (%)</i>             | 21,3%         |              | 7,6%          |              | 21,3%            |              | 19,4%         |              | 21,3%            |              | 11,0%         |              |
|            | <i>N_cortes</i>              | 258           |              | 441           |              | <b>258</b>       |              | <b>243</b>    |              | 258              |              | 358           |              |
|            | <i>N_chapas</i>              | 47            |              | 51            |              | 47               |              | 44            |              | <b>47</b>        |              | <b>40</b>     |              |
|            | <i>N_padrões</i>             | 6             |              | 4             |              | 6                |              | 6             |              | 6                |              | 12            |              |

**Tabela 8 DADOS COMPUTACIONAIS C-H – TCP – 80**

| Componente | Encomenda                    | DESPERDÍCIO   |              |               |              | NÚMERO DE CORTES |              |               |              | NÚMERO DE CHAPAS |              |               |              |
|------------|------------------------------|---------------|--------------|---------------|--------------|------------------|--------------|---------------|--------------|------------------|--------------|---------------|--------------|
|            |                              | C-H           |              | TCP           |              | C-H              |              | TCP           |              | C-H              |              | TCP           |              |
|            |                              | Solução       | Stock gerado | Solução       | Stock gerado | Solução          | Stock gerado | Solução       | Stock gerado | Solução          | Stock gerado | Solução       | Stock gerado |
| Costas     | 80                           | 80            | 0            | 80            | 0            | 80               | 0            | 80            | 0            | 80               | 0            | 80            | 0            |
| Telhados   | 80                           | 80            | 0            | 105           | 25           | 80               | 0            | 80            | 0            | 80               | 0            | 80            | 0            |
| Fundos     | 80                           | 80            | 0            | 80            | 0            | 80               | 0            | 80            | 0            | 80               | 0            | 80            | 0            |
| Laterais   | 160                          | 160           | 0            | 160           | 0            | 160              | 0            | 160           | 0            | 160              | 0            | 160           | 0            |
| Divisórias | 80                           | 80            | 0            | 80            | 0            | 80               | 0            | 80            | 0            | 80               | 0            | 80            | 0            |
| Tabuleiros | 160                          | 160           | 0            | 360           | 200          | 160              | 0            | 160           | 0            | 160              | 0            | 160           | 0            |
|            | <i>Desp. (m<sup>2</sup>)</i> | <b>66,094</b> |              | <b>26,872</b> |              | <b>66,094</b>    |              | <b>59,844</b> |              | <b>66,094</b>    |              | <b>28,594</b> |              |
|            | <i>Desp. (%)</i>             | 21,1%         |              | 7,6%          |              | 21,1%            |              | 19,5%         |              | 21,1%            |              | 10,4%         |              |
|            | <i>N_cortes</i>              | 544           |              | 980           |              | <b>544</b>       |              | <b>536</b>    |              | 544              |              | 800           |              |
|            | <i>N_chapas</i>              | 100           |              | 113           |              | 100              |              | 98            |              | <b>100</b>       |              | <b>88</b>     |              |
|            | <i>N_padrões</i>             | 6             |              | 6             |              | 6                |              | 5             |              | 6                |              | 11            |              |

Numa primeira abordagem às soluções proporcionadas pelo método aplicado, constata-se que o *TCP* apresenta melhores soluções para todos os objectivos e quantidades analisadas.

Na coluna do *Desperdício*, verifica-se uma redução de, no mínimo, 60,5%. Se observarmos a encomenda de 12 unidades, verificamos que, mesmo utilizando igual número de chapas o desperdício consegue ser reduzido significativamente. Nas restantes encomendas são necessárias mais chapas, no entanto, produz-se maior quantidade de componentes para stock. Esta solução é bastante proveitosa em todos os sentidos, se repararmos, até a quantidade de padrões de corte seleccionados é menor.

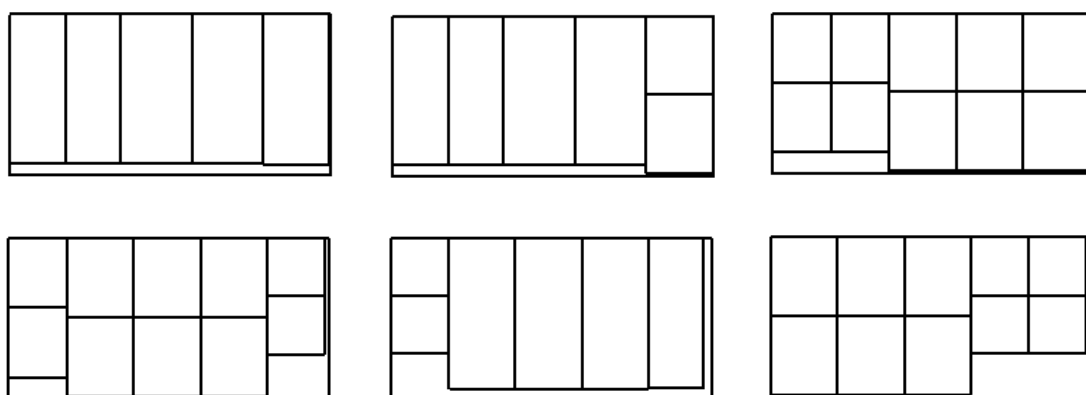
Na coluna *Número de Cortes*, verifica-se que o número de cortes a projectar nas chapas reduz consideravelmente com o novo método. Neste caso, voltamos a ter vantagens

importantes. Para além da satisfação do objectivo ainda é conseguido reduzir o desperdício gerado em pelo menos 15%. Este valor é conseguido com a utilização de menor quantidade de chapas a requisitar, o que também resulta, em menor quantidade de stock.

Na coluna *Número de Chapas*, através da aplicação do método, constata-se que também este objectivo consegue ser reduzido com relevância. Corresponde a uma redução de pelo menos 12% para o caso menos favorável. A aplicação do objectivo é bem sucedida pelo facto de conseguir reduzir o factor stock. Ainda nesta análise, se pretendermos examinar o desperdício resultante, verificamos que também obtemos poupanças. O desperdício é novamente menor e equivale a reduções na ordem de 57%.

Mesmo para o caso mais favorável dos *C-H*, encomenda de 80 unidades, onde não sobram componentes para stock, os resultados obtidos com o novo método são melhores para todos os objectivos, proporciona economias significativas.

A solução apresentada, da encomenda de 80 unidades, cujo objectivo é a minimização do desperdício, recai nos seguintes tipos de cortes-padrão, Figura 18.



**Figura 18 Solução Óptima - Desperdício**

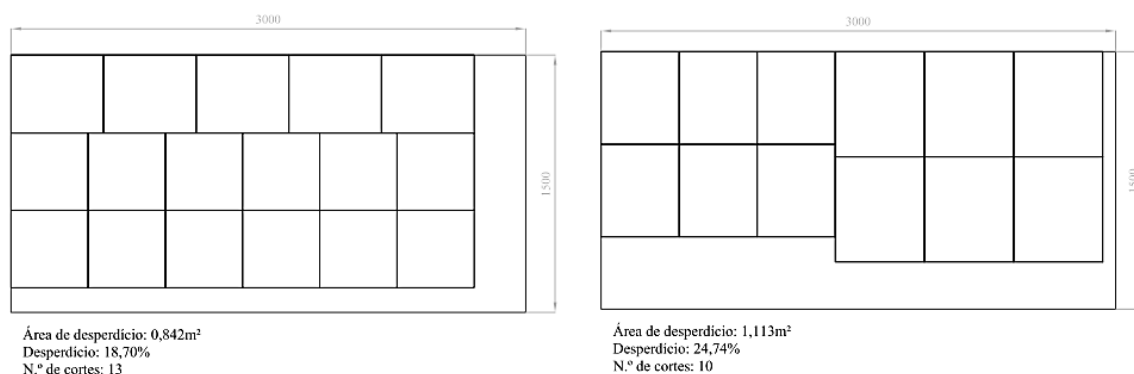
Pode ser verificado que em nenhuma das soluções encontradas estão presentes cortes homogéneos. A área da chapa é melhor aproveitada através dos componentes de menores dimensões, significando que o stock gerado resulta maioritariamente destes componentes.

Por último, verifica-se ainda que os resultados não são influenciados com significado pela quantidade a produzir.

## 5.5. TIPOS DE CORTES-PADRÃO PARA OUTRAS DIMENSÕES

Dado que o fornecedor de matéria-prima disponibiliza três dimensões de chapa, descritos no sub-capítulo 2.4, surgiu interesse em explorar novas combinações de cortes-padrão. Para isso, o estudo dos tipos de cortes possíveis foi alargado às outras medidas existentes, com o intuito de conseguir obter melhorias ao nível dos objectivos propostos.

Do estudo realizado para a chapa de dimensões 3000x1500mm resultaram os padrões de corte apresentados nos anexos H, I, J, K, L, M e correspondem ao aparecimento de 74 novas combinações. Uma representação dos estudos efectuados para esta medida está apresentado na Figura 19 relativamente ao componente *Fundos*, seguindo o método de corte guilhotinado de 2-estágios com possibilidade de aparar.



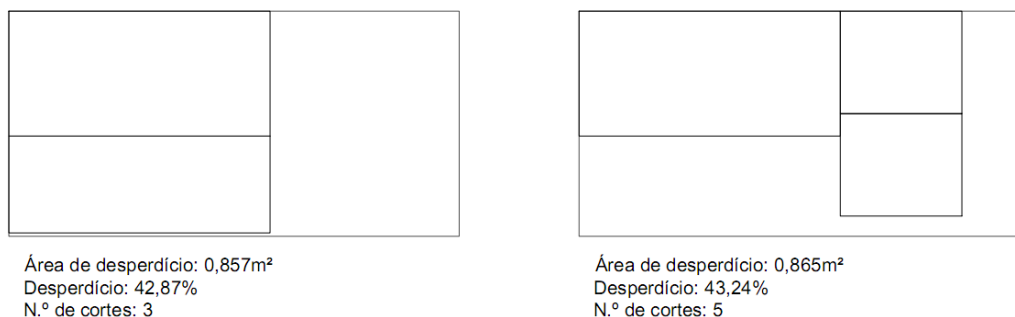
**Figura 19 Tipos de cortes-padrão para a chapa 3000x1500mm**

O estudo envolveu novamente os cálculos da área desperdiçada e a contagem do número de cortes. A Tabela 9 apresenta o estudo efectuado para o componente *Divisórias* e *Tabuleiros*, o restante encontra-se no anexo N.

**Tabela 9 CÁLCULOS DA CHAPA 3000x1500mm**

| Tipos de corte | Costas<br>(518x1170) | Telhados<br>(555x1160) | Fundos<br>(430x1160) | Laterais<br>(455x540) | Divisórias<br>(450x450) | Tabuleiros<br>(520x613) | Desperdício    |              | Nº de cortes |
|----------------|----------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|----------------|--------------|--------------|
|                |                      |                        |                      |                       |                         |                         | m <sup>2</sup> | %            |              |
| <b>67</b>      | 0                    | 0                      | 0                    | 0                     | 18                      | 0                       | 0,855          | <b>19,00</b> | 9            |
| <b>68</b>      | 0                    | 0                      | 0                    | 0                     | 16                      | 2                       | 0,622          | <b>13,83</b> | 13           |
| <b>69</b>      | 0                    | 0                      | 0                    | 0                     | 12                      | 4                       | 0,795          | <b>17,67</b> | 11           |
| <b>70</b>      | 0                    | 0                      | 0                    | 0                     | 9                       | 6                       | 0,765          | <b>17,00</b> | 11           |
| <b>71</b>      | 0                    | 0                      | 0                    | 0                     | 8                       | 8                       | 0,330          | <b>7,33</b>  | 16           |
| <b>72</b>      | 0                    | 0                      | 0                    | 0                     | 6                       | 9                       | 0,416          | <b>9,25</b>  | 16           |
| <b>73</b>      | 0                    | 0                      | 0                    | 0                     | 6                       | 8                       | 0,735          | <b>16,33</b> | 11           |
| <b>74</b>      | 0                    | 0                      | 0                    | 0                     | 0                       | 10                      | 1,312          | <b>29,16</b> | 7            |

No estudo efectuado para a chapa de dimensões 2000x1000mm, seguindo o mesmo método, obtemos mais 27 novas combinações (Anexos O, P, Q, R, S e T). Um dos estudos realizados está apresentado na Figura 20, também relativo ao componente *Fundos*.



**Figura 20 Tipos de cortes-padrão para a chapa 2000x1000mm**

Novos cálculos da área desperdiçada foram efectuados e procedeu-se à contagem do número de cortes para esta dimensão. A Tabela 10 apresenta uma amostra do estudo efectuado para o componente *Costas*, de onde foram obtidos os valores do desperdício equivalente a cada corte-padrão e a quantidade de cortes necessários executar durante o processo de obtenção dos componentes. O restante encontra-se no Anexo U.

**Tabela 10 CÁLCULOS DA CHAPA 2000x1000mm**

| Tipos de corte | Costas<br>(518x1170) | Telhados<br>(555x1160) | Fundos<br>(430x1160) | Laterais<br>(455x540) | Divisórias<br>(450x450) | Tabuleiros<br>(520x613) | Desperdício    |              | Nº de cortes |
|----------------|----------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|----------------|--------------|--------------|
|                |                      |                        |                      |                       |                         |                         | m <sup>2</sup> | %            |              |
| 1              | 1                    | 0                      | 0                    | 0                     | 0                       | 0                       | 1,394          | <b>69,70</b> | 2            |
| 2              | 1                    | 0                      | 1                    | 0                     | 0                       | 0                       | 0,895          | <b>44,76</b> | 4            |
| 3              | 1                    | 0                      | 0                    | 4                     | 0                       | 0                       | 0,411          | <b>20,56</b> | 8            |
| 4              | 1                    | 0                      | 0                    | 0                     | 5                       | 0                       | 0,381          | <b>19,07</b> | 9            |
| 5              | 1                    | 0                      | 0                    | 0                     | 0                       | 1                       | 1,075          | <b>53,76</b> | 4            |

Na perspectiva de completar este estudo, procedeu-se à combinação de todos os casos existentes, ou seja, analisar a reunião do estudo obtido para as três dimensões disponibilizadas, perfazendo o total de 187 tipos de cortes encontrados. A este estudo iremos denominar por *Mix*. Este novo caso, abrange todas as dimensões apresentadas, com o intuito de explorar a melhor combinação destas, de modo a que possam ser conjugadas e assim, estudar a possibilidade de melhor aproveitamento da totalidade de medidas disponíveis.

## 5.6. RESULTADOS PARA OUTRAS DIMENSÕES DE CHAPA

Os resultados dos testes computacionais efectuados para as restantes dimensões estão apresentados em tabelas, sendo que a cada tabela corresponde a quantidade de cada encomenda. Em cada tabela estão aplicados os três objectivos de estudo, *desperdício*, *número de cortes* e o *número de chapas*. Foram realizados 27 testes para esta análise.

Os novos dados apresentados nas colunas das tabelas são os seguintes:

- **3x1,5** - solução apresentada para os cortes-padrão da chapa 3000x1500;
- **2x1** - solução apresentada para os cortes-padrão da chapa 2000x1000;
- **Mix** - solução apresentada para a combinação de dimensões.

As soluções computacionais para este conjunto de testes estão apresentados nas Tabelas 11, 12 e 13 para as encomendas de 12, 36 e 80 unidades, respectivamente.

**Tabela 11 DADOS COMPUTACIONAIS 3x1,5 - 2x1 - Mix – 12 UNIDADES**

| Comp.                        | Encomenda     | DESPERDÍCIO  |              |               |              |           | NÚMERO DE CORTES |           |            |           |           | NÚMERO DE CHAPAS |           |           |           |     |
|------------------------------|---------------|--------------|--------------|---------------|--------------|-----------|------------------|-----------|------------|-----------|-----------|------------------|-----------|-----------|-----------|-----|
|                              |               | C-H          | TCP          | 3x1,5         | 2x1          | Mix       | C-H              | TCP       | 3x1,5      | 2x1       | Mix       | C-H              | TCP       | 3x1,5     | 2x1       | Mix |
| Costas                       | 12            | 0            | 0            | 0             | 0            | 0         | 0                | 0         | 0          | 0         | 0         | 0                | 0         | 0         | 0         | 0   |
| Telhados                     | 12            | 0            | 4            | 0             | 0            | 0         | 0                | 1         | 0          | 0         | 0         | 0                | 0         | 0         | 0         | 0   |
| Fundos                       | 12            | 3            | 0            | 0             | 0            | 1         | 3                | 0         | 0          | 0         | 0         | 3                | 0         | 0         | 0         | 0   |
| Laterais                     | 24            | 6            | 0            | 4             | 0            | 0         | 6                | 0         | 0          | 0         | 0         | 6                | 0         | 0         | 0         | 0   |
| Divisórias                   | 12            | 8            | 0            | 6             | 38           | 0         | 8                | 0         | 0          | 0         | 0         | 8                | 8         | 0         | 0         | 0   |
| Tabuleiros                   | 24            | 0            | 30           | 8             | 0            | 2         | 0                | 0         | 0          | 0         | 0         | 0                | 0         | 0         | 0         | 0   |
| <i>Desp. (m<sup>2</sup>)</i> | <b>11,573</b> | <b>4,026</b> | <b>7,791</b> | <b>19,344</b> | <b>3,028</b> | 11,573    | 9,270            | 12,539    | 41,039     | 13,414    | 11,573    | 5,169            | 8,039     | 23,039    | 8,039     |     |
| <i>Desp. (%)</i>             | 21,8%         | 7,6%         | 15,7%        | 30,2%         | 7,4%         | 21,8%     | 19,8%            | 25,3%     | 52,6%      | 26,6%     | 21,8%     | 11,8%            | 17,9%     | 38,4%     | 17,9%     |     |
| <i>N_cortes</i>              | 95            | 147          | 118          | 206           | 120          | <b>95</b> | <b>84</b>        | <b>80</b> | <b>115</b> | <b>72</b> | 95        | 128              | 102       | 159       | 102       |     |
| <i>N_chapas</i>              | 17            | 17           | 11           | 32            | 13           | 17        | 15               | 11        | 39         | 15        | <b>17</b> | <b>14</b>        | <b>10</b> | <b>30</b> | <b>10</b> |     |
| <i>N_padrões</i>             | 6             | 4            | 3            | 5             | 6            | 6         | 7                | 7         | 6          | 7         | 6         | 7                | 7         | 9         | 7         |     |

**Tabela 12 DADOS COMPUTACIONAIS 3x1,5 - 2x1 - Mix – 36 UNIDADES**

| Comp.                        | Encomenda     | DESPERDÍCIO   |               |               |              |            | NÚMERO DE CORTES |            |            |            |           | NÚMERO DE CHAPAS |           |           |           |     |
|------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|------------|------------------|------------|------------|------------|-----------|------------------|-----------|-----------|-----------|-----|
|                              |               | C-H           | TCP           | 3x1,5         | 2x1          | Mix        | C-H              | TCP        | 3x1,5      | 2x1        | Mix       | C-H              | TCP       | 3x1,5     | 2x1       | Mix |
| Costas                       | 36            | 0             | 0             | 0             | 0            | 0          | 0                | 0          | 0          | 0          | 0         | 0                | 0         | 0         | 0         | 0   |
| Telhados                     | 36            | 0             | 12            | 0             | 0            | 0          | 0                | 0          | 0          | 0          | 0         | 0                | 0         | 0         | 0         | 0   |
| Fundos                       | 36            | 4             | 0             | 0             | 0            | 1          | 4                | 0          | 0          | 0          | 0         | 4                | 0         | 0         | 0         | 0   |
| Laterais                     | 72            | 8             | 0             | 5             | 0            | 0          | 8                | 0          | 0          | 0          | 0         | 8                | 0         | 2         | 0         | 1   |
| Divisórias                   | 36            | 4             | 0             | 18            | 114          | 0          | 4                | 0          | 0          | 0          | 0         | 4                | 2         | 0         | 0         | 0   |
| Tabuleiros                   | 72            | 0             | 90            | 16            | 0            | 0          | 0                | 0          | 0          | 0          | 0         | 0                | 0         | 0         | 0         | 0   |
| <i>Desp. (m<sup>2</sup>)</i> | <b>31,221</b> | <b>12,078</b> | <b>23,143</b> | <b>58,032</b> | <b>8,868</b> | 31,221     | 26,617           | 42,117     | 123,117    | 34,367     | 31,221    | 13,712           | 23,626    | 65,117    | 23,871    |     |
| <i>Desp. (%)</i>             | 21,3%         | 7,6%          | 16,1%         | 30,2%         | 7,4%         | 21,3%      | 19,4%            | 27,5%      | 52,6%      | 23,7%      | 21,3%     | 11,0%            | 17,5%     | 37,0%     | 17,7%     |     |
| <i>N_cortes</i>              | 258           | 441           | 339           | 618           | 347          | <b>258</b> | <b>243</b>       | <b>227</b> | <b>345</b> | <b>211</b> | 258       | 358              | 306       | 469       | 299       |     |
| <i>N_chapas</i>              | 47            | 51            | 32            | 96            | 38           | 47         | 44               | 34         | 117        | 39         | <b>47</b> | <b>40</b>        | <b>30</b> | <b>88</b> | <b>30</b> |     |
| <i>N_padrões</i>             | 6             | 4             | 3             | 5             | 7            | 6          | 6                | 10         | 6          | 7          | 6         | 12               | 8         | 8         | 9         |     |

**Tabela 13 DADOS COMPUTACIONAIS 3x1,5 - 2x1 - Mix – 80 UNIDADES**

| Comp.                        | Encomenda     | DESPERDÍCIO   |               |                |               |            | NÚMERO DE CORTES |            |            |            |            | NÚMERO DE CHAPAS |           |            |           |     |
|------------------------------|---------------|---------------|---------------|----------------|---------------|------------|------------------|------------|------------|------------|------------|------------------|-----------|------------|-----------|-----|
|                              |               | C-H           | TCP           | 3x1,5          | 2x1           | Mix        | C-H              | TCP        | 3x1,5      | 2x1        | Mix        | C-H              | TCP       | 3x1,5      | 2x1       | Mix |
| Costas                       | 80            | 0             | 0             | 0              | 0             | 0          | 0                | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                | 0         | 0          | 0         | 0   |
| Telhados                     | 80            | 0             | 25            | 0              | 0             | 0          | 0                | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                | 0         | 0          | 0         | 0   |
| Fundos                       | 80            | 0             | 0             | 1              | 0             | 0          | 0                | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                | 0         | 0          | 0         | 1   |
| Laterais                     | 160           | 0             | 0             | 1              | 0             | 0          | 0                | 0          | 8          | 0          | 2          | 0                | 0         | 2          | 0         | 1   |
| Divisórias                   | 80            | 0             | 0             | 22             | 250           | 0          | 0                | 0          | 0          | 0          | 1          | 0                | 0         | 13         | 0         | 4   |
| Tabuleiros                   | 160           | 0             | 200           | 24             | 0             | 16         | 0                | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                | 0         | 2          | 0         | 0   |
| <i>Desp. (m<sup>2</sup>)</i> | <b>66,094</b> | <b>26,872</b> | <b>51,244</b> | <b>128,969</b> | <b>19,493</b> | 66,094     | 59,844           | 98,128     | 273,594    | 101,400    | 66,094     | 28,594           | 55,832    | 141,594    | 53,539    |     |
| <i>Desp. (%)</i>             | 21,1%         | 7,6%          | 16,5%         | 30,3%          | 7,2%          | 21,1%      | 19,5%            | 28,3%      | 52,6%      | 30,4%      | 21,1%      | 10,4%            | 18,2%     | 36,5%      | 17,8%     |     |
| <i>N_cortes</i>              | 544           | 980           | 719           | 1369           | 760           | <b>544</b> | <b>536</b>       | <b>502</b> | <b>768</b> | <b>467</b> | 544        | 800              | 676       | 1062       | 672       |     |
| <i>N_chapas</i>              | 100           | 113           | 69            | 213            | 79            | 100        | 98               | 77         | 260        | 105        | <b>100</b> | <b>88</b>        | <b>68</b> | <b>194</b> | <b>67</b> |     |
| <i>N_padrões</i>             | 6             | 6             | 6             | 6              | 6             | 6          | 5                | 9          | 7          | 7          | 6          | 11               | 15        | 6          | 11        |     |

Na coluna do *Desperdício*, as soluções apresentadas pelo *Mix* apresentam significativas reduções comparativamente ao *TCP*. Corresponde a uma média de menos 26,3% de sucata gerada e realiza-se menor número de cortes para obter o produto pretendido. Se compararmos os mesmos valores com o método utilizado pela empresa, corresponde a uma redução em média, de 72,2% em desperdício. Também em relação ao stock os valores apresentados pelo *Mix* são mais favoráveis. Dado que os custos de armazenamento de stock aumenta consoante a dimensão das peças armazenadas, esta situação traduz-se numa redução desses custos. Quanto ao número de chapas utilizadas, e sabendo que estamos a falar de 3 medidas diferentes, podemos ainda acrescentar que, as quantidades são menores.

Na coluna *Número de Cortes*, os tipos de cortes-padrão para *3x1,5* e *Mix* são mais favoráveis que o *TCP*. No entanto, aqueles geram mais componentes para stock e mais desperdício. É de referir ainda que se espera que o número de padrões de corte necessários para a chapa *3x1,5* seja menor, pelo facto da área da chapa ser maior.

Para as soluções obtidas na coluna *Número de Chapas*, pode-se verificar que os valores de *3x1,5* e o *Mix* são iguais, isto é, as soluções propostas pelo *Mix* equivalem à chapa de dimensões 3000x1500, excepto num caso. Para a encomenda de 80 unidades, o método recorre a soluções combinadas de outros tipos de cortes-padrão. Verifica-se também neste objectivo, que o número de cortes necessários é inferior ao *TCP*, assim como o stock gerado, é superior.

## 5.7. OBJECTIVOS PONDERADOS

Segundo as potencialidades que esta ferramenta representa, podemos ainda fazer referência à combinação de factores possíveis que visam explorar as capacidades de atribuição do

nível de importância que cada objectivo fornece em determinado momento, através da atribuição de pesos individuais a cada um dos objectivos. Desta ferramenta não só conseguimos soluções óptimas para cada objectivo individualmente como ainda é possível obter soluções que resultam de uma combinação ponderada dos três objectivos.

Consideremos a quantidade utilizada para executar uma qualquer encomenda em que a função objectivo é minimizar o desperdício. Daqui podem surgir várias soluções com o mesmo valor de desperdício mas com diferentes valores para os outros dois objectivos, o número de cortes e o número de chapas, aos quais o algoritmo é indiferente. Do ponto de vista prático, estas soluções apresentam diferentes níveis de qualidade. Para sabermos se existem soluções com igual desperdício mas com melhor número de cortes e melhor número de chapas são atribuídos pesos por forma a equilibrar os três objectivos.

Foi realizado novo estudo com o intuito de sublinhar a importância da atribuição de pesos a aplicar nesta ferramenta. Para esta análise, utilizou-se a encomenda de 80 unidades e procedeu-se à atribuição de pesos. Ao desperdício foi atribuído maior relevância (peso=100) seguido do número de chapas (peso=10). Estes valores equivalem a trocar 1m<sup>2</sup> de desperdício pela redução de 10 unidades de chapa. As soluções computacionais para este novo conjunto de testes estão apresentados na Tabela 14. Foram realizados 2 testes.

Os dados apresentados nas colunas das tabelas são os seguintes:

- *Objectivo Simples* – solução proposta sem ponderação de atributos;

- *Objectivo. Ponderado* – solução proposta com ponderação de atributos.

**Tabela 14 SOLUÇÃO ÓPTIMA – PONDERAÇÃO DE ATRIBUTOS**

| Componente | Encomenda                    | TCP               |              |                     |              | Mix               |              |                     |              |
|------------|------------------------------|-------------------|--------------|---------------------|--------------|-------------------|--------------|---------------------|--------------|
|            |                              | Objectivo Simples | Stock gerado | Objectivo Ponderado | Stock gerado | Objectivo Simples | Stock gerado | Objectivo Ponderado | Stock gerado |
| Costas     | 80                           | 80                | 0            | 80                  | 0            | 80                | 0            | 80                  | 0            |
| Telhados   | 80                           | 105               | 25           | 80                  | 0            | 80                | 0            | 80                  | 0            |
| Fundos     | 80                           | 80                | 0            | 80                  | 0            | 80                | 0            | 80                  | 0            |
| Laterais   | 160                          | 160               | 0            | 160                 | 0            | 160               | 0            | 161                 | 1            |
| Divisórias | 80                           | 80                | 0            | 80                  | 0            | 80                | 0            | 82                  | 2            |
| Tabuleiros | 160                          | 360               | 200          | 160                 | 0            | 176               | 16           | 160                 | 0            |
|            | <i>Desp. (m<sup>2</sup>)</i> | <b>26,872</b>     |              | <b>28,594</b>       |              | <b>19,493</b>     |              | <b>19,693</b>       |              |
|            | <i>Desp. (%)</i>             | 7,6%              |              | 10,4%               |              | 7,2%              |              | 7,4%                |              |
|            | <i>N_cortes</i>              | 980               |              | 689                 |              | 2426              |              | 733                 |              |
|            | <i>N_chapas</i>              | 113               |              | 88                  |              | 251               |              | 77                  |              |
|            | <i>N_padrões</i>             | 6                 |              | 9                   |              | 6                 |              | 7                   |              |

Da análise à tabela, após atribuição de pesos verificamos que, como seria de esperar, para ambos os tipos de cortes-padrão *TCP* e *Mix*, os valores de desperdício são ligeiramente superiores enquanto que o número de cortes e o número de chapas decrescem significativamente.

Para *TCP*, constata-se um acréscimo de 6,4% no desperdício por troca com menos 291 cortes (29,7%) e uma poupança de 25 unidades de chapa (22,1%). É de notar ainda uma eliminação do stock gerado.

Em relação aos tipos de cortes padrão para o *Mix*, observa-se a significativa redução do número de cortes e também, número de chapas. Foi conseguido obter menos 1693 cortes (70%) e uma redução de 174 chapas (69,3%). Valores bastante significativos quando se trata de trocar 1% do desperdício.

Observe-se que, em ambos os objectivos ponderados, foram utilizados maior número de padrões de corte, relativamente aos correspondentes objectivos simples.

## **5.8. PRODUÇÃO ANUAL**

Mudanças significativas nem sempre são apelativas mesmo quando se pretende viabilizar o processo, existem custos inerentes que nem sempre se justificam como forma de rentabilizar os métodos usuais. Com o intuito de explorar o elemento custo, procedeu-se a novo estudo, desta vez foi utilizado como valor de referência a produção anual. Para esta análise foram seleccionados os casos que durante este desenvolvimento apontaram como sendo situações mais favoráveis e económicas para a empresa. Assim, foram alvo de estudo os casos relativos aos tipos de cortes-padrão para *TCP* e relativos ao *Mix*, comparativamente aos tipos de *C-H* actualmente utilizados pela empresa. A solução obtida está apresentada na Tabela 15. Foram realizados 9 testes.

**Tabela 15 DADOS COMPUTACIONAIS – PRODUÇÃO ANUAL**

| Componente | Encomenda                    | DESPERDÍCIO     |                |                | NÚMERO DE CORTES |              |             | NÚMERO DE CHAPAS |             |             |
|------------|------------------------------|-----------------|----------------|----------------|------------------|--------------|-------------|------------------|-------------|-------------|
|            |                              | C-H             | TCP            | Mix            | C-H              | TCP          | Mix         | C-H              | TCP         | Mix         |
| Costas     | 1500                         | 1500            | 1500           | 1500           | 1500             | 1501         | 1500        | 1500             | 1500        | 1500        |
| Telhados   | 1500                         | 1500            | 2000           | 1500           | 1500             | 1500         | 1500        | 1500             | 1500        | 1500        |
| Fundos     | 1500                         | 1500            | 1500           | 1500           | 1500             | 1500         | 1500        | 1500             | 1500        | 1500        |
| Laterais   | 3000                         | 3000            | 3000           | 3000           | 3000             | 3000         | 3000        | 3000             | 3000        | 3005        |
| Divisórias | 1500                         | 1500            | 1500           | 1500           | 1500             | 1500         | 1500        | 1500             | 1500        | 1500        |
| Tabuleiros | 3000                         | 3000            | 6750           | 3300           | 3000             | 3000         | 3000        | 3000             | 3000        | 3000        |
|            | <i>Desp. (m<sup>2</sup>)</i> | <b>1239,255</b> | <b>503,255</b> | <b>365,502</b> | 1239,255         | 1123,024     | 1999,755    | 1239,255         | 536,130     | 967,652     |
|            | <i>Desp. (%)</i>             | 21,1%           | 7,6%           | 7,2%           | 21,1%            | 19,6%        | 30,2%       | 21,1%            | 10,4%       | 17,3%       |
|            | <i>N_cortes</i>              | 10200           | 18375          | 14100          | <b>10200</b>     | <b>10052</b> | <b>8700</b> | 10200            | 13831       | 12816       |
|            | <i>N_chapas</i>              | 1875            | 2125           | 1450           | 1875             | 1838         | 2051        | <b>1875</b>      | <b>1650</b> | <b>1242</b> |
|            | <i>N_padrões</i>             | 6               | 4              | 5              | 6                | 7            | 7           | 6                | 8           | 9           |

De uma forma geral, qualquer dos casos *TCP* e *Mix* são, como esperado, soluções mais económicas. Em relação aos tipos de cortes-padrão para *TCP* é de referir que, estes revelam ser de entre todas as soluções expostas uma boa alternativa que justifique a mudança por parte da empresa, uma vez que não implica grandes alterações no método de fabrico. Isto é, sem recorrer a outras dimensões de chapa disponibilizadas nem ter de recorrer a transformações notórias que sobrecarreguem o operário no manuseamento da matéria-prima e também, causar maior tempo na execução do processo.

Analisando o desperdício apresentado na tabela para o método actual (C-H) e recorrendo aos cálculos do volume da chapa multiplicados pela densidade do material, obtém-se com a produção anual de 1500 unidades de viveiros de chapa 4.833,1kg de desperdício resultante do processo executado actualmente, o que equivale a 3.673,15€ gastos em sucata, onde se utilizam 1875 unidades de chapa anualmente.

Com a alternativa *TCP* e para a mesma produção anual, seria gerado 1962,7kg de desperdício o que representa uma redução de 2.870,4kg de chapa resultante em sucata comparativamente ao processo executado actualmente, o que corresponde a uma redução de 2.181,5€ anuais.

Recorrendo à alternativa *Mix*, face aos tipos de cortes designados *C-H* iria ser reduzido 3.407,6kg de desperdício gerado anualmente, o que equivale a uma redução de custos da produção de 2.243,3€ por ano.

## 6. CONCLUSÕES

Este trabalho consistiu num estudo de um problema real da indústria metalomecânica que envolveu os problemas de corte bidimensionais, recorrendo a um produto fabricado em chapa.

Fez-se uma descrição detalhada do problema real e desenvolveu-se um modelo matemático e um método de solução para sua resolução. Este modelo foi implementado na plataforma Excel onde, recorrendo à ferramenta Solver foi possível obter soluções para os vários problemas de teste e validar soluções.

Foram apresentadas alternativas ao método executado actualmente pela empresa, como forma de minimizar o desperdício resultante do processo de fabrico deste produto, em que, uma das soluções consistiu na apresentação de todos os tipos de cortes-padrão encontrados para a mesma medida de chapa usada pela empresa, e uma outra solução foi baseada em duas diferentes dimensões de matéria-prima disponibilizadas.

Os resultados obtidos mostram que pelo menos duas soluções podem ser apresentadas como alternativa ao método actual com ganhos muito significativos ao nível do desperdício, stock e número de cortes gerados.

Com a implementação do sistema de apoio à tomada de decisão, disponibiliza-se ao operador escolhas alternativas como forma de rentabilizar o processo, permitindo explorar as potencialidades da ferramenta segundo as necessidades no momento de execução. Desta forma, verificaram-se ganhos a nível do tempo e da qualidade apresentada nas soluções.

Como sugestão para trabalhos futuros, fica a possibilidade de desenvolver novos estudos para outros produtos da mesma linha de produção.

## *Referências Documentais*

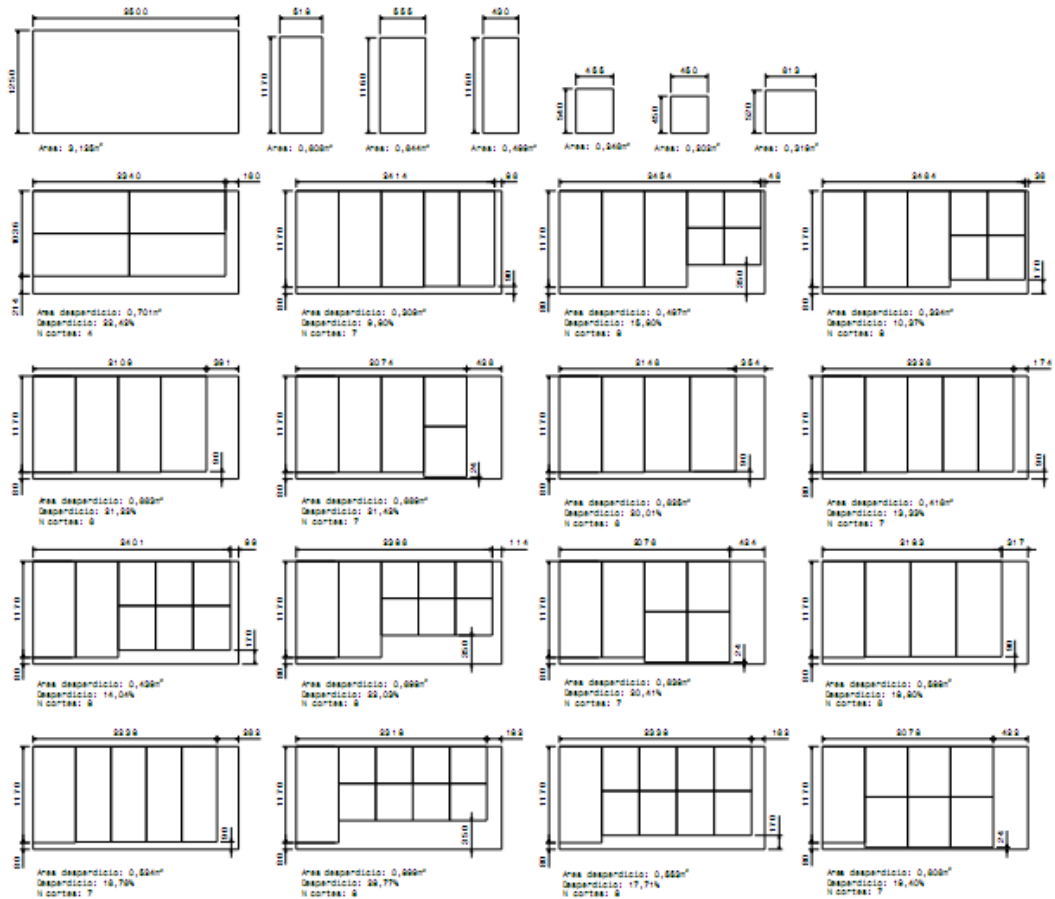
- [1] Arbel, A. 1993. *Large Scale Optimisation Methods Applied to the Cutting Stock Problem of Irregular Shapes*. International Journal of Production Research, Vol 31, Iss 2, pp 483-500.
- [2] Brooks, R. L., Smith, C. A. B., Stone, A.H., Tutte, W.T. 1941. *The Dissections of Rectangles into Squares*. Duke Math, J, Vol 7, pp 312-340.
- [3] *Cuting and Packing*, European Journal of Operational Research 183 (2007) 1106-1108.
- [4] Datzig, G. B. 1951. *Maximization of a Linear Function of Variables Subject to Linear Inequalities. Activity Analysis of Production Allocation*. T. C. Koopmans, ed. Cowles Commission Monograpg, 13. Wiley, New York, pp339-347.
- [5] Dikili, A.C., *A new approach for the solution of the two-dimensional guillotine-cutting problem in ship production*, Ocean Engineering (2004) 1193-1203.
- [6] Dyckhoff, H.; 1990. *A new linear programming approach to the cutting stock problem*.European Journal of Operational Research 44, 145-159.
- [7] Dyckhoff, H., 1990. *A typology of cutting and packing problems*. European Journal of Operational Research 44, 145–159.
- [8] Eisemann, K. 1957. *The Trim Problem*. *Management Science*, Vol 3, pp 279-284.
- [9] Faina, L., *An application of simulated annealing to the cutting stock problem*, European Journal of Operational Research (1999) 542-556.
- [10] GARCIA, SOLANGE, GUERREIRO, REINALDO e CORRAR, Luis J.,*Teoria das Restrições e Programação Linear*, Anais do V Congresso Internacional de Custos – Acapulco, México, Julho 1997.
- [11] Gilmore P. C. and Gomory, R. E. (1961). *A linear programming approach to cutting stock problem*. Operations Research 9, 849-859.
- [12] Gilmore, P. C. and Gomory, R. E. (1963). *A linear programming approach to cutting stock problem*. Operations Research 11, 863-888.

- [13] Gilmore, P. C. and Gomory, R. E. (1965). *A linear programming approach to cutting stock problem*. Operations Research 13, 94-120.
- [14] Gilmore, P. C. and Gomory, R. E. 1965. *The Theory and Computation of Knapsack Functions*. Operations Research, Vol 14, pp 1045-107.
- [15] Herz, J.C. 1972. *A Recursive Computing Procedure for Two-Dimensional Stock Cutting*. IBM J. Res. Develop., Vol 16, pp 462-469.
- [16] Kantorovich, L. V., Zalgaller, V.A. 1951. *Optimal Calculation for Subdivision in the Material Industry*. Leningrad. Lenizdat. p 198.
- [17] Mccloskey, Joseph F. e TREFLETHEN, Florence, N., *Pesquisa Operacional como Instrumento de Gerência*, Rio de Janeiro: Edgard Blucher, 1956.
- [18] MORABITO, R; ARENALES, M. *An and/Or-Graph approach to the solutions of two dimensional non-guilhotine cutting problems*, European Journal Of Operational Research 84, 599-617, 1995.
- [19] MORABITO, R; ARENALES, M. *Stage and Constrained two – dimensional guilhotine cutting problems: an AND/OR-graph approach*, European Journal Of Operational Research 94, 548-560, 1996.
- [20] Morabito, R., Garcia, V., *The cutting stock problem in a hardboard industry: a case study*, Computers and Operations Research (1998) 469-485.
- [21] Paull, A.E. 1956. *Linear Programming: A Key to Optimum Newsprint roduction*. Pulp Paper Magazine. Canada. Vol 57.
- [22] PILEGGI, G. C. F.; MORABITO, R.; ARENALES, M. N., *Heurísticas para os Problemas de Geração e Sequenciamento de Padões de Corte Bidimensionais*. Pesquisa Operacional, v.27, p. 549-568, 2007.
- [23] Wascher et al. *An improved typology of cutting and packing problems*. European Journal of Operational Research 183 (2007) 1109-1130.
- [24] SHAMBLIN, James E. e STEVENS Jr., G. T., *Pesquisa Operacional – uma abordagem básica*. São Paulo: Atlas, 1979.
- [25] Silva, E., Alvelos, F., e Carvalho, J. M. V. d. (2010). *A new integer programming model for two- and three-stage two dimensional cutting stock problems*. European Journal of Operational Research 205, 699-708.
- [26] Vajda, S. 1958. *Trim Loss Reduction. Readings in Linear Programming*. New York, Wiley, pp78-84.

- [27] WAGNER, Harvey M., *Pesquisa Operacional*, Rio de Janeiro: Prentice-Hall, 1986.
- [28] Wascher, G., Gau, T., 2007. *An improved typology of cutting and packing problems*.  
European Journal of Research 183 (2007) 1109–1130.

# Anexo A. Cortes-Padrão para componente *Costas* da Chapa 2500x1250mm

DIMENSOES CHAPA: 2500x1250 mm



# Anexo B. Cortes-Padrão para componente *Telhados* da Chapa 2500x1250mm



# Anexo C. Cortes-Padrão para componente Fundos da Chapa 2500x1250mm



# Anexo D. Cortes-Padrão para componente *Laterais* da Chapa 2500x1250mm

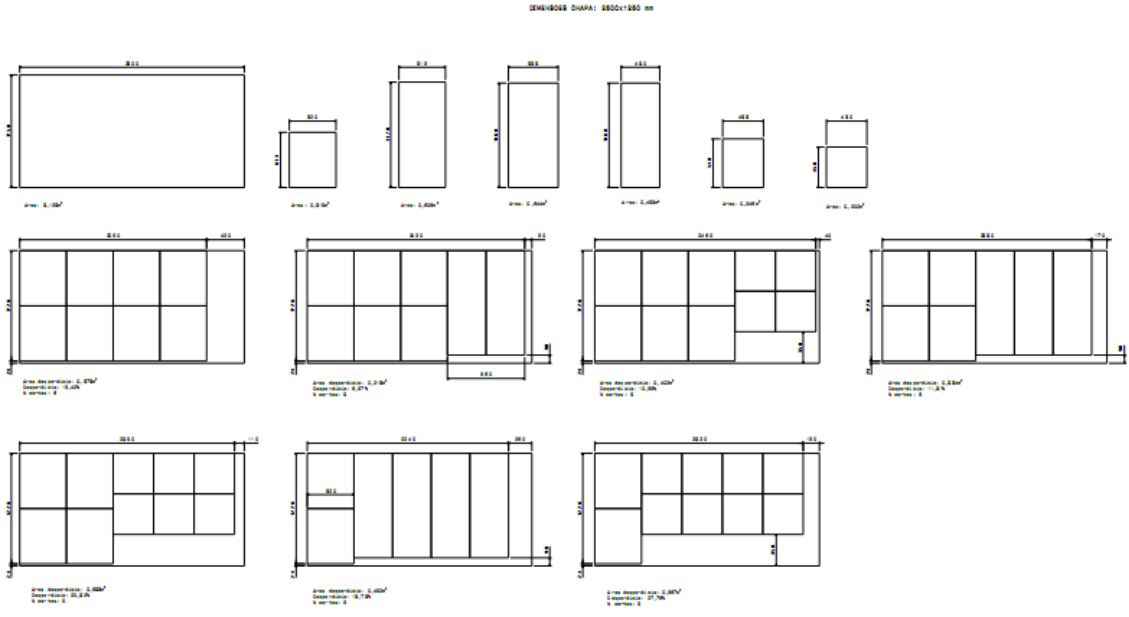


# Anexo E. Cortes-Padrão para componente *Divisórias* da Chapa 2500x1250mm

DESENHOS CHAPA: 2500x1250 mm



# Anexo F. Cortes-Padrão para componente *Tabuleiros* da Chapa 2500x1250mm



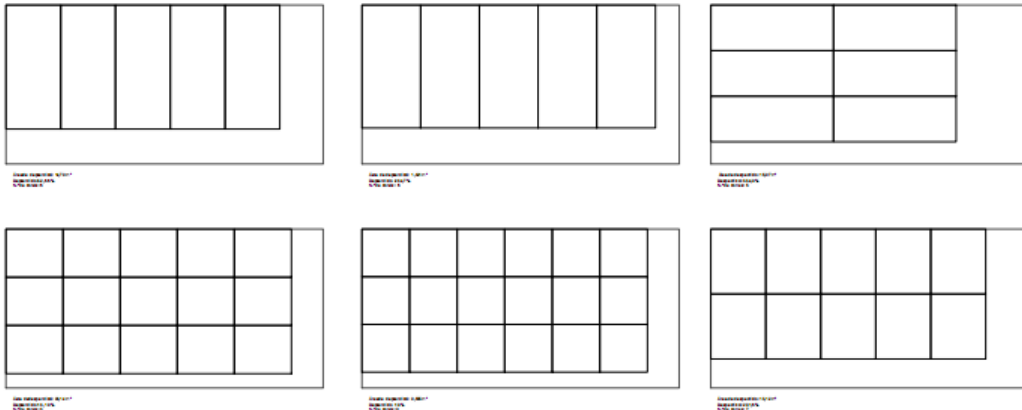
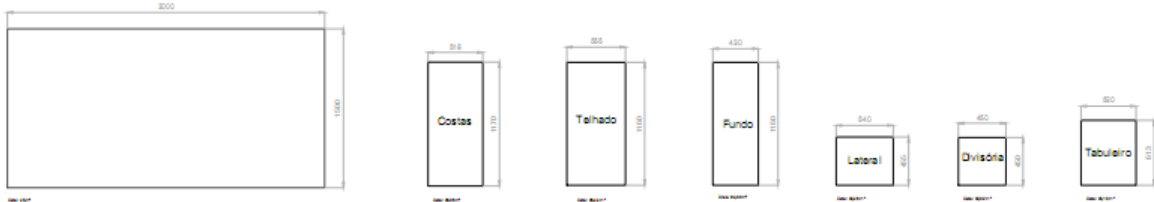
## Anexo G. Cálculos - Chapa 2500x1250mm

| Tipos de corte | Costas<br>(518x1170) | Telhados<br>(555x1160) | Fundos<br>(430x1160) | Laterais<br>(455x540) | Divisórias<br>(450x450) | Tabuleiros<br>(520x613) | Desperdício    |              | Nº de cortes |
|----------------|----------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|----------------|--------------|--------------|
|                |                      |                        |                      |                       |                         |                         | m <sup>2</sup> | %            |              |
| 1              | 4                    | 0                      | 0                    | 0                     | 0                       | 0                       | 0,701          | <b>22,42</b> | 4            |
| 2              | 3                    | 0                      | 2                    | 0                     | 0                       | 0                       | 0,309          | <b>9,90</b>  | 7            |
| 3              | 3                    | 0                      | 0                    | 4                     | 0                       | 0                       | 0,324          | <b>10,37</b> | 8            |
| 4              | 3                    | 0                      | 0                    | 0                     | 4                       | 0                       | 0,497          | <b>15,90</b> | 8            |
| 5              | 3                    | 1                      | 0                    | 0                     | 0                       | 0                       | 0,663          | <b>21,22</b> | 6            |
| 6              | 3                    | 0                      | 0                    | 0                     | 0                       | 2                       | 0,669          | <b>21,42</b> | 7            |
| 7              | 2                    | 2                      | 0                    | 0                     | 0                       | 0                       | 0,625          | <b>20,01</b> | 6            |
| 8              | 2                    | 0                      | 3                    | 0                     | 0                       | 0                       | 0,416          | <b>13,33</b> | 7            |
| 9              | 2                    | 0                      | 0                    | 6                     | 0                       | 0                       | 0,439          | <b>14,04</b> | 8            |
| 10             | 2                    | 0                      | 0                    | 0                     | 6                       | 0                       | 0,698          | <b>22,33</b> | 8            |
| 11             | 2                    | 0                      | 0                    | 0                     | 0                       | 4                       | 0,638          | <b>20,41</b> | 7            |
| 12             | 1                    | 3                      | 0                    | 0                     | 0                       | 0                       | 0,588          | <b>18,80</b> | 6            |
| 13             | 1                    | 0                      | 4                    | 0                     | 0                       | 0                       | 0,524          | <b>16,76</b> | 7            |
| 14             | 1                    | 0                      | 0                    | 8                     | 0                       | 0                       | 0,553          | <b>17,71</b> | 8            |
| 15             | 1                    | 0                      | 0                    | 0                     | 8                       | 0                       | 0,899          | <b>28,77</b> | 8            |
| 16             | 1                    | 0                      | 0                    | 0                     | 0                       | 6                       | 0,606          | <b>19,40</b> | 7            |
| 17             | 0                    | 4                      | 0                    | 0                     | 0                       | 0                       | 0,550          | <b>17,59</b> | 4            |
| 18             | 0                    | 3                      | 1                    | 0                     | 0                       | 0                       | 0,695          | <b>22,23</b> | 6            |
| 19             | 0                    | 3                      | 0                    | 2                     | 0                       | 0                       | 0,702          | <b>22,47</b> | 7            |
| 20             | 0                    | 3                      | 0                    | 0                     | 2                       | 0                       | 0,789          | <b>25,24</b> | 7            |
| 21             | 0                    | 3                      | 0                    | 0                     | 0                       | 2                       | 0,556          | <b>17,79</b> | 6            |
| 22             | 2                    | 2                      | 0                    | 0                     | 0                       | 0                       | 0,625          | <b>20,01</b> | 6            |
| 23             | 0                    | 2                      | 3                    | 0                     | 0                       | 0                       | 0,341          | <b>10,91</b> | 6            |
| 24             | 0                    | 2                      | 0                    | 6                     | 0                       | 0                       | 0,363          | <b>11,62</b> | 8            |
| 25             | 0                    | 2                      | 0                    | 0                     | 6                       | 0                       | 0,622          | <b>19,92</b> | 8            |
| 26             | 0                    | 2                      | 0                    | 0                     | 0                       | 4                       | 0,562          | <b>18,00</b> | 7            |
| 27             | 0                    | 1                      | 4                    | 0                     | 0                       | 0                       | 0,486          | <b>15,55</b> | 6            |
| 28             | 0                    | 1                      | 0                    | 8                     | 0                       | 0                       | 0,516          | <b>16,50</b> | 8            |
| 29             | 0                    | 1                      | 0                    | 0                     | 8                       | 0                       | 0,861          | <b>27,56</b> | 8            |
| 30             | 0                    | 1                      | 0                    | 0                     | 0                       | 6                       | 0,569          | <b>18,20</b> | 7            |
| 31             | 0                    | 0                      | 5                    | 0                     | 0                       | 0                       | 0,631          | <b>20,19</b> | 6            |
| 32             | 0                    | 0                      | 3                    | 4                     | 0                       | 0                       | 0,646          | <b>20,67</b> | 8            |
| 33             | 2                    | 1                      | 2                    | 0                     | 0                       | 0                       | 0,271          | <b>8,69</b>  | 7            |
| 34             | 2                    | 0                      | 2                    | 2                     | 0                       | 0                       | 0,424          | <b>13,56</b> | 9            |
| 35             | 2                    | 0                      | 2                    | 0                     | 2                       | 0                       | 0,510          | <b>16,33</b> | 9            |
| 36             | 2                    | 0                      | 2                    | 0                     | 0                       | 2                       | 0,278          | <b>8,89</b>  | 9            |
| 37             | 2                    | 1                      | 2                    | 0                     | 0                       | 0                       | 0,271          | <b>8,69</b>  | 7            |
| 38             | 0                    | 2                      | 2                    | 0                     | 2                       | 0                       | 0,435          | <b>13,91</b> | 8            |
| 39             | 0                    | 2                      | 2                    | 0                     | 0                       | 2                       | 0,202          | <b>6,47</b>  | 8            |

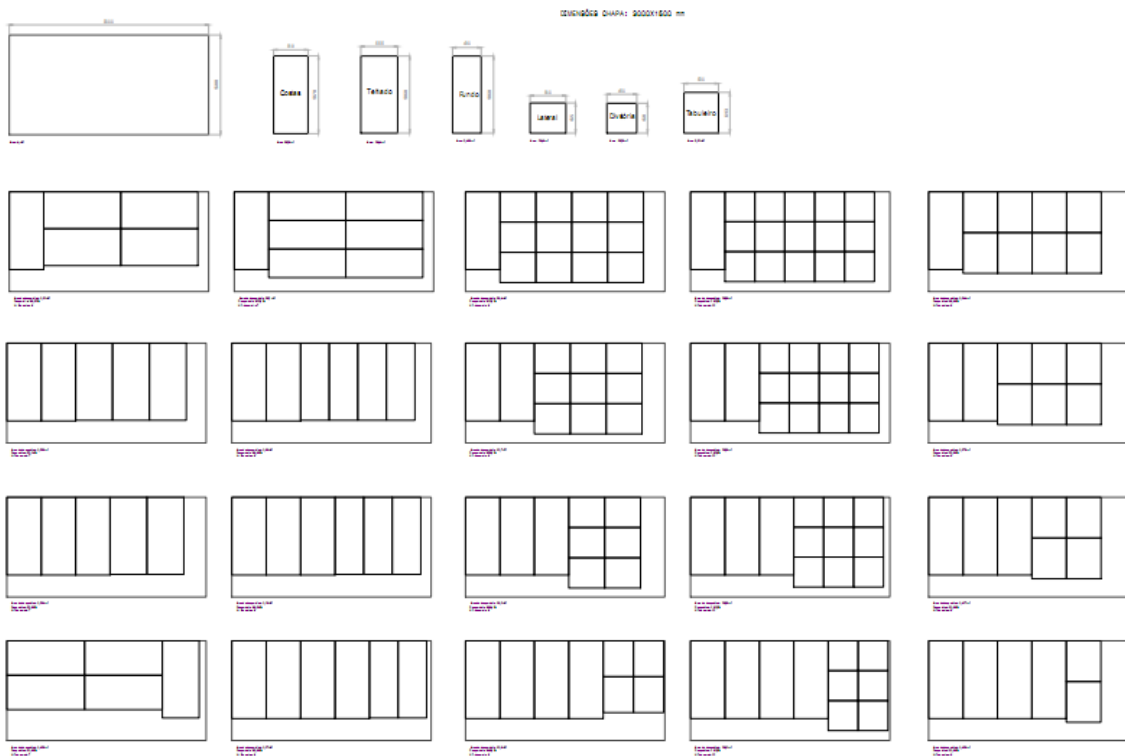
|    |   |   |   |    |    |   |       |              |    |
|----|---|---|---|----|----|---|-------|--------------|----|
| 40 | 1 | 0 | 2 | 4  | 0  | 0 | 0,539 | <b>17,23</b> | 6  |
| 41 | 0 | 1 | 2 | 4  | 0  | 0 | 0,501 | <b>16,03</b> | 8  |
| 42 | 0 | 0 | 2 | 4  | 2  | 0 | 0,740 | <b>23,67</b> | 10 |
| 43 | 0 | 0 | 2 | 4  | 0  | 2 | 0,507 | <b>16,23</b> | 10 |
| 44 | 1 | 0 | 2 | 0  | 4  | 0 | 0,711 | <b>22,76</b> | 9  |
| 45 | 0 | 1 | 2 | 0  | 4  | 0 | 0,674 | <b>21,56</b> | 8  |
| 46 | 0 | 0 | 2 | 2  | 4  | 0 | 0,826 | <b>26,43</b> | 10 |
| 47 | 0 | 0 | 2 | 0  | 4  | 2 | 0,680 | <b>21,76</b> | 10 |
| 48 | 1 | 0 | 2 | 0  | 0  | 4 | 0,246 | <b>7,88</b>  | 9  |
| 49 | 0 | 1 | 2 | 0  | 0  | 4 | 0,209 | <b>6,67</b>  | 9  |
| 50 | 0 | 0 | 2 | 2  | 0  | 4 | 0,361 | <b>11,55</b> | 10 |
| 51 | 0 | 0 | 2 | 0  | 2  | 4 | 0,447 | <b>14,32</b> | 10 |
| 52 | 3 | 0 | 1 | 2  | 0  | 0 | 0,317 | <b>10,13</b> | 9  |
| 53 | 3 | 0 | 1 | 0  | 2  | 0 | 0,403 | <b>12,90</b> | 9  |
| 54 | 0 | 0 | 1 | 0  | 2  | 6 | 0,309 | <b>9,88</b>  | 10 |
| 55 | 0 | 0 | 0 | 10 | 0  | 0 | 0,668 | <b>21,38</b> | 7  |
| 56 | 0 | 0 | 1 | 8  | 0  | 0 | 0,661 | <b>21,14</b> | 8  |
| 57 | 0 | 0 | 0 | 8  | 2  | 0 | 0,754 | <b>24,14</b> | 9  |
| 58 | 0 | 0 | 0 | 8  | 0  | 2 | 0,522 | <b>16,70</b> | 9  |
| 59 | 0 | 0 | 2 | 6  | 0  | 0 | 0,653 | <b>20,90</b> | 8  |
| 60 | 0 | 0 | 0 | 6  | 4  | 0 | 0,841 | <b>26,91</b> | 9  |
| 61 | 0 | 0 | 0 | 6  | 0  | 4 | 0,376 | <b>12,02</b> | 9  |
| 62 | 0 | 2 | 1 | 4  | 0  | 0 | 0,356 | <b>11,39</b> | 8  |
| 63 | 0 | 2 | 0 | 4  | 2  | 0 | 0,450 | <b>14,39</b> | 10 |
| 64 | 0 | 0 | 0 | 4  | 6  | 0 | 0,927 | <b>29,67</b> | 9  |
| 65 | 0 | 0 | 0 | 4  | 0  | 6 | 0,230 | <b>7,35</b>  | 9  |
| 66 | 3 | 0 | 1 | 2  | 0  | 0 | 0,317 | <b>10,13</b> | 9  |
| 67 | 3 | 0 | 0 | 2  | 2  | 0 | 0,410 | <b>13,13</b> | 10 |
| 68 | 0 | 0 | 4 | 2  | 0  | 0 | 0,638 | <b>20,43</b> | 8  |
| 69 | 0 | 0 | 0 | 2  | 8  | 0 | 1,014 | <b>32,44</b> | 8  |
| 70 | 0 | 0 | 1 | 2  | 0  | 6 | 0,222 | <b>7,11</b>  | 10 |
| 71 | 0 | 0 | 0 | 2  | 2  | 6 | 0,316 | <b>10,11</b> | 11 |
| 72 | 0 | 0 | 0 | 0  | 10 | 0 | 1,100 | <b>35,20</b> | 7  |
| 73 | 0 | 0 | 1 | 0  | 8  | 0 | 1,006 | <b>32,20</b> | 8  |
| 74 | 0 | 0 | 2 | 0  | 6  | 0 | 0,912 | <b>29,20</b> | 8  |
| 75 | 0 | 2 | 1 | 0  | 4  | 0 | 0,529 | <b>16,92</b> | 8  |
| 76 | 0 | 0 | 3 | 0  | 4  | 0 | 0,819 | <b>26,20</b> | 8  |
| 77 | 3 | 1 | 0 | 0  | 2  | 0 | 0,258 | <b>8,26</b>  | 9  |
| 78 | 0 | 0 | 4 | 0  | 2  | 0 | 0,725 | <b>23,19</b> | 8  |
| 79 | 0 | 0 | 1 | 0  | 2  | 6 | 0,309 | <b>9,88</b>  | 10 |
| 80 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 8 | 0,575 | <b>18,40</b> | 6  |
| 81 | 0 | 0 | 2 | 0  | 0  | 6 | 0,215 | <b>6,87</b>  | 9  |
| 82 | 0 | 0 | 0 | 0  | 4  | 6 | 0,402 | <b>12,88</b> | 9  |
| 83 | 0 | 0 | 3 | 0  | 0  | 4 | 0,354 | <b>11,31</b> | 8  |
| 84 | 0 | 0 | 0 | 0  | 6  | 4 | 0,635 | <b>20,32</b> | 9  |
| 85 | 0 | 0 | 4 | 0  | 0  | 2 | 0,492 | <b>15,75</b> | 8  |
| 86 | 0 | 0 | 0 | 0  | 8  | 2 | 0,867 | <b>27,76</b> | 9  |

# Anexo H. Cortes-Homogêneos: Chapa 3000x1500mm

DIMENSÕES CHAPA: 3000X1500 mm



# Anexo I. Cortes-Padrão para componente *Costas* da Chapa 3000x1500mm



# Anexo J. Cortes-Padrão para componente *Telhados* da Chapa 3000x1500mm



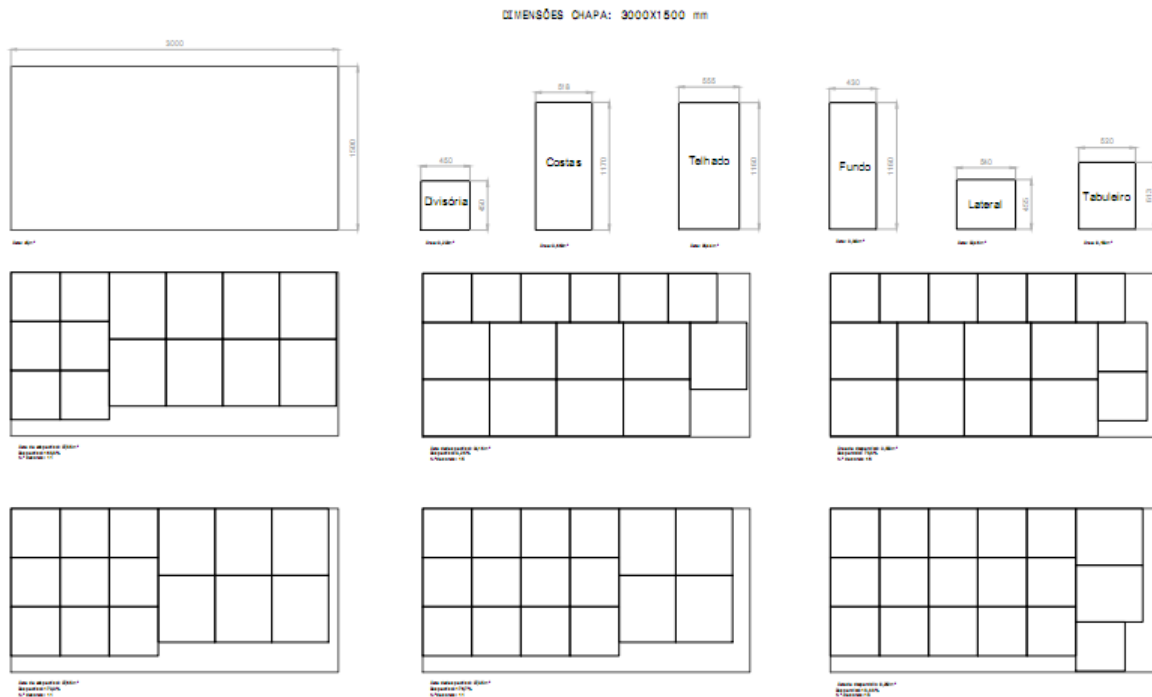
# Anexo K. Cortes-Padrão para componente Fundos da Chapa 3000x1500mm



# Anexo L. Cortes-Padrão para componente *Laterais* da Chapa 3000x1500mm



# Anexo M. Cortes-Padrão para componente *Divisórias* da Chapa 3000x1500mm



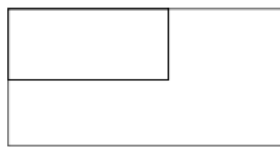
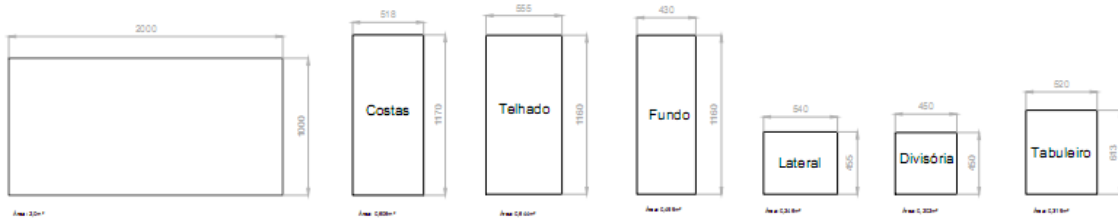
## Anexo N. Cálculos - Chapa 3000x1500mm

| Tipos de corte | Costas<br>(518x1170) | Telhados<br>(555x1160) | Fundos<br>(430x1160) | Laterais<br>(455x540) | Divisórias<br>(450x450) | Tabuleiros<br>(520x613) | Desperdício    |              | Nº de cortes |
|----------------|----------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|----------------|--------------|--------------|
|                |                      |                        |                      |                       |                         |                         | m <sup>2</sup> | %            |              |
| 1              | 5                    | 0                      | 0                    | 0                     | 0                       | 0                       | 1,470          | <b>32,66</b> | 6            |
| 2              | 4                    | 0                      | 0                    | 0                     | 0                       | 2                       | 1,438          | <b>31,96</b> | 8            |
| 3              | 4                    | 0                      | 0                    | 0                     | 6                       | 0                       | 0,861          | <b>19,13</b> | 10           |
| 4              | 4                    | 0                      | 0                    | 4                     | 0                       | 0                       | 1,093          | <b>24,29</b> | 9            |
| 5              | 4                    | 0                      | 2                    | 0                     | 0                       | 0                       | 1,078          | <b>23,96</b> | 8            |
| 6              | 4                    | 1                      | 0                    | 0                     | 0                       | 0                       | 1,432          | <b>31,82</b> | 7            |
| 7              | 3                    | 0                      | 0                    | 0                     | 0                       | 4                       | 1,407          | <b>31,26</b> | 8            |
| 8              | 3                    | 0                      | 0                    | 0                     | 9                       | 0                       | 0,859          | <b>19,10</b> | 10           |
| 9              | 3                    | 0                      | 0                    | 6                     | 0                       | 0                       | 1,208          | <b>26,84</b> | 9            |
| 10             | 3                    | 0                      | 3                    | 0                     | 0                       | 0                       | 1,185          | <b>26,34</b> | 8            |
| 11             | 3                    | 2                      | 0                    | 0                     | 0                       | 0                       | 1,394          | <b>30,98</b> | 7            |
| 12             | 2                    | 0                      | 0                    | 0                     | 0                       | 6                       | 1,375          | <b>30,56</b> | 8            |
| 13             | 2                    | 0                      | 0                    | 0                     | 12                      | 0                       | 0,858          | <b>19,06</b> | 10           |
| 14             | 2                    | 0                      | 0                    | 9                     | 0                       | 0                       | 1,077          | <b>23,92</b> | 9            |
| 15             | 2                    | 0                      | 4                    | 0                     | 0                       | 0                       | 1,293          | <b>28,73</b> | 8            |
| 16             | 2                    | 3                      | 0                    | 0                     | 0                       | 0                       | 1,356          | <b>30,14</b> | 7            |
| 17             | 1                    | 0                      | 0                    | 0                     | 0                       | 8                       | 1,344          | <b>29,86</b> | 8            |
| 18             | 1                    | 0                      | 0                    | 0                     | 15                      | 0                       | 0,856          | <b>19,03</b> | 10           |
| 19             | 1                    | 0                      | 0                    | 12                    | 0                       | 0                       | 0,946          | <b>21,01</b> | 9            |
| 20             | 1                    | 0                      | 6                    | 0                     | 0                       | 0                       | 0,901          | <b>20,03</b> | 7            |
| 21             | 1                    | 4                      | 0                    | 0                     | 0                       | 0                       | 1,319          | <b>29,31</b> | 6            |
| 22             | 0                    | 5                      | 0                    | 0                     | 0                       | 0                       | 1,281          | <b>28,47</b> | 6            |
| 23             | 0                    | 4                      | 0                    | 0                     | 0                       | 2                       | 1,287          | <b>28,61</b> | 8            |
| 24             | 0                    | 4                      | 0                    | 0                     | 3                       | 0                       | 1,317          | <b>29,27</b> | 9            |
| 25             | 0                    | 4                      | 0                    | 3                     | 0                       | 0                       | 1,188          | <b>26,39</b> | 9            |
| 26             | 0                    | 4                      | 1                    | 0                     | 0                       | 0                       | 1,426          | <b>31,69</b> | 6            |
| 27             | 0                    | 3                      | 0                    | 0                     | 0                       | 4                       | 1,294          | <b>28,75</b> | 8            |
| 28             | 0                    | 3                      | 0                    | 0                     | 6                       | 0                       | 1,354          | <b>30,08</b> | 9            |
| 29             | 0                    | 3                      | 0                    | 6                     | 0                       | 0                       | 1,094          | <b>24,32</b> | 9            |
| 30             | 0                    | 3                      | 3                    | 0                     | 0                       | 0                       | 1,072          | <b>23,83</b> | 7            |
| 31             | 0                    | 2                      | 0                    | 0                     | 0                       | 6                       | 1,300          | <b>28,89</b> | 8            |
| 32             | 0                    | 2                      | 0                    | 0                     | 12                      | 0                       | 0,782          | <b>17,39</b> | 10           |
| 33             | 0                    | 2                      | 0                    | 9                     | 0                       | 0                       | 1,001          | <b>22,25</b> | 9            |
| 34             | 0                    | 2                      | 4                    | 0                     | 0                       | 0                       | 1,217          | <b>27,05</b> | 7            |
| 35             | 0                    | 1                      | 0                    | 0                     | 0                       | 8                       | 1,306          | <b>29,02</b> | 8            |
| 36             | 0                    | 1                      | 0                    | 0                     | 15                      | 0                       | 0,819          | <b>18,19</b> | 10           |
| 37             | 0                    | 1                      | 0                    | 12                    | 0                       | 0                       | 0,908          | <b>20,17</b> | 9            |
| 38             | 0                    | 1                      | 6                    | 0                     | 0                       | 0                       | 0,863          | <b>19,19</b> | 7            |

|    |   |   |   |    |    |    |       |              |    |
|----|---|---|---|----|----|----|-------|--------------|----|
| 39 | 0 | 0 | 6 | 0  | 0  | 0  | 1,507 | <b>33,49</b> | 5  |
| 40 | 0 | 0 | 6 | 0  | 0  | 2  | 0,870 | <b>19,33</b> | 8  |
| 41 | 0 | 0 | 6 | 0  | 3  | 0  | 0,900 | <b>19,99</b> | 9  |
| 42 | 0 | 0 | 6 | 3  | 0  | 0  | 0,770 | <b>17,11</b> | 9  |
| 43 | 0 | 0 | 4 | 0  | 0  | 4  | 1,230 | <b>27,33</b> | 9  |
| 44 | 0 | 0 | 4 | 0  | 6  | 0  | 1,290 | <b>28,66</b> | 10 |
| 45 | 0 | 0 | 4 | 6  | 0  | 0  | 1,031 | <b>22,90</b> | 10 |
| 46 | 0 | 0 | 3 | 0  | 0  | 6  | 1,091 | <b>24,25</b> | 9  |
| 47 | 0 | 0 | 3 | 0  | 9  | 0  | 1,181 | <b>26,25</b> | 10 |
| 48 | 0 | 0 | 3 | 9  | 0  | 0  | 0,792 | <b>17,61</b> | 10 |
| 49 | 0 | 0 | 2 | 0  | 0  | 8  | 0,952 | <b>21,16</b> | 9  |
| 50 | 0 | 0 | 2 | 0  | 14 | 0  | 0,667 | <b>14,83</b> | 10 |
| 51 | 0 | 0 | 2 | 11 | 0  | 0  | 0,800 | <b>17,77</b> | 12 |
| 52 | 0 | 0 | 1 | 0  | 0  | 8  | 1,451 | <b>32,25</b> | 8  |
| 53 | 0 | 0 | 1 | 0  | 15 | 0  | 0,964 | <b>21,42</b> | 10 |
| 54 | 0 | 0 | 1 | 12 | 0  | 0  | 1,053 | <b>23,40</b> | 12 |
| 55 | 0 | 0 | 0 | 15 | 0  | 0  | 0,815 | <b>18,10</b> | 8  |
| 56 | 0 | 0 | 0 | 12 | 0  | 2  | 0,914 | <b>20,31</b> | 10 |
| 57 | 0 | 0 | 0 | 12 | 3  | 0  | 0,944 | <b>20,98</b> | 8  |
| 58 | 0 | 0 | 0 | 9  | 0  | 4  | 1,014 | <b>22,53</b> | 10 |
| 59 | 0 | 0 | 0 | 9  | 9  | 0  | 0,466 | <b>10,36</b> | 12 |
| 60 | 0 | 0 | 0 | 7  | 0  | 8  | 0,230 | <b>5,11</b>  | 15 |
| 61 | 0 | 0 | 0 | 6  | 0  | 6  | 1,113 | <b>24,74</b> | 10 |
| 62 | 0 | 0 | 0 | 6  | 12 | 0  | 0,596 | <b>13,24</b> | 12 |
| 63 | 0 | 0 | 0 | 6  | 0  | 8  | 0,476 | <b>10,57</b> | 14 |
| 64 | 0 | 0 | 0 | 5  | 12 | 0  | 0,842 | <b>18,70</b> | 13 |
| 65 | 0 | 0 | 0 | 4  | 0  | 8  | 0,967 | <b>21,49</b> | 10 |
| 66 | 0 | 0 | 0 | 3  | 15 | 0  | 0,725 | <b>16,12</b> | 12 |
| 67 | 0 | 0 | 0 | 0  | 18 | 0  | 0,855 | <b>19,00</b> | 9  |
| 68 | 0 | 0 | 0 | 0  | 16 | 2  | 0,622 | <b>13,83</b> | 13 |
| 69 | 0 | 0 | 0 | 0  | 12 | 4  | 0,795 | <b>17,67</b> | 11 |
| 70 | 0 | 0 | 0 | 0  | 9  | 6  | 0,765 | <b>17,00</b> | 11 |
| 71 | 0 | 0 | 0 | 0  | 8  | 8  | 0,330 | <b>7,33</b>  | 16 |
| 72 | 0 | 0 | 0 | 0  | 6  | 9  | 0,416 | <b>9,25</b>  | 16 |
| 73 | 0 | 0 | 0 | 0  | 6  | 8  | 0,735 | <b>16,33</b> | 11 |
| 74 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 10 | 1,312 | <b>29,16</b> | 7  |

# Anexo O. Cortes-Homogêneos: Chapa 2000x1000mm

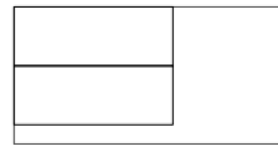
DIMENSÕES CHAPA: 2000X1000 mm



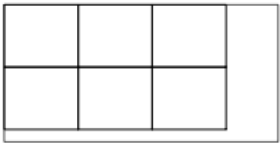
Área do corte: 1,26m<sup>2</sup>  
Corte: 100%  
1/1 - 1/1 - 1/1



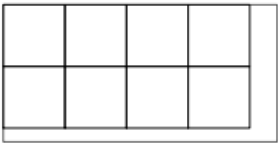
Área do corte: 1,26m<sup>2</sup>  
Corte: 100%  
1/1 - 1/1 - 1/1



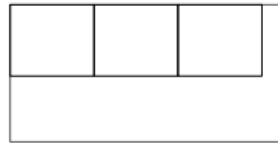
Área do corte: 1,26m<sup>2</sup>  
Corte: 100%  
1/1 - 1/1 - 1/1



Área do corte: 1,48m<sup>2</sup>  
Corte: 100%  
1/1 - 1/1 - 1/1

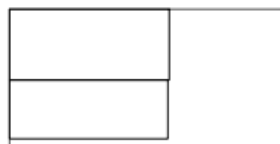
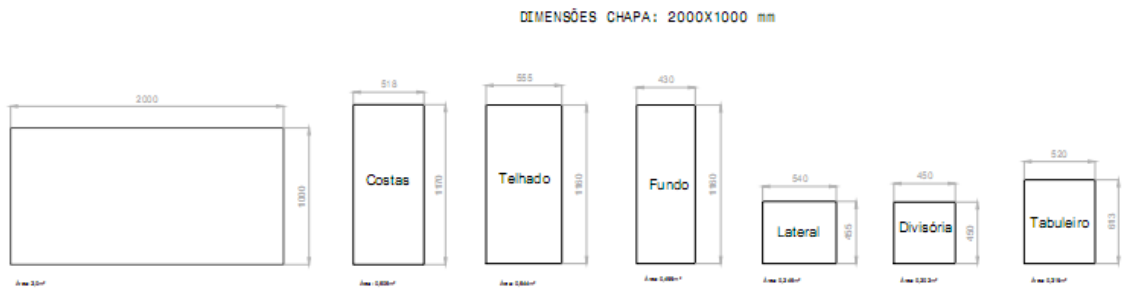


Área do corte: 1,48m<sup>2</sup>  
Corte: 100%  
1/1 - 1/1 - 1/1



Área do corte: 1,48m<sup>2</sup>  
Corte: 100%  
1/1 - 1/1 - 1/1

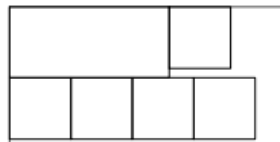
# Anexo P. Cortes-Padrão para componente *Costas* da Chapa 2000x1000mm



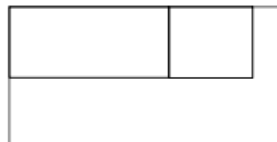
Área de Resíduos: 1.088 m<sup>2</sup>  
 Quantidade: 40,70%  
 Utilização: 5



Área de Resíduos: 1.411 m<sup>2</sup>  
 Quantidade: 29,86%  
 Utilização: 7

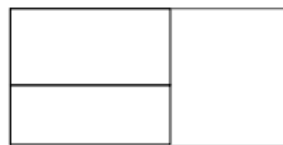
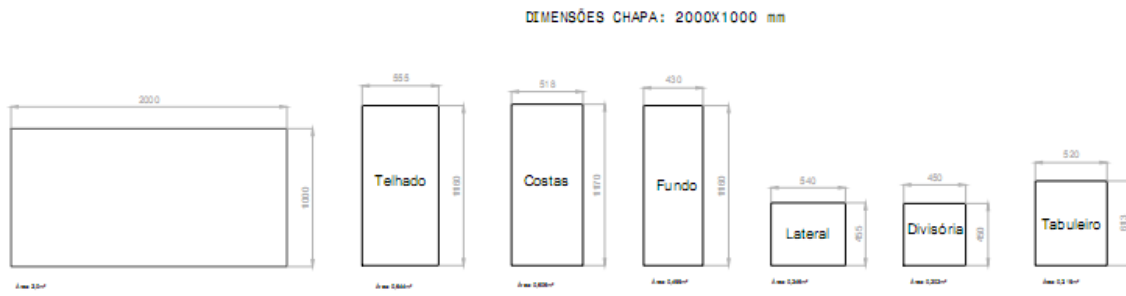


Área de Resíduos: 1.281 m<sup>2</sup>  
 Quantidade: 34,27%  
 Utilização: 6

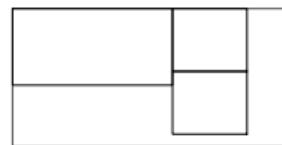


Área de Resíduos: 1.178 m<sup>2</sup>  
 Quantidade: 35,70%  
 Utilização: 6

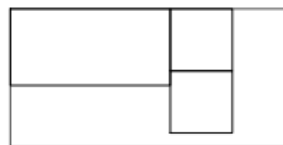
# Anexo Q. Cortes-Padrão para componente *Telhados* da Chapa 2000x1000mm



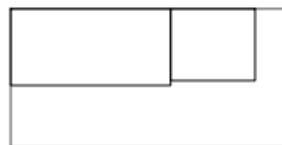
Área da lâmina: 0,587 m<sup>2</sup>  
 Quantidade: 12,26%  
 1) Fatores em: 2



Área da lâmina: 0,589 m<sup>2</sup>  
 Quantidade: 12,28%  
 1) Fatores em: 3



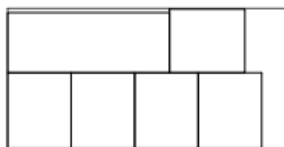
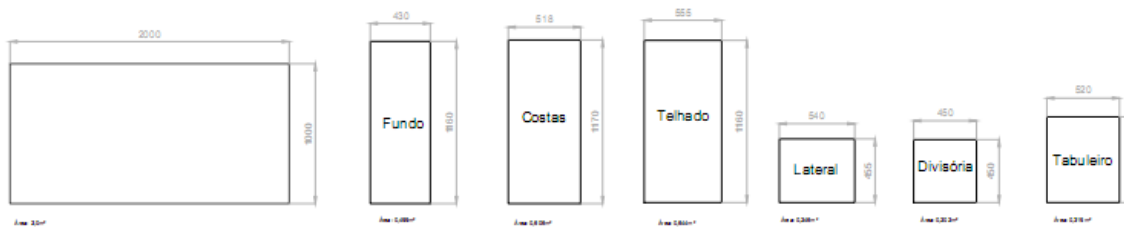
Área da lâmina: 0,589 m<sup>2</sup>  
 Quantidade: 12,28%  
 1) Fatores em: 3



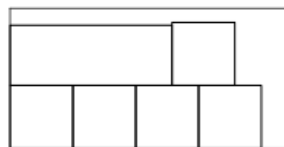
Área da lâmina: 0,587 m<sup>2</sup>  
 Quantidade: 12,26%  
 1) Fatores em: 3

# Anexo R. Cortes-Padrão para componente Fundos da Chapa 2000x1000mm

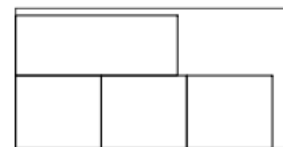
DIMENSÕES CHAPA: 2000X1000 mm



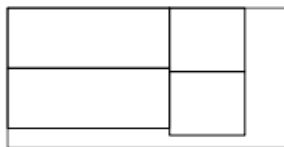
Área do material: 12,73 m<sup>2</sup>  
 Desperdício: 28,6%  
 17 Componentes



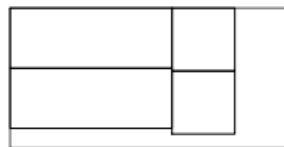
Área do material: 12,68 m<sup>2</sup>  
 Desperdício: 28,6%  
 17 Componentes



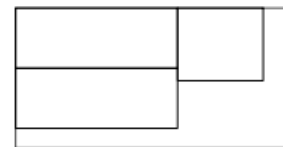
Área do material: 12,63 m<sup>2</sup>  
 Desperdício: 27,3%  
 17 Componentes



Área do material: 12,71 m<sup>2</sup>  
 Desperdício: 28,6%  
 17 Componentes



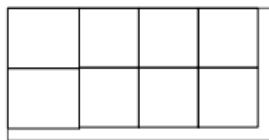
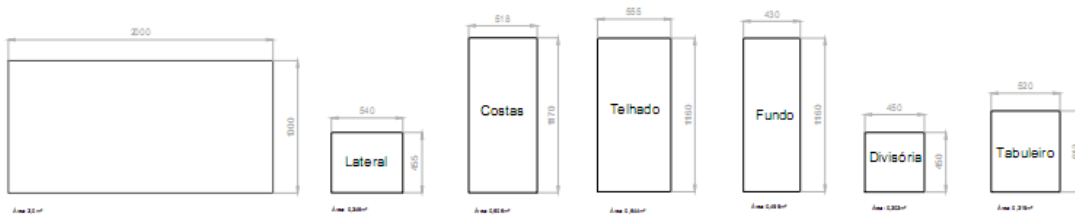
Área do material: 12,67 m<sup>2</sup>  
 Desperdício: 28,2%  
 17 Componentes



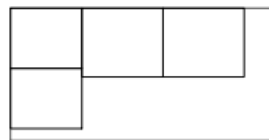
Área do material: 12,65 m<sup>2</sup>  
 Desperdício: 28,1%  
 17 Componentes

# Anexo S. Cortes-Padrão para componente *Laterais* da Chapa 2000x1000mm

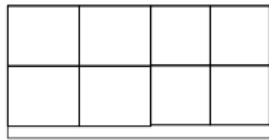
DIMENSÕES CHAPA: 2000X1000 mm



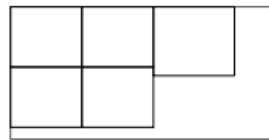
Área do elemento: 0,230m<sup>2</sup>  
 Quantidade: 12,60%  
 Nº de unidades: 8



Área do elemento: 0,271m<sup>2</sup>  
 Quantidade: 13,55%  
 Nº de unidades: 8



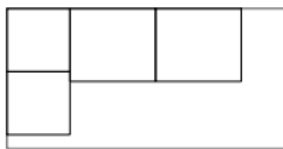
Área do elemento: 0,230m<sup>2</sup>  
 Quantidade: 11,50%  
 Nº de unidades: 8



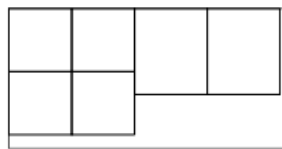
Área do elemento: 0,260m<sup>2</sup>  
 Quantidade: 13,00%  
 Nº de unidades: 8

# Anexo T. Cortes-Padrão para componente *Divisórias* da Chapa 2000x1000mm

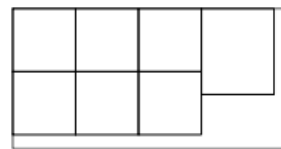
DIMENSÕES CHAPA: 2000X1000 mm



Área do arranjo: 0,289 m<sup>2</sup>  
 Ocupação: 14,45%  
 17 divisórias: 6



Área do arranjo: 0,820 m<sup>2</sup>  
 Ocupação: 41,00%  
 17 divisórias: 7



Área do arranjo: 0,880 m<sup>2</sup>  
 Ocupação: 44,00%  
 17 divisórias: 7

## Anexo U. Cálculos - Chapa 2000x1000mm

| Tipos de corte | Costas<br>(518x1170) | Telhados<br>(555x1160) | Fundos<br>(430x1160) | Laterais<br>(455x540) | Divisórias<br>(450x450) | Tabuleiros<br>(520x613) | Desperdício    |              | Nº de cortes |
|----------------|----------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|----------------|--------------|--------------|
|                |                      |                        |                      |                       |                         |                         | m <sup>2</sup> | %            |              |
| 1              | 1                    | 0                      | 0                    | 0                     | 0                       | 0                       | 1,394          | <b>69,70</b> | 2            |
| 2              | 1                    | 0                      | 1                    | 0                     | 0                       | 0                       | 0,895          | <b>44,76</b> | 4            |
| 3              | 1                    | 0                      | 0                    | 4                     | 0                       | 0                       | 0,411          | <b>20,56</b> | 8            |
| 4              | 1                    | 0                      | 0                    | 0                     | 5                       | 0                       | 0,381          | <b>19,07</b> | 9            |
| 5              | 1                    | 0                      | 0                    | 0                     | 0                       | 1                       | 1,075          | <b>53,76</b> | 4            |
| 6              | 0                    | 1                      | 0                    | 0                     | 0                       | 0                       | 1,356          | <b>67,81</b> | 2            |
| 7              | 0                    | 1                      | 1                    | 0                     | 0                       | 0                       | 0,857          | <b>42,87</b> | 3            |
| 8              | 0                    | 1                      | 0                    | 2                     | 0                       | 0                       | 0,865          | <b>43,24</b> | 5            |
| 9              | 0                    | 1                      | 0                    | 0                     | 2                       | 0                       | 0,951          | <b>47,56</b> | 2            |
| 10             | 0                    | 1                      | 0                    | 0                     | 0                       | 1                       | 1,037          | <b>51,87</b> | 4            |
| 11             | 0                    | 0                      | 2                    | 0                     | 0                       | 0                       | 1,002          | <b>50,12</b> | 3            |
| 12             | 0                    | 0                      | 2                    | 0                     | 0                       | 1                       | 0,684          | <b>34,18</b> | 5            |
| 13             | 0                    | 0                      | 2                    | 0                     | 2                       | 0                       | 0,597          | <b>29,87</b> | 6            |
| 14             | 0                    | 0                      | 2                    | 2                     | 0                       | 0                       | 0,511          | <b>25,55</b> | 6            |
| 15             | 0                    | 0                      | 1                    | 0                     | 0                       | 3                       | 0,545          | <b>27,25</b> | 6            |
| 16             | 0                    | 0                      | 1                    | 0                     | 5                       | 0                       | 0,489          | <b>24,44</b> | 9            |
| 17             | 0                    | 0                      | 1                    | 5                     | 0                       | 0                       | 0,273          | <b>13,64</b> | 9            |
| 18             | 0                    | 0                      | 0                    | 6                     | 0                       | 0                       | 0,526          | <b>26,29</b> | 5            |
| 19             | 0                    | 0                      | 0                    | 4                     | 0                       | 1                       | 0,698          | <b>34,92</b> | 6            |
| 20             | 0                    | 0                      | 0                    | 4                     | 4                       | 0                       | 0,207          | <b>10,36</b> | 8            |
| 21             | 0                    | 0                      | 0                    | 2                     | 0                       | 2                       | 0,871          | <b>43,55</b> | 6            |
| 22             | 0                    | 0                      | 0                    | 2                     | 6                       | 0                       | 0,294          | <b>14,68</b> | 8            |
| 23             | 0                    | 0                      | 0                    | 0                     | 8                       | 0                       | 0,380          | <b>19,00</b> | 8            |
| 24             | 0                    | 0                      | 0                    | 0                     | 6                       | 1                       | 0,466          | <b>23,31</b> | 7            |
| 25             | 0                    | 0                      | 0                    | 0                     | 4                       | 2                       | 0,552          | <b>27,62</b> | 7            |
| 26             | 0                    | 0                      | 0                    | 0                     | 2                       | 2                       | 0,957          | <b>47,87</b> | 6            |
| 27             | 0                    | 0                      | 0                    | 0                     | 0                       | 3                       | 1,044          | <b>52,19</b> | 4            |